



# Rijkswaterstaat

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

## Specifieke Aspecten TunnelOntwerp (SATO)

Versie 2005

# Inhoudsopgave

1. Algemeen
  - 1.1. Inleiding SATO
2. Dwars en langsprofielen
  - 2.1. Inleiding
  - 2.2. Autosnelwegen
  - 2.3. Niet autosnelwegen
3. Bouwmethoden
  - 3.1. Inleiding
  - 3.2. In Situ bouwen
  - 3.3. Gefasseerd bouwen in situ
  - 3.4. Tunnelbouwmethoden
  - 3.5. Vergelijking Bouwmethoden
  - 3.6. Documentatie
4. Rekenmethoden
  - 4.1. Inleiding
  - 4.2. Opzet Berekening
  - 4.3. Damwanden en Verankeringen
  - 4.4. Trek en Druk op Paalfunderingen
  - 4.5. Dimensioneren Ongewapende Onderwaterbetonvloeren
  - 4.6. Koelen van Beton
  - 4.7. Dimensioneren Doorsnede Tunnelementen
  - 4.8. Langsvoorspanning Afzinkelement
  - 4.9. Funderen Tunnelementen
5. Tunneledetails
  - 5.1. Dilatatievoegen
  - 5.2. Zink- en sluitvoegen
  - 5.3. Betonconstructies
  - 5.4. Prefabconstructies
  - 5.5. Afbouw
  - 5.6. Folieconstructies
  - 5.7. Fundering
  - 5.8. Afzinkdetails
  - 5.9. ITSO's
6. Kostenramingen
  - 6.1. Doel, uitgangspunten en documentatie
  - 6.2. Faseringen
  - 6.3. De raming
  - 6.4. Kwaliteit van de raming
7. EM-installaties
  - 7.1. Algemene eisen en aanwijzingen
  - 7.2. 10 Energievoorziening
  - 7.3. 20 Verlichting

- 7.4. 30 Drainagepomp installaties
  - 7.5. 35 Ventilatiesysteem
  - 7.6. 40 Verkeersinstallaties
  - 7.7. 50 Brandblusinstallaties
  - 7.8. 60 Communicatie
  - 7.9. 70 Gebouwinstallaties
  - 7.10. 80 Besturing, bediening en bewaking
  - 7.11. 90 Diverse installaties
- 
- 8. Specifieke Aspecten Afgezonken Tunnels in Uitvoering (SAATU)
    - 8.1. Voorbereiding
    - 8.2. Opdrijven
    - 8.3. Transport
    - 8.4. Afzinken
    - 8.5. Opleggen
    - 8.6. Afbouw
    - 8.7. Beheer en onderhoud
    - 8.8. Benodigde voorzieningen
    - 8.9. Checklijsten
    - 8.10. Bijlage



## **Inhoudsopgave**

- 1. Algemeen
  - 1.1 Inleiding SATO
    - 1.1.1 Voorwoord
    - 1.1.2 Inleiding
    - 1.1.3 Procedures en Vergunningen
    - 1.1.4 Definities
    - 1.1.5 Terminologie
    - 1.1.6 Algemeen geldende regels betreffende het wegverkeer
    - 1.1.7 Veiligheid
    - 1.1.8 Gerelateerde documenten



---

Algemeen



## Inhoudsopgave Inleiding SATO

- 1.1.1 Voorwoord
  - 1.1.1.1 Algemeen
- 1.1.2 Inleiding
  - 1.1.2.1 Indeling SATO:
  - 1.1.2.2 Doelstelling SATO
  - 1.1.2.3 Beheer van SATO
- 1.1.3 Procedures en Vergunningen
  - 1.1.3.1 Algemeen
  - 1.1.3.2 Enkele vergunningen
- 1.1.4 Definities
  - 1.1.4.1 Inleiding
  - 1.1.4.2 Lange gesloten constructies: Tunnels
  - 1.1.4.3 Korte, gesloten constructies
  - 1.1.4.4 Gedeeltelijk gesloten constructies
  - 1.1.4.5 Zijwaarts afgesloten constructies
- 1.1.5 Terminologie
  - 1.1.5.1 Veelvoorkomende termen
  - 1.1.5.2 Begrippen ten aanzien van veiligheid
- 1.1.6 Algemeen geldende regels betreffende het wegverkeer
  - 1.1.6.1 Wettelijke regeling gevaarlijke stoffen
  - 1.1.6.2 Specifieke regels betreffende Tunnels
  - 1.1.6.3 Tunnels en Toelating Gevaarlijke Stoffen
- 1.1.7 Veiligheid
  - 1.1.7.1 Steunpunt Tunnelveiligheid
- 1.1.8 Gerelateerde documenten
  - 1.1.8.1 Afkortingen



---

Algemeen



## **1.1 INLEIDING SATO**

### **1.1.1 Voorwoord**

#### **1.1.1.1 Algemeen**

In 1993 is de eerste versie van SATO (Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp) verschenen. Het doel van dit document is drieledig, te weten:

1. Het opslaan van de binnen afdeling Tunnelbouw van Rijkswaterstaat Bouwdienst vergaarde kennis.
2. Het uniformeren van technische oplossingen binnen tunnelontwerpen.
3. Het dienen als middel van kennisoverdracht naar marktpartijen en andere instanties binnen het ondergronds bouwen.

Inmiddels is er ook het nodige gesleuteld aan SATO. Hoofdstuk 5 (Tunneldetails) heeft bijvoorbeeld een behoorlijke facelift ondergaan en is aangepast aan toegepaste constructieonderdelen bij recent gebouwde tunnels. Daarnaast zijn de door het Steunpunt Tunnelveiligheid opgestelde richtlijnen (die opgenomen zijn in de VRC) integraal verwerkt in de diverse teksten.

Mede gelet op het feit, dat steeds meer belanghebbenden bij het ondergronds bouwen gebruik gaan maken van SATO is besloten om een deel AGTO (Achtergronden Tunnel Ontwerp) in te voeren. In dit deel staan toelichtingen en verklaringen inzake tunneltechnische oplossingen en details aangegeven.

Naarmate het aanbesteden steeds meer gaat geschieden met behulp van Design & Construct-contracten wordt de behoefte van een volledig SATO-document steeds groter. Dit stimuleert het SATO-team om dit document continu zo actueel mogelijk te houden. Ingeval van vragen, opmerkingen en commentaar kan men zich wenden tot het beheersteam van SATO.

Utrecht, oktober 2004  
Ir. F.F.M. de Graaf  
Hoofd afdeling Tunnelbouw







## **1.1.2 Inleiding**

### **1.1.2.1 Indeling SATO:**

Deel 1	Algemeen
Deel 2	Dwars en lengteprofielen
Deel 3	Rekenmethodieken
Deel 4	Bouwmethoden
Deel 5	Tunnel Details
Deel 6 *	Kostenramingen
Deel 7	Tunnel Technische Installaties
Deel 8	Specifieke aspecten afgezonken tunnels

#### **Samenstelling SATO-team**

H. Kosterman  
V. Kramer  
W. Jansen.

\* deel 6 is voor intern gebruik.

### **1.1.2.2 Doelstelling SATO**

Het doel van SATO is een hulpmiddel te zijn bij het ontwerpproces van tunnels.

Dit wordt bereikt door:

- Het definiëren van een tunnel, aquaduct, verdiepte weg, overkapte weg en een onderdoorgang;
- Aangeven welke regelgevende instanties er zijn betrokken bij het ontwerp van een tunnel e.d.;
- Projectmedewerkers toegankelijke informatie te verschaffen bij het ontwerpen van tunnels en andere kunstwerken;
- Eén goedgekeurd voorbeeld als hulpmiddel vast te leggen;
- SATO bij uitbestedings- en D&C contracten aan te reiken als voorbeelden die zich in de praktijk bewezen hebben.

### **1.1.2.3 Beheer van SATO**

Het beheer van de SATO / AGTO documenten berust bij het technisch platform van de afdeling tunnelbouw onder voorzitterschap van G.M. Wolsink.

Opmerkingen / aanvullingen alsmede alternatieven kunt u bij dit technisch platform indienen en zijn uiteraard altijd welkom.





## 1.1.3 Procedures en Vergunningen

### 1.1.3.1 Algemeen

De initiatiefnemer/opdrachtgever zal voor het geheel van activiteiten een projectstudie doen.

Het resultaat van die projectstudie is een projectnota.

De projectnota vervult een belangrijke rol in de besluitvormingsprocedure, die - in grote lijnen - de stappen bevat: de voorbereiding inclusief (publiek)voorlichting en inspraak, de advisering, de eigenlijke beslissing door de minister of het parlement. Wanneer de Bouwdienst wordt ingeschakeld voor het ontwerpen en realiseren van een project, vinden de eerste contacten met de initiatiefnemer/ opdrachtgever per definitie plaats in de **oriëntatiefase**.

Behalve het besluit over het te volgen tracé zal de initiatiefnemer/ opdrachtgever een Milieueffect Rapportage procedure moeten doorlopen. Doorgaans wordt de M.E.R. procedure met de hoofdbesluitvormingsprocedure geïntegreerd.

Naast de tracévaststelling dienen besluiten genomen te worden betreffende:

- het streekplan,
- bestemmingsplan,
- herziening provinciaal wegenplan,
- het slopen van bestaande bebouwing,
- werken aan en in directe omgeving van de zeewering en waterkerende dijken,
- aansluitingen op rijkswegen,
- plaatsing verkeerslichten,
- kruisen van spoorwegen,
- lozen op het oppervlaktewater,
- onttrekken van grondwater,
- uitvoeren van werken in natuurgebieden,
- verwerven van gronden.

De samenstelling van deze **lijst** is afhankelijk van het uit te voeren werk en **is derhalve niet compleet**.

Na de **oriëntatiefase** doorloopt het project achtereenvolgens de:

- Definitiefase;
- Voorontwerpfase;
- Ontwerpfase;
- Contracteringsfase;
- Realisatiefase.

Voordat een bouwwerk gerealiseerd kan worden, dienen een aantal vergunningen aanwezig, dan wel aangevraagd te zijn.

Hoewel het **aanvragen van de vergunningen** en de hierboven genoemde procedures de **verantwoording** zijn van de **initiatiefnemer/opdrachtgever**, verdient het aanbeveling de vergunningen voor de bouw van het door de BD te realiseren project na te gaan.

Naast de definitieve vergunningen zijn nog tijdelijke vergunningen noodzakelijk. Deze worden door de aannemer verzorgd.



### 1.1.3.2 Enkele vergunningen

Vergunning	Beschikkende instantie
Bouwvergunning kunstwerk	Gemeente(n) <b>definitief</b>
Bouwvergunning ketenpark e.d.	Gemeente(n) <b>tijdelijk</b>
Bemalingvergunning	Provincie <b>tijdelijk (mogelijk</b>
Keurontheffing	<b>definitief)</b>
Stortvergunning (slib en vervuilde grond)	Waterschap <b>Wie geeft stortvergunning uit?</b>
Gebruik rivier voor transport van de tunnelementen	DGSM/RWS
Toestemming gebruik bouwdok	Beheerder bouwdok
Wet Vervuiling Oppervlaktewateren	Regionale Directie <b>definitief (mogelijk</b>
Hinderwet	<b>tijdelijk)</b>
Ontgrondingvergunning	Regionale Directie, Gemeente(n)
Afvalstoffenwet	<b>(hinderwet)</b>
Dijkkruisingen/doorgraven dijken	Gemeente(n), Provincie <b>(ontgronding)</b>
Lozingsvergunning	Gemeente(n)
Aanpassing wegen	Waterschap/keur <b>(dijkkruising)</b>
Kapvergunning	Regionale Directie <b>(zie WVO)</b>
	Wegenreglement
	Kapverordening Gemeente(n)

De samenstelling van deze **lijst** is afhankelijk van het uit te voeren werk en **is derhalve niet compleet.**

## 1.1.4 Definities

### 1.1.4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de groepen wegconstructies en veel voorkomende woorden binnen de tunnelbouw verklaard. De weergave van de definities sluit zo dicht mogelijk aan op de officiële weergave van Van Dale. De bijbehorende tekeningen geven schematisch aan hoe de constructie eruit kan zien.

(Gedeeltelijk) omsloten wegconstructies zijn in groepen onder te verdelen. Elke groep heeft zijn eigen specifieke veiligheidsaspecten met de daarbij behorende inrichting.

**Voor de volledige uitleg en meest actuele visie op deze materie wordt verwezen naar de veiligheidsrichtlijnen deel C: basisrichtlijn, versie januari 2004, uitgegeven onder verantwoordelijkheid van het Steunpunt Tunnelveiligheid.**

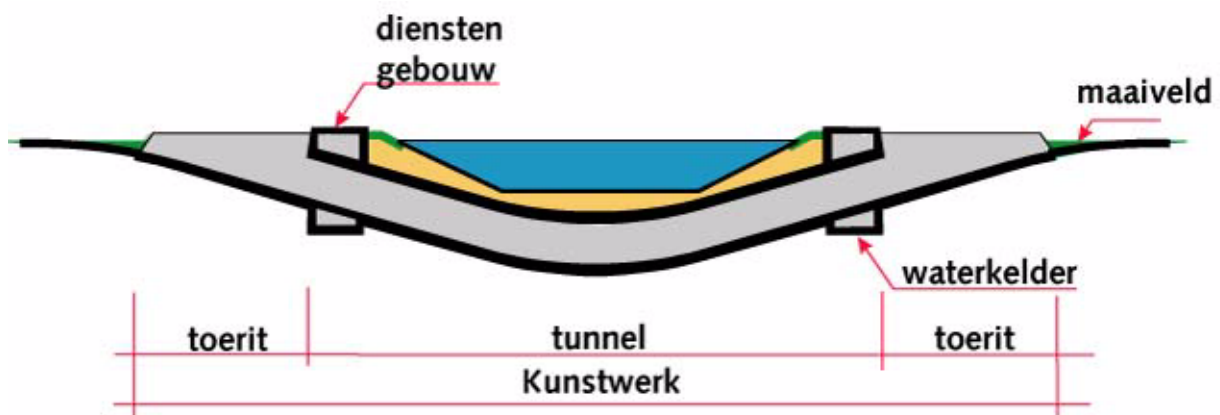
De groepen wegconstructies zijn:

1. Lange gesloten constructies: Tunnels (1.1.4.2)
2. Korte, gesloten constructies (1.1.4.3)
3. Gedeeltelijk gesloten constructies (1.1.4.4)
4. Zijwaarts afgesloten constructies (1.1.4.5)

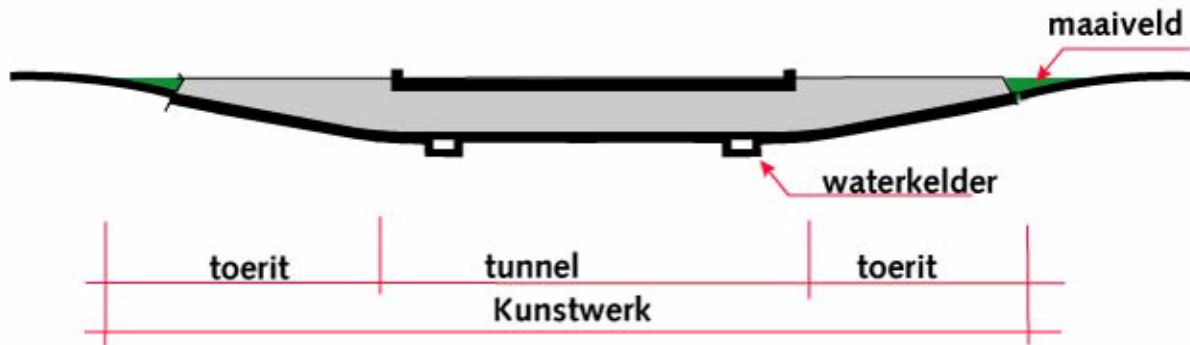
### 1.1.4.2 Lange gesloten constructies: Tunnels

Tunnels zijn lange, gesloten, rechthoekig of ronde kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

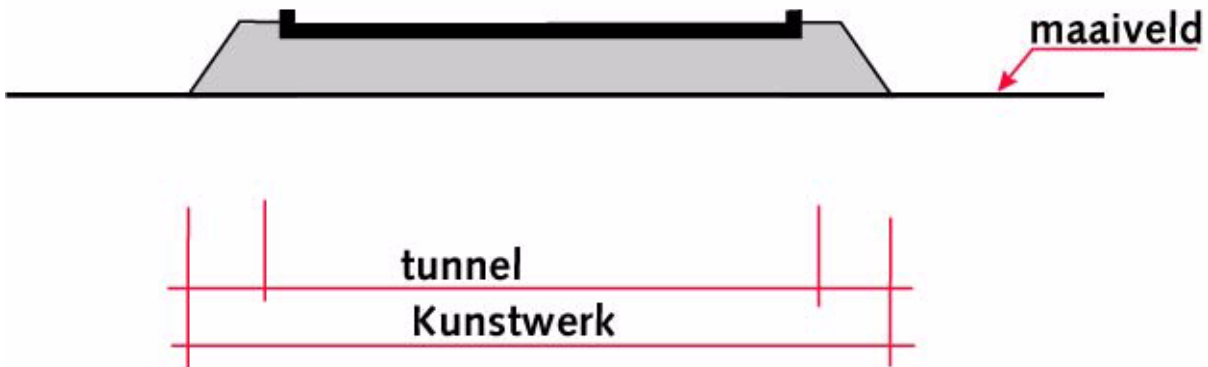
#### Een tunnel onder een watergang



**Een tunnel onder maaiveld**



**Een tunnel boven maaiveld**



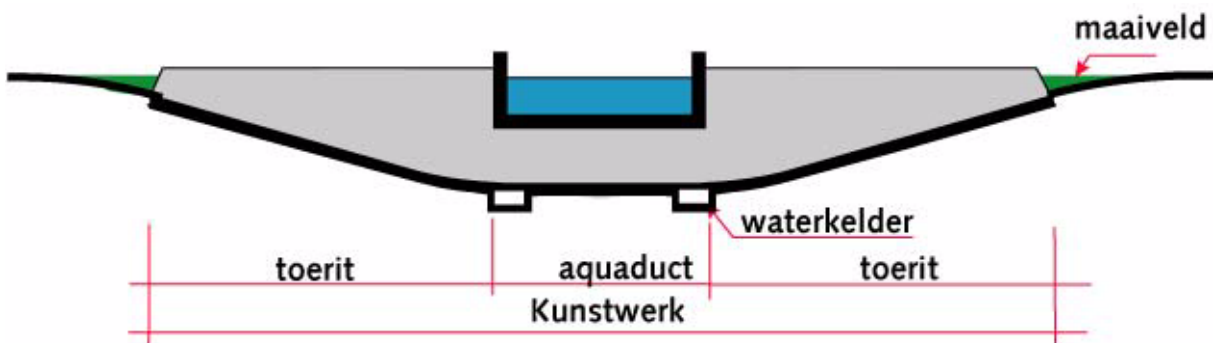
De doorsnede kan zowel rechthoekig als rond zijn.



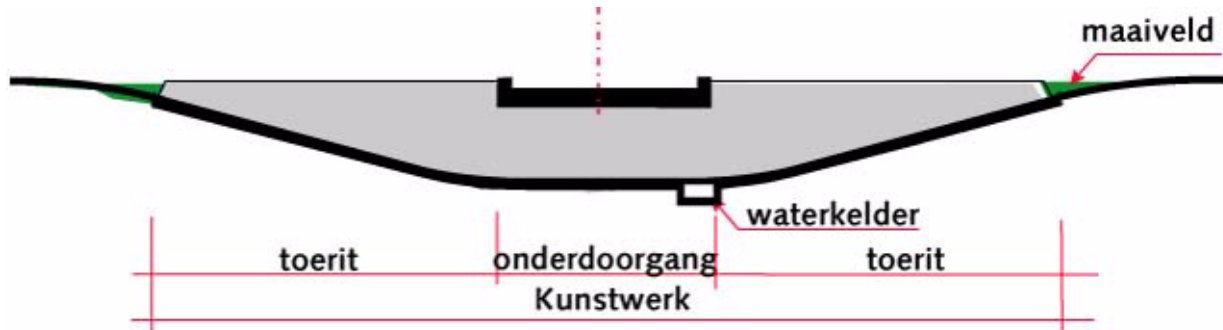
**1.1.4.3 Korte, gesloten constructies**

Dit zijn korte, gesloten kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

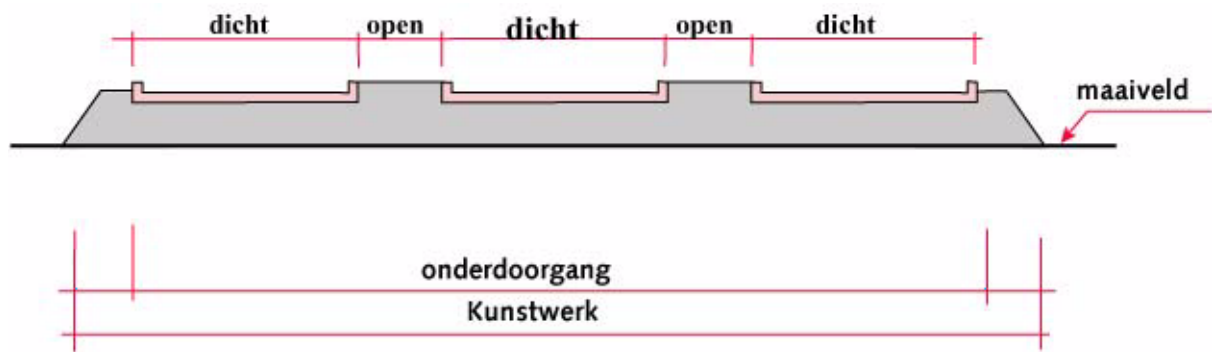
**Een aquaduct** is een kort, gesloten kunstwerk, dat water voert over een dal, een verkeersweg of een spoorweg.



**Een onderdoorgang** is een kort, gesloten kunstwerk waarmee een weg of spoorweg onder een weg, spoorweg of maaiveld wordt geleid.



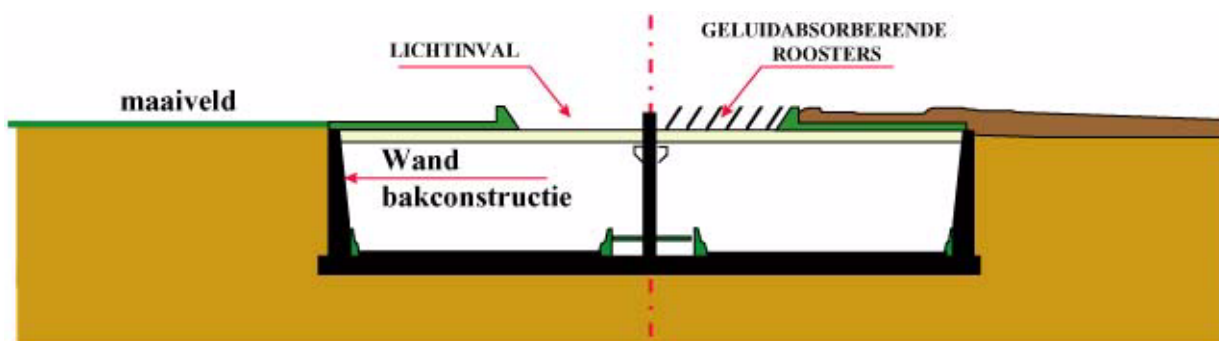
**Een DO-DO constructie** is een kunstwerk met afwisselend korte, gesloten- (dicht) en open delen, waarmee een weg of spoorweg onder wegen, spoorwegen of het maaiveld wordt geleid.



#### 1.1.4.4 Gedeeltelijk gesloten constructies

Dit zijn grotendeels gesloten, rechthoekige kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

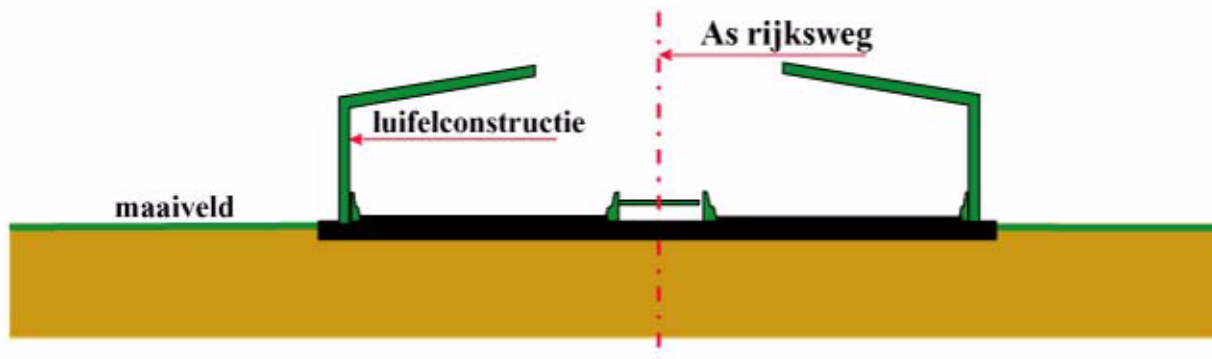
**Een overkapte bakconstructie** is een weg (beneden maaiveld) tussen wanden en voorzien van een grotendeels gesloten dakconstructie



Afbeelding 1.1.1, DOORSNEDE OVERKAPTE BAKCONSTRUCTIE



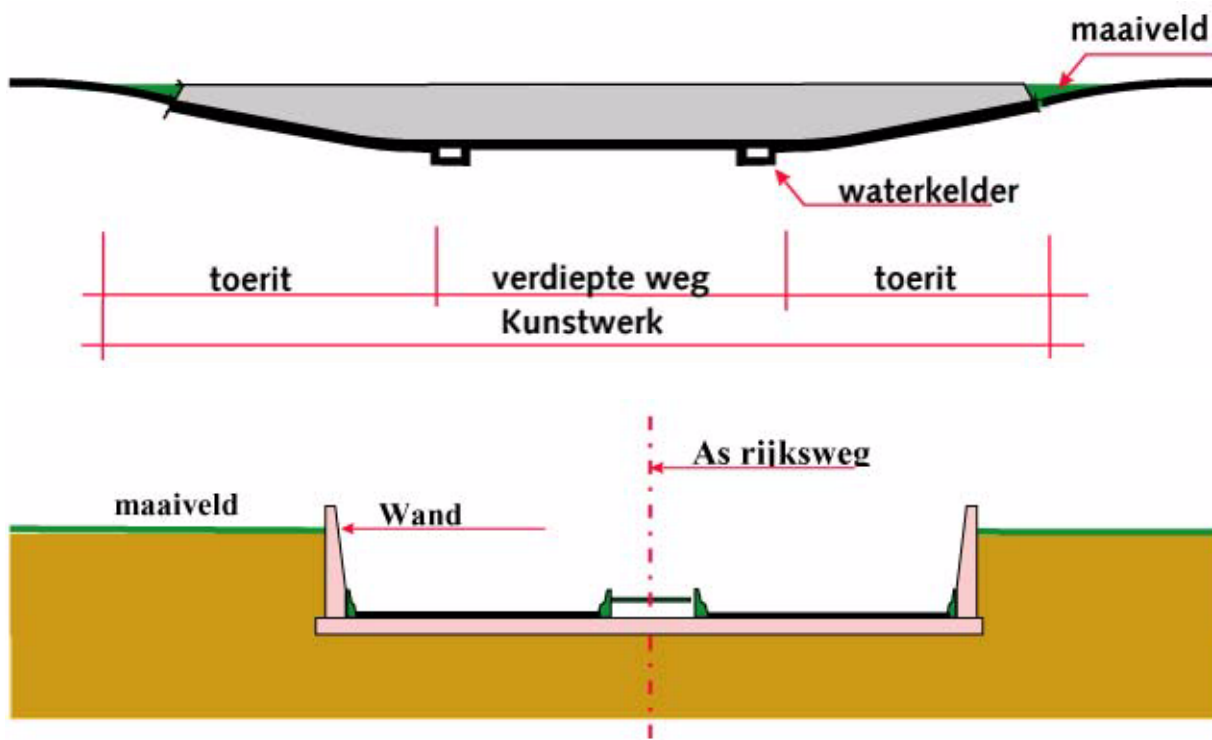
**Een luifelconstructie** is een constructie die een weg op maaiveld grotendeels afschermt van de omgeving om geluidsoverlast naar de omgeving te beperken. De constructie heeft een grotendeels gesloten karakter



Afbeelding 1.1.2, DOORSNEDE LUIFELCONSTRUCTIE

#### 1.1.4.5 Zijwaarts afgesloten constructies

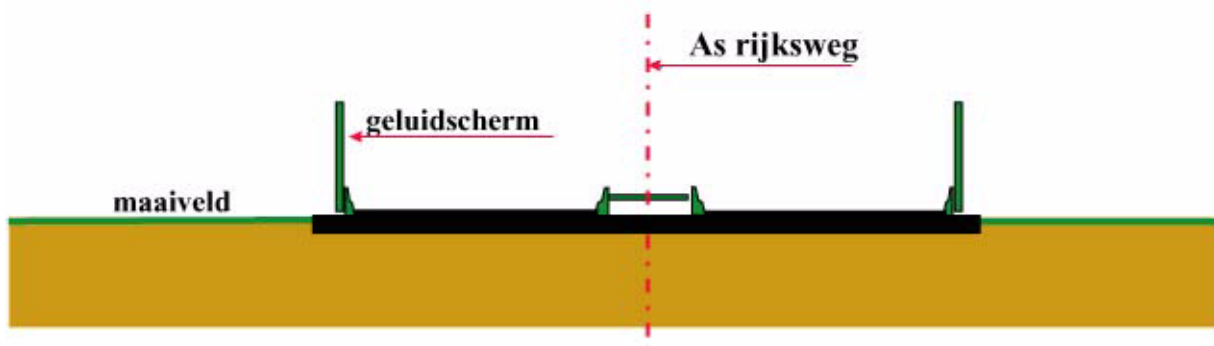
Dit zijn open, rechthoekige kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg. **Een Verdiepte weg** is een open wegconstructie gelegen beneden maaiveld



Afbeelding 1.1.3, DOORSNEDE VERDIEPTE WEG



**Een weg voorzien van geluidsschermen:** Een weg, doorgaans op maaiveld, voorzien van schermen om geluidsoverlast naar de omgeving te beperken







## 1.1.5 Terminologie

### 1.1.5.1 Veelvoorkomende termen

<b>Bakconstructie:</b>	Een U-vormig constructie, al dan niet verdiept gelegen, ten behoeve van een weg of spoorweg.
<b>Toerit:</b>	Het constructieonderdeel dat de aansluiting verzorgt van de weg op maaiveld naar de tunnel, het aquaduct, de onderdoorgang of verdiepte weg.
<b>Dienstengebouw:</b>	Een gebouw, op of naast een kunstwerk, waarin de elektro-mechanische installaties van het kunstwerk zijn opgesteld.
<b>Bedieningsgebouw:</b>	Een gebouw waarin alle functies van de elektro-mechanische installaties bestuurd en bewaakt worden.
<b>Centrale bediening:</b>	Een combinatie van bediening van meerdere objecten, soms verkeerscentrale genoemd.
<b>Waterkelder:</b>	Een ruimte waarin hemelwater, eventueel lekwater en verloren vloeistoffen tijdelijk opgeslagen worden.
<b>Pompenkamer:</b>	Een droge ruimte, meestal boven de waterkelder, waarin de voorzieningen voor de pompinstallatie zijn opgenomen

### 1.1.5.2 Begrippen ten aanzien van veiligheid

<b>Vluchtweg:</b>	Een speciaal aangelegd onderdeel van een constructie waarlangs men in geval van een calamiteit kan vluchten.
<b>Vluchtroute:</b>	Dit is de totale weg die personen moeten afleggen van hun voertuig naar een veilige plaats tot buiten de constructie
<b>Bediening:</b>	Die activiteiten, waarmee (vanuit een centraal gelegen ruimte in of buiten een tunnel) de afwikkeling van het verkeer en de werking van de verkeers- en tunneltechnische installaties, door operators, worden bewaakt, en bij verstoringen of afwijkingen van de normale situatie wordt ingegrepen middels gestandaardiseerde handelingen, al dan niet geautomatiseerd.
<b>Bewaking:</b>	De "controleerende" activiteit, die door de tunnelbesturingsinstallatie wordt geïnitieerd in de vorm van een melding van technische storingen en/of brand, eventueel gevolgd door een automatische maatregel zonder menselijke tussenkomst.



**ALARA:**

As Low As Reasonably Achievable. Zeer vrij vertaald zegt dit principe 'gebruik in het hele ontwerptraject je verstand en kijk waar met minimale extra investeringen op praktische wijze nog extra veiligheidswinst te boeken valt, ook wanneer de constructie zowel probabilistisch als deterministisch is geanalyseerd en akkoord bevonden.



## **1.1.6 Algemeen geldende regels betreffende het wegverkeer**

### **1.1.6.1 Wettelijke regeling gevaarlijke stoffen**

Naast de bij de wet vastgestelde verkeersregels zijn er wettelijke regels omtrent het soort stoffen dat over de weg vervoerd wordt.

Het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg wordt geregeld in het **VLG** (Vervoer over Land van Gevaarlijke stoffen).

In het VLG is de Nederlandse versie van de internationale norm ADR (A ) opgenomen.

Vigerend is de editie 2001, aflevering 4, april 2002.

**Munitietransporten** vinden altijd onder begeleiding plaats.

De reden daarvan is dat tegen de gevolgen van de explosie van munitie geen voorzieningen te treffen zijn.

Door middel van begeleiding worden de risico's op explosie geminimaliseerd.

### **1.1.6.2 Specifieke regels betreffende Tunnels**

In artikel B. Wetgeving/VLG van deel 1 van het VLG worden aanwijzingen gegeven ten aanzien van het vervoer van gevaarlijke stoffen door een aantal met name genoemde tunnels.

Deze tunnels zijn verdeeld in 2 categorieën:

- Categorie I : tunnel met voorzieningen
- Categorie II : tunnel zonder voorzieningen.

Voor niet genoemde tunnels, ook wel 'catagorie 0 tunnels' genoemd geldt geen beperking.

De tunnels welke zijn opgenomen in de wettelijke regeling VLG, zijn zonder uitzondering alle lange tunnels in snelverkeerswegen met gescheiden rijbanen onder waterwegen waarin wordt gereden met een gemiddelde snelheid van 100 km/u of meer.

Het zijn derhalve belangrijke schakels in het Rijkswegennet.

Het besluit om bepaalde tunnels in het VLG op te nemen en daardoor dus te beperken in het vervoer van gevaarlijke stoffen, heeft een economische reden.

De consequentie van het uitvallen van zo 'n tunnel door een calamiteit veroorzaakt enorme economische schade.

Kosten: Sloop bestaande tunnel, bouw nieuwe tunnel, stagnatie van de aansluitende infrastructuur.

De categorie indeling wordt bepaald door de minister.

### **1.1.6.3 Tunnels en Toelating Gevaarlijke Stoffen**

Voordat gevaarlijke stoffen tot een tunnel mogen worden toegelaten, dient te worden voldaan aan 2 voorwaarden:

- a. Over het toelaten van gevaarlijke stoffen tot de betreffende tunnel dient op bestuurlijk niveau (B&W van de gemeente waarin de tunnel ligt, minister) overeenstemming te zijn.



Om een goede afweging tussen de tunnelroute en de omleidingroute mogelijk te maken, zijn door TNO twee beslissingsmodellen opgesteld, één voor brandbare vloeistoffen en één voor overige gevaarlijke stoffen.

Het eventueel (laten) maken van beslissingsmodellen en het bestuurlijke overleg zijn taken van de betreffende regionale directie van de Rijkswaterstaat.

- b. De tunneluitrusting dient aan 2 soorten eisen te voldoen:
    - 1. Eisen ter verkleining van de kans op een explosie in de tunnelbuizen, de pompenkelders, de pompenkamers en het middenkanaal. Deze eisen zijn gebaseerd op studies van TNO ten aanzien van het explosiegevaar in 7 verkeerstunnels. (literatuur)
    - 2. Eisen met betrekking tot de aanwezigheid van vluchtwegen, brandblusvoorzieningen, communicatievoorzieningen, voorzieningen tegen het dak van de tunnelbuis, het rioleringsysteem en het wegdek.
- Het opstellen van deze uitrustingeisen behoort tot het takenpakket van het Steunpunt Tunnelveiligheid.



## **1.1.7 Veiligheid**

### **1.1.7.1 Steunpunt Tunnelveiligheid**

Het Steunpunt Tunnelveiligheid houdt zich bezig met het verzamelen van gegevens op het gebied van tunnelveiligheid met het doel te adviseren aan de beleidsbepalers van het Ministerie.

Deze veiligheidsrichtlijnen worden beschreven in de VeiligheidsRichtlijnen deel C. Voor meer informatie over de vigerende versie van de VRC richtlijnen zie ook de website van het Steunpunt: [www.tunnelsafety.nl](http://www.tunnelsafety.nl).







## 1.1.8 Gerelateerde documenten

### 1.1.8.1 Afkortingen

AGTO:

Naast Specifiek Aspecten Tunnelontwerp (SATO) is ook **Achtergronden Tunnelontwerp** (AGTO) opgesteld. Hierin is de ervaring vanuit het verleden opgenomen (Hoe zijn we gekomen tot dit detailontwerp. Fouten die in het verleden gemaakt zijn worden aangegeven. Hiermee willen we voorkomen dat de fouten nog eens gemaakt worden.

EITO:

Als laatste (nog op te stellen) del in deze reeks worden de eisen gesteld aan de details en onderdelen daarvan vastgelegd.

Dit is noodzakelijk om vanuit de eis tot een oplossing te komen. Hieruit kan het Technisch Programma van Eisen worden vastgesteld voor tunnels, aquaducten, verdiepte liggingen en overkapte wegen.

SAATU:

Binnen de diverse geledingen van de Bouwdienst Rijkswaterstaat is veel kennis en ervaring aanwezig met betrekking tot het realiseren van afgezonken tunnels. De afdeling Tunnelbouw heeft, gericht op het ontwerp-proces, kennis vastgelegd in het document **Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp** (SATO).

Binnen de afdeling PD wordt, gericht op de uitvoeringservaring, gewerkt aan het vastleggen van uitvoeringskennis met het accent op het waarom. Omdat er vaak raakvlakken bestaan tussen het ontwerp en de uitvoering en omdat er in verschillende stadia van de processen over en weer geprofiteerd kan worden van ervaringskennis, ligt het voor de hand om te streven naar een optimale samenwerking tussen ontwerp en uitvoering.

Er is nu getracht om de kennis en ervaring van de diverse personen te bundelen, zodat deze voor de toekomst behouden kan worden. Dit heeft geleid tot een project waarbinnen deze aspecten zijn beschrijven en samengesteld tot het document dat nu voor u ligt, **Specifieke Aspecten Afgezonken Tunnels** met betrekking tot de Uitvoering (SAATU).





---

## **Inhoudsopgave**

- 2. Dwars en lengteprofielen
- 2.2 Inleiding
  - 2.2.1 Algemeen
  - 2.2.2 Afbakening
  - 2.2.3 Herziening 2003
- 2.3 Autosnelwegen
  - 2.3.1 Algemeen ontwerpproces van hoofdwegen
  - 2.3.2 Alignement
  - 2.3.3 Profiel van vrije ruimte
  - 2.3.4 Dwarsprofiel
  - 2.3.5 Ontwerpelementen
- 2.4 Niet autosnelwegen
  - 2.4.1 Alignement
  - 2.4.2 Hellingen
  - 2.4.3 Stroken
  - 2.4.4 Dwarsprofiel



---

Dwars en lengteprofielen



## **Inhoudsopgave Inleiding**

- 2.2.1 Algemeen
- 2.2.2 Afbakening
  - 2.2.2.1 Wat is de start?
  - 2.2.2.2 Wat is het doel ?
  - 2.2.2.3 Ontwikkelingen
  - 2.2.2.4 Raakvlakken
- 2.2.3 Herziening 2003



---

Dwars en lengteprofielen



## 2.2 INLEIDING

### 2.2.1 Algemeen

De afdeling Tunnelbouw van de hoofdafdeling Droge Infrastructuur is binnen de Bouwdienst van Rijkswaterstaat werkzaam in het taakgebied met betrekking tot in en onder de grond gelegen infrastructurele werken. Het betreft het ontwerp en de uitvoering van diverse typen tunnels, alsmede aquaducten, onderdoorgangen, verdiepte en overkapte wegen in de verschillende stadia van projectrealisatie.

Voor een goede taakuitoefening (nu en in de toekomst) is het noodzakelijk dat:

- de aanwezige know-how op dit gebied behouden blijft én wordt uitgebreid;
- studies worden verricht naar nieuwe technieken en alternatieven in samenwerking met andere afdelingen en instanties;
- de kennis en ervaring goed wordt gedocumenteerd en op overzichtelijke wijze wordt gepresenteerd.

Dit heeft geleid tot het opstellen van de documenten:

- **A**lgemene **R**ichtlijnen **T**unnel **O**ntwerp: ARTO (in 1992, herzien in 1997) en;
- **S**pecifieke **A**specten **T**unnel **O**ntwerp: SATO (in 1992, start herziening 2001).

In 2003 is een start gemaakt met het invoegen van de actuele kennis en ervaring in SATO. Ook het voorliggende deel wegontwerp is de laatste stand van zaken opgenomen.







## **2.2.2 Afbakening**

### **2.2.2.1 Wat is de start?**

In 1991 is de documentatie van SATO voor het eerst vastgelegd. In deze eerste versie van SATO is een start gemaakt het in beeld brengen, vast leggen en presenteren van de specifieke aspecten bij het ontwerpproces van tunnels, aquaducten, onderdoorgangen en verdiepte & overkapte wegen.

Binnen SATO is het hoofdstuk wegontwerp één van de acht hoofdstukken en wordt in dit hoofdstuk de stand van zaken beschreven zoals deze destijds zijn ingepast in het ontwerp en de realisatie op het productgebied 'wegontwerp'.

### **2.2.2.2 Wat is het doel ?**

Na tien jaar is de gehele SATO onderworpen aan een herziening. Doel van dit document is de ontwikkelingen die hebben plaatsgevonden sinds het verschijnen van de eerste versie van SATO te verwerken in deze herziene versie.

### **2.2.2.3 Ontwikkelingen**

Ontwikkelingen hebben op twee gebieden plaatsgevonden. Op het gebied van de richtlijnen over ontwerp van wegen is het handboek 'Richtlijnen Ontwerp Niet Autosnelwegen' vervangen door het 'Handboek Wegontwerp' in 2002.

Ook de producten van de afdeling tunnelbouw is uitgebreid. Dit heeft geleid tot de toevoeging van onder meer de boortunnel tot de productengroep van de afdeling Tunnelbouw.

Naast deze ontwikkelingen is ook de veiligheid in tunnels de laatste jaren in een ander daglicht komen te staan. Hiertoe is het Steunpunt Tunnelveiligheid bij de Bouwdienst in het leven geroepen. Het Steunpunt Tunnelveiligheid heeft als belangrijkste taak een integrale benaderingswijze voor de veiligheidsproblematiek van ondergrondse verkeersinfrastructuur te formuleren.

### **2.2.2.4 Raakvlakken**

Afbakening van het taakgebied van de afdeling Tunnelbouw heeft zich toegespitst op de feitelijke producten die tot de deelaccount van de afdeling behoren. Hierbij is het van belang duidelijk een grens te stellen in het ontwerpproces waarbij voor zowel wegontwerper als de tunnelbouwer duidelijk is waar de raakvlakken van beide disciplines zich bevinden. Het is belangrijk dat de beide disciplines zich bewust zijn van de raakvlakken en de mogelijke consequenties die mogelijke ontwerp oplossingen met zich meebrengen.





### 2.2.3 Herziening 2003

In 1991 is een plan van aanpak opgesteld om alle specifieke aspecten betreffende het ontwerp en de uitvoering van:

- tunnels;
- aquaducten;
- onderdoorgangen;
- verdiepte + overkapte wegen;

in beeld brengen, de diverse oplossingen te inventariseren en alles op overzichtelijke wijze vast te leggen en te presenteren. Het resultaat hiervan is vastgelegd in het **SATO**-document (**S**pecifieke **A**specten **T**unnel **O**ntwerp).

Deze versie heeft als startpunt de bestaande documentatie SATO deel 2 en is waar nodig aangepast, aangevuld of geschrapt.





## **Inhoudsopgave Autosnelwegen**

- 2.3.1 Algemeen ontwerpproces van hoofdwegen
- 2.3.2 Alignement
  - 2.3.2.1 Inleiding
  - 2.3.2.2 Minimale horizontale boogstralen
  - 2.3.2.3 Minimale verticale boogstralen
  - 2.3.2.4 De samengestelde boog
  - 2.3.2.5 Hellingen
- 2.3.3 Profiel van vrije ruimte
- 2.3.4 Dwarsprofiel
  - 2.3.4.1 Profiel van ruimte
  - 2.3.4.2 Profiel van vrije ruimte
  - 2.3.4.3 Veiligheidszones
- 2.3.5 Ontwerpelementen
  - 2.3.5.1 Rijstrook
  - 2.3.5.2 Vluchtstrook
  - 2.3.5.3 Redresseerstrook (kantstrook)
  - 2.3.5.4 Markering
  - 2.3.5.5 Verhardingsbreedte
  - 2.3.5.6 Berm
  - 2.3.5.7 Hulpmiddelen wegontwerp



---

Dwars en lengteprofielen



## **2.3 AUTOSNELWEGEN**

### **2.3.1 Algemeen ontwerpproces van hoofdwegen**

Bij het ontwerp van een weg spelen vele aspecten een rol. Meer en meer wordt gevraagd om een integraal ontwerp van de weg met de omgeving. Vanzelfsprekend spelen hierbij zowel economische, verkeerskundige, planologische als milieutechnische aspecten een rol. Al deze aspecten maken onderdeel uit van het overkoepelende proces van het totstandkomen van wegen. Dit Het planningsproces bij het totstandkomen van (hoofd)wegen is ontleend aan het MIT.<sup>1</sup>

In het MIT zijn de verkenningen-, planstudie- en realisatiefasen onderscheiden, waarbinnen zich zowel bestuurlijke als technische processen afspelen.

Belangrijk is te beseffen dat tijdens totstandkomingsproces van (hoofd)wegen in het bestuurlijke proces verschillende keuzes worden gemaakt die leidend (en bindend) zijn voor het technische proces. Binnen het technische proces vindt onder meer het wegontwerpproces plaats. Binnen dit verband wordt alleen dieper ingegaan op het technische proces.

In het MIT worden de volgende fasen onderscheiden:

---

1. Een uitgebreide verhandeling over het totstandkomingsproces van hoofdwegen is opgenomen in de 'Handleiding Wegontwerpproces Hoofdwegen'.





## Dwars- en lengteprofielen

## Autosnelwegen

Fasering	Technisch proces	Technisch proces	Bestuurlijk proces
<b>Verkenningfase MIT</b>			
fase verkenningen	Verkennen oplossingsrichtingen	Indicatieve schetsen 1:100.000	Besluitvorming minister / opname planprogramma MIT
<b>Planstudiefase MIT (voor het tracébesluit)</b>			
fase startnotitie	Globaal onderzoeken knelpunten Globaal aangeven alternatieven	Globale schetsen tracé-alternatieven: 1:50.000	
			Inspraak / advisering Vaststellen m.e.r.-richtlijnen door bevoegd gezag
fase trajectnota / MER	Analyse problemen Toevoegen, ontwikkelen, selecteren alternatieven Uitwerken geselecteerde alternatieven	Schetsen tracé-alternatieven: 1:10.000 Uitwerken tracé-alternatieven: 1:10.000	
			Inspraak/ advisering Standpunt bevoegd gezag
fase (ontwerp) tracébesluit	Voorbereiden OTB Voorbereiden TB	Voorkeurstracé: 1:2.000 Aanpassen tracé: 1:2.000	Inspraak/ advisering Tracébesluit bevoegd gezag
			Beroep bij Raad van State Inpassing in bestemmingsplannen
<b>(na tracébesluit)</b> fase planuitwerking	Maken detailontwerp	Uitwerken tracé: 1:1.000	



Fasering	Technisch proces	Technisch proces	Bestuurlijk proces
fase bestek	Vorbereiden bestek	Maken bestekstekeningen	
<b>Realisatiefase MIT</b>			Opname in realisatiefase MIT, uitvoeringsbesluit minister van V&W
fase uitvoering	Vorbereiden, aanbesteden, opdragen en uitvoeren project	Maken uitvoeringstekeningen	
fase overdracht	Overdracht aan beheerder	Maken revisietekeningen	

Tabel 2.3.1 Onderscheiden fasen in het MIT

Technisch proces:

**In de fase verkenningen** worden mogelijke oplossingsrichtingen aangegeven. Dit kunnen verschillende vervoerswijzen zijn (zowel weg, rail als water). In deze fase kunnen de verbetering van bestaande infrastructuur en de aanleg van nieuwe infrastructuur aan de orde komen.

**In de planstudiefase** van het MIT komen naast mogelijke alternatieven voor verkeer en vervoer, ook varianten voor de situering, hoogteligging en constructievorm binnen de mogelijke alternatieven weer. Het ontwerp van de weg bestaat in deze fase uit: het aanleveren van ondergronden, de tracés schetsmatig weergeven en op basis van kentallen een indicatieve kostenraming van de realisatie van de weg gegeven.

**De fase trajectnota** omvat de ontwikkeling van de alternatieven. Varianten kunnen worden toegevoegd, maar ook kunnen alternatieven en varianten beargumenteerd afvallen. Het ontwerp omvat het uitwerken naar schetsontwerpen van de tracé-alternatieven. De geselecteerde tracé-alternatieven en varianten worden uitgewerkt naar voorontwerpen.

**In de fase van het (ontwerp)tracébesluit** wordt het gekozen voorkeurstracé uitgewerkt. Eventueel wordt voorkeurstracé aangepast in de fase tracébesluit. In het ontwerp wordt het voorkeurstracé verder uitgewerkt tot een ontwerp.

**In de fase na het tracébesluit** (realisatiefase MIT) vindt verdere detaillering van de weg plaats. Het ontwerp in deze fase bestaat uit het maken van het detail- en het bestekontwerp, ontwerp van de bijbehorende voorzieningen, uitvoeren van geotechnisch onderzoek en verwerving / onteigening van grond.

Met deze fasering binnen het MIT zijn de werkzaamheden binnen het technisch proces en het wegontwerpproces in grote mate afgekaderd. Deze afkadering is het uitgangspunt waarop dit herziene deel 'Wegontwerp' van SATO van start is gegaan. In de eerste versie van dit deel 'Wegontwerp' is uitgebreid ingegaan op de diverse aspecten van het ontwerp van wegen. Nu het ontwerpproces van hoofdwegen in belangrijke mate bij de wegontwerpers in ondergebracht.





## 2.3.2 Alignement

### 2.3.2.1 Inleiding

Bij alignement wordt onderscheid gemaakt in:

- horizontaal alignement: horizontale boogstralen;
- verticaal alignement: verticale boogstralen en hellingen;

Keuzes voor het horizontaal en verticaal alignement worden in en nabij tunnels in belangrijke mate beïnvloed door de benodigde zichtafstanden (zie hiervoor bijlage I). Daarnaast spelen de aspecten die in de vorige paragraaf genoemd zijn, een rol bij de dimensionering van de weg en de tunnel.

Aan hellingen worden onder andere eisen gesteld op het gebied van het snelheidsverloop van voertuigen. Dit heeft zowel invloed op de verkeersafwikkeling als de verkeersveiligheid.

Bij de bepaling van minimale boogstralen dient rekening gehouden te worden met zowel de bestuurders van personenauto's als van vrachtauto's. Voor beide weggebruikers moet het ontwerp een veilige uitvoering van de rijtaak mogelijk maken.

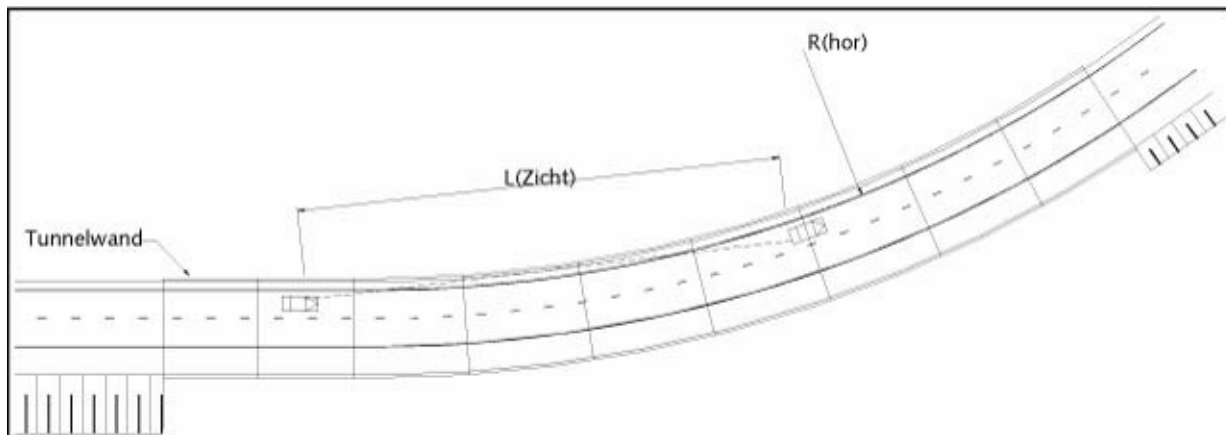
In Tabel 2.3.2 zijn de in dit verband relevante kenmerken van beide type voertuigen (en hun bestuurders) opgenomen:

	personenauto	vrachtauto
<b>ooghoogte</b>	1,10 m	2,50 m
<b>rijnsnelheid bij <math>v_0 = 120</math> km/h</b>	120 km/h	90 km/h
<b>rijnsnelheid bij <math>v_0 = 90</math> km/h</b>	90 km/h	90 km/h

Tabel 2.3.2 Kenmerken voertuigen

### 2.3.2.2 Minimale horizontale boogstralen

Maatgevend voor de minimaal toe te passen horizontale boogstraal in tunnels, is de benodigde zichtlengte. Daarbij dient de minimale horizontale boogstraal altijd beschouwd te worden in relatie met de afstand tussen de kantstreep en het zichtbelemmerende object. Het zichtbelemmerend object kan de tunnelwand of de bermbeveiligingsconstructie (geleiderail of barrier) zijn. Is de afstand tot het zichtbelemmerend object klein, dan zal een ruime horizontale boog noodzakelijk zijn. Genoemde berekeningsprincipes kunnen ook gebruikt worden bij horizontale bogen op of nabij bruggen/viaducten. In Afbeelding 2.3.1 is het principe van zichtbeperking door een horizontale boog in een tunnel geïllustreerd.



Afbeelding 2.3.1, Zichtbelemmering in een horizontale boog in een tunnel

### Zichtafstanden

In tabel is voor verschillende afstanden tussen het zichtbelemmerend object (tunnelwand of barrier/geleiderail) en de binnenkant kantstreep de minimale boogstraal gegeven. De genoemde waarden zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De minimale horizontale boogstralen zijn berekend voor de minimale stopzicht-, uitwijkzicht- en wegverloopzichtafstand (zie ook bijlage I).
- Voor de berekening van de aanwezige stopzichtafstand wordt ervan uitgegaan dat er (tenminste) één remlicht zichtbaar is;
- Er is geen rekening gehouden met een verkorting van de maatgevende remweg vanwege het ontbreken van situaties waarin het wegdek nat is; ook is het effect van een helling op de remweg buiten beschouwing gelaten
- Het verticaal alignement levert geen zichtbeperkingen op;
- Maatgevend is een personenauto op de linkerstrook in een naar links draaiende bocht;
- De zichtbeperking kan worden veroorzaakt door de tunnelwand of de bermbeveiligingsconstructie. De afstand tussen de kantstreep en de barrier is gemeten tot de voet van de barrier; de afstand kantstreep - geleiderail is tot aan de voorkant van de geleiderail;
- De in de tabel gehanteerde kleinste afstanden, zijn gebaseerd op de minimale objectafstandsmarge.

In Bijlage II is de berekening verder toegelicht.



Snelheid [km/h]	Afstand kantstreep - zichtbeperkend element [m]	Minimale Rhor [m], standaard™ prt			Minimale Rhor [m], verlaagde™ prt		
		stop	uitwijk	wegv.	stop	uitwijk	wegv.
<b>120 km/h</b> prtstandaard = 2,5s prtverlaagd = 2,0s	1,0	3070	2350	730	2730	2720	n.v.t.
	1,1	2960	3100	710	2630	2600	
	1,2	2860	2970	690	2540	2490	
	1,3	2770	2850	680	2460	2380	
	1,4	2680	2740	660	2380	2290	
	1,5	2600	2630	650	2310	2200	
	2,0	2250	2210	590	2000	1850	
	2,5	1980	1900	540	1760	1590	
<b>90 km/h</b> prtstandaard = 2,0s prtverlaagd = 1,75s	1,0	900	1700	420	830	1500	n.v.t.
	1,1	860	1620	410	800	1430	
	1,2	830	1550	400	770	1370	
	1,3	800	1480	390	740	1310	
	1,4	770	1420	380	720	1250	
	1,5	750	1360	370	690	1200	
	2,0	640	1130	330	590	1000	
	2,5	560	970	300	520	860	
<b>70 km/h</b> prtstandaard = 1,75s prtverlaagd = 1,5s	1,0	310	630	260	280	560	n.v.t.
	1,1	300	600	260	270	540	
	1,2	290	570	250	260	510	
	1,3	280	540	240	250	490	
	1,4	270	520	230	240	470	
	1,5	260	500	230	230	450	
	2,0	230	420	200	200	380	
	2,5	200	360	180	170	320	
<b>50 km/h</b> prtstandaard = 1,5s prtverlaagd = 1,5s	1,0	80	310	80	n.v.t.		
	1,1	80	290	80			
	1,2	70	280	80			
	1,3	70	270	80			
	1,4	70	260	70			
	1,5	70	250	70			
	2,0	60	200	60			
	2,5	50	180	60			

Tabel 2.3.3 Minimale horizontale boogstralen

De ontwerper dient per project af te wegen aan welke zichtafstanden het ontwerp dient te voldoen. Het stopzichts criterium dient in alle gevallen toegepast te worden, ook als er signalering in de tunnel voorzien is.

De genoemde minimale horizontale boogstralen dienen als indicatie gehanteerd te worden. Per project zal bekeken moeten worden of de combinatie van ontwerpfactoren (horizontale boogstralen, verticale boogstralen, hellingen, dwarsprofiel) tot een wenselijk wegbeeld leidt.

Indien een wegvak in een horizontale boog niet voldoende zichtafstand biedt, dan zijn er een aantal opties om het ontwerp aan te passen zodat de aanwezige zichtafstand toeneemt:



- Toepassen ruimere boogstraal;
- Vergroten van de afstand tussen het zichtbelemmerende object en de kantstreep. Dit kan door het zichtbelemmerende object verder van de verharding af te plaatsen of het dwarsprofiel anders in te delen;

Ook kan de ontwerpsnelheid verlaagd worden, waardoor de minimaal benodigde zichtafstand afneemt. Verlaging van de ontwerpsnelheid, alleen in de tunnel, is in principe niet toegestaan; de ontwerpsnelheid dient in overeenstemming te zijn met aansluitende wegvakken.

### 2.3.2.3 Minimale verticale boogstralen

Bij het bepalen van verticale boogstralen wordt onderscheid gemaakt in:

- de topboog (bolle boog);
- de voetboog (holle boog).

Het is niet mogelijk om standaardwaarden voor de verticale boogstralen te gebruiken; er zijn diverse projectspecifieke factoren die van invloed zijn op de gewenste boogstralen. Onderstaand wordt op deze factoren ingegaan.

#### Topboog

Bij bolle bogen is de benodigde zichtafstand voor de autobestuurder het maatgevende dimensioneringscriterium zijn. Behalve voor tunnels, is dit criterium ook van toepassing op andere kunstwerken (bruggen/viaducten). De minimum boogstraal van de bolle boog wordt bepaald met behulp van de formule:

$$R_{vmin} = \frac{L_z^2}{2(\sqrt{h_0} + \sqrt{h_h})^2}$$

waarin:

$R_v$  (m) = minimale boogstraal;

$L_z$  (m) = (maatgevende) zichtafstand;

$h_0$  (m) = ooghoogte van de bestuurder (1,10m);

$h_h$  (m) = hoogte van het waar te nemen object.

Bij de nadering van een tunnel kan de topboog niet altijd op basis van de minimale boogstraal ontworpen worden. De tunnelingang moet duidelijk zichtbaar zijn en niet tot misverstanden leiden. Welke zichtafstand maatgevend is, dient per project afgewogen worden. Indien het horizontaal alignement geen aanleiding geeft voor misverstanden over het verloop van de weg, dan zal doorgaans alleen op stopzicht gedimensioneerd worden. Indien de weg of de omgeving tot misleiding kan leiden, dan zal ook aan het wegverloopzicht criterium voldaan moeten worden.

Ook de grootte van de minimaal gewenste zichtafstanden is project-specifiek; de perceptie-reactietijd (prt), in belangrijke mate bepalende voor de benodigde zichtafstand, is afhankelijk van onder andere de vormgeving van de tunnelingang, de combinatie met het horizontaal alignement en de omgeving van de weg.

Bovenstaande aspecten dienen per project door een deskundige ingeschat worden. In Tabel 2.3.4 is de minimale boogstraal van de topboog weergegeven als functie van de ontwerpsnelheid. Daarbij is uitgegaan van de 'standaard' perceptiereactietijden en zichtafstanden uit de ROA.



<b>Minimale zichtafstanden</b>	<b>wegverloopzicht</b>	<b>stopzicht</b>	<b>Uitwijkzicht</b>
120 km/h	165 m	260 m	235 m
90 km/h	120 m	135 m	165 m
70 km/h	90 m	80 m	100 m
50 km/h	55 m	40 m	70 m
Objecthoogte: h0	1,10 m	1,10 m	1,10 m
Objecthoogte: hh	0 m	0,50 m	0,20 m
<b>Minimale boogstraal: min. R<sub>bol</sub></b>			
120 km/h	12400 m	11000 m	12300 m
90 km/h	6500 m	3000 m	6000 m
70 km/h	3700 m	1000 m	2200 m
50 km/h	1400 m	260 m	1100 m

Tabel 2.3.4 Minimale boogstralen bolle bogen bij 'standaard' prt

Indien een verlaging van de perceptiereactietijd als acceptabel wordt ingeschat, dan kan volstaan worden met een kortere stopzichtsafstand. Voorwaarde voor het hanteren van een kortere prt, is dat de situatie voor de bestuurders herkenbaar moet zijn en dat de rijtaak niet te veel beïnvloed wordt door zaken als, in- en uitvoeringen en bewegwijzering.

In Tabel 2.3.5 zijn als voorbeeld de minimale boogstralen van topbogen (gebaseerd op het stopzichts criterium) weergegeven voor gereduceerde perceptie-actietijden. Per project dient ingeschat te worden of de prt verlaagd kan worden, en zo ja, hoeveel.

<b>Ontwerpsnelheid</b>	<b>prt</b>	<b>stopzicht</b>	<b>min. R<sub>bol</sub> (stopzicht)</b>
120 km/h	2,0 s	245 m	9800 m
90 km/h	1,75 s	130 m	2800 m
70 km/h	1,5 s	75 m	900 m
50 km/h	1,5 s	40 m	260 m

Tabel 2.3.5 Minimale boogstralen topbogen bij 'verlaagde' prt

### Voetboog

De minimale boogstraal van voetbogen wordt bepaald door gewenste zichtafstand die aanwezig moet zijn.

De aanwezige zichtafstand wordt daarbij beïnvloed door de hoogte van de tunnel. De afstand waarover weggebruikers de weg kunnen overzien, wordt beperkt door het plafond van de tunnel en eventueel door signalering, bewegwijzering en installaties (in feite gaat het dus om de netto hoogte).





Uiteraard wordt bij verdiepte liggingen (zonder overkappingen of kruisende, zichtbelemmerende objecten) de boogstraal van de voetboog niet bepaald door het zichtcriterium.

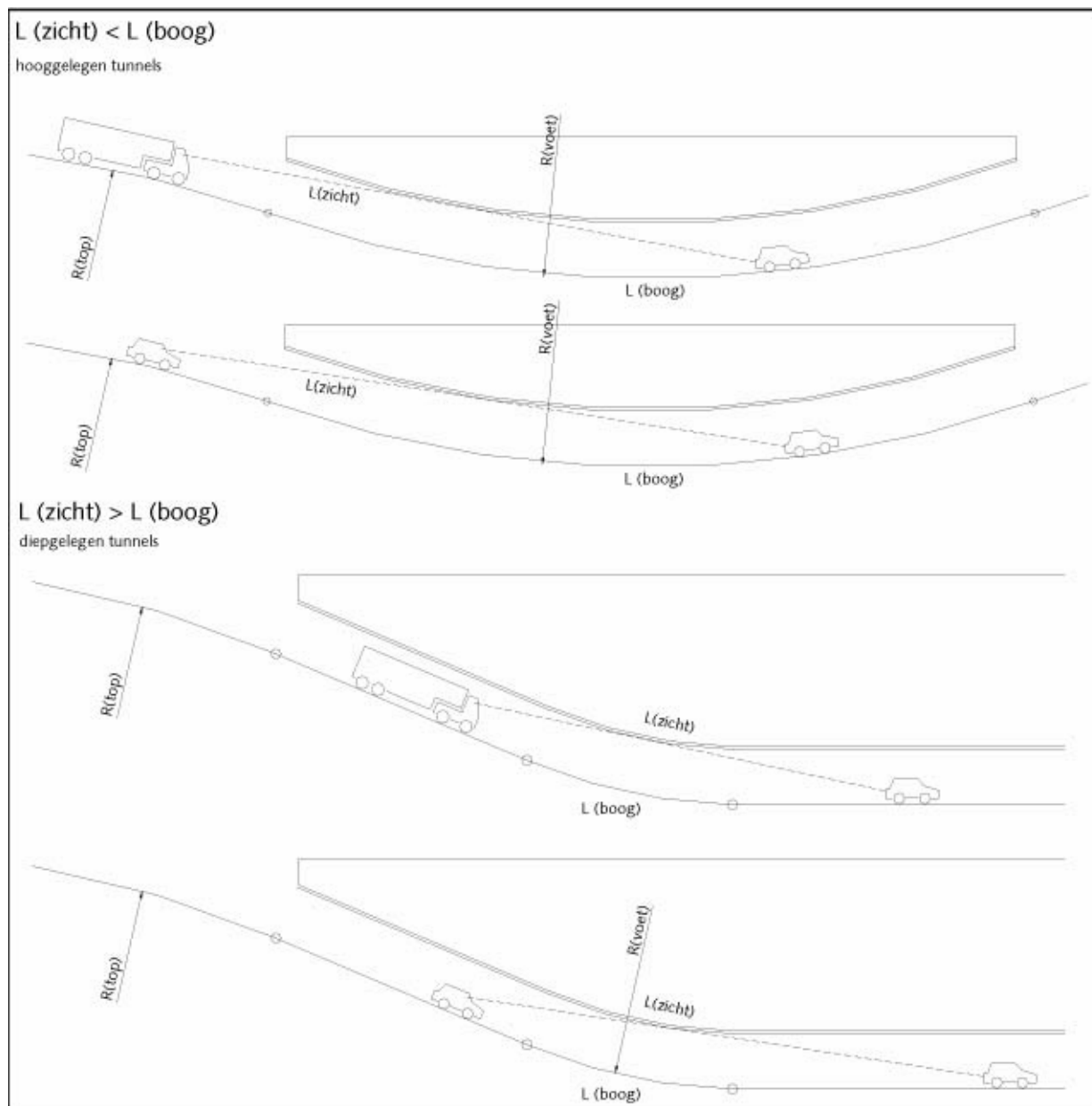
Bij de bepaling van de minimale voetbogen dient er zowel met de vrachtauto (ooghoogte 2,50m) als de personenauto (ooghoogte 1,10m) rekening gehouden te worden; in de meeste situaties zal de vrachtauto echter maatgevend zijn. Het is noodzakelijk om onderscheid te maken in twee type tunnels:

1. Tunnels waarin de **lengte van de voetboog groter is dan de benodigde zichtlengte**. Het alignement van deze veelal hooggelegen tunnels, bestaat meestal uit een topboog, een voetboog en een topboog.
2. Tunnels waarin de **lengte van de voetboog kleiner is dan de benodigde zichtlengte**. Het alignement van deze veelal diepgelegen tunnels, bevat meestal een helling.

#### **Lengte voetboog groter dan de benodigde zichtlengte**

Voor de maatgevende zichtafstand kan de minimaal benodigde stopzichtafstand worden gebruikt, waarbij gerekend mag worden met gereduceerde perceptie-reactietijden. Verder zijn de volgende aannames gedaan:

- Vrachtverkeer heeft op wegen met een ontwerpsnelheid van 120 km/h een snelheid van 90 km/h. Op overige wegen is de snelheid gelijk aan de ontwerpsnelheid;
- De benodigde zichtlengtes voor personenauto<sup>TM</sup> s en vrachtauto<sup>TM</sup> s zijn gelijk voor dezelfde rijsnelheden;
- Voor het waar te nemen object, wordt uitgegaan van de remlichten van een personenauto. In de praktijk blijkt dat de in de ROA genoemde hoogte van 0,50m aan de lage kant is. Voor de berekening van de minimale straal van voetbogen in tunnels, wordt daarom uitgegaan van een veiligere hoogte van 0,75m.
- In verband met de extra alterheid van bestuurders in tunnels, zal voor de minimaal benodigde stopzichtafstand gerekend mogen worden met de gereduceerde perceptie-reactietijden. Bij verdiepte liggingen, waarbij bestuurders het wegbeeld niet als afwijkend ervaren, zijn kortere perceptie-reactietijden niet hanteerbaar. Er zijn daarom twee tabellen opgenomen voor de minimale boogstralen van voetbogen, die in afzonderlijke situaties toegepast dienen te worden.



Afbeelding 2.3.2, Berekeningsprincipe voetbogen in tunnels

In Tabel 2.3.6 zijn de minimale stralen als functie van de plafondhoogte en de helling ( $p$ ) gegeven. Bij een steilere, dalende helling neemt de minimaal gewenste zichtlengte toe, door een langere remweg. De genoemde minimale stralen zijn alleen gebaseerd op de minimale stopzichtlengte. Er is dus geen rekening gehouden met comfort- en wegbeeldeisen.



plafondhoogte	ontwerpsnelheid	min. R <sub>h01</sub> (stopzicht)		
		p=2%	p=4%	p=6%
4,5 m	120 km/h	2280 m	2530 m	2830 m
	90 km/h	780 m	840 m	910 m
	70 km/h	250 m	270 m	290 m
	50 km/h	80 m	80 m	90 m
5,0 m	120 km/h	2000 m	2220 m	2480 m
	90 km/h	660 m	710 m	770 m
	70 km/h	220 m	230 m	240 m
	50 km/h	70 m	70 m	70 m

Tabel 2.3.6 Minimale boogstralen voetbogen in tunnels

#### Lengte voetboog kleiner dan de benodigde zichtlengte

Indien de lengte van voetboog kleiner is dan de benodigde zichtlengte, kan de eerder genoemde formule voor bogen die langer zijn dan de benodigde zichtlengte, niet toegepast worden. Het is zeer lastig om een formule af te leiden waarmee in deze situaties de minimale boogstraal van de voetboog eenduidig berekend kan worden.

Kiest de ontwerper echter voor een boogstraal die hoort bij een situatie waarin de voetboog langer is dan de benodigde zichtlengte, dan zal deze boogstraal ook voldoen in een situatie waarin de booglengte korter is dan de benodigde zichtlengte; laatstgenoemde situatie leidt doorgaans tot een geringere beperking van het zicht. Om te controleren of er sprake is van aanzienlijke overdimensionering, kunnen voor het ontwerp achteraf zichtafstanden berekend worden. In een iteratief proces kan zo het optimale ontwerp vastgesteld worden.

#### 2.3.2.4 De samengestelde boog

In bovenstaande paragrafen zijn de horizontale en verticale boog afzonderlijk behandeld. Indien er sprake is van een zogenaamde samengestelde boog, combinatie van een horizontale en een verticale boog, dan kunnen niet zo maar de afzonderlijke minimale boogstralen gecombineerd worden.

Per situatie zal moeten worden ingeschat of de combinatie van boogstralen tot een gewenst rijgedrag leidt.

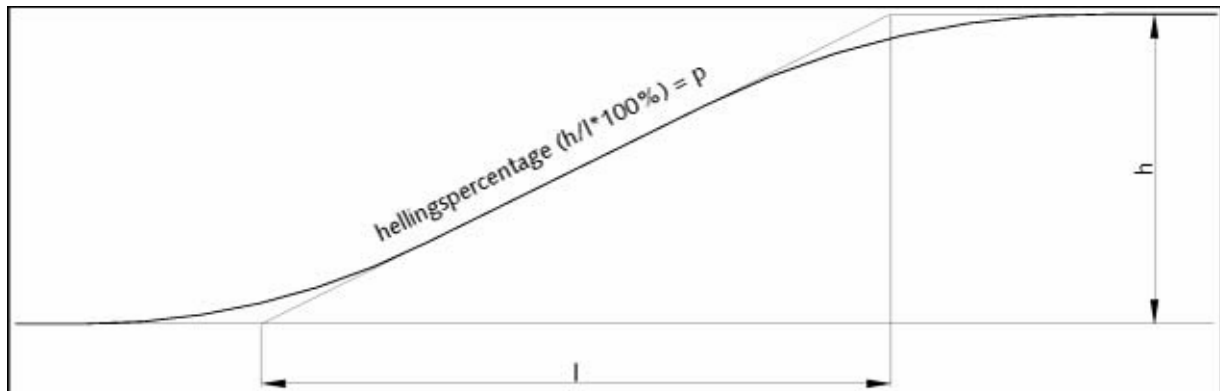
Het is dus niet mogelijk om algemeen geldende aanbevelingen te geven. Aan de hand van een wegbeeld-analyse zal door een deskundige bepaald moeten worden of het ontwerp voldoet. Daarbij speelt niet alleen het alignement een bepalende rol, maar ook bijvoorbeeld de vormgeving van de tunnelingang.

### 2.3.2.5 Hellingen

#### Inleiding

De twee bepalende karakteristieken van de langshelling zijn het hellingspercentage en de hellingslengte. Het hellingspercentage wordt ten opzichte van het horizontale vlak weergegeven. Onder de hellingslengte wordt verstaan: de horizontale afstand tussen de snijpunten van de raaklijnen aan de onder- en bovenaf rondingen.

In onderstaand figuur zijn de genoemde parameters weergegeven.



Afbeelding 2.3.3, Karakteristieken hellingen

Het hellingspercentage beïnvloedt de verkeersafwikkeling en de veiligheid van de weg. Het in een bepaalde situatie gewenste hellingspercentage dient beschouwd te worden in samenhang met verschillende andere wegkenmerken en verkeerskenmerken. De ontwerpsnelheid, de lengte van de helling, het horizontale verloop, de ligging ten opzichte van aansluitingen of knooppunten, de verkeerssamenstelling en intensiteit en kosten kunnen van invloed zijn op het te kiezen hellingspercentage.

Het maximaal toelaatbare hellingspercentage wordt in eerste instantie bepaald door de ontwerpsnelheid. In Tabel 2.3.7 zijn de maximale percentages (volgens de ROA) weergegeven voor wegvakken op een aardebaan.

Ontwerpsnelheid	50 km/h	70 km/h	90 km/h	120 km/h
<b>p<sub>max</sub> hoofdrijbaan</b>	-	-	4%	3%
<b>p<sub>max</sub> overige rijbanen</b>	7%	6%	5%	-

Tabel 2.3.7 Maximale hellingspercentages wegvakken op aardebaan

Bij bijzondere constructies, zoals tunnels en rivierovergangen worden in verband met de hoge kosten hellingen tot 4,5% geaccepteerd.

#### Hellingen in tunnels

*De tekst in deze paragraaf is grotendeels overgenomen uit het rapport 'Verkeerskundige consequenties van steilere hellingen in tunnels en aquaducten' [Dienst Verkeerskunde, 1990]. Voor achtergronden en meer informatie wordt dan ook naar dit rapport verwezen.*

**Maximaal mogelijke helling**

De wijze waarop het verticaal alignement bij tunnels en aquaducten ontworpen kan worden, is afhankelijk van de volgende factoren:

- Het te overwinnen hoogteverschil;
- De grootte van de stralen van top- en voetbogen;
- De wijze waarop de afzonderlijke ontwerpelementen van het lengteprofiel met elkaar worden verbonden.

De steilste helling wordt gerealiseerd wanneer top- en voetboog zonder tussenliggende rechtstand in elkaar overgaan. Het hellingspercentage dat maximaal mogelijk is, kan in dat geval worden berekend met behulp van de onderstaande formule:

$$i_{max} = \frac{200 \cdot \Delta H}{\sqrt{2 \cdot \Delta H \cdot (R_o + R_b)}}$$

waarin:

$i_{max}$  = het maximaal mogelijke hellingspercentage

$\Delta H$  = te overwinnen hoogteverschil [m]

$R_o + R_b$  = som van de boogstralen van de top- en voetboog [m]

Bij een hoogteverschil van ca. 30m, hetgeen als gemiddelde waarde voor de meeste Nederlandse tunnels kan worden aangehouden, zal bij een som van de boogstralen van top- en voetbogen welke uitsluitend is afgestemd op het zichtcriterium een steilere helling dan 7% in het algemeen niet mogelijk zijn.

Bij aquaducten zal het maximaal mogelijke hellingspercentage vanwege het veelal geringe hoogteverschil vrijwel nooit groter kunnen worden dan 5%.

Gezien de vele ruimtelijke- en bouwtechnische randvoorwaarden en daarbij mogelijke oplossingen voor combinatie van ontwerpelementen in het lengteprofiel, is het vrijwel onmogelijk om standaardoplossingen voor de samenstelling van het lengteprofiel te geven. Bij de combinatie van de afzonderlijke ontwerpelementen in het lengteprofiel zal de plaatselijke situatie dan ook vrijwel altijd bepalend zijn voor de uiteindelijke keuze van het lengteprofiel.

### 2.3.3 Profiel van vrije ruimte

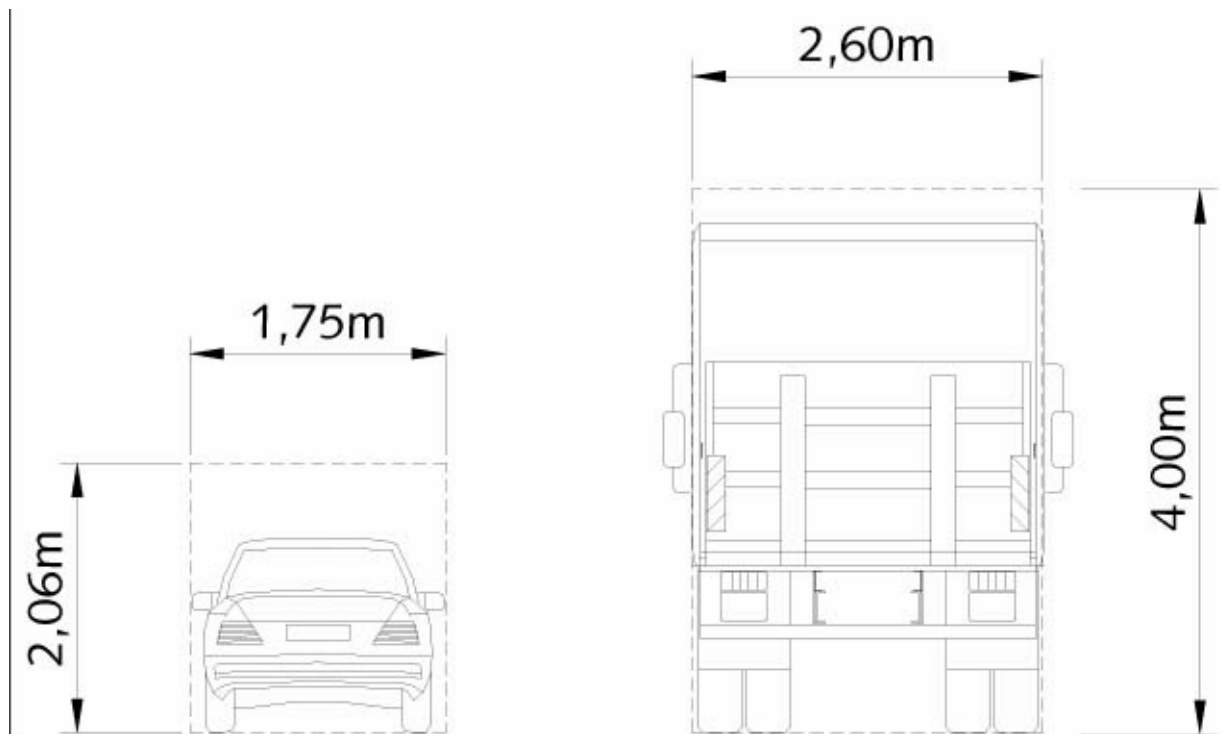
In het wegontwerp kan worden gevarieerd door het maken van keuzen in de uitgangspunten waarop het ontwerp berust. Deze uitgangspunten zijn de ontwerpsnelheid en het ontwerpvoertuig.

De **ontwerpsnelheid** is de gekozen snelheid die maatgevend is voor de vormgeving van de weg. In de huidige ROA wordt voor de hoofdrijbanen van autosnelwegen een ontwerpsnelheid van 120 km/h gehanteerd. Voor rangeerbanen wordt in de huidige ROA een ontwerpsnelheid van 90 km/h aangehouden. Op parallelbanen kan dezelfde of een lagere ontwerpsnelheid worden toegepast als op de hoofdrijbaan waarlangs de parallelbaan is gelegen.

Voor autosnelwegen in urbaan gebied wordt een ontwerpsnelheid van 90 km/h aangehouden.

Het ontwerp van een weg, of gedeelten daarvan, wordt afgestemd op de voertuigen die van die weg gebruik gaan maken. Voor het dimensioneren van een weg wordt uitgegaan van een denkbeeldig voertuig dat representatief is voor het voertuigenpark, het ontwerpvoertuig. Er zijn twee soorten ontwerpvoertuigen, de personenauto en de vrachtauto.

Het ontwerpvoertuig personenauto is bepaald door de afmetingen die door 95% van de personenauto's niet wordt overschreden. Het ontwerpvoertuig vrachtauto is gebaseerd op de wettelijke maximum afmetingen zoals die omschreven staan in het Wegenverkeersreglement. In onderstaand figuur zijn de afmetingen van de ontwerpvoertuigen weergegeven.



Afbeelding 2.3.4, Afmetingen ontwerpvoertuigen



Differentiatie in het ontwerp kan worden verkregen door beperkingen op te leggen aan het gebruik van de weg, door met name de bredere ontwerpvoertuigen, zoals de vrachtauto. Sommige elementen van het ontwerp behoeven dan niet op deze voertuigsoort te worden afgestemd.

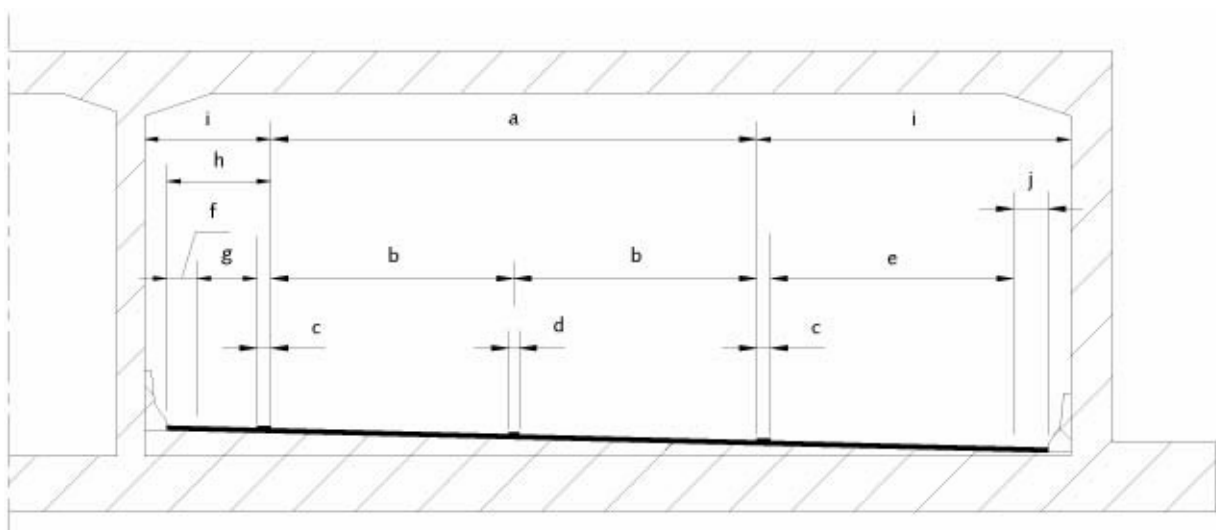
Een onderscheid op ontwerpsnelheid en ontwerpvoertuig maakt een meervoudig gebruik van de rijbaan mogelijk. Door binnen de bestaande grenzen de verharding anders in te delen kan een rijstrook aan de rijbaan worden toegevoegd. De ruimte voor de extra rijstrook kan ontstaan door de vluchtstrook op te heffen, door de ontwerpsnelheid aan te passen of door aan de (ontwerp)voertuigen beperkingen op te leggen bij het gebruik van de weg. Indien een alternatieve indeling wordt overwogen, is aandacht voor zaken als verkeersveiligheid, bereikbaarheid van hulpdiensten en incident-management noodzakelijk.

### 2.3.4 Dwarsprofiel

Het dwarsprofiel is een belangrijk onderdeel bij het streven naar een optimaal ontwerp. De concrete eisen waaraan het ontwerp van het dwarsprofiel moet voldoen zijn neergelegd in een aantal randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden, geformuleerd vanuit de invalshoek mens, voertuig en weg/omgeving, liggen vast. De karakteristieken van de mens laten zich lastig vertalen naar eisen die aan het ontwerp van het dwarsprofiel moeten worden gesteld. Voor het voertuig ligt dit wat eenvoudiger. De breedte, de hoogte en de snelheid hiervan zijn de belangrijkste kenmerken die op het ontwerp van invloed zijn.

Het dwarsprofiel is opgebouwd uit ontwerpelementen en de profielen van ruimte en de daarbij behorende veiligheidszones (Afbeelding 2.3.5). De ontwerpsnelheid en het ontwerpvoertuig vormen de uitgangspunten voor het ontwerp van het dwarsprofiel. Deze uitgangspunten liggen niet, zoals de randvoorwaarden vast, maar kunnen worden gekozen. Indien wordt gekozen voor een lagere ontwerpsnelheid of een bepaald ontwerpvoertuig, moet dit in het ontwerp en de ontwerpelementen tot uiting komen.

Bij het ontwerp zal ook steeds gelet moeten worden op de samenhang van elk element van het dwarsprofiel met de overige ontwerponderdelen.



Afbeelding 2.3.5, Ontwerpelementen dwarsprofiel

a = rijbaan	e = vluchtstrook	i = berm
b = rijstrook	f = zijstrook	j = uitstapruimte
c = kantstreep	g = redresseerstrook	
d = deelstreep	h = objectafstand	





Autosnelwegen (stroomweg categorie I) onderscheiden zich van de overige wegcategorieën onder meer door het specifieke dwarsprofiel: gescheiden rijbanen met twee of meer rijstroken per rijrichting. Essentiële bouwstenen van het dwarsprofiel zijn de ontwerpelementen. De verharding van de rijbaan is opgebouwd uit de elementen rijstrook, vluchtstrook, redresseer- of kantstrook en de markering in de vorm van deelstrepen en kantstrepen. Andere belangrijke elementen van het dwarsprofiel zijn de bermen, zoals midden- en zijberm. De bermen vormen een geïntegreerd onderdeel van het dwarsprofiel. Zo worden de vluchtstrook, de redresseer- of kantstrook en de kantstrepen tot de berm gerekend.

Net zoals de ontwerpelementen vormen ook de profielen van ruimte en de veiligheidszones essentiële bouwstenen van het dwarsprofiel. De profielen van ruimte geven aan welke ruimte voor het rijdend verkeer nodig is. Profielen van ruimte strekken zich uit in de breedte en de hoogte en zijn onder te verdelen in profielen van minimum ruimte en profielen van vrije ruimte. De veiligheidszones bevinden zich naast de rijbaan en bieden ruimte aan (gestrande) voertuigen en hulp- en onderhoudsdiensten.

#### 2.3.4.1 Profiel van ruimte

Het profiel van (minimum) ruimte wordt verkregen door aan de ruimte die het maatgevende ontwerpvoertuig in beslag neemt, de ruimte toe te voegen die dit voertuig nodig heeft voor de horizontale en verticale bewegingen tijdens het rijden. De horizontale bewegingen van het voertuig worden ook wel vetergang genoemd. De vetergang is de van de rechte lijn afwijkende koers die een voertuig rijdt en wordt veroorzaakt door storende krachten, zoals zijwind en de daaruit weer volgende koerscorrecties. De vetergang blijkt sterk afhankelijk van de beschikbare ruimte. Een kleine ruimte leidt tot verkrampd rijden en een grote ruimte tot minder attent rijden. De kleinste afwijking van de rechte koers bij personenauto™'s treedt op bij een restruimte van 1,10 m bij 90 km/h tot 1,60 m bij 120 km/h. We mogen aannemen dat wegens de voortschrijdende voertuigtechniek de vetergang tegenwoordig minder is dan waarvan in het verleden (ook in de huidige ROA) nog werd uitgegaan. Exacte cijfers hierover ontbreken echter nog.

In verband met de verticale bewegingen tijdens het rijden wordt aan de hoogte van het ontwerpvoertuig een marge van 0,20 m toegevoegd.

In Tabel 2.3.8 zijn de afmetingen van de profielen van ruimte per ontwerpvoertuig weergegeven.

Ontwerpvoertuig	Ontwerpsnelheid	Voertuigbreedte	Vetergang	Profiel van ruimte Breedte
Personenauto	120 km/h	1,75 m	1,60 m	3,35 m
Personenauto	90 km/h	1,75 m	1,10 m	2,85 m
Vrachtauto	80 km/h	2,60 m	0,60 m	3,20 m



Ontwerpvoertuig	Ontwerpsnelheid	Voertuighoogte <sup>1</sup>	Marge	Profiel van ruimte Hoogte
Personenauto	120 km/h	2,06 m	0,20 m	2,26 m
Personenauto	90 km/h	2,06 m	0,20 m	2,26 m
Vrachtauto	80 km/h	4,00 m	0,20 m	4,20 m

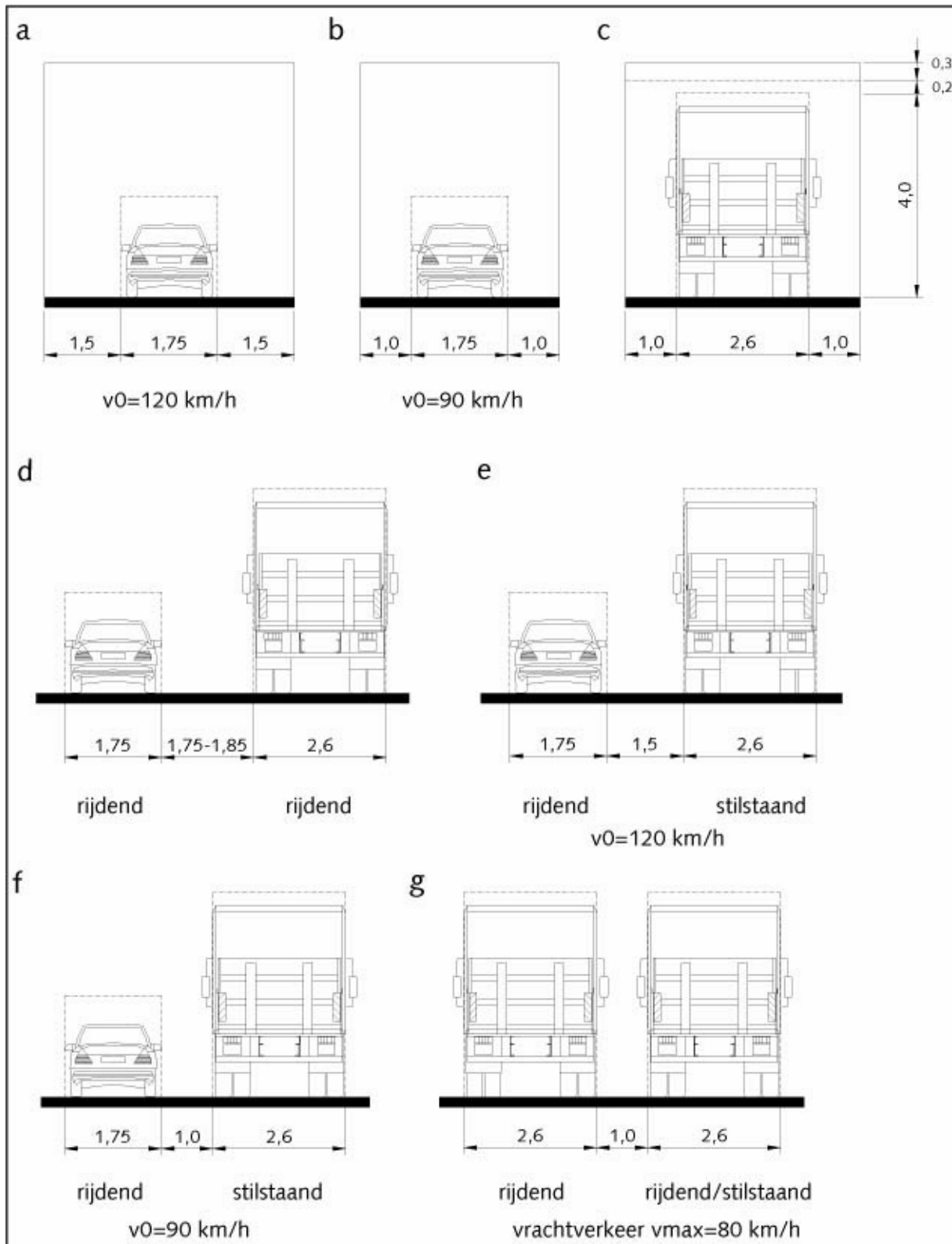
1. De marge die vermeld staat bij de hoogte van het profiel van ruimte van het ontwerpvoertuig personenauto is slechts indicatief; het maatgevende voertuig voor wat betreft de hoogte is de vrachtauto. Indien in een tunnel alleen personenauto's zijn toegestaan, dan zal een andere marge van toepassing zijn. Omdat in Nederland (nog) geen tunnels voorkomen waar alleen personenauto's gebruik van mogen maken, is er onderzoek noodzakelijk voordat hiertoe besloten wordt.

Tabel 2.3.8 Profielen van vrije ruimte (horizontaal en verticaal)

### 2.3.4.2 Profiel van vrije ruimte

Het profiel van vrije ruimte is de ruimte waarbinnen geen vaste voorwerpen mogen voorkomen. Bestuurders van voertuigen houden een zekere afstand aan ten opzichte van vaste voorwerpen (Afbeelding 2.3.6 a,b,c). Het scheelt of het object continue aanwezig is, zoals een geleideconstructie of dat het een incidenteel object betreft. Een stilstaand voertuig op de vluchtstrook kan ook worden beschouwd als een vast voorwerp (Afbeelding 2.3.6 e,f,g). Dit voertuig bevindt zich dan in het profiel van vrije ruimte en zou om die reden zo snel mogelijk daarbuiten moeten worden geplaatst. Het profiel van vrije ruimte is afhankelijk van de ontwerpsnelheid. Bij het inhalen van rijdend verkeer op 2-strooks rijbanen houden bestuurders van voertuigen in de linkerrijstrook een veiligheidsmarge aan die groter is dan de marge die ten opzichte van vaste voorwerpen wordt aangehouden. In de huidige ROA is bij 120 km/h deze veiligheidsmarge op 1,75 à 1,85 m gesteld (Afbeelding 2.3.6 d). Bij een lagere ontwerpsnelheid benadert de veiligheidsmarge de afstand die ten opzichte van vaste voorwerpen worden aangehouden. In de middelste rijstrook zijn de voertuigen aan weerszijden ingesloten door rijdend verkeer. Verondersteld wordt dat dit van invloed is op de grootte van de veiligheidsmarge die in deze rijstrook door bestuurders van voertuigen wordt aangehouden. Ook wordt verondersteld wordt dat een verschil in massa tussen de voertuigen onderling een rol speelt. Over de invloed van deze aspecten is echter nog onvoldoende bekend.

De hoogte van het profiel van vrije ruimte (de doorrijhoogte) bedraagt 4,50 m. Dit is de het profiel van minimum ruimte van het maatgevende ontwerpvoertuig waaraan een verticale objectafstand van 0,30 m is toegevoegd. In figuur en tabel zijn de verschillende profielen van vrije ruimte weergegeven.



Afbeelding 2.3.6, Profielen van vrije ruimte



Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Voertuigbreedte	Objectafstand	Profiel van vrije ruimte, Breedte
120 km/h	Personenauto	1,75 m	1,50 m	4,75 m
90 km/h	Personenauto	1,75 m	1,00 m	3,75 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	1,00 m	4,60 m

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Voertuighoogte	Marge	Objectafstand	Profiel van vrije ruimte, Hoogte
120 km/h	Personenauto	2,06 m	0,20 m	-	-
90 km/h	Personenauto	2,06 m	0,20 m	-	-
80 km/h	Vrachtauto	4,00 m	0,20 m	0,30 m	4,50 m

Tabel 2.3.9 Profielen van vrije ruimte, breedte (boven) en hoogte (onder)

\*) Vanwege kostenbesparingen wordt in tunnels meestal een objectafstand van 1,0m gehanteerd. Over de effecten van deze reductie op de veiligheid en de doorstroming zijn geen onderzoeksresultaten bekend.

### 2.3.4.3 Veiligheidszones

In verband met toekomstige overlagingen wordt de vrije doorrijhoogte met 0,10 m vermeerderd. Wordt dit niet gedaan, dan moet altijd worden gefreesd. Omdat bij de toepassing van ZOAB altijd wordt gefreesd is de vermeerdering in dat geval dus niet noodzakelijk.

De doorrijhoogte geldt voor dat gedeelte van de verharding waarover gereden kan worden. Dit is dus inclusief de redresseer- of kantstrook, vluchtstrook en de mogelijke uitbuigingsruimte van de geleiderailconstructie. Dit laatste is vooral van belang voor de vrije hoogte onder kunstwerken en in tunnels.





## 2.3.5 Ontwerpelementen

Er bestaat een complexe samenhang tussen enerzijds de toepassing en de afmetingen van de ontwerpelementen en anderzijds de doelstellingen van de verkeersordening, de randvoorwaarden, de uitgangspunten en de eisen van de profielen van ruimte en de veiligheidszones. Deze samenhang is echter lang niet voor alle relaties exact bekend.

Bij het bepalen van de afmetingen van de ontwerpelementen en bij het indelen van het dwarsprofiel moet ernaar gestreefd worden dat voertuigen elkaar op de gewenste afstand kunnen passeren en dat vaste voorwerpen op de vereiste afstand naast de rijbaan worden geplaatst.

### 2.3.5.1 Rijstrook

Voor het bepalen van de breedte van een rijstrook is allereerst de breedte van het ontwerpvoertuig van belang. Daarbij moet dan nog opgeteld worden de ruimte die nodig is voor de vetergang van het voertuig. De vetergang is sterk afhankelijk van de restbreedte in de rijstrook. De restbreedte is ook van invloed op de door de bestuurders (vrij) gekozen rijnsnelheid. Naarmate de restbreedte groter is neemt de hoogte van de gereden snelheid toe. Dit betekent dat de keuze van de breedte van de rijstrook mede dient te worden gezien in relatie tot de ontwerpsnelheid.

Bij het bepalen van de gewenste rijstrookbreedte dient eveneens rekening te worden gehouden met de objectvrees. Deze komt tot uiting in de afstand die door bestuurders wordt aangehouden ten opzichte van vaste voorwerpen langs de rijbaan en de zich op de weg bevindende al dan niet rijdende voertuigen.

Enige invloed van rijdende voertuigen ter weerszijden van de middelste rijstrook op het gedrag van de bestuurder in die rijstrook wordt verondersteld, maar het effect daarvan is nog onbekend.

De objectafstand is gelijk aan de afstanden behorende bij het profiel van vrije ruimte en is afhankelijk van de rijnsnelheid. Bij rijbanen die uit twee of meer rijstroken bestaan worden de rijstroken gemeten inclusief de deelstrepen. In onderstaande tabel zijn rijstrookbreedtes en objectafstanden weergegeven.

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Voertuigbreedte	Rijstrookbreedte	Objectafstand
120 km/h	Personenauto	1,75 m	3,50 m	1,50 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,50 m	1,00 m
90 km/h	Personenauto	1,75 m	3,00 m	1,00 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,35 m	1,00 m

Tabel 2.3.10 Rijstrookbreedtes en objectafstanden



### 2.3.5.2 Vluchtstrook

De benodigde breedte van een vluchtstrook is zodanig dat het ontwerpvoertuig er op kan stilstaan. Bijrijbaangebruik door alleen personenauto<sup>TM</sup> s hoeft de vluchtstrook in principe ook alleen op deze voertuigcategorie te worden afgestemd. Extra aandacht verdient in dat geval de hulpverlening door bergingsvoertuigen via de vluchtstrook. Het afhandelen van pech dient plaats te vinden op daartoe speciaal aangebrachte vluchthavens, deels buiten de vluchtstrook.

Tevens moet een voertuig in voldoende mate snelheid kunnen verminderen of vermeerderen zodat het verlaten c.q. oprijden van de rijbaan zo weinig mogelijk hinder veroorzaakt voor het doorgaande verkeer. Bij een ontwerpsnelheid van 90 km/h wordt voor deze manoeuvres een restbreedte van 0,50 m, behorende bij drievierde van de ontwerpsnelheid, voldoende geacht.

Aangenomen wordt dat een bestuurder zijn voertuig tot op de rand van de verharding stilzet. De bestuurder moet dan veilig kunnen in- en uitstappen. Bij aanwezigheid van een geleideconstructie zal er daarvoor ruimte naast het voertuig moeten zijn. Ten opzichte van in langsrichting continue aanwezige voorwerpen wordt een uitstapruimte in acht genomen. Deze ruimte is ook nodig omdat een bestuurder zijn voertuig niet strak langs een geleideconstructie zal neerzetten. De vluchtstrook is onderdeel van de obstakelvrije zone en maakt tevens deel uit van het profiel van vrije ruimte en wordt gemeten vanaf de binnenkant van de kantstreep. Om ongelukken op de vluchtstrook zelf te voorkomen wordt direct naast de verharding een vluchtruimte gecreëerd. Voertuigen die een vluchthaven niet kunnen bereiken en tot stilstand zijn gekomen kunnen daar dan neergezet worden. Als er geen vluchtstrook aanwezig is moet naast de rijbaan ook zo<sup>TM</sup> n ruimte worden aangehouden, opdat daarin een gestrand voertuig kan worden weggezet. Er wordt van uitgegaan dat bij afwezigheid van een vluchtstrook een voertuig direct naast (de buitenzijde van) de kantstreep wordt neergezet.

De bergingsstrook wordt gedimensioneerd op de afmetingen van een personenauto. Een vrachtauto zal niet zo gauw op een onverharde berm gaan staan, ook al is de berm draagkrachtig. Bij aanwezigheid van een geleideconstructie zal er, net zo als dat bij een vluchtstrook het geval is, naast het voertuig ruimte moeten zijn om te kunnen in- en uitstappen. Ook hier is deze ruimte nodig omdat de bestuurder zijn voertuig niet strak naast de geleideconstructie zal neerzetten. In Tabel 2.3.11 zijn de afmetingen van de vluchtstrook weergegeven.

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Voertuigbreedte	Vluchtstrook	Bergingsstrook	Uitstapruimte
120 km/h	Personenauto	1,75 m	3,25 m	1,75 m	0,50 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,25 m	-	0,50 m
90 km/h	Personenauto	1,75 m	2,25*) m	1,75 m	0,50 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,10*) m	-	0,50 m

Tabel 2.3.11 Dimensionering vluchtstrook

\*) inclusief kantstreep



Aan de linkerkant van de rijbaan wordt de bergingszone vaak achterwege gelaten. Door het ontbreken van een bergingszone kan bij een smaller wordende verhardingsbreedte de afwezigheid van deze zone tot een toenemende verstoring van de verkeersafwikkeling leiden die groter is naarmate de beschikbare ruimte kleiner is.

### 2.3.5.3 Redresseerstrook (kantstrook)

Bij afwezigheid van een vluchtstrook wordt een redresseerstrook toegepast. De breedte van de redresseerstrook is afhankelijk van de ontwerpsnelheid en dient te worden gezien in relatie tot de breedte van de naastgelegen rijstrook. De breedte van de redresseerstrook langs rijbanen met een ontwerpsnelheid van 120 km/h bedraagt, gemeten naast de kantstreep, volgens de huidige ROA 0,60 m (Tabel 2.3.12). Bij een ontwerpsnelheid van 90 km/h bedraagt deze 0,30 m. In beide situaties heeft de kantstreep een breedte van 0,20 m. De redresseer- of kantstrook maakt samen met de kantstreep deel uit van het profiel van vrije ruimte c.q. de objectafstand.

Ontwerpsnelheid	Redresseerstrook	Kantstreep	Objectafstand
120 km/h	0,60 m	0,20 m	1,50 m
90 km/h	0,30 m	0,20 m	1,00 m
80 km/h	-	-	1,00 m

Tabel 2.3.12 Redresseerstrook en objectafstand

### 2.3.5.4 Markering

Met de markering wordt de indeling van de rijbaan aangegeven en wordt het verloop van de weg verduidelijkt. Ook de bestemming van de verschillende ontwerpelementen, met betrekking tot het verharde gedeelte van het dwarsprofiel, wordt ermee aangeduid.

Bepalend voor de afmeting van de markering is de breedte van de naastgelegen rijstrook en de totale verhardingsbreedte. De gewenste maatvoering is afhankelijk van het type markering. De breedte van de kantstrepen is groter dan die van de deelstrepen. De deelstreep is onderdeel van de rijstroken waartussen deze ligt. In tegenstelling tot de deelstrepen maken de kantstroken geen deel uit van de rijbaan.

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Voertuigbreedte	Rijstrookbreedte	Deelstreep	Kantstreep
120 km/h	Personenauto	1,75 m	3,50 m	0,15 m	0,20 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,50 m	0,15 m	0,20 m
90 km/h	Personenauto	1,75 m	3,00 m	0,10 m	0,15 m
80 km/h	Vrachtauto	2,60 m	3,35 m	0,10 m	0,15 m

Tabel 2.3.13 Kant- en deelstrepen





### **2.3.5.5 Verhardingsbreedte**

De ontwerpelementen rijstrook, vluchtstrook, redresseer- of kantstrook en markering moeten niet alleen afzonderlijk worden beschouwd in relatie tot de doelstellingen, randvoorwaarden en uitgangspunten, maar ook worden gezien in hun onderlinge samenhang en de invloed die daarbij uitgaat op het vaststellen van de totaal benodigde verhardingsbreedte. Daarbij dienen ook de profielen van vrije ruimte en veiligheidszones in acht te worden genomen. De objectafstand c.q. de veiligheidsmarge tussen de voertuigen onderling wordt slechts eenmaal toegekend, en wel de grootste bijbehorende afstand van beide bij de beschouwing betrokken (ontwerp)voertuigen.

Bij aanwezigheid van een voertuig in een bergingsstrook direct naast de rijbaan wordt de objectafstand niet volledig in acht genomen. Een verstoring van de verkeersafwikkeling is dan onvermijdelijk en er dient rekening mee te worden gehouden dat naarmate de beschikbare ruimte kleiner is de verstoring groter zal zijn.

### **2.3.5.6 Berm**

De bermen vormen een geïntegreerd onderdeel van het dwarsprofiel van de weg. Een belangrijk kenmerk van autosnelwegen is dat het verkeer in tegengestelde richting fysiek wordt gescheiden door een middenberm. De zijberm vormt de geleidelijke overgang tussen de weg en de omgeving. De minimale breedte voor de berm bedraagt naast de verharding 3,00 m.

In de berm worden ook het profiel van vrije ruimte en de veiligheidszones ondergebracht.



### 2.3.5.7 Hulpmiddelen wegontwerp

#### Inleiding

Er zijn diverse hulpmiddelen beschikbaar, waarmee geanalyseerd kan worden of een wegontwerp in een tunnel voldoet aan de gestelde eisen. Onderstaand is voor de belangrijkste hulpmiddelen een korte omschrijving gegeven.

#### Simvra+

SimVra+ is een simulatiepakket dat het snelheidsverloop berekent van een (vracht-)auto op een bepaald verticaal alignement. Het programma is bedoeld voor toepassing bij het ontwerp van verticale alignementen bij tunnels, hooggelegen bruggen en overige lokaties waar zwaar verkeer snelheidsproblemen ondervindt. SimVra+ is geschikt voor het bepalen van het snelheidsverloop bij zowel deceleraties (terugval van de snelheid ten gevolge van een helling), als acceleraties (bijvoorbeeld optrekken bij installaties voor toeritdosering).

Het verticale alignement kan op drie manieren worden gespecificeerd in SimVra+: uit een bestand met een MOSS/MX M-string, uit een bestand met ASCII-gegevens en handmatig via een invoerscherm in SimVra+. Voor voertuigen is het mogelijk om de zeer specialistische kenmerken van motor, aandrijflijn, weerstanden, etc. in te vullen. In bijna alle gevallen zullen de aanwezige standaardvoertuigen echter voorzien in een representatief voertuig. SimVra+ bevat naast een algemeen standaardvoertuig een aantal afgeleiden daarvan die op specifieke toepassingen zijn afgestemd.

Nadat de invoergegevens zijn vastgesteld kan de simulatie worden uitgevoerd. Deze duurt in algemeen slechts enkele seconden (uiteraard afhankelijk van PC en omvang simulatie). Daarna verschijnt een grafiek met de resultaten. In deze grafiek kan optioneel worden weergegeven:

- Het verticaal alignement van het traject en de maximale hellingswaarden;
- Het verloop van de snelheid op het traject;
- De benodigde tijd voor het afleggen van de weg;
- De plaatsen waar geschakeld is en de schakelrichting (op-/terugschakelen).

Naast een grafiek kan ook een tabel worden afgedrukt waarin over intervallen (waarvan de grootte moet worden opgegeven) de status van het voertuig wordt weergegeven: snelheid, tijd om dat punt te bereiken en schakeltoestand.

De applicatie is verkrijgbaar (kosteloos voor RWS-gebruikers) via de afdeling Wegontwerp van de Bouwdienst.

#### Zicht, versie 1.01

Met de applicatie Zicht kan het geometrisch ontwerp van de weg rekenkundig geanalyseerd worden, waarmee toetsing aan de ROA en RONA richtlijnen mogelijk is. Met behulp van de analyse kan een uitspraak gedaan worden over de aanwezige zichtafstanden, ook in complexe situaties. Tevens is de applicatie een goed hulpmiddel bij het toetsen van ontwerpen van derden.

De applicatie Zicht draait binnen AutoCAD Land Development Desktop 2 (en Autodesk Civil Design 2), AutoCAD Map 2000 en AutoCAD 2000. De applicatie Zicht heeft als basis een ray-trace module waarbij op basis van gerenderde plaatjes vanuit het standpunt van de waarnemer, stralen (rays) worden afgeschoten op de objecten in het model. De lengte van de straal bepaalt de afstand tussen het object en de waarnemer.



Door nu een object door het model te laten bewegen, wordt het mogelijk om te bepalen wanneer deze nog zichtbaar is en wanneer niet. Ook de waarnemer beweegt zich door het model en zo kan een geheel 3D model worden geanalyseerd. Voor het uitvoeren van zichtafstanden berekeningen is een driedimensionaal model nodig, bestaande uit vlakken. Het vlakkenmodel kan gemaakt zijn met programma<sup>TM</sup>s, zoals MX, AutoCAD LDD of WoCAD. De gebruiker van de applicatie Zicht wordt stap voor stap door de berekening van zichtafstanden geleid met behulp van een zogenaamde wizard<sup>TM</sup>. Nadat de gebruiker onder meer de positie van de bestuurder in het dwarsprofiel, de ontwerpsnelheid en de nauwkeurigheid van de berekening heeft opgegeven, geeft men op welk type zichtafstand moet worden berekend: stopzicht, uitwijkzicht, wegverloopzicht of plaatselijk zicht. Tevens kan men met Zicht de zogenaamde zichtvrije zone bepalen; de zichtvrije zone is het gebied rond de weg waarbinnen geen zichtbelemmerende objecten aanwezig mogen zijn.

Als de aanwezige zichtafstanden zijn berekend, dan kan de gebruiker kiezen uit een aantal uitvoermogelijkheden, te weten: tabel, grafiek, zichtvrije zone of perspectief. De gebruiker kan aan de hand van een grafiek of tabel eventuele knelpunten in het ontwerp lokaliseren. Met behulp van perspectieven kan inzicht worden verkregen in de oorzaak van de zichtbeperking en de lengte/tijd waarover de zichtbeperking optreedt.

Naast het berekenen en analyseren van zichtafstanden, biedt Zicht functionaliteit om objecten aan het weg/- terreinmodel toe te voegen. De gebruiker kan zo het model op eenvoudige wijze geschikt maken voor diverse zichtafstand berekeningen. Zicht biedt onder andere functionaliteit voor het definiëren en plaatsen van portalen, uithouders, geleiderail, geluidsschermen, tunnels, struiken en zelf te definiëren vrije objecten.

Zicht is kosteloos beschikbaar voor RWS-gebruikers. Voor het verkrijgen van de applicatie Zicht kan contact opgenomen worden met dhr. T.N. Wiering van NedGraphics (030-2488026).

## **Visualisatie**

### **Inleiding**

Visualisatie is een verzamelbegrip. Onder visualisatie vallen een groot aantal technieken, methoden en presentatievormen. Informatie over visualisatie is overgenomen uit het 'Handboek Visualisatie<sup>TM</sup> [Bouwdienst, 1999]. Voor het analyseren van het wegbeeld kan men gebruik maken van:

#### **Still**

De meest eenvoudige vorm van presentatie is een afbeelding op papier of een computerscherm. Dit wordt in het jargon ook wel een 'still' genoemd. Een enkele afbeelding is zowel mogelijk bij draadperspectieven als bij fotorealistische verbeeldingen.

#### **Animatie**

De meest eenvoudige vorm van presentatie is een afbeelding op papier of een computerscherm. Dit wordt in het jargon ook wel een 'still' genoemd. Een enkele afbeelding is zowel mogelijk bij draadperspectieven als bij fotorealistische verbeeldingen.

#### **Virtual reality**



Een animatie heeft ondanks de beweging toch een min of meer statisch karakter. Men loopt steeds hetzelfde flight-path af en kijkt steeds dezelfde richting uit. Virtual Reality (VR) biedt wat beweging betreft de meeste vrijheid. Men kan vrij door het model bewegen en alle richtingen uitkijken. Het beeld van de waarnemer kan op verschillende manieren gepresenteerd worden. De eenvoudigste wijze is een computerscherm. De voor een wegbeeldanalyse meest geschikte vorm, is de rijnsimulator. In een aangepast voertuig kan men virtueel door het wegmodel ,rijden™. Het wegmodel wordt op meerdere of een gekromd scherm geprojecteerd.

### **Fosim**

Fosim is een zogenaamd microscopisch simulatiemodel voor Nederlands autosnelwegverkeer. Dat wil zeggen, dat tijdens de simulatie het gedrag van elke afzonderlijke bestuurder wordt nagebootst. Dit betekent, dat bij de invoer geen verkeersstroomkenmerken zoals de capaciteit gegeven hoeven te worden, maar dat deze een uitkomst van de simulatie zijn. Dit maakt het model specifiek geschikt om gevolgen van een bepaald geometrisch ontwerp op de verkeersafwikkeling te bestuderen.

Ten aanzien van de geometrische kenmerken gaat Fosim uit van wegvakken die voldoen aan de ROA (1993). Fosim kan dus niet omgaan met smalle rijstroken en de invloed van objecten langs de weg die bestuurders beïnvloeden. Verder neemt Fosim niet direct de beperkende werking van krappe horizontale bogen, hellingen en een beperkt profiel van vrije ruimte (tunnels) mee. Wel is in de invoer door de gebruiker een lokale beperking van de snelheid op te geven om de invloed van bovenstaande enigszins na te bootsen.

Momenteel is er echter een versie in ontwikkeling waarin het mogelijk is hellingen te simuleren. Daarbij wordt uitgegaan van de resultaten die met SimVra+ worden berekend. Ook is een onderzoek gestart naar het effect van tunnelprofielen op de verkeersafwikkeling. Een versie met deze simulatiemogelijkheden is op korte termijn echter niet te verwachten.





## **Inhoudsopgave Niet autosnelwegen**

- 2.4.1 Alignement
  - 2.4.1.1 Ruimtelijke alignement
  - 2.4.1.2 Horizontaal alignement
  - 2.4.1.3 Verticaal alignement
- 2.4.2 Hellingen
  - 2.4.2.1 Langshellingspercentage
  - 2.4.2.2 Dwarshellinpercentage
- 2.4.3 Stroken
  - 2.4.3.1 Aantal rijstroken
  - 2.4.3.2 Breedte
  - 2.4.3.3 Inhaal- c.q. kruipstrook
  - 2.4.3.4 Kantstrook
- 2.4.4 Dwarsprofiel
  - 2.4.4.1 Breedte profiel van vrije ruimte
  - 2.4.4.2 Hoogte profiel van vrije ruimte
  - 2.4.4.3 Zone voor tunnelinrichting



---

Dwars en lengteprofielen



## 2.4 NIET AUTOSNELWEGEN

### 2.4.1 Alignement

#### 2.4.1.1 Ruimtelijke alignement

##### Wegcategorie

Wegcategorie bepaalt in principe de ontwerpsnelheid. [Tabel 2.4.1]

WEGGEBRUIKER		
HOOFDCATEGORIE	B	C
CATEGORIE-AANDUIDING		
SITUATIE	Tegemoetkomend verkeer aanwezig Kruisend verkeer aanwezig	Tegemoetkomend verkeer aanwezig Kruisend verkeer aanwezig





ONTWERPER						
BENAMING	Autoweg				Weg met geheel of gedeeltelijk geslotenverklaring voor langzaam verkeer (in elk geval gesloten voor (brom)fietsers)	
	Hoofdcategorie B				Hoofdcategorie C	
	Hoofdwegennet		Niet-hoofdwegennet		Niet-hoofdwegennet	
CATEGORIE	III	IV	III	IV	V	VI
WEG-OMGEVING	Alle situaties	Urbaan	Alle situaties	Alle situaties	Alle situaties	Alle situaties
ONTWERP-SNELHEID	100 km/h	80 km/h	100 km/h	100 km/h	80 km/h	60 km/h
DWARS-PROFIEL	Enkelbaans	Dubbelbaans	Enkelbaans	Dubbelbaans	Enkelbaans	Enkelbaans
KRUISPUNTVORM	Gelijkvloers <sup>a</sup>	Gelijkvloers	Gelijkvloers <sup>b</sup>	Gelijkvloers	Gelijkvloers	Gelijkvloers
KRUISINGSVORM	Ongelijkvloers	Ongelijkvloers	Ongelijkvloers	Ongelijkvloers	Gelijkvloers	Gelijkvloers
INDICATIE NETWERKFUNCTIE	Weg met een functie voor het langeafstandsverkeer	Weg met een belangrijke ontsluitingsfunctie voor een stad of agglomeratie	Wegverbinding tussen belangrijke kernen in een regio	Een belangrijke verbinding tussen kernen in een regio	Weg met een functie voor het middellangeafstandsverkeer of ontsluitingsweg voor een regio	Weg van overwegend lokaal belang met een beperkte verkeersfunctie

a. Ongelijkvloerse kruispunten kunnen in bepaalde omstandigheden voorkomen.

b. Ongelijkvloerse kruispunten kunnen in bepaalde omstandigheden voorkomen.

Tabel 2.4.1 Categorie-indeling voor wegen buiten de bebouwde kom [18]

Ontwerpsnelheid niet alleen laten afhangen van de wegcategorie, echter ook van omgevingsfactoren en het alignement van de voorafgaande wegvakken [10 - 9].

#### Aansluitende wegen

Indien in- en uitvoeringen van aansluitende wegen op voldoende afstand van elkaar c.q. tunnel zijn gelegen, dan zullen deze capaciteit en afwikkelingsintensiteit van de tunnel niet nadelig beïnvloeden [1 - 3].

Juist in stedelijke gebieden kunnen de aansluitende wegen van belang zijn voor het ruimtelijk alignement.

#### Landschaps- en bebouwingselementen [7 - 2]

Bij een lagere wegcategorie meer rekening houden met de omgevingskenmerken van de weg.



### Wegverkeerssysteem [7 - 2]

Relatie tussen mens, weg en voertuig.

#### Mens:

- de kunde
- de ervaring
- de instelling

De rijtaak van de mens bestaat uit het proces van waarnemen, beoordelen, beslissen en reageren.

#### Weg:

- informatiebron
- feitelijke rijbaan

#### Voertuig:

- vorm en afmeting bepalend voor ooghoogte i.v.m. zichtafstanden.

### Horizontaal en verticaal alignement

Het horizontale en verticale alignement dienen - ter voorkoming van knelpunten bij latere stappen - reeds vanaf het begin in onderlinge samenhang te worden ontworpen [7 - 1].

Regels voor de combinatie van het horizontale en verticale alignement zijn samengevat in Tabel 2.4.2.

De 5 regels zijn:	
1.	Verticale holle boogstralen in combinatie met kleine horizontale boogstralen (kleiner dan 500 m) kunnen ertoe leiden dat de horizontale straal groter wordt ingeschat dan hij in werkelijkheid is.
2.	Er moet extra aandacht besteed worden aan de ruimtelijke vorm indien combinaties van minima in horizontale en verticale zin worden toegepast.
3.	De aanpassing aan de verticale vormen van het landschap moet niet te ver worden doorgevoerd.
4.	Voor een vloeiend verloop is het noodzakelijk de tangentpunten van de horizontale en verticale bogen te laten samenvallen, waarbij de beide bogen eveneens gelijktijdig optreden.
5.	Voor het bewerkstelligen van een rustiger wegbeeld verdient het aanbeveling te streven naar een beperking van het aantal ruimtelijke elementen

Tabel 2.4.2 Regels voor de combinatie van het horizontale en verticale alignement [7 - 6]

### Zichtafstanden

Soepel en/of veilig reageren mogelijk maken op gebeurtenissen en situaties achter, opzij en voor het voertuig [16 - 4.4].

De aard van de handeling (inhalen, remmen etc.) bepaalt welk soort zichtafstand in het ontwerp moet worden gehanteerd [7 - 3.1].

Typen zicht:<sup>1</sup>

- rijzicht [7 - 3.3]
- stopzicht [7 - 3.4]

1. De typen zicht zijn op dit moment voor niet-autosnelwegen, zie [7] van 1989, anders gedefinieerd dan voor autosnelwegen, zie [16] van 1991. Mogelijk dat dit in de toekomst wordt gelijkgetrokken.



- inhaalzicht [7 - 3.5]
- oprijzicht [7 - 3.6]

Het wegverloop bij tunnels is in verband met zichtlengte van groot belang [7 - 8].

### **Continuïteit**

In het geheel van weg en wegomgeving moet gestreefd worden naar een continue en voldoende afwisselende informatiestroom.

Aangezien in het wegontwerp behoort te worden uitgegaan van continuïteit, dienen veranderingen tijdig te worden ingeleid [7 - 2.2]

Binnen één wegcategorie dienen over de gehele lengte van een weggedeelte dezelfde kenmerken aanwezig te zijn [5 - 3].

### **Uniformiteit [5 - 3].**

Herkenbaarheid voor de weggebruiker vergemakkelijken door binnen de voorkomende kenmerken zo min mogelijk variatie aan te brengen.

Zo min mogelijk afwijken van het normale patroon binnen één wegcategorie (denken aan bebakening en markering).

### **Ruimtelijke helling**

Gelimiteerd in verband met afglijden.

Onder normale omstandigheden is het gewenst dat de ruimtelijke helling niet groter is dan 7 % [7 - 5.2].

De ruimtelijke helling (zie figuur 19) wordt berekend met behulp van de formule:

$$p_r = \sqrt{p_l^2 + p_d^2}$$

Waarin:

$P_r$ : ruimtelijk hellingspercentage onder hoek

$P_l$ : langshellingpercentage

$P_d$ : dwarshellingpercentage

### **Verkeersveiligheid**

Eisen te stellen aan wegontwerp ten aanzien van verkeersveiligheids-aspecten [1 - bijlage I - A]:

- geometrie van de weg
- kwaliteit wegdek
- markering, bebakening en bewegwijzering
- verkeersregels, -maatregelen, -regeling en -signalering
- voorzieningen (zoals beplanting, verzorgingsplaatsen, hectometrering en alarmeringssysteem)

Onder de kwaliteit van het wegdek wordt verstaan de stroefheid, vlakheid en waterafvoer [1 - bijlage I - A].

Verkeersmaatregelen moeten als zinvol worden ervaren. Te veel incidentele maatregelen leidt tot te veel borden, devaluatie van de desbetreffende borden en devaluatie van de algemeen geldende gedragsregels [1 - bijlage I - A].

Om de lichtovergang positief te beïnvloeden, wordt bij de ingang van de tunnel vaak een daglichtrooster toegepast.



Bij lange tunnels zorgen voor een behoud van attentieniveau.

### **Horizontale en verticale bogen en rechtstanden [7 - 6]**

Iedere combinatie van bogen en rechtstanden heeft voor- en nadelen, tevens specifieke toepassingsgebieden.

De volgende grondvormen worden onderscheiden:

- a. de ruimtelijke rechtstand
- b. de vlakke horizontale boog
- c. de verticaal gekromde rechtstand in het horizontale alignement
- d. de samengestelde boog

Zie ook figuur 20.

### **Consistentie [5 - 3]**

Binnen één wegcategorie dezelfde eisen stellen ten aanzien van veiligheid, vlotheid en comfort.

### **Het wegbeeld**

Het wegbeeld kan worden opgevat als de interpretatie van het feitelijk verloop van de weg door de weggebruiker die naar deze interpretatie handelt en niet direct naar het feitelijke alignement [16 - 4.1].

Goede accentuering van de tunnelingang is gewenst [7 - 8].

De herkenbaarheid van een tunnelingang wordt sterk verhoogd door deze in een (royale) boog te situeren [16 - 9.2].

De aan het wegbeeld gestelde kwaliteitseisen:

- herkenbaar en passen in verwachtingspatroon weggebruiker
- duidelijk
- tijdig informatie geven; zichtafstanden dienen goed te zijn
- fraaiheid bezitten [16 - 4.1]

Het wegbeeld wordt in het algemeen gebruikt als toetsingscriterium, nadat het ontwerp tot stand is gekomen op basis van bouwtechnische, architectonische en overige verkeerskundige aspecten [10 - 4].

## **2.4.1.2 Horizontaal alignement**

### **Horizontale boogstraal**

Grootte van de toelaatbare horizontale boogstraal wordt bepaald door:

- visuele aspecten
- berijdbaarheid [7 - 4.3].

Bij het bepalen van de horizontale boogstraal speelt de ontwerpsnelheid ( $v_o$ ) een belangrijke rol [7 - 4.3].

Visuele aspecten:

- detecteren van boog
- inschatten van boog
- zichtafstanden in boog [16 - 6.3]

Berijdbaarheid wordt bepaald door relatie tussen snelheid ( $v_o$ ), boogstraal ( $R_h$ ), wrijving ( $f_2$ ) en verkanting ( $i$ ):



$$Rh = \frac{v_0^2}{3,6^2 \times g \times \left(\frac{i}{100} + f_z\right)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Tunnels in enkelbaanswegen dienen bij voorkeur een recht alignement te bezitten [7 - 8].

Opeenvolgende horizontale bogen dienen aan bepaalde voorwaarden te voldoen [7 - 4.4.1].

Voor overzicht toepassingsmogelijkheden bij verschillende typen zicht, wordt verwezen naar [7 - 3].

### Bochtverbreding [7 - 4.3]

Toepassen indien horizontale boogstraal kleiner is dan 300 m. Zie figuur 21

### Positieve verkanting

Gewenst in verband met compensatie middelpuntvliedende kracht [16 - 6.3.2].

Minimale positieve verkanting is 2 % (i.v.m. afvoer van hemelwater) [7 - 4.3].

Maximale positieve verkanting is 5 %. In uitzonderingsgevallen kan de verkanting vergroot worden tot 7 % (om boog beter zichtbaar te maken) [7 - 4.3].

De positieve verkanting van 5 % bepaalt in relatie met  $v_0$  de ondergrens van de horizontale boogstraal. Zie Tabel 2.4.3 [gereed].

$v_0$	$R_h$ minimum
100 km/h	450 m
80 km/h	260 m
60 km/h	130 m

Tabel 2.4.3 Minimumboogstraal bij een gegeven ontwerpsnelheid en een maximumverkanting van 5% ( $R_v = 0$ ) [7 - 4.3.3]

Er is een computerprogramma (WATWEG, verkrijgbaar bij de ICIM) dat de grootte van dwarsverkanting ter plaatse van het open tunnelgedeelte in samenhang met het waterbezwaar bepaalt.

### Negatieve verkanting [7 - 4.3]

De grootte van de negatieve verkanting is onafhankelijk van de grootte van de horizontale boogstraal en moet 2,5 % zijn. Deze waarde bepaalt in relatie met  $v_0$  de ondergrens van de horizontale boogstraal. Zie Tabel 2.4.4 [gereed].

$v_0$	Rh-waarden	
	gewenst	minimum
100 km/h	2500 m	780 m
80 km/h	1700 m	420 m
60 km/h	900 m	190 m

Tabel 2.4.4 Minimumboogstraal bij een gegeven ontwerpsnelheid en een negatieve verkanting van 2,5 % [7 - 4.3.3]



De waarden in de tabel zijn vooral gebaseerd op rijcomfort.

#### **Verkantingsverandering [16 - bijlage 6.4]**

De relatieve langshelling ter plaatse van de kantstreep ten opzichte van de wentelingsas. Zie figuur 22.

De verkantingsverandering per lengte-eenheid ( $\Delta S / a$ ) is bepalend voor de stabiliteit van hoge voertuigen.

#### **Gelijkgerichte verkantingsovergang / wentelende verkantingsovergang**

Bij het vaststellen van de verkantingsovergang zijn de volgende aspecten van belang [16 - bijlage 6.4 t/m 6.6]:

- comfort
- waterafvoer
- wegbeeld
- lengte verkantingsovergang
- plaats verkantingsovergang
- keuze plaats wentelingsas

Bij een gelijkgerichte verkantingsovergang wordt de reeds aanwezige dwarshelling (verkanting) in dezelfde zin vergroot of verkleind [16 - 6.4].

Bij een wentelende verkantingsovergang vindt er een richtingsverandering van de verkanting plaats [16 - 6.4]. Zie figuur 23.

Bij wentelende verkantingsovergangen dient in verband met de afvoer van het hemelwater in elk geval een minimumhellingspercentage van 0,5 % in langsrichting te worden aangehouden, daar waar geen dwarshelling aanwezig is [7 - 5].

Twee typen verkantingsfiguren:

- rechtlijnig
- cirkelvormig

[16 - bijlage 6.4] Zie figuur 22.

Plaats van de wentelingsas is bij tunnels van invloed op de benodigde hoogte van de tunnelbuis. Derhalve wordt bij tunnels de rijbaanas als wentelingsas toegepast.

#### **Clothoïde**

Algemene formule [16 - 6.4.2]:

$$R \times L = A^2$$

In deze formule is:

R = straal

L = lengte van de overgangsboog

A = parameter van de clothoïde

Parameter A wordt bepaald door:

- optische eisen
- comforteis
- esthetische eis
- dynamische evenwichtseis
- lengte eis [16 - 6.4.2]

**Functies [16 - 6.4.1]:**

- het mogelijk maken van een geleidelijke stuurverdraaiing
- ruimte bieden voor de verkantingsverandering
- ruimte bieden voor de benodigde bochtverbreding
- het vermijden van knikken in het wegbeeld

Voor verdere afgeleide formules wordt verwezen naar **[15]**.

De lengte van de clothoïde moet zodanig zijn dat een eventuele verkantingsovergang binnen de clothoïde kan plaatsvinden.

Ten behoeve van het berekenen van clothoïden zijn computerprogramma's beschikbaar.

Afhankelijk van de ontwerpsnelheid dienen bij de volgende cirkelbogen overgangsbogen te worden toegepast:

$$v_o = 100 \text{ km/h: } R < 2500 \text{ m}$$

$$v_o = 80 \text{ km/h: } R < 1700 \text{ m}$$

$$v_o = 60 \text{ km/h: } R < 900 \text{ m} \quad \mathbf{[7 - 4.4]}$$

Toepassingsmogelijkheden: zie figuur 24 **[7 - 4.4]**

**Horizontale rechtstand [16 - 6.2]**

Lange rechtstanden vermijden in verband met eentonigheid. Bij toepassing van zowel langere als kortere rechtstanden kunnen, afhankelijk van aansluitende wegelementen, wegbeeldfouten optreden.

Lengte rechtstand in meters :

$$< 20 * v_o$$

met:  $v_o$  in [km/uur]

Indien mogelijk lange rechtstanden te vervangen door zeer ruime bogen.

**Zichtafstand**

Bij horizontale bogen zijn bepalend:

- objecten in berm
- weg verdwijnt uit centrale gezichtsveld.

Ter plaatse van een tunnel is het "object in de berm": de tunnelwand.

**2.4.1.3 Verticaal alignement****Hoogteverschil**

Grootste invloed op snelheidsverval van vrachtauto's **[10 - 5]**

Bij brede vaarroutes kan worden overwogen een min of meer horizontaal gedeelte in het dieper gelegen deel van de tunnel aan te brengen, waardoor het hoogteverschil afneemt **[10 - 2]**.

**Zichtafstand**

Bij verticale bogen zijn bepalend:

- objecten bij holle boog
- weg verdwijnt achter bolle boog **[16 -4]**.

Zichtafstand wordt bepaald door ooghoogte bestuurder en positie waar te nemen object **[16 - 4.4]**.



### Rechtstand

Bij grote hoogteverschillen wordt tussen holle en bolle boog een rechtstand aangebracht **[16 - 7.2]**.

Het toepassen van een rechtstand is mede afhankelijk van het hellingspercentage.

### Bolle boog [7 - 5.3]

Bij bolle bogen zal de benodigde zichtafstand bepalend zijn. **[16 - 7.3.2]**. Minimale boogstraal volgt uit:

$$R_{bol\text{minimaal}} = \frac{L_z^2}{2 \times (\sqrt{h_o} + \sqrt{h_h})^2}$$

In deze formule is:

$R_{bol\text{ minimaal}}$  = minimale boogstraal (in m)

LZ = maatgevende zichtafstand (in m)

$h_o$  = ooghoogte bestuurder (in m)

$h_h$  = hoogte waar te nemen object (in m)

Voor minimale boogstralen van bolle boog: zie Tabel 2.4.5 [gereed].

$v_o$	zichtafstand	$R_{bol\text{ minimaal}}$ op grond van zicht op wegverloop in continue situatie
100 km/h	161 m	5.800 m
80 km/h	105 m	2.450 m
60 km/h	64 m	900 m

Tabel 2.4.5 Ondergrenzen voor boogstralen van bolle bogen indien de zichtlengte kleiner is dan de booglengte [7 - 3.3]

Voor de ooghoogte is hier meestal 1,10 m (bestuurder personenauto) bepalend **[16 - 7.3.2]**.

### Holle boog

Bij holle bogen zal de duidelijkheid van het wegbeeld meestal bepalend zijn. In mindere mate speelt het rijcomfort een rol **[16 - 7.3.3]**.

Voor minimale boogstralen van holle boog: zie Tabel 2.4.6 **[7 - 5.3]** [gereed].

$v_o$	$R_{hol\text{ minimaal}}$ op grond van comfort	$R_{hol\text{ minimaal}}$ op grond van duidelijkheid wegbeeld
100 km/h	1.500 m	20.000 m
80 km/h	1.000 m	14.000 m
60 km/h	550 m	8.000 m

Tabel 2.4.6 Minimale boogstraal voor holle bogen bij verschillende ontwerpsnelheden [7 - 5.3]

Voor de ooghoogte is hier juist 2,50 m (bestuurder vrachtauto) bepalend **[10 - 9]**.

Onder duidelijkheid van het wegbeeld wordt verstaan:

- vermijden van indruk van tegenbogen of knikken;





- voldoende zicht op belijning en informatiedragers [**16 - 7.3.3**].

De afmeting van de holle boog in tunnels dient zodanig te zijn dat voldoende zicht op eventueel aanwezige informatiedragers is gegarandeerd. In het algemeen zijn waarden uit Tabel 2.4.6 maatgevend.



## 2.4.2 Hellingen

### 2.4.2.1 Langshellingspercentage

#### Wegcategorie [7 - 5.2]

Langshellingspercentage bij wegcategorie

III: 4 %

IV: 5 %

V: 5 %

VI: 6 %

In heuvelachtig gebied kunnen hogere percentages voorkomen (maximaal 12 %).

De verkeerskundige consequenties voor het toepassen van steilere hellingen worden in **[10]** nader toegelicht. Dit rapport heeft echter betrekking op tunnels met ontwerpsnelheden van 120, 100 en 90 km/h.

#### Relatie tussen hoogteverschil en som van de holle en bolle boog [10 - 2]

Het hellingspercentage dat maximaal mogelijk is, kan worden berekend met behulp van onderstaande formule:

$$p \approx 100 \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta H}{R_h + R_b}}$$

In deze formule is:

$p$  = het maximaal mogelijke hellingspercentage (%)

$R_h + R_b$  = de som der boogstralen van de holle en bolle boog (m)

$\Delta H$  = te overwinnen hoogteverschil

#### Relatie holle boog en bodembreedte vaarweg [10 - 2.2]

Bij brede vaarroutes, waarbij aanpassing van het bodemprofiel bezwaarlijk is, zou eventueel als alternatief ontwerp een min of meer horizontaal gedeelte in het dieper gelegen deel van de tunnel kunnen worden overwogen.

#### Vervoer gevaarlijke stoffen

Bij vervoer gevaarlijke stoffen door tunnels wordt aanbevolen om aan te houden **[20-4]**:

$$\frac{l}{d} \times b \leq 40$$

In deze formule is:

$l$  = het langshellingspercentage;

$d$  = het dwarshellingspercentage;

$b$  = de breedte (in meters) tussen de geleideprofielen.

Deze formule wordt pas relevant bij zeer grote breedte tussen de geleideprofielen.



### Wijze van aangeven van het hellingspercentage

Het gemiddelde hellingspercentage en niet het maximale hellingspercentage is bepalend voor de minimumsnelheid in de opgaande helling [10 - 5].

Er geldt: [16 - 7.2]

$$p = \frac{h}{l} \times 100(\text{percent})$$

waarin

- p = hellingspercentage  
 h = hoogteverschil  
 l = lengte van de helling

### Kosten

Een gunstig effect op de kosten is het vergroten van het gebruikelijke hellingspercentage van 4,5 % tot het maximaal mogelijke percentage op basis van ruimtelijke mogelijkheden en zichtcriteria. [10 - 5].

Bij hellingspercentages > 6 % neemt de verkeersveiligheid af [10 - 7].

Bij het vergroten van het gebruikelijke hellingspercentage van 4,5 % zal wel bij ontwerpsnelheden van 100 en 80 km/h een extra verlaging van de rijsnelheid optreden van circa 3 tot 8 km/h [10 - 5].

### Snelheidsverval - Verkeersveiligheid

Toename van pae's (personen-auto equivalenten) voor vrachtauto's [7 - 5.2] / [1 - 2]. Zie Tabel 2.4.7 [gereed].

Lengte van de helling	Hellingspercentage			
	3%	4%	5%	6%
0 - 500 m	2	2	2	2
500 - 750 m	2	2,5	3	4
750 - 1000 m	3	4	5	8
1000 - 1500 m	4	5	8	8

Tabel 2.4.7 Pae-waarden van vrachtverkeer op enkelbaanswegen bij verschillende hellingspercentages

SIMVRA is een computerprogramma dat het snelheidsverval van vrachtauto's berekent.

Consequenties voor capaciteit wegvak [16 - 7.2].

Bepalend voor al dan niet toepassen van kruip- respectievelijk inhaalstrook [16 - 7.2].

Op vlak terrein wordt voor een vrachtauto maximaal 2,5 pae gerekend [1 - 2].

## 2.4.2.2 Dwarshellinpercentage

### Afwatering

Voor de afwatering bedraagt de minimumdwarshelling 2,0 % [7 - 4.3].



---

Dwars- en lengteprofielen

Niet autosnelwegen

Met betrekking tot specifieke eisen ten aanzien van de afvoer van brandbare vloeistoffen wordt verwezen naar **[20]**.



---

Dwars- en lengteprofielen

Niet autosnelwegen



## 2.4.3 Stroken

### 2.4.3.1 Aantal rijstroken

#### Prognose verkeersaanbod [1 - 2]

- Verkeers- en vervoersstudies
- Prognosejaar
- Werkdagverkeer
- Recreatieverkeer
- Maatgevend spitsuur
- Samenstelling verkeer

Rekening houden met toepassing en detaillering van de prognoseresultaten.

#### Capaciteit

Het maximale aantal voertuigen dat de weg kan verwerken (per uur, per etmaal) [1 - 3]

Capaciteit van ontmoetings- en uitwisselingspunten in relatie met de capaciteit van de weg zelf [1 - 3]

#### Kwaliteit van de verkeersafwikkeling [1 - 3]

Normaal gesproken wordt voor de tunnel dezelfde benodigde capaciteit aangehouden als de toeleidende weg.

Op hellingen rekening houden met toename van pae's voor vrachtauto's.

Voor de capaciteit worden de volgende waarden aangehouden:

- 1500 pae/u/richting (volgens [19]).
- 2000 pae/u/rijbaan bij een enkelbaansdwarsprofiel (volgens [18]).
- 1900 pae/u/rijstrook bij een dubbelbaansdwarsprofiel volgens [18].

#### Verkeersafwikkeling

De kwaliteit van de verkeersafwikkeling komt tot uitdrukking in een aantal aspecten zoals snelheid (gemiddelde en spreiding), veiligheid en comfort / hinder [18 - 5].

Verkeersafwikkeling wordt bepaald door weg- en verkeerskenmerken, zoals:

- intensiteit
- samenstelling van het verkeer
- breedte van de weg
- beperkende omstandigheden [18 - 5]

Afhankelijk van de soort aanpassing van bestaande tunnels zal soms een minder goed afwikkelingsniveau moeten worden geaccepteerd [1 - 3].

### 2.4.3.2 Breedte

#### Rijstrookbreedte

Ontwerpsnelheid:

100 km/h	=>	3,25 m
80 km/h	=>	3,10 m
60 km/h	=>	2,75 m [6 - 2.1]

Gemeten tussen de deelstrepen respectievelijk kant-/deelstreep in [1 - 3]\*

\*: De bepaling wijkt af van het gestelde bij (stads)autosnelwegen. Hier wordt de rijstrookbreedte gemeten hart op hart deelstrepen respectievelijk hart deelstreep en binnenkant kantstreep, zie [17 - 4.1].



Wellicht zal in de toekomst ook bij niet-autosnelwegen op deze wijze de rijstrookbreedte worden vastgelegd.

**Inhaalstrookbreedte**

Gelijk aan rijstrookbreedte [7 - 5.2].

Inhaalstroken zullen hoofdzakelijk door personenauto's worden bereden [7 - 5.2].

**Kruipstrookbreedte**

Gelijk aan rijstrookbreedte [7 - 5.2].

Kruipstroken zullen hoofdzakelijk door vrachtauto's worden bereden [7 - 5.2].

**Kantstrookbreedte [6 - 2.1]**

Ontwerpsnelheid:

100 km/h => 0,45 m

80 km/h => 0,45 m

60 km/h => 0,20 m

De kantstrookbreedte is inclusief kantstreepbreedte.

**2.4.3.3 Inhaal- c.q. kruipstrook****Snelheidsverval [12]**

- Hoogteverschil
- Hellingspercentage
- Lengte van de helling
- Afmeting van holle en bolle bogen
- Karakteristieken van vrachtauto
- Snelheidsverval kleiner dan of gelijk aan 20 km/uur

Om een beeld te krijgen van het snelheidsverloop van zware vrachtauto's op een helling wordt verwezen naar figuur 26.

SIMVRA is een computerprogramma dat het snelheidsverval van vrachtauto's berekent. Uit de resultaten kunnen onder meer conclusies worden getrokken ten aanzien van de noodzaak van het toepassen van inhaalstroken.

**Kosten**

Kosten-baten-analyse tussen kosten inhaalstrook en invloed op verkeersafwikkeling en verkeersveiligheid.

Bij toepassing van een inhaalstrook respectievelijk kruipstrook zal deze uit kostenoverwegingen altijd na het gesloten deel beginnen.

**Verkeersafwikkeling / verkeersveiligheid [7 - 5.2 / 16 - 7.2]**

Het invoegen van personenauto's aan het einde van de inhaalstrook heeft een geringe invloed op de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid.

Het invoegen van het vrachtverkeer aan het einde van de kruipstrook heeft een negatieve invloed op de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid.

Het verloop verdient extra aandacht.

Voorkeur wordt gegeven aan een inhaalstrook (zie figuur 27).



#### **2.4.3.4 Kantstrook**

##### **Wegcategorie [6 - 2.1]**

Bij categorie III t/m V-wegen is de kantstrook door middel van een kantstreep van de rijstrook gescheiden.

Bij categorie VI-wegen dient de kantstrook vooral om de kant van de verharding aan te geven.

Kantstrook is een doorgaande verhardingsstrook met een beperkte breedte.





---

Dwars- en lengteprofielen

Niet autosnelwegen



## 2.4.4 Dwarsprofiel

### 2.4.4.1 Breedte profiel van vrije ruimte

#### Kant- en deel- of asstrepen<sup>1</sup> [6 - 2.1]

Kantstrepen:

- bij  $v_o = 100$  km/h  $\Rightarrow$  0,15 m
- bij  $v_o = 80$  km/h  $\Rightarrow$  0,10 m
- bij  $v_o = 60$  km/h  $\Rightarrow$  0,10 m

Deel- of asstrepen:

- bij alle ontwerpsnelheden  $\Rightarrow$  0,10 m

#### Objectafstandsmarge

- bij  $v_o = 100$  km/h  $\Rightarrow$  1,50 m
- bij  $v_o = 80$  km/h  $\Rightarrow$  1,50 m
- bij  $v_o = 60$  km/h  $\Rightarrow$  1,00 m

Tekst overgenomen uit [6], echter gegeven objectafstandsmarge bij  $v_o = 60$  km/h conflicteert met de in figuur 29 opgegeven waarde (zie blz 112) [6 - 1.2].

De minimale breedte van het profiel van vrije ruimte wordt bepaald door de totale breedte van het gewenste aantal auto's te vermeerderen met de noodzakelijke objectafstandsmarges (veiligheidszones) [17 - 4.2].

#### Breedte ontwerpvoertuig

Vrachtauto  $\Rightarrow$  2,50 m (excl. spiegels) [6 - 1.2]

Bij categorie VI-wegen moet met name in agrarische gebieden met bredere voertuigen dan het ontwerpvoertuig rekening worden gehouden [8 - 5]. Zie Tabel 2.4.8 en Tabel 2.4.9

Voertuig	Breedte in m
Landbouwvoertuigen	2,60
Lading landbouwmotorvoertuigen	3,00
Aanhangwagens	2,60
Lading aanhangwagens	3,00
Lading losse veldgewassen op aanhangwagens	3,50

Tabel 2.4.8 Toegestane breedte in m van landbouwvoertuigen en aanhangwagens

1. Gezien de verbreding met 0,05 m van de kant- en deelstreep voor (stads)autosnelwegen (zie [17]), zal wellicht in de toekomst ook bij niet-autosnelwegen deze verbreding worden aangebracht.



Werktuig	Breedte in m
Bieten oogstmachines	2,60 - 3,50
Aardappelrooimachines	2,60 - 3,40
Maaidorsers	3,50 - 4,00
Veldhakselaars	2,60 - 3,50
Hooiwerktuigen	2,60 - 3,00
Peulvruchtmachines	<3,30
Aardappelpootmachines	<3,40

Tabel 2.4.9 Transportbreedte (in m) van enkele werktuigen

De minimale breedte van het profiel van vrije ruimte wordt bepaald door de totale breedte van het gewenste aantal auto's te vermeerderen met de noodzakelijke objectafstandsmarges (veiligheidszones) [17 - 4.2].

#### Plaats

Tussen het profiel van vrije ruimte ter plaatse van het gesloten deel, overgangsgedeelte en toeleidende weg moet zoveel mogelijk de continuïteit en de uniformiteit worden gewaarborgd [17 - 3.1].

Indien de breedte ter plaatse van de tunnel moet worden versmald, dient dit op duidelijke en herkenbare wijze te geschieden [8 - 5.3].

#### Kosten

Bij met name langere tunnels in categorie III, IV en V-wegen wordt uit oogpunt van kosten vaak van de breedte van het profiel van vrije ruimte afgeweken [6 - 4.2].

Bij categorie VI-wegen wordt om een visuele vernauwing te voorkomen de breedte van het profiel van vrije ruimte met 0,50 m vergroot, ondanks de daarmee verband houdende kosten [6 - 4.2].

#### Verhardingsbreedte [7 - 4.5]

De bermbeveiligingsvoorziening dient binnen en buiten de tunnel een zo vloeiend mogelijk verloop te krijgen [3 - 7.5].

De keuze van het type geleiding is afhankelijk van de intensiteit door en de lengte van de tunnel; voor toepassingsmogelijkheden: zie Tabel 2.4.10.

#### Geleideprofielen [3 en 4]

De bermbeveiligingsvoorziening dient binnen en buiten de tunnel een zo vloeiend mogelijk verloop te krijgen [3 - 7.5].

De keuze van het type geleiding is afhankelijk van de intensiteit door en de lengte van de tunnel; voor toepassingsmogelijkheden: zie Tabel 2.4.10.

Categorie	Wegomgeving	Object-afstandsmarge	Type geleiding
II en V	hoge intensiteit en korte tunnel	1,50 m	geleiderail
III en V	lage intensiteit of lange tunnel	1,50 m	geleidebarrier
III en V	lage intensiteit en lange tunnel	1,00 m	geleidebarrier
VI	alle situaties	1,00 m	geleidebarrier

Tabel 2.4.10 Keuze van opbouw van dwarsprofiel<sup>1</sup>



Voor- en nadelen van geleidebarrier ten opzichte van geleiderail: zie Tabel 2.4.11.

Voordelen	Nadelen
Beheer en onderhoud eenvoudiger Ruimtelijke winst in dwarsprofiel, waardoor lagere bouwkosten	Aanlegkosten hoger Veiligheid lager

Tabel 2.4.11 Voor- en nadelen van geleidebarrier ten opzichte van geleiderail

#### 2.4.4.2 Hoogte profiel van vrije ruimte

##### Nieuw of renovatie

De hoogte van het profiel van vrije ruimte in tunnels gebouwd na 1967 en voor nieuw te ontwerpen tunnels is 4,50 m **[6 - 1.2]**

De hoogte van het profiel van vrije ruimte in oudere tunnels is 4,20 m **[6 - 1.2]**.

De hoogte is opgebouwd uit:

- hoogte ontwerpvoertuig
- verticale bewegingen tijdens het rijden
- veiligheidsmarge **[17 - 4.2]**

##### Hoogte ontwerpvoertuig **[17 - 3.5]**

Een "ontwerp" vrachtauto heeft een hoogte van 4,00 m

Een "ontwerp" personenauto heeft een hoogte van 2,06 m. Uiteraard speelt dat in dit geval geen rol.

##### Veiligheidsmarge

Hiervoor wordt 0,30 m aangehouden **[6 - 1.2]**.

Deze marge is onafhankelijk van de ontwerpsnelheid.

##### Plaats

Buiten de tunnel wordt bij lichte constructies (portalen, voetgangersbruggen e.d.) altijd een vrije doorrijhoogte van 5,00 m aangehouden **[17 - 4.2 en 2 - 5]**.

Het realiseren van een vrije doorrijhoogte van 5,00 m in tunnels brengt onevenredig hoge investeringskosten met zich mee.

##### Verticale beweging tijdens het rijden **[6 - 1.2]**

Hiervoor wordt 0,20 m aangehouden.

##### Spoorvorming

In tunnels wordt in verband met de harde ondergrond in principe geen rekening gehouden met spoorvorming.

##### Overlagen

In verband met toekomstig overlagen kan de vrije doorrijhoogte met 0,10 m worden vermeerderd **[6 - 1.2]**.

In het algemeen wordt dit bij tunnels niet gedaan; hier zal altijd moeten worden gefreesd **[17 - 4.2]**

Minimale dikte van een nieuwe asfaltlaag bedraagt circa 70 mm

1. Dit is een voorstel dat nog in discussie is bij een aantal vakgroepen. Voor categorie IV is, in verband met dubbelbaans dwarsprofiel, nog geen voorstel opgenomen. De ontwerper dient zich van deze ontwikkeling rekenschap te geven.

**Wijze van bepaling van de vrije hoogte**

De vrije hoogte moet zowel in langs- als in dwarsrichting loodrecht op de verharding worden gemeten.

Vanuit het wegontwerp wordt in langsrichting de hoogte vaak verticaal aangehouden.

**Hoogtedetectie**

Bij niet-bewaakte tunnels is geen hoogtedetectie aanwezig en wordt het risico van schade geaccepteerd **[13 - V]**.

De criteria voor het al dan niet toepassen van een hoogtedetectie moet in overleg met de (toekomstige) beheerder worden opgesteld.

Bij toepassing van hoogtedetectie zullen te hoge voertuigen moeten kunnen worden verwijderd (denk aan afvoerroute).

**Sprongen in het profiel**

Per geval zal moeten worden bepaald in hoeverre rekening moet worden gehouden met onderdelen van de tunneluitrusting die van invloed zijn op het profiel van vrije ruimte (inclusief de daarin noodzakelijke sprongen).

De plaats van de sprongen moet in samenhang met de ontwerpsnelheid genuanceerd bekeken worden.

**2.4.4.3 Zone voor tunnelinrichting****Informatiedragers [2]**

Er bestaan verschillende typen, een en ander afhankelijk van de lengte van de onderdoorgang. Zichtlengte speelt een belangrijke rol.

Het is te adviseren om aan de informatiedragers, die zich bevinden tussen de bovenkant van het profiel van vrije ruimte en de onderkant van het dak van de tunnel, extra eisen te stellen t.a.v. robuustheid en bevestiging. Mogelijke oplossing is om kwetsbare delen in het plafond op te nemen.

Voor tunnels bestaan speciale matrixborden.

Verkeersborden in de tunnel moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

**Elektronische installatie**

De plaats van de elektronische installatie moet in onderlinge samenhang worden gezien.

Voor meer informatie wordt verwezen naar het SATO-deel "Tunneltechnische installaties".

Rijstrooksignalering, verkeersobservatie en permanente bemanning hebben geleid tot het uitroeien van verkeersobservatie naar een verkeersbewaking **[13 - I]**.



---

## **Inhoudsopgave**

- 3. Bouwmethoden
  - 3.1 Inleiding
    - 3.1.1 Algemeen
  - 3.2 In Situ bouwen
    - 3.2.1 Algemeen
    - 3.2.2 Betonconstructie
    - 3.2.3 Bouwkuipconstructies
    - 3.2.4 Kunstmatige Polder Constructie
  - 3.3 Gefaseerd bouwen in situ
    - 3.3.1 Algemeen
    - 3.3.2 Fasering betonconstructie
  - 3.4 Tunnelbouwmethoden
    - 3.4.1 Algemeen
    - 3.4.2 Zinktunnel
    - 3.4.3 Boortunnel
    - 3.4.4 Schuiftunnel
  - 3.5 Vergelijking Bouwmethoden
    - 3.5.1 Algemeen
  - 3.6 Documentatie
    - 3.6.1 Algemeen



---

Bouwmethoden



## **Inhoudsopgave Inleiding**

### 3.1.1 Algemeen





---

Bouwmethoden



## 3.1 INLEIDING

### 3.1.1 Algemeen

Voorliggend document maakt deel uit van een serie documenten waarin de belangrijkste aspecten ten aanzien van het tunnelontwerp zijn verzameld en weergegeven.

De doelstellingen van het deel "Bouwmethoden" zijn:

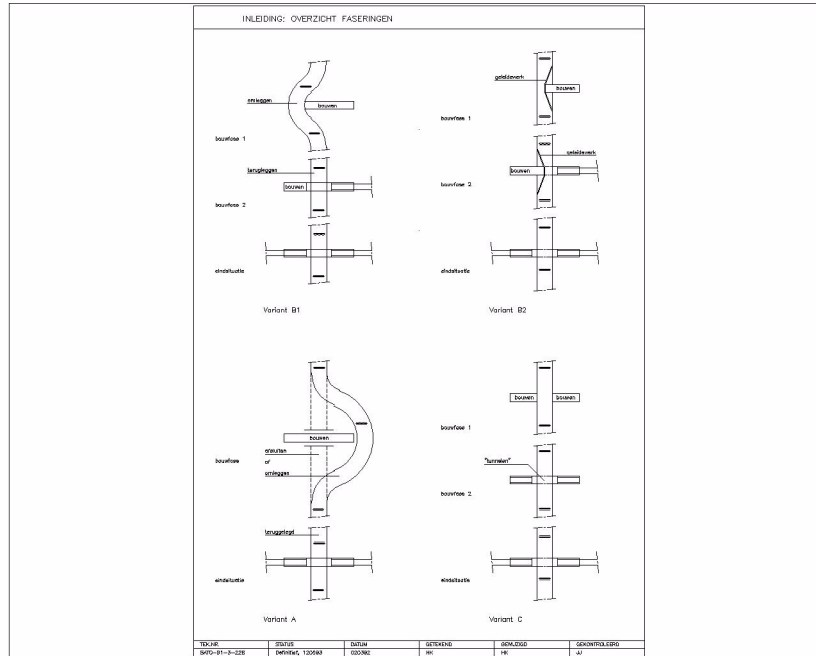
- het **inventariseren** van bij de Bouwdienst aanwezige kennis en informatie met betrekking tot bouwmethoden;
- een **leidraad** te zijn bij het kiezen van een bouwmethode voor de bouw van een tunnel, aquaduct, onderdoorgang of verdiepte weg;

#### **Inventarisatie**

De inventarisatie is gedaan aan de hand zowel mondelinge als schriftelijke informatie over bij de Bouwdienst en voorheen Sluizen en Stuwen uitgevoerde werken van de afdeling Tunnelbouw en een aantal nieuw ontwikkelde bouwmethoden t.b.v. recente ontwerpen. Per bouwmethode is de informatie uitgewerkt in de hoofdstukken 1 t/m 3, aan de hand van de volgende aspecten:

- **Werkwijze:** hierin wordt beschreven hoe het bouwwerk tot stand komt;
- **Kritische** ontwerpaspecten: bepaalde onderdelen, details en/of methoden verdienen extra aandacht gedurende het ontwerp of tijdens de bouw;
- **Toepassingsgebied:** globaal wordt aangegeven voor welke kunstwerken de bouwmethode toegepast kan worden en welke randvoorwaarden worden gesteld. Beide begrippen zijn vaak aan elkaar gerelateerd en moeten dus in samenhang met elkaar bekeken worden;
- **Referenties:** een opsomming van eerder uitgevoerde werken met jaar van oplevering of, indien het een nog niet in de praktijk uitgevoerd werk betreft, een aanduiding in welke fase de voorbereiding is.
- **Documentatie:** een opsomming van bij de Bouwdienst aanwezige documentatie, veelal in de vorm van een verwijzing naar de bibliotheeklijst in hoofdstuk 5.

Verder wordt, waar nodig, deze punten vooraf gegaan door een algemeen onderdeel en/of aangevuld met een beschrijving van variantoplossingen.



**Keuze bouwmethode**

Bij het kiezen van een bouwmethode dient men allereerst vast te stellen welke mogelijkheden gedurende de bouw aanwezig zijn met betrekking tot de te kruisen waterweg of verkeersweg.

Zoals op de tekening "Overzicht faseringen" is aangegeven kan men deze verbinding:

- a. volledig afsluiten of omleggen (variant A);
- b. gedeeltelijk afsluiten en/of gedeeltelijk omleggen (variant B1 en B2);
- c. niet afsluiten en niet omleggen (variant C).

De keuze die men hier maakt, bepaalt voor een belangrijk deel de overblijvende potentiële bouwmethoden voor het gesloten gedeelte van een tunnel of aquaduct.

In fig. 2 worden de opties A, B en C met de bijbehorende bouwmethoden schematisch weergegeven. De nummering van de bouwmethoden heeft betrekking op de hoofdstuknummering van dit document.

Bij het kiezen van een bouwmethode voor de toeritten en overgangsgedeelten is men niet, respectievelijk minder afhankelijk van de opties A, B en C. Het is echter gebruikelijk om hiervoor een bouwmethode te kiezen die goed aansluit bij de bouwmethode van het gesloten gedeelte. Voor de bouw van het gesloten gedeelte kan bijvoorbeeld een bepaalde bouwmethode van het overgangsgedeelten vereist zijn.

De definitieve keuze wordt gemaakt op basis van:

- technische mogelijkheden;
- de mogelijkheden die de lokatie biedt ten aanzien van beschikbare ruimte, bodemgesteldheid enz.;
- financieel-economische aspecten;
- aanvullende randvoorwaarden met betrekking tot bemaling, trillingen tijdens de bouw enzovoort.

Deze aspecten zijn nader uitgewerkt in hoofdstuk 4.





## **Inhoudsopgave In Situ bouwen**

- 3.2.1 Algemeen
- 3.2.2 Betonconstructie
  - 3.2.2.1 Betonconstructie in bouwput met open bemaling
  - 3.2.2.2 Betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton
- 3.2.3 Bouwkuipconstructies
  - 3.2.3.1 Bouwkuipconstructie met damwanden en onderwaterbeton
  - 3.2.3.2 Betonnen diepwand met vloer van constructiebeton
- 3.2.4 Kunstmatige Polder Constructie
  - 3.2.4.1 Folieconstructie in den droge aangebracht
  - 3.2.4.2 Folieconstructie in de natte aangebracht
  - 3.2.4.3 Cement-bentoniet wand met natuurlijke of kunstmatige bodemafdichting



---

Bouwmethoden



## 3.2 IN SITU BOUWEN

### 3.2.1 Algemeen

De "in situ" bouwmethoden komen in aanmerking voor het bouwen van:

- de toeritten en overgangsgedeelten van tunnels, aquaducten en onderdoorgangen;
- verdiepte wegen;

In dit hoofdstuk komen de volgende "in situ" bouwmethoden aan de orde:

#### **Betonconstructie [3.2.2], te bouwen in:**

- een bouwput met bemaling [3.2.2.1];
- een bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton [3.2.2.2];

#### **Kuipconstructie [3.2.3], bestaande uit:**

- stalen damwanden en een vloer van onderwaterbeton met eventueel een vloer van constructiebeton [3.2.3.1];
- betonnen diepwanden en een vloer van constructiebeton, eventueel gestort op een vloer van onderwaterbeton [3.2.3.2];

#### **Kunstmatige Polderconstructie [3.2.4]**

Dit zijn constructies met een in de grond aangebrachte kuip- of bakvormige waterdichte laag, waardoor het mogelijk is om binnen de bak of kuip het grondwaterpeil en het maaiveld permanent te verlagen. Eventueel worden natuurlijke in de bodem aanwezige waterdichte lagen, bijvoorbeeld potklei, in de constructie opgenomen. Varianten van kunstmatige polderconstructies zijn:

- een folieconstructie, in den droge aangebracht [3.2.4.1];
- een folieconstructie, in den natte aangebracht [3.2.4.2];
- een constructie, bestaande uit een natuurlijk aanwezige of kunstmatig aangebrachte waterremmende bodemlaag en in de grond aangebrachte cement-bentoniet wanden of stalen damwanden [3.2.4.3].

Kenmerkend voor de kunstmatige polderconstructies zijn de "groene" taluds.

Hierdoor past deze bouwmethode goed in een landschappelijke omgeving.

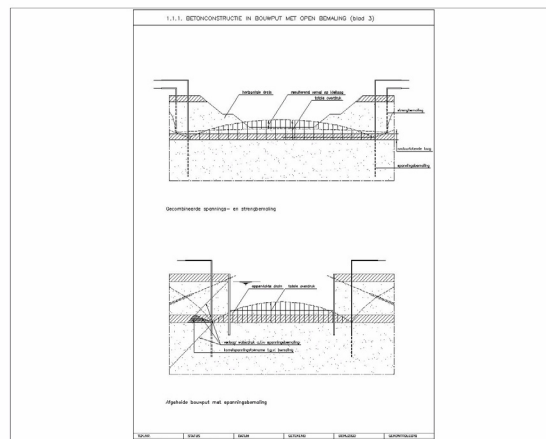
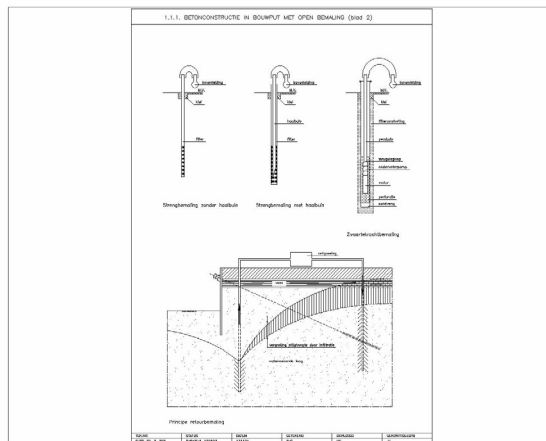
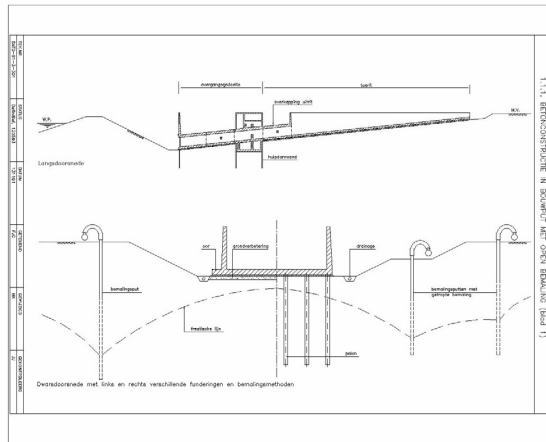
De in situ bouwmethode "Betonconstructie" komt ook in aanmerking voor gefaseerd aangelegde gesloten gedeelten van tunnels, aquaducten en onderdoorgangen.







### **3.2.2 Betonconstructie**





### 3.2.2.1 Betonconstructie in bouwput met open bemaling

#### Werkwijze:

#### Bouwput

Op de bouwlocatie wordt de bemalingsinstallatie ingericht. Intussen wordt begonnen met de ontgraving van de bouwput. Bij het vorderen van de ontgraving wordt de bemaling opgevoerd. Als de bouwput op diepte is, wordt, afhankelijk van de grootte van het oppervlak, meestal nog een oppervlakedrainage aangelegd voor de afvoer van hemelwater.

Ter plaatse van veen en kleilagen, waar de bodem niet draagkrachtig genoeg is om de versgestorte betonvloer te dragen, wordt een grondverbetering van zand aangebracht. Ten behoeve van de ontgraving van het diepere gedeelte ter plaatse van kelders e.d. wordt vaak een damwandkuip gemaakt, eventueel gecombineerd met een vloer van onderwaterbeton. Hierdoor wordt de hoeveelheid te ontgraven grond en eventueel de bemalingsdiepte beperkt.

#### Bemaling

De keuze van het bemalingssysteem wordt bepaald door de gewenste grondwaterstandsverlaging en de doorlatendheid van de te bemalen grondlagen. In principe zijn er twee bemalingssystemen:

- **strengbemaling** of vacuümbemaling, het water wordt door vacuümpompen boven de grond via de bovenleiding aangezogen. Voor een geringe verlaging, 3 meter bij goed doorlatende grond tot 8 meter bij slecht doorlatende grond kan worden volstaan met een strengbemaling zonder haalbuis. Een strengbemaling met haalbuis wordt toegepast voor verlagingen van 6 tot 10 meter;
- **zwaartekrachtbemaling** of bronbemaling; het water wordt opgestuwd door een pomp in de bemalingsput. De te behalen waterstandsverlaging is met dit systeem in principe onbeperkt. Filterdiepte, pompcapaciteit, opvoerhoogte en onderlinge putafstand worden afgestemd op het gewenste resultaat.

Naast het verlagen van de grondwaterstand door middel van bemaling worden nog een aantal bijzondere toepassingen onderscheiden:

- Indien onder de bouwput een waterremmende kleilaag aanwezig is kan door de grondwaterstandsverlaging de grondspanning boven de kleilaag veel kleiner worden dan de grondspanning onder de kleilaag. Er bestaat dan het gevaar van opbarsten van de kleilaag en bouwputbodem. In dat geval moet de grondspanning onder de kleilaag verlaagd worden door middel van **spanningsbemaling**. Omdat dit meestal relatief diep gelegen lagen betreft wordt hiervoor veelal een zwaartekrachtbemaling toegepast.
- Indien men de invloed van de bemaling op de omgeving wil beperken wordt een **retourbemaling** toegepast. Het opgepompte water wordt in de nabijheid van de bouwput weer in de bodem geïnjecteerd. Hiermee wordt het oppervlak van het gebied met grondwaterstandsverlaging kleiner gehouden.
- In mindere mate wordt dit effect bereikt met een **getrapte bemaling**. Dit type bemaling kan eventueel ook toegepast worden als met behulp van een strengbemaling toch een diepe bouwput moet worden bemalen.

#### Fundering

Voor de fundering van de toeritconstructie komen o.a. de volgende systemen/methoden in aanmerking:



- **Prefab betonnen heipalen**, voor zowel trek- als drukbelastingen;
- **In de grond gevormde palen**, bijvoorbeeld Vibro-palen, waarbij onderscheid wordt gemaakt in trek- en drukpalen. Trekpalen worden voorzien van voorspanning over de gehele lengte van de paal. Drukpalen worden alleen voorzien van een wapeningkorf.
- **Stalen palen**, toe te passen als trek- en drukpaal, daar waar een groot buigend moment in de paal te verwachten is.
- **Fundering op staal** indien een voldoende draagkrachtige laag aanwezig is. Zonodig kan de bodem door middel van verdichten geschikt worden gemaakt. Bij aanlegdiepten waar de opdrijvende kracht groter is dan het gewicht van de betonconstructie wordt de constructie voorzien van "oren" om opdrijving te voorkomen. Voor een nadere beschrijving van deze funderingssystemen wordt verwezen naar SATO-document deel 5, funderingsdetails. Verder zijn er talloze andere paalsystemen voor bijzondere toepassingen op de markt. Zie hiervoor de informatie van leveranciers.

### **Betonconstructie**

Voordat de eigenlijke betonconstructie kan worden gebouwd, wordt eerst een werkvloer aangebracht. De gehele constructie is opgebouwd uit een aantal stortmotten van ca. 20 meter. Bij een lengte van 20 meter kunnen krimpscheuren beperkt gehouden worden zonder al te veel bijzondere voorzieningen. Indien nodig worden de (buiten)wanden gekoeld tijdens het verhardingsproces. Zie ook SATO-document deel 9.

In de voegen tussen de moten worden voeg- en afdichtingsprofielen opgenomen.

### **Betonconstructie overgangsgedeelte**

Het overgangsgedeelte wordt gebouwd in meerdere te storten onderdelen. Deze zijn achtereenvolgens:

- keldervloer;
- kelderwanden;
- kelderdak c.q. tunnelvloer;
- tunnelwanden en tunneldak;
- overige bovenbouw;

Het keldergedeelte wordt vaak in een kleine bouwkuip, al dan niet voorzien van onderwaterbeton, gebouwd om de ontgraving te beperken.

De tunnelbuizen van het overgangsgedeelte zijn meestal gelijk aan die van het aansluitende tunnelement. In tegenstelling tot de bouw van de tunnelementen worden de tunnelbuizen van het overgangsgedeelte traditioneel uitgekist.

Na gereedkomen van de ruwbouw wordt de bouwput weer aangevuld en de bemaling uitgeschakeld en verwijderd.

### **Kritisch:**

- hellingen taluds;
- keuze bemalingssysteem met betrekking tot grondwaterstandsverlaging in de omgeving;

### **Toepassing:**

In een bouwput met bemaling kan worden gebouwd:

- toeritten;



- verdiepte wegen;
- onderdoorgangen;
- gefaseerd gebouwde tunnels en aquaducten met de bijbehorende overgangsgedeelten;

**Voorwaarden:**

Een kunstwerk wordt in een bouwput met bemaling gebouwd als:

- bemaling is toegestaan en:
- er geen belemmeringen zijn ten aanzien van bouwruimte maar in de eindsituatie een beperkt ruimtebeslag gewenst is;

Indien ook de bouwruimte beperkt is, wordt de bouwput geheel of gedeeltelijk omheid.

**Referenties:**

- RW 9, Velsertunnel;
- RW 10, Coentunnel;
- RW 4, Schipholtunnel;
- RW 29, Heinenoordtunnel;
- RW 58, Vlaketunnel;
- RW 15, Botlektunnel;
- Hemspoortunnel onder Noordzeekanaal.

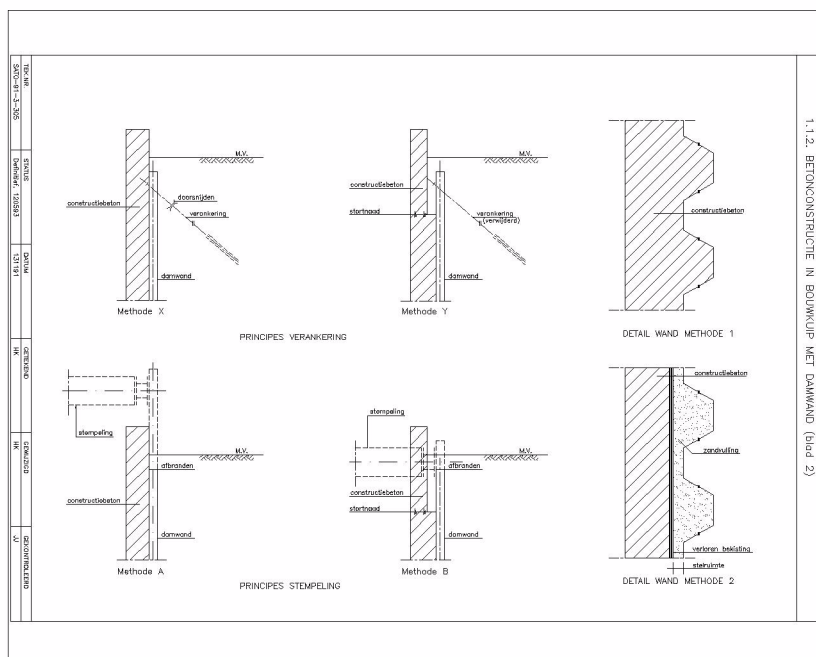
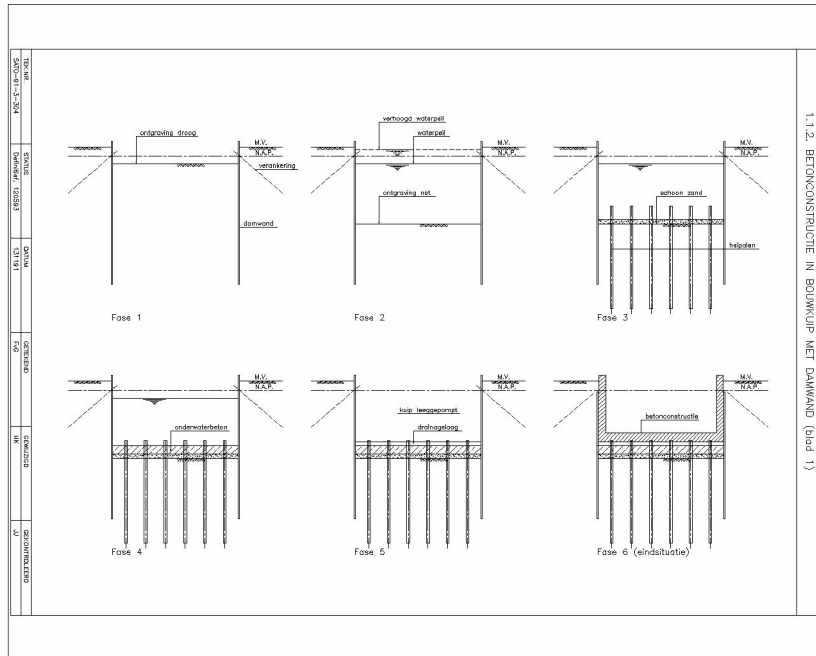
**Documentatie**

- bibliotheeklijst: 1, 2, 3, 19, 23 t/m 30, 33, 34, 35, 42, 43, 44, 50 t/m 55, 62, 63, 64, 107.



Bouwmethoden

In Situ bouwen





### 3.2.2.2 Betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton

#### Werkwijze:

##### Algemeen

De gehele toeritconstructie bestaat uit twee gedeelten:

- een tijdelijke bouwkuipconstructie;
- een definitieve betonconstructie welke in de droge bouwkuip gebouwd wordt.

##### Bouwkuipconstructie

De bouwkuipconstructie bestaat uit stalen damwanden, (trek)palen en een vloer van onderwaterbeton. De damwand wordt aan de bovenzijde gezekerd door middel van een stempelconstructie of een verankeringsconstructie. Welke constructie wordt gekozen hangt af van factoren zoals:

- de **breedte** van de bouwkuip. Bij een erg brede bouwkuip is een stempeling technisch niet mogelijk of wordt veel duurder dan een verankeringsconstructie;
- de **diepte** van de bouwkuip. Als de bouwkuip erg diep is wordt de zwaarte van de damwand maatgevend. De zwaarte kan worden beïnvloed door het toepassen van een stempelraam welke op een lager niveau aangrijpt. Zie tekening, principes stempeling, methode A en B; Bij zeer diepe bouwkuipen zal op meerdere niveaus een verankering of stempeling worden aangebracht.
- diepte van **bruikbare grondlagen voor verankeringen**;
- **belemmeringen voor verankeringen** in de bodem, zoals funderingen en/of heipalen van aangrenzende bebouwingen;
- **beschikbare werkruimte** tussen de stempels, c.q. belemmering door de stempelconstructie bij de bouw van de betonconstructie.

Verder dient men rekening te houden met de eisen van lagere overheden en/of eigenaren van belendende percelen met betrekking tot het aanbrengen van verankeringen. Vaak is dit alleen toegestaan als de verankering naderhand weer wordt verwijderd. Hiermee dient men rekening te houden. Zie tekening, principes verankering, methode X en Y.

De damwanden, stempeling/verankering en onderwaterbeton worden in dit geval beschouwd als tijdelijke constructieonderdelen. Dit houdt in dat er lagere eisen gesteld kunnen worden v.w.b. duurzaamheid, waterdichtheid en veiligheidsfactoren. De palen hebben zowel in de bouwfase als in de definitieve situatie een functie.

##### Compartmentering

Bij lange bouwkuipen (> 150 meter) wordt in het algemeen een bouwfasering aangehouden. D.w.z. de bouwkuip wordt door middel van dwars geplaatste damwandschermen opgedeeld in een aantal compartimenten. In elk compartiment kan onafhankelijk van de andere compartimenten worden gebouwd. De voordelen van fasering c.q. compartimentering zijn:

- er kan in het eerste compartiment al gestart worden met de bouw van de definitieve constructie terwijl de overige bouwkuipcompartimenten nog niet gereed zijn, de totale bouwtijd wordt hierdoor verkort;
- in geval van een calamiteit, bijvoorbeeld het vollopen van de bouwkuip, is niet de gehele bouw gestagneerd en blijft de totale schade beperkt;
- het storten van de vloer van onderwaterbeton kan per compartiment continu en zonder stortnaden geschieden terwijl de totale stortduur beperkt blijft.





Zonder een stringente volgorde aan te geven kan het bouwen van de bouwkuip worden verdeeld in de volgende onderdelen:

- heien damwand, incl. kopschermen en/of dwarsschermen;
- **(droog) ontgraven tussen damwand** tot een diepte zodat de stempels of de verankering aangebracht kan worden;
- **nat ontgraven** tot de benodigde diepte bereikt wordt. Het is van groot belang om hierbij de damwand, met name de kassen, over de gehele hoogte goed schoon te maken. Extra aandacht moet worden besteed aan het schoonmaken ter hoogte van de onderwaterbetonvloer. Hiermee wordt een goede afdichting tussen onderwaterbeton en damwand bevorderd. Direct, doordat de onderwaterbeton tegen een schoon oppervlak wordt gestort en indirect, doordat er naderhand geen kluiten grond van het damwandoppervlak naar beneden vallen en bij het storten van de onderwaterbeton slibinsluitingen veroorzaken. Ook de paalkoppen moeten worden schoongemaakt. Met name stalen injectiepalen kunnen slibinsluitingen veroorzaken. De stand van de flenzen van het profiel moet gelijk zijn aan de stortrichting om slibinsluitingen te vermijden. In deze fase kan de belasting op de damwand worden beperkt door het waterpeil binnen de bouwkuip te verhogen;
- **bodembedekking aanbrengen**. Met name bij een klei/veen bodem wordt een laag schoon zand op de bodem gespreid om de bodem af te sluiten en te egaliseren. Ook wordt hiermee een stabiele ondergrond verkregen ten behoeve van het storten van de onderwaterbeton. Het slib, dat hierna nog op de zandlaag ligt, dient te worden verwijderd. Beter is nog om een laag grind of puingranulaat op de bodem te storten en te egaliseren. Dit neemt het slib beter op waardoor slibinsluitingen nog meer worden beperkt;
- **palen heien**. Dit kan vanaf een ponton gebeuren of (bij niet al te brede bouwkuipen) met behulp van een heistelling op een portaalkraan;
- **onderwaterbeton storten**. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een speciaal werktuig (hopdobber) waardoor de beton gelijkmatig wordt verdeeld tot de juiste hoogte en geen ontmenging onder water optreedt. De waterstand in de bouwkuip moet op een constant niveau worden gehouden zodat boven en onderde laag versgestorte onderwaterbeton een gelijke waterdruk heerst. Na verharding van de onderwaterbeton wordt de kuip leeggepompt. Eventuele lekkages in de damwand worden door volschuimen of injecteren van de sloten verholpen. Deze lekkages ontstaan m.n. door het verwerken van kromme damwandplanken of het kromheien van de planken. Lekkages van de betonvloer, die m.n. ontstaan tussen de vloer en de damwand en in hoeken van de bouwkuip, kunnen ook worden geïnjecteerd. Het dichten van lekkages blijft echter een moeilijke, tijdrovende en daardoor vaak dure oplossing. Het is beter om met een zorgvuldige uitvoering lekkages te voorkomen.

### Fundering

De fundering bestaat uit palen en moet voldoen aan diverse eisen:

- in de bouwfase neemt de paal de hydrostatische druk onder de vloer van onderwaterbeton op en fungeert als trekpaal.
- in de eindfase moet, afhankelijk van de aanlegdiepte en/of de belasting ten gevolge van constructiegewicht en nuttige belastingen, de paal zowel druk- als trekkrachten op kunnen nemen.



- de paal moet "onder water" kunnen worden aangebracht.
- tussen paalkop en onderwaterbeton dient een trekvraste verbinding tot stand te komen.

De paaltypen die aan deze eisen voldoen (en ook al eerder toegepast werden) zijn:

- **prefab betonnen palen**, gebruikelijk toegepast;
- **stalen injectiepalen**, toegepast op lokaties waar de draagkrachtige laag, c.q. laag waaruit een trekkrachtontleend kan worden, op grote diepte ligt. De betonnen palen zijn, over het gedeelte dat door het onderwaterbeton omsloten wordt, voorzien van ribbels. Deze ribbels verbeteren de aanhechting van onderwaterbeton aan de paal.

De stalen palen worden voorzien van aangelaste stalen nokken en stripjes. Verder worden de palen lang genoeg gemaakt zodat het bovendiepte in de definitieve constructievloer kan worden opgenomen.

### **Betonconstructie**

Binnen de droge bouwkuip wordt de definitieve betonconstructie gebouwd. Eerst wordt op de vloer van onderwaterbeton een uitvullaag van grind of gedraineerd zand aangebracht. Via de uitvullaag kan het water, dat eventueel via scheuren in de vloer naar boven komt, worden afgevoerd.

Op de uitvullaag wordt de werkvloer gestort. De verdere werkwijze is verder vrijwel gelijk aan het bouwen in een bemalen bouwput. Een uitzondering is nog de zijkist van de constructievloer en de buitenbekisting van de buitenwanden. Hierbij zijn twee mogelijkheden.

1. De constructiebeton wordt direct tegen de stalen damwand gestort.
2. Tegen de damwand wordt eerst een (verloren) bekisting geplaatst. De damwandkassen worden opgevuld met zand. Hierbij moet men zorgen voor een volledige vulling en voldoende verdichting om nazakking van het zand te beperken.
3. Tussen de damwand en de te maken betonnen wand wordt een ruimte gehouden van 1 á 1,5 meter. In deze ruimte wordt een normale bekisting opgebouwd en na het storten van de wand weer verwijderd. Hierna wordt de ruimte gevuld met grond.

De voordelen van methode 1 zijn:

- De bouwtijd kan ermee bekort worden;
- Als in de ontwerpfase al bewust wordt gekozen voor methode 1, dan is het mogelijk om de damwand mee te rekenen voor het opnemen van de opwaartse krachten. Hierdoor zijn minder palen nodig. In dit geval dient de vloer wel te worden verankerd aan de damwand.

De nadelen van methode 1 zijn:

- Als de lekkage van de damwandsloten erg groot is, zullen de sloten moeten worden geïnjecteerd of dichtgelast. Dit is kostenverhogend en de tijdswinst neemt af;
- De kwaliteit van de gestorte beton kan niet visueel worden geïnspecteerd.

Het voordeel van methode 2 is:

- Bij lekkage van de damwandsloten kan geen uitspoeling van de verse beton plaatsvinden. De betonkwaliteit kan hierdoor nooit worden beïnvloed.

De nadelen van methode 2 zijn:

- Altijd extra handelingen ten behoeve van het aanbrengen van de bekisting en het uitvullen van de damwandkassen.



- De kwaliteit van de gestorte beton kan niet visueel worden geïnspecteerd.

De voordelen van methode 3 zijn:

- Het is mogelijk de stalen damwand terug te winnen. Hierdoor is het mogelijk om de damwand door de aannemer ter beschikking te laten stellen. Tevens wordt hiermee het gebruik van grondstoffen beperkt.
- onnauwkeurigheden van de damwand hebben geen invloed op de afmetingen van de betonconstructie.
- Het is door het terugwinnen van de damwand en bekisting, vooral bij meerdere malen inzetten van de damwand en bekisting, een goedkopere oplossing.
- Het oppervlak van de gestorte betonwand kan visueel worden geïnspecteerd.

Het nadeel van methode 3 is:

- De bouwtijd is langer.

Gezien de voordelen van methode 3 gaat bij de Bouwdienst in principe de voorkeur uit naar methode 3. Hoe zwaar de voordelen en nadelen van elke methode wegen is afhankelijk van de aard van het bouwwerk. De aannemer is over het algemeen niet geïnteresseerd in de voordelen van methode 3. De dagelijkse praktijk is dan ook dat veelal volgens methode 1 wordt gebouwd.

**Kritisch:**

- keuze verankering/stempeling;
- bouwfaserings/compartimentering bouwkuip.

**Toepassing:**

In een bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton kan worden gebouwd:

- toeritten;
- verdiepte wegen;
- onderdoorgangen;
- gefaseerd gebouwde tunnels en aquaducten met de bijbehorende overgangsgedeelten.

**Voorwaarden:**

Een kunstwerk wordt in een bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton gebouwd als:

- bemaling niet is toegestaan en;
- de bouwruimte beperkt is.

**Referenties:**

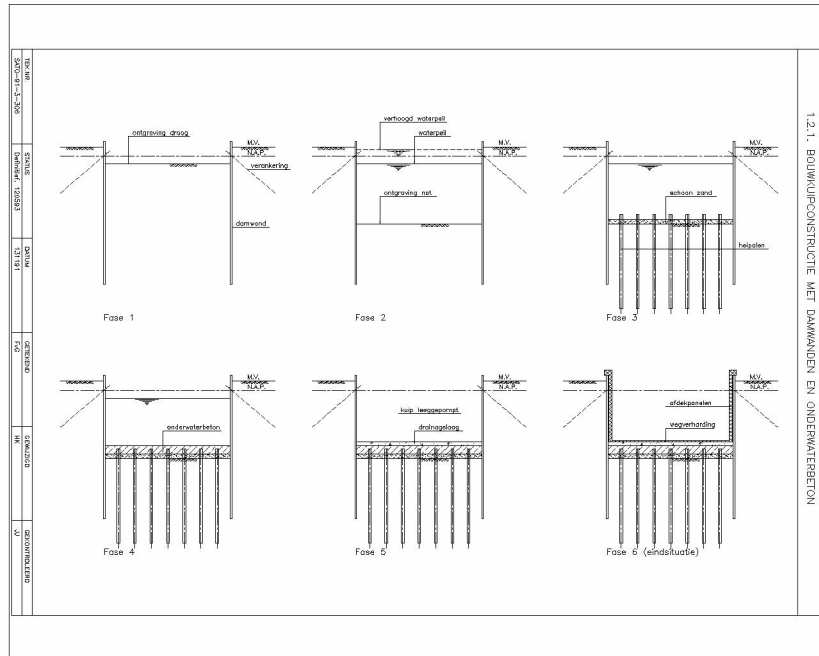
- RW 4, Beneluxtunnel;
- RW 12, Gouwe-aquaduct;
- RW 10, Zeeburgertunnel;
- RW 15, Tunnel onder de Noord;
- RW 27, Verdiepte weg Amelisweerd.

**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 4 t/m 18, 20, 31, 32, 36 t/m 38, 40, 68, 142 t/m 145, 147 t/m 154, 173, 174, 179 t/m 211.



### **3.2.3      Bouwkuipconstructies**





### 3.2.3.1 **Bouwkuipconstructie met damwanden en onderwaterbeton**

#### **Werkwijze:**

#### **Bouwkuipconstructie**

De aanleg van de bouwkuipconstructie is in principe gelijk aan de bouwmethode zoals beschreven in hoofdstuk 3.2.1.2 [Betonconstructie in bouwput met open bemaling].

Indien stempels worden toegepast moeten deze geïntegreerd worden in de eindsituatie. Veelal zal dit niet mogelijk zijn zodat het toepassen van verankering nodig is.

Voor de vloerconstructie zijn in principe drie oplossingen mogelijk:

- **ongewapend onderwaterbeton.** Bij deze bouwmethode de meest voor de hand liggende oplossing. De dikte van de vloer in samenhang met de h.o.h. afstand van de palen wordt zodanig gekozen dat de hydrostatische druk, welke in bouwfase en eindsituatie optreedt, kan worden opgenomen. In de eindsituatie dient tevens de verkeers- en nuttige belasting te kunnen worden opgenomen;
- **gewapend onderwaterbeton.** Indien een ongewapende vloer constructief gezien niet in aanmerking komt, kan worden overwogen de vloer te wapenen. Het onder water aanbrengen van wapening is echter een zeer dure oplossing. Mogelijk geniet de volgende oplossing dan de voorkeur;
- **extra vloer van constructiebeton.** Op de (ongewapende) vloer van onderwaterbeton wordt een constructieve vloer gestort zoals beschreven in hoofdstuk 3.2.1.2 [Betonconstructie in bouwput met open bemaling]. De heipalen worden in de constructieve vloer opgenomen.

Omdat de damwand en eventueel ook de vloer van onderwaterbeton een definitieve functie hebben, zullen bij de dimensionering van deze constructiedelen hogere veiligheidsniveaus worden aangehouden dan bij tijdelijke toepassing.

Verder moet bij de keuze van het damwandprofiel rekening worden gehouden met een afname van profieldikten ten gevolge van corrosie op de lange duur.

Ook zal tijdens de uitvoering zorgvuldiger gewerkt moeten worden om lekkages en dergelijke te vermijden.

#### **Fundering**

In principe kan dezelfde fundering toegepast worden als bij de indirecte bouwmethode. Uiteraard steken de palen in dit geval niet boven de vloer van onderwaterbeton uit.

#### **Eindafwerking bouwkuip**

Op de vloer van onderwaterbeton wordt een laag zand of grind van minimaal 0,5 meter aangebracht. Hierin worden een aantal drainage- en rioleringsbuizen opgenomen om lek- en hemelwater af te voeren. Op de drainagelaag wordt de wegverharding aangebracht.

Als er een vloer van constructiebeton is aangebracht, wordt de asfaltlaag direct op de beton aangebracht. De rioleringsbuizen worden in de betonvloer opgenomen.

Voor de stalen damwand moeten afdekkpanelen worden aangebracht. Deze panelen hebben de volgende functies:

- bescherming van de stalen damwand tegen brandschade;
- opnemen van voorzieningen zoals poederbluskasten, hulpposten, kabels en leidingen;



- esthetische afwerking, o.a. lekkages via de damwandsloten en heiafwijkingen worden hierdoor aan het zicht onttrokken.

Tussenwanden worden in het werk gestort en moeten constructief worden verbonden met de vloer van onderwaterbeton. De vloer moet hierop worden gedimensioneerd. Eventueel door het (plaatselijk) opnemen van wapening in de vloer.

**Kritisch:**

- waterdichte aansluiting van onderwaterbeton op de damwand;
- waterdichtheid damwandsloten.
- scheurvorming onderwaterbeton;
- goede afvoer van lek- en hemelwater uit spouw tussen damwand en panelen i.v.m. ijsvorming en hierdoor weggedrukte panelen;
- drainage onder wegverharding;

**Toepassing:**

Een bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton kan dienen als kunstwerk bij:

- toeritten;
- verdiepte wegen;
- onderdoorgangen;

**Voorwaarden:**

Een kunstwerk wordt als bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton gebouwd als:

- bemaling niet is toegestaan en:
- de bouwruimte beperkt is en:
- lage bouwkosten vereist zijn.

**Referenties:**

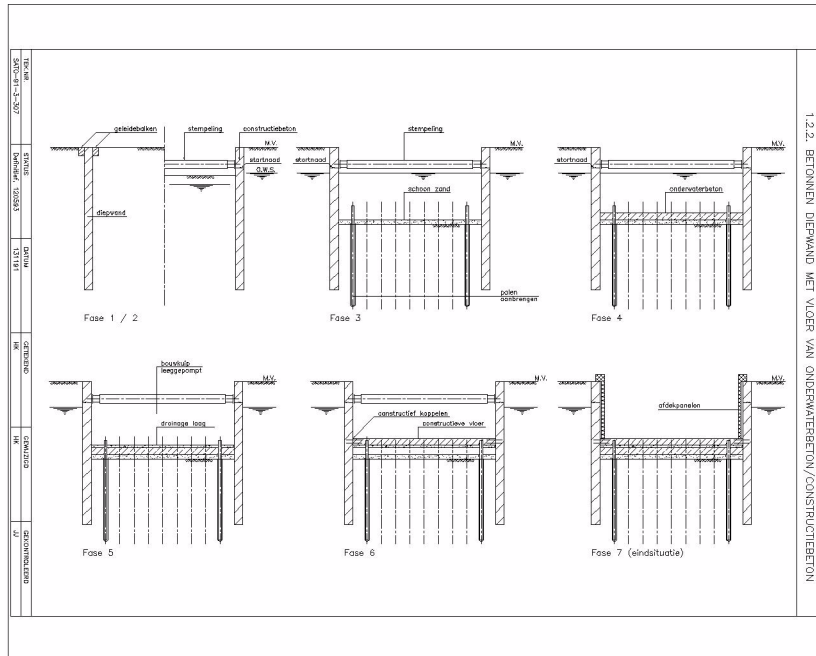
- RW 14, Ontwerp Verlengde Landscheidingweg.

**Documentatie**

- bibliotheeklijst: 142 t/m 145, 147 t/m 154, 173, 174, 179 t/m 211.









### 3.2.3.2 Betonnen diepwand met vloer van constructiebeton

#### Algemeen:

De constructie, die hier wordt bedoeld, is gebaseerd op het principe van constructief koppelen van diepwand en constructieve vloer. Wanden en vloer vormen tezamen een homogene bakconstructie. Hierbij is in de eindsituatie geen stempeling of verankering van de wanden vereist.

Voor die gevallen waarbij diepwand uitsluitend als vervanging van damwand wordt gezien, wordt verwezen naar de bouwmethoden in hoofdstuk 3.2.1.2

[Betonconstructie in bouwput met open bemaling] en 3.2.2.1 [Betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton].

#### Werkwijze:

##### Bouwkuipconstructie

De bouwkuip bestaat uit:

- gewapend betonnen diepwanden, uitgevoerd als definitieve constructie;
- funderingpalen, zowel in de bouwfase als in de eindsituatie benodigd;
- vloer van onderwaterbeton, welke een tijdelijke functie heeft;
- tijdelijke stempelconstructie/verankering;
- gewapend betonnen vloer met een definitieve functie.

Voor het maken van de diepwanden is een vrij omvangrijke bentoniet-installatie nodig. Deze installatie bestaat uit pompen, spoelbakken etc. Hiervoor moet op het bouwterrein ruimte worden gereserveerd.

Bij grote bouwkuipen is een compartimentering en fasering nodig zoals bij de bouwmethode met damwandkuip beschreven is. Ook de verdere werkwijze is min of meer gelijk. Na gereedkomen van (een deel van) de diepwanden wordt vervolgens:

- tussen de diepwanden (gefaseerd) ontgraven;
- stempeling aangebracht;
- palen geheid;
- onderwaterbeton gestort.

Na het leegpompen van de bouwkuip wordt de vloer van constructiebeton aangebracht. Ten behoeve van de constructieve verbinding tussen vloer en wand is, tijdens het vervaardigen van de diepwand, in de wandwapeningkorven prefab stekwapening aangebracht. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van busankers, stekkenbakken of uit te buigen wapeningstaven. Ook dient een voorziening te worden aangebracht om de verticale lekweg tussen de wandpanelen ter hoogte van de vloer af te sluiten.

De voegen in de vloer, h.o.h. ca. 20 meter, moeten samenvallen met één van de voegen in de diepwand, afhankelijk van de paneelbreedte, h.o.h. 2,5 à 3 meter. De paalkoppen worden ook hier opgenomen in de

De constructieve ruwbouw is nu voltooid en na verharding van de constructieve vloer kan de stempeling worden verwijderd.

#### Fundering

Voor de paalfundering komen in aanmerking de paaltypen:

- prefab betonnen heipaal;
- stalen injectiepaal;

Dit is om dezelfde redenen zoals die aangegeven zijn bij bouwmethode met damwandkuip.



Als de keuze voor een bouwmethode met diepwanden gedaan wordt in verband met geluids- en/of trillingsoverlast dan kunnen deze paaltypen niet worden gebruikt. In dat geval zijn de volgende paalsystemen toepasbaar:

- diepwandpaal;
- aangepaste NS-paal, in de vanaf het water aan te brengen schroefboorpaal wordt een stalen of prefab betonnen kern opgenomen waardoor de paal trek op kan nemen;
- andere paalsystemen, die aan de eisen (trillingsarm en "onder water" aan te brengen) voldoen, bijvoorbeeld Mega-paal.

#### **Eindafwerking bouwkuip**

De voornaamste afbouw bestaat uit het plaatsen van prefab afdekpanelen voor de diepwand. De functie van deze panelen is:

- opnemen van voorzieningen zoals poederbluskasten, hulpposten, kabels en leidingen.
- esthetische afwerking. Een diepwandconstructie is nooit gegarandeerd waterdicht. Enige lekkage zal zichtbaar zijn. Verder is de buitenzijde van een diepwand niet vlak als gevolg van het in de grond fabriceren van de wand.

Ten behoeve van het afvoeren van het lekwater via de wanden wordt achter de afdekpanelen een gootconstructie met afvoerleidingen naar de riolering aangebracht.

Tussenwanden worden, zoals gebruikelijk, in het werk gestort op de constructievloer.

#### **Kritisch:**

- constructieve koppeling vloer-diepwand;
- verticale lekweg tussen de diepwandpanelen;
- goede afvoer van lek- en hemelwater uit spouw tussen damwand en panelen i.v.m. ijsvorming en hierdoor weggedrukte panelen;

#### **Toepassing:**

Een bouwkuip met diepwanden en constructievloer kan dienen als:

- toerit;
- verdiepte weg;
- onderdoorgang;

#### **Voorwaarden:**

Een kunstwerk wordt met diepwanden en constructievloer gebouwd als:

- de bouwruimte beperkt is en;
- bemaling niet is toegestaan en;
- een trillingsarme bouwmethode wordt vereist.

#### **Referenties:**

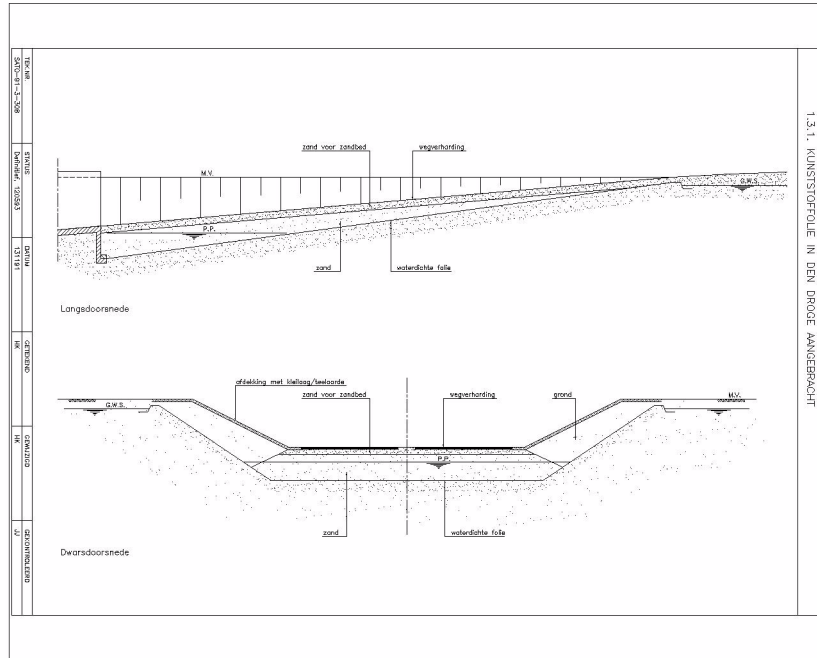
- RW 10, Uitbr. Coentunnel, toerit zuid.

#### **Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 157, 169.



### **3.2.4 Kunstmatige Polder Constructie**





### 3.2.4.1 Folieconstructie in den droge aangebracht

#### Werkwijze:

##### Algemeen

Om een kunstmatige polder te verkrijgen wordt bij deze bouwmethode een waterdichte kunststof folie toegepast om de afsluitende laag te creëren. Door het verschil in (grond)waterstand buiten en binnen de polder ontstaat een waterdrukverschil aan weerskanten van de folie. Om het drukverschil op de folie te compenseren wordt de folieconstructie geballast met zand. Veiligheidshalve moet in de gebruikstoestand het gewicht van zand en water op de folie 1,1 maal zo groot zijn als de waterdrukbelasting onder de folie. Hierbij wordt het gewicht van de verharding niet in rekening gebracht.

##### Fabricage folieconstructie

De folieconstructie is gemaakt van banen gekalanderde PVC-folie van 2.00 meter breed die in de fabriek aan elkaar worden gelast. Indien nodig kan een folieconstructie worden gemaakt die dezelfde vorm heeft als het cunet waarin de folie moet worden aangebracht. Deze vorm wordt verkregen door het aan elkaar lassen van verschillende foliedelen. Dit wordt het "confectioneren" van de folieconstructie genoemd.

Door transport- en productiebeperkingen zijn de maximale afmetingen van geprefabriceerde folieconstructies beperkt tot ca. 6000 m<sup>2</sup>. Bij grotere folieconstructies wordt de folieconstructie in delen geprefabriceerd en op het werk aan elkaar gelast. Ten behoeve van het transport worden de folieconstructie opgevouwen. Hierbij wordt de positie van de uitgevouwen folieconstructie t.o.v. het opgevouwen pakket geregistreerd zodat bij het aanbrengen van de folieconstructie de juiste uitgangspositie voor het uitvouwen van het foliepakket kan worden bepaald.

##### Graven cunet en bemaling

Na installatie van het bemalingssysteem wordt in den droge het cunet gegraven. Afhankelijk van de bodemgesteldheid wordt een taludhelling aangehouden van maximaal 1:1,5.

Om beschadiging van de folie te voorkomen moeten bodem en taluds van het cunet vrij zijn van scherpe voorwerpen en stenen.

Het is aanbevolen om zekerheidshalve op de bodem een laag schoon zand aan te brengen.

##### Aanbrengen folieconstructie

Het foliepakket wordt op de bodem van het cunet neergelegd op een, aan de hand van de positiebepaling tijdens het opvouwen van de folieconstructie, van te voren gemarkeerde plek. Vervolgens wordt de folieconstructie uitgevouwen en uitgelegd over de bodem en taluds.

Bij grotere afmetingen worden de foliepakketten stuk voor stuk uitgelegd en ter plekke aan elkaar gelast.

Na het uitleggen wordt de gehele folieconstructie geïnspecteerd op beschadigingen en zonodig gerepareerd.

De folie wordt bovenaan de taluds verzekerd door middel van een kielspit.



Indien de folieconstructie op andere constructiedelen, bijvoorbeeld een waterkelder of een betonnen bakconstructie, moet worden aangesloten, wordt een klemconstructie toegepast.

Direct op de folie wordt weer een laag zand aangebracht. Dit zand mag geen stenen bevatten en een beperkte hoeveelheid fijne delen.

Vervolgens wordt verder aangevuld tot ca. 1 meter onder de wegverharding. Het aanvullen dient van het midden uit te geschieden zodat wordt voorkomen dat zand op het talud gaat afglijden en hierbij de folie meeneemt.

De laatste 1 à 1,5 meter wordt aangevuld met zand voor zandbed. Op dit zandbed wordt de wegverharding aangebracht.

De taluds van de verdiepte weg worden afgewerkt onder een helling van maximaal 1:2. Op de taluds wordt een bekleding van teelaarde aangebracht en vervolgens ingezaaid met gras.

In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld ter plaatse van landhoofden van viaducten, kan het talud worden vervangen door een gewapende grond-constructie.

### **Drainage en riolering**

Om het polderpeil binnen de folieconstructie te kunnen handhaven wordt een drainagesysteem, bestaande uit ribbedrainbuizen en inspectieputten, aangelegd. Voor het opvangen en afvoeren van hemelwater wordt een rioleringsstelsel, bestaande uit straatkolken, inspectieputten en afvoerbuizen, aangebracht.

### **Kritisch:**

- kwaliteitseisen folie;
- kwaliteitscontrole lasnaden, m.n. in het werk aangebracht;
- beschadigingen van de folie tijdens de uitvoering;
- volgorde grondaanvulling op folieconstructie;
- ontwerp klemconstructie c.q. waterdichte aansluitingen;
- dimensionering drainage- en rioleringsstelsel;
- beheersfase, beheerder dient te worden gewezen op de aanwezigheid van de folieconstructie. Bij onderhoudswerk en het plaatsen van wegmeubilair dient hiermee rekening te worden gehouden.

### **Toepassing:**

Een folieconstructie kan worden toegepast voor de bouw van:

- toeritten;
- verdiepte wegen;

### **Voorwaarden:**

Een folieconstructie in den droge kan worden toegepast als:

- bemaling is toegestaan en;
- voldoende breedte beschikbaar is, zowel tijdens de bouw als in de eindsituatie.

### **Referenties:**

- RW 1, onderdoorgang KW 37, toeritten;
- RW 1, onderdoorgang KW 43, toeritten;
- RW 58, verdiepte weg Ulvenhout.

### **Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 136, 140;



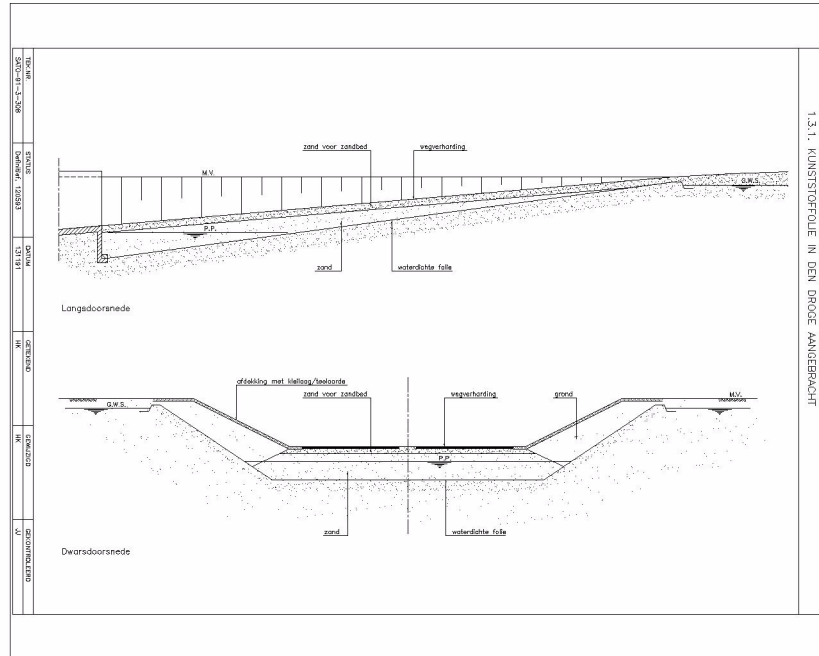
---

Bouwmethoden

In Situ bouwen

- richtlijnen ontwerp folieconstructies;
- richtlijnen uitvoering folieconstructies;







### 3.2.4.2 Folieconstructie in de natte aangebracht

#### Werkwijze:

##### Fabricage folieconstructie

De fabricage van de folie gaat op ongeveer dezelfde manier als bij de droge bouwmethode. de geprefabriceerde foliegedeelten moeten op een speciale manier worden opgevouwen i.v.m. het afzinkproces.

##### Ontgraven cunet

Het eerste gedeelte wordt met behulp van graafmachines in den natte ontgraven totdat de put groot genoeg is om er een cutterzuiger in te leggen.

Vervolgens wordt het cunet verder uitgebaggerd en op diepte gebracht. I.v.m. de stabiliteit van het onderwatertalud wordt een maximale helling van 1:3 aangehouden.

Ook hier wordt eerst een laag schoon zand op de bodem aangebracht. Het komt voor dat op de zandlaag weer een sliblaag wordt gevormd. Deze sliblaag dient verwijderd te worden alvorens de folie wordt afgezonken. De zandlaag dient in dit geval niet alleen voor bescherming maar ook als drainagelaag tijdens het afzinken. Water dat eventueel ingesloten wordt onder de folie kan dan sneller wegvloeien.

##### Afzinken folieconstructie

De folieconstructie wordt op een speciale wijze afgezonken vanaf een pontonconstructie welke de gehele cunetbreedte beslaat. Het afzinkponton heeft de vorm van het bodemprofiel om plooiën in de folie te vermijden tijdens het afzinkproces. Verder zijn op het ponton remrollen aangebracht om de folie geleidelijk en gecontroleerd af te kunnen zinken.

Door het tegelijkertijd verhalen van het ponton en het verpompen van water van voor/onder de folie naar achter/boven de folie daalt de folie op de bodem neer.

Als de folieconstructie niet gelijkmatig van vorm is, bijvoorbeeld schuine beëindigingen of hoekstukken ter plaatse van de aansluiting met een bakconstructie, dan wordt gebruik gemaakt van extra drijvers.

##### Overig

Het eerste gedeelte van de aanvulling wordt in den natte aangebracht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een diffusor om ontmenging van de zandspecie te voorkomen. Door ontmenging kunnen sliblagen in de aanvulling ontstaan. Het zand dient vanuit de wegas in lagen te worden aangebracht. Hiermee wordt voorkomen dat het zand op de taluds gaat glijden en de folie meeneemt. Nadat ballastzand met voldoende overhoogte op de folie is aangebracht, wordt het water binnen de folieconstructie weggepompt tot het gewenste polderpeil. Vervolgens wordt de bovenste laag ter plaatse van toekomstige rijbanen c.q. zand voor zandbed weer verwijderd. Hierbij dient het evenwicht van de folie te blijven gewaarborgd. Tenslotte wordt het zand voor zandbed aangebracht en verdicht.

Drainage, riolering en wegverharding is gelijk aan de droge bouwmethode.

##### Kritisch:

- kwaliteitseisen folie;
- lasnaden, m.n. op het werk aangebracht;
- beschadigingen folie;



- ontwerp klemconstructie c.q. waterdichte aansluitingen;
- dimensionering drainage- en rioleringsysteem;
- afzinkproces;
- volgorde zand opspoeien en sproeikracht;
- slibinsluitingen in de aanvulling. Deze veroorzaken ontoelaatbare nazettingen als de weg in gebruik is genomen;
- beheersfase, beheerder dient te worden gewezen op de aanwezigheid van de folieconstructie. Bij onderhoudswerk en het plaatsen van wegmeubilair dient hiermee rekening te worden gehouden.

**Toepassing:**

Een folieconstructie kan worden toegepast voor de bouw van:

- toeritten;
- verdiepte wegen;

**Voorwaarden:**

Een folieconstructie in den natte kan worden toegepast als:

- bemaling niet is toegestaan en;
- voldoende ruimte voor ingraving cunet aanwezig is.

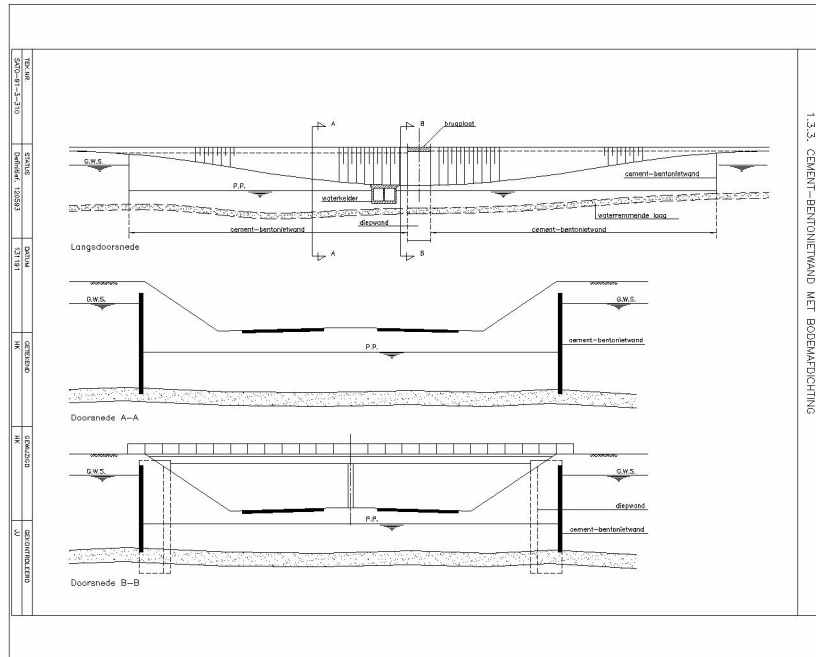
**Referenties:**

- RW 27, verdiepte weg Amelisweerd;
- RW 32, Tunnel te Grouw, toeritten;
- RW 15, Tunnel onder de Noord, westelijke toerit;
- RW 9, Wijkertunnel, toeritten.

**Documentatie:**

- 65 t/m 72, 101, 135;
- richtlijnen ontwerp folieconstructies;
- richtlijnen uitvoering folieconstructies;







### 3.2.4.3 **Cement-bentoniet wand met natuurlijke of kunstmatige bodemafdichting**

#### **Werkwijze:**

#### **Cement-bentoniet wand**

De verticale waterafsluiting van de kunstmatige polder wordt gevormd door een cement-bentoniet wand.

De wand komt als volgt tot stand:

- Aan weerszijden van de strook waar de wand moet komen, worden in de grond, net onder het maaiveld, twee geleidebalken aangebracht. De functies van de geleidebalken zijn:
  - het markeren van de plaats van de wand;
  - het geleiden van de grijper tijdens het graafproces;
  - het voorkomen van instortingen ter plaatse van de bovenrand van de sleuf.
- Een graafmachine met speciale grijper graaft tussen de geleidebalken een sleuf in de grond.
- Tijdens het graven wordt de sleuf opgevuld met een mengsel van water, cement en bentoniet. Dit mengsel heeft drie belangrijke functies:
  - het levert de benodigde steundruk om te voorkomen dat de ontgraving instort.
  - het mengsel stijft na enige tijd op waardoor in de eindsituatie extra stabiliteit ontstaat.
  - het vormt een waterremmende wand in de grond.

Als de wand zeer goed waterremmend moet zijn, met name op de lange termijn, wordt vóór het opstijven van het mengsel een lichte stalen damwand in de met cement-bentoniet gevulde sleuf aangebracht.

Een nieuwe ontwikkeling is het toepassen van panelen van kunststoffolie (HDPE) i.p.v. damwand. De panelen zijn aan de zijkanten voorzien van klauwprofielen waardoor de panelen onderling aan elkaar worden gekoppeld. Met een hulpframe worden de panelen in de sleuf aangebracht. Om het tijdstip van aanbrengen minder kritisch te maken, wordt in dit geval een vertrager bij het mengsel toegevoegd. Door de wand tot in de waterdichte kleilaag te laten steken wordt een redelijk waterdichte "bak" gevormd.

Ook als er slechts een aantal dunne kleilaagjes aanwezig zijn, kan deze constructie worden toegepast. De cement-bentoniet wand doorsnijdt in dit geval een aantal laagjes zodat toch voldoende afdichting wordt verkregen.

#### **Bodemafdichting**

Bij de bodemafdichting wordt onderscheid gemaakt in een natuurlijk aanwezige of kunstmatig aangebrachte waterremmende bodemlaag.

#### **Natuurlijke afdichting**

In grote delen van Nederland komt klei voor. Voor de beoogde bouwmethode kan gebruik worden gemaakt van een enkele, ononderbroken dikke laag of meerdere, eventueel onderbroken, dunne lagen. Een zorgvuldig vooronderzoek is nodig om vast te stellen of de kleilaag / lagen geschikt is / zijn.



Mede a.d.h. van de doorlatendheid van de klei kan worden vastgesteld hoe groot de totale laagdikte moet zijn om te voldoen aan de eisen ten aanzien van het toelaatbare waterbezwaar. Ook zal men rekening moeten houden met het gevaar van opbarsten van de laag of lagen ten gevolge van water(over)spanning. Verder moet de bovenkant van de enkele laag of de onderkant van het lagenpakket niet te diep onder het maaiveld liggen omdat anders deze bouwmethode niet economisch is.

### **Kunstmatige afdichting**

Deze methode kan worden toegepast indien in de bodem een injecteerbare grondlaag aanwezig is. De basisgrondstof van het injectiemateriaal is meestal waterglas (tijdelijke toepassingen) of cementgrout (definitieve toepassingen). De kwaliteit van de geïnjecteerde laag is o.a. afhankelijk van:

- de korrelverdeling;
- de daarbij behorende injectievloeistof en viscositeit;
- de aanwezigheid van stoorlaagjes en mogelijke verontreinigingen door slib;
- de uitvoeringsmethode.

Een uitgebreid bodemonderzoek, een deskundige analyse van injectiemateriaal en injectiemethode en een zorgvuldige uitvoering zijn vereist voor een goed resultaat. Mede hierdoor en door de relatief hoge kosten is deze techniek nog niet eerder toegepast voor de beoogde bouwmethode.

### **Ontgraven**

Als de cement-bentoniet wand rondom voltooid is, wordt de waterstand binnen de kunstmatige polder verlaagd. Het cunet ten behoeve van de wegaanleg wordt in den droge ontgraven. Vóór de cement-bentoniet wanden blijft een steunberm gehandhaafd. Dit is nodig omdat de wand geen noemenswaardige sterkte heeft. De wand alleen kan de belasting ten gevolge van het waterstandsverschil aan weerszijden van de wand niet opnemen. Hierbij moet rekening worden gehouden met slappe bodemlagen, bijvoorbeeld een veenlaag, welke als horizontale glijlaag kan functioneren. Hierdoor is een grotere afstand tussen wand en cunet vereist. In het cunet wordt vervolgens het zandbed en de wegverharding aangebracht.

### **Riolering/Drainage**

Voor het regelen van de waterhuishouding binnen de kunstmatige polder wordt een riolerings- en drainagesysteem aangebracht. Zie ook de folieconstructies.

### **Variant:**

In plaats van cement-bentoniet wanden kan ook stalen damwand worden toegepast. De zwaarte van de damwand wordt in deze toepassing bepaald door de heikbaarheid omdat in de eindsituatie de wand volledig is ingesloten in de grond. Ook met de duurzaamheid van de damwand moet rekening worden gehouden.

### **Kritisch:**

- bodemonderzoek ten aanzien van te verwachten kwel, onderbrekingen in de kleilagen en stabiliteit ontgraving;
- mengsel-samenstelling cement-bentoniet specie met betrekking tot verwerking, uitvoering en waterremmende eigenschappen;
- inhangen foliepanelen;

**Toepassing:**

Een polderconstructie bestaande uit een cement-bentoniet wand en een (kunstmatige) bodemafdichting kan worden toegepast voor de bouw van:

- toeritten;
- verdiepte wegen.

**Voorwaarden:**

Een polderconstructie bestaande uit een cement-bentoniet wand en een (kunstmatige) bodemafdichting kan worden toegepast als:

- de bodemgesteldheid, grondsoorten en laagopbouw geschikt zijn voor deze bouwmethode en:
- in de bouwfase en de eindsituatie voldoende breedte beschikbaar is.

**Referenties:**

- RW 35, verdiepte weg nabij Enschede;
- RW 2, verdiepte weg nabij Vught;
- RW 2, verdiepte weg nabij Best;
- RW 32, toeritten tunnel nabij Grouw.

**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 74, 146, 155, 156, 159, 167, 169, 175 t/m 178.







## **Inhoudsopgave Gefaseerd bouwen in situ**

- 3.3.1 Algemeen
- 3.3.2 Fasering betonconstructie
  - 3.3.2.1 Fasering Betonconstructie in Bouwput met bemaling
  - 3.3.2.2 Fasering betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton
  - 3.3.2.3 Pneumatisch afgezonken caissolelementen
  - 3.3.2.4 Wanden/dak methode



---

Bouwmethoden



### **3.3 GEFASEERD BOUWEN IN SITU**

#### **3.3.1 Algemeen**

Onder de noemer "gefaseerd bouwen in situ" wordt in deze context geschaard: 'Het in twee hoofdfasen bouwen van het gesloten gedeelte van een tunnel, aquaduct of onderdoorgang, waarbij in beide bouwfasen de te kruisen verbinding gedeeltelijk wordt afgesloten en / of omgelegd, zoals in figuur 1 wordt weergegeven.'

Dit principe is de basis voor de beschrijving van de bouwmethoden:

- 2.1. fasering betonconstructie in bouwput met bemaling [3.3.2.1];
- 2.2. fasering betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton [3.3.2.2].

Het bouwen van de aansluitende toeritten wordt in de fasering geheel of gedeeltelijk meegenomen, dat wil zeggen: in één bouwput of bouwkuip wordt tegelijkertijd (een deel van) de toerit en een deel van het gesloten gedeelte gebouwd. Dit faseringsprincipe komt met name in aanmerking voor het ondertunnelen van waterwegen, maar is ook toepasbaar bij verkeerswegen.

- het gefaseerd bouwen van het gesloten gedeelte van een tunnel of onderdoorgang, waarbij diverse faseringsprincipes kunnen worden toegepast. Zie figuur 1 en 2. Dit zijn de bouwmethoden:

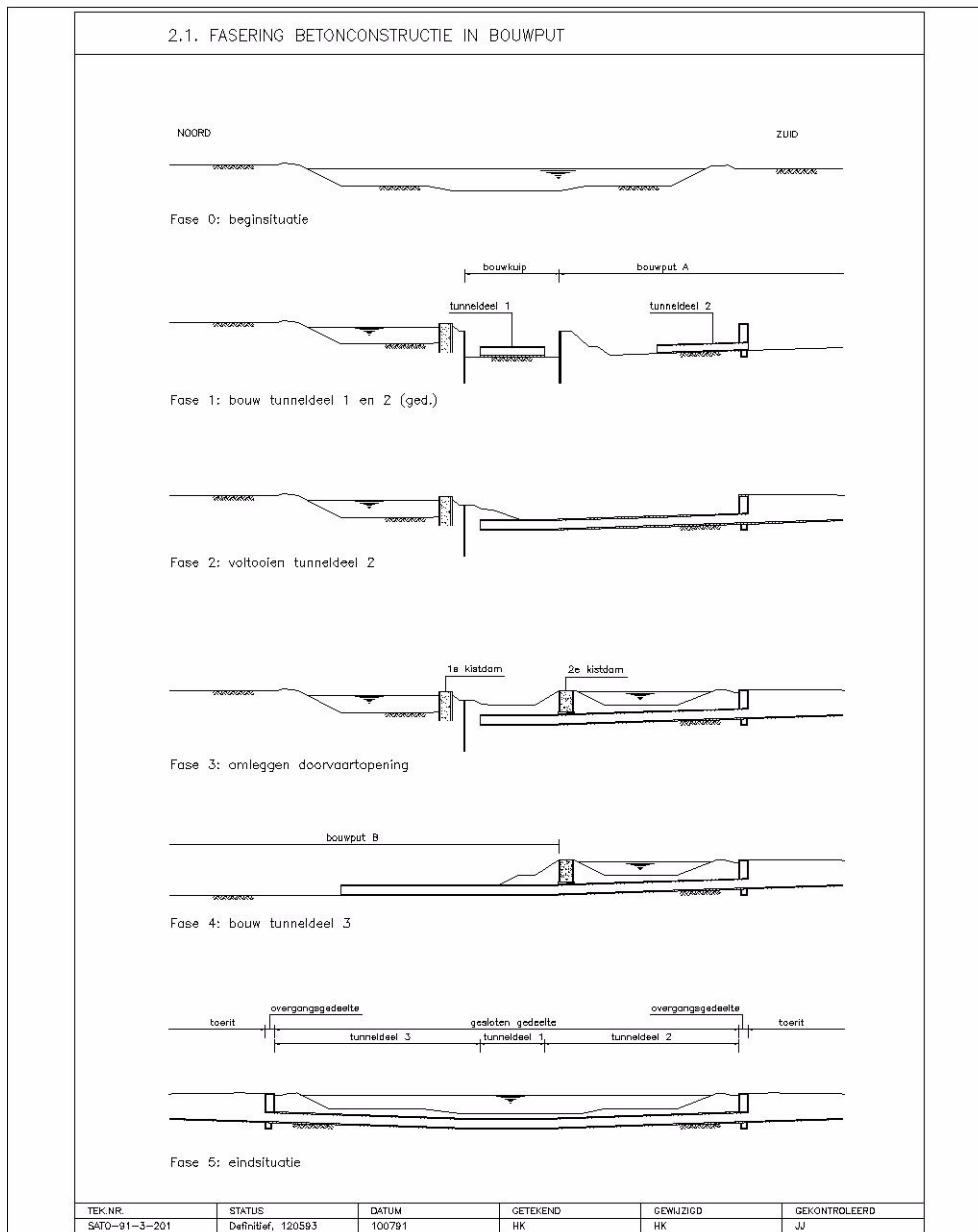
- 2.3. pneumatisch afgezonken caissonelementen [3.3.2.3]
- 2.4. wanden/dak methode of "cut and cover" methode [3.3.2.4].

Zonder extra voorzieningen zijn deze methoden niet geschikt voor het ondertunnelen van waterwegen.





### **3.3.2 Fasering betonconstructie**





### 3.3.2.1 Fasering Betonconstructie in Bouwput met bemaling

**Algemeen:**

De hier beschreven werkwijze is gebaseerd op de gelijktijdige aanleg van een van elkaar gescheiden autotunnel en spoortunnel onder het Noordzeekanaal nabij Velsen.

De keuze voor deze uitvoeringsmethode werd beïnvloed door de in de grond aanwezige kleilaag die een scheiding vormt tussen het onderliggende zoete grondwater en bovenliggende zoute grondwater. Deze scheiding moest na de aanleg van de tunnels weer worden hersteld. Hierdoor viel bijvoorbeeld de afzinkmethode af. Verder viel de aanleg min of meer samen met een verbreding van het Noordzeekanaal.

In deze beschrijving komt alleen de toegepaste fasering ter sprake. Voor een beschrijving van de bouw van een betonconstructie in een bouwput wordt verwezen naar hfdst. 1.1.1.

**Werkwijze:**

Zie ook de faseringstekeningen.

1. Beginsituatie.
2. In het midden van de waterweg wordt een cirkelvormige rondom door grond gesteunde bouwkuip gemaakt waarin tunneldeel 1 wordt gebouwd. De kistdam aan de kop van de bouwput heeft twee functies. Als onderdeel van bouwput A beperkt de kistdam, tezamen met een rondom de bouwput aangebracht damwandscherm, het waterbezwaar in de bouwput. Verder maken de ronde bouwkuip en deze kistdam het mogelijk om de noordelijke kop van tunneldeel 1 zover mogelijk door te trekken zonder de doorvaartopening al te veel te beperken. In bouwput A wordt tegelijkertijd begonnen met tunneldeel 2.
3. Aan de zuidzijde is een deel van de bouwkuipwand verwijderd. De uitwendige steundruk voor de bouwkuipwand is overgenomen door het inwendig aangebracht grondlichaam. Het noordelijk kopeinde van tunneldeel 1 is afgesloten met een kopschot. De bouw van tunneldeel 2 is zover gevorderd dat deze aansluit op tunneldeel 1.
4. Bouwput A is aangevuld en aan de zuidzijde is een nieuwe doorvaartopening aangelegd. Een tweede kistdam is aangelegd over tunneldeel 1/2. Deze kistdam is een onderdeel van bouwput B.
5. De noordelijke doorvaartopening is afgesloten en de noordelijke bouwput is gegraven. Aansluitend op tunneldeel 1 wordt tunneldeel 3 gebouwd
6. Eindsituatie. Tunneldeel 3 is gebouwd. De waterweg is in de oorspronkelijke staat hersteld.

**Kritisch:**

- bemaling bouwputten;
- bedijking bouwputten;
- faseringen.

**Toepassing:**

De gefaseerde bouw in bouwputten wordt toegepast bij de bouw van:

- het gesloten gedeelte van tunnels met bijbehorende overgangsgedeelten en toeritten.

**Voorwaarden:**

De gefaseerde bouw in bouwputten kan worden toegepast als:

- de waterweg breed genoeg is (gemaakt) en:





---

Bouwmethoden

Gefaseerd bouwen in situ

- bemaling is toegestaan en:
- gedeeltelijke belemmering scheepvaart is toegestaan.

Voor de bouw van de toeritten dient tevens voldoende bouwruimte beschikbaar te zijn.

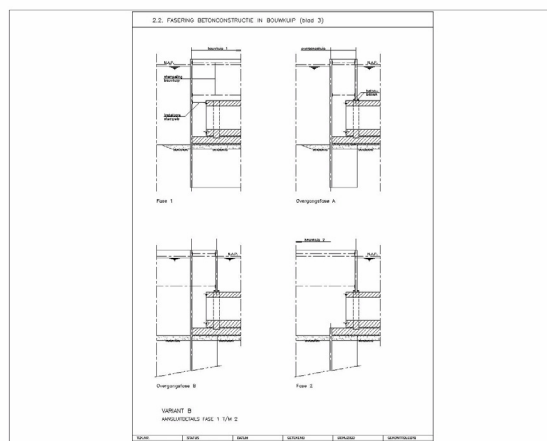
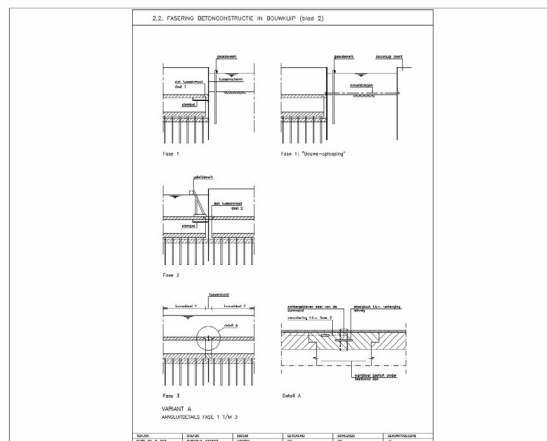
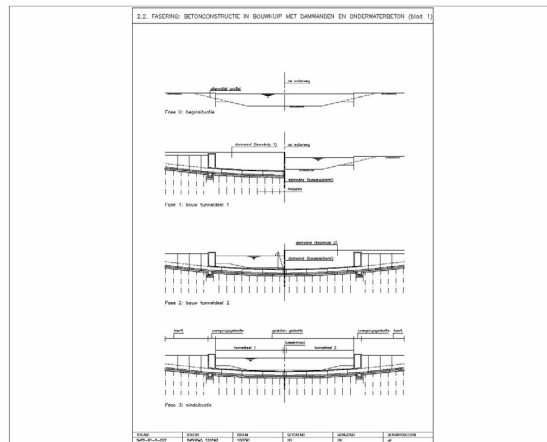
**Referenties:**

- RW 9 Velsertunnel.

**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 1, 2, 3.







### 3.3.2.2 Fasering betonconstructie in bouwkuip met damwanden en onderwaterbeton

#### Algemeen:

Deze bouwmethode is gebaseerd op het in twee fasen c.q. twee delen bouwen van het gesloten gedeelte. Hiervoor wordt in elke fase een deel van de vaarweg afgesloten. Het andere deel blijft beschikbaar voor het scheepvaartverkeer. Om de bouwkuipen in de vaarweg te beschermen tegen aanvaringen dienen scheepvaartsignalering en geleidewerken te worden aangebracht.

Voor het op elkaar aansluiten van de tunneldelen zijn twee varianten (A en B) beschikbaar.

Bij variant A wordt voor de aansluiting gebruik gemaakt van een korte tussenmoot met hierin opgenomen de damwand tussen fase 1 en 2. Deze variant is toegepast bij de aanleg van het Gouwe-aquaduct.

Variant B is gebaseerd op een oud ontwerp voor de Zeeburgertunnel. Hierbij wordt de aansluiting gerealiseerd door middel van een overgangsbouwkuip.

In deze beschrijving komen alleen de toegepaste faseringen en de hierbij behorende bijzonderheden ter sprake. Voor een beschrijving van de bouw van een betonconstructie in een bouwkuip wordt verwezen naar hoofdstuk 3.2.1.2.

#### Werkwijze:

##### Fasering variant A

1. Beginsituatie.
2. Tot op ca. de helft van de waterweg wordt een bouwkuipconstructie (bouwkuip 1) gemaakt. In de droge bouwkuip worden de tunnelmoten van tunneldeel 1 gebouwd.  
Nadat krimp van tunneldeel 1 voldoende heeft plaatsgevonden, wordt het dak van deel 1 van de tussenmoot gestort. Zie aansluitdetail fase 1.  
Om de waterdichtheid van dit dakgedeelte te waarborgen is het noodzakelijk dat de damwand van het tussenscherm ter hoogte van het tunneldak geen vervormingen kan ondergaan als gevolg van waterstandsverschillen en/of scheepvaart.  
Vervorming van de damwand kan worden voorkomen door een stempeling aan te brengen tussen het dak van de laatste tunnelmoot en de damwand of door het onder water aanbrengen van ankerstangen tussen de betreffende damwand en het kopscherm van de dan al aanwezige bouwkuip voor de bouw van de toerit. Zie aansluitdetail, fase 1, "Gouwe-oplossing".  
Om vervorming van de damwand te voorkomen ten gevolge van het omkeren van de belastingrichting in fase 2, wordt tussen het dak van de laatste volledige tunnelmoot en het tussenscherm een verankering aangebracht. Zie detail A.
3. De langswanden van bouwkuip 1 zijn verwijderd. Het scheepvaartverkeer wordt omgelegd over tunneldeel 1.  
Vervolgens worden, aansluitend op het tussenscherm, de wanden van bouwkuip 2 geheid en wordt tunneldeel 2 gebouwd op dezelfde manier als in fase 1.  
Nadat ook hier de krimp van de normale tunnelmoten heeft plaatsgevonden wordt het dak van deel 1 van de tussenmoot gestort.
4. De wanden van bouwkuip 2 zijn verwijderd. Het tussenscherm wordt boven het dak van de tussenmoot en in de tunnelkokers verwijderd.



Vervolgens worden van binnen uit de vloer en de wanden van de tussenmoot gestort. De stortvoeg tussen de bovenkant wand en onderkant dak van de tussenmoot wordt geïnjecteerd zodat hier geen lekkage kan optreden. Ook bij het in het dak achtergebleven stuk damwand worden voorzieningen getroffen om lekkages te voorkomen. Deze voorzieningen bestaan uit het aanbrengen van staalplaten om de "lekweg" te vergroten en het dichtlassen van de damwandkluwen.

### **Fasering variant B**

1. Beginsituatie.
2. Tot op ca. de helft van de waterweg wordt een bouwkuipconstructie gemaakt. In de droge bouwkuip (bouwkuip 1) worden de tunnelmooten voor het eerste tunneldeel (tunneldeel 1) gebouwd.  
Overgang van fase 1 op fase 2:  
Op het dak ter plaatse van het uiteinde van de laatste tunnelmoot van tunneldeel 1 wordt een damwand aangebracht. De voet van deze damwand wordt geplaatst tussen twee prefab betonnen balken welke op het dak van de tunnelmoot zijn afgespannen. Aansluitend aan deze damwand wordt aan weerszijden van de tunnelmoot een vleugelwand aangebracht tussen tunnelwand en bouwkuipwand. Hierdoor ontstaat een kleine overgangsbouwkuip rondom het uiteinde van de laatste tunnelmoot. (fase A)  
Vervolgens wordt de overige damwand van bouwkuip 1 getrokken en worden de scheepvaartsignalering en geleidewerken omgezet. Hierna kan worden gestart met het heiwerk voor bouwkuip 2. (fase B)
3. Na het gereedkomen en leegpompen van bouwkuip 2 wordt gestart met de bouw van tunneldeel 2. Voor het aansluiten van dit tunneldeel op het mooteinde dat in de overgangsbouwkuip steekt, dient het damwandscherm tussen bouwkuip 2 en de overgangsbouwkuip te worden verwijderd. Hiertoe wordt de damwand vlak boven de onderwaterbeton afgebrand.
4. Als het betonwerk van tunneldeel 2 gereed is, wordt water ingelaten in bouwkuip 2. Hierna wordt de damwand getrokken en worden de scheepvaartsignalering en geleidewerken verwijderd.

### **Kritisch:**

- Om lekkages in de tunnel te voorkomen dient met name bij variant A bijzondere aandacht te worden besteed aan de detaillering en uitvoering van de aansluiting van tunneldeel 2 op tunneldeel 1. Alhoewel variant B nog niet in de praktijk is toegepast, verdient deze de voorkeur vanwege de potentieel betere waterdichtheid.
- Bouwkuip beschermen tegen aanvaring door middel van signalering en geleidewerken.

### **Toepassing:**

De gefaseerde bouw in bouwkuipen kan worden toegepast voor de bouw van:

- gesloten gedeelten van tunnels en aquaducten met de bijbehorende overgangsgedeelten en toeritten.

### **Voorwaarden:**

De gefaseerde bouw in bouwkuipen kan worden toegepast als:

- bemaling niet is toegestaan en:
- weinig ruimte beschikbaar is en:



---

Bouwmethoden

Gefaseerd bouwen in situ

- gedeeltelijke belemmering scheepvaart is toegestaan.

**Referenties:**

Variant A:

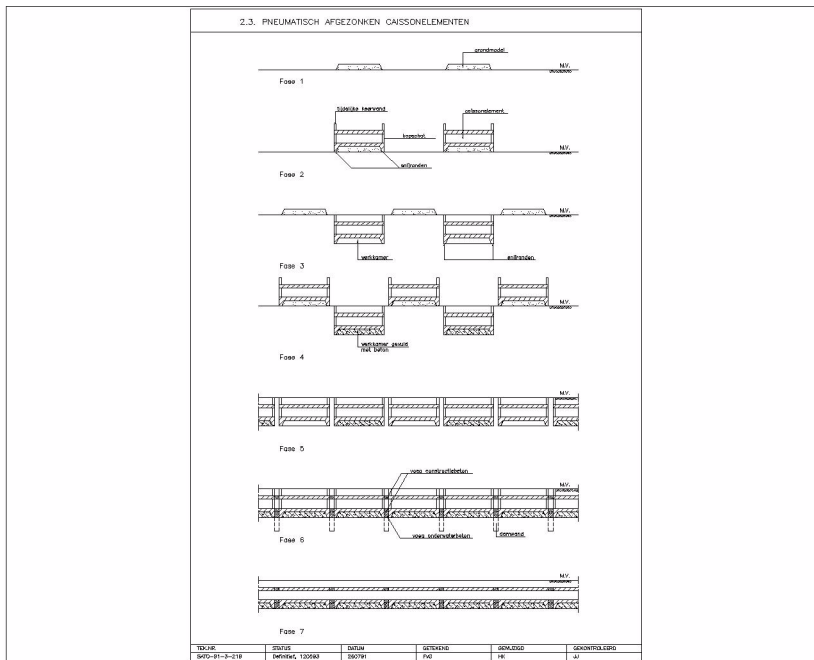
- RW A12, Gouwe aquaduct;

Variant B:

- RW A10, Zeeburgertunnel.

**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 4 t/m 18.





### 3.3.2.3 Pneumatisch afgezonden caissonelementen

**Algemeen:**

Pneumatisch afzinken berust op het duikerklok-principe. Het te maken bouwwerk wordt in eerste instantie boven de grond gebouwd. Rondom onder het bouwwerk wordt een snijrand opgenomen welke met de vloer van het bouwwerk de werkkamer vormt. Het geheel van bouwwerk met werkkamer wordt caisson genoemd. Als het caisson gereed is, wordt in de werkkamer de grond onder het caisson verwijderd waardoor het caisson gaat zakken. Een moderne methode van grond verwijderen is spuiten. Met een krachtige waterstraal wordt de grond losgespoten en vervolgens wordt de met water vermengde grond afgezogen en via persleidingen uit de werkkamer afgevoerd. Op het werkterrein moet een ruimte ingericht worden waar de specie kan bezinken. Dit wordt het spoelsterrein genoemd. Om te voorkomen dat grondwater in de werkkamer binnentreedt, wordt de werkkamer onder druk gehouden. Tevens vormt de lucht in de werkkamer een luchtkussen dat het caisson gedeeltelijk draagt. Door de luchtdruk te variëren wordt de druk op de snijranden geregeld. Hiermee wordt het afzinkproces en de positie van het caisson beïnvloed.

Verder kan het afzinkproces worden bevorderd door de volgende maatregelen:

- tijdelijk verminderen van de luchtdruk (aflaten). Hierdoor zakt het caisson tijdelijk wat sneller;
- door tussen caissonwand en grond een glijlaag van bentoniet aan te brengen wordt de wrijvingsweerstand verminderd;
- ballasten van het caisson.

Eventuele obstakels die tijdens het afzinken in de grond worden aangetroffen, zoals resten van oude bouwwerken, worden via de luchtsluis uit de werkkamer verwijderd. Grote obstakels, zoals zwerfkeien, kunnen ook door onderspoeling mee worden afgezonden.

Als het caisson op diepte is, wordt de werkkamer volgestort c.q. geïnjecteerd met betonspecie. Deze betonvulling is tevens ballast en moet dan ook aan de vloer worden verankerd. Ook is het mogelijk om op vooraf aangebrachte palen af te zinken.

Het pneumatisch afzinken is een gespecialiseerd werk waarbij bijzondere apparatuur wordt gebruikt. Op de werkzaamheden in de werkkamer is de caissonwet van toepassing welke het werken onder verhoogde luchtdruk regelt. Voor de afzinkwerkzaamheden wordt dan ook meestal een bedrijf ingeschakeld dat in dit werk gespecialiseerd is.

**Werkwijze:****Algemeen**

De tunnel bestaat uit een aantal afzonderlijke caissonelementen. De lengte per element is afhankelijk van de totale oppervlakte van het caisson en van de toe te laten of toelaatbare belastingen op het caisson. Met name de afzinkbelastingen zijn hierbij maatgevend omdat er dan grote torsiekrachten op het caisson worden uitgeoefend. Zie hiervoor SATO-document, deel 4.

Een praktische richtwaarde voor de lengte ligt tussen de 40 en 60 meter.





Om te voorkomen dat zeer grote bovenbelastingen optreden als gevolg van het naastliggende element worden de elementen in twee fasen om en om gebouwd. Tevens wordt hierdoor de breedte van de bouwplaats beperkt omdat de tussenliggende ruimte kan worden benut als werkterrein.

**Fase 1: Voorbereiding**

Op het maaiveld worden zandlichamen aangebracht en verdicht. De zandlichamen vormen een contramal van de werkkamers. Op de plaats van de toekomstige toegang naar de werkkamer wordt een bekisting in het zandlichaam opgenomen om een aanzet te geven voor de ontgraving.

Op het zandlichaam wordt een (gewapend betonnen) werkvloer aangebracht. In de werkvloer worden stekeinden opgenomen om later de vulbeton in de werkkamer met de constructievloer te verbinden en om te voorkomen dat delen van de werkvloer loskomen tijdens het afzinken.

**Fase 2/4: Bouw elementen**

De snijranden en vloer worden gezamenlijk gestort. De snijranden kunnen geheel of gedeeltelijk geprefabriceerd zijn. Vervolgens worden wanden en dak gestort op dezelfde wijze als bij de zinktunnel.

Elk element wordt voorzien van kopschotten welke een tweeledig doel hebben. Het afsluiten van het element en het verstijven van het element door het vormen van een doosconstructie.

**Fase 3/5: Afzinken elementen**

De elementen worden één voor één afgezonken op de in het algemene deel beschreven werkwijze.

Nadat de elementen op diepte zijn afgezonken worden de werkkamers gevuld met beton. De kier tussen de constructievloer en de vulbeton wordt nog geïnjecteerd met grout om de stekeinden tussen vloer en vulbeton te beschermen.

**Fase 6: Bouw voegconstructies**

Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar:

1. Aanbrengen van tijdelijke afdichtingen met damwanden en onderwaterbeton. In deze bouwkuip wordt de constructieve voeg gemaakt. Deze methode wordt bij voorkeur gevolgd bij niet al te diepe tunnels.
2. **Bevriezen van de grond** rondom de voeg door middel van injecteren met vloeibare stikstof. De bevroren grond vormt een afsluitende laag rondom de voeg. Vanuit de binnenkant van de caissons wordt de grond tussen de elementen verwijderd en wordt de definitieve voeg gemaakt.

Overwegingen die een rol kunnen spelen bij het kiezen van methode 2 in plaats van methode 1 zijn:

- de diepte van de tunnel zodanig is dat methode 1 financieel of technisch niet aantrekkelijk is.
- het vermijden van overlast door lawaai en trillingen bij het heien van de damwanden;
- het beperken van de (verkeers)hinder bovengronds;
- beperken van de bouwtijd van de voegen.

**Fase 7: Afbouw**

Nadat de voegen gereed zijn worden de kopschotten verwijderd. Deze volgorde wordt gekozen om te voorkomen dat bij een eventuele grote lekkage van de tijdelijke afdichting het caissolelement volloopt en er daardoor te grote zettingen van het element optreden. Bij diepe elementen zijn in het kopschot waterdicht afsluitbare deuren opgenomen om het voegcompartiment te kunnen bereiken.

**Kritisch:**

- De dimensionering van het caisson in samenhang met de stijfheid van de constructie, faseringen tijdens de bouw, afzinkbelastingen, draagkracht van de bodem in de definitieve situatie.
- De detaillering van de voegen ter verkrijging van een waterdichte tunnel. Bij fundering op staal zullen de voegen enige restzetting moeten kunnen verwerken.
- Ten gevolge van onnauwkeurigheden bij het afzinken zal bij het ontwerp van de tunneldoorsnede rekening moeten worden gehouden met toleranties om aan de vereiste doorrijhoogte c.q. breedte te voldoen. Ook moeten voorzieningen worden getroffen om onderlinge maatafwijkingen in de wand- en dakoppervlakken ter plaatse van de voegen op te vangen.

**Toepassing:**

De caissonmethode kan worden toegepast voor de bouw van:

- het gesloten gedeelte van een tunnel onder het maaiveld met bijbehorende overgangsgedeelten;
- overgangsgedeelten van geboorde tunnels, het caisson dient dan tevens als beginpunt en/of eindpunt voor de boorinstallatie.

**Voorwaarden:**

De caissonmethode kan worden toegepast als:

- bemaling niet is toegestaan en;
- de bouwruimte beperkt is en;
- een trillingsarme bouwmethode gewenst is.

Aanvullende voorwaarden zijn:

- De draagkracht van de bovenste grondlagen moet voldoende zijn om het gewicht van het in aanbouw zijnde caisson te kunnen dragen en ontoelaatbare vervormingen van het caisson te voorkomen.
- De aangrenzende bebouwing moet bestand zijn tegen de extra bovenbelasting van het caisson op het maaiveld en de vervormingen in de grond als gevolg van het afzinken.
- Maximale diepte 35 meter onder het freatisch vlak, in verband met regelgeving in de caissonwet, welke het werken onder verhoogde luchtdruk beperkt tot 3,5 atmosfeer.

**Referenties:**

- Sluis te Almere;
- RW 10, Uitbr. Coentunnel, afrit zuid;
- Sluis te Schijndel.

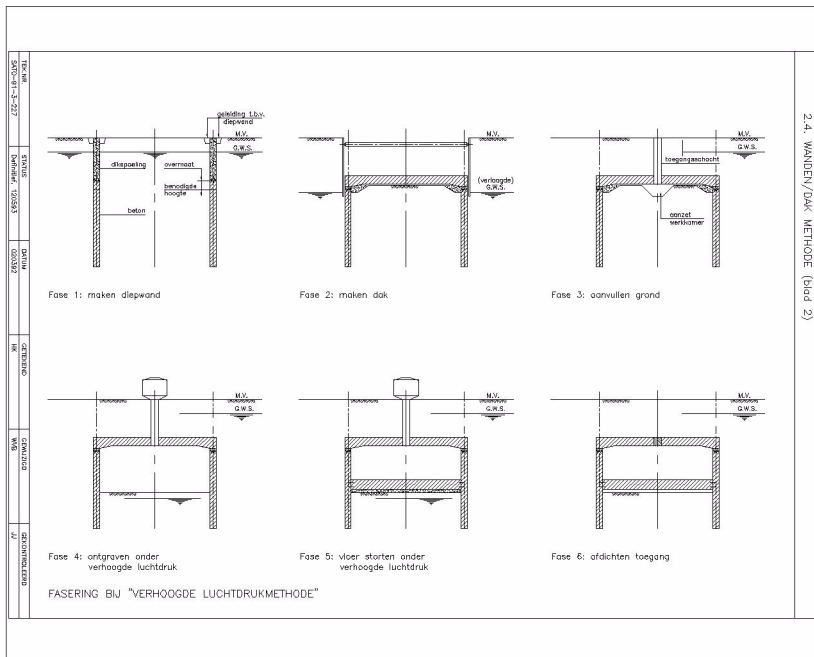
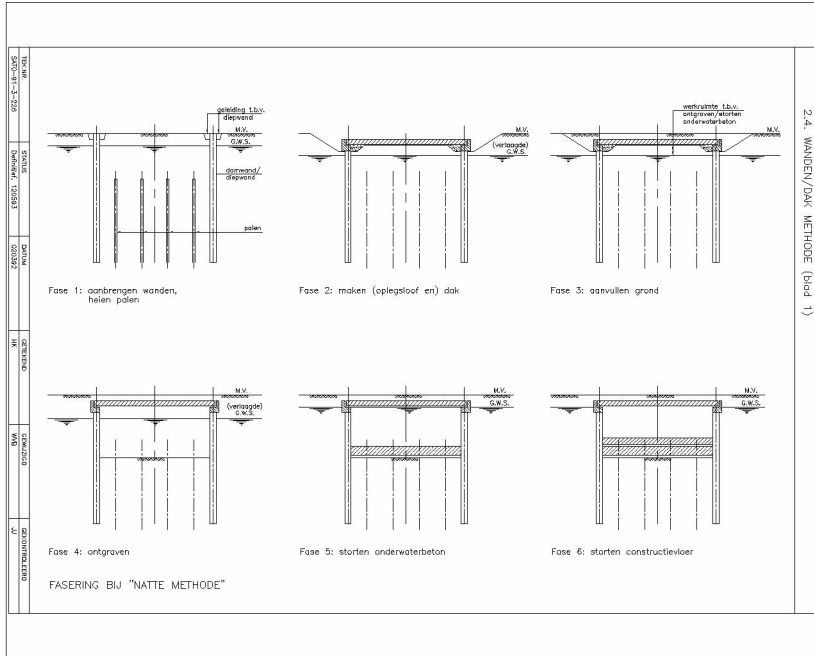
**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 105, 109, 129 t/m 134.



Bouwmethoden

Gefaseerd bouwen in situ





### 3.3.2.4 Wanden/dak methode

**Algemeen:**

De wanden/dak methode kan op vele manieren worden uitgevoerd. De overeenkomst die alle manieren hebben, is het feit dat eerst de wanden en het dak van de tunnelconstructie worden gebouwd. Vervolgens wordt boven de wanden en het dak de grond weer aangevuld en de bestrating hersteld. Zonder enige hinder voor het verkeer wordt daarna de ruimte onder het dak en tussen de wanden ontgraven en wordt de vloer aangebracht. Het voordeel van deze fasering is de korte tijdsduur van bovengrondse bouwactiviteiten.

Omdat vrijwel alle aspecten van deze bouwmethode ook bij andere bouwmethoden voor komen, wordt bij de behandeling van de wanden/dak methode volstaan met een globale beschrijving en wordt, waar mogelijk, verwezen naar elders.

**Werkwijze:****Bovengrondse werkzaamheden**

De bovengrondse werkzaamheden bestaan voornamelijk uit het maken van de wanden en het dak van de tunnelconstructie.

**Wandconstructie**

Voor het aanbrengen van de wanden zijn diverse uitvoeringsmethoden beschikbaar:

- Diepwanden; een beschrijving van de fabricage van diepwanden wordt in hoofdstuk 1.2.2. gegeven. De diepwand vormt een definitief en constructief onderdeel van de constructie. Bij het maken van de diepwanden moeten voorzieningen worden aangebracht om het dak en later de vloer constructief te kunnen verbinden met de diepwand.
- Damwanden; in dit geval zijn damwanden een tijdelijk onderdeel van de constructie. Aan de damwand moeten voorzieningen worden aangebracht om het dak (tijdelijk) constructief te verbinden met de damwand. Tijdens de ondergrondse werkzaamheden zal een definitieve wand voor de damwand worden gestort.
- Boorpalenwand; door het aanbrengen van een aaneengesloten rij boorpalen wordt een wand verkregen. Hierbij zijn twee methoden te onderscheiden:
  - Met een kleine onderlinge tussenruimte gewapende boorpalen aanbrengen. De tussenruimte wordt afgedicht door middel van injectie achter de palenwand.
  - Eerst een aantal ongewapende boorpalen aanbrengen met een onderlinge tussenruimte die kleiner is dan de diameter van de boorpaal. Tussen de ongewapende palen gewapende boorpalen aanbrengen voordat de beton van de eerste palen is verhard. Hierdoor ontstaat een boorpalenwand met elkaar overlappende palen en om en om aangebrachte wapening.
  - Tussensteunpunten kunnen, behalve met de voorgaande manieren, nog uitgevoerd worden als palenrij. De palen kunnen op twee manieren worden aangebracht:
    - -vanaf het maaiveld inheien en met behulp van een oplanger op diepte worden brengen;
    - -na ontgraven en vóór het storten van het dak heien vanaf het bouwputniveau.

**Dakconstructie**

Afhankelijk van de diepteligging van het dak wordt de grond tussen de wanden tot een zekere diepte ontgraven. Eventueel wordt tussen de wanden een tijdelijke stempeling aangebracht. Palen heien indien tussensteunpunten in de vorm van een palenrij worden toegepast.

Vervolgens wordt het dak gestort. Indien nodig, worden voorzieningen aangebracht om naderhand toegang te verkrijgen onder het dak.

Na gereedkomen van de dakconstructie wordt de grond boven het dak aangevuld en wordt de bestrating hersteld.

**Ondergrondse werkzaamheden**

Ook het ontgraven onder het dak en het aanbrengen van de vloer kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Welke methode wordt gekozen, hangt af van plaatselijke omstandigheden en ontwerp-randvoorwaarden.

**In den droge**

Een droge werkruimte kan op twee manieren worden verkregen:

- Door middel van bemaling aan de buitenzijde van de werkruimte wordt de grondwaterstand verlaagd;
- Het water wordt voortdurend uit de werkruimte gepompt. Deze methode kan worden toegepast indien de bodem voldoende ondoorlatend is. Wel moet worden gewaakt voor opbarsting van waterremmende kleilagen. Zie ook de methode "bodemafluiting".

Beginnend vanuit een bouwput ter plaatse van de tunnelingang wordt met een graafmachine de grond onder het dak ontgraven. Het transport van de ontgraven grond geschiedt door middel van rijdend materieel.

Vervolgens wordt de vloer (en eventuele wanden) gestort zoals gebruikelijk is in een bemalen bouwput. Al het bouw materiaal en materieel wordt aan- en afgevoerd via de tunnelingen. Hierdoor kan de transportafstand een bezwaar worden.

**Natte methode**

Beginnend vanuit een bouwkuip ter plaatse van de tunnelingang wordt de grond onder het dak in den natte verwijderd met behulp van een cutterzuiger.

Hierna wordt achtereenvolgens:

- bodem, wanden en o.k. dak gereinigd;
- onderwaterbeton gestort;
- werkruimte leeggepompt;
- vloer (en eventuele wanden) gestort.

Deze methode is goed bruikbaar indien het dak hoger ligt dan de (grond)waterstand of als een beperkte bemaling is toegestaan. De afstand tussen o.k. dak en wateroppervlak moet immers voldoende groot zijn om de cutterzuiger onder het dak te laten varen.

**Onder verhoogde luchtdruk**

Het water in de werkruimte wordt door middel van perslucht verdreven. Ontgraving en transport van de grond geschiedt op dezelfde wijze als bij pneumatisch afgezonken caissons.



De werkruimte onder het dak wordt toegankelijk gemaakt via toegangskokers op het dak en/of via de einden van de toekomstige tunnelbuizen. In beide gevallen worden luchtsluizen aangebracht om materieel en bouwmaterialen te kunnen aanvoeren zonder dat de luchtdruk in de werkruimte wegvalt.

Door de luchtdruk ontstaan grote belastingen op de wanden en dak. Ook dienen de wanden berekend te zijn op de trekkracht ten gevolge van de luchtdruk. De diepte van de wanden in de grond dient mede gebaseerd te zijn op deze trekkracht. De werkwijze met verhoogde luchtdruk is alleen mogelijk indien de bodem voldoende doorlatend is om het water door de bodem weg te persen.

#### **Bodemafsluiting**

Afhankelijk van de bodemgesteldheid kan een waterremmende bodemlaag worden benut om de werkruimte af te sluiten van het grondwater.

- natuurlijk aanwezige kleilaag, de wanden worden tot in deze laag aangebracht;
- injectie van een zand- of grindlaag door middel van een (chemische) injectievloeistof of grout;
- bevriezen van een laag grond met behulp van vloeibare stikstof.

In alle gevallen moet de waterdruk onder de bodemlaag door een bovenbelasting op de laag worden opgenomen. Het is dus noodzakelijk dat de waterremmende laag diep genoeg ligt zodat boven deze laag voldoende grondballast aanwezig is.

De bak, gevormd door wanden en waterremmende laag, wordt bemalen. Het ontgraven en alle verdere werkzaamheden wordt op dezelfde manier uitgevoerd als de methode "in den droge".

#### **Kritisch:**

- Samenhang tussen bodemgesteldheid en te kiezen ontgravingsmethode;
- grote invloed bouwfasen op belasting constructieonderdelen, m.n. bij de methode met verhoogde luchtdruk;

#### **Toepassing:**

De wanden/dak methode kan worden toegepast voor de bouw van:

- het gesloten gedeelte en overgangsgedeeltes van een tunnel of onderdoorgang onder het maaiveld.

#### **Voorwaarden:**

De wanden/dakmethode wordt toegepast als:

- de bouwtijd in de open bouwput moet worden beperkt.

#### **Referenties:**

- RW 16, Drechtunnel, gesloten landgedeelte;
- RW 4, 2de Schipholtunnel.

#### **Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 75 t/m 80.
- voorontwerpnota 2de Schipholtunnel.





## **Inhoudsopgave Tunnelbouwmethoden**

- 3.4.1 Algemeen
- 3.4.2 Zinktunnel
  - 3.4.2.1 Variant: betonnen tunnelementen volgens conventionele methode
  - 3.4.2.2 Variant: Betonnen Tunnelementen volgens segmenten methode
  - 3.4.2.3 Variant: bouwdok met open bemaling
  - 3.4.2.4 Bouwdok met Folieconstructie
  - 3.4.2.5 Variant scheepsdok / toeritdok
  - 3.4.2.6 Betonnen tunnelement in toerit gebouwd
  - 3.4.2.7 Stalen Tunnel
  - 3.4.2.8 Afzinken tunnelementen
- 3.4.3 Boortunnel
- 3.4.4 Schuiftunnel





---

Bouwmethoden



## **3.4 TUNNELBOUWMETHODEN**

### **3.4.1 Algemeen**

De in dit hoofdstuk beschreven bouwmethoden hebben als overeenkomst dat de te kruisen verbinding, hetzij waterweg, hetzij verkeersweg, niet hoeft te worden afgesloten of omgelegd gedurende de bouw van het gesloten gedeelte. Onder deze noemer vallen de bouwmethoden:

3.4.2 Zinktunnel, met de varianten:

- conventioneel gebouwde en afgezonken betonnen tunnelementen;
- betonnen tunnelementen, gebouwd volgens de segmentenmethode;
- enkel betonnen tunnelement in de toerit gebouwd;
- stalen tunnelementen;

Ook komen de voor de bouw van meerdere betonnen tunnelementen benodigde bouwdokvarianten aan de orde:

- bouwdok met bemaling;
- bouwdok met folieconstructie;
- scheeps-/toeritdok en het afzinken van tunnelementen.

3.4.3 Boortunnel;

3.4.4 Schuiftunnel.





### 3.4.2 Zinktunnel

Bij het bouwen van een tunnel door middel van afzinken wordt het gesloten gedeelte van de tunnel in elementen geprefabriceerd. Het prefabriceren van de elementen gebeurt meestal in een bouwdok en soms op een andere plaats. Vervolgens worden de elementen op de definitieve lokatie geplaatst door afzinken en aan elkaar koppelen van de tunnelementen.

Globaal kan men de aanleg van een afgezonken tunnel verdelen in drie onderdelen:

1. bouw elementen:
  - type;
  - werkmethode;
  - afzinkgereed maken;
2. bouwplaats:
  - lokatie;
  - inrichting;
3. afzinken elementen:
  - maken zinksleuf en tijdelijke en/of definitieve fundering;
  - transporteren en plaatsen elementen;
  - onderspoelen/onderstromen elementen;
  - aanvullen elementen;
  - aanbrengen (overige) ballastbeton;
  - uitwisselen ballastwater/ballastbeton;
  - verwijderen ballasttanks;
  - afwerking zink- en sluitvoegen;

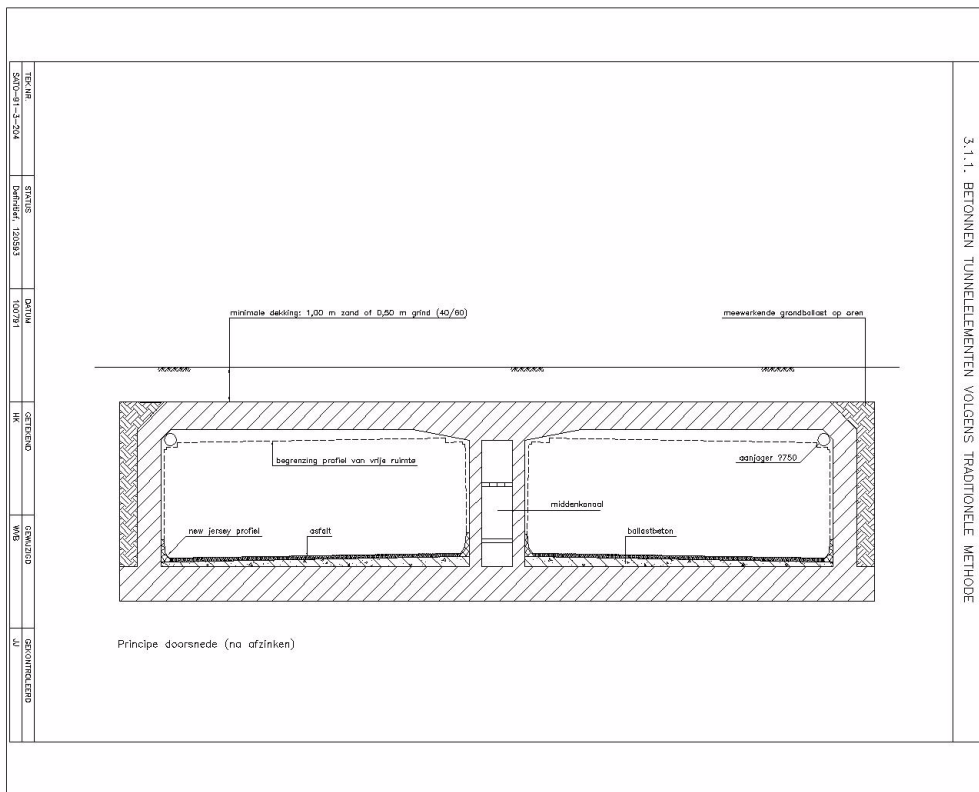
De ruwbouw is hiermee voltooid. Hierna volgt nog de afbouw. Dit houdt in:

- afwerking wanden, vloer en dak;
- aanbrengen verkeerskundige en tunneltechnische installaties.

Voor de paragrafen 1 t/m 3 zijn diverse methoden beschikbaar.

Het schema op de linker pagina geeft een overzicht van de methoden en combinaties hiervan.

De afbouw is in vrijwel alle gevallen hetzelfde.



3.1.1. BETONNEN TUNNELELEMENTEN VOLGENS TRADITIONELE METHODE



### 3.4.2.1 Variant: betonnen tunnelementen volgens conventionele methode

#### Werkwijze:

#### Bouwlocatie

Voor de bouw van de tunnelementen gaat de voorkeur uit naar een bouwdok met open bemaling waarin voldoende ruimte is voor alle tunnelementen van de tunnel. Andere mogelijkheden zijn: bouwdok met folieconstructie en scheeps/afritdok.

#### Betonbouw

Elk element wordt gebouwd in een aantal stortmoten van ca. 20 meter lengte.

Op de bodem van het bouwdok wordt een uitvullaag van grind of gedraineerd zand aangebracht met hierop een bekistingplaat. De bovenkant van de uitvullaag wordt in het gewenste profiel afgewerkt. De uitvullaag voorkomt tevens dat het element bij opdrijven aan de bodem blijft "kleven". Om het laatste wordt de voorkeur gegeven aan grind.

Op de bekistingplaat wordt eerst de tunnelvloer gestort. Na verharding van de vloer worden wanden en dak gestort. Hiervoor zijn twee methoden beschikbaar:

- alle wanden en dak in één stort: hierbij worden alleen de buitenwanden en eventueel (afhankelijk van de toelaatbaarheid van scheuren en de koelberekeningen) ook de binnenwanden gekoeld;
- binnenwanden eerst storten (eventueel met koeling) en daarna buitenwanden en dak tegelijk: in dit geval worden de buitenwanden en, afhankelijk van de koelberekeningen, ook het dak gekoeld.

Met het koelen van vers gestort beton wordt voorkomen dat ontoelaatbare (watervoerende) krimpscheuren ontstaan in een constructiedeel dat tegen of op een reeds verhard constructiedeel wordt gestort. Bij het tegelijkertijd storten van wanden en dak wordt gebruik gemaakt van een z.g. tunnelkist.

#### Voegvlakken

Aan de kopeinden van de elementen worden voorzieningen getroffen om de elementen in de definitieve situatie waterdicht met elkaar te verbinden. Deze voorzieningen bestaan o.a. uit in te storten stalen omrandingen, bevestigingsmogelijkheden voor afdichtingsprofielen en voegspanningen met hierin opgenomen deuvels en ankerbussen voor het doorkoppelen van de voegwapening.

De tunnelementen dienen na afzinken nauwkeurig op elkaar aan te sluiten en het theoretisch lengteprofiel binnen kleine toleranties te volgen. Hiervoor worden, als de tunnelementen nog in het bouwdok liggen, instelbare stalen kopplaten in de omrandingen opgenomen. De kopplaten worden na inmeten van de tunnelementen gesteld en vastgelast. De ruimte tussen kopplaat en omranding wordt geïnjecteerd. Maatafwijkingen in het lengteprofiel van het tunnelement en in de voegvlakken c.q. omrandingen worden zodoende zo goed mogelijk gecorrigeerd.

Eén voegvlak (primaire eind) wordt voorzien van een tijdelijk afdichtingsprofiel van rubber, het zogenaamde Gina-profiel. Het andere voegvlak (secundaire eind) is door middel van de kopplaat glad afgewerkt zodat het tijdelijk afdichtingsprofiel bij afzinken waterdicht zal aansluiten.

Na afzinken wordt de zinkvoeg verder afgewerkt. Dit houdt o.m. in:

- het aanbrengen van een permanente afdichting met behulp van een omega-



profiel;

- het aanbrengen van deuvels en voegwapening;
- het aanstorten van de voeg in de vloer en wanden;
- het aanbrengen van een hittewerende bekleding in de voeg ter plaatse van het dak en het bovenste gedeelte van de wanden.

### **Tijdelijke voorzieningen**

Ten behoeve van het opdrijven, transporteren, afzinken en funderen van de tunnelelementen worden een aantal tijdelijke constructies aangebracht die na dit proces geheel of gedeeltelijk worden verwijderd.

- Kopschotten: Het tunnelelement wordt aan de einden afgesloten met kopschotten. Hierdoor ontstaat een gesloten doosconstructie, die bij een juiste dimensionering van de tunneldoorsnede zelfdrijvend is.
- Ballasttanks: Ten behoeve van het tijdelijk ballasten van het tunnelelement in de opdrijf- en afzinkfase worden in het element ballasttanks geplaatst. De ballasttanks zijn stalen containers of kunnen zijn opgebouwd uit stalen balken met houten of betonnen schotten.
- Voorspanning: De moten van een tunnelelement worden ten behoeve van het opdrijven, transport en afzinken met elkaar verbonden door middel van voorspanstrengen.
- Opleggingen: Het tunnelelement wordt voorzien van tijdelijke oplegconstructies, een primaire oplegging bestaande uit een kinoplegging aan het primaire eind en een neusoplegging aan het secundaire eind van het element. De neus is voorzien van een vanginrichting (zoeker of vang genoemd) en de kin is uitgerust met een pen. Deze voorzieningen zorgen er tijdens het afzinken voor dat de neusoplegging van het af te zinken element precies op de kinoplegging van het reeds afgezonken element terechtkomt. Onder het tunnelelement, op ca. een kwart van de elementlengte gemeten vanaf het secundaire eind, wordt een stelsel van hydraulisch bediende stempelpennen aangebracht, de z.g. secundaire oplegging.
- Bolders: T.b.v. het vastmaken van sleep- en verhaaldraden bij het transporteren en positioneren van het tunnelelement;
- Hijsogen: T.b.v. het vastmaken van hijsdraden;
- Toegangsopening: In het dak van het tunnelelement wordt een afsluitbare opening gemaakt met aansluitvoorzieningen voor een toegangskoker.
- Onderspoelvoorzieningen: Afhankelijk van het onderspoelsysteem worden in de vloer (en buitenwanden) van het tunnelelement buizen aangebracht t.b.v. het transport van het onderspoelzand. Deze buizen monden onder de vloer uit met injectieopeningen.

De juiste plaats van de oplegpennen, ballasttanks etc. en de dimensionering van de doorsnede is o.a. afhankelijk van de berekening van transport- en afzinkbelastingen in het element en de evenwichtsberekeningen.

### **Kritisch:**

- ontwerp dwarsprofiel, rekening houdend met inwendige kokerafmetingen, sterkteberekeningen en evenwichtsberekeningen;
- koeling wanden;
- stellen omrandingen en kopplaten;



- waterdichtheid omrandingen;

**Toepassing:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel wordt gebouwd met meerdere afgezonden tunnelelementen als:

- belemmering van de scheepvaart tot een minimum moet worden beperkt en;
- de gesloten lengte te groot is om met één element te overbruggen ( > ca. 150 meter ).

**Voorwaarden:**

Een tunnel bestaande uit meerdere elementen kan worden toegepast als:

- een bouwdok beschikbaar is.
- de route tussen bouwdok en tunnellocatie bevaarbaar is (of wordt gemaakt) voor de tunnelelementen;

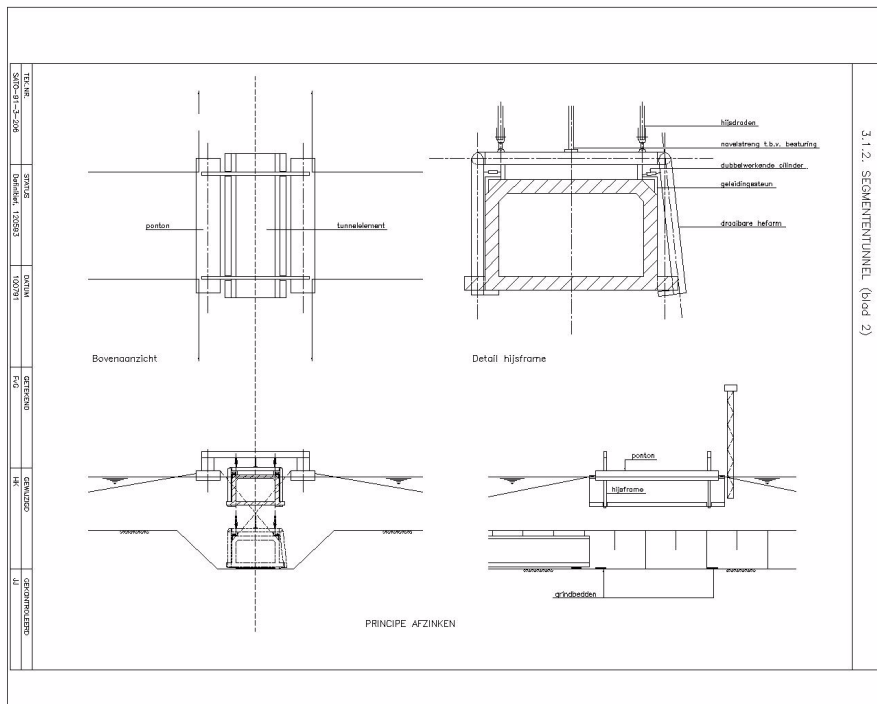
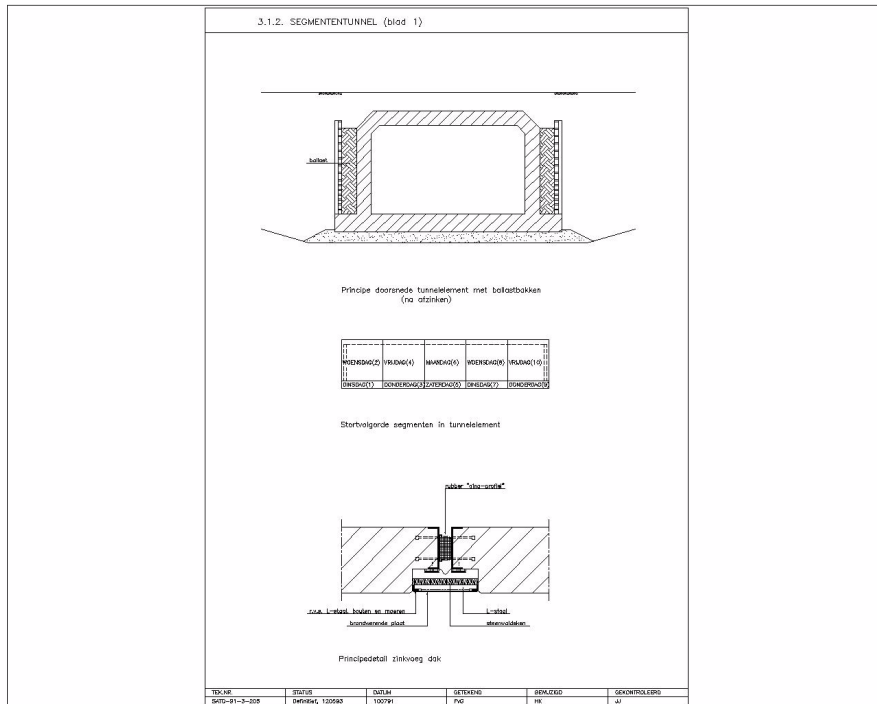
**Referenties:**

- RW A4, Beneluxtunnel
- RW A10, Coentunnel
- RW A16, Drechttunnel
- RW A58, Vlaketunnel
- RW 43, Kiltunnel
- RW A29, Heinenoordtunnel
- Hemspoortunnel
- RW A10, Zeeburgertunnel
- RW A15, Tunnel onder de Noord
- Spoortunnel Rotterdam
- RW A9, Wijkertunnel

**Documentatie:**

- Bibliotheeklijst: 19 t/m 55, 62 t/m 64, 75 t/m 84, 90, 96, 100, 106 t/m 108, 110 t/m 115;
- SATO-document deel 4, Berekeningen;
- SATO-document deel 5, Details;
- SATO-document deel 9, Diversen.







### 3.4.2.2 Variant: Betonnen Tunnelementen volgens segmenten methode

#### **Algemeen:**

De segmententunnel bevindt zich thans in de studie- en voorontwerpfase. In de voorontwerpfase voor de bouw van de Langzaamverkeerstunnel Heinenoord is aan de aannemerscombinatie Hollandse Beton- en Waterbouw/Van Hattum en Blankevoort (HBW/VHB) de opdracht gegeven voor het doen van een studie en het maken van een ontwerp voor een segmententunnel.

De bevindingen van de studie zijn vastgelegd in het document "Langzaamverkeerstunnel Heinenoord, studie Segmententunnel, afweging concepten". Het ontwerp is door HBW/VHB nader uitgewerkt en vastgelegd in de "Eindrapportage ontwerpnota" en de "Eindrapportage uitvoeringsplan".

De belangrijkste conclusies uit de studie zijn:

- Prismatische doorsneden verdienen de voorkeur uit oogpunt van diepteligging van de tunneldoorsnede. Een cilindrische doorsnede heeft boven en onder het profiel van vrije ruimte meer extra hoogte. Als gevolg hiervan is het materiaalgebruik, de diepteligging en het lengteprofiel van de tunnel groter dan bij een prismatische doorsnede. Hierdoor is ook de hoeveelheid baggerwerk aanzienlijk meer.
- Vaste voegen, d.w.z. verticale stortnaden met doorgaande wapening, zijn betrouwbaarder qua waterdichtheid en goedkoper te produceren dan flexibele voegen.
- In verband met belemmering van de scheepvaart is het gunstiger om de tijdsduur en frequentie van de werkzaamheden in de waterweg te beperken. Mede hierdoor is het afzinken van langere eenheden te prefereren.

Uit deze studie is een voorkeur gebleken voor een bouwmethode welke sterk lijkt op de conventioneel afgezonken tunnel, n.l. het maken van korte tunnelementen uit "samengestelde prismatische segmenten" van gewapend beton. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat de voorzieningen voor transport en afzinken zoveel mogelijk uitwendig worden aangebracht. Het is dus niet nodig om het element binnen te gaan tijdens deze fasen. Voor inspectie na het onder water zetten van het element wordt een hulpvoorziening getroffen.

De in de ontwerpnota beschouwde bouwmethode is het uitgangspunt voor de hiernavolgende beschrijving. Gezien de overeenkomsten met de conventioneel gebouwde tunnel wordt volstaan met het aangeven van de verschillen t.o.v. de conventionele methode.

#### **Werkwijze:**

##### **Bouwlocatie elementen**

Voor het bouwen van de elementen gaat de voorkeur uit naar een bouwdok dat meerdere keren leeggepompt en weer onder water gezet kan worden.

##### **Betonbouw**

De tunnelementen worden gebouwd volgens een "industriële proces" met een groot repetitie-aspect.

Elk element bestaat uit 5 segmenten van 6 meter.

De voegen tussen de segmenten worden uitgevoerd als verticale stortvoegen met doorgaande wapening.



De segmenten van één element worden kort achter elkaar gestort waardoor de onderlinge vervorming t.g.v. verhardingskrimp beperkt wordt. Hierdoor kan in bepaalde gevallen koeling van de beton achterwege gelaten worden.

### **Voegvlakken**

Omdat het aantal zinkvoegen tussen de elementen erg groot is t.o.v. de conventionele afgezonken tunnel wordt een vereenvoudigde en goedkoper uit te voeren zinkvoeg toegepast.

De stalen omrandingen, bestaande uit een U-profiel, worden uitgevoerd zonder de naderhand in te lassen kopplaten. Aan het primaire eind wordt het Gina-profiel van fabriekswege op het U-profiel ge vulcaniseerd.

Omdat de mogelijkheid tot nastellen van het voegvlak in de omranding ontbreekt, worden de secundaire voegvlakken "gecontramald" zonder het ene voegvlak daadwerkelijk tegen het andere voegvlak te storten. Hiervoor wordt na gereedkomen van een tunnelement het voegvlak aan het primaire eind opgemeten in relatie tot de definitieve ligging van het element. Daarna worden eventuele afwijkingen gecompenseerd bij het stellen en storten van het secundaire voegvlak van het aansluitende element. Indien hierna nog ontoelaatbare maatafwijkingen worden geconstateerd, dan is het mogelijk om op het U-profiel van de secundaire zijde pasplaten te lassen.

Na het afzinken worden de zinkvoegen aan de binnenzijde voorzien van een permanente afdichting d.m.v. Omega-profielen. De afdichtingsprofielen worden afgedekt met een hittewerende bekleding.

### **Tijdelijke voorzieningen**

De elementen worden afgesloten met kopschotten. Aan de kopschotten zijn trekogen bevestigd t.b.v. transport en afmeren van de elementen. Ook de zoek- en vangconstructie voor het positioneren van het element is in de kopschotten opgenomen.

De deuren in de kopschotten aan de secundaire zijde worden voorzien van een aansluitmogelijkheid voor een toegangsschacht. Via deze toegangsschacht kan in bijzondere gevallen, ook na afzinken, toegang verkregen worden tot het inwendige van het tunnelement. Een toegangsschacht óp het element komt hiermee te vervallen.

I.p.v. ballasttanks worden uitwendig ballastkisten aangebracht aan de langszijden op de "oren". Deze worden tijdens het afzinken gevuld met grind.

### **Transport en opslag**

Na het gereedkomen van één of meerdere tunnelementen wordt het bouwdok volgepompt met water en worden de elementen opgedreven en uitgevaren. Op een geschikte plaats worden de elementen drijvend geparkeerd. Hier worden de tunnelementen gereedgemaakt voor afzinken.

### **Fundering**

Voor het funderen van de tunnel gaat de voorkeur uit naar een fundering van grindbedden. Door de geringe lengte van elk element kan worden volstaan met een tweepunts-oplegging.

### **Kritisch:**

- Het grote aantal zink- en segmentvoegen geeft een grotere kans op lekkages.



- Het storten van de segmenten van een element dient in een aansluitende cyclus te geschieden. Onderbreken van de cyclus kan gevolgen hebben voor de homogeniteit van het element. M.a.w., de stortvoegen tussen de segmenten onderling en/of de stortvoegen tussen vloer en wand kunnen watervoerend worden. Dit risico kan verkleind worden door het tijdens de verhardingsperiode koelen van de gehele constructie. Ook bij de in het ontwerp voorgestelde stortcyclus (één element in elf dagen) is het twijfelachtig of in alle omstandigheden koeling achterwege kan worden gelaten. D.m.v. koelberekeningen zal dit moeten worden aangetoond.

**Toepassing:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel wordt gebouwd volgens de segmentenmethode als:

- de hinder van de scheepvaart moet worden beperkt en:
- een (groot) bouwdok niet beschikbaar is en:
- andere bouwmethoden niet toepasbaar zijn.

**Voorwaarden:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel kan worden gebouwd volgens de segmentenmethode als:

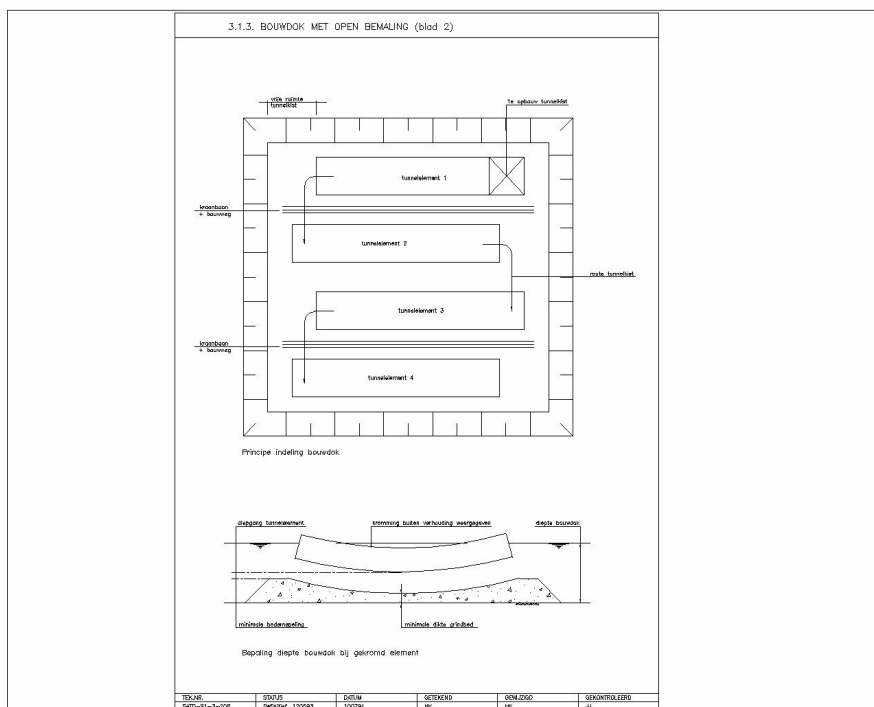
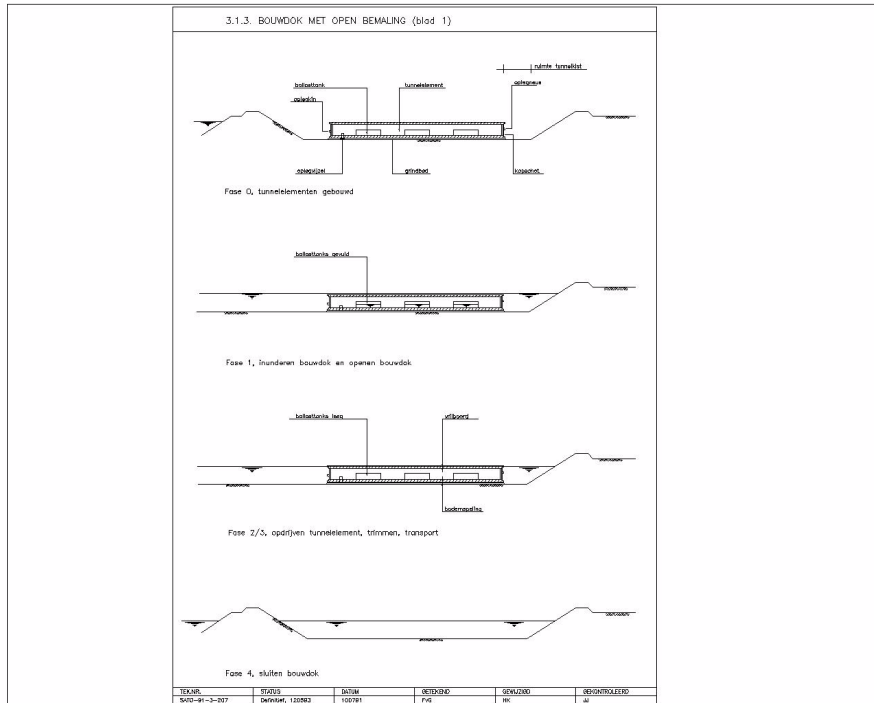
- de kritische punten in het ontwerp zijn opgelost en:
- de tunnelbreedte klein is (ca. 15 meter).

**Referenties:**

- Langzaamverkeerstunnel Heinenoordontwerp

**Documentatie:**

- Studie segmententunnel, ontwerpnota, maart 1990;
- Studie segmententunnel, uitvoeringsplan, maart 1990.





### 3.4.2.3 Variant: bouwdok met open bemaling

#### Werkwijze:

#### Inrichting bouwdok

Dit bouwdok is te vergelijken met een normale bouwput, voorzien van een bemalingssysteem.

De plaats van het bouwdok wordt bij voorkeur gekozen in de nabijheid van de tunnellocatie op één van de oevers van de te ondertunnellen waterweg.

De oppervlaktematen van het bouwdok worden bepaald door de lengte en breedte van de tunnelementen en de benodigde werkruimte rondom de elementen.

De werkruimte bestaat o.a. uit:

- bouwwegen;
- kraanbanen;
- werkruimte en -wegen;
- ruimte om de tunnelbekisting uit de laatste stortmoot van een element te kunnen verwijderen;

Verder wordt in het bouwdok soms een afbouwsteiger aangelegd t.b.v. het transportgereed maken van de tunnelementen.

De afbouwsteiger kan ook buiten het bouwdok gesitueerd zijn. Dit is afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.

De diepte van het bouwdok is afhankelijk van:

- het waterpeil in de aangrenzende waterweg, hierbij dient men rekening te houden met:
  - het getij en de benodigde tijd voor opdrijven en verhalen van het tunnelement;
  - de onderschrijdingskans van de waterstand, dat wil zeggen: de kans op een lagere waterstand dan normaal;
  - de diepgang van het hoogste c.q. meest gebogen tunnelement;
  - de dikte van de uitvullaag onder het tunnelement;
  - de vereiste bodemspeling.

T.p.v. de eventuele afbouwsteiger dient de bouwdokdiepte mede gebaseerd te zijn op de diepgang van het afgetrimde element.

De ligging van de elementen in het bouwdok en de plaats van de bouwdokopening en eventuele afbouwsteiger is gebaseerd op de gewenste volgorde van afzinken.

#### Fasering

Als alle tunnelementen gebouwd zijn en de benodigde hulpconstructies voor het verhalen van het element zijn aangebracht, kan worden begonnen met het proces van opdrijven, uitvaren en transporteren van de tunnelementen. De volgende fasen worden hiertoe doorlopen:

##### 1. Inunderen/openen bouwdok

Eerst worden de ballasttanks in alle tunnelementen gevuld met water. Hierdoor worden de tunnelementen op de bodem van het bouwdok gehouden als het bouwdok wordt gevuld met water. Nadat het bouwdok volgepompt is, wordt een doorvaart tussen bouwdok en vaarwater gebaggerd.

##### 2. Opdrijven/trimmen tunnelement

De tunnelementen worden vanaf deze fase één voor één verwerkt. De volgorde wordt bepaald door de gewenste volgorde van afzinken. Door het leegpompen



van de ballasttanks gaat het tunnelement op een gecontroleerde manier drijven.

Na opdrijven wordt het tunnelement verhaald en afgemeerd aan de afbouwsteiger. Aan de afbouwsteiger wordt het tunnelement getrimd. D.w.z. op het dak en/of in het tunnelement wordt juist voldoende vaste ballast, grind of beton, aangebracht zodat het tunnelement gelijkmatig en met het gewenste vrijboord in het water drijft.

### 3. Transportgereed maken

Afhankelijk van de methode van afzinken wordt het element voorzien van de overige hulpmiddelen t.b.v. het transporteren en het afzinken van het tunnelement. Deze hulpmiddelen zijn o.a. bolders, hijsogen, afzinkpontons en toegangsschacht. Ook worden voorzieningen aangebracht voor de positiebepaling van het tunnelement onder water.

Hierna is het element gereed voor transport naar de definitieve lokatie.

### 4. Sluiten bouwdok

Fase 2 en 3 worden een aantal keer herhaald totdat alle elementen uit het bouwdok zijn verwijderd.

Hierna wordt de opening in het bouwdok weer afgesloten en de taludbekleding (indien aanwezig) hersteld. Als het bouwdok korte tijd erna weer wordt gebruikt, dan zal het noodzakelijk zijn om in de met geroerde grond afgesloten bouwdokopening een damwand te plaatsen. Dit is nodig om het waterbezwaar via dit gedeelte van het bouwdok te beperken.

#### **Kritisch:**

- benodigde diepte, lengte en breedte bouwdok, afgestemd op de te bouwen tunnelementen;
- bemaling bouwdok;
- de bodem van het bouwdok moet draagkrachtig genoeg zijn om de bouwbelasting te kunnen opnemen zonder grote zettingsverschillen.

#### **Toepassing:**

Een bouwdok met bemaling wordt toegepast voor de bouw van:

- af te zinken tunnelementen;

#### **Voorwaarden:**

Een bouwdok met bemaling kan worden toegepast als:

- bemaling is toegestaan en;
- de route tussen bouwdok en tunnellokatie bevaarbaar is voor tunnelementen of bevaarbaar kan worden gemaakt.

#### **Referenties:**

- Bouwdok Amsterdam, in gebruik geweest voor:
  - Coentunnel;
  - Hemspootunnel.
- Bouwdok Barendrecht, in gebruik (geweest) voor:
  - Heinenoordtunnel;
  - Drecht/Kiltunnel;
  - Leidingentunnel Hollands Diep;
  - Spoortunnel Rotterdam;
  - Tunnel onder de Noord.
- Bouwdok Madroel, in gebruik geweest voor:
  - Beneluxtunnel.



---

Bouwmethoden

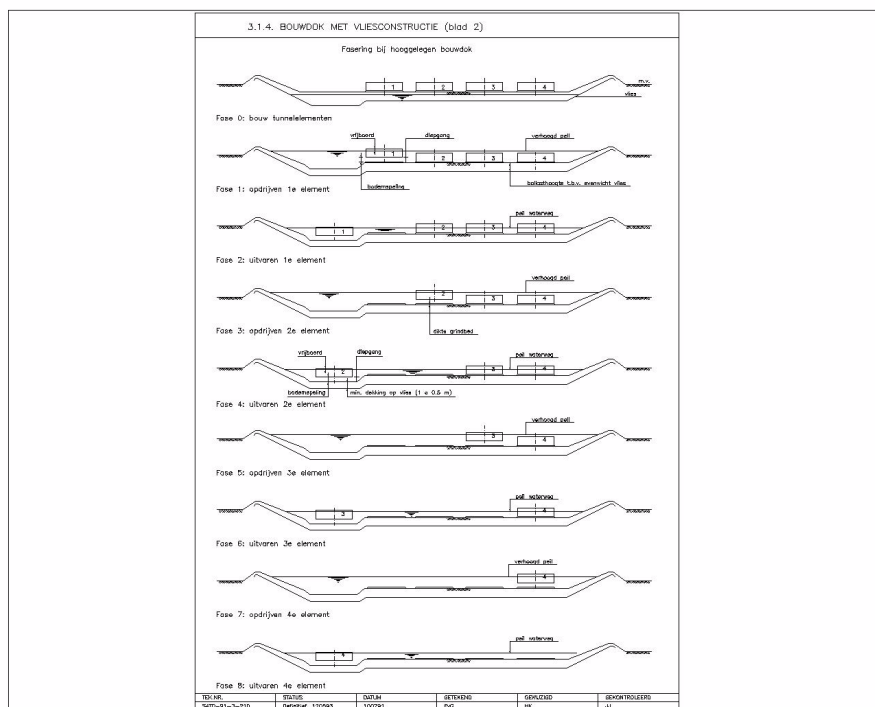
Tunnelbouwmethoden

- Bouwdok Brienoord, in gebruik geweest voor:
- Spijkenissetunnel;
- Botlektunnel.

**Documentatie:**

-







### 3.4.2.4 Bouwdok met Folieconstructie

**Algemeen:**

Als bemaling niet is toegestaan kan een bouwdok worden aangelegd binnen een met behulp van een folieconstructie gecreëerde kunstmatige polder. In deze beschrijving worden alleen de aanvullende ontwerpeisen voor deze bouwdoktypen ten opzichte van een bemalen bouwdok behandeld.

**Werkwijze:**

Een bouwdok met folieconstructie kan op twee manieren worden uitgevoerd:

- Hooggelegen bouwdok; wordt toegepast bij bijvoorbeeld een bestaand bouwdok, dat niet dieper kan of mag worden ontgraven. De bestaande diepte is dan maatgevend voor de diepteligging van de folie waardoor de gehele bouwdokconstructie hoger komt te liggen dan een bemalen bouwdok.
- Laaggelegen bouwdok; in alle andere gevallen.

**Hooggelegen bouwdok**

Ontwerpuitgangspunten:

- De maximale diepteligging van de folie is een randvoorwaarde voor het overige ontwerp.
- De benodigde nuttige afmetingen van het bouwdok worden op dezelfde wijze bepaald als bij een bouwdok met bemaling, met inachtnaam van het volgende:
- Om de elementen te kunnen uitvaren moeten ze geschild worden naar het niveau van de waterweg. Hiervoor is een vrije ruimte in het bouwdok benodigd, de zogenaamde schutlokatie. De bodem van de schutlokatie dient voor het schilden op de gewenste diepte gebracht te worden en is dus niet beschikbaar als bouwlokatie voor tunnelelementen.
- Om de tunnelelementen te kunnen opdrijven is binnen het bouwdok een waterstand nodig welke hoger is dan het peil van de waterweg. Deze waterstand wordt bepaald door:
  - de diepteligging van de folie (randvoorwaarde);
  - de voor evenwicht van de folie benodigde laagdikte van het ballastzand op de folie (bij droog bouwdok);
  - de som van diepgang tunnelelement, bodemspeling en dikte van het grindbed:
- Om deze waterstand te kunnen behalen worden rondom het bouwdok dijken aangelegd. De hoogte van deze dijken wordt bepaald door de waterhoogte in het bouwdok tijdens opdrijven van de tunnelelementen.
- Door de dijken rondom het dok en door de benodigde ruimte voor de schutlokatie wordt de werkelijk benodigde ruimte een stuk groter dan een bouwdok met bemaling.
- De diepteligging van de folie ter plaatse van de schutlokatie wordt bepaald door:
  - waterstand in de waterweg;
  - de som van diepgang tunnelelement, bodemspeling en de benodigde minimale afdeklaag (ca. 0,5 tot 1.0 meter) op de folie. Dit kan in strijd zijn met de randvoorwaarde voor de diepteligging van de gehele folieconstructie. In dat geval kan ter plaatse van de schutlokatie een uitzondering worden gemaakt.
- Indien de schutlokatie slechts ruimte biedt voor één tunnelelement, moet elk



element afzonderlijk worden geschut en uitgevaren. Door de wisselende waterstanden in het bouwdok ten opzichte van het peil in de waterweg zal de bouwdokopening moeten worden afgesloten met een deur die in korte tijd meerdere malen kan worden gebruikt.

**Laaggelegen bouwdok**

Ontwerpuitgangspunten:

- De benodigde nuttige afmetingen van het bouwdok worden op dezelfde wijze bepaald als bij een bouwdok met bemaling.
- De diepteligging van de folie wordt bepaald door de som van diepgang tunnelement, bodemspeling, dikte grindbed en de benodigde ballastlaag op de folie bij een droog bouwdok.
- In de folieconstructie wordt bij de aanleg een eenvoudige deurconstructie opgenomen. Hierdoor hoeft de folie niet beschadigd te worden bij het openen van het dok en kan het dok nogmaals worden gebruikt.
- Het uitvaren van de tunnelementen geschiedt verder op dezelfde wijze als bij een bouwdok met bemaling.

**Voor- en nadelen**

Voordelen laaggelegen bouwdok ten opzichte van hooggelegen bouwdok:

- geen schuttingen nodig;
- geen dijken nodig;
- de deurconstructie kan eenvoudiger worden uitgevoerd;

Nadelen laaggelegen bouwdok ten opzichte van hooggelegen bouwdok:

- diep af te zinken folieconstructie;
- diepe ontgraving nodig;
- groot bruto oppervlak;

**Kritisch:**

- evenwicht folieconstructie;
- stabiliteit taluds;
- ontwerp deurconstructie;
- fasering uitvaren (bij hooggelegen bouwdok);

**Toepassing:**

Een bouwdok met folieconstructie wordt toegepast voor de bouw van:

- af te zinken tunnelementen;

**Voorwaarden:**

Een bouwdok met folieconstructie wordt toegepast als:

- bemaling niet is toegestaan en;
- de route tussen bouwdok en tunnellocatie bevaarbaar is voor tunnelementen of bevaarbaar kan worden gemaakt.

Een aanvullende voorwaarde kan zijn dat dit type bouwdok door de relatief hoge aanlegkosten alleen rendabel wordt bij gebruik voor de bouw van meerdere tunnels.

**Referenties:**

- Bouwdok Barendrecht (laaggelegen):
  - haalbaarheidsstudie Wijkertunnel.
- Bouwdok Amsterdam (hooggelegen):



---

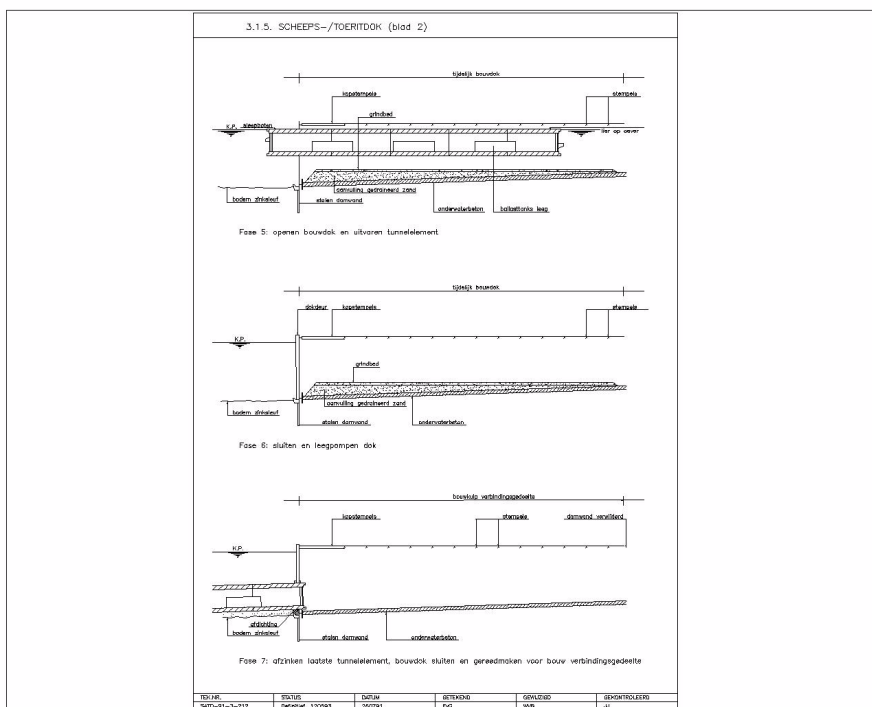
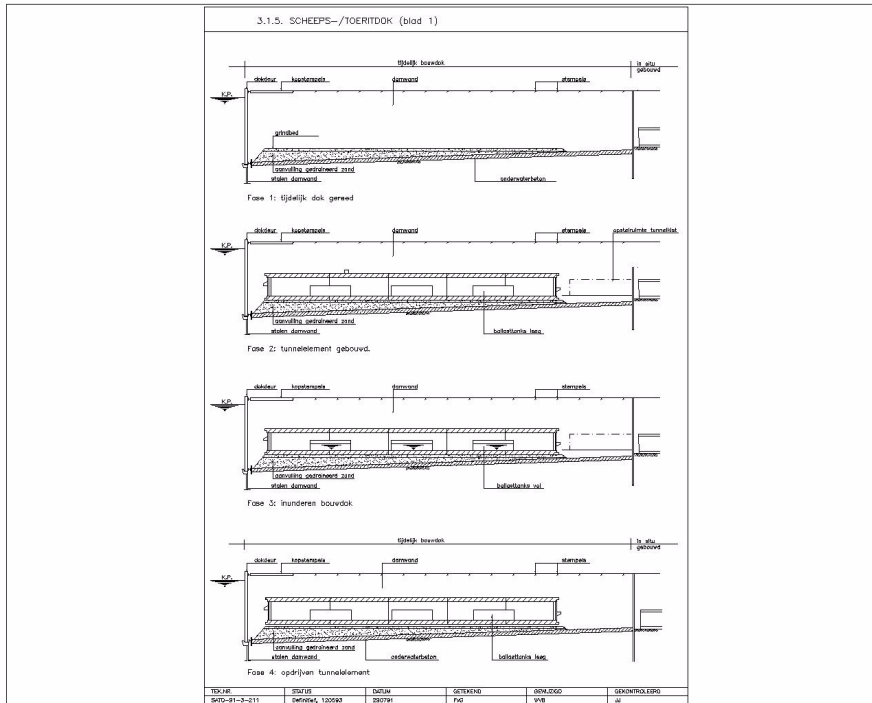
Bouwmethoden

Tunnelbouwmethoden

- voorontwerp Uitbr. Coentunnel.

**Documentatie:**

-





### 3.4.2.5 Variant scheepsdok / toeritdok

**Algemeen:**

Met enige aanpassingen kan de bouwkuip of bouwput van de toerit of de afgebouwde toerit worden ingericht als tijdelijk bouwdok. In een dergelijk bouwdok is doorgaans slechts plaats voor het bouwen van één, relatief kort tunnelement tegelijk. De hierbij toegepaste fasering en werkmethode is ook mogelijk bij het gebruik van een scheepsdok.

Welke mogelijkheid wordt toegepast, hangt sterk af van de omstandigheden en lokatie van de tunnel en de beschikbaarheid van een bruikbaar scheepsdok.

**Werkwijze:**

De hier beschreven werkwijze gaat ervan uit dat:

- de tunnelementen worden gebouwd in de bouwkuip van één van de toeritten;
- de betreffende toerit wordt gebouwd in een bouwkuip van damwanden met een vloer van onderwaterbeton;
- er meer dan één tunnelement moet worden gebouwd en slechts plaats is voor één tunnelement in het dok c.q. bouwkuip.

**Fasering**

## 1. Aanleg bouwkuip/dok

Op de gebruikelijke manier wordt de bouwkuip voor de toerit gebouwd; damwanden en palen heien, onderwaterbeton storten. De belangrijkste extra voorziening aan de bouwkuip is een deur aan de kop van de bouwkuip. Deze deur is nodig om een afgebouwd tunnelement uit te kunnen varen en om vervolgens de bouwkuip weer af te sluiten en droog te kunnen zetten. De deur wordt zodanig uitgevoerd dat hij in zijn geheel verwijderd kan worden met behulp van een drijvende bok. Ook worden voorzieningen getroffen voor een waterdichte aansluiting met de bouwkuip.

Na het leegpompen van het bouwdok wordt op de onderwaterbeton een uitvullaag aangebracht om de uit de onderwaterbeton stekende paalkoppen af te dekken en een horizontaal oppervlak te verkrijgen. Deze uitvullaag bestaat uit grind of gedraineerd zand zodat lek- en hemelwater kan worden afgevoerd. Op de uitvullaag wordt het grindbed aangebracht en in profiel afgewerkt zoals ook gebruikelijk is bij een normaal bouwdok.

## 2. Bouw tunnelement

Op de uitvullaag wordt het eerste tunnelement gebouwd en voorzien van ballasttanks, kopschotten en benodigde transportvoorzieningen ten behoeve van het uitvaren van het tunnelement.

## 3. Inrunderen bouwdok

De ballasttanks in het tunnelement worden gevuld met ballastwater om het element op de bodem van het bouwdok te houden. Hierna wordt het bouwdok volgepompt.

## 4. Opdrijven tunnelement

Door het leegpompen van de ballasttanks gaat het tunnelement drijven.

## 5. Openen dok/uitvaren tunnelement

De dokdeur wordt met behulp van een drijvende bok weggenomen. Door sleepboten wordt het tunnelement uitgevaren. Een lier op de oever houdt het achtereinde van het tunnelement onder controle.

Vervolgens wordt het tunnelement tijdelijk afgemeerd aan de afbouwsteiger in de buurt van de bouwplaats. Als het in deze fase het laatst af te zinken element betreft, dan wordt het element in het bouwdok gereedgemaakt en direct na uitvaren afgezonken.

## 6. Sluiten en leegpompen dok



De dokdeur wordt weer op zijn plaats aangebracht en vastgezet. Hierna wordt het dok leeggepompt zodat de bouwcyclus weer bij fase 1 kan beginnen.

Aan de afbouwsteiger wordt het tunnelelement getrimd en voorbereid voor afzinken.

Voor het uitvaren en afzinken is veel (zwaar) materieel en organisatie nodig dus is het economisch en planmatig beter om zoveel mogelijk deze werkzaamheden in een aaneengesloten periode te combineren. Bijvoorbeeld door globaal de volgende fasering aan te houden:

- tunnelelement.1 t/m tunnelelement.n-1 bouwen, opdrijven, uitvaren en "parkeren" aan afbouwsteiger;
- tunnelelement.n (= laatste tunnelelement) bouwen, opdrijven en in het bouwdok trimmen en voorbereiden voor afzinken;
- tunnelelement.1 t/m tunnelelement.n-1 trimmen, voorbereiden en afzinken;
- tunnelelement.n uitvaren en afzinken;

Door het toepassen van deze fasering worden alle tunnelementen in een aaneengesloten periode afgezonken hetgeen beter is i.v.m. inzet afzinkmaterieel en onderhoud zinksleuf c.q. slibvrij maken.

Voor de volgorde van het afbouwen van de toerit en het afzinken van het laatste tunnelelement zijn twee mogelijkheden.

Methode Zeeburgertunnel:

- tunnelementen afzinken en laatste tunnelelement met de kop in de bouwkuip c.q. bouwdok laten steken. Het element wordt met behulp van onder andere wiggen gefixeerd. De bouwkuip wordt ter plaatse van de bouwdokdeur met een "manchet" om de kop van het element afgesloten.
- vervolgens wordt het overgangsgedeelte en de toerit gebouwd, aansluitend aan de kop van het tunnelelement. Hierbij moet wel bedacht worden dat de tunnelementen van de Zeeburgertunnel op palen rusten. Als dit niet het geval is moet aandacht worden geschonken aan de werkwijze en detaillering van de sluitvoeg in verband met ongelijke zettingen tussen element en overgangsgedeelte.

Variant oplossing:

- na bouwen en uitvaren van het laatste element wordt de bouwkuip gesloten en leeggepompt;
- in de bouwkuip het overgangsgedeelte en toerit bouwen;
- bouwkuip volpompen en (voor zover nodig) verwijderen;
- de tunnelementen afzinken;
- de sluitvoeg tussen overgangsgedeelte en element op de gebruikelijke manier bouwen.

### **Kritisch:**

Ontwerp bouwkuip met deur:

- Vervormingsarme constructie; het "dynamisch effect" van herhaaldelijk vol- en leegpompen kan lekkage via de damwandsloten veroorzaken.
- Palenplan; rekening houden met de bouwbelasting zoals uitvullagen en gewicht tunnelelement.

Bouwtijd:

- Doordat de tunnelementen achter elkaar gebouwd moeten worden kan de bouwtijd van de tunnelementen beslissend zijn voor de totale bouwtijd.



- Het bouwen van de tunnelementen in een toerit is extra tijdrovend. Pas na het uitvaren en afzinken van het laatste tunnelementen kan de toerit worden afgebouwd.
- Omdat 3/4 van de bouwactiviteiten achter elkaar in de bouwkuip plaatsvindt, is de planning kritisch ten aanzien van tegenslagen. Uitwijken naar een ander onderdeel is niet of nauwelijks mogelijk.
- Organisatie van de "bouwtrein" is moeilijk. Voor elk tunnelement moet als het ware opnieuw worden gestart. Hierdoor ontstaan pieken en dalen in de inzet van personeel.

**Toepassing:**

Een scheeps- of toeritdok wordt toegepast bij de bouw van:

- af te zinken tunnelementen.

**Voorwaarden:**

Een scheeps- of toeritdok kan worden toegepast als:

- het gebruik van een "normaal" bouwdok niet mogelijk is in verband met ruimtegebrek en/of:
- het gebruik van een "normaal" bouwdok niet mogelijk is in verband met een voor tunnelementen onbevaarbare waterweg.

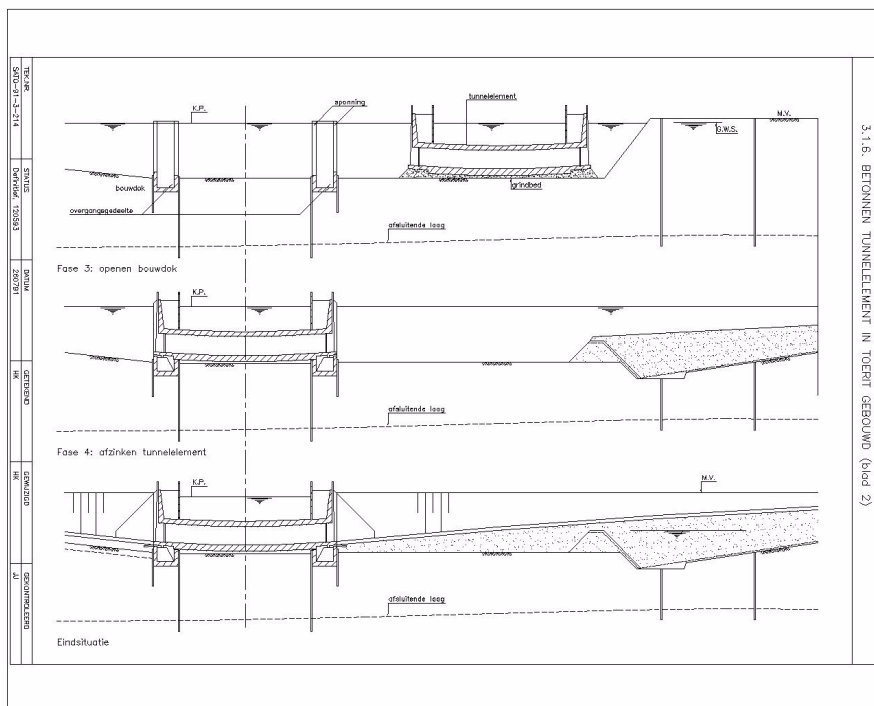
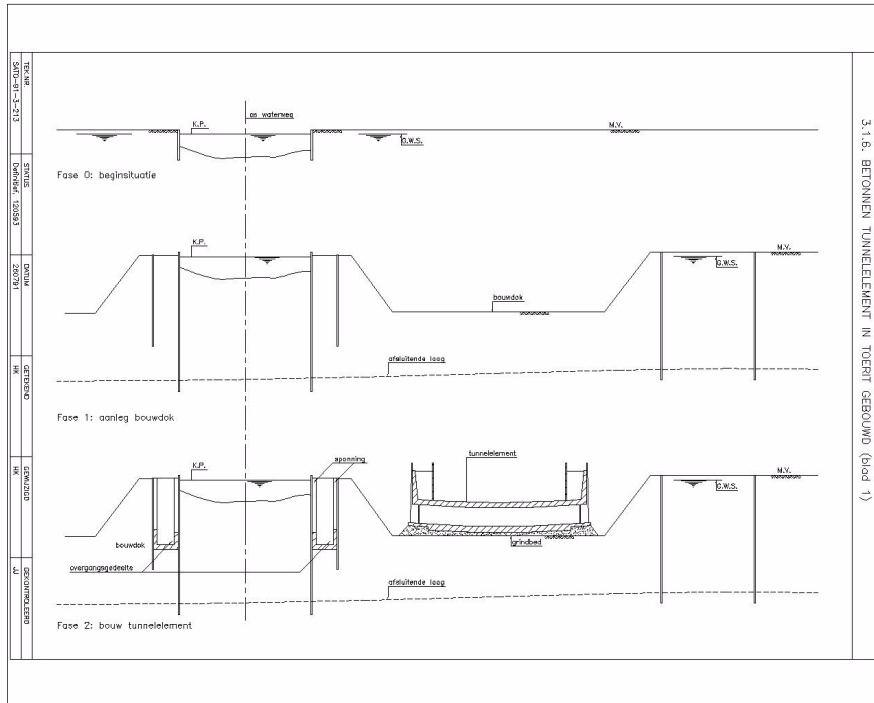
**Referenties:**

- RW 10, Zeeburgertunnel.

**Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 36 t/m 40







### 3.4.2.6 Betonnen tunnelement in toerit gebouwd

#### Werkwijze:

##### Algemeen

Deze bouwmethode is met name geschikt bij korte tunnels met één tunnelement. Het element sluit dan met beide einden aan op een overgangsgedeelte. Hierbij heeft bouwen in de toerit een aantal voordelen als wordt uitgegaan van een geïntegreerd ontwerp van het tunnelement, overgangsgedeelten en toeritten. Voor de aansluiting op het overgangsgedeelte wordt een "conramal" constructie met afdichtingsprofielen toegepast. In het overgangsgedeelte wordt een sponning gemaakt met het afdichtingsprofiel erin opgenomen. De beide uiteinden van het element passen in de sponningen. Het is wel noodzakelijk dat de overgangsgedeelten gereed zijn als het tunnelement wordt geplaatst.

##### Fasering

#### 1. Aanleg bouwdok

De vorm van het bouwdok is afhankelijk van de bouwmethode van de toeritten. Hierin zijn drie hoofdvarianten te herkennen:

- betonnen bakconstructie in bemalen bouwput, hierbij wordt de afgebouwde bakconstructie gebruikt als bouwdok;
- bouwkuip (tijdelijk of definitief) met damwanden en onderwaterbeton, in dit geval kan ook de (tijdelijke) bouwkuip dienen als bouwdok;
- kunstmatige polderconstructie, na gereedkomen van (een deel van) de kunstmatige polder wordt in de drooggemalen polder het element gebouwd.

De bouwdokopening tussen waterweg en bouwdok is opgenomen in het overgangsgedeelte.

#### 1. Bouw tunnelement

De bouw van het element is in grote lijnen gelijk aan de bouwwijze voor meerdere elementen.

#### 2. Openen bouwdok

Op dit moment dienen in de overgangsgedeelten de volgende werkzaamheden gereed te zijn:

- constructieve ruwbouw voor zover nodig om de opleg- en afzinkbelastingen in het tunnelement op te kunnen nemen;
- ruwbouw sponningconstructies;
- pneumatische afdichtingsprofielen in de sponningen aangebracht;
- voorbereiding afbouw sluitvoegen;
- tijdelijke opleggingen ten behoeve van het element gesteld;

Hierna wordt de toerit onder water gezet en het tunnelement opgedreven en getrimd. Daarna wordt het bouwdok geopend.

#### 3. Afzinken tunnelement

Vervolgens wordt het element uitgevaren en tussen de beide overgangsgedeelten gemanoeuvrerd met behulp van lieren op de oevers. Wanneer het element in de juiste positie ligt, wordt deze afgezonken en komt te rusten op verstelbare oplegpunten in de sponningen. Nadat het element gesteld is, wordt het gefixeerd met behulp van wiggen. De in de sponningen opgenomen pneumatische afdichtingsprofielen worden uitgeperst, waardoor een waterdichte aansluiting tussen tunnelement en overgangsgedeelte ontstaat.

Vervolgens kunnen de toeritten weer leeggepompt worden en wordt vanuit de binnenzijde tussen toeritten en element een tweede waterafdichting met behulp van omegaprofielen aangebracht.



Hierna kunnen de kopschotten worden verwijderd.

#### 4. Eindsituatie

Het ballasten van het tunnelement kan op diverse manieren of een combinatie van deze manieren:

- conventionele methode, ballastbeton op de vloer van de tunnel;
- zandballast op aan de buitenzijde van de tunnel aangebrachte "oren";
- ballastbakken aan de uiteinden van het tunnelement op het dak (vooraf) aanbrengen en deze vullen met zand;
- de uiteinden van het tunnelement bevestigen aan de overgangsgedeelten met behulp van voorspanning. De opwaartse krachten worden mede opgevangen door de trekpalen onder de overgangsgedeelten.

#### **Kritisch:**

- integratie ontwerp van tunnelement, overgangsgedeelten en toeritten met betrekking tot aansluitingen, bouwfaseringen, ballaststelsel enz..
- omdat het tunnelement ingepast moet worden tussen de overgangsgedeelten is het inbouwen van compensatiemogelijkheden voor bouwtoleranties en een nauwkeurige maatvoering in de uitvoeringsfase van groot belang;
- de keuze van het ballaststelsel hangt af van de afmetingen van het element en de afweging van technische en economische aspecten;
- vanaf het leegpompen van de toeritten tot het aanbrengen van het definitieve afdichtingsprofiel is slechts één afdichting (pneumatisch profiel) aanwezig. Dit veroorzaakt een groter risico op vollopen van de tunnel. Het tunnelement moet hierop berekend zijn.
- door de bouwfasering is de bouwtijd verhoudingsgewijs lang.

#### **Toepassing:**

Een enkel tunnelement bouwen in de toerit wordt toegepast bij:

- tunnels met een kort gesloten gedeelte (< ca. 150 meter)

#### **Voorwaarden:**

Een enkel tunnelement bouwen in de toerit kan worden toegepast als:

- belemmering van het scheepvaartverkeer tot een minimum moet worden beperkt en:
- de lange(re) bouwtijd geen bezwaar is.

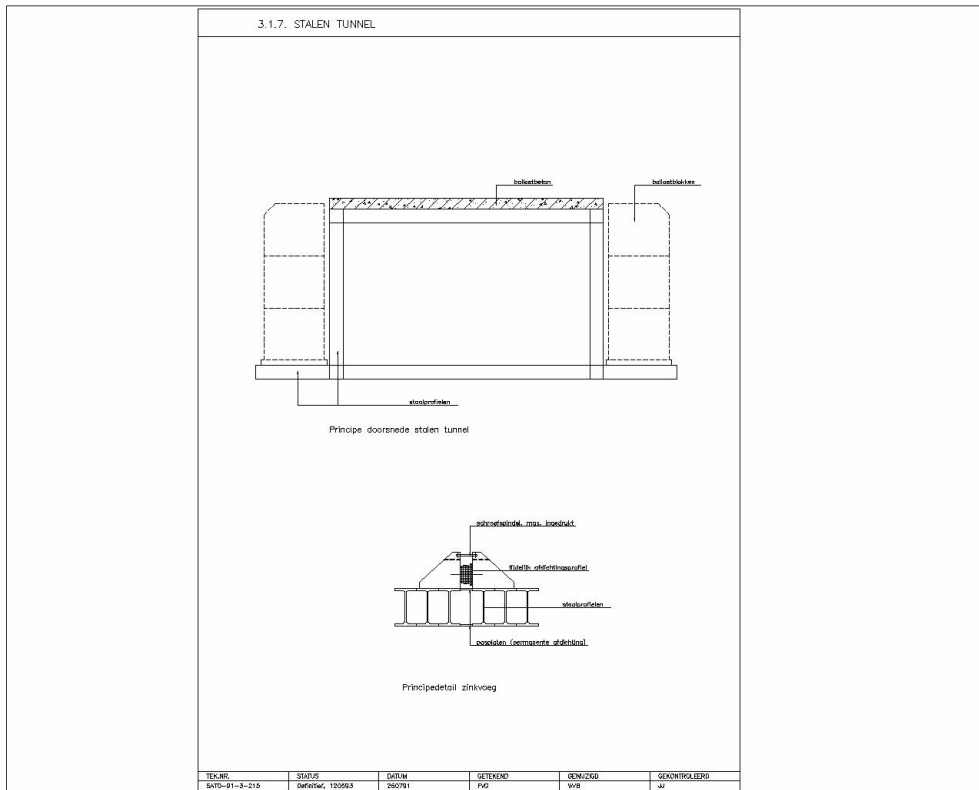
#### **Referenties:**

- RW 32, Aquaduct te Grouw;
- RW 7, Margrietunnel.

#### **Documentatie:**

- bibliotheeklijst: 45, 46, 47, 137, 149.







### 3.4.2.7 Stalen Tunnel

#### **Algemeen:**

Het bouwen van een stalen tunnel bevindt zich thans in het stadium van studie en voorontwerp. In de voorontwerpfase voor de bouw van de Langzaamverkeerstunnel Heinenoord is aan de aannemerscombinatie Grootint/Voormolen de opdracht gegeven voor het doen van een studie en het maken van een ontwerp voor een stalen tunnel.

Dit ontwerp staat model voor de hier beschreven werkwijze, met de kanttekening dat het een (in Nederland) nog niet eerder uitgevoerde bouwmethode is, zodat bij nadere uitwerking van het ontwerp waarschijnlijk nog wijzigingen en optimalisaties van het ontwerp kunnen worden aangebracht.

Eén aspect van het bouwen in staal is het lage eigengewicht van de constructie en dus geringe diepgang van de drijvende tunnelementen.

Dit zou een voordeel kunnen zijn indien op de transportroute ondiepe wateren moeten worden gepasseerd.

Ook is het mogelijk de tunnelementen in relatief ondiep water af te zinken zodat het mogelijk is om ook afritelementen te prefabriceren en af te zinken. In het ontwerp van de Heinenoordtunnel is van deze mogelijkheid gebruik gemaakt.

#### **Werkwijze:**

##### **Bouw tunnelementen**

Elk tunnelement bestaat uit een aantal segmenten van ca. 70 meter lang.

Elk segment is samengesteld uit drie geprefabriceerde secties.

De hoofdconstructie van een sectie bestaat voornamelijk uit stalen H-profielen.

De profielen worden met de flenzen aan elkaar gelast tot stalen panelen ter lengte van één sectie. Op deze wijze ontstaan vloer-, wand- en dakpanelen. Deze panelen worden aan elkaar gelast tot een tunnelsectie. Hierna worden de secties gestraald en geconserveerd.

Vervolgens worden een aantal secties aan elkaar gelast tot één segment.

Het koppelen van de segmenten tot één tunnelement geschiedt in het water. Eén voor één worden de segmenten met behulp van een afzinkbaar ponton te water gelaten. Door het lage eigen gewicht zal het tunnelsegment weinig diepgang hebben vergeleken met een betonnen element. Het grootste deel bevindt zich boven water.

Voraf worden aan de uiteinden van de segmenten, over het gedeelte dat onder water zal steken, tijdelijke kopschotten en afdichtingen aangebracht. Verder worden voorzieningen voor het waterdicht koppelen van de segmenten aangebracht. De segmenteinden aan de uiteinden van het toekomstig tunnelement worden voorzien van een volledig kopschot. Drijvende op het water worden de segmenten gekoppeld en aan elkaar gelast tot een tunnelement.

Tijdens het fabricageproces van de tunnelsegmenten zijn al zoveel mogelijk voorzieningen voor transport en afzinken aangebracht. Ook worden voor zover mogelijk alle leidingen voor het onderspoelen en de tunneltechnische installaties en dergelijke aangebracht.

De specifieke opbouw en samenstellingsmethode van de tunnelementen vereist een fabrieksterrein aan het water.

Als de tunnelementen gereed zijn, worden de tunnelementen getrimd door middel van het aanbrengen van ballast.



Bij de elementen welke diep worden afgezonken bestaat de ballast uit een laag beton op het dak van het element en het plaatsen van betonblokken op de vloeruitkragingen (oren).

De minder diep afgezonken tunnelementen worden voorzien van een laag beton op het dak en de holle ruimten in de staalconstructie worden gevuld met water.

### **Bouw toeritelementen**

De bouw van de secties voor toeritelementen komt overéén met de bouw van de tunnelsecties. Na het conserveren van de secties wordt het afritelement direct samengesteld uit een aantal afritsecties. Dit is mogelijk omdat een afritelement korter is en ook veel lichter is als een tunnelement. Vervolgens wordt het afritelement volledig transport- en afzinkgereed gemaakt en op een afzinkbaar ponton geplaatst. Op dit ponton wordt het element vervoerd naar de afzinklocatie.

### **Transport en afzinken**

Transport van de tunnelementen en de pontons met afritelementen geschiedt met sleepboten.

Met behulp van een drijvende bok worden de tunnelementen afgezonken. Het afritelement wordt tijdens de afzinkprocedure aan één zijde gehesen met een drijvende bok en op de oever gehesen met een portaalkraan.

Het koppelen van de elementen geschiedt in eerste instantie met behulp van trekvijzels en een zoekersysteem. Een gina-profiel rondom het element zorgt voor de eerste afdichting. Nadat de eerste koppeling tot stand is gekomen, worden de rondom het element aangebrachte schroefspindels uitgeklapt en aangedraaid. Na uitrichten van het element wordt van binnenuit de voegopening tussen de elementen dichtgelast.

Voor het overige komt het afzinken overeen met het afzinken van een betonnen tunnelement.

Na afzinken en onderspoelen wordt bij de diep afgezonken tunnelementen het ballastwater in de ballasttanks vervangen door ballastwater in de tunnelwanden. Bij de minder diep afgezonken tunnelementen wordt na afzinken het ballastwater in de tanks vervangen door betonblokken op de vloeruitkragingen. Hierna worden deze elementen onderspoeld.

De afritelementen worden geballast door het aanbrengen van grond op de vloeruitkragingen.

### **Onderstromen/fundering**

Omdat de tunnelementen niet toegankelijk zijn tijdens de afzinkfase geschiedt het onderstromen via in de wanden aangebrachte aansluitpunten.

Door de flexibiliteit van de stalen constructie is de stalen tunnel minder gevoelig voor lokale zettingsverschillen in de ondergrond.

### **Kritisch:**

- corrosiebescherming van met name de niet meer te inspecteren buitenzijde van de tunnel. Hiervoor zijn diverse methoden beschikbaar. Bij het ontwerp Heinenoordtunnel is gekozen voor een combinatie van methoden. Ten eerste wordt zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde een coating aangebracht. De buitenzijde van de tunnel wordt extra beschermd door het toepassen van een actief kathodische bescherming. Op enige afstand van de tunnel worden in de



bodem een aantal diepwelanoden aangebracht. Tezamen met een stroombron, gevoed uit het lichtnet, vormt dit een corrosiebescherming voor die constructiedelen waar tijdens en na de aanleg van de tunnel de coating beschadigd is. Door het aanleggen van een elektronisch monitorsysteem wordt de werking van de anodische bescherming permanent gecontroleerd. De onbehandelde oppervlakken ter plaatse van het inwendige van de vloer- wand- en dakpanelen worden verondersteld niet of nauwelijks te corroderen omdat de panelen gevuld zijn met water dat na enige tijd vrijwel zuurstofloos zal zijn.

- In het ontwerp van de Heinenoordtunnel nog niet volledig opgeloste problemen:
  - brandbestendigheid van de met water gevulde wand- en dakpanelen;
  - vorstbestendigheid van de met water gevulde wand- en dakpanelen. Een mogelijke oplossing is het aan het water toevoegen van antivries. De houdbaarheid van dit produkt zal nog moeten worden aangetoond;
  - maatvoering bij op het water drijvend aan elkaar lassen van de segmenten;
  - de gehele transport-, afzink-, onderstroom- en ballastmethode zal nader moeten worden onderzocht en geoptimaliseerd;

**Toepassing:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel wordt met meerdere af te zinken stalen tunnelementen gebouwd als:

- belemmering van de scheepvaart tot een minimum moet worden beperkt en:
- de gesloten lengte te groot is om met één element te overbruggen (> ca. 150 meter) en:
- op geen enkele wijze een bouwdok beschikbaar is.

**Voorwaarden:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel kan met meerdere af te zinken stalen tunnelementen worden gebouwd als:

- het niet mogelijk is om op een andere wijze een tunnel te bouwen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de bouwkosten van de stalen tunnelementen welke een stuk hoger zijn als betonnen elementen.

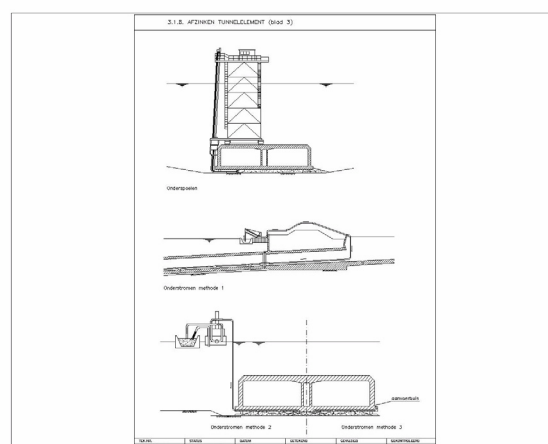
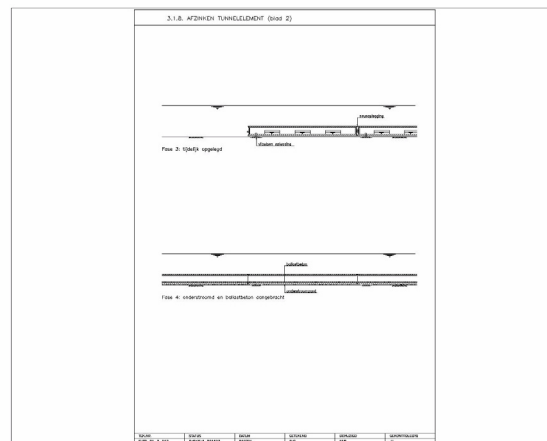
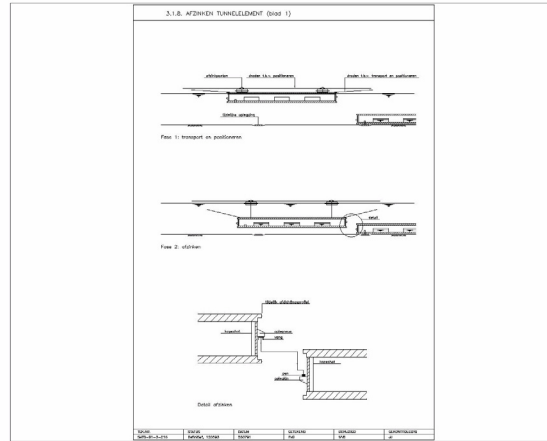
**Referenties:**

- Langzaamverkeerstunnel Heinenoord.

**Documentatie:**

- Ontwerpnota met bijlagen, Grootint/Voormolen, februari 1990







### 3.4.2.8 Afzinken tunnelementen

#### Werkwijze:

#### Transport elementen

Nadat het tunnelement transportgereed is gemaakt, wordt het naar de plaats van bestemming gebracht.

Voor het transporteren zijn diverse mogelijkheden beschikbaar.

Grote elementen zijn doorgaans zelfdrijvend. Het is ook mogelijk om (kleine) elementen te transporteren op of tussen pontons, hangend in een drijvende bok of een speciaal ontworpen transportvaartuig. Hierbij is het niet noodzakelijk dat het element zelfdrijvend is.

In alle gevallen zal de voortbeweging geschieden door middel van sleepboten.

Het aantal sleepboten en het totale vermogen ervan is afhankelijk van een aantal factoren:

- afmetingen en gewicht element;
- stroomkrachten op het element;
- benodigde manoeuvreermogelijkheden;
- veiligheidsmarge op bovenstaande punten;

De route van het transport wordt uitgestippeld op basis van de benodigde diepgang, breedte en eventueel benodigde doorvaarthoogte (drijvende bok). Ook wordt gelet op de moeilijkheid van het traject (bochten, bruggen, dwarsstroming bij rivierarmen enzovoorts).

#### Afzinken

Op de afzinklocatie wordt het element in de juiste positie gebracht met behulp van de sleepboten.

Voor het afzinken kan gebruik gemaakt worden van diverse mogelijkheden:

- De in Nederland meest toegepaste methode is het afzinken met behulp van afzinkpontons.
- Op lokaties met beperkte ruimte, bijvoorbeeld zinksleuf tussen damwanden, wordt ook wel een traversekraan gebruikt.
- Voor kleine en/of niet zelfdrijvende elementen is het afzinken met behulp van een drijvende bok of het speciale vaartuig waarmee het element is getransporteerd een aanvaardbare oplossing;
- Op lokaties met grote golfslag en deining, bijvoorbeeld riviermondingen of op volle zee, zal men gebruikmaken van een hefeiland.

Het principe van afzinken is in alle gevallen gelijk. De verdere beschrijving van het afzinken is gebaseerd op het afzinken met behulp van afzinkpontons.

#### Afzinken met behulp van afzinkpontons

Voor het afzinken met behulp van afzinkpontons worden vier kleine pontons gebruikt, die twee aan twee in dwarsrichting worden gekoppeld. Ook worden wel twee grote pontons toegepast. De pontons zijn voorzien van een aantal lieren waarmee zowel de horizontale als de verticale bewegingen van het element kunnen worden gestuurd. (zie tekening fase 1).

Voordat met afzinken wordt begonnen, worden de pontons op het element geplaatst. Met behulp van sleepboten wordt het tunnelement grof in positie gebracht.



Tijdens het afzinkproces wordt het tunnelement in drie richtingen gestuurd met behulp van een stelsel van kabels en lieren.

- Afzinkkabels ten behoeve van de verticale beweging;
- Zijdraden ten behoeve van horizontale beweging in de dwarsrichting van het element;
- Kopdraden ten behoeve van de horizontale beweging in de lengterichting van het element.

De afzinkkabels worden aangebracht tussen de pontons en het tunnelement. Zij- en kopdraden bevinden zich tussen tunnelement of ponton en de "vaste wereld". De "vaste wereld" kan zijn: de oever, dodebed in de bodem of een lierbak op het water.

De plaatsing van de lieren en de manier waarop de kabels worden bevestigd, is afhankelijk van de stroming van het water waarin wordt afgezonken.

1. Afzinken in stilstaand water:

- Zijdraden aan de pontons, lieren op de pontons;
- Kopdraden aan het tunnelement, lieren op de oever of lierbak.

2. Afzinken in stromend water:

- Zijdraden aan het tunnelement, lieren op de oever of lierbak;
- Kopdraden aan het tunnelement, lieren op de oever of lierbak;
- Aparte draden ten behoeve van het positioneren van de pontons;

De pontons met element komen zodoende geheel in de draden te "hangen" en kan men het tunnelement zeer nauwkeurig sturen door het vieren en/of intrekken van de draden.

Door het inlaten van water in de ballasttanks gaat het tunnelement dalen en wordt het vrijboord weggetrimd (fase 2). Naarmate meer water wordt ingelaten, dalen pontons en element verder.

Als de pontons voldoende diepgang hebben, dat wil zeggen de afzinkkabels tussen pontons en tunnelement worden belast met het vereiste afzinkgewicht, wordt gestopt met ballasten. De pontons blijven vanaf dit moment op een constante diepte drijven. Het element daalt verder door het laten vieren van de afzinkkabels. Het vereiste afzinkgewicht is o.m. afhankelijk van de aanstroomkrachten en verticale lift van het tunnelement ten gevolge van stroming. In stromend water is een groter afzinkgewicht vereist dan in stilstaand water.

Stapsgewijs wordt het tunnelement neergelaten en naar het voorgaande element getrokken.

Op het eind van dit afzinktraject komt het tunnelement in eerste instantie met de oplegneus aan het primaire eind op de oplegkin aan het secundaire eind van het vorige element te rusten en wordt het element tegen het vorige element aangetrokken (fase 3).

De pen aan de oplegkin en de zoeker aan de oplegneus zorgen voor een juiste positie in de dwarsrichting. De stempelpennen zijn hierbij nog net vrij van de fundatieplaten zodat het voegvlak aan het primaire eind van het af te zinken tunnelement zich optimaal kan richten ten opzichte van het voegvlak van het voorgaande element.

Bij het tegen elkaar trekken van de tunnelementen wordt het tijdelijk afdichtingsprofiel enigszins ingedrukt. De vorm van het tijdelijk afdichtingsprofiel is zodanig dat een puntig gedeelte van het profiel een eerste afdichting tussen de tunnelementen tot stand brengt.



Vervolgens worden de stempelpennen verder uitgedrukt zodat het secundaire einde van het zojuist afgezonken element komt te rusten op fundatieplaten welke vooraf op de bodem van de zinksleuf zijn gelegd. Na het afzinken wordt met behulp van vijzels tussen neus- en kinoplegging en de vijzels ter plaatse van de stempelpennen het tunnelement in de hoogterichting gesteld. Hierbij dient rekening te worden gehouden met te verwachten zettingen na afzinken en onderspoelen. Tenslotte wordt de ruimte (zinkkamer) tussen de kopschotten van de twee elementen leeggepompt, waardoor het zojuist afgezonken element ten gevolge van de waterdruk tegen het vrije kopvlak stevig tegen het vorige element wordt aangedrukt.

### **Onderspoelen/Onderstromen**

Onderspoelen en onderstromen zijn twee methoden om zand onder een afgezonken tunnelement te brengen. Het onderspoelen/stromen dient bij voorkeur plaats te vinden zo spoedig mogelijk na afzinken van het tunnelement. Dit is uitvoeringstechnisch niet zo aantrekkelijk maar hiermee wordt voorkomen dat zich onder de tunnelementen slib gaat ophopen.

Onderspoelen is het van buitenaf injecteren van een zand/water mengsel via een buis die onder het tunnelement wordt gebracht. Aan weerszijden van de aanvoerbuizen zijn aanzuigbuizen aangebracht die het overtollige water weer terugvoeren. Het zand blijft achter onder het tunnelement.

Onderstromen is het injecteren van een zand/watermengsel via injectieopeningen in de vloer van het tunnelement. De injectieopeningen worden zodanig geplaatst dat onder het tunnelement een regelmatig patroon van op elkaar aansluitende zandplakken ontstaat.

Ondanks de goede resultaten is de onderspoelmethode in de Nederlandse situatie in onbruik geraakt door de volgende redenen:

- a. het onderspoelmaterieel vormt een belemmering voor de scheepvaart;
- b. voor het verplaatsen van het materieel is een drijvende bok benodigd;
- c. de methode vereist een vrij grove en daardoor dure zandsoort.

Voor het onderstromen zijn diverse methoden ontwikkeld:

1. via een buizenstelsel vanaf de toerit door de tunnelkokers heen. Bij dit systeem is het noodzakelijk om doorvoerbuizen in de vloer op te nemen. De doorvoerbuizen zijn uitgerust met een injectieopening met terugslagklep (balafsluiter). De doorvoerbuizen worden na het onderstromen dichtgelast en geïnjecteerd. Deze constructie is relatief duur en bij een onjuiste uitvoering kan via de buizen toch nog lekkage optreden.
2. vanaf een schip via in de tunnelwand opgenomen aansluitpunten en een in de wand en vloer opgenomen buizenstelsel welke uitmondt onder de tunnelvloer. Deze buizen kunnen eenvoudig worden uitgevoerd en hoeven na onderstromen niet te worden afgesloten omdat er geen doorgaande verbinding is tussen het inwendige en uitwendige van de tunnel.
3. als bij 2. De aanvoer van het water-zand mengsel geschiedt echter vanaf de oevers via buizen welke aan de buitenzijde langs de tunnelementen zijn aangebracht.

Methode 2 en 3 hebben de voorkeur ten opzichte van methode 1 omdat:

- er geen kans is op lekkage in de tunnelbuizen via slecht afgedichte doorvoerbuizen;
- de constructie relatief eenvoudig en goedkoop is.

Nadeel van methode 2 en 3 is de inzet van duikers bij het aan- en afkoppelen van de aanvoerbuizen.



Indien belemmering van de scheepvaart moet worden vermeden, wordt methode 3 toegepast.

**Ballasten**

Als het onderstromen gereed is, kunnen de tijdelijke oplegvijzels worden afgelaten en kan het ballastwater in de tanks vervangen worden door de vaste ballast. (fase 5)

De vorm en plaats van deze vaste ballast is afhankelijk van het tunneltype. Zie hiervoor de diverse tunnelbouwmethoden. Bij de conventionele tunnelbouwmethode wordt ballastbeton op de vloer aangebracht. Hierbij wordt ter plaatse van de zinkvoegen, sluitvoeg en stortmootvoegen nog enige ruimte opengehouden. Deze ruimte is nodig voor de afbouw van de voegen en het doorslijpen van de voerspankabels ter plaatse van de mootvoegen. Het doorslijpen wordt gedaan om elke stortmoot afzonderlijk te laten dragen op de bodem, de zogenaamde "kettinglijn". Hiermee worden, bij ongelijke zetting van de bodem, ongewenst hoge langsmomenten in het tunnelelement voorkomen.

In deze fase wordt ook begonnen met het aanvullen van de zinksleuf. Eventuele zettingen ten gevolge van het aanvullen kunnen dan nog gecompenseerd worden in de afwerking van de ballastbeton op de tunnelvloer.

De volgorde die bij het vervangen van ballastwater met ballastbeton wordt aangehouden is deze:

- aanbrengen ballastbeton ter plaatse van vrije vloeroppervlak;
- leegpompen en verwijderen ballasttanks;
- ballastbeton aanbrengen ter plaatse van de verwijderde ballasttanks;
- aflaten vijzels van de stempelpennen;
- wapening doorslijpen ter plaatse van mootvoegen;
- ballastbeton aanbrengen ter plaatse van mootvoegen;
- na het bereiken van 90 à 95 % van de zetting (controleren door middel van wekelijkse metingen) zinkvoegen afwerken;
- ballastbeton ter plaatse van zinkvoegen aanbrengen (voor zover nodig).

Na afwerking van de zinkvoegen en het maken van de sluitvoeg, waarbij een permanente afdichting wordt aangebracht, kunnen de kopschotten worden verwijderd.

Door deze volgorde is altijd een tweevoudige waterafsluiting aanwezig; in het begin de tijdelijke afdichting en de kopschotten, daarna de tijdelijke en permanente afdichting. Hiermee wordt voorkomen dat bij een eventuele grote lekkage van de tijdelijke afdichting het tunnelelement volloopt.

Om het voegcompartiment te kunnen bereiken zijn in de kopschotten waterdicht afsluitbare deuren opgenomen.

**Varianten:**

Naast de gebruikelijke onderstroommethode zijn er nog andere methoden om de tunnelelementen te funderen.

**Tunnel op palen**

Indien de draagkracht van de bodem onvoldoende is, kan de tunnel op palen worden gefundeerd.



De palen dienen vóór het afzinken te worden geheid. Onder de tunnelementen zijn instelbare oplegpunten aangebracht welke corresponderen met het paalstramien. De oplegpunten zijn horizontaal in alle richtingen naderhand instelbaar zodat maatvoerings-toleranties, uitvoerings-onnauwkeurigheden en nazettingen kunnen worden gecompenseerd. De palen zijn voorzien van een in hoogte verstelbare kop. In eerste instantie worden de tunnelementen op dezelfde manier afgezonken als bij de normale methode. Nadat de tunnelementen op de tijdelijke opleggingen zijn gesteld, worden de paalkoppen opgeperst tegen de onderkant van het tunnelement.

Ook al is onderspoelen niet noodzakelijk voor de fundering van het element, toch zal de ruimte onder de tunnel opgevuld moeten worden om te voorkomen dat sterk met slib verontreinigd water onder de tunnel komt. Dit water is zo zwaar dat de kans bestaat dat de diepst gelegen elementen opdrijven en los komen van de palen. Het spreekt voor zich dat aan de dichtheid van het onderspoelde zand minder hoge eisen kunnen worden gesteld.

Het doorslijpen van de langvoorspanning in het tunnelement is afhankelijk van de h.o.h. afstand van de palen. Is elke tunnelmoot afzonderlijk gefundeerd op minimaal 4 palen, zoals bij de Zeeburgertunnel, dan is het wenselijk dat ook hier de voorspanning wordt doorgeslepen.

Het is evenwel denkbaar dat de h.o.h.-afstand van de palen groter is dan de mootlengte. In dat geval is de voorspanning nodig voor het verbinden van de tunnelmooten en wordt dus niet doorgeslepen. Er ontstaat als het ware een onderwaterbrug, de voorspanwapening moet hierop worden ontworpen.

### **Tunnel op grindbedden**

Hierbij wordt van te voren plaatselijk of over de gehele lengte van de tunnel grind aangebracht op de bodem van de zinksleuf.

- plaatselijke grindbedden

Bij korte elementen kan worden volstaan met twee grindbedden per element. De grindbedden worden aangebracht met behulp van een hiervoor ontwikkeld stortstelsel waarmee binnen de gestelde toleranties een grindbed kan worden aangelegd. Bij het ontwerp van de segmententunnel werden de tolerantie-eisen gesteld op verticaal  $\pm 25$  mm, horizontaal  $\pm 250$  mm en rotaties in het oppervlak  $\pm 4$  mm/m. Door het ontbreken van een tijdelijk oplegsysteem met vijzels is het niet mogelijk een geplaatst tunnelement na te stellen. Het is hierdoor niet noodzakelijk een afgezonken tunnelement binnen te gaan ten behoeve van het bedienen van vijzels en dergelijke.

- grindbed over gehele lengte:

Deze methode, welke in het buitenland veel wordt toegepast, is meer geschikt voor lange tunnelementen. Recente ontwikkelingen maken het mogelijk om onder water een dergelijk grindbed aan te brengen en te verdichten binnen zeer kleine toleranties ( $\pm 50$  mm). De kans dat een tunnelement ongelijkmatig wordt gefundeerd blijft echter aanwezig. Het element moet hierop worden ontworpen of voldoende buigslap zijn.

### **Kritisch:**

- ontwerp dwarsprofiel, rekening houdend met inwendige kokerafmetingen, sterkteberekeningen en evenwichtsberekeningen;



- bodemgesteldheid (en afmetingen tunnel) met betrekking tot keuze fundering:
- op staal;
- op palen;
- op grindbedden.
- het afstemmen van tunnelontwerp op het toegepaste funderingstype;
- het vooraf aanbrengen van de grindbedden geeft risico's ten aanzien van erosie en aanslibbing;
- haalbaarheid van vlakheidseisen met betrekking tot grindbedden;
- (wisselende) belastingen op tijdelijke fundaties, oplegpunten en afzinkmaterieel ten gevolge van stroom- en scheepvaartkrachten.
- voor zover de informatie strekt, is het funderen op grindbedden alleen toegepast bij smalle (10 à 15 meter) tunnelelementen.

**Toepassing:**

Het afzinken van tunnelelementen wordt toegepast bij:

- betonnen tunnelelementen;
- betonnen tunnelelementen volgens de segmentenmethode;
- stalen tunnelelementen.

**Voorwaarden:**

Het afzinken van tunnelelementen kan worden toegepast als:

- beperkte stremming en hinder van scheepvaart is toegestaan en;
- de route tussen bouwplaats/bouwdok en afzinklokatie bevaarbaar is voor de toe te passen tunnelelementen.

**Referenties:**

- RW A10, Coentunnel;
- RW A4, Beneluxtunnel;
- RW A29, Heinenoordtunnel;
- RW A58, Vlaketunnel;
- RW A16, Drechttunnel;
- RW 43, Kiltunnel;
- Hemspoortunnel;
- RW A10, Zeeburgertunnel;
- RW A15, Tunnel onder de Noord;
- Spoortunnel Rotterdam;
- RW A9, Wijkertunnel.

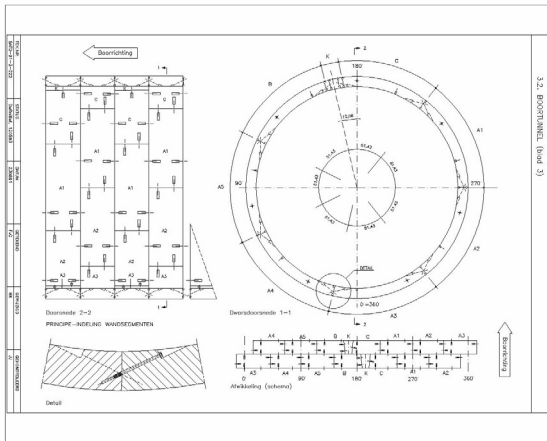
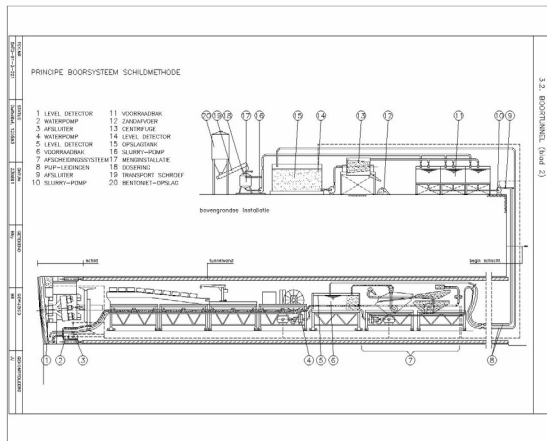
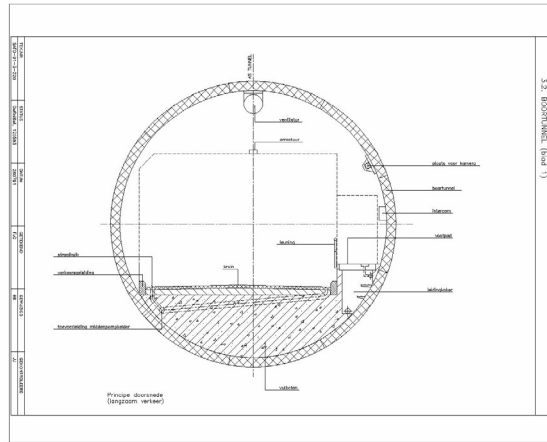
**Documentatie:**

- SATO-document deel 4, berekeningen;
- documentatie programma AFTEL;
- SATO-document deel 5, hfdst. 7, hulpconstructies ten behoeve van afzinken;
- bibliotheeklijst: 21, 22, 41, 60, 61, 85, 86, 103, 113.



### **3.4.3 Boortunnel**





**Algemeen:**

Afgezien van enkele tunnels ten behoeve van leidingen en dergelijke zijn in Nederland nog geen verkeerstunnels gebouwd door middel van boren. Dit werd met name veroorzaakt door de hogere aanlegkosten, de beperkte diameter en de moeilijke omstandigheden ten gevolge van de bodemgesteldheid.

Door steeds grotere beperkingen ten aanzien van het bouwen in open bouwputten en nieuwe ontwikkelingen op het gebied van boren in slappe en wisselende bodemlagen zal deze techniek ook in Nederland zijn toepassing kunnen vinden.

Ook de aanwezigheid van vervuild slib of grond ter plaatse van het tunneltracé kan een argument zijn om te kiezen voor een boortunnel. Het grondverzet wordt hiermee tot een minimum beperkt.

De volgende beschrijving is voorlopig nog gebaseerd op literatuurstudie en ervaringen in het buitenland.

**Werkwijze:****Begin- en eindschacht**

Het boren van een tunnel geschiedt vanuit een vooraf gemaakte verticale schacht naar een tweede schacht op het eindpunt. Deze schachten kunnen worden gebouwd als bouwkuip met damwand c.q. diepwand en onderwaterbeton of met de caissonmethode. Na gereedkomen van de startschacht wordt aan de zijde van de boorrichting de grond achter de wand bevroren of geïnjecteerd. Vervolgens wordt een opening in de wand gemaakt met een diameter welke iets groter is als de uitwendige tunneldoorsnede. De boorkop wordt geïnstalleerd waarna het boren kan beginnen. Het bevroren of injecteren van de grond is nodig om bij aanvang van het boren geen last te hebben van grondwater en instorten van het boorgat. Als de boorkop bij de eindkuip is aangekomen wordt op gelijke wijze een doorbraak in de schacht gemaakt voor de uittredende boorkop.

**Boren**

Voor het boren van een tunnel zijn diverse technieken en methoden beschikbaar. Door de veelzijdige toepassingsmogelijkheden in wisselende omstandigheden komt in Nederland de schildmethode met gesloten graaffront en ondersteuning van het graaffront het meest in aanmerking.

Bij deze methode geschiedt het ontgraven van de grond en het bouwen van de tunnel in een stalen buis met een iets grotere diameter dan de te maken tunnel. Dit is het schild. Aan de voorzijde van het schild wordt de grond ontgraven terwijl aan de achterzijde van het schild de tunnelmantel aangebracht wordt.

Voor- en achterzijde worden gescheiden door middel van een luchtsluis zodat aan het graaffront met verhoogde druk kan worden gewerkt terwijl bij het aanbrengen van de tunnelwand in normale omstandigheden kan worden gewerkt.

Afhankelijk van het systeem wordt de verhoogde druk in de graafkamer in stand gehouden met behulp van vloeistofdruk, luchtdruk of een combinatie van beiden. In het geval van vloeistofdruk wordt gebruik gemaakt van water of een mengsel van water en bentoniet.

De verhoogde druk is nodig om instorting van het graaffront en/of grote zettingen op het maaiveld te voorkomen. Moderne boorsystemen kunnen hierdoor onder vrijwel alle omstandigheden technisch en economisch optimaal functioneren.



Ten gevolge van het onder druk houden van het graaffront bestaat het gevaar van een "blow-out" bij onvoldoende gronddekking op de bovenkant van de tunnelbuis. Afhankelijk van de grondeigenschappen is een dekking van 1 à 1,5 maal de diameter vereist.

De ontgravingsmethode verschilt per systeem. De meest voorkomende methoden zijn:

- getand graafwiel;
- ronddraaiende wormvormige boor;
- waterjetting.

Elke methode heeft tot doel de grond voor het schild los te maken waarna de grond, vermengd met de steundrukvløeistof, afgevoerd wordt naar een lokatie buiten de tunnel. Hier wordt grond en vløeistof weer van elkaar gescheiden.

### **Wandopbouw**

Voor het aanbrengen van de tunnelwand achter het schild zijn in hoofdzaak twee methoden beschikbaar. Voor tunnels met kleine diameter (ca. 5 meter) en beperkte lengte wordt de tunnelbuis in delen van enkele meters lengte geprefabriceerd en vanuit de startschacht doorgeschoven achter het schild aan. Ten behoeve van het schuiven is in de startschacht een installatie aangebracht met vijzels. Bij langere tunnels wordt de lengte van het door te schuiven tunnelgedeelte beperkt door tussenstations op te nemen tussen de tunnelgedeelten waarbij de voortbeweging geschiedt volgens het "rupsprincipe".

Om het schuiven te vergemakkelijken wordt rondom de tunnelbuis een smeerlaag van bentoniet aangebracht.

Bij tunnels met grotere diameter (thans tot ca. 10 meter) wordt de tunnelwand direct achter het schild ring voor ring opgebouwd. Hiermee kan zonder tussenstations of andere onderbrekingen een tunnelbuis van grote lengte worden gebouwd.

Elke ring bestaat uit een aantal geprefabriceerde segmenten welke aan elkaar worden bevestigd met bouten. De waterafdichting tussen de segmenten en ringen wordt verzorgd door neopreen strippen. Voor de voortbeweging van het schild wordt gebruik gemaakt van vijzels welke zich afzetten op de tunnelwand. Telkens als een wandsegment wordt aangebracht, wordt een vijzel tijdelijk ingetrokken.

Doordat de vijzels afzonderlijk te bedienen zijn kan de richting van het schild worden gestuurd. Hierdoor is het mogelijk om de tunnel in horizontale en verticale bochten aan te leggen.

### **Kritisch:**

- Keuze boorsysteem/methode en bijbehorende gronddekking op de tunnel in samenhang met de bodemgesteldheid;
- Zettingen in "lopende" grond (soft ground tunneling);
- Weinig ervaring bij grotere diameters (> 10 meter) in "soft ground";
- Door de ronde vorm is veel relatief nutteloze ruimte boven het profiel van vrije ruimte aanwezig. Dit is met name het geval bij autosnelwegen. Zelfs als deze ruimte wel nuttig gebruikt zou worden, is de aanlegdiepte mede hierdoor veel groter dan een tunnel met rechthoekig constructieprofiel;

### **Toepassing:**

Een boortunnel wordt toegepast als:

- het scheepvaart- en/of wegverkeer op de te ondertunnelen verbinding op geen



enkele manier mag worden gehinderd

of:

- een bebouwd terrein moet worden ondertunneld.

Hierbij wordt opgemerkt dat voor de start- en eindkuip alsmede de toeritten altijd open bouwputten of bouwkuipen nodig zijn.

**Voorwaarden:**

Een boortunnel kan worden toegepast als:

- de bodemgesteldheid zich hiervoor leent.

**Referenties:**

- Ontwerp langzaamverkeerstunnel Heinenoord;
- Studie Tramtunnel Utrecht;
- Maastricht, voorontwerp.

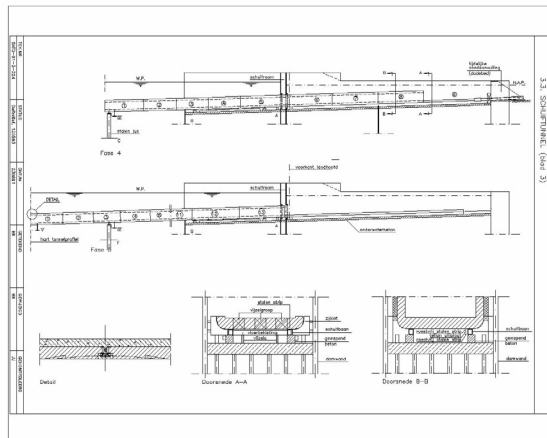
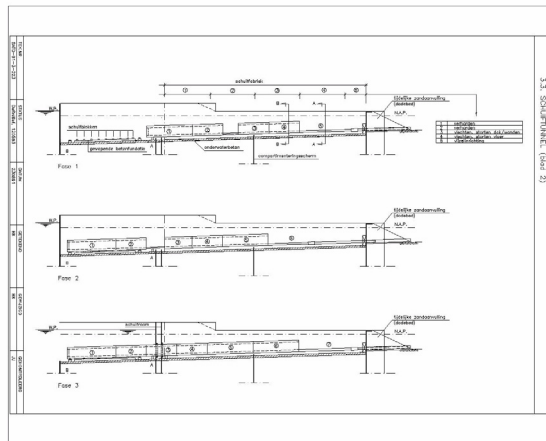
**Documentatie:**

- Boortechnieken voor utilitaire tunnels en hun toepassingsmogelijkheden - KIVI - 1988;
- Study of bored tunnelling in the Netherlands (report on costs and associated risks) - Mott McDonald - 1991;
- Metro Utrecht, ground settlement studie bored tunnels - Mott McDonald - 1990;
- Evaluatie bouw duiker Verlegde Aa, eindrapportage GD - MI en GD - 1991
- Verzamelde literatuur rapporteursmissie Japan - 1991;
- bibliotheeklijst: 117 t/m 128.





### **3.4.4      Schuiftunnel**



**Algemeen:**

Een schuiftunnel komt tot stand door het in een bouwkuip moot voor moot bouwen van de tunnel en telkens als een tunnelmoot gereed is deze via een opening uit de bouwkuip in de gebaggerde sleuf te schuiven.

Het bouwen van een tunnel door middel van de schuifmethode bevindt zich thans nog in het stadium van studie en voorontwerp. In de voorontwerpfase van de bouw van de Langzaamverkeerstunnel Heinenoord is aan de aannemerscombinatie Verstoep/de Meyer/Denys de opdracht gegeven voor het doen van een studie en het maken van een ontwerp voor een schuiftunnel.

Het schuiven van de tunnel kan plaatsvinden op drie manieren:

1. Vanaf de ene oeverzijde (toerit) naar de andere zijde met een flexibele aansluiting tussen de tunnelmoten om het gewenste verticaal alignement te bereiken.
2. Vanaf één oeverzijde (toerit) naar de andere zijde waarbij het tunnelgedeelte een constante verticale kromtestraal heeft. De tunnelmoten kunnen hierbij star met elkaar verbonden zijn.
3. Vanaf beide oeverzijden schuiven. Beide tunneldelen ontmoeten elkaar in het midden van de waterweg. Hier wordt ter plaatse een verbindingsvoeg gemaakt. Het benodigde alignement wordt hier bereikt door alleen de middelste moten in het hart van de waterweg gekromd uit te voeren. De overige moten kunnen dan recht worden en door middel van starre voegen op elkaar aansluiten.

Bij het ontwerp voor de Langzaam-verkeerstunnel Heinenoord is gekozen voor methode 3. Dit is gedaan op basis van de volgende argumenten:

- methode 1 valt af omdat hierbij het diepste punt veel dieper uitkomt dan nodig is voor de gronddekking op de tunnel;
- het maken van flexibele voegen is duur, uitvoeringstechnisch ingewikkeld en risicovol. Methode 2 is dus ook niet interessant;
- methode 3 heeft starre voegen en volgt in grote mate het gewenste minimale alignement zoals bij een afgezonken tunnel. Een nadeel is de in hoogte afwijkende tunnelmoten welke in de onderboog van het verticaal alignement vallen. Dit nadeel wordt opgevangen door deze moten separaat van de overige moten te bouwen.

Methode 3 is in het ontwerp van de Heinenoordtunnel verder uitgewerkt en staat model voor de hier beschreven werkwijze, met de kanttekening dat het een (in Nederland) nog niet eerder uitgevoerde bouwmethode is zodat wijzigingen en optimalisaties niet uitgesloten zijn.

**Werkwijze:****bouwplaats tunnelmoten**

De bouwplaats van de tunnelmoten bevindt zich in de bouwkuip voor de toeritten. Deze bouwkuip bestaat uit damwanden, trekpalen en onderwaterbeton. De gehele bouwplaats is verdeeld in twee secties. De eigenlijke productieplaats van de moten is gesitueerd in de achterste sectie aan de kant van de toerit. De voorste sectie wordt gebruikt als "parkeerplaats" van de afwijkende moten. Bij de fasering wordt hierop nader ingegaan.





Tussen de secties wordt het schuifraam aangebracht. Het schuifraam bestaat uit twee damwandschermen welke op enige afstand van elkaar zijn geplaatst. In elk scherm is een opening aangebracht waar de tunnelmoten doorheen kunnen worden geschoven. De waterdichting ter plaatse van de opening tussen scherm en tunnel wordt verzorgd door speciale rubber profielen welke rondom aansluiten op de buitenvlakken van de tunnel.

Eventueel lekwater via de eerste afdichting wordt opgevangen tussen beide schermen en weggepompt.

### **fasering**

1. Eerst worden op de produktieplaats de afwijkende moten gebouwd. Hierbij wordt de kopzijde van de voorste moot voorzien van een kopschot. Deze moten zullen naderhand naar hun "parkeerplaats" worden doorgeschoven. Door hun afwijkende vorm kunnen deze het schuifraam niet passeren. Het schuifraam is in deze fase dan ook nog niet aangebracht.  
Vervolgens wordt de produktie van de overige moten gestart. De mootvloer wordt gestort op een door middel van vijzels verticaal verstelbare bekisting. In de bekisting is de schuifbaan opgenomen. Wanneer een vloer gereed is en voldoende verhard, wordt de vloerkist neergelaten en komt de mootvloer op de schuifbaan te rusten. Hierna wordt met behulp van een horizontaal opgestelde vijzels de vloer weggeschoven over de schuifbaan. De vloerbekisting komt dan vrij voor een nieuwe vloerstort. Op de verschoven vloer worden vervolgens wanden en dak in één stort aangebracht.  
Met het schuiven worden tegelijkertijd de reeds geproduceerde moten meegeschoven richting parkeerplaats.
2. Wanneer de produktie van tunnelmoten zover gevorderd is dat de afwijkende moten geheel op hun parkeerplaats staan, wordt het schuifraam aangebracht. Dit is mogelijk doordat tussen de afwijkende moten en de normale moten een afstandhouder is aangebracht.
3. Als het schuifraam geplaatst is worden de normale moten verder doorgeschoven waarbij de voorste moot door het schuifraam heen tegen de afwijkende moten wordt geduwd. Hierdoor is de produktieplaats waterdicht afgesloten van de "parkeerplaats". Vervolgens wordt de parkeerplaats volgepompt met water en kan het kopscherm hiervan worden verwijderd.
4. Hierna kan de rest van de moten worden gebouwd. Telkens als een mootvloer gereed is, wordt deze met alle reeds afgebouwde moten doorgeschoven. De snelheid van bouwen wordt hierbij voornamelijk bepaald door de verhardingssnelheid van de mootvloer. Deze vloer moet de drukkracht ten gevolge van het schuiven op kunnen nemen.
5. Alle tunnelmoten zijn gebouwd en doorgeschoven. De produktieplaats kan ontruimd worden en de bouw van de toerit wordt gestart. Deze sluit aan op de laatste tunnelmoot welke nog door het schuifraam in de bouwkuip van de toerit steekt.

### **schuifinrichting/proces**

De voortbeweging van het geheel wordt verzorgd door een groep horizontaal opgestelde vijzels achterin de bouwkuip. Deze vijzels worden afgestempeld tegen een tijdelijk aangebrachte zandaanvulling.



In de droge bouwkuip is de schuifbaan gemonteerd op de vloer van onderwaterbeton. Op de onderwaterbeton worden betonnen poeren gestort. Op deze poeren zijn twee doorgaande stalen liggers gemonteerd. De tunnelmoten schuiven over de stalen liggers door aan het begin van de schuifbaan losse teflon platen tussen vloer en stalen liggers te steken. De teflon platen worden aan het einde van de droge schuifbaan (vóór het schuifraam) weggenomen.

In de mootvloer zijn ter plaatse van de schuifbaan roestvast stalen platen opgenomen om het schuiven te verlichten.

Om de tunnelmoten zijdelings te steunen zijn tegen de stalen damwand poeren gestort. Tussen de poer en tunnelwand is een platte vijzel met een samenstel van r.v.s. en teflon platen aangebracht.

Op de (natte) parkeerplaats schuiven de tunnelmoten over plaatselijk aangebrachte schuifblokken bekleed met teflon. Deze schuifblokken zijn op gewapend betonnen balken gemonteerd. De betonnen balken zijn op de vloer van onderwaterbeton gestort. Buiten de bouwkuip schuift de tunnel verder over in de bodem aangebrachte jukken. De jukken staan h.o.h. 2 maal de lengte van één tunnelmoot. Dit is mogelijk omdat de moten momentvast met elkaar verbonden zijn door middel van voorspanning. Om de dwarskracht ter plaatse van de voegen op te nemen zijn de voegen uitgevoerd met een vertanding.

Om de jukken op de juiste hoogte te kunnen plaatsen is de volgende werkwijze ontwikkeld:

Elk juk bestaat uit twee vooraf in de bodem geheide stalen palen en een naderhand aan te brengen dwarsdrager met geleiderollen. Als bij de schuifoperatie de voorzijde van de tunnel vlak voor de palen is aangekomen, wordt de dwarsligger van het juk op de stalen palen afgezonken. Tussen dwarsdrager en stalen palen zijn groutzakken opgenomen. Vervolgens wordt de voorzijde van de tunnel boven het juk geschoven. Hierna wordt de voorzijde van de tunnel van binnenuit ingemeten. Als de afwijkingen bekend zijn, wordt de tunnel uitgericht door middel van in de voorzijde van de tunnel opgenomen vijzels en vijzelpennen. De vijzelpennen worden afgestempeld op in de bodem aangebrachte funderingstegels (analoog aan de techniek van afgezonken tunnels).

Hierna worden de groutzakken gevuld en wordt de dwarsdrager met geleiderollen tegen de onderkant van de tunnel gedrukt. Hiermee is een exacte verticale positie van de drager gewaarborgd.

Met behulp van aan de jukken bevestigde hydraulische vijzels kan tijdens het schuifproces de positie van de tunnel in horizontale zin worden gecorrigeerd.

### **dwarsprofiel**

Het dwarsprofiel wordt naast de constructieve eisen zodanig gedimensioneerd dat het gewicht van de constructiebeton voldoende is om tijdens het schuifproces een minimale oplegdruk van 0 kN/m<sup>1</sup> te garanderen aan één zijde van de tunnel. Hierbij wordt het volgende in rekening gebracht:

- minimaal volumegewicht beton;
- maximaal volumegewicht water;
- zuiging ten gevolge van overvarend schip;
- horizontale stromings- en scheepvaartbelasting.

In noodgevallen kan de tunnel extra geballast worden door middel van in de tunnel geplaatste ballasttanks.



De hoogte van de ballastbeton wordt gedimensioneerd op:

- het in de eindsituatie te behalen minimale overgewicht van 6 kN/m<sup>2</sup>;
- de mogelijkheid tot het aanbrengen van riolering en dergelijke.

De buitenhoeken van de tunnel worden afgerond om de aansluiting van de dichtingsprofielen van het schuifraam op de buitenomtrek van de tunnel te waarborgen.

### **Afbouw**

De voeg tussen de beide tunneldelen in het midden van de waterweg wordt hetzelfde uitgevoerd als de zinkvoeg van een af te zinken tunnel. Om het tijdelijk afdichtingsprofiel samengedrukt te houden, worden in dak en vloer enkele voorspankabels opgenomen welke de beide eindmotten met elkaar verbinden. De tunnel wordt op dezelfde wijze onderspoeld als bij een af te zinken tunnel. Na het onderspoelen worden de hulpconstructies op de jukken gelost. Tevens wordt de voorspanning welke in de bouwfase is aangebracht ter plaatse van de voegen doorgeslepen.

Hierdoor zal elke tunnelmoot afzonderlijk op de onderspoellaag komen te rusten. Tenslotte wordt de "zinksleuf" aangevuld;

### **Kritisch:**

- Uitvoeringsrisico's bij constructieonderdelen waar nu nog geen ervaring mee is:
  - schuifbaan;
  - onderwaterjukken;
  - vijzelconstructie;
  - schuifraam.
- Uitvoeringsrisico's bij uitvoeringsmethoden waar nu nog geen ervaring mee is:
  - stabiliteit tijdens het schuiven;
  - maatvoering;
  - verwijderen oplegjukken.
- Doordat de zinksleuf lang openligt voordat kan worden onderstroomd, is er een grote kans op slibophoping in de zinksleuf. Om een goede tunnelfundering te verkrijgen moet het slib worden verwijderd voordat met onderstromen wordt begonnen.

### **Toepassing:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel wordt gebouwd volgens de schuifmethode als:

- het gebruik van een "normaal" bouwdok niet mogelijk is in verband met ruimtegebrek en/of:
- het gebruik van een "normaal" bouwdok niet mogelijk is in verband met een voor tunnelementen onbevaarbare waterweg.

### **Voorwaarden:**

Het gesloten gedeelte van een tunnel kan worden gebouwd volgens de schuifmethode als:

- de kritieke punten in het ontwerp zijn opgeheven of geminimaliseerd tot een acceptabel uitvoeringsrisico.

### **Referenties:**

- Ontwerp Langzaamverkeerstunnel Heinenoord;



**Documentatie:**

- Studierapport nr 2104-C-01; combinatie Dirk Verstoep Bijvoorbeeld / L.L. & N. de Meyer N.V. / N.V. Denys; maart 1990





## **Inhoudsopgave Vergelijking Bouwmethoden**

### 3.5.1 Algemeen



---

Bouwmethoden



## 3.5 VERGELIJKING BOUWMETHODEN

### 3.5.1 Algemeen

Om een verantwoorde keuze voor een bepaalde bouwmethode te kunnen maken dient men veel aspecten te beschouwen. Men dient rekening te houden met:

- opgelegde randvoorwaarden;
- de mogelijkheden die de lokatie biedt om een bepaalde bouwmethode toe te passen of juist het toepassen van een bepaalde bouwmethode onmogelijk maakt;
- de bouwkosten.

In de inleiding is al onderscheid gemaakt ten aanzien van de hoofdfasering bij de aanleg van een kruising. De keuze die hierbij wordt gemaakt is vaak afhankelijk van door de opdrachtgever opgelegde randvoorwaarden.

Ten aanzien van **kosten** moet worden opgemerkt dat men niet kan volstaan met alleen de bouwkosten in de afweging te betrekken. Meer en meer worden ook de maatschappelijke kosten meebeschoofd. Bijvoorbeeld de kosten van files ten gevolge van bouwactiviteiten.

Ook te verwachten onderhoudskosten van het voltooide produkt kunnen worden meegewogen.

Indien een project wordt uitgevoerd met private financiering, zal ook de bouwrente, dus bouwtijd, invloed hebben op de keuze van de bouwmethode.

In de praktijk zullen de grenzen van de drie aandachtsgebieden niet zo scherp zijn te trekken.

Randvoorwaarden worden bijgesteld indien het kostenaspect daartoe leidt. Of soms is met extra kosten een bepaalde bouwmethode wel geschikt te maken.

In de hiernavolgende tabellen zijn de meest voorkomende criteria opgenomen die een rol spelen bij de keuze van een bouwmethode.

#### **Toelichting keuzetabellen:**

##### **Algemeen**

Deze tabellen moeten niet worden beschouwd als wet maar meer als een hulpmiddel bij de keuze van een bouwmethode en een overzicht te geven van de aspecten welke de keuze beïnvloeden.

Het is aan te bevelen om de schifting met behulp van de tabellen met een zekere bandbreedte uit te voeren en de overgebleven mogelijkheden uit te werken voor het betreffende project zodat naderhand een verfijnde keuze kan worden gemaakt.

##### **Kwaliteitsoordeel**

Per criterium wordt een kwaliteitsoordeel gegeven door middel van een plus (+) en één of meerdere rondjes (o).

Een plus in de kolom van een bepaalde bouwmethode betekent dat die bouwmethode met betrekking tot het betreffende criterium de beste keuze is ten opzichte van de andere bouwmethoden.

De rondjes worden gegeven aan de minder gunstige bouwmethoden. Eén rondje betekent: na de bouwmethode(n) met de plus de meest gunstige. Hoe meer rondjes, des te ongunstiger is de bouwmethode. Het betekent echter niet dat een bouwmethode met twee rondjes ook twee keer zo ongunstig is als een bouwmethode met één rondje.





#### Toelichting criteria

Het kwaliteitsoordeel is een algemeen geldig oordeel. Afwijkende omstandigheden kunnen ertoe leiden dat het oordeel anders uitvalt. Dit is in de aanvullende toelichting per criterium zo goed mogelijk aangegeven. Ook wordt vermeld wat de plus betekent bij juist dit criterium.

- bemaling gedurende bouw:
  - betekent bemaling is niet nodig;
- waterbezwaar eindsituatie:

het waterbezwaar dat kan optreden door lekkage van de constructie.

  - betekent normaal gesproken geen lekkage van de constructie te verwachten;
- benodigde ruimte bouw:

de werkruimte die nodig is tijdens de bouw, in de eerste plaats de terreinbreedte ter plaatse van het kunstwerk, daarnaast eventuele werkruimte voor de plaatsing van bijzonder materieel of tijdelijke opslag van bouwmaterialen.

  - betekent smalste terreinbreedte en geen bijzondere extra werkterrein benodigd.
- benodigde ruimte eindsituatie:

de terreinbreedte die het kunstwerk in beslag neemt nadat het is gebouwd en in gebruik genomen.

  - betekent smalste terreinbreedte benodigd;
- trillingshinder bouw:

de door de bouwactiviteiten veroorzaakte (bodem)trillingen in de omgeving zonder dat bijzondere maatregelen zijn getroffen zoals een trillingsarm funderingssysteem.

  - betekent geen trillingshinder
- handhaving scheiding grondwater:

de mogelijkheid om eventueel tijdens de bouw maar in ieder geval na oplevering van het kunstwerk de verschillende watervoerende bodemlagen van elkaar gescheiden te houden.

  - betekent scheiding is mogelijk.
- eisen bodemgesteldheid:

de afhankelijkheid van de bodemgesteldheid om de betreffende bouwmethode toe te kunnen passen.

  - betekent toe te passen onafhankelijk van de bodemgesteldheid.
- bouwkosten:
  - betekent de laagste bouwkosten.

#### Voetnoten in de tabellen:

1. afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering, bij zorgvuldige uitvoering is ook hier geen waterbezwaar te verwachten.
2. afhankelijk van de waterremmende capaciteit van de bodemlagen.
3. afhankelijk van de uitvoeringsmethode.
4. afhankelijk van bouwmethode toerit.



## **Inhoudsopgave Documentatie**

- 3.6.1 Algemeen
  - 3.6.1.1 Lijst met veel voorkomende woorden.
  - 3.6.1.2 Documentatie



---

Bouwmethoden



## 3.6 DOCUMENTATIE

### 3.6.1 Algemeen

De informatie in de hoofdstukken 1 t/m 3 is uiteraard niet volledig.

Indien meer informatie wordt gewenst, kan men putten uit de volgende bronnen:

- de projectarchieven;
- de bij de uitgevoerde projecten betrokken personeelsleden;
- bibliotheek;

Ten behoeve van de eerste twee bronnen is in de hoofdstukken 1 t/m 3 een lijst met uitgevoerde en in ontwerpfase verkerende projecten opgenomen onder de kop "Referentie".

Verder zijn alle projecten ook nog eens in dit hoofdstuk in een lijst weergegeven met aanvullende informatie.

De werken waarvan in de kolom "besteknr" de aanduiding "extern" is opgenomen, betreft werken die niet bij de Bouwdienst zijn ontworpen en uitgevoerd. Deze werken zijn echter toch opgenomen in de lijst omdat hierover wel veel informatie aanwezig is bij de Bouwdienst en het uit oogpunt van bouwmethode interessante werken zijn.

Verklaring voetnoten:

1. De Kiltunnel is door de Bouwdienst ontworpen en uitgevoerd in opdracht van de Stichting Tunnel Dordse Kil.
2. De verdiepte weg nabij Vught is een onderdeel van een wegenbestek van dir. Noord-Brabant. De Bouwdienst heeft het ontwerp voor het verdiepte gedeelte gemaakt en het toezicht bij de uitvoering begeleid.

Behalve de rechtstreekse verwijzing naar documenten onder de kop "Documentatie" is, voor wat betreft de informatie die in de bibliotheek van de Bouwdienst aanwezig is, een aantal nummers gegeven, welke verwijzen naar de documentatielijst in dit hoofdstuk. Deze documentatielijst bevat voor het merendeel artikelen welke in de loop der tijd verschenen zijn in de diverse tijdschriften en vakbladen.

#### 3.6.1.1 Lijst met veel voorkomende woorden.

##### **aanlegdiepte**

Hoogtepeil waarop wordt begonnen met het bouwen, b.v. onderkant funderingsplaat of vloer.

##### **afbouwsteiger**

Steiger waaraan een tunnelelement na opdrijven wordt afgemeerd om te worden afgebouwd, d.w.z. het aanbrengen van transport- en afzinkvoorzieningen.

##### **afzinkponton**

Speciaal daarvoor ingericht ponton dat wordt gebruikt bij het afzinken van tunnelelementen, vrijwel altijd als paar gekoppeld.

##### **bakconstructie**

U-vormige constructie, bestaande uit een vloer en twee wanden, die wordt toegepast bij toeritten en verdiepte wegen.

**ballastbeton**

Beton dat op de vloer van een tunnel wordt gestort om het eigen gewicht van de constructie te verhogen. Opdrijven van de tunnel wordt hiermee voorkomen.

**bentoniet**

Zeer fijne klei dat veel water kan binden en in een mengsel met (portland)cement wordt toegepast om slappe, sterk waterremmende wanden in de grond te fabriceren.

**bodemspeling**

Afstand tussen onderkant tunnelelement en (bouwdok)bodem bij opdrijven, transporteren en afzinken van het tunnelelement.

**bouwwegen**

Tijdelijke wegen die worden aangelegd op en om de bouwplaats of in een bouwdok t.b.v. bereikbaarheid bouwwerk.

**caisnonelement**

Een gedeelte van de tunnel dat door middel van de pneumatische afzinkmethode in de grond wordt aangebracht.

**compartmentering**

Het opdelen van bijvoorbeeld grote bouwkuipen in een aantal kleinere bouwkuipen zodat in elk deel afzonderlijk een bepaalde bouwfase kan worden uitgevoerd zonder belemmeringen t.g.v. andere bouwfasen.

**diffusor**

Bepaalde sproeikop op de aanvoerbuus waarmee onder water zand wordt aangebracht. Hiermee wordt een gelijkmatige aanvulling verkregen.

**kielspit**

Op een bepaalde manier gevormde buitenrand van een folieconstructie, waarmee in de bouwfase de folie tegen opwaaien wordt beschermd en afglijden van de folie in de bouwput wordt voorkomen.

**opbarsten**

Het omhoog komen van bijvoorbeeld een kleilaag in een bouwput of een vloer (van onderwaterbeton) in een bouwkuip tengevolge van de grondwaterdruk eronder.

**opdrijven**

O.a.: het gecontroleerd omhoog laten komen van een tunnelelement in een bouwdok door het uitpompen van ballastwater.

**overgangsgedeelte**

Het gedeelte van een tunnel tussen het afgezonken tunneldeel en de toerit.

**remrollen**

Ronde gewichten op een voor het afzinken van een folieconstructie gebruikt ponton ter voorkoming van ongecontroleerd afzinken.

**stempelraam**

Een stelsel van balken tussen twee damwanden in een bouwkuip

**toerit**

Het open gedeelte van een tunnel of onderdoorgang leidend naar of van het gesloten gedeelte.

**tunnelbekisting**

Speciaal gevormde bekisting voor het tegelijkertijd bekisten van de binnenkant van wanden en dak van een tunnelmoot.

**uitvaren**

Het met behulp van sleepboten uit het bouwdoek slepen van een tunnelelement.

**vrijboord**

De (minimum) afstand tussen bovenkant tunneldak en de waterspiegel bij een in het water drijvend tunnelelement.

**zinksleuf**

Het onder water in de bodem gebaggerd cunet waarin de tunnelementen worden afgezonken.

**3.6.1.2 Documentatie**

	LOKATIE	BESTEK	JAAR
Coentunnel	RW A10	SS 160	1957
Wijkertunnel	RW A9	BDD 252	i.v.
Tunnel onder de Noord	RW A15	SS 1167	1992
Beneluxtunnel	RW A4		1967
Heinenoordtunnel	RW A29	SS 415	1969
Vlaketunnel	RW A58	SS 674	1975
Drechtunnel	RW A16	SS 633	1977
Kiltunnel	RW 43	DK 3	1977 (1)
Hemspoortunnel onder Amsterdam-Rijn Kanaal		SS 780	1983
Zeeburgertunnel (Tunnel onder het BuitenIJ)	RW A10	SS 1073	1990
Spoortunnel Rotterdam onder de Nieuwe Maas			1992
Uitbr. Coentunnel	RW A10	ontwerp	
Langzaamverkeerstunnel Heinenoord		ontwerp	
Leidingentunnel Hollands Diep		SS 662	1973
Leidingentunnel Oude Maas		SS 691/3	1977



## Bouwmethoden

## Documentatie

	LOKATIE	BESTEK	JAAR
Gouwe Aquadukt	RW A12	SS 714	1981
BotLektunnel	RW A15	extern	1980
Verdiepte weg Amelisweerd, folieconstructie	RW A27	SS 845	1984
Verdiepte weg Amelisweerd, bakconstructie	RW A27	SS 901	1986
Onderdoorgang KW 37	RW A1	SS 943	1986
Onderdoorgang KW 43	RW A1	SS 1080	1988
Verlengde Landscheidingsweg	RW A14	ontwerp	
Verdiepte weg Ulvenhout	RW A58		
Verdiepte weg nabij Enschede (KW 106, 107)	RW A35	SS 1186	1990
Verdiepte weg nabij Vught	RW A2	NB 3353	(2)
Verdiepte weg nabij Best	RW A2	SS 1349	
Sluis te Almere			1986
Sluis te Schijndel			i.u.
Tweede Schipholtunnel	RW A4	ontwerp	
Margrietunnel	RW A7	SS 694	1977
Onderdoorgang Utrechtse Baan te Den Haag	stad	SS 493	1976
Leidingtunnel Amsterdam-Rijn Kanaal			1971
Schipholtunnel	RW A4	SS 1b	1966
Maastunnel te Rotterdam	stad	extern	1942
Metro Rotterdam	stad	extern	1980
Metro Amsterdam	stad	extern	1980
Spoortunnel Schiphol		extern	1980
Velsertunnel	RW A9	SS 22/38	1957
Leidingentunnel Schelde-Rijn			1976
Leidingentunnel Roosendaalse Vliet		SS 753	1978
Leidingentunnel Dintel		SS 753	1978



## Bouwmethoden

## Documentatie

	LOKATIE	BESTEK	JAAR
Onderdoorgang Groenlo	RW 841	SS 1033	1988
Onderdoorgang Idaard		SS 1329	1990
Aquaduct Grouw	RW A32	SS 1328	1992







---

## Inhoudsopgave

- 4. Rekenmethodieken
  - 4.1 Inleiding
    - 4.1.1 Algemeen
  - 4.2 Opzet Berekening
    - 4.2.1 Algemeen
    - 4.2.2 Inleiding
    - 4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen
    - 4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten
    - 4.2.5 Bouwfasering
    - 4.2.6 Berekeningsmethodiek
    - 4.2.7 Rekenresultaten
    - 4.2.8 Toetsing
    - 4.2.9 Samenvatting
    - 4.2.10 Gevoelighedsanalyse
    - 4.2.11 Detaillering
    - 4.2.12 Bijlagen
  - 4.3 Damwanden en Verankeringen
    - 4.3.1 Algemeen
    - 4.3.2 Normen en richtlijnen
    - 4.3.3 Berekeningsuitgangspunten
    - 4.3.4 Berekeningsmethoden
    - 4.3.5 Detaillering
    - 4.3.6 Uitvoer van berekeningen
  - 4.4 Trek en Druk op Paalfunderingen
    - 4.4.1 Algemeen
    - 4.4.2 Normen en richtlijnen
    - 4.4.3 Berekeningsuitgangspunten
    - 4.4.4 Berekeningsmethoden
    - 4.4.5 Horizontaal belaste palen
    - 4.4.6 Gevoelighedsanalyse
    - 4.4.7 Detaillering
    - 4.4.8 Uitvoer van berekeningen
  - 4.5 Dimensioneren Ongewapende Onderwaterbetonvloeren
    - 4.5.1 Algemeen
    - 4.5.2 Begrippen
    - 4.5.3 Uitzonderingen
    - 4.5.4 Randvoorwaarden



---

Rekenmethodieken

- 4.5.5 Materiaaleigenschappen
- 4.5.6 Belastingen
- 4.5.7 Schematisering en toetsing
- 4.5.8 Bouwfasering
- 4.5.9 Detaillering
- 4.6 Koelen van Beton
  - 4.6.1 Algemeen
  - 4.6.2 Beschrijving mechanisme
  - 4.6.3 Koelmethoden
  - 4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen
  - 4.6.5 Te stellen eisen
  - 4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen
- 4.7 Dimensioneren Doorsnede Tunnelement
  - 4.7.1 In ontwikkeling
- 4.8 Langvoorspanning Afzinkelement
  - 4.8.1 In ontwikkeling
- 4.9 Funderen Tunnelement
  - 4.9.1 In ontwikkeling



---

Rekenmethodieken

## **Inhoudsopgave Inleiding**

4.1.1 Algemeen



---

Rekenmethodieken



## **4.1 INLEIDING**

### **4.1.1 Algemeen**

Dit document moet worden gezien in nauwe samenhang met Ontwerpfilosofie Bouwdienst en de Richtlijnen voor het Ontwerpen van Betonnen Kunstwerken (ROBK).

Om tegenspraak tussen de onderlinge documenten te vermijden worden hier geen eisen met numerieke waarden vermeldt, daarvoor wordt verwezen naar de ROBK. Na SATO 1993 is nu SATO 2004 gereed gekomen. Ook deel 4 Rekenmethodieken is daarbij vernieuwd. En dat was ook wel nodig. Normen zijn in tussentijd namelijk ook drastisch veranderd en er is regelgeving bijgekomen. Gelukkig maar, zouden we kunnen zeggen. De CUR-aanbevelingen 166 en 2001-4 en interne documenten als de ROBK en de VRC zijn bekende standaardwerken geworden.

Maar toch zijn deze normen, richtlijnen en aanbevelingen niet zo compleet dat we daarmee de hele tunnelbouwwereld mee af kunnen dekken. Met name op het gebied van afzinkberekeningen zijn ze lang niet toerijkend, maar ook op bekende gebieden als damwanden, paalfunderingen en betonkoeling is het goed de uitgangspunten, die de Bouwdienst hanteert, nogmaals goed vast te leggen. En daarmee is direct de doelstelling van SATO deel 4 verwoord: Het vastleggen van de uitgangspunten bij het berekenen van ondergrondse constructies voor Rijkswaterstaat.

Daarbij is SATO deel 4 dus niet een stappenplan die de constructeur en/of de toetsers bij de hand neemt bij het maken resp. toetsen van de berekening. Wel is SATO deel 4 een handige checklist voor elke constructeur om te kijken of de (te toetsen) berekening compleet is en of de gehanteerde uitgangspunten overeenkomen met de Bouwdienst rekenmethodieken.

De opzet van SATO deel 4 is chronologisch. In hoofdstuk 2 wordt, met name voor een beginnend constructeur, de Opzet van een (goede, overzichtelijke) berekening omschreven. Daarna wordt in hoofdstuk 3 begonnen met de aanvullende eisen en uitgangspunten waar de Damwanden en de verankerings- c.q. stempelconstructies aan moeten voldoen. In hoofdstuk 4 volgt hetzelfde voor de Trek- en drukpalen en hoofdstuk 5 beschrijft de Dimensionering van de ongewapende onderwaterbetonvloer conform de CUR-aanbeveling 77. Dit hoofdstuk heeft daarmee een wat andere opzet dan de overige hoofdstukken, omdat de CUR-aanbeveling 77 voor de Bouwdienst tot nader orde nog niet van toepassing is verklaard i.v.m. twijfels over de juistheid van art. 9.2, 9.3 en 9.4. Hoofdstuk 6 beschrijft daarna kort wat de oorzaak is van watervoerende scheuren door verhinderde vervorming en gaat daarna vooral in op Koelen, als één van de mogelijke maatregelen om deze scheurvorming te voorkomen en de daarbij te stellen eisen. Heel specifiek is daarna hoofdstuk 7, waarin wordt omschreven wat komt kijken bij het Dimensioneren van een afzinktunnel, van de bepaling van de doorsnede van de tunnel en de lengte van de tunnelelementen, tot en met de dimensionering van het beton. Verder ingaand op deze afzinktunnels worden in de hoofdstukken 8 en 9 respectievelijk de (tijdelijke) Voorspanning en Fundering van afzinkelementen nog in het bijzonder uitgelicht.





## **Inhoudsopgave Opzet Berekening**

- 4.2.1 Algemeen
- 4.2.2 Inleiding
- 4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen
- 4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten
  - 4.2.4.1 Algemeen
  - 4.2.4.2 Schematisering constructie
  - 4.2.4.3 Uitgangspunten
  - 4.2.4.4 Belastingen
- 4.2.5 Bouwfasering
- 4.2.6 Berekeningsmethodiek
- 4.2.7 Rekenresultaten
- 4.2.8 Toetsing
- 4.2.9 Samenvatting
- 4.2.10 Gevoeligheidsanalyse
- 4.2.11 Detaillering
- 4.2.12 Bijlagen





---

Rekenmethodieken



## **4.2 OPZET BEREKENING**

### **4.2.1 Algemeen**

Het verdient aanbeveling om bij de opzet van een berekening eerst goed na te gaan welke indeling en onderdelen benodigd zijn om tot een logisch en goed controleerbaar document te komen. De constructeur zal zelf de indeling moeten bepalen en voor de overzichtelijkheid wordt aanbevolen om de in- en uitvoer van berekeningen in bijlagen onder te brengen. Hieronder wordt een leidraad gegeven om een berekening op te zetten.

Een handig hulpmiddel kan ook zijn het document "Resultaatbeschrijving Rekenwerk" van de afdeling Bruggenbouw Tilburg/Zoetermeer.

Bij het opstellen van een nieuw rekendocument, zal ook een toetsformulier moeten worden toegevoegd. Bij toetsing van een ander document zal dit formulier reeds zijn toegevoegd.





### **4.2.2 Inleiding**

- Aangeven over welk project het gaat;
- Aangeven in welke fase het project zich bevindt;
- Aangeven welk onderdeel berekend wordt;
- Mogelijke raakvlakken met andere partijen, die ook berekeningen uitvoeren;
- Mogelijke raakvlakken met berekeningen van andere constructieonderdelen;
- Gerelateerde documenten noemen, zoals grondmechanische rapporten en/of voorafgaande berekeningen;
- Gerelateerde tekeningen noemen.





### 4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen

De meest relevante normen, voortvloeiend uit het Bouwbesluit, en richtlijnen die van toepassing zijn:

NEN 6700 TGB 1990	Technische grondslagen voor bouwconstructies Algemene basiseisen
NEN 6702 TGB 1990	Belastingen en vervormingen
NEN 6720 TGB 1990	Voorschriften beton – Constructieve eisen en rekenmethoden
NEN 6740 TGB 1990	Geotechniek – Basiseisen en belastingen
NEN 6770 TGB 1990	Staalconstructies – Basiseisen en rekenregels
CUR-aanbeveling 77	Rekenregels voor ongewapende owb-vloeren
CUR-publicatie 166	Damwandconstructies
ROA/RONA	Richtlijnen ontwerp (niet-)autosnelwegen
ROBK	Richtlijnen voor het Ontwerpen van Betonnen Kunstwerken

Opgemerkt dient te worden dat uitgegaan wordt van de meest recente versies incl. aanvullingen etc.





## **4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten**

### **4.2.4.1 Algemeen**

- In het algemene hoofdstuk dient aangegeven te worden:
- welke veiligheidsklasse wordt toegepast met de bijbehoren partiële factoren, waarbij de partiële factoren zowel probabilistisch als deterministisch kunnen zijn bepaald;
- levensduur van de constructie;
- eisen t.a.v. vervormingen en bezwijken;
- materiaaleigenschappen.

### **4.2.4.2 Schematisering constructie**

In tekst en plaatjes aangeven hoe je de constructie, 2D of 3D, schematiseert. Dus met coördinaten knooppunten, profielen en type verbindingen.

### **4.2.4.3 Uitgangspunten**

Uitgangspunten zijn per type berekening natuurlijk anders. Belangrijk is vooral dat alles overzichtelijk vastgelegd wordt, zodat een controle- of herberekening mogelijk is.

Voorbeelden van zaken die vastgelegd moeten worden:

- Gebruikte grondparameters;
- Grondwaterstanden en stijghoogtes;
- Begrenzing van waarden.

### **4.2.4.4 Belastingen**

De gebruikte belastingen zijn, behalve van de soort berekening, meestal ook afhankelijk van de projectfase waarvoor de berekening moet worden uitgevoerd. Niet alle gegevens zijn aan het begin van het project volledig bekend. In elke fase moet daarom duidelijk worden aangegeven binnen welke bandbreedte de belastingen vallen.







#### **4.2.5 Bouwfasering**

Indien het van belang is voor de berekening, een opsomming geven van de bouwfasering per onderdeel in hoofdlijnen, verduidelijkt met schetsen of tekeningen. (eventueel in een bijlage)





#### **4.2.6 Berekeningsmethodiek**

Een berekening kan op verschillende manieren worden opgepakt. Daarom moeten de onderstaande onderdelen in ieder geval vermeld worden:

- Aangehouden theorieën;
- Toegepast rekenmodel;
- Gebruikte rekenprogrammatuur.





#### **4.2.7 Rekenresultaten**

In het document alleen de relevante eindresultaten vermelden. Lange computeruitdraaiën en grote tekeningen moeten in de bijlagen worden ondergebracht.





### **4.2.8 Toetsing**

Toets uitvoeren conform de gehanteerde norm. Over het algemeen moeten de volgende onderdelen aan bod komen:

- UGT op sterkte;
- UGT op stabiliteit;
- BGT op vervorming;
- Levensduurbeschouwing.

Voor sommige materialen wordt door toetsen op sterkte en vervorming indirect ook getoetst op levensduur (b.v. beton).







### **4.2.9 Samenvatting**

De samenvatting moet apart gelezen kunnen worden. Dus in hoofdlijnen per onderdeel de eindresultaten weergeven.





#### **4.2.10 Gevoeligheidsanalyse**

Als er onzekerheid bestaat omtrent bepaalde randvoorwaarden kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd, waarbij de effecten kunnen worden bepaald.





#### **4.2.11      Detaillering**

Hier de uitgangspunten en de uitkomsten van de berekening vermelden die consequenties hebben voor het bestek, deelkwaliteitsplan of werkplan.





## **4.2.12 Bijlagen**

In de bijlagen de volgende onderdelen opnemen:

1. Omschrijving verwerking commentaar;
2. Overzicht berekende onderdelen;
3. Aangehouden fasering;
4. In- en uitvoer berekeningen per onderdeel.







## **Inhoudsopgave Damwanden en Verankering**

- 4.3.1 Algemeen
- 4.3.2 Normen en richtlijnen
- 4.3.3 Berekeningsuitgangspunten
  - 4.3.3.1 Algemeen
  - 4.3.3.2 Geotechnische uitgangspunten
  - 4.3.3.3 Belastingen
- 4.3.4 Berekeningsmethoden
- 4.3.5 Detaillering
- 4.3.6 Uitvoer van berekeningen



---

Rekenmethodieken



## **4.3 DAMWANDEN EN VERANKERINGEN**

### **4.3.1 Algemeen**

Hieronder worden aanvullende eisen en uitgangspunten gegeven waaraan damwand-berekeningen en verankerings- c.q. stempelconstructies moeten voldoen in relatie tot de bekende normen en richtlijnen.





### **4.3.2 Normen en richtlijnen**

De volgende normen en richtlijnen zijn van toepassing op damwandconstructies:

- NEN 6702;
- NEN 6740;
- NEN 6770;
- CUR-publicatie 166.





### 4.3.3 Berekeningsuitgangspunten

De volgende aanvullende uitgangspunten naast de vigerende normen in het document aangeven of verwerken:

#### 4.3.3.1 Algemeen

- Aangeven of damwanden tijdelijk of definitief zijn;
- Voor definitieve damwanden gelden aanvullende eisen zoals vermeld in Cement 55, nr. 8 (2003), pag. 56 t/m 59, "Definitieve ongewapende onderwaterbetonvloeren in combinatie met definitieve damwanden";
- Minimaal toe te passen damwandprofiel i.v.m. heikbaarheid (zie ROBK);
- Vervormingseisen bij tijdelijke en/of definitieve constructies (zie ROBK);
- Voor de beïnvloeding van het paal draagvermogen bij het trekken van damwanden (zie ROBK).

#### 4.3.3.2 Geotechnische uitgangspunten

- Het verloop van de stijghoogte over de slecht doorlatend holocene klei- en veenlagen lineair veronderstellen;
- Voor de bepaling van  $\lambda_a$  en  $\lambda_p$  uitgaan van rechte glijvlakken;
- Wandwrijvingshoek (zie ROBK);
- De maximale waarde van de passieve grondrukcoëfficiënt ( $\lambda_p$ ) begrenzen (zie ROBK).

#### 4.3.3.3 Belastingen

- In de gebruiksfase uitgaan van een gelijkmatig verdeelde terreinbelasting (zie ROBK).
- Uitgaan van 'toevallige belastingen' op stempels (zie ROBK).
- De 'toevallige belastingen' behoeven niet te worden gecombineerd en in het geval van stempeluitval niet in rekening te worden gebracht.
- Rekening houden met een temperatuurbelasting op de stempels.







#### 4.3.4 Berekeningsmethoden

- De damwanden inclusief ankers, stempels en gordingen berekenen aan de hand van het stappenplan als aangegeven in CUR 166. Het stappenplan is uitsluitend bedoeld als toetsingsmethode en moet iteratief worden doorlopen.
- De krachtsverdeling in de damwanden berekenen met een damwandprogramma, gebaseerd op een liggermodel ondersteund door een bedding van ongekoppelde grondveren.
- Als computerprogramma mag MSheet (GD) worden gebruikt.
- Bij de modellering van de onderwaterbetonvloer de oplegging op  $\frac{1}{4}$  van de theoretische hoogte vanaf de bovenkant van de onderwaterbetonvloer nemen.
- Bij een gestempelde bouwkuip rekenen met stempeluitval. In de gording mogen hierbij plastische scharnieren geschematiseerd worden. Aangetoond moet worden dat de veiligheidscoëfficiënt groter is dan 1.  
Bij stempeluitval behoeft de temperatuurbelasting niet in rekening te worden gebracht.
- Indien de stabiliteit van de damwandconstructie in zijn totaliteit risicovol is, de constructie modelleren m.b.v. een PLAXIS-berekening, waarbij ook de omliggende grond in de EEM-berekening wordt meegenomen.





### 4.3.5 Detaillering

Hieronder een aantal aandachtspunten voor de uitvoering:

1. Bij de plaatstolerantie van de damwand moet de extra vervorming van de damwand worden meegenomen. Vooral is dit nodig indien de betonwand tegen de damwand wordt gestort.
2. De ankerkop van een groutanker voorzien van een conische moer i.v.m. mogelijke buiging in de ankerstang bij kleine horizontale verplaatsingen.
3. Bij grout- en schroefinjectieankers onder een wegconstructie met een hellingen van  $30^\circ$  of minder met de horizontaal, een mantelbuis (PVC) met minimale lengte van 5 m toepassen. Het anker aan de onderzijde van de buis aanbrengen i.v.m. mogelijke zetting en buiging uit verkeersbelasting. Dezelfde eisen zijn van toepassing wanneer ankerschotten worden toegepast.
4. Na de controleproeven de ankers aflaten tot een maximale waarde van de bezwijkwaarde (zie ROBK).





### 4.3.6 Uitvoer van berekeningen

Bij een damwandprogramma de uitvoer geven van:

BGT:            overzicht grafische invoer van alle bouwfasen  
                   overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen  
                   gehele numerieke uitvoer  
                   Kranz-stabiliteit

UGT-laag:     overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen  
                   gehele numerieke uitvoer

UGT-hoog:    overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen

Opmerking    De groutanker- en schroefinjectieankerberekening wordt meestal door de leverancier verzorgd.





## **Inhoudsopgave Trek en Druk op Paalfunderingen**

- 4.4.1 Algemeen
- 4.4.2 Normen en richtlijnen
- 4.4.3 Berekeningsuitgangspunten
- 4.4.4 Berekeningsmethoden
- 4.4.5 Horizontaal belaste palen
- 4.4.6 Gevoeligheidsanalyse
- 4.4.7 Detaillering
- 4.4.8 Uitvoer van berekeningen





---

Rekenmethodieken



## **4.4 TREK EN DRUK OP PAALFUNDERINGEN**

### **4.4.1 Algemeen**

Hieronder worden aanvullende eisen en uitgangspunten gegeven waaraan berekeningen van paalfunderingen moeten voldoen in relatie tot de bekende normen en richtlijnen.





#### **4.4.2 Normen en richtlijnen**

De volgende normen en richtlijnen zijn van toepassing op paalfunderingen:

- NEN 6702;
- NEN 6740;
- NEN 6743;
- NVN 6724: VB - In de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel
- CUR-rapport "Ontwerpregels voor trekpalen"





### 4.4.3 Berekeningsuitgangspunten

De volgende aanvullende uitgangspunten naast de vigerende normen in het document aangeven of verwerken:

- Aangeven van welke sonderingen wordt uitgegaan en hoe de verschillen tussen deze sonderingen worden verwerkt;
- Aangeven de heikbaarheid van de palen in relatie tot de vigerende sonderingen;
- Aangeven hoe de palen worden aangebracht : voor of na ontgraving;
- Bij toepassing van een owb-vloer, het onderwatergewicht op de palen verdisconteren;
- Aangeven vanaf welk niveau de schachtwrijving wordt meegenomen (zie ROBK);
- Bij trekpalen aangeven de paalklasse/type ( $\alpha_t$  );
- Bij drukpalen aangeven de paalklasse/type, paalvoetvorm en vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet (  $\alpha_p$  en  $\alpha_s$  ,  $\beta$  ,  $s$  );
- Aangeven de reductie van de conusweerstand t.g.v. de ontgraving en welke methode wordt toegepast;
- Indien  $f_1 > 1$  wordt toegepast voor het effect van installatie, moeten controlesonderingen worden uitgevoerd. Als achteraf blijkt, dat  $f_1$  te hoog is ingeschat, dient er een controleberekening te worden uitgevoerd. Hierbij is het mogelijk dat er extra palen moeten worden aangebracht;
- Voor de beïnvloeding van het paal draagvermogen bij het trekken van damwanden (zie ROBK).





#### **4.4.4 Berekeningsmethoden**

De drukpalen berekenen volgens NEN 6743.

De trekpalen berekenen volgens CUR-rapport "Ontwerpregels voor trekpalen".

Voor beide berekeningen mag Mfoundation (GD) worden gebruikt.

Bij gebruik van Mfoundation kiezen voor de CUR-methode en dus niet voor de GD-methode.

Indien de paalfundering asymmetrisch is, waarbij niet eenvoudig de paalreacties te bepalen zijn, mag de fundering gemodelleerd worden m.b.v. Mpile (GD). Hierbij wordt de grond tussen de palen in de berekening meegenomen.

Voor het toepassen van een paal-plaat fundering wordt verwezen naar de ROBK.

Voor de schematisatie van de paalkop, scharnierend dan wel ingeklemd, wordt verwezen naar de ROBK.







#### **4.4.5 Horizontaal belaste palen**

Horizontale belastingen moeten in principe worden voorkomen door het toepassen van schoorpalen.

Wanneer dit niet mogelijk is de buigende momenten t.g.v. deze horizontale belastingen bepalen volgens de ROBK.

Bij scheve kruisingen met gelijk maaiveld en grondwaterstand ontstaan horizontale belastingen, omdat deze niet in elkaars verlengde liggen en hebben daarom de neiging te willen roteren. De buitenste palen nemen meer belasting op dan de meer naar het zwaartepunt gelegen palen. Bij palen met een lage buigstijfheid b.v. ankerpalen kan dit een maatgevend mechanisme zijn.

De berekening van deze paalkrachten mag m.b.v. de stijve plaattheorie, waarbij uitgegaan wordt van een rechtlijnig verband tussen de paalstijfheid, de afstand tot het zwaartepunt en de paalkracht t.g.v. het rotatiemoment.





#### **4.4.6 Gevoeligheidsanalyse**

Bij op druk belaste palen en palen onder een wisselbelasting (b.v. mobiele belasting) is bijzondere aandacht gewenst als het paalpuntniveau juist boven een teruggang in de sondeerwaarde is bepaald. Bij het mogelijk dieper heien kan de paal door de draagkrachtige laag ponsen.





#### **4.4.7      Detaillering**

Hieronder een aantal aandachtspunten bij de uitvoering:

1. De wapening van de paal t.b.v. transport en heien wordt door de paalleverancier bepaald. Wapening t.g.v. overige belastingen (b.v. horizontale belasting) moet apart aan de paalleverancier worden doorgegeven;
2. Minimale wapening van voorgespannen beton palen (zie ROBK);
3. Bij koppensnellen de steklengte niet ombuigen maar doorzetten tot aan het bovennet en daarna pas ombuigen (zie ROBK);
4. Blijvende voorspanning in de prefab palen (zie ROBK);
5. Indien rekening gehouden moet worden met zwerfstromen, de paalwapening los houden van de vloerwapening (zie ROBK);
6. Volumegewicht groutmengsel bij Vibro-Combinatiepalen (zie ROBK);
7. Ter controle van de berekening, bij de uitvoering t.p.v. elke sondering de dichtstbijzijnde paal geheel kalenderen (zie ROBK);
8. Voor een mogelijke detaillering van de paalkop wordt verwezen naar SATO deel 5.





#### **4.4.8 Uitvoer van berekeningen**

Bij de invoer moet kunnen worden nagegaan of de uitgangspunten ook werkelijk zijn ingevoerd.

De uitvoer zoveel als mogelijk grafisch presenteren.







## **Inhoudsopgave Dimensioneren Ongewapende**

- 4.5.1 Algemeen
- 4.5.2 Begrippen
- 4.5.3 Uitzonderingen
- 4.5.4 Randvoorwaarden
- 4.5.5 Materiaaleigenschappen
- 4.5.6 Belastingen
- 4.5.7 Schematisering en toetsing
  - 4.5.7.1 Schematisering en toetsing korte richting
  - 4.5.7.2 Toetsing lange richting
- 4.5.8 Bouwfasering
- 4.5.9 Detaillering



---

Rekenmethodieken



## **4.5 DIMENSIONEREN ONGEWAPENDE ONDERWATERBETONVLOEREN**

### **4.5.1 Algemeen**

De berekening van een ongewapende onderwaterbetonvloer gebeurt aan de hand van de CUR-Aanbeveling 77, rekenregels voor ongewapende owb-vloeren. Echter omdat de Bouwdienst twijfelt aan de juistheid van art. 9.2, 9.3 en 9.4 is tot nader orde

Aanbeveling 77 voor Bouwdienst werken nog niet van toepassing verklaard. Momenteel is een onderzoekstraject ingezet wat in ieder geval zal leiden tot aanpassing van de art. 9.2 en 9.4, zodat bij toepassing van deze funderingselementen Aanbeveling 77 van toepassing kan worden verklaard.





## 4.5.2 Begrippen

Begrippen die van belang zijn voor de berekening zijn:

- Randstoring (hfd. 2 en art. 7.2).
- Randgebied (hfd. 2 en art. 7.2).
- Middengebied (hfd. 2 en art. 7.2).
- Korte en lange richting (hfd. 2 en figuur 2).
- Gemiddelde vloerdikte ( $H_{gem}$ ), tolerantie en minimale vloerdikte ( $H_{min}$ ) (hfd. 2 en figuur 1). Zie ook toelichting bij art. 7.1 voor het bepalen van de toleranties.  $H_{gem}$  staat op tekening vermeld en wordt gebruikt voor het bepalen van de belastingen en de buig-stijfheid (schematisering). Voor het bepalen van de spanningen wordt  $H_{min}$  gehanteerd (toetsing) (art. 7.1)





### 4.5.3 Uitzonderingen

De volgende uitzonderingen, zoals vermeld in art. 7.3, verdienen bijzondere aandacht:

1. Wanneer in het midden stijvere trekelementen aanwezig zijn in combinatie met bijv. een middenwand van een tunnel Te handelen zoals staat beschreven in de toelichting bij art. 8.2.1. Wanneer gerekend wordt met art. 7.5, scheurvorming aannemen volgens bijlage A.
2. Bij een bouwkuip breder dan 40 m mag in het midden niet meer op de aanwezigheid van de normaalkracht worden gerekend.
3. Bij een min of meer vierkante bouwkuip met een lengte en breedte van max. ca. 30 m komt alleen de krachtverdeling volgens de korte richting voor.







#### 4.5.4 Randvoorwaarden

1. De damwanden moeten zo lang zijn dat zij ook als trekelement fungeren (art. 1.2)
2. De Aanbeveling geldt alleen voor onderwaterbetonvloeren met een tijdelijke uitvoerings-functie (art. 1.2)  
Voor definitieve damwanden gelden aanvullende eisen zoals vermeld in Cement 55, nr. 8 (2003), pag. 56 t/m 59, "Definitieve ongewapende onderwaterbetonvloeren in combinatie met definitieve damwanden";
3. De minimale gemiddelde dikte is 800 mm (art. 1.2).
4. Er wordt niet ingegaan op de toetsing van het draagvermogen van de trekelementen (art. 4.1.2).
5. Er moet sprake zijn van een langgerekte bouwkuip met een duidelijke korte en lange richting (art. 7.2).
6. De paalafstand in de lange richting moet groter zijn dan in de korte richting (7.3).
7. Op dwarskracht hoeft niet getoetst te worden. Door de grote dikte van de onderwaterbetonvloer zal dwarskracht nooit maatgevend zijn (art.8.2.1 toelichting).





### **4.5.5 Materiaaleigenschappen**

Volgens hoofdstuk 6 moet de betondruksterkte, betontreksterkte en de elasticiteitsmodulus ontleend zijn aan NEN 6720.





### 4.5.6 Belastingen

De belastingen, zoals vermeld in art. 4.1.4, zijn:

1. Eigen gewicht (bg 1). Rekenen met  $H_{gem}$ ;
2. Opwaartse waterdruk (bg 2);
3. Horizontale stempeldruk (bg 3);
4. Opwaartse zwelbelasting (bg 4).

Belastingcombinatie

- Uiterste grenstoestand  
 $0,9 \text{ bg1} + 1,2 \text{ bg2} + 0,9 \text{ bg3} + 1,2 \text{ bg4}$
- Bruikbaarheidsgrenstoestand (art. 4.2.4)  
 $1,0 \text{ bg1} + 1,0 \text{ bg2} + 1,0 \text{ bg3} + 1,0 \text{ bg4}$





#### 4.5.7 Schematisering en toetsing

Stroomschema toetsing

De toets op de verbinding tussen de funderingselementen en de vloer, zoals beschreven in hoofdstuk 9, is hier buiten beschouwing gelaten.

<i>Te maken met par. 5.2 Uitzonderingen nr. 2</i>	<i>Nee</i>	<i>Waterdichtheideis</i>	<i>Nee</i>	<i>Te maken met par. 5.2 Uitzonderingen nr. 3</i>	<i>Nee</i>	<i>Voldoen aan art. 8.1, 8.2.1**.</i>
<i>Ja</i>		<i>Ja</i>		<i>Ja</i>		
<i>Voor beide richtingen voldoen aan art. 8.1.</i>		<i>Voldoen aan art. 8.1*, 8.2.1**, 8.2.2***</i>		<i>Voldoen aan art. 8.2.1** voor beide richtingen.</i>		

\*: Wanneer je te maken hebt met par. 5.2 'Uitzonderingen' nr. 3 dan vervalt de toets op art. 8.1.

\*\* : Aan art. 8.2.1 wordt voldaan wanneer minimaal aan één van de twee bezwijkmechanismen wordt voldaan.

\*\*\*: Bij art. 8.2.2 moet minimaal aan één van de twee eisen voldaan worden; d.w.z. aan de spanningseis of aan de drukzonehoogte eis. De drukzonehoogte mag bepaald zijn volgens art. 7.4.2 of art. 7.5. Bij gebruik van art. 7.5 moet bij een even aantal velden de scheuren worden aangenomen in het veldmidden van de velden gelegen direct naast het middelste steunpunt. Bij een oneven aantal velden moet de scheur worden aangenomen in het veldmidden van het middelste veld. Wanneer je te maken hebt met par. 5.2 'Uitzonderingen' nr. 1 dan de scheur aannemen t.p.v. de stijvere trekelementen/middenwand.

##### 4.5.7.1 Schematisering en toetsing korte richting

###### Bruikbaarheidsgrenstoestand

Alleen hierop toetsen wanneer dit van belang is (art. 4.2.1: toelichting en 8.2.2: eerste toelichting).

Schematiseren volgens art. 7.4.2, toetsen volgens art. 8.2.2.

Wanneer geldt  $\sigma_b \leq f_b$  alles akkoord.

Wanneer geldt  $\sigma_b > f_b$  twee mogelijkheden:

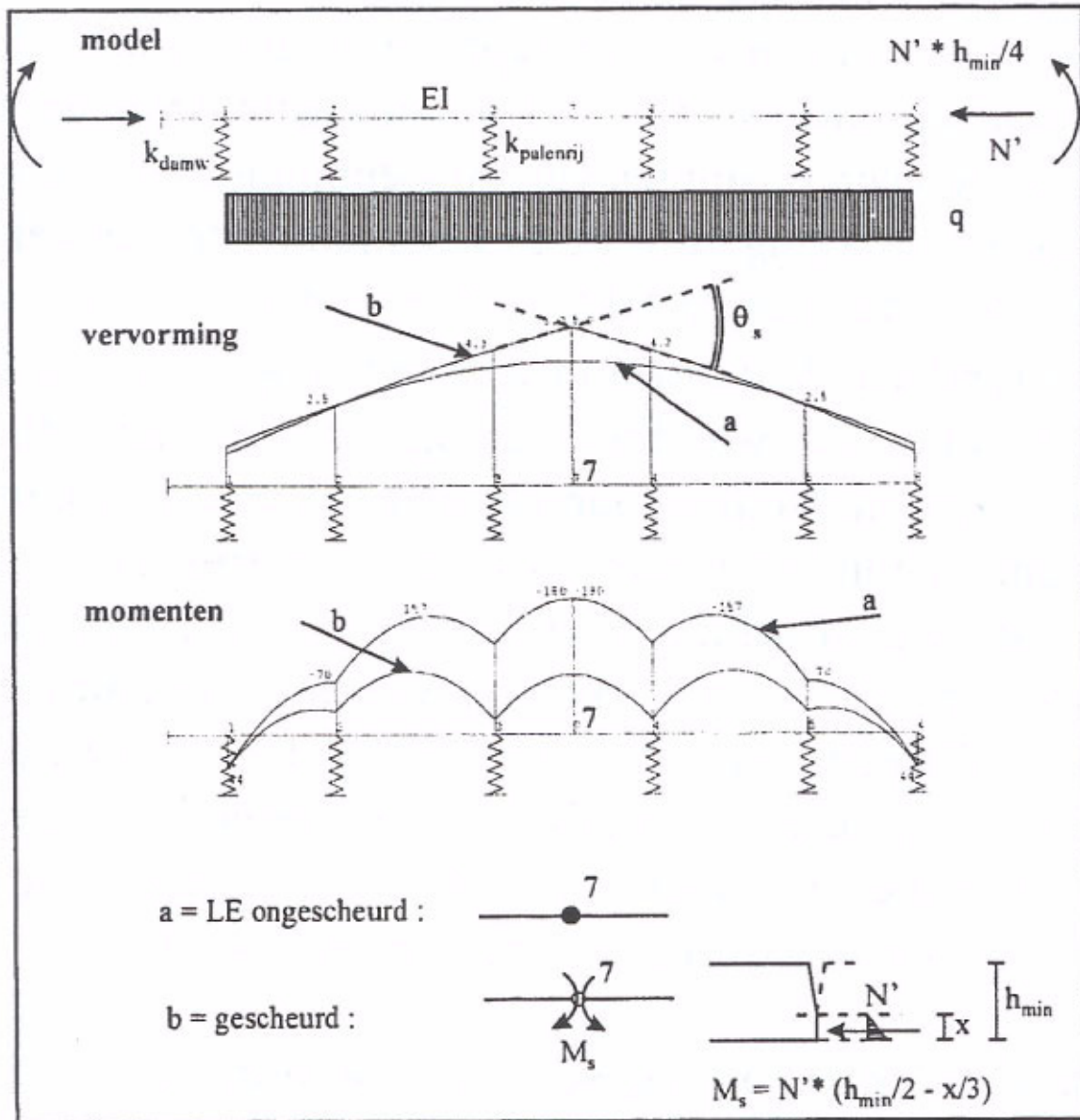
- toetsen op betondrukzonehoogte volgens art 8.2.2.
- schematiseren volgens art. 7.5 en toetsen volgens bijlage A1 t/m A3.

###### Uiterste grenstoestand

Onderscheiden worden de bezwijkmechanismen A en B. Het mechanisme A gaat uit van buiging en mechanisme B gaat uit van boogwerking (art 4.1.3).

Schematiseren volgens art. 7.4.4, toetsen volgens art. 8.2.1. Er hoeft maar aan een van de twee toetsen voldaan te worden (art. 4.1.3). Bij mechanisme B hoeft het randveld bij de damwand niet getoetst te worden omdat hier het moment van teken wisselt (art. 8.2.1 en toelichting).





Afbeelding 4.5.1, Schematisering volgens art. 7.4.2, 7.4.4 en 7.5.

#### 4.5.7.2 Toetsing lange richting

##### Bruikbaarheidsgrenstoestand

In de lange richting zal bij scheurvorming gelijk watervoering optreden als gevolg van het ontbreken van normaalkracht (art. 4.2.3 en art. 7.4.1 2e toelichting). Het optredende moment bedraagt  $1/12 \times q \times L^2$ . Getoetst wordt echter op  $1/8 \times q \times L^2$  dit om krimp- en temperatureffecten te verdisconteren. Mocht er toch een scheur optreden dan is altijd evenwicht mogelijk (art. 7.4.1 en 1e toelichting). Over de waterdichtheid in langsrichting wordt voor het overige weinig gezegd alleen art. 8.1 1e toelichting gaat nog in op het dilateren van de onderwaterbetonvloer.



**Uiterste grenstoestand**

De bezwijkveiligheid wordt in de lange richting niet getoetst, dit is toegestaan omdat er veel reserve aanwezig is i.v.m. membraanwerking (art. 4.1.1 toelichting).





### **4.5.8 Bouwfasering**

Aandachtspunt: Het droogzetten van naastgelegen bouwkuip (art. 7.3)





### **4.5.9      Detaillering**

1. Verbinding van damwand met onderwaterbetonvloer (art. 9.1).  
Een wrijvingscoëfficiënt van 0,3 is een ondergrens. Andere facetten die hier een rol spelen zijn het 'vastwig-effect' en slibinsluiting (art. 9.1 toelichting).  
Bij diepwanden behoeft dit onderdeel speciale aandacht door het mogelijk ontbreken van het 'vastwig-effect' en de aanwezigheid van slibinsluiting (art. 9.1 toelichting).
2. Verbinding van betonpaal met onderwaterbetonvloer (art. 9.2).
3. Verbinding van stalen paal met onderwaterbetonvloer (art. 9.3).
4. Verbinding van trekanker met onderwaterbetonvloer (art. 9.4).





## **Inhoudsopgave Koelen van Beton**

- 4.6.1 Algemeen
- 4.6.2 Beschrijving mechanisme
  - 4.6.2.1 Belangrijke factoren ivm spanningsontwikkeling
  - 4.6.2.2 Mogelijke maatregelen
- 4.6.3 Koelmethoden
  - 4.6.3.1 ad a.
  - 4.6.3.2 ad b.
  - 4.6.3.3 ad c.
- 4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen
  - 4.6.4.1 Omgevingscondities
  - 4.6.4.2 Materiaaleigenschappen
- 4.6.5 Te stellen eisen
- 4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen
  - 4.6.6.1 Te leveren gegevens
  - 4.6.6.2 Controles
  - 4.6.6.3 Overige aspecten





---

Rekenmethodieken



## **4.6 KOELEN VAN BETON**

### **4.6.1 Algemeen**

Een 'klassiek' probleem bij civiele constructies is het optreden van doorgaande watervoerende scheuren als gevolg van verhinderde vervormingen ontstaan tijdens het verhardingsproces. Het uitvoeren van verhardingssimulaties is echter complex en voorbehouden aan specialisten welke beschikken over specialistische computerapparatuur. Wel is het handig inzicht te hebben in de materie om de specialist te kunnen volgen voor de praktische uitvoering. Voor meer achtergronden van de scheurvorming van jong beton wordt verwezen naar AGTO. Dit hoofdstuk gaat in op de parameters die van belang zijn voor de berekeningen en de mogelijke maatregelen in de vorm van het koelen van beton.





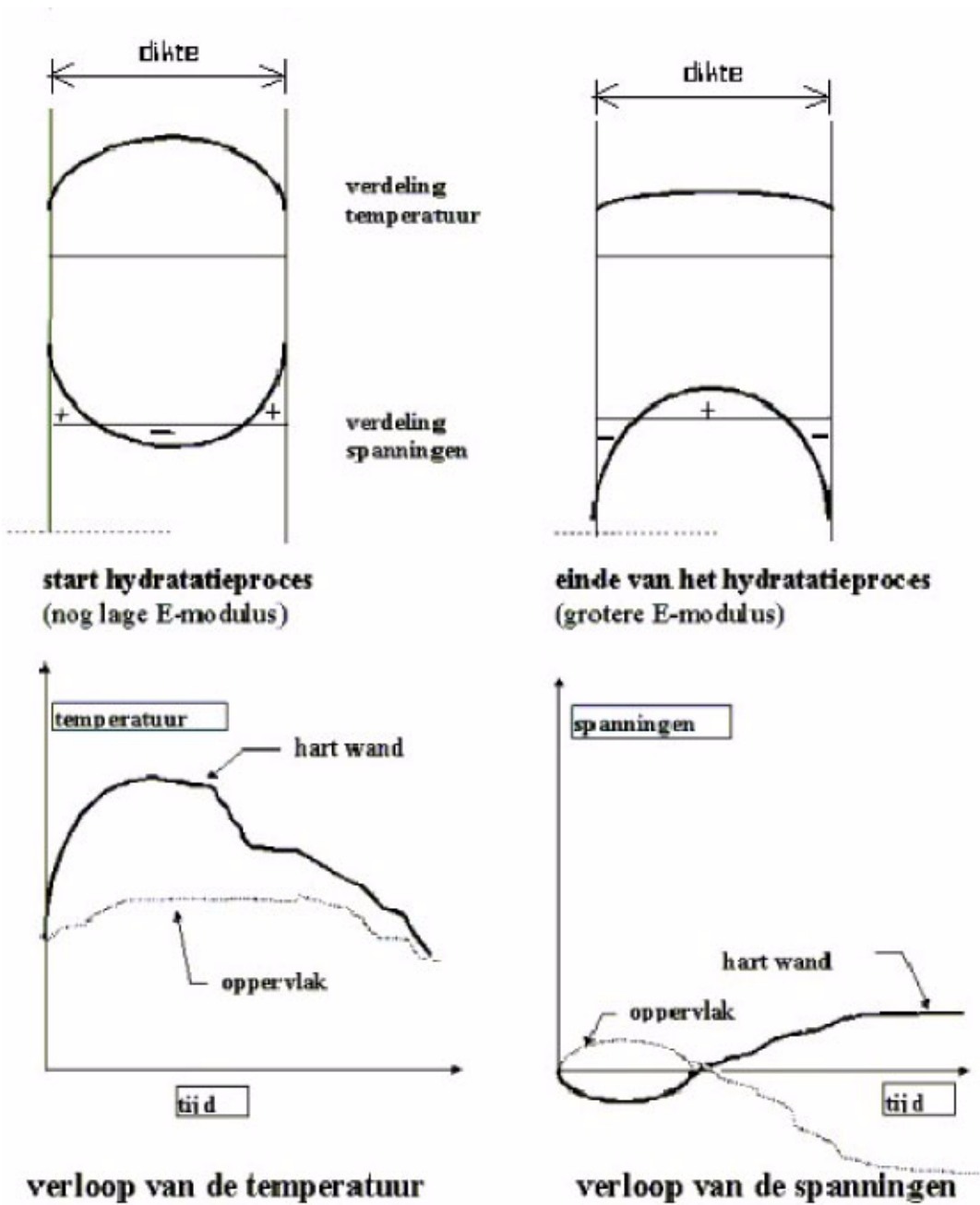
#### **4.6.2 Beschrijving mechanisme**

Het verhardening van beton is het gevolg van een chemisch-fysische reactie van cement en water. Hierbij komt warmte vrij. Door de vrijkomende warmte zal het beton in het begin in temperatuur stijgen en zal na het bereiken van de maximum temperatuurpiek de beton weer afkoelen. Tijdens het afkoelen bezit beton een grotere stijfheid dan in het opwarm-traject, waardoor in het opwarmtraject de optredende (druk)spanningen van beperkte grootte blijven, terwijl in het afkoeltraject de (trek)spanningen relatief groot kunnen worden; met scheurvorming tot gevolg. De scheurvorming ontstaat doordat de vervormingen in eniger mate verhinderd worden.

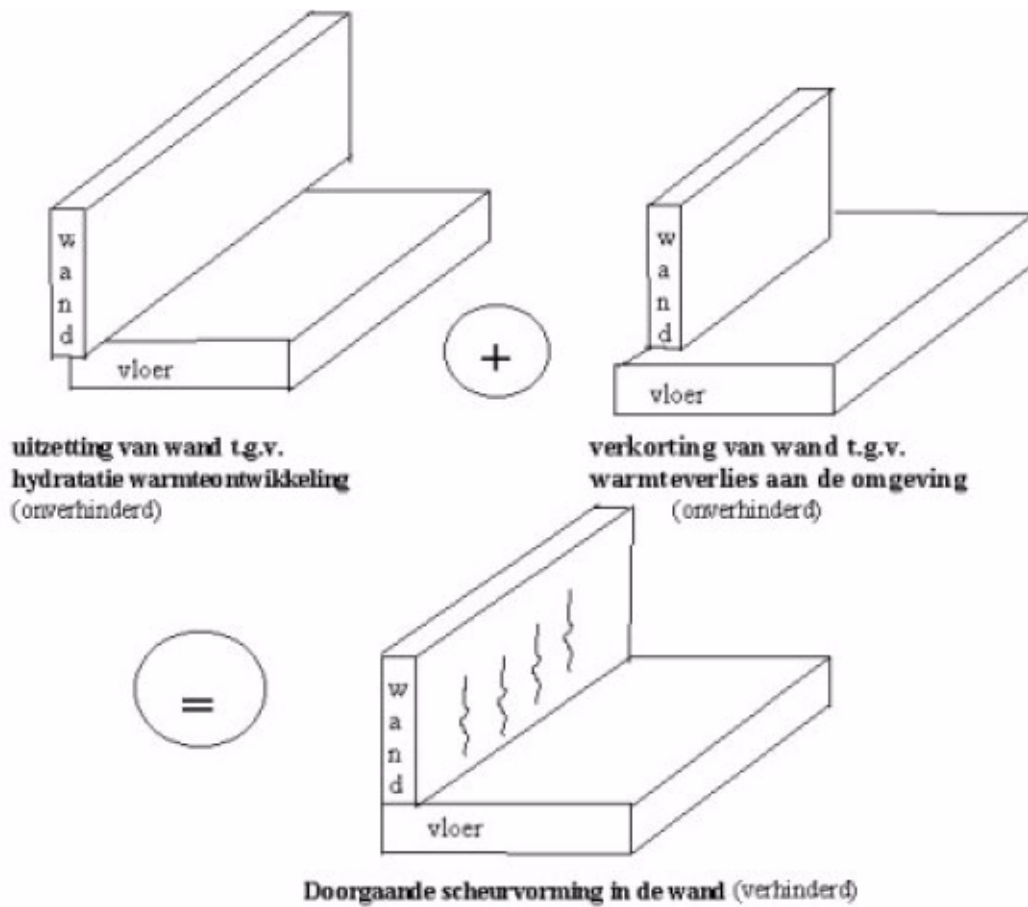
De verhindering van de vervormingen als gevolg van het hydratatieproces kan globaal twee oorzaken hebben:

inwendige verhindering (zie Afbeelding 4.6.1);

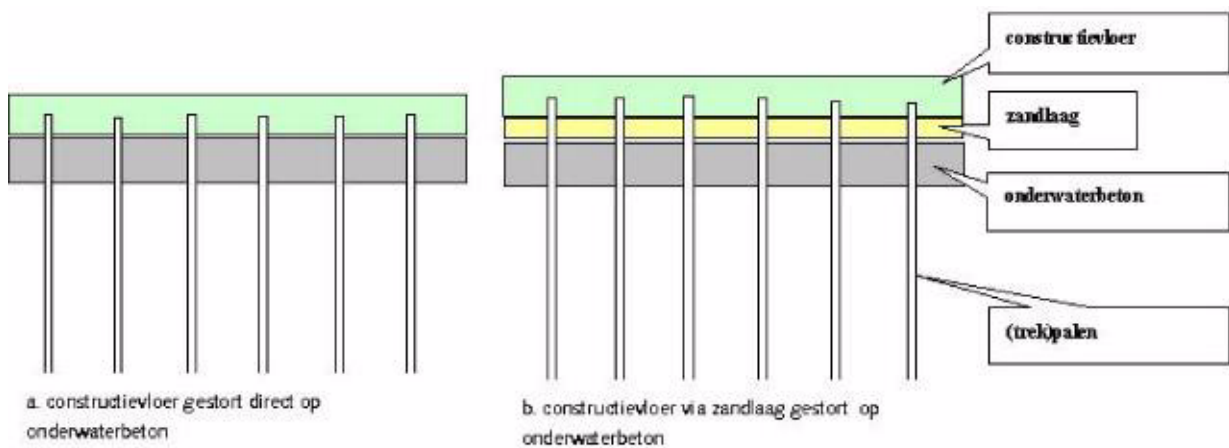
uitwendige verhindering (zie Afbeelding 4.6.2 en Afbeelding 4.6.3).



Afbeelding 4.6.1, Principe van inwendige verhinderdng van hydratatievormingen



Afbeelding 4.6.2, Principe van uitwendige verhoging van hydratatievervormingen



Afbeelding 4.6.3, Principe constructievloer op onderwaterbetonvloer

Bij inwendige verhoging ontstaan geen doorgaande scheuren; de scheuren hebben een oppervlakkig karakter. De nadelige effecten beperken zich hierbij grotendeels tot de duurzaamheid van de constructie (corrosie van de wapening).



Uitwendige verhindering treed vaak op als vers beton op reeds verhard beton wordt gestort. De mate van verhindering is afhankelijk van de stijfheidsverhouding van het verhardende beton en het reeds verharde beton. Scheuren ontstaan als gevolg van uitwendige verhindering hebben vrijwel altijd het karakter van doorgaande scheurvorming en bedreigen daardoor de vereiste waterdichtheid.

#### **4.6.2.1 Belangrijke factoren ivm spanningsontwikkeling**

Factoren die bij het kwantificeren van de spanningontwikkeling en kans op scheurvorming in jong beton een rol spelen zijn:

1. het temperatuursverloop als functie van de plaats en tijd;
2. de ontwikkeling van thermische eigenschappen
3. de ontwikkeling van mechanische eigenschappen
4. rheologische eigenschappen (kruip en relaxatie)
5. mechanische randvoorwaarden
6. de aanwezigheid van kunstmatige koeling

Het temperatuurverloop in de constructie is afhankelijk van:

- a. de adiabaat van het betreffende betonmengsel,
- b. de temperatuur van het mengsel bij aanvang van de stort,
- c. de buitentemperatuur,
- d. het verloop van de buitentemperatuur,
- e. windsnelheid.
- f. dikte van het constructiedeel,
- g. isolerend vermogen van de bekisting,
- h. al of niet aanwezigheid van kunstmatige koeling.

De mechanische eigenschappen zijn afhankelijk van de voortgang van het hydratatie-proces. De ontwikkeling van de mechanische eigenschappen is daarmee een functie van de tijd en van het temperatuurverloop in de tijd.

#### **4.6.2.2 Mogelijke maatregelen**

Uitgangspunt voor waterkerende constructies is dat in principe geen doorgaande scheurvorming als gevolg van het hydratatieproces toelaatbaar is. Het ontwerp dient zo te zijn dat daaraan voldaan wordt.

- Vaak zal het noodzakelijk zijn de betonconstructie kunstmatig te koelen teneinde de kans op doorgaande scheurvorming voldoende klein te doen zijn.
- In het ontwerp al rekening houden met self-healing of het dichtslibben van scheuren is niet acceptabel
- Het injecteren van scheuren moet niet als standaard oplossing in het ontwerp worden aangehouden; het moet een noodmaatregel blijven
- Door het toepassen van relatief zeer veel extra wapening kan de breedte van optredende scheurvorming beperkt worden. Hoewel de breedte van scheuren beperkt wordt, ontstaan er wel vele extra scheuren. Ook een kleine scheur kan, afhankelijk van de waterdruk, in een niet te accepteren mate watervoerend zijn.



- Door geschikte keuze van het betonmengsel kan ook bijgedragen worden aan het verminderen van de kans om scheurvorming. Door niet veel meer cement te gebruiken dan de voorschriften als minimum voorschrijven wordt de hoeveelheid vrijkomende hydratatiewarmte beperkt. Ook de keuze van het type cement is in deze van belang; hoogovencement heeft vanwege de langzamere warmteontwikkeling in dit verband sterk de voorkeur boven het gebruik van portlandcement.

Uit het bovenstaande volgt dat zodanige maatregelen getroffen moeten worden dat het (trek)spanningsniveau, als gevolg van het hydratatieproces, voldoende laag blijft opdat de kans op doorgaande scheurvorming voldoende laag is.







### 4.6.3 Koelmethoden

Om te voorkomen dat de temperatuur te hoog oploopt kan een betonconstructie op verschillende manieren worden gekoeld. Te denken valt aan:

- a. het aanbrengen van koelbuizen in de constructie;
- b. toepassen van een gekoelde stalen bekisting (koelkist);
- c. koelen van de betonspecie met behulp van bv. vloeibare stikstof of ijsschilvers.

#### 4.6.3.1 ad a.

Door een voldoende aantal koelbuizen in de constructie op te nemen kan voldoende hydratatiewarmte worden afgevoerd opdat het gemiddelde spanningsniveau voldoende laag blijft, zodat doorgaande scheurvorming wordt voorkomen.

Over de te koelen betondoorsnede moeten de koelbuizen goed verdeeld worden teneinde er voor te zorgen dat het te koelen gebied voldoende bestreken wordt. Dit omdat het invloedsgebied van een enkele koelbuis beperkt is.

Door het koelwaterdebiet te variëren kan het koelvermogen geregeld worden.

#### 4.6.3.2 ad b.

Door een stalen kist te koelen kan warmte aan de betonconstructie worden onttrokken. Een beperking van zo'n koelsysteem is dat de plaats van de koeling gefixeerd is, met als gevolg dat de dikte van het te koelen constructiedeel begrensd is op ca. 1,0 m. Het voordeel van de koelkist is dat de koeling over een groot oppervlak plaats vindt, waardoor de koeling redelijk homogeen is vergeleken met de puntvormige warmteonttrekking van een koelbuizensysteem.

#### 4.6.3.3 ad c.

Door het toevoegen van vloeibare stikstof of ijsschilvers wordt de storttemperatuur verlaagd, waardoor het hydratatieproces langzamer zal verlopen. Hierdoor is meer tijd aanwezig voor het weglekken naar de omgeving van de hydratatiewarmte, waardoor de gemiddelde temperatuurstijging geringer zal zijn.

Een nadeel van dit type koeling is dat niet gereageerd kan worden als de temperaturen in de constructie toch te hoog oplopen; het is een passief systeem. Dit in tegenstelling tot de methoden genoemd onder de punten a. en b., welke actieve systemen zijn.

Bij het inspuiten van vloeibare stikstof in de truckmixer is het gevaar van bevriezing van de betonspecie aanwezig.

Bij het gebruik van ijsschilvers is het gevaar aanwezig dat losse schilvers ijs nog niet goed gesmolten zijn op het moment dat het beton wordt gestort; hierdoor kunnen holten in de beton ontstaan. Verder moet natuurlijk de hoeveelheid water in de ijsschilvers worden verdisconteerd in de water-cementfactor; dus minder aanmaakwater.





#### **4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen**

Onderstaand worden algemene aanbevelingen gedaan waar de Bouwdienst onder normale omstandigheden van uit gaat. Specifieke omstandigheden kunnen het nodig maken af te wijken van de hier gegeven randvoorwaarden. Er dient een controle plaats te vinden of de aangenomen adiabaat in de berekening overeenkomt met het toegepaste adiabaat bij de uitvoering.

##### **4.6.4.1 Omgevingscondities**

De weersomstandigheden tijdens het verhardingsproces zijn niet op voorhand precies te voorspellen. Daarom wordt voor de berekening uitgegaan van drie scenario's: winter, herfst/lente en zomer. Uitgaande van een sinusvormig verloop van de buitentemperatuur over een etmaal, moeten de waarden zoals aangegeven in de ROBK worden aangehouden.

Voor de windsnelheid wordt verwezen naar de ROBK.

Voor een plotselinge temperatuursdaling wordt verwezen naar de ROBK.

##### **4.6.4.2 Materiaaleigenschappen**

Voor de materiaaleigenschappen wordt verwezen naar de ROBK.





#### **4.6.5 Te stellen eisen**

Voor de maximaal toelaatbare trekspanning wordt verwezen naar de ROBK; In de praktijk worden soms verschillende temperatuurcriteria in de vorm van vuistregels gehanteerd om scheurvorming te voorkomen. Bij belangrijke waterkerende constructies zijn deze vuistregels te globaal; alleen een complete berekening voldoet voor deze gevallen.





## 4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen

### 4.6.6.1 Te leveren gegevens

Uit de temperatuur- en spanningsberekeningen moet volgen of al dan niet kunstmatige koeling noodzakelijk is. Als kunstmatige koeling d.m.v. koelbuizen noodzakelijk blijkt te zijn, moet aan de hand van de berekeningsresultaten o.a. de volgende aspecten in het berekeningsrapport c.q. koelplan worden opgenomen:

1. het materiaal van de koelbuizen, uitwendige diameter en de wanddikte van de koelbuizen,
2. het aantal en de plaats van de benodigde koelbuizen,
3. de inlaattemperatuur van het koelwater,
4. het verloop van de koelbuizen in langsrichting,
5. de plaats van de aan te brengen thermokoppels in de constructie,
6. de maximaal benodigde koelcapaciteit [kW],
7. het benodigde koelwaterdebiet als functie van de tijd volgens de simulatieberekeningen.
8. Aangeven aan welke temperatuurcriteria (te meten m.b.v. de thermokoppels) het koelproces moet voldoen.
9. Aangeven bij welke temperatuurcriteria de koeling gestopt kan/moet worden.

#### ad 1.

Meestal worden stalen koelbuizen toegepast (buitendiameter bv. 28 mm, wanddikte 1,5 mm). In principe zijn ook kunststof buizen mogelijk; de effectiviteit is echter slechter dan bij het gebruik van stalen buizen, vanwege de veel slechtere warmtegeleiding.

#### ad 3.

Om een koelsysteem goed te laten functioneren moet de temperatuur van het koelwater ca. 10°C zijn ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Om dit te realiseren kan koelequipment worden toegepast. Indien op een werk bemalingwater beschikbaar is, kan dit ook voldoen.

#### ad 4.

Aangegeven moet worden waar de in- en uitstroomopeningen van het koelwater liggen. Verder moet worden aangegeven hoeveel koelgroepen aanwezig zijn en welke buizen tot welke groep behoren.

#### ad 5.

Om te controleren of het uit de verhardingssimulatie volgende temperatuursverloop overeenkomt met de praktijk, moeten thermokoppels in de constructie worden aangebracht. Aan de hand van de temperatuurmetingen moet zodig het koeldebiet bijgestuurd worden. Het ligt voor de hand de in- en uitlaattemperatuur van het koelwater te meten.

#### ad 7.

Het eenvoudigste qua uitvoering is het aanhouden van een constant koelwaterdebiet gedurende een bepaalde tijd. Men kan echter ook meer verfijnd koelen door het koelwater-debiet aan te passen aan de hoeveelheid vrijkomende hydratatiewarmte. Deze laatste methode is in principe beter, doch vereist meer vakmanschap en wordt daarom tegenwoordig niet vaak meer gehanteerd.

#### ad 8.

Verschillende typen criteria kunnen worden gehanteerd:





- a. limitering van het temperatuurverschil van het gekoelde beton en reeds verhard beton  $\Delta T_{\text{gekoeld}}$ .
- b. limitering van het temperatuurverschil tussen de uit- en inlaattemperatuur van het koelwater per tijdseenheid. De formulering wordt dan: het koelwaterdebiet verhogen met maximaal  $x \text{ m}^3/\text{uur}$  als het verschil tussen uitgaande en ingaande koelwatertemperatuur groter wordt van  $y \text{ }^\circ\text{C}/\text{uur}$ .

De methode a legt het meest directe verband met de kans op scheurvorming en heeft dan ook de voorkeur.

#### 4.6.6.2 Controles

- Voorafgaand aan de stort dient het koelsysteem te worden gecontroleerd op lekkage, door middel van het afpersen van de koelbuizen. Uit de simulatieberekeningen volgt welk maximaal koelwaterdebiet verwacht wordt en wat de bijbehorende maximale werkdruk in het systeem zal zijn. De afpersdruk dient minimaal het dubbele te zijn ten opzichte van de maximaal verwachte werkdruk.
- De thermokoppels ijken met behulp van ijswater of door gebruik te maken van een geijkte rijpheidcomputer. Bij het ijken dienen de thermokoppels reeds voorzien te zijn van het aantal meters draad zoals in werkelijkheid wordt toegepast.
- Voorafgaand aan de stort dienen de signalen van de afzonderlijke thermokoppels en debietmeters gecontroleerd te worden.
- Voorafgaand aan de stort dient de specietemperatuur bekend te zijn en de temperatuur van het koelwater gecontroleerd te zijn.

#### 4.6.6.3 Overige aspecten

- Het moment waarop de koeling wordt gestart is afhankelijk van de aanvangstemperatuur van de specie:
  - a. Indien de specietemperatuur, bij aankomst op het werk, hoger is dan de inlaattemperatuur van het koelwater, moet de koeling direct na de betonstort een aanvang nemen.
  - b. Indien de specietemperatuur kleiner of gelijk is aan de inlaattemperatuur van het koelwater, dient de koeling te starten op het moment dat de betontemperatuur de inlaattemperatuur heeft bereikt.
- Na gebruik van de koelbuizen dienen deze met grout geïnjecteerd te worden om corrosie en lekwegen te voorkomen.



---

Rekenmethodieken

## **Inhoudsopgave Dimensioneren Doorsnede Tunnelement**

4.7.1 In ontwikkeling



---

Rekenmethodieken



## **4.7 DIMENSIONEREN DOORSNEDE TUNNELEMENT**

### **4.7.1 In ontwikkeling**





---

Rekenmethodieken

## **Inhoudsopgave Langvoorspanning Afzinkelement**

4.8.1 In ontwikkeling



---

Rekenmethodieken



## **4.8 LANGSVOORSPANNING AFZINKELEMENT**

### **4.8.1 In ontwikkeling**







---

Rekenmethodieken

## **Inhoudsopgave Funderen Tunnelement**

4.9.1 In ontwikkeling



---

Rekenmethodieken



## **4.9 FUNDEREN TUNNELEMENT**

### **4.9.1 In ontwikkeling**





## Inhoudsopgave Dilatatievoegen

- 5.1.1 Inleiding
- 5.1.2 Tunnelementen
  - 5.1.2.1 Vloer verkeerskoker tunnelementen
  - 5.1.2.2 Vloer middenkanaal
  - 5.1.2.3 Middenwand
  - 5.1.2.4 Buitenwand
  - 5.1.2.5 Dak verkeerskoker
  - 5.1.2.6 Dak middenkanaal
  - 5.1.2.7 Aansluiting middenwand/vloer
  - 5.1.2.8 Aansluiting buitenwand/vloer
  - 5.1.2.9 Stepbarrier
  - 5.1.2.10 Achtergronden
- 5.1.3 Overgangsgedeelte
  - 5.1.3.1 Vloer verkeerskoker
  - 5.1.3.2 Vloer middenkanaal
  - 5.1.3.3 Middenwand
  - 5.1.3.4 Buitenwand
  - 5.1.3.5 Dak verkeerskoker
  - 5.1.3.6 Dak middenkanaal
  - 5.1.3.7 Aansluiting middenwand/vloer
  - 5.1.3.8 Aansluiting buitenwand/vloer
  - 5.1.3.9 Stepbarrier
  - 5.1.3.10 Achtergronden
- 5.1.4 Toerit
  - 5.1.4.1 Vloer rijbaan
  - 5.1.4.2 Vloer kabelkoker
  - 5.1.4.3 Middenwand
  - 5.1.4.4 Buitenwand
  - 5.1.4.5 Aansluiting buitenwand/vloer
  - 5.1.4.6 Buitenwand stepbarrier
  - 5.1.4.7 Middenberm stepbarrier
  - 5.1.4.8 Achtergronden
- 5.1.5 Bijbehorende details
  - 5.1.5.1 Overgang constructiebeton/asfalt
  - 5.1.5.2 Overgang ballastbeton/asfalt
  - 5.1.5.3 Overgang ballastbeton/constructiebeton
  - 5.1.5.4 Onderkant vloer
  - 5.1.5.5 Voegprofiel
  - 5.1.5.6 Tegelwerk
  - 5.1.5.7 Hittewerende bekleding
  - 5.1.5.8 Rubbermetalen voegstrook
  - 5.1.5.9 Leidingen
  - 5.1.5.10 Achtergronden



---

Tunneldetails



## **5.1 DILATATIEVOEGEN**

### **5.1.1 Inleiding**

Dit hoofdstuk heeft betrekking op dilatatievoegen zoals die voorkomen in tunnels. De dilatatievoegen hebben in het algemeen betrekking op verkeerstunnels die geschikt dienen te zijn voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit betekent dat de tunnel een categorie I tunnel is.

Daar waar gesproken wordt over tunnels, kan afhankelijk van het detail, worden gelezen: tunnels, aquaducten en onderdoorgangen.

De achtergronden van de in dit hoofdstuk opgenomen details zijn per onderdeel beschreven.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

- definitief: januari 1993
- 1e herziening: februari 1997
- 2e herziening: december 2000
- 3e herziening: januari 2005







## 5.1.2 Tunnelementen

### Probleemstelling

a. Temperatuur veranderingen veroorzaken het langer of korter worden van beton. Indien het langer of korter worden wordt belemmerd, ontstaan druk- respectievelijk trekspanningen in het beton. De drukspanning die ontstaat door belemmerde verlenging, kan door het beton in het algemeen gemakkelijk worden opgenomen. Bovendien worden kleine scheuren door de drukspanning dichtgedrukt.

Daar echter beton een beperkte treksterkte heeft, wordt deze al gauw door de trekspanning, als gevolg van de belemmerde verkorting, overschreden, waardoor scheuren in het beton ontstaan. Door de waterdruk rondom de tunnel kan lekkage door deze scheuren ontstaan. Behalve dat lekkage ongemak voor de gebruikers veroorzaakt, kan de wapening op den duur ook worden aangetast en de constructie worden beschadigd. Water dat op het wegdek komt geeft gevaar voor het auto- en motorverkeer en in de winter kan door bevriezing schade aan de constructie ontstaan.

b. Bij ongelijkmatige zettingen ontstaan spanningen in de constructies. In lange constructies kunnen grote trekspanningen en dus ook scheuren ontstaan die watervoerend kunnen zijn. De grootte van de trekspanningen kunnen worden beperkt door de lengte van de constructie te beperken. Betonmoten in de tunnelbouw hebben een lengte van ongeveer 20 m. Bij deze lengte levert dit geen scheuren op in de vloer en is de betonstort nog in één dag te storten, ( $\pm 1000\text{m}^3$ ) waarbij een wanden en dakstort (in één keer te storten) maatgevend is.

Een stortnaad werkt in sommige gevallen als een scheur en is vaak niet waterdicht. Een horizontale stortnaad tussen vloer en wand vormt in het algemeen geen probleem voor lekkage omdat het gewicht van de vers gestorte beton op de voeg drukt. Is het gewicht van de verse beton te gering, bijvoorbeeld ter plaatse van een stortnaad tussen het dak en de buitenwand, dan moet een stortnaad worden vermeden.

Als een verticale stortnaad in de constructie is gepland is dit alleen ter plaatse van de toeritten, bijv. bij waterkeldervloeren. Hier dient de stortnaad afwerking gelijk te zijn aan de horizontale stortnaad afwerking.

### Doelstelling

*Wat wordt met een dilatatievoeg beoogd:*

- Voorkomen van grote spanningen in het beton.
- Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel en / of tussen twee aanliggende moten.
- Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v temperatuursinvloeden.
- om waterdichtheid te garanderen.

### Oplossingen

Het primaire doel is het garanderen van een waterdichte tunnel. De waterdichtheid van de tunnel kan op verschillende manieren worden bereikt:

- Een waterdichte bekleding.



In het verleden werden de tunnels aan de buitenzijde voorzien van een waterdichte bekleding. De tunnel werd als een caisson beschouwd en de wapening werd door de stortnaden heen gevoerd. Door grote trekspanningen ontstonden weliswaar scheuren in het beton maar door de waterdichte bekleding treedt er in principe geen lekkage op<sup>1</sup>.

De eerste tunnel, de Maastunnel (1937-1942), werd voorzien een waterdichte bekleding die bestond uit een 6 mm dikke staalplaat. Dergelijke bekleding wordt elders in de wereld (vooral USA) nu nog steeds toegepast. Daar een stalen bekleding duur is, heeft men destijds in Nederland het staal, tegen de wanden en op het dak, vervangen door drie lagen gewapend bitumen. Daar deze soort bekleding zeer kwetsbaar is, kreeg deze extra bescherming. De bekleding tegen de wand werd beschermd door 0,10 m dikke prefab betonplaten die door middel van ankers tegen de wand werden bevestigd. Op het dak werd op de bekleding een 0,10 m dikke laag beton gestort. Een nadeel van bitumenbekleding is dat deze verouderd, daardoor verhardt en bros wordt en door temperatuursinvloeden gaat scheuren.

b. Een (waterdichte) dilatatievoeg.

Om de grootte van de spanningen te beperken, werd de tunnel in korte stortlengten, bekend als stortmoten, verdeeld en werd de wapening niet door de stortnaden heen gevoerd. Hierdoor ontstond een voeg tussen de stortmotten, de dilatatievoeg. Daar de voegen geen water mogen doorlaten werden de voegen voorzien van een rubberen voegstrook. De dilatatievoegen zijn bij het instorten van deze voegstroken, door de hoge waterdruk, niet altijd waterdicht en daarom werden de tunnels alsnog voorzien van een waterdichte bekleding die over de voegen heen werden aangebracht.

Later werd de bekleding ter plaatse van de voegen onderbroken en de voegen voorzien van rubbermetalen voegstroken. Het rubber moet de bewegingen in de voeg kunnen volgen terwijl het metaal voor de aanhechting met het beton moest zorgen.

---

1. De Heinenoordtunnel en ook het aquaduct Ringvaar hebben een bekleding. Hier hebben we toch te maken met lekkages.



Daar het niet gegarandeerd was dat door bewegingen van de tunnel de voeg niet zou gaan lekken, werd in de wand en het dak aan de buitenzijde van de voeg een tweede dichting, bestaande uit stalen hoekprofielen met daartussen een polyurethaan vulling, aangebracht. Omdat een dergelijke voeg niet onder de vloer kan worden aangebracht werd de stalen bekleding onder de vloer gehandhaafd die tevens als een vloerbekisting diende. Bij de bouw van de Kiltunnel (1973-1977) werd om economische redenen de stalen vloerbekisting vervangen door een houten vloerbekisting. Aan de onderzijde van de vloer kon de tweede voegdichting, van polyurethaan, niet worden aangebracht. Daarvoor werd als tweede voegdichting de verzinkte stalen strip geïntroduceerd. In het bouwdok kon men echter al vaak zien dat het polyurethaan niet aan de stalen hoekprofielen hecht waardoor de tweede dichting geen dichting bleek te zijn. Voor deze tweede dichting werden allerlei kunststof profielen ontwikkeld zoals bijvoorbeeld het Dubbeldam-profiel welke is toegepast bij de Margrietunnel (1972-1977). Het idee van de dubbele dichting werd later tijdens de bouw van de Hemspoor tunnel (1976-1980) tot één dichting geïntegreerd in de vorm van de injecteerbare rubbermetalen voegstrook, de W9UI.

c. Koelen van het beton tijdens de stort.

Met een waterdichte voeg zijn wij er nog niet. In de wanden, welke door middel van een stortnaad op de reeds verharde vloer werden gestort, ontstaan nog steeds scheuren waardoor bekleding nog steeds noodzakelijk was.

Oorspronkelijk is hier in de voeg wand/vloer in de tand de stalen stortnaadplaat toegepast (t/m de Hemspoor tunnel in 1976.)

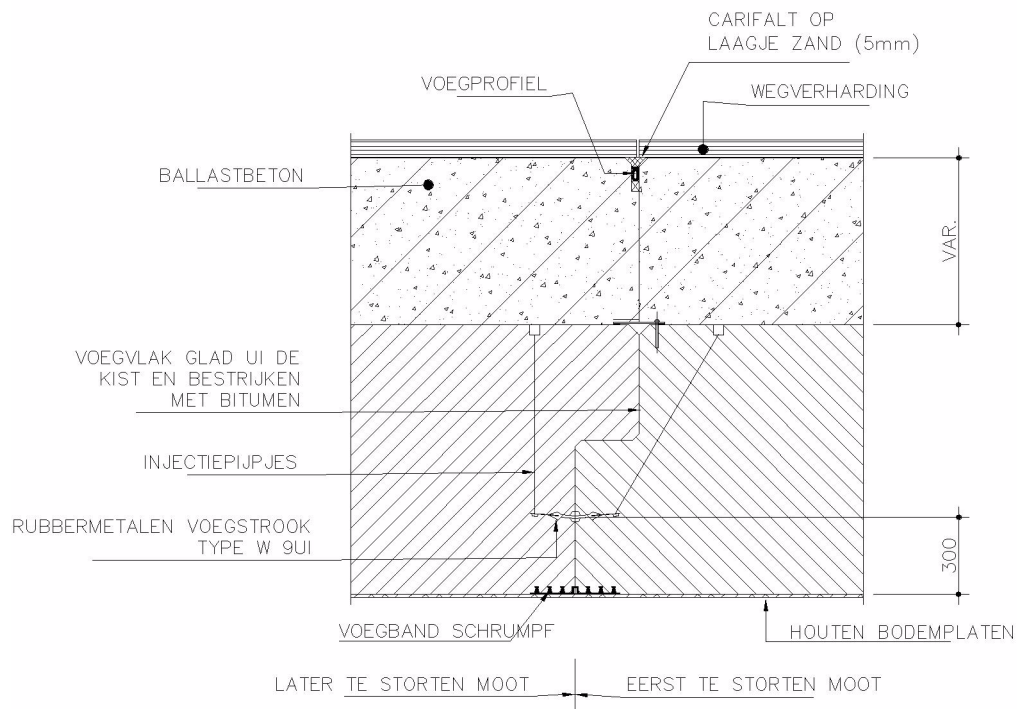
Bij de bouw van de Vlaketunnel (1972-1975) werd voor het eerst

geëxperimenteerd met het koelen van de buitenwanden<sup>1</sup>. Daaruit bleek dat het mogelijk was om waterdicht beton te maken waardoor de bekleding achterwege kon worden gelaten.

De koeling vertraagt het verhardingsproces en verkleint daarbij de verschillen tussen de reeds verharde (koude ) beton en de vers gestorte beton. Koeling kan plaatsvinden door koelbuizen op te nemen in de constructie of een koelkast toe te passen.

---

1. Een tunnelmoot is opgebouwd uit een vloerstort,( de afwerking van de stortnaad vloer en buitenwanden is geoptimaliseerd op eenvoud i.d. het verwijderen van cementhuid onder hoge waterdruk of door gritstralen) en uit een wanden (zowel buiten- als tussenwanden) en dakstort als een geheel, waarbij dan de buitenwanden worden gekoeld. Als de tussenwanden worden voor gestort, dient uit een berekening te volgen of het dak ter plaatse ook moet worden gekoeld.





### 5.1.2.1 Vloer verkeerskoker tunnelementen

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel en / of tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden. Dit geldt ook voor het voegvlak van het later aan te brengen ballastbeton.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Lekwater wordt afgevoerd via de goot tussen ballastbeton en constructiebeton naar het middenkanaal. Deze goot wordt afgedekt met stalen strip dat in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht ter voorkoming van indringing van vuil.

Onder het asfalt wordt een voegprofiel geplaatst dat zonder onderbreking doorloopt in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

**Motivering:**

Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting.

Voegprofiel en stalen strip worden toegepast om te voorkomen dat vuil en/of gevaarlijke stoffen in de voeg terecht komen.

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

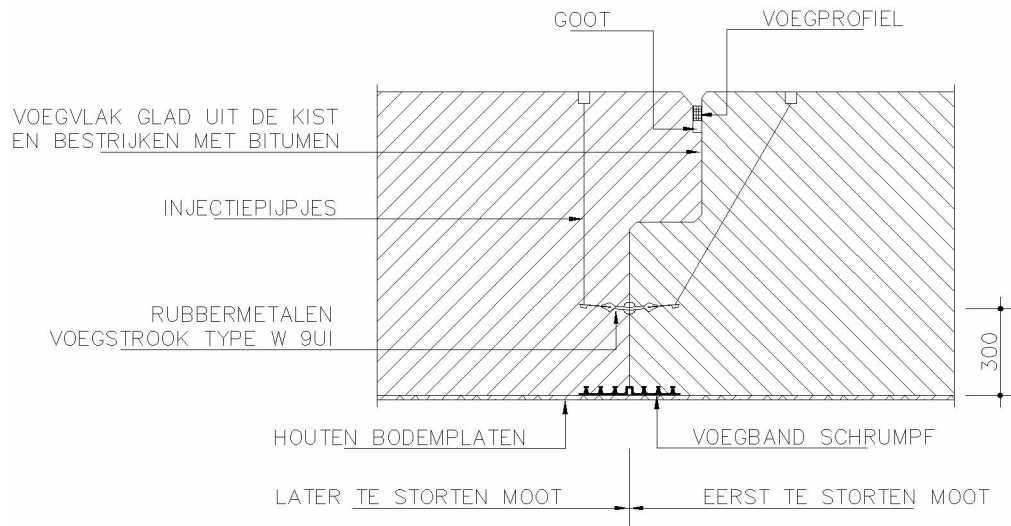
**Bijbehorende details:**

Overgang ballastbeton/asfalt (5.1.5.2)

Overgang ballastbeton/constructiebeton (5.1.5.3)

Onderkant vloer (5.1.5.4)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)





### 5.1.2.2 Vloer middenkanaal

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel en / of tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuurs invloeden

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Lekwater wordt afgevoerd via de goot en overstort in de middenwand naar het middenkanaal. De goot wordt afgedekt met een voegprofiel dat in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht om indringing van vuil tegen te gaan.

**Motivering:**

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting.

Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil in de voeg terecht komt.

**Bijbehorende details:**

Onderkant vloer (5.1.5.4)

Voegprofiel (5.1.5.5)

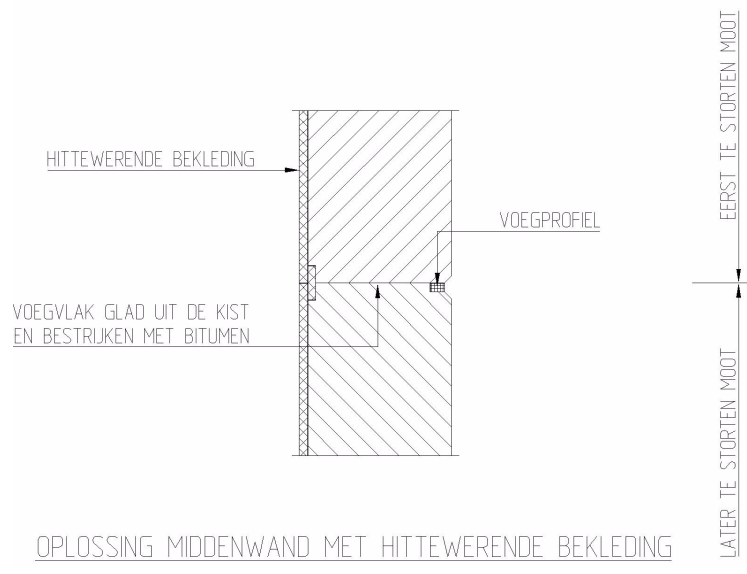
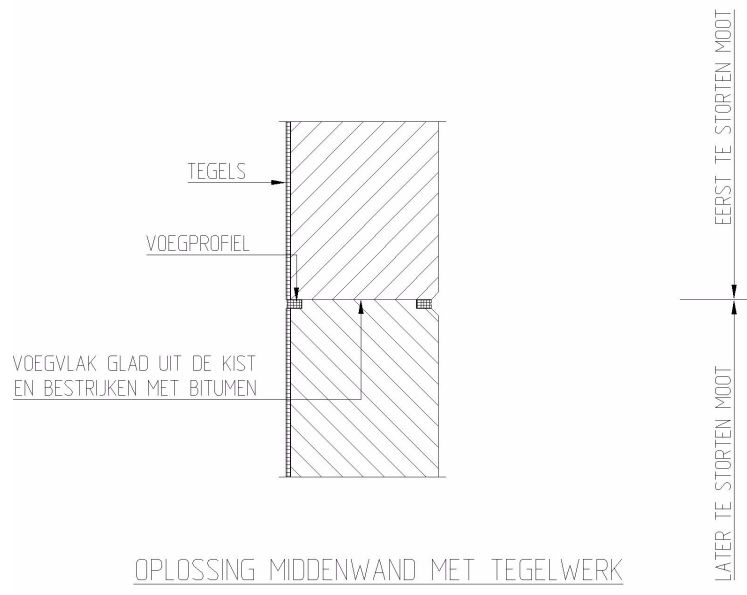
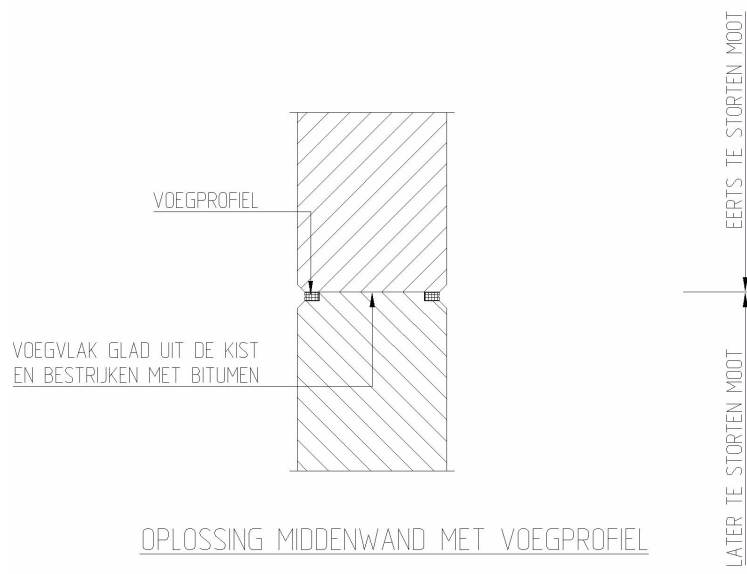
Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)





Tunneldetails

Dilatatievoegen





### 5.1.2.3 Middenwand

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

**Motivering:**

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

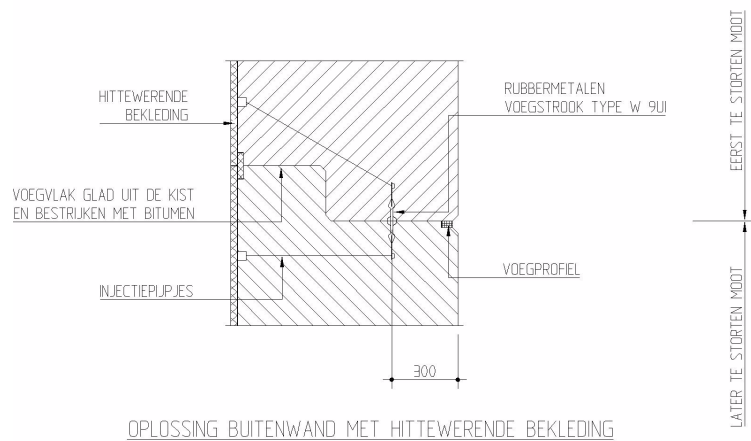
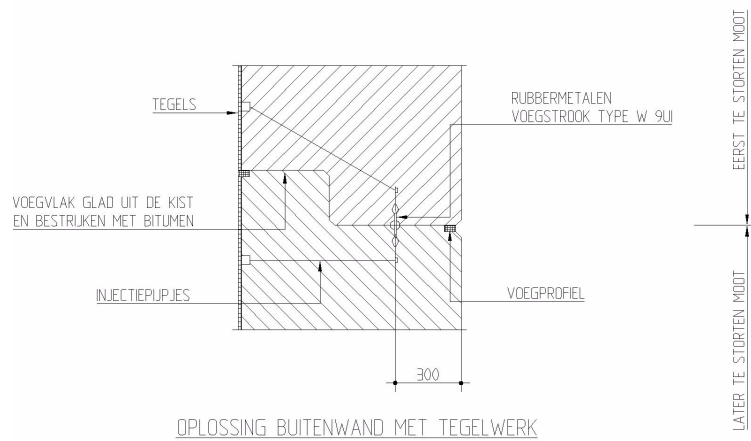
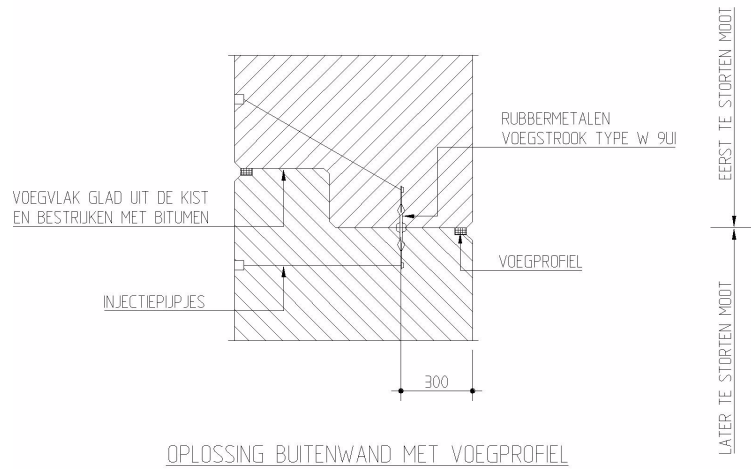
Tegelwerk (5.1.5.6)

Hittewerende bekleding (5.1.5.7)



Tunneldetails

Dilatatievoegen





#### 5.1.2.4 Buitenwand

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

**Motivering:**

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

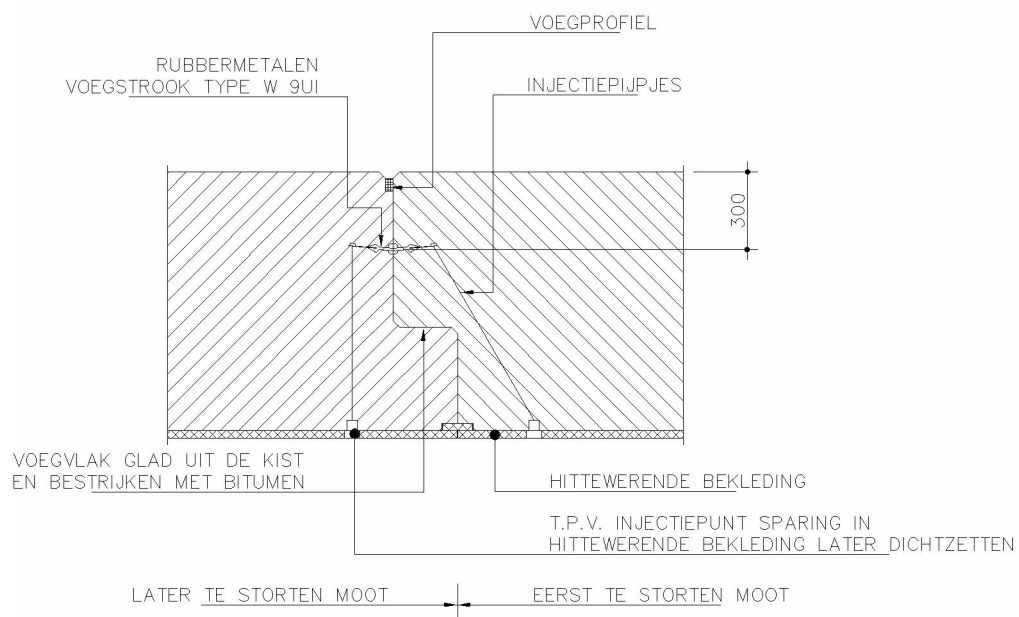
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Tegelwerk (5.1.5.6)

Hittewerende bekleding (5.1.5.7)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



OPLOSSING DAKVERKEERSKOKER



### 5.1.2.5 Dak verkeerskoker

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

**Motivering:**

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

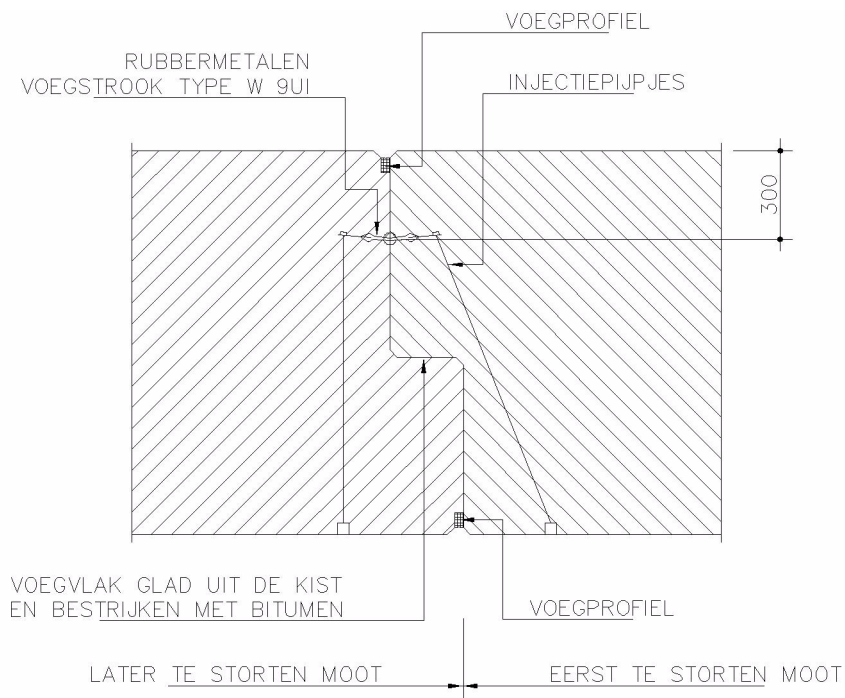
Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Hittewerende bekleding (5.1.5.7)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



## OPLOSSING DAKMIDDENKANAAL



### 5.1.2.6 Dak middenkanaal

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

In het middenkanaal wordt geen brandwerende bekleding toegepast.

**Motivering:**

Ter voorkoming van verplaatsen van de moten door langsvorspanning, worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Bovendien moeten de elementen de waterdruk overbrengen naar het overgangsgedeelte.

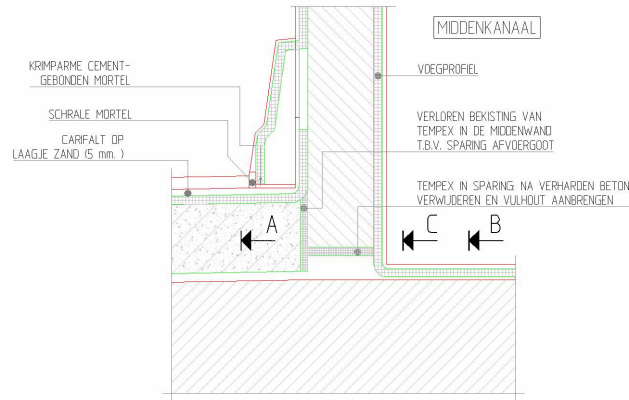
Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting.

**Bijbehorende details:**

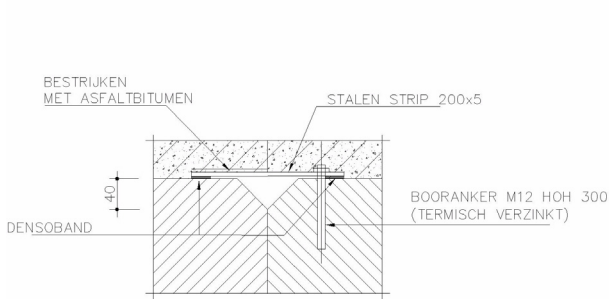
Voegprofiel (5.1.5.5)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)

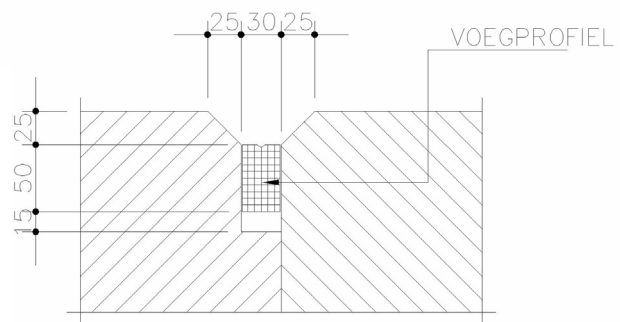




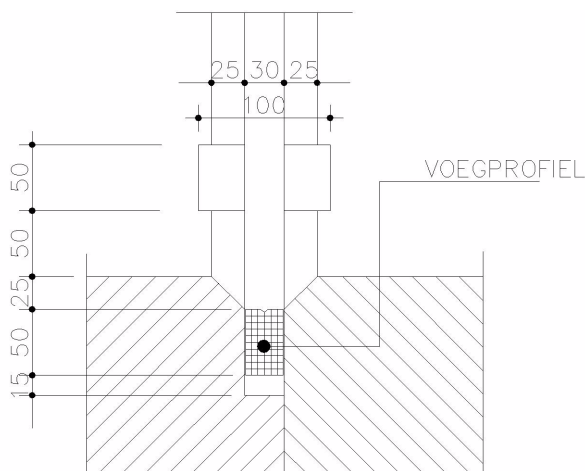
DOORSNEDE AANSLUITING VLOER/MIDDENWAND



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



### 5.1.2.7 Aansluiting middenwand/vloer

**Funcities:**

Het tegengaan van lekkage van (gevaarlijke/agressieve) stoffen van tunnelbuis naar middenkanaal.

Afvoer van lekwater via goot naar het middenkanaal.

**Detailontwerp:**

Het voegprofiel dat in de ballast beton is opgenomen wordt zonder onderbreking omgezet in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

Het lekwater dat vanaf de waterzijde in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot, een sparing in de middenwand en een overstort naar het middenkanaal.

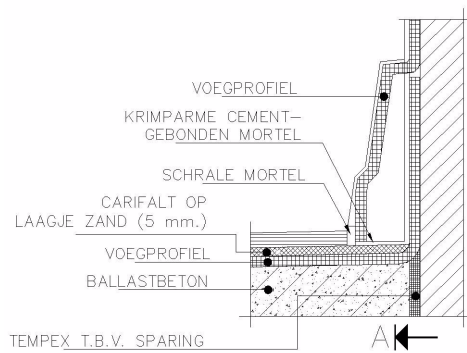
**Motivering:**

Door het omzetten van het voegprofiel van de vloer naar de middenwand (en buitenwand) ontstaat een waterdichte afsluiting. Het voegprofiel niet inknippen. Bij een hoger gelegen vloer in het middenkanaal wordt t.p.v. de voeg de vloer van het middenkanaal plaatselijk verlaagd zodat het water toch naar het middenkanaal kan worden afgevoerd.

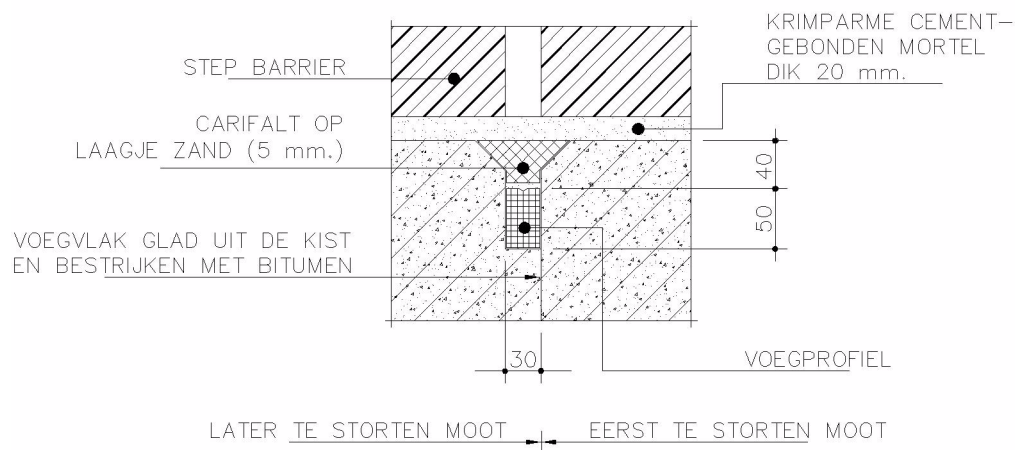
Er wordt een overstort in de middenwand gemaakt om te voorkomen dat lekwater vanuit het middenkanaal terug in de goten zou kunnen stromen.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)



AANZICHT VOEG AANSLUITING  
BUITENWAND/VLOER



DOORSNEDE A



### 5.1.2.8 Aansluiting buitenwand/vloer

**Funcities:**

Het tegengaan van lekkage van (gevaarlijke/agressieve) stoffen van tunnelbuis naar constructiebeton en W9UI-profiel.

Afvoer van lekwater via goot naar het middenkanaal.

**Detailontwerp:**

Het voegprofiel dat in de ballast beton is opgenomen wordt zonder onderbreking omgezet in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

Het wandenwaswater en andere vloeistoffen die op het asfalt terecht komen worden via inlaatputjes en PVC-leidingen afgevoerd naar de middenpompkelder.

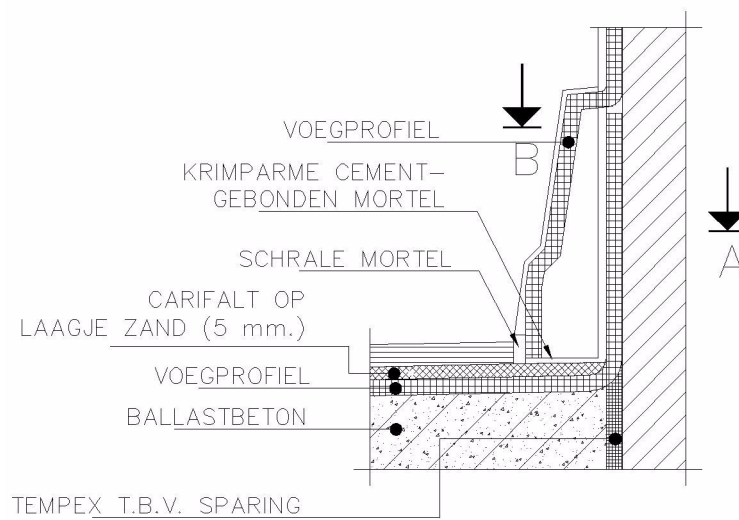
Het lekwater dat vanaf de waterzijde in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot naar de middenkanaal.

**Motivering:**

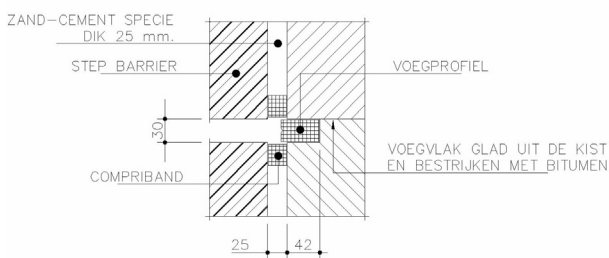
Het voegprofiel vanuit de vloer dusdanig hoog doorzetten in de wand dat de bovenkant van het voegprofiel hoger ligt dan het hoogste punt van het asfalt in het dwarsprofiel. Dit is met name van belang bij de wand aan de lage zijde van de verkanting.

**Bijbehorende details:**

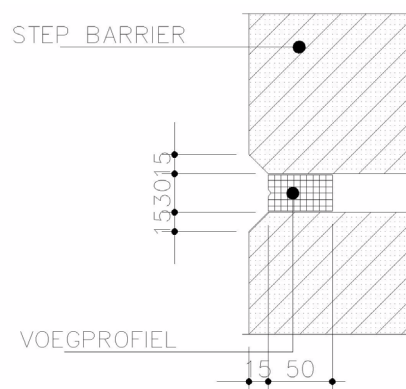
Voegprofiel (5.1.5.5)



AANZICHT VOEG



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



### 5.1.2.9 Stepbarrier

**Functies:**

Voorkomen van grote spanningen in de stepbarrier.

**Detailontwerp:**

Tussen de beide stepbarriers wordt een voeg opengehouden van 30 mm. De voorkant van deze voeg wordt afgedicht met een voegprofiel. Ter plaatse van het asfalt wordt het voegprofiel beschermd d.m.v. een laag schrale mortel.

Aan de achterzijde wordt aan weerszijde van de voeg een strook compriband aangebracht om er voor te zorgen dat de achtervulling met zand-cement specie niet in de voeg verdwijnt.

Aan de onderzijde loopt de krimparme cementgebonden mortel door over de voeg.

**Motivering:**

Op deze manier kan geen water vanaf de wanden achter de stepbarrier lopen.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)





### 5.1.2.10 Achtergronden

De dilaterende moten van een tunnelement worden koud tegen elkaar aangestort. Dit wordt gedaan om de volgende redenen:

- a. Tijdens het transport en afzinken moet het tunnelement als één geheel werken. De tunnelementen worden om deze reden voorzien van een (tijdelijke) langvoorspanning waarbij het element als een voorgespannen ligger wordt berekend. De waterdruk wordt tijdens het transport en afzinken meegerekend als voorspankracht.
- b. In de voegen mogen in die fase geen gapingen optreden. Verplaatsing van de kopvlakken betekent spanningsverlies.
- c. De horizontale waterdruk op de tunnelement moet via de dilatatievoeg direct worden overgebracht naar de volgende stortmoot zonder enige verplaatsing.
- d. Het overgangsgedeelte moet de horizontale waterdruk naar de fundering overbrengen. Daarvoor is een bepaalde lengte nodig. Indien het overgangsgedeelte te lang wordt, kunnen scheuren optreden en wordt het overgangsgedeelte verdeeld in twee of meerdere stortmoten. De eerste moot kan de horizontale waterdruk niet geheel opnemen en moet een gedeelte van de kracht doorgeven naar de volgende moot c.q. moten.

Ter voorkoming van aanhechting tussen de stortmoten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen te worden bestreken<sup>1</sup>. Dit geldt ook voor het voegvlak van het later aan te brengen ballastbeton in de tunnelementen<sup>2</sup>.

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tand-, visbek of deuvelconstructie toegepast om ongelijke translatie en rotatie van twee opeenvolgende moten te voorkomen. Door de tand in de vloer door te zetten in de buitenwanden en dak, ontstaat er een tandkrans of deuvelconstructie die dwarskracht en torsie kunnen overbrengen. Om een verticale verplaatsing te voorkomen dient het oplegvlak van de tand niet schuin maar horizontaal te worden uitgevoerd. De breedte van het oplegvlak moet niet meer dan 0,30 m zijn om rotatie van de moten nog mogelijk te maken. De toepassing van de visbekconstructie wordt gekozen in gevallen, waarbij de bovenbelasting te groot wordt om de krachten te kunnen op nemen. Voorbeeld is de dilatatievoeg bij de Willemspoortunnel (1987-1992).

*Bij de spoortunnels Dortsche Kil en Oude Maas (2003/2004) is i.p.v. een tandoplegging dmv een krans, gekozen voor een console oplegging in de buitenwanden. Hierbij is de aansluiting van de moten vlak. Omdat verkeerstunnels veelal breder zijn dient de eventuele toepassing van een console oplegging in de wanden nader onderzocht te worden.*

Wanneer de tunnelementen en het overgangsgedeelte op palen worden gefundeerd, is een tand- of deuvelconstructie niet gewenst. Door verschil in zetting van de palen worden grote krachten in de tand geïntroduceerd. Bovendien moet de tand in twee richtingen kunnen werken waardoor een verdikking van de vloer noodzakelijk is.

---

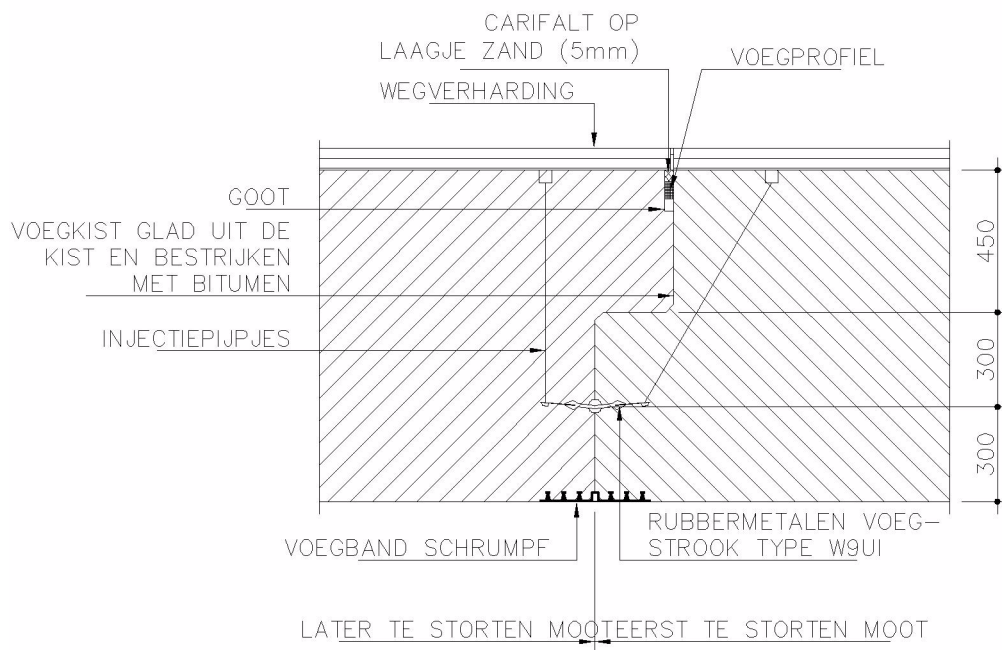
1. In de praktijk worden de voegvlakken zelden met bitumen bestreken!
2. Bij de Beneluxtunnel is volstaan met het ter plaatse van de dilatatievoegen van de ballastbeton inzagen van de voegen en op de constructiebeton een scheurinleider (plank) te monteren. Dit heeft het voordeel dat de ballastbeton in één grote stort kan worden aangebracht.







### **5.1.3 Overgangsgedeelte**





### 5.1.3.1 Vloer verkeerskoker

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer het overgangsgedeelte op palen wordt gefundeerd dan is een tandconstructie niet gewenst.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Lekwater wordt afgevoerd via de goot tussen asfalt en constructiebeton naar het middenkanaal. Deze goot wordt afgedekt met een voegprofiel dat in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht.

Het voegprofiel dient zonder onderbreking door te lopen in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

**Motivering:**

Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting. (wanneer op staal gefundeerd wordt.)

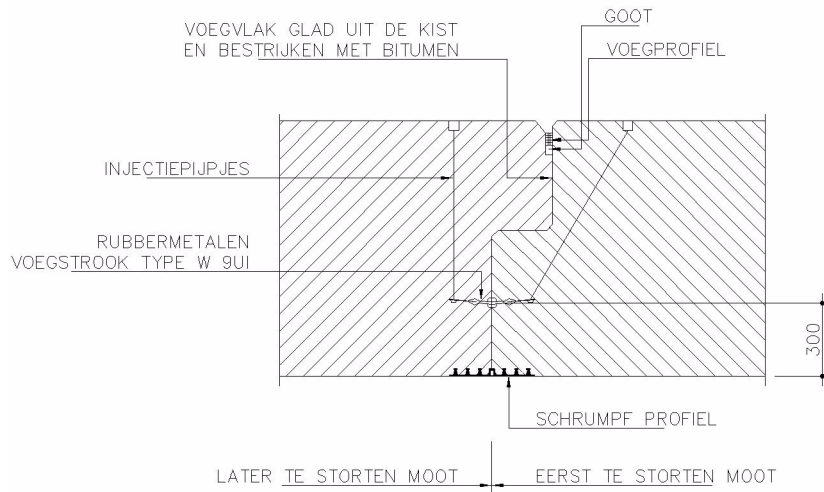
Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil en/of gevaarlijke stoffen in de voeg terecht komen.

**Bijbehorende details:**

Overgang constructiebeton/asfalt (5.1.5.1)

Onderkant vloer (5.1.5.4)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



DETAILONTWERP VLOER MIDDENKANAAL



### 5.1.3.2 Vloer middenkanaal

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer het overgangsgedeelte op staal wordt gefundeerd, wordt een tandconstructie rondom (krans) toegepast.

Wanneer het overgangsgedeelte op palen wordt gefundeerd dan is een tandconstructie niet gewenst.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de Rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Lekwater wordt afgevoerd via de goot naar het middenkanaal. Deze goot wordt afgedekt met een voegprofiel dat in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht.

**Motivering:**

Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting. (wanneer op staal gefundeerd wordt).

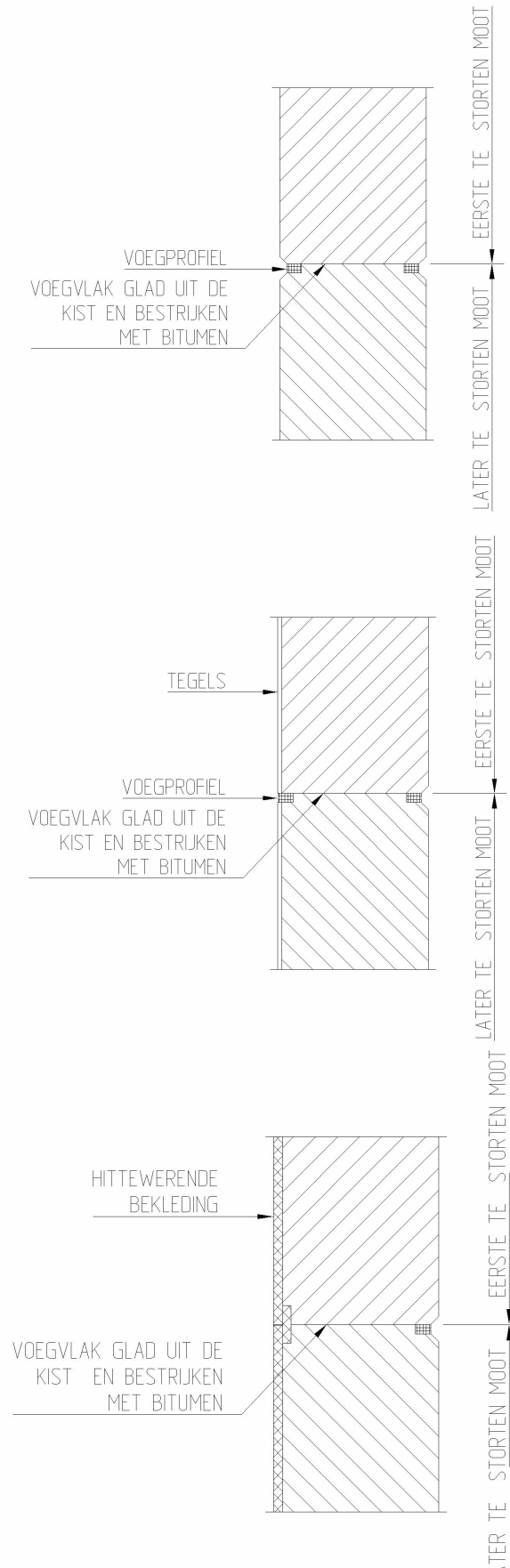
Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil in de voeg terecht komt.

**Bijbehorende details:**

Onderkant vloer (5.1.5.4)

Voegprofiel (5.1.5.5)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)





### 5.1.3.3 Middenwand

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

**Motivering:**

Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Tegelwerk (5.1.5.6)

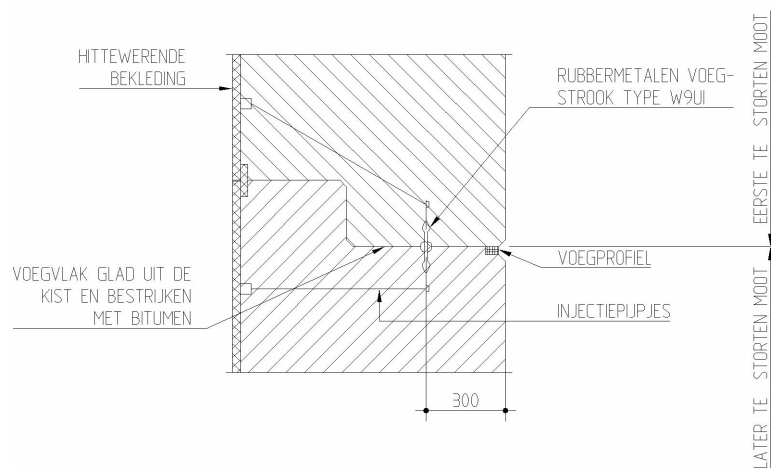
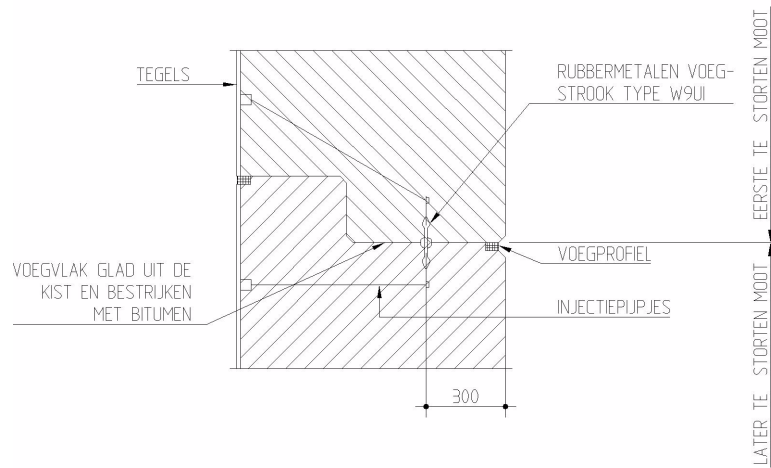
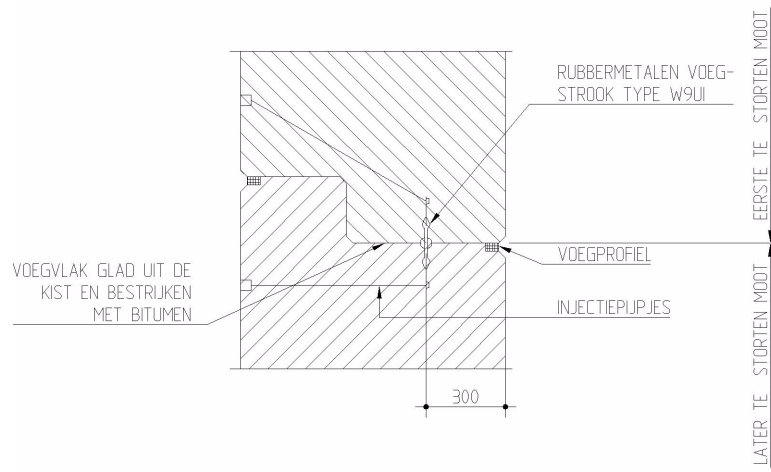
Hittewerende bekleding (5.1.5.7)





Tunneldetails

Dilatatievoegen





### 5.1.3.4 Buitenwand

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer het overgangsgedeelte op palen wordt gefundeerd dan is een tandconstructie niet gewenst.

T.p.v. de overgang van het overgangsgedeelte naar het tunnelement moet een tandconstructie in de wand worden toegepast om verschilverplaatsing van de wand tegen te gaan.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

**Motivering:**

Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting. (wanneer op staal gefundeerd wordt).

Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil in de voeg terecht komt.

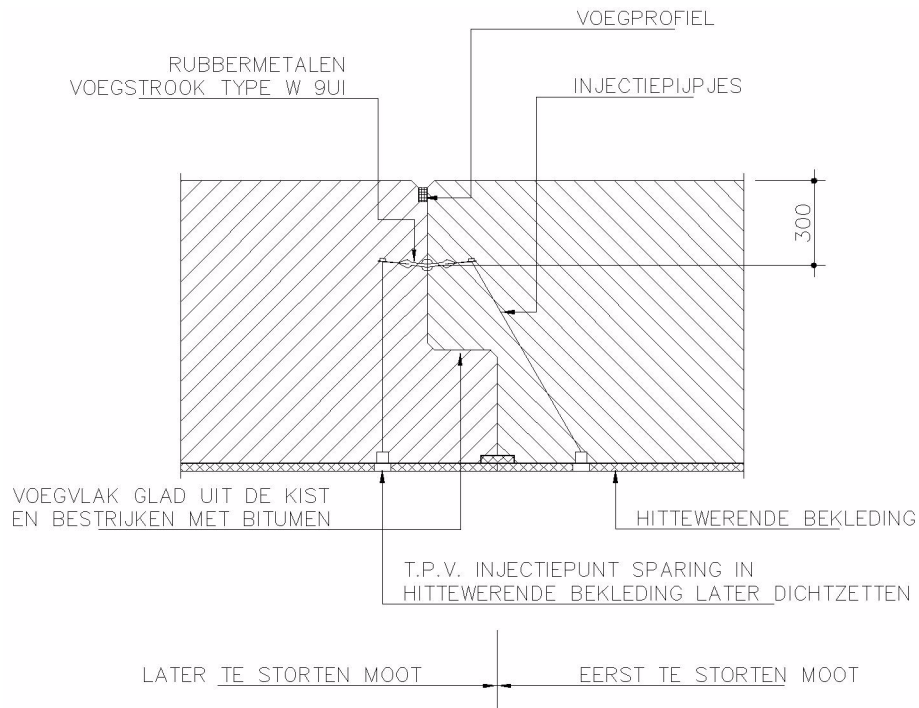
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Tegelwerk (5.1.5.6)

Hittewerende bekleding (5.1.5.7)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



DETAILONTWERP DAK VERKEERSKOKER



### 5.1.3.5 Dak verkeerskoker

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer het overgangsgedeelte op palen wordt gefundeerd dan is een tandconstructie niet gewenst.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

**Motivering:**

Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting. (wanneer op staal gefundeerd wordt).

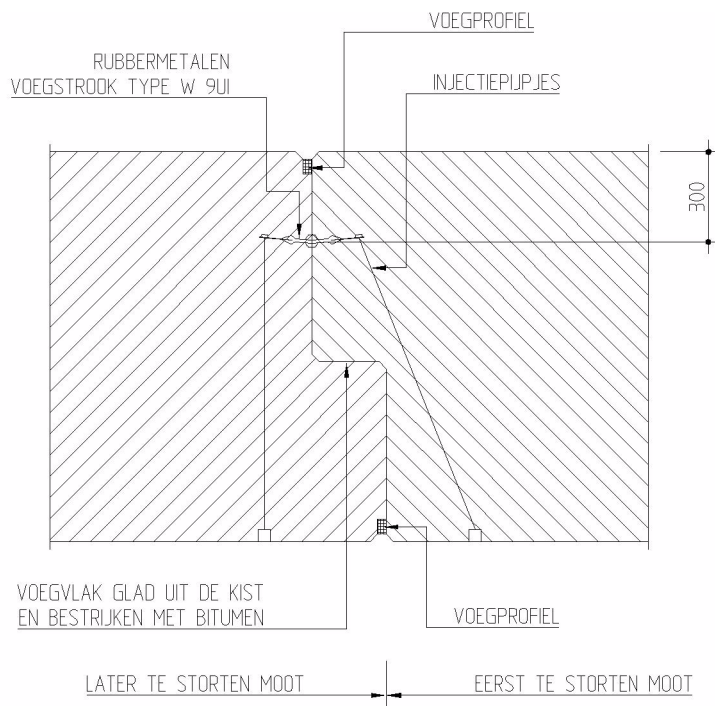
Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil in de voeg terecht komt.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Hittewerende bekleding (5.1.5.7)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



DETAILONTWERP DAK MIDDENKANAAL



### 5.1.3.6 Dak middenkanaal

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

Ter voorkoming van aanhechting van de beide moten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen bestreken te worden.

Wanneer het overgangsgedeelte op palen wordt gefundeerd dan is een tandconstructie niet gewenst.

In het middenkanaal wordt geen brandwerende bekleding toegepast.

**Motivering:**

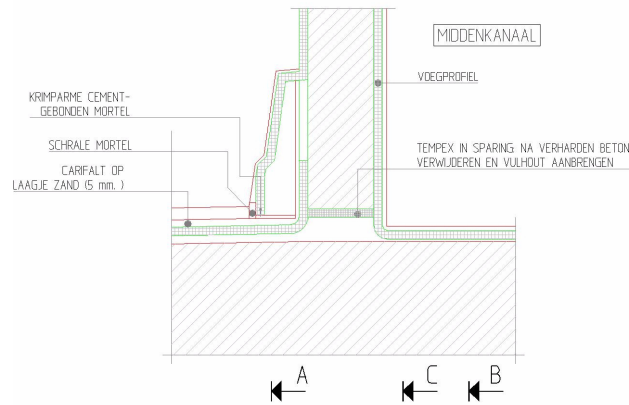
Om de horizontale krachten uit het afzinkgedeelte op te kunnen nemen worden de moten koud tegen elkaar aangestort. Een tandconstructie wordt toegepast om dwarskracht overdracht mogelijk te maken t.g.v. ongelijkmatige zetting. (wanneer op staal gefundeerd wordt)

Een voegprofiel wordt toegepast om te voorkomen dat vuil in de voeg terecht komt.

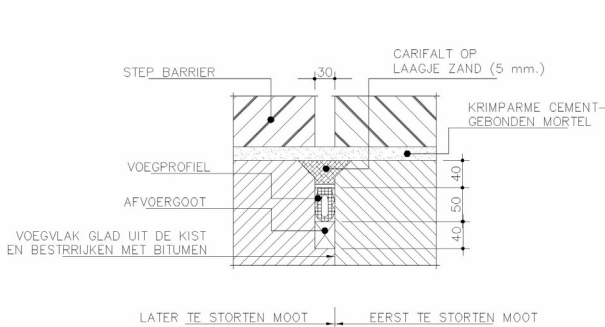
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

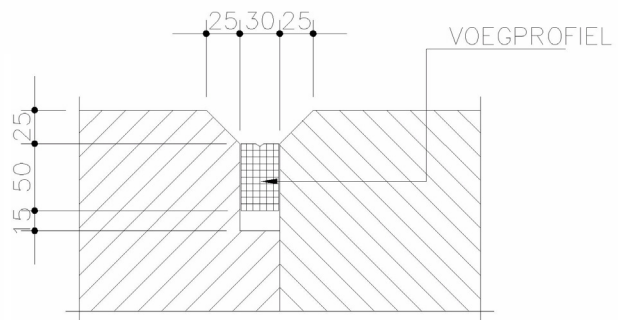
Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



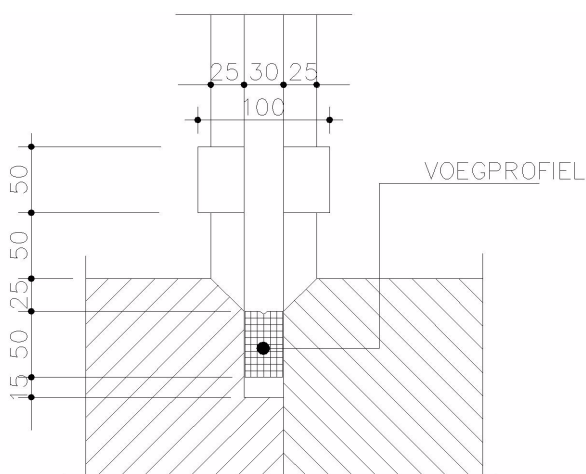
DOORSNEDE AANSLUITING VLOER/MIDDENWAND



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



### 5.1.3.7 Aansluiting middenwand/vloer

**Funcities:**

Het tegengaan van lekkage van (gevaarlijke/agressieve) stoffen van tunnelbuis naar middenkanaal.

Afvoer van lekwater via goot naar het middenkanaal.

**Detailontwerp:**

Het voegprofiel dat in het constructiebeton is opgenomen wordt zonder onderbreking omgezet in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

Het lekwater dat vanaf de waterzijde in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot, een sparing in de middenwand en een overstort naar het middenkanaal.

**Motivering:**

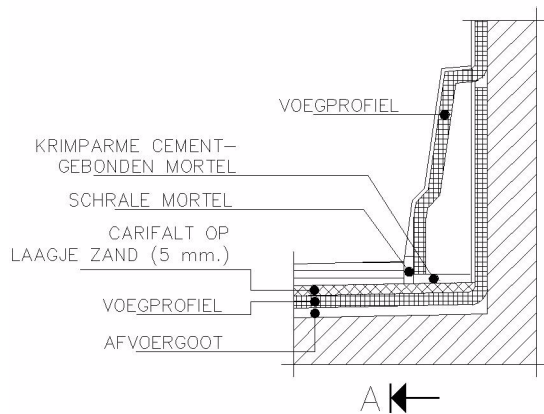
Door het omzetten van het voegprofiel van de vloer naar de middenwand (en buitenwand) ontstaat een waterdichte afsluiting. voegprofiel niet inknippen. Bij een hoger gelegen vloer in het middenkanaal wordt t.p.v. de voeg de vloer van het middenkanaal plaatselijk verlaagd zodat het water toch naar het middenkanaal kan worden afgevoerd.

Er wordt een overstort in de middenwand gemaakt ter voorkoming dat lekwater vanuit het middenkanaal terug in de goten zou kunnen stromen.

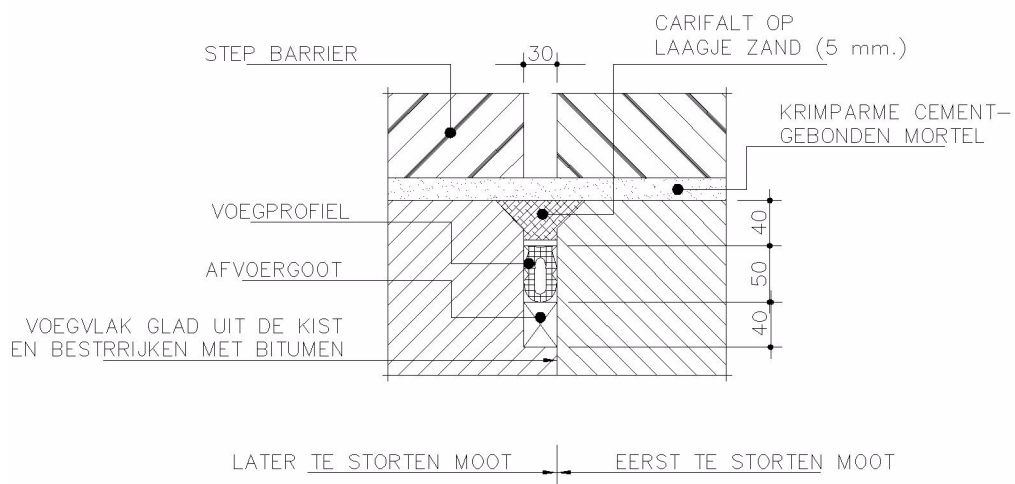
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)





DETAILONTWERP AANSLUITING VLOER/BUITENWAND



DOORSNEDE A



### 5.1.3.8 Aansluiting buitenwand/vloer

**Funcities:**

Het tegengaan van lekkage van (gevaarlijke/agressieve) stoffen van tunnelbuis naar constructiebeton en W9UI-profiel.  
Afvoer van lekwater via goot naar het middenkanaal.

**Detailontwerp:**

Het voegprofiel dat in het constructiebeton is opgenomen wordt zonder onderbreking omgezet in de wanden. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

Het wandenwaswater en andere vloeistoffen die op het asfalt terecht komen worden via inlaatputjes en PVC-leidingen afgevoerd naar de middenpompkelder.

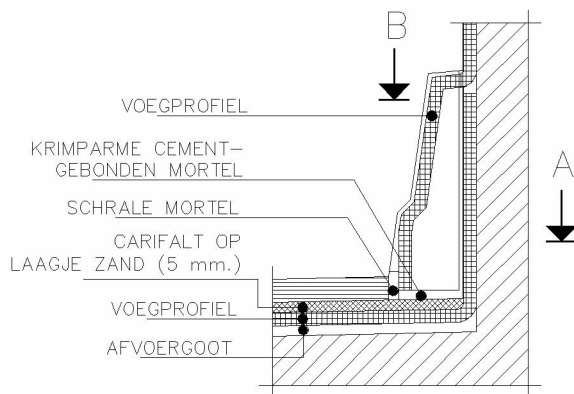
Het lekwater dat vanaf de waterzijde in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot, een sparing in de middenwand en een overstort naar het middenkanaal.

**Motivering:**

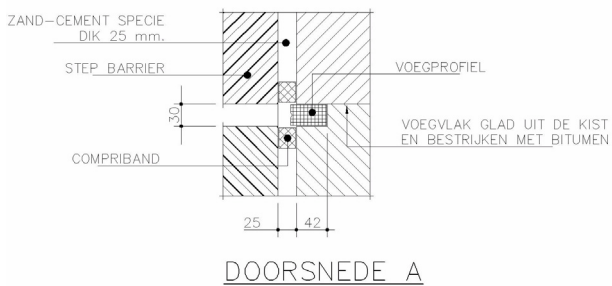
Het voegprofiel vanuit de vloer dusdanig hoog doorzetten in de wand dat de bovenkant van het voegprofiel hoger ligt dan het hoogste punt van het asfalt in het dwarsprofiel. Dit is met name van belang bij de wand aan de lage zijde van de verkanting.

**Bijbehorende details:**

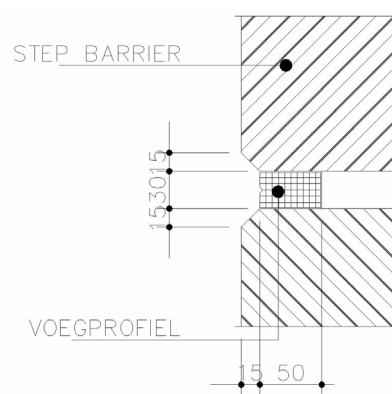
Voegprofiel (5.1.5.5)



AANZICHT VOEGOVERGANG T.P.V. STEP BARRIER



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



### 5.1.3.9 Stepbarrier

**Functies:**

Voorkomen van grote spanningen in de stepbarrier.

Voorkomen dat wandenwaswater achter stepbarrier dringt.

**Detailontwerp:**

Tussen de beide stepbarriers ter plaatse van een dilatatievoeg wordt een voeg opgehouden van 30 mm. De voorkant van deze voeg wordt afgedicht met een voegprofiel. Ter plaatse van het asfalt wordt het voegprofiel beschermd d.m.v. een laag schrale mortel.

Aan de achterzijde wordt aan weerszijden van de voeg een strook compriband aangebracht om er voor te zorgen dat de achtervulling met zand-cement specie niet in de voeg verdwijnt.

Aan de onderzijde loopt de krimparme cementgebonden mortel door over de voeg.

**Motivering:**

Op deze manier kan geen water vanaf de wanden achter de stepbarrier lopen.

**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)





### 5.1.3.10 Achtergronden

De dilaterende moten van een tunnelement worden koud tegen elkaar aangestort. Dit wordt gedaan om de volgende redenen:

- a. Tijdens het transport en afzinken moet het tunnelement als één geheel werken. De tunnelementen worden om deze reden voorzien van een (tijdelijke) langvoorspanning waarbij het element als een voorgespannen ligger wordt berekend. De waterdruk wordt tijdens het transport en afzinken meegerekend als voorspankracht.
- b. In de voegen mogen in die fase geen gapingen optreden. Verplaatsing van de kopvlakken betekent spanningsverlies.
- c. De horizontale waterdruk op de tunnelement moet via de dilatatievoeg direct worden overgebracht naar de volgende stortmoot zonder enige verplaatsing.
- d. Het overgangsgedeelte moet de horizontale waterdruk naar de fundering overbrengen. Daarvoor is een bepaalde lengte nodig. Indien het overgangsgedeelte te lang wordt, kunnen scheuren optreden en wordt het overgangsgedeelte verdeeld in twee of meerdere stortmoten. De eerste moot kan de horizontale waterdruk niet geheel opnemen en moet een gedeelte van de kracht doorgeven naar de volgende moot c.q. moten.

Ter voorkoming van aanhechting tussen de stortmoten dient het voegvlak van het eerst gestorte deel glad uit de kist te komen en met bitumen te worden bestreken<sup>1</sup>. Dit geldt ook voor het voegvlak van het later aan te brengen ballastbeton in de tunnelementen<sup>2</sup>

Wanneer de tunnelementen op staal worden gefundeerd, wordt een tand-, visbek of deugelconstructie toegepast om ongelijke translatie en rotatie van twee opeenvolgende moten te voorkomen. Door de tand in de vloer door te zetten in de buitenwanden en dak, ontstaat er een tandkrans of deugelconstructie die dwarskracht en torsie kunnen overbrengen. Om een verticale verplaatsing te voorkomen dient het oplegvlak van de tand niet schuin maar horizontaal te worden uitgevoerd. De breedte van het oplegvlak moet niet meer dan 0,30 m zijn om rotatie van de moten nog mogelijk te maken. De toepassing van de visbekconstructie wordt gekozen in gevallen, waarbij de bovenbelasting te groot wordt om de krachten te kunnen op nemen. Voorbeeld is de dilatatievoeg bij de Willemspoortunnel (1987-1992).

*Bij de spoortunnels Dortsche Kil en Oude Maas (2003/2004) is i.p.v. een tandoplegging dmv een krans, gekozen voor een console oplegging in de buitenwanden. Hierbij is de aansluiting van de moten vlak. Omdat verkeerstunnels veelal breder zijn dient de eventuele toepassing van een console oplegging in de wanden nader onderzocht te worden.*

Wanneer de tunnelementen en het overgangsgedeelte op palen worden gefundeerd, is een tand- of deugelconstructie niet gewenst. Door verschil in zetting van de palen worden grote krachten in de tand geïntroduceerd. Bovendien moet de tand in twee richtingen kunnen werken waardoor een verdikking van de vloer noodzakelijk is.

---

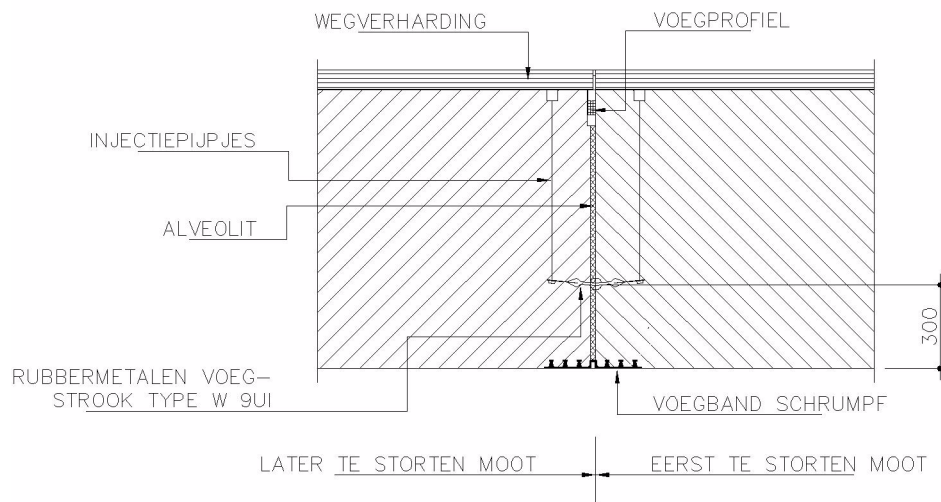
1. In de praktijk worden de voegvlakken zelden met bitumen bestreken!  
2. Bij de Beneluxtunnel is volstaan met het ter plaatse van de dilatatievoegen van de ballastbeton inzagen van de voegen en op de constructiebeton een scheurinleider (plank) te monteren. Dit heeft het voordeel dat de ballastbeton in één grote stort kan worden aangebracht.





## **5.1.4 Toerit**





DETAILONTWERP VLOER RIJBAAN



### 5.1.4.1 Vloer rijbaan

**Functies:**

Voorkomen van verschilverplaatsing / verschilrotatie om as tunnel, tussen twee aanliggende moten.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

De gehele voeg tussen de beide moten wordt voorzien van alveolit. De breedte hiervan dient berekend te worden en m.b.t. "hardheid" van een type-aanduiding worden voorzien.

Wanneer de toerit op staal wordt gefundeerd, dan moet een dubbele tandconstructie worden toegepast. Wanneer niet voldoende ruimte beschikbaar is kan een deuvelconstructie toegepast worden. De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Lekwater wordt afgevoerd door het aanboren van de riolering vanuit de goot tussen asfalt en constructiebeton.

Deze goot wordt afgedekt met een voegprofiel dat in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht en moet zonder onderbreking door lopen in de wanden.

Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

**Motivering:**

Er wordt een voegvulling toegepast om er voor te zorgen dat de moten apart kunnen uitzetten en krimpen.

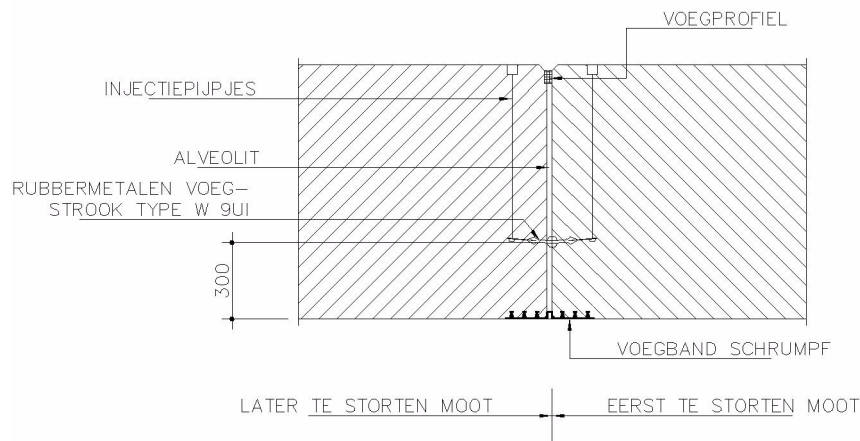
Een deuvelconstructie heeft ten opzichte van een dubbele tandconstructie minder ruimte nodig.

**Bijbehorende details:**

Overgang constructiebeton/asfalt (5.1.5.1)

Onderkant vloer (5.1.5.4)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



DETAILONTWERP VLOER KABELKOKER



### 5.1.4.2 Vloer kabelkoker

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

Beperken van doorgaande (watervoerende) scheuren t.g.v. temperatuursinvloeden.

**Detailontwerp:**

De gehele voeg tussen de beide moten wordt voorzien van alveolit. De breedte hiervan dient berekend te worden en m.b.t. "hardheid" van een typeaanduiding worden voorzien.

Wanneer de toerit op staal wordt gefundeerd, dan moet een dubbele tandconstructie worden toegepast. Wanneer niet voldoende ruimte beschikbaar is kan een deuvelconstructie toegepast worden.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm nemen.

Het voegprofiel dient in de bouwfase zo snel mogelijk te worden aangebracht.

**Motivering:**

Er wordt een voegvulling toegepast om er voor te zorgen dat de moten apart kunnen uitzetten en krimpen.

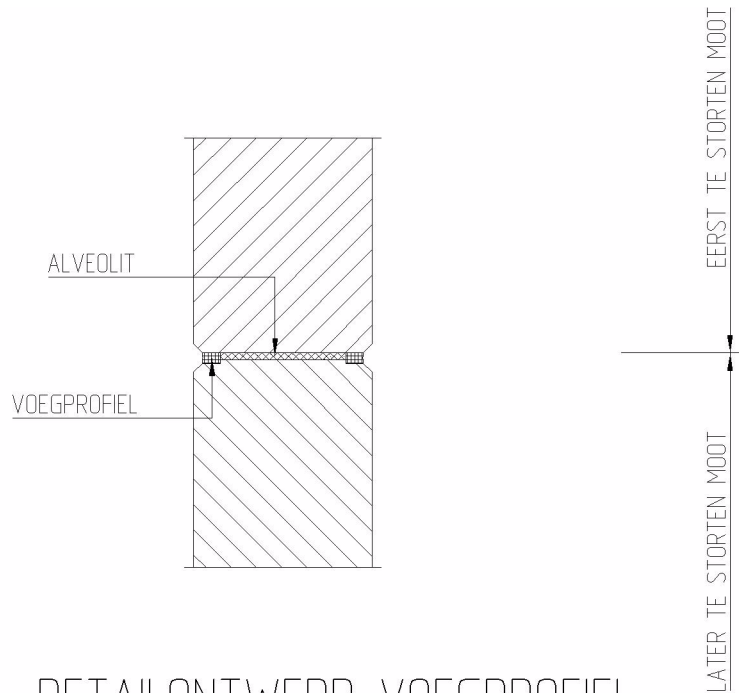
Een deuvelconstructie heeft ten opzichte van een tandconstructie minder ruimte nodig.

**Bijbehorende details:**

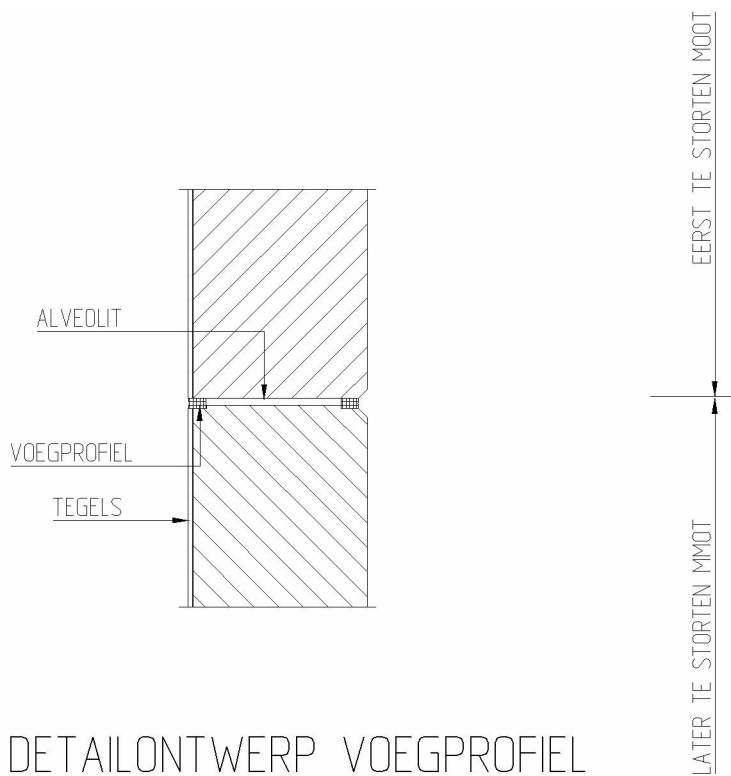
Onderkant vloer (5.1.5.4)

Voegprofiel (5.1.5.5)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)



DETAILONTWERP VOEGPROFIEL:  
MIDDENWAND ZONDER TEGELWERK



DETAILONTWERP VOEGPROFIEL  
MIDDENWAND MET TEGELWERK



### 5.1.4.3 Middenwand

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

De gehele voeg tussen de beide moten wordt voorzien van alveolit.

De breedte hiervan dient berekend te worden en m.b.t. "hardheid" van een type-aanduiding worden voorzien.

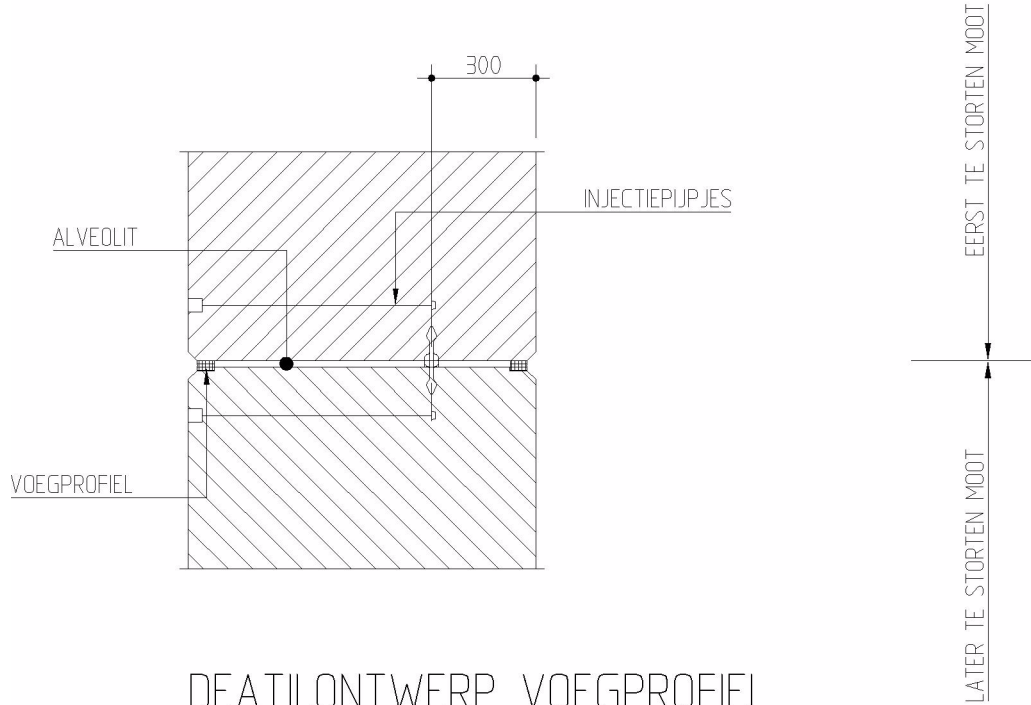
**Motivering:**

Er wordt een voegvulling toegepast om er voor te zorgen dat de moten apart kunnen uitzetten en krimpen.

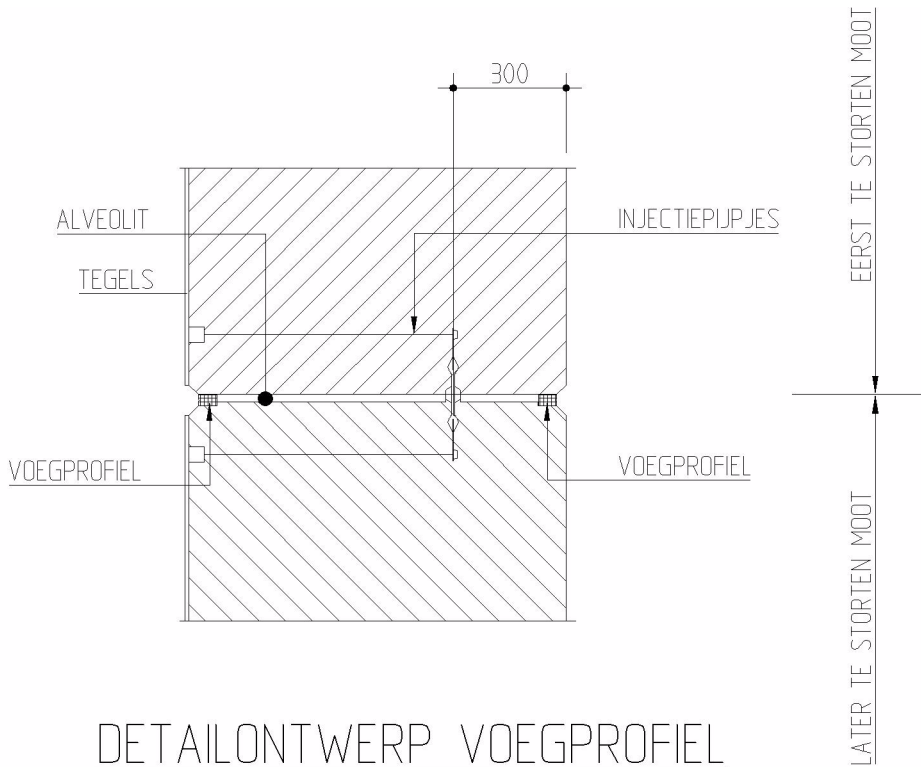
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Tegelwerk (5.1.5.6)



DEAILONTWERP VOEGPROFIEL  
BUITENWAND ZONDER TEGELWERK



DETAILONTWERP VOEGPROFIEL  
BUITENWAND MET TEGELWERK



#### 5.1.4.4 Buitenwand

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

De gehele voeg tussen de beide moten wordt voorzien van alveolit.

De breedte hiervan dient berekend te worden en m.b.t. "hardheid" van een type-aanduiding worden voorzien.

De afstand vanaf de omgebogen wapening rondom de rubbermetalen voegstrook niet groter dan 50 mm. nemen.

T.p.v. de overgang van de toerit naar het overgangsgedeelte moet een tandconstructie in/aan de wand worden toegepast om verschilvorming van de wanden tegen te gaan.

**Motivering:**

Er wordt een voegvulling toegepast om er voor te zorgen dat de moten apart kunnen uitzetten en krimpen.

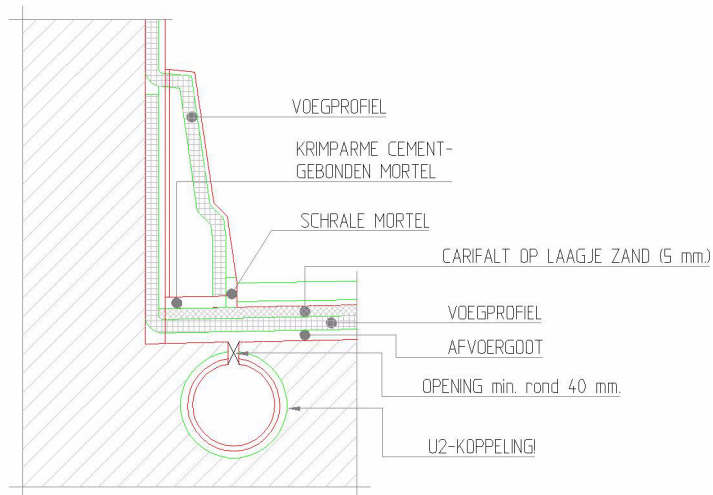
**Bijbehorende details:**

Voegprofiel (5.1.5.5)

Tegelwerk (5.1.5.6)

Rubbermetalen voegstrook (5.1.5.8)





DETAILONTWERP AANSLUITING BUITENWAND/VLOER



### 5.1.4.5 Aansluiting buitenwand/vloer

**Functies:**

Het afvoeren van lekwater van U-vormige goot naar riolering.

**Detailontwerp:**

Het voegprofiel dat in de wand is opgenomen loopt over de barrier aan de voorkant.

Het voegprofiel dat is aangebracht in de vloer loopt door in de wand(achterzijde stepbarrier) tot aan het voegprofiel van de wand (min. 150 mm boven het hoogste niveau van het wegdek).

Het lekwater dat van buitenaf in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot tussen asfalt en constructiebeton en een gat  $\varnothing 40$  naar de riolering.

Het voegprofiel dient in de bouwfase zo snel mogelijk te worden aangebracht om indringing van vuil tegen te gaan.

Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

**Motivering:**

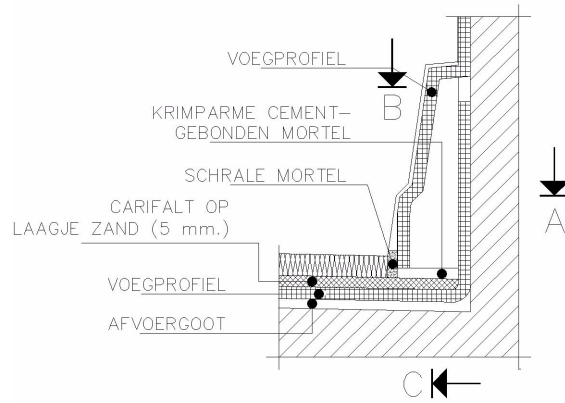
Geen

**Bijbehorende details:**

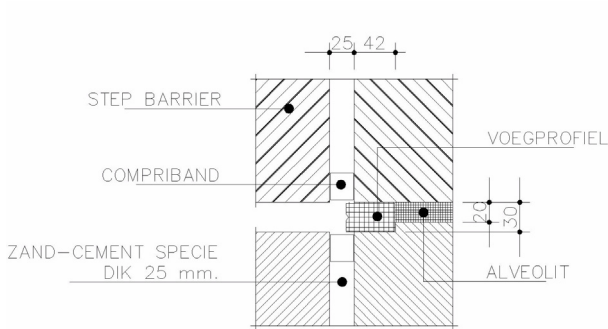
Overgang constructiebeton/asfalt (5.1.5.1)

Voegprofiel (5.1.5.5)

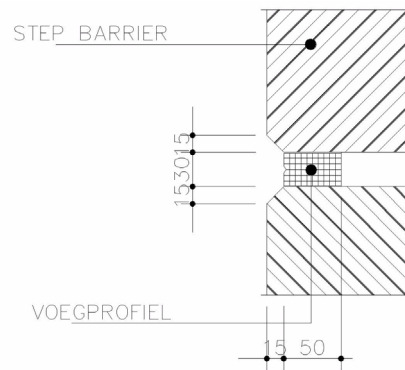
Leidingen (5.1.5.9)



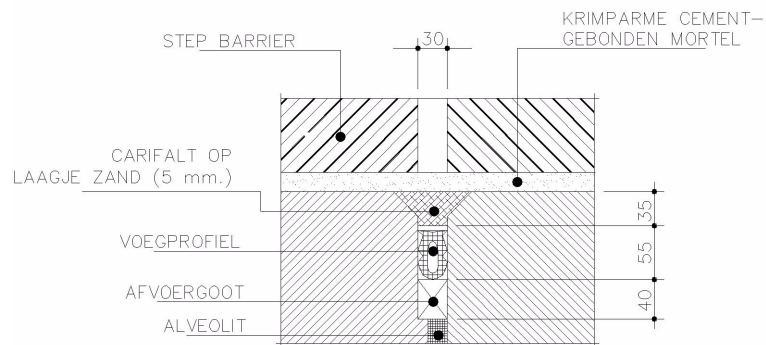
DETAILONTWERP AANZICHT VOEG  
 BUITENWAND STEP BARRIER



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



### 5.1.4.6 Buitenwand stepbarrier

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

Tussen de beide stepbarriers wordt een voeg opengehouden van 30 mm. De voorkant van deze voeg wordt afgedicht met een voegprofiel. Ter plaatse van het asfalt wordt het voegprofiel beschermd d.m.v. een laag schrale mortel.

Aan de achterzijde wordt aan weerszijden van de voeg een strook compriband aangebracht om er voor te zorgen dat de achtervulling met zand-cement specie niet in de voeg verdwijnt.

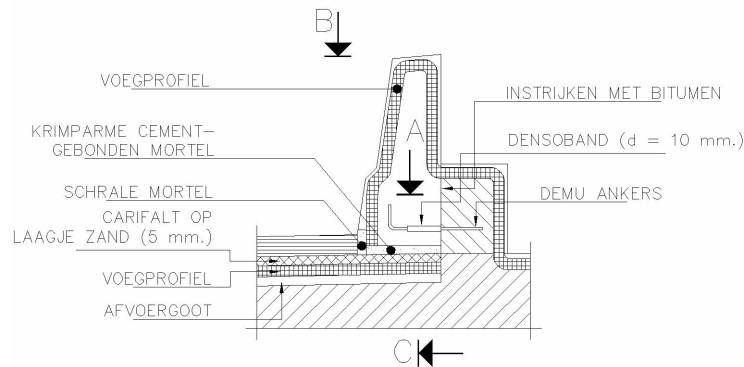
Aan de onderzijde loopt de krimparme cementgebonden mortel door over de voeg.

**Motivering:**

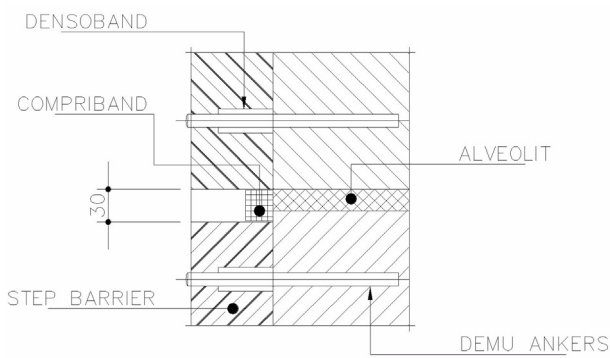
Geen

**Bijbehorende details:**

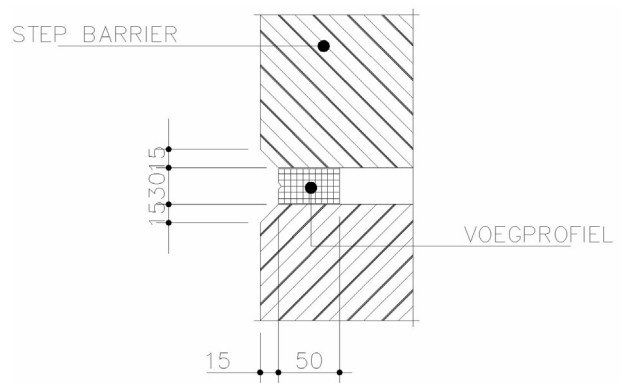
Geen.



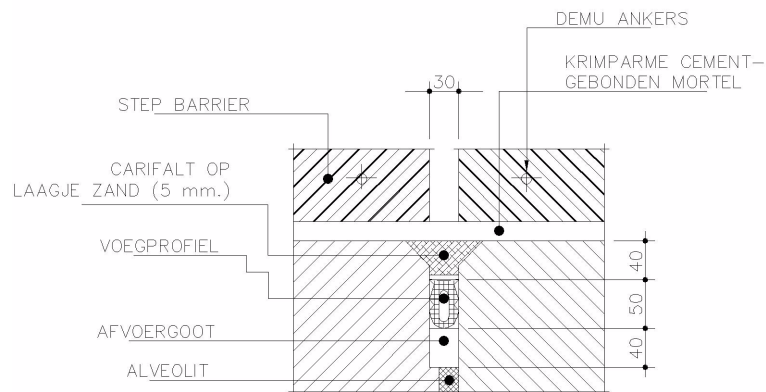
DETAILONTWERP AANZICHT VOEG  
MIDDENBERM STEP BARRIER



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



### 5.1.4.7 Middenberm stepbarrier

**Functies:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.

Toestaan van geringe rotatie loodrecht op as tunnel.

Voorkomen van grote spanningen in het beton.

**Detailontwerp:**

De stepbarrier wordt verankerd aan de betonnen opstort. De ankers worden met densoband omwikkeld om bewegingen (uitzettingen) van de stepbarrier ongehinderd mogelijk te maken.

Tussen de beide stepbarriers wordt een voeg opengehouden van 30 mm. Het voegprofiel loopt in één keer door over de totale constructie.

Ter plaatse van het asfalt wordt het voegprofiel beschermd d.m.v. een laag schrale mortel.

Bij het storten van de betonnen opstort wordt de voeg tussen de beide stepbarrier dichtgezet met compriband om er voor te zorgen dat de beton niet in de voeg verdwijnt.

Aan de onderzijde loopt de laag krimparme cementgebonden mortel door over de voeg.

**Motivering:**

Geen

**Bijbehorende details:**

Geen.





### 5.1.4.8 Achtergronden

De dilatatievoegen in de toeritten zijn te vergelijken met die van de overgangsgedeelten. De verschillen zijn het volgende:

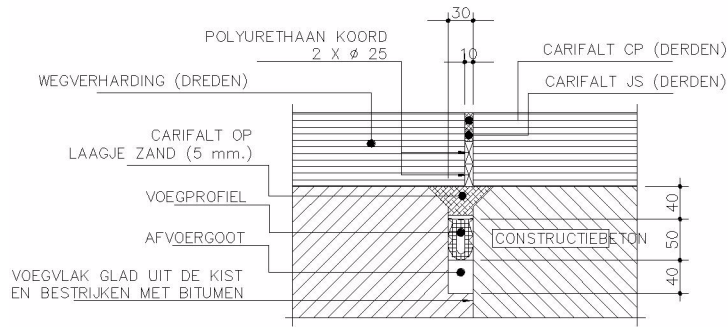
- a. de afritten worden in het algemeen op palen gefundeerd. Dwarskrachtoverdracht dient hier niet plaats te vinden zodat een tand- of deugelconstructie niet noodzakelijk is. Een tand of deugel is zelfs ongewenst omdat door een verschil in zetting van de palen, juist grote krachten in de tand worden geïntroduceerd. Bovendien moet de tand in twee richtingen kunnen werken waardoor een verdikking van de vloer noodzakelijk is;
- b. Er is geen voorspanning en geen waterdruk die naar de volgende moot moet worden overgebracht. Het is daarom niet noodzakelijk om de moten koud tegen elkaar aan te storten;
- c. De toeritten worden door de zon beschenen. Daardoor zijn de toeritten onderhevig aan grote temperatuur schommelingen waardoor ze krimpen of uitzetten. In de voeg moet er ruimte worden gecreëerd om de uitzetting van de moten op te vangen. Doet men dat niet, dan zullen door de lengte van de toerit de laatste moten een behoorlijke verplaatsing ondergaan. Dit kan tot gevolg hebben dat de palen door de horizontale verplaatsing zullen breken of dat de verbinding van de vloer met de palen worden verbroken. Daarom is het noodzakelijk dat de moten worden gescheiden door in de voeg een blijvend elastisch materiaal (bv alveolit) te plaatsen dat de veranderingen van de voegbreedte blijft volgen zodat de voeg permanent dicht blijft. De dikte van het materiaal moet aan de hand van een berekening worden bepaald.;
- d. De toeritten hebben geen middenkanaal waardoor het lekwater uit de goot onder het voegprofiel ook niet kan worden afgevoerd. Hiertoe wordt vanuit de goot een gat  $\varnothing$  40 mm naar de riolering geboord en kan het water via de riolering worden afgevoerd;
- e. De rubbermetalen voegstrook in de wanden aanbrengen tot ten minste 1,0 m boven het maaiveld en de voegstroken injecteren tot de hoogst gemeten (grond-)waterstand.





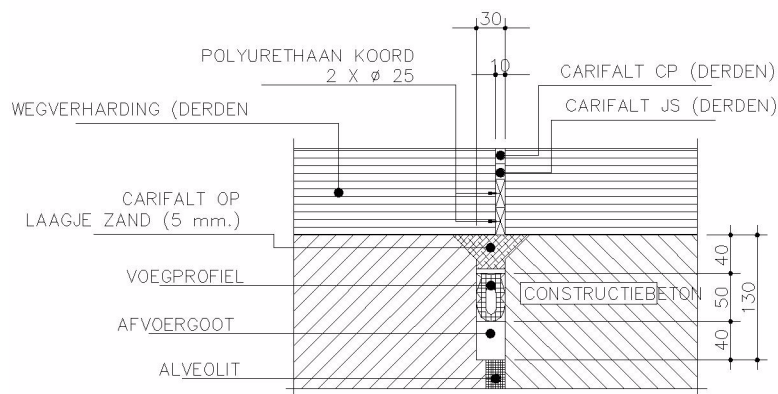


## **5.1.5 Bijbehorende details**



LATER TE STORTEN MOOT | EERST TE STORTEN MOOT

DETAILONTWERP VOEGOVERGANG  
T.P.V. OVERGANG CONSTRUCTIEBETON/ASFALT



DETAILONTWERP VOEGOVERGANG:  
CONSTRUCTIEBETON/ASFALT T.P.V. TOERIT



### 5.1.5.1 Overgang constructiebeton/asfalt

**Functie:**

Verzorgen van waterafvoer bij eventuele lekkage ter voorkoming van schade aan het wegdek.

Mogelijkheid tot inspectie doordat het water via deze goot gecontroleerd wordt afgevoerd.

**Detailontwerp:**

Het lekwater dat van buitenaf in de voeg komt wordt afgevoerd via de goot tussen asfalt en constructiebeton en een gat  $\varnothing 40$  naar de riolering.

Boven de goot wordt een voegprofiel aangebracht. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

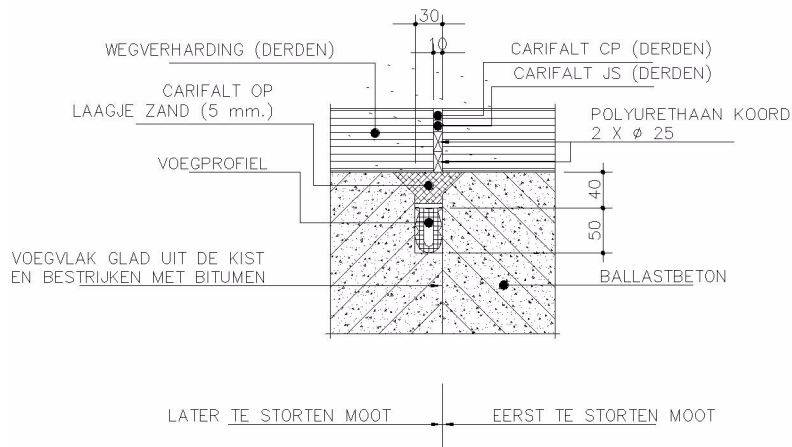
In de ingezaagde asfaltvoeg wordt polyurethaankoord aangebracht. Het resterende gedeelte van de sponning wordt voorbehandeld met hechtprimer carifalt CP en gevuld met carifalt JS.

**Motivering:**

Geen

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAILONTWERP OVERGANG BALLASTBETON/ASFALT  
T.P.V. TUNNELELEMENT



### 5.1.5.2 Overgang ballastbeton/asfalt

**Functie:**

Verzorgen van water- en/of vuilafdichting van bovenaf.

**Detailontwerp:**

De in het ballastbeton gecreëerde sponning wordt voorzien van een voegprofiel. Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het afgedekt met carifalt. Om aanhechting van het carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.

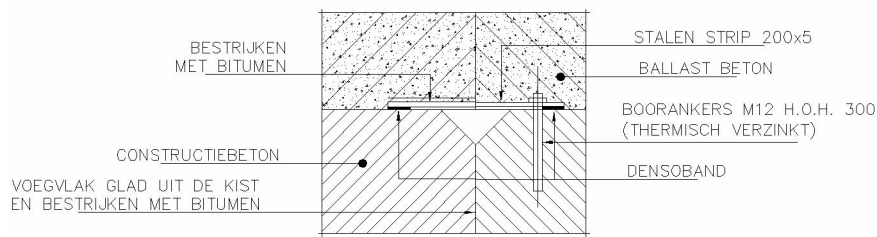
In de ingezaagde asfaltvoeg wordt polyurethaankoord aangebracht. Het resterende gedeelte van de sponning wordt voorbehandeld met hechtprimer carifalt CP en gevuld met carifalt JS.

**Motivering:**

Deze oplossing wordt toegepast in tunnelelementen waardoor vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvindt.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



LATER TE STORTEN MOOT      EERST TE STORTEN MOOT

DETAILONTWERP OVERGANG  
BALLASTBETON/ASFALT T.P.V. TUNNELELEMENT



### 5.1.5.3 Overgang ballastbeton/constructiebeton

**Functie:**

Verzorgen van waterafvoer bij eventuele lekkage.

Mogelijkheid tot inspectie doordat het water via deze goot op een gecontroleerde manier wordt af gevoerd.

**Detailontwerp:**

Een in de beton gecreëerde goot zorgt ervoor dat het eventueel aanwezige lekwater kan worden afgevoerd naar het middenkanaal. Hiertoe wordt de goot d.m.v. een sparing in de middenwand kortgesloten met het middenkanaal. De sponning wordt afgedekt met een stalen strip of voegprofiel. Dit dient in de bouwfase aangebracht te worden (als betonsterkte van aangestorte moot het toelaat) om te verhinderen dat vuil in de sponning terecht komt.

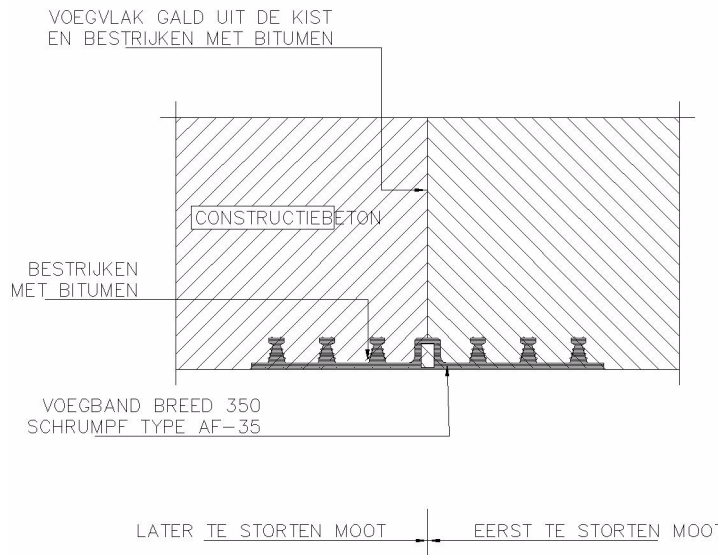
**Motivering:**

Het voegprofiel heeft de voorkeur als de betonnen oppervlakken niet exact op gelijke hoogte liggen. Het vlak aanbrengen van de stalen strippen geeft dan problemen.

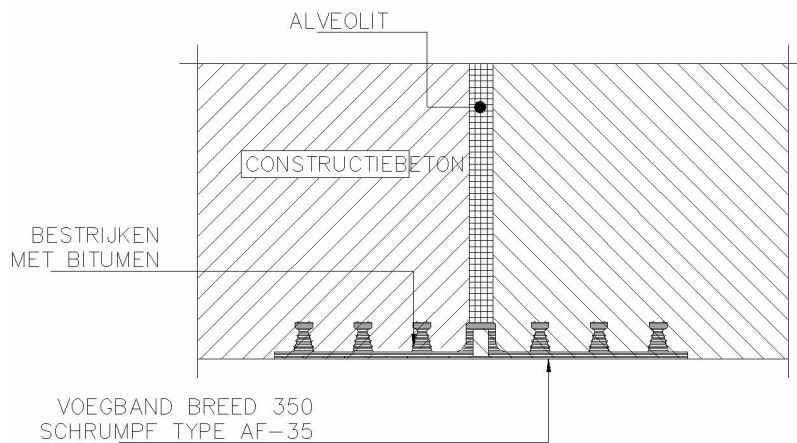
**Conservering:**

Niet van toepassing.





DETAILONTWERP ONDERKANT VLOER:  
T.P.V. OVERGANGSGEDEELTE /TUNNELELEMENT



DETAILONTWERP ONDERKANT VLOER  
OVERGANGSGEDEELTE T.P.V. TOERIT



#### 5.1.5.4 Onderkant vloer

**Functie:**

Verzorgen van gronddichting

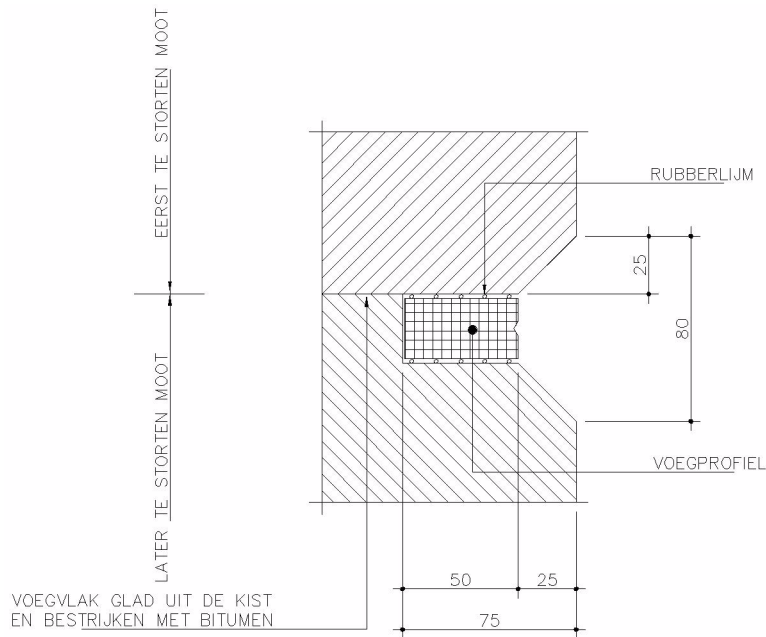
**Detailontwerp:**

Het rubber voegband (type schrumpf AF-350 of gelijkwaardig) wordt onder in de kist gelegd, waarna zowel de eerste moot als aansluitende moot gestort kunnen worden.

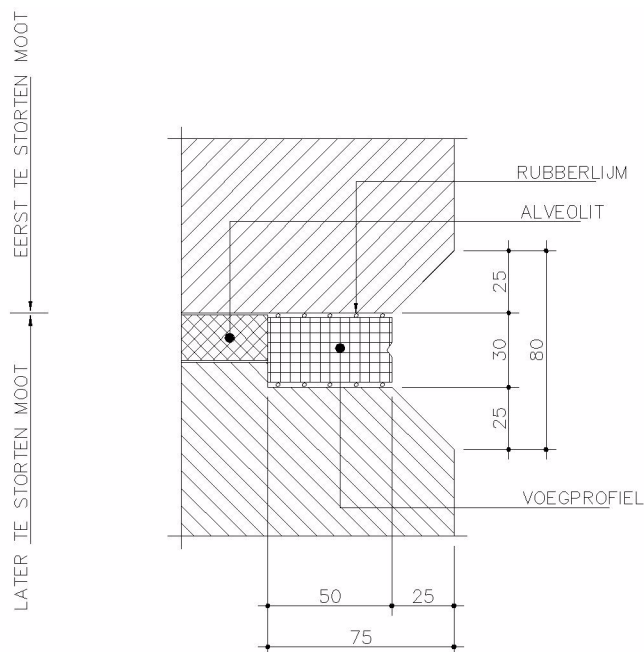
**Motivering:**

Bij het krimpen en uitzetten van het beton t.g.v. temperatuursinvloeden dringt op deze manier geen grond de dilatatievoeg binnen. Door het flexibele profiel blijft de voeg gronddicht omdat dit profiel bewegingen van de voeg zonder problemen kan volgen.

De kwaliteit van het rubber dient voor de levensduur van het kunstwerk gegarandeerd te worden.



DETAILONTWERP VOEGPROFIEL  
T.P.V. OVERGANGSGEDEELTE/TUNNELELEMENTEN



DETAILONTWERP VOEGPROFIEL  
T.P.V. TOERIT



### 5.1.5.5 Voegprofiel

**Functie:**

Verzorgen van stof- en/of gronddichting

**Detailontwerp:**

De in het beton gecreëerde sponning breed 30 mm wordt voorberekt met rubberlijm, waarna het voegprofiel aangebracht wordt.

Wordt het voegprofiel aan zout water blootgesteld dan worden speciale eisen aan het materiaal gesteld (zie documentatie).

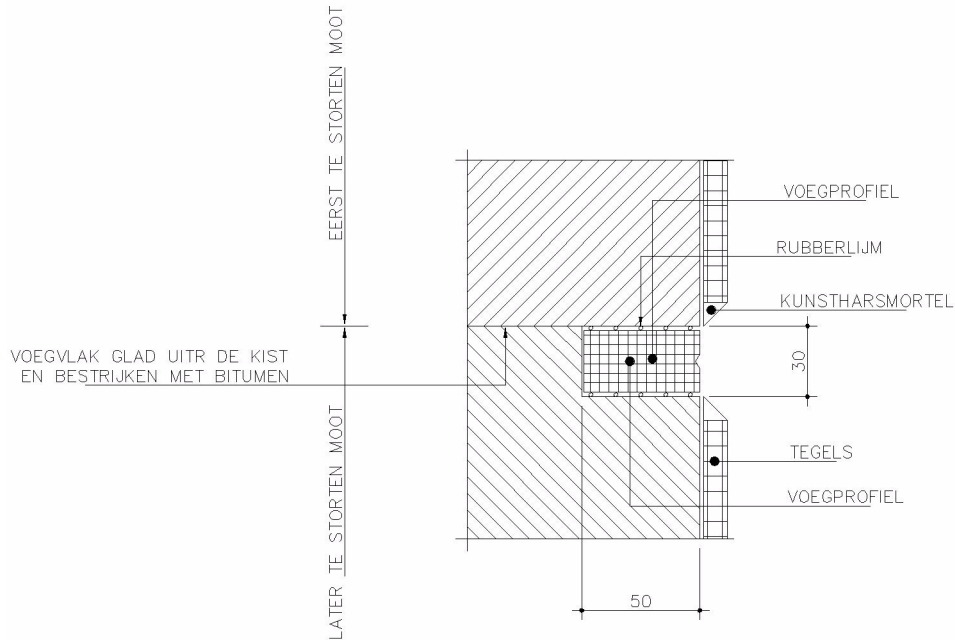
**Motivering:**

Het dilatatiebereik van een voegprofiel is ongeveer 20 mm. Aangezien t.b.v. het aanbrengen van het ACME 20A-profiel een minimale sponningsbreedte van 20 mm vereist is en de maximale sponningsbreedte 40 mm bedraagt kan i.p.v. 30 mm ook een breedte van 25 mm worden aangehouden. Het dilatatiebereik is dan 5 mm groter.

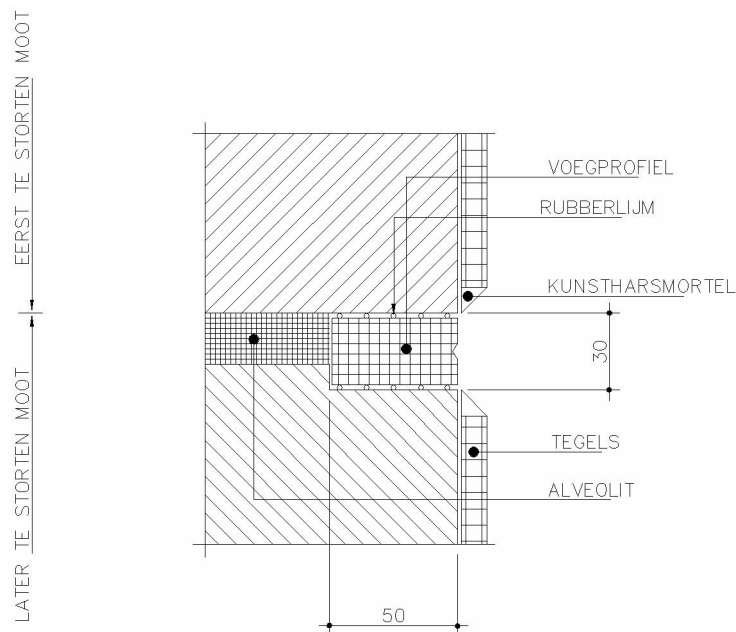
Bij zeer extreme omstandigheden m.b.t. mootlengte en temperatuur dient de toepasbaarheid van het voegprofiel i.v.m. het dilatatiebereik gecontroleerd te worden (zie documentatie).

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAILONTWERP TEGELWERK T.P.V. OVERGANGSGEDEELTE/TUNNELELEMENTEN



DETAILONTWERP TEGELWERK T.P.V. TOERIT

**5.1.5.6 Tegelwerk****Functie:**

Verzorgen van stofdichting

**Detailontwerp:**

Na het aanbrengen van de tegels wordt de in de beton gecreëerde sponning voorberekt met rubberlijm, waarna het voegprofiel aangebracht wordt.

Indien na het ontkisten 5 mm of meer van de scherpe betonrand afbrokkelt, moet deze gerepareerd worden met kunstharsmortel.

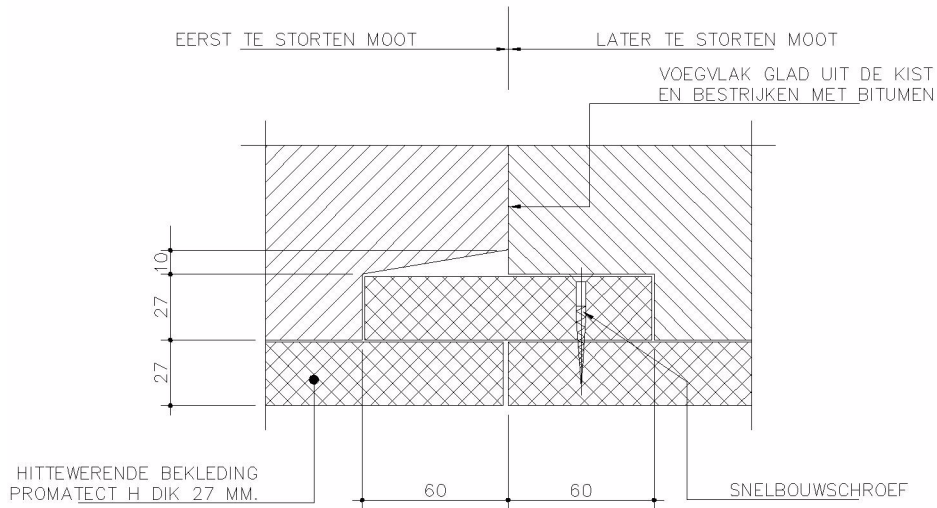
Door de scherpe randen van de tegels kan het voegprofiel beschadigd raken bij het inbrengen. Dit wordt voorkomen door de tegels iets terug te houden en dan de rand vol te zetten met kunstharsmortel.

**Motivering:**

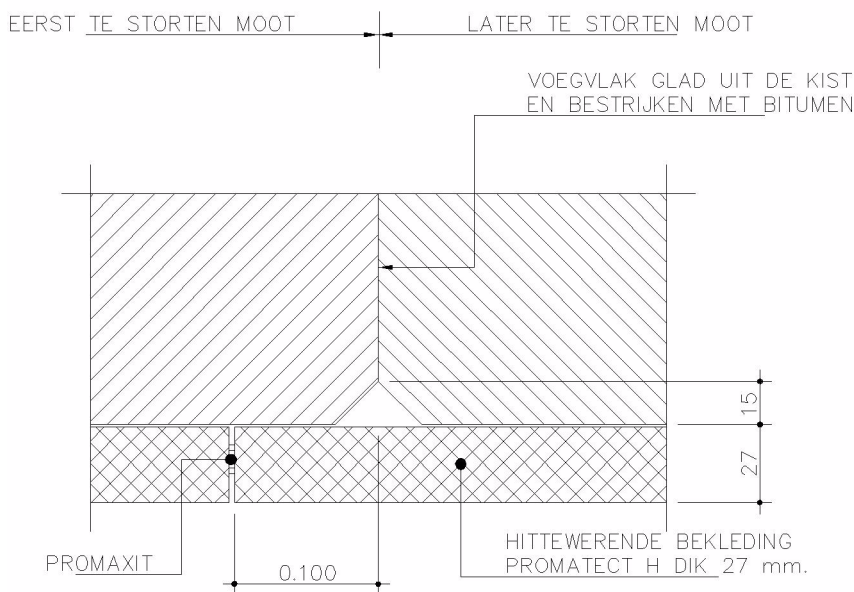
Geen

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAILONTWERP HITTEWERENDE BEKLEDING  
METHODE A



DETAILONTWERP HITTEWERENDE BEKLEDING  
METHODE B



### 5.1.5.7 Hittewerende bekleding

**Functie:**

Tegengaan van vlamdoorslag in de voeg / dilatatie hittewerende bekleding.

**Detailontwerp:**

In de eerst te storten moot wordt een lat opgenomen, die na het verharden van de beton eenvoudig kan worden verwijderd. In de erna te storten moot wordt een strook promatect H opgenomen, die d.m.v. snelbouwschroeven wordt vastgemaakt aan de ervoor liggende promatect H platen. T.p.v. de eerst te storten moot worden de strook en de ervoor liggende platen niet aan elkaar vastgemaakt (methode A). Bij renovatie kan methode B als alternatief gebruikt worden.

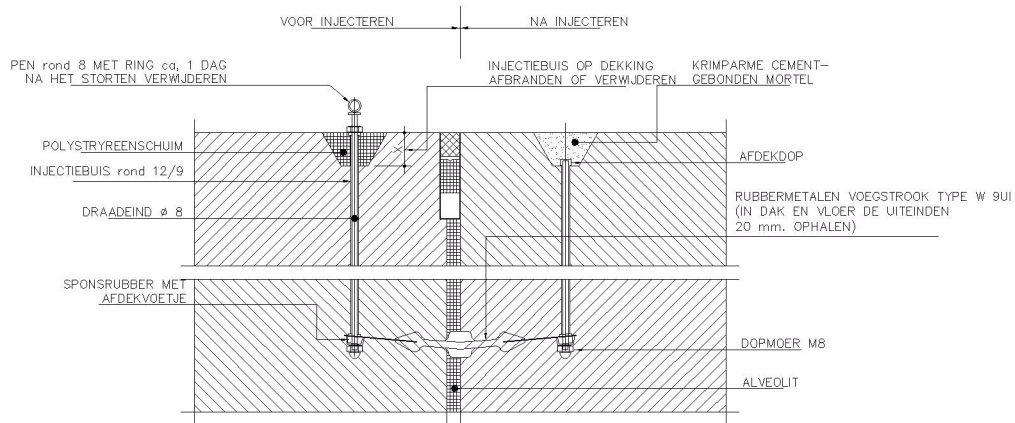
**Motivering:**

De oplossing volgens methode B wordt meestal toegepast bij later aan te brengen platen, maar heeft het nadeel dat er een sprong in de voeglijn zit (t.o.v. het voegprofiel).

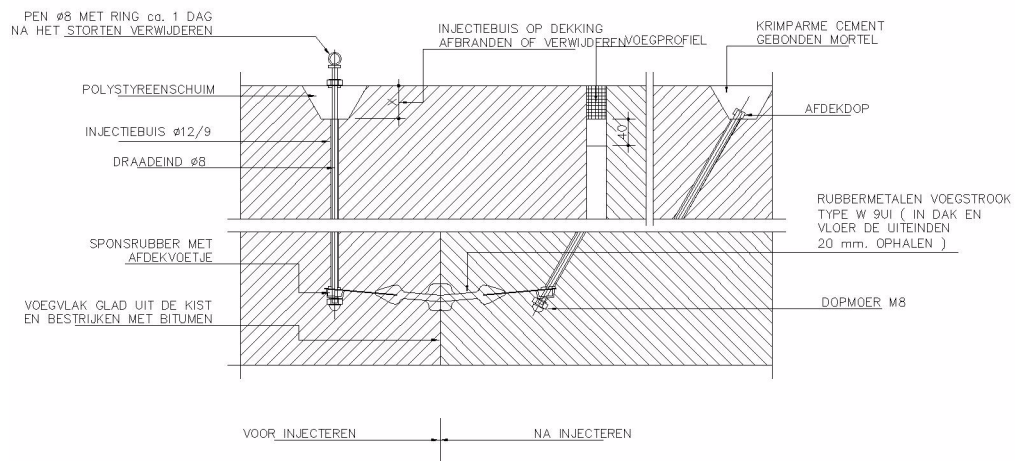
**Conservering:**

Snelbouwschroeven dienen uitgevoerd te worden in RVS.





DETAILONTWERP RUBBERMETALEN VOEGSTROOK:  
ZONDER TAND (TOERIT OP PALEN)  
MET TAND (TOERIT OP STAAL)



DETAILONTWERP RUBBERMETAAL VOEGSTROOK:  
MET TAND (TUNNELELEMENTEN)



### 5.1.5.8 Rubbermetalen voegstrook

**Functie:**

Verzorgen van een permanente waterdichting van de voeg.

**Detailontwerp:**

Er wordt een rubbermetalen voegstrook van het type W9UI ingestort. De pennen die in de injectiebuizen (h.o.h. 3-5 m) zitten worden d.m.v. dopmoeren aan de voegstrook bevestigd.

T.p.v. de vloer en het dak worden de beide uiteinden voor de stort ca. 20 mm opgehaald. Na verharding van het beton worden de pennen uit de injectiebuizen geschroefd. Via de injectiebuizen en een aan de onderzijde van de plaat aangebracht sponsje (waterzijde) wordt vervolgens het beton geïnjecteerd met een epoxy-polyurethaan. Het polystyreenschuim wordt verwijderd en de buizen worden met een afdekdop afgedicht. De overgebleven sparingen worden tenslotte gevuld met epoxy-mortel of krimparme cementgebonden mortel.

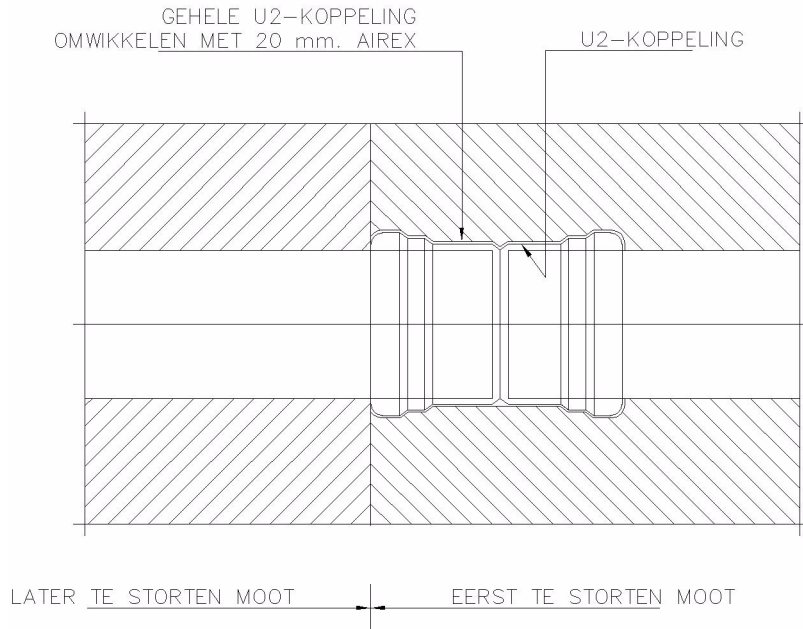
**Motivering:**

Bij een waterdruk van 0,6 kPa (0,6 ato) en groter altijd een rubbermetalen voegstrook van het type W9UI toepassen. Bij zeer extreme vervormingen en/of waterdrukken dient de toepasbaarheid van dit type echter gecontroleerd te worden (zie documentatie).

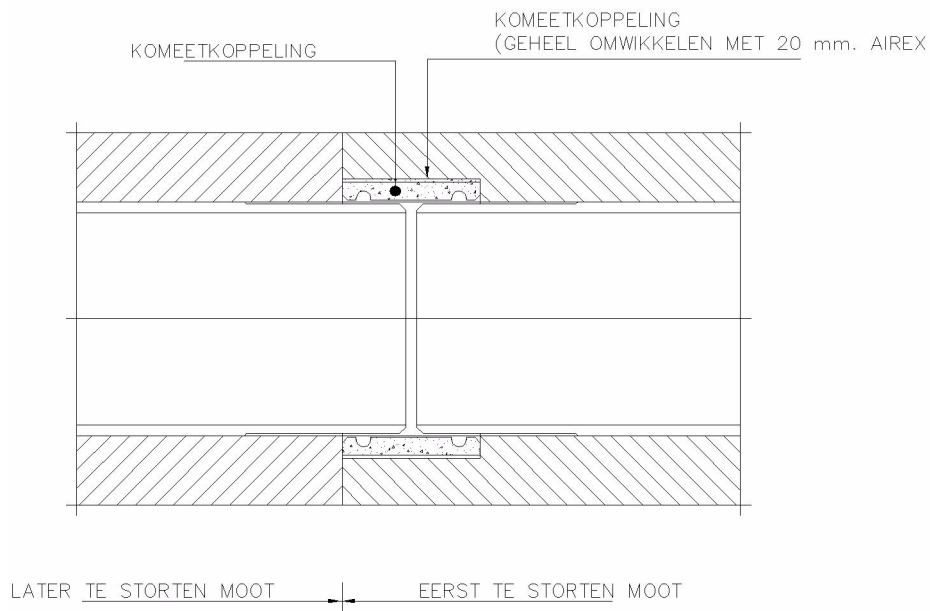
Het afdekvoetje voorkomt dat het injectiesponsje ingeknepen wordt, waardoor niet meer geïnjecteerd kan worden. Om te voorkomen dat lucht ingesloten wordt, worden de uiteinden van het profiel in dak en vloer opgetrokken.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



### DETAILONTWERP BUIS MET U2-KOPPELING



### DETAILONTWERP BUIS MET KOMEETKOPPELING



### 5.1.5.9 Leidingen

**Functie:**

Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op en evenwijdig aan het voegvlak.  
Toestaan van rotatie.

**Toepassingen:**

Bij leidingen t.p.v. dilatatievoegen zowel in constructiebeton als in ballastbeton.

**Detailontwerp:**

Aan het uiteinde van de eerste te storten moot wordt een met 20 mm airex omwikkelde U2-koppeling (P.V.C.) of komeetkoppeling (vezelcement) ingestort. Bij doorvoer van leidingen  $\varnothing$  63/55 wordt veelal een "verlengde" U2 koppeling toegepast (zie documentatie).

**Motivering:**

De koppeling wordt omwikkeld met airex zodat enige zetting kan worden opgenomen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



### 5.1.5.10 Achtergronden

Bij een waterdruk van 0,6 kPa (0,6 ato) en groter dient altijd een rubbermetalen voegstrook van het type W9UI toegepast te worden. Bij zeer extreme vervormingen en/of waterdrukken dient de toepasbaarheid van dit type echter gecontroleerd te worden (zie documentatie leveranciers).

Het afdekvoetje van de rubbermetalen voegstrook voorkomt dat het injectiesponsje ingeknepen wordt, waardoor het de functie van transportmiddel verliest en er niet meer geïnjecteerd kan worden. Om te voorkomen dat lucht onder het profiel wordt ingesloten, dienen de staalplaten tijdens het instorten van het W9UI-profiel in dak en vloer opgetild te worden.

(In ref.1 staat een opsomming van 19 punten, hoe men deskundig beton kan storten.)



Fig. 1 foto van luchtholtes in een kern onder een rubbermetalen voegstrook. De rubbermetalen voegstrook altijd aan de buitenste tanddeel aanbrengen om, in verband met vorst, het water zover mogelijk van de binnenzijde af te houden. De rubbermetalen voegstrook op minimaal 0,30 m van de buitenzijde van de constructie plaatsen. Dit is om de wapening nog op een redelijke manier te kunnen aanbrengen.

Het injectiesponsje aan de "waterzijde" plaatsen om het water zo ver weg van de binnenzijde te houden.

De h.o.h. afstand van de injectiebuizen moet niet groter zijn dan 3 à 4 m en injecteren met epoxyhars met een druk van ca. 0,6 Mpa. (=6 bar)

*De praktijk is dat de drukken altijd veel hoger zijn en begrenst moeten worden op maximaal 20 bar om juist mogelijke scheurvorming tegen te gaan.*

Bij grotere h.o.h. afstanden van de injectiebuizen neemt de injectiedruk toe en dus ook de kans op scheuren van het beton.

Doordat het betonnen tanddeel, dat net boven de voegstrook ligt, in zijn functie onder druk komt te staan en het betonnen tanddeel onder de voegstrook altijd meewerkt, kan de resterende hoogte van het beton boven de voegstrook beter in de verhouding 2 : 3 worden verdeeld zodat het bovenste tanddeel een grotere capaciteit kan ontwikkelen (voorgaande omschrijving is voor een vloer; voor het dak geldt het omgekeerde.). De hoogte van de tand dient wel te worden berekend.

De afstand van de, rondom de rubbermetalen voegstrook aan te brengen, wapening tot de voegstrook maximaal 50mm aanhouden, zodat trekspanningen, ontstaan tijdens het injecteren, door deze wapening kunnen worden opgenomen en eventuele scheurvorming kan worden beperkt. Om tijdens het injecteren het splijten van het beton te voorkomen moet de wapening aan de einden van de voegstrook niet in een X-vorm (ook wel visbek genoemd) worden gelegd maar gebruik maken van verstekken of door gebruik maken van een omgebogen wapening. (de wapening evenwijdig en loodrecht op de voegstrook.)

De middenwanden hebben geen water te keren en worden daarom niet voorzien van een rubbermetalen voegstrook. In bijzondere gevallen waarbij grote dwarskracht in de voeg moet worden overgebracht wordt een tand in de middenwanden of de binnenste helft van de buitenwanden gemaakt.

De (rubbermetalen) voegstrook heeft, in de loop der jaren, diverse kleine aanpassingen ondergaan omdat er zich oa problemen voordeden mbt het injecteren van het sponsrubber, hechting van staalplaat aan beton en roestvorming in de bouwfase. Na het samengaan van twee leveranciers zijn de goede eigenschappen van beide producten overgenomen en is het huidige W9UI-profiel op de markt gebracht. Dit profiel heeft als sponsrubber EPDM/CR waardoor dit sponsje makkelijk loslaat van het beton, zodat er het injecteren soepel verloopt.

Echter de rubbermetalen voegstrook blijft een kritisch onderdeel in het ontwerp. Het goed functioneren van deze waterafdichting hangt in grote mate af van het degelijk aanbrengen van de voegstrook in de uitvoeringsfase en het op de juiste wijze inbetoneren van de voegstrook.

Bij vroegere tunnels (vlake- en kiltunnel) werden de W9U profielen (toen nog niet nainjecteerbaar) in een V-vorm geplaatst. Dit voorkomt een grote mate van luchtbelinsluitingen, echter is minder praktisch voor de wapening.

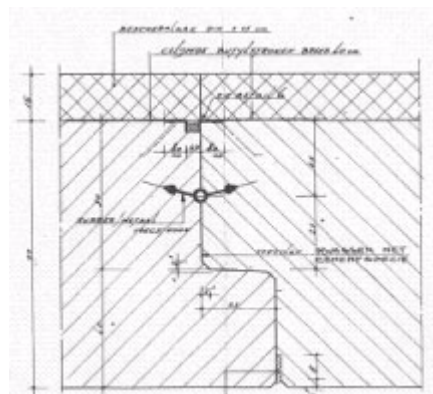


Fig. 2W9U profiel geplaatst in een V-vorm (vlaketunnel)

Aan de buitenzijde van de voeg wordt alsnog een, eerder genoemde, tweede dichting aangebracht. Aan de onderzijde van de vloer in de vorm van een aan één zijde bevestigde verzinkte stalen strip en in de buitenwanden en het dak in de vorm van een rubberen voegprofiel. Om aanhechting te voorkomen worden de stalen strippen aan één zijde van de voeg met bitumen bestreken.



Deze dichting is niet bedoeld als waterdichting maar om te voorkomen dat er vuil in de voeg komt. Bij opengaan van de voeg doordat de moot verkort, kan zand e.d. in de voeg komen. Als de moot weer uitzet, kan de voeg niet meer dicht. Het gevolg is dat bij herhaling de voeg steeds wijder wordt en er ontstaat door opspanning een kruip effect waardoor de eindmoten opzij worden geduwd. Bij op palen gefundeerde moten geeft dit kruipeffect invloed op de palen. Dit kruip effect is bij het noordelijk toerit van de Coentunnel geconstateerd. In de tunnel waar de temperatuurschommeling geringer is, zal dit effect minder optreden.

Aan de binnenzijde van de voeg wordt een rubber voegprofiel (acme) aangebracht ter plaatse van de vloer en alle wanden van alle kokers en ter plaatse van het dak daar waar geen hittewerende bekleding wordt toegepast. Het dak en de bovenste meter van de wanden in de verkeerskoker worden voorzien van een hittewerende bekleding. Het voegprofiel wordt om dezelfde redenen aangebracht als die aan de buitenzijde van de voeg, n.l. het voorkomen dat vuil in de voeg komt. Doch in tegenstelling tot die aan de buitenzijde moet het voegprofiel aan de binnenzijde de voeg vloeistofdicht afsluiten:

- a. in de vloer om te voorkomen dat gevaarlijke stoffen niet in de voeg terecht kunnen komen en de enige waterdichting van de constructie, de rubbermetalen voegstrook, zodanig te beschermen dat deze niet wordt aangetast. Het voegprofiel zelf mag bij een calamiteit worden aangetast waarna het vervangen dient te worden. Door het omzetten van het voegprofiel van de vloer naar de wanden ontstaat een waterdichte afsluiting. Het is niet toegestaan om het voegprofiel in de hoeken in te knippen.  
Bij tunnels waarbij ballastbeton is aangebracht wordt het voegprofiel in de voeg van het ballastbeton aangebracht.  
Om beschadiging van het voegprofiel bij het asfalteren te voorkomen wordt het voegprofiel verzonken aangebracht en afgedekt met Carifalt<sup>1</sup>. Om aanhechting van het Carifalt aan het voegprofiel te voorkomen wordt eerst een laagje zand op het voegprofiel aangebracht.
- b. in de wanden om het eventuele lekwater vanuit het dak naar de vloer te geleiden.
- c. in het dak van het middenkanaal om te voorkomen dat het eventuele lekwater uit
- d. het dak in de kabelkoker terecht komt. Door het omzetten van het voegprofiel van het dak naar de wanden ontstaat een waterdichte afsluiting. Het is niet toegestaan om het voegprofiel in de hoeken in te knippen.  
In het verleden werd (horizontaal) Carifalt toegepast in plaats van een voegprofiel. Carifalt wordt in dit detail als vervanger van een voegprofiel niet meer toegepast om de volgende reden:
  - a. Carifalt verliest zijn elasticiteit naarmate het ouder wordt;
  - b. Carifalt gaat op den duur kieren en verliest zo zijn functie;
  - c. tegenwoordig worden gevaarlijke stoffen door de tunnels vervoerd die de rubbermetalen voegstrook kunnen aantasten.

Ondanks de flexibiliteit van het voegprofiel wordt deze gecomprimeerd en aan weerskanten verlijmd in de sponning aangebracht.

Eventueel lekwater wordt afgevoerd via een goot (verdiepte sponning ter plaatse van een dilatatievoeg van de vloer in het constructiebeton), onder het voegprofiel.

---

1. Bij de Benelux is i.p.v. Carifalt met een laagje zand alleen maar krimparme mortel toegepast.





Door vanuit de goot een gat  $\varnothing$  40 mm naar de riolering te boren kan het water via de riolering worden afgevoerd.

Bij aanwezigheid van ballastbeton en een "horizontale" ligging van de constructievloer kan dat niet. De riolering ligt immers hoger dan de vloer in het middenkanaal. Het water in de voeg zal eerder in het middenkanaal uit de voeg stromen dan naar de hoger gelegen goot te stromen. Het heeft dus geen zin om in het ballastbeton de goot te maken.

De goot wordt dan aan de bovenzijde van de constructievloer aangebracht en afgedekt door een voegprofiel die in de bouwfase zo snel mogelijk dient te worden aangebracht. Het water wordt door een sparing in de middenwand en een overstortprofiel naar het middenkanaal afgevoerd. Dit betekent dat bij lekkage de gehele voeg in de vloer gevuld is met water. De waterstand in de voeg is gelijk aan de bovenkant overstortprofiel.

Het lekwater wordt naar het diepste punt van de tunnel afgevoerd. Om te voorkomen dat lekwater uit een hoger gelegen voeg vrijelijk over de vloer van het middenkanaal stroomt en in een lager gelegen voeg stroomt, is het raadzaam om een langsgoot te introduceren. De onderzijde van de langsgoot moet gelijk zijn aan de bovenzijde van het voegprofiel.

*Bij de Beneluxtunnel was dit niet mogelijk omdat ter plaatse van de middenkoker de constructiehoogte van de vloer 300mm meer was dan het overige gedeelte van de vloer. Daar is dan ook een sparing gemaakt van 300mm diep. Door regelmatige schouwing is het wel mogelijk om de lekkende voeg te ontdekken en zonodig te herstellen.*

In het verleden werd de goot in de toerit en in de tunnelementen zonder ballastbeton, afgedekt door een verzinkte stalen plaat. Deze plaat ligt op de vloer en sluit, vanwege de ruwe vloeroppervlak, niet vlak aan waardoor vuil alsnog in de goot terecht kan komen. Afgezien dat de verzinkte platen duur en moeilijk aan te brengen zijn, vormden zij in de bouwfase een obstakel en werden zij door het zware bouwverkeer vaak beschadigd.

Indien in de vloer, ter plaatse van de wanden, om constructieve redenen een voûte (schuine verhoging) aanwezig is én de ligging van de goot niet hoger is dan de vloer in het middenkanaal, zal de afvoer van lekwater via een diepe sparing moeten worden opgevangen. De grote sparing zal dienst doen als "schouwput" maar voorkomt niet dat lekwater in de ballastbeton verdwijnt. Het lekwater zal niet via de goot in de ballastbeton (bijna wegniveau) naar de riolering kunnen worden afgevoerd.

De tijdelijke langvoorspanning (geïnjecteerde) in de tunnelementen worden ter plaatse van de dilatatievoegen doorgesneden. Vóór het doorsnijden moet worden aangetoond, dat de veiligheid van de tunnel voldoende is geborgd. Het doorsnijden wordt om de volgende redenen gedaan:

- a. om als gevolg van temperatuurwisselingen een geringe beweging loodrecht op het voegvlak mogelijk te maken. Wordt de voorspanning in de voegen niet verwijderd, dan cumuleert de verandering in de zinkvoeg waardoor een te grote gaping kan ontstaan (Zeeburgertunnel<sup>1</sup>);

---

1. De Zeeburgertunnel staat op palen en de voorspanning is niet doorgeknipt. Omdat tunnelement 1 (noord) nauwelijks onder water ligt (op het dak staat daar ca 60 cm water) is dit deel meer onderhevig aan temperatuurschommelingen. In de winter is er dan ook ijs mogelijk bij het gina profiel, dat bij verkorting van het tunnelement nauwelijks de verkorting volgt. Er ontstaat dan een kier van enkele mm. Dit is niet erg omdat het omega profiel de waterdichting is. Bij dieper gelegen tunnels komt dit niet voor (wel doorgeknipte voorspanning en mindere temperatuurseffecten door vloer/wand/dak)



- b. om als gevolg van ongelijke zetting een geringe rotatie loodrecht op de tunnelas mogelijk te maken zodat de tunnel een kettinglijn kan vormen en als het ware spanningsloos op de fundering rust;
- c. om te voorkomen dat de tand- of deuvelconstructie in de zink- en sluitvoegen te zwaar worden belast.

**Referentie lijst:**

notitie: Deskundig betonstorten van tunnel-onderdelen: L. Leeuw, mei 2001





## Inhoudsopgave Zink- en sluitvoegen

- 5.2.1 Inleiding
  - 5.2.1.1 Probleemstelling
  - 5.2.1.2 Doelstelling
  - 5.2.1.3 Oplossingen
- 5.2.2 Zinkvoeg vloer
  - 5.2.2.1 Tunnelement - tunnelement t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.2.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.2.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.2.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal
- 5.2.3 Zinkvoeg wand
  - 5.2.3.1 Zinkvoeg t.p.v. middenwand
  - 5.2.3.2 Tunnelement-tunnelement t.p.v. buitenwand
  - 5.2.3.3 Tunnelement-landhoofd t.p.v. buitenwand
- 5.2.4 Zinkvoeg dak
  - 5.2.4.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.4.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.4.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.4.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.4.5 Achtergronden zinkvoegen
- 5.2.5 Sluitvoeg vloer
  - 5.2.5.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.5.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.5.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.5.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal
- 5.2.6 Sluitvoeg wand
  - 5.2.6.1 Sluitvoeg t.p.v. middenwand
  - 5.2.6.2 Tunnelement-tunnelement t.p.v. buitenwand
  - 5.2.6.3 Tunnelement-landhoofd t.p.v. buitenwand
- 5.2.7 Sluitvoet dak
  - 5.2.7.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.7.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker
  - 5.2.7.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.7.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal
  - 5.2.7.5 Achtergronden sluitvoegen
- 5.2.8 Speciale sluitvoeg
  - 5.2.8.1 Voeg met pneumatisch profiel
  - 5.2.8.2 Voeg met wigconstructie (vloer)
  - 5.2.8.3 Voeg met wigconstructie (wand en dak)
  - 5.2.8.4 Achtergronden speciale sluitvoegconstructies
- 5.2.9 Bijbehorende details
  - 5.2.9.1 Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg
  - 5.2.9.2 Detail 2 Waterafdichting
  - 5.2.9.3 Detail 3 Krachtoverdracht
  - 5.2.9.4 Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt
  - 5.2.9.5 Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels
  - 5.2.9.6 Detail 6 Voegafwerking wand met tegels
  - 5.2.9.7 Detail 7 Afwerking zinkvoeg dak
  - 5.2.9.8 Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak
  - 5.2.9.9 Detail 9 Stalen aanslag in de vloer



---

Tunneldetails

5.2.9.10 Detail 10 In te storten aanslag in het dak



## 5.2 ZINK- EN SLUITVOEGEN

### 5.2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de zink- en sluitvoegen in de vloer, wanden en dak van de tunnelementen.

Het geheel is in drie onderdelen verdeeld.

**a: Zinkvoegen;**

**b: Sluitvoegen;**

**c: Details.**

In 1995 is dit hoofdstuk doorgelicht op eventuele vereenvoudigingen. Dit heeft geresulteerd in een eerste aanpassing die het gevolg was van een gewijzigde detaillering van de zink- en sluitvoegen van de Wijkertunnel. Deze details zijn aan dit hoofdstuk toegevoegd.

Een tweede aanpassing van dit hoofdstuk is het gevolg van een gewijzigde detaillering van de zink- en sluitvoegen van de Tweede Beneluxtunnel. Het gaat hierbij overigens om kleine aanpassingen.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

- definitief: juli 1993
- 1e herziening: juli 1995
- 2e herziening: februari 1997
- 3e herziening: december 2000
- 4e herziening: januari 2005

#### 5.2.1.1 Probleemstelling

Een zinktunnel wordt niet gebouwd op de locatie waar deze moet liggen. De af te zinken tunnel wordt gebouwd in een bouwdok, dat soms naast het tracé ligt (Heinenoordtunnel) maar soms ook heel ver weg (Wijkertunnel, die zelfs over zee werd getransporteerd). Ook kan de zinktunnel ter plaatse worden gebouwd door een deel van het tracé tijdelijk als een bouwdok in te richten (Zeeburgertunnel) of in de toerit. Deze laatste locatie is alleen nog maar toegepast voor aquaducten (Margrietunnel en aquaduct Alphen a/d rijn). Afhankelijk van de lengte van het afgezonken deel van de tunnel wordt deze, op economische en bouwtechnische gronden, verdeeld in een aantal tunnelementen die later één voor één worden afgezonken en waterdicht aan moeten sluiten. De aansluitvlakken worden de zinkvoegen genoemd.

Voor het afzinken van het laatste tunnelement is extra ruimte nodig voor de manoeuvreerbaarheid (toleranties) om veilig te kunnen afzinken tussen twee elementen. (of element en landhoofd). Hierdoor ontstaat, na het aansluiten van dat tunnelement op het voorgaande, aan de andere zijde van het tunnelement, een opening van circa 1,20 m die de sluitvoeg wordt genoemd. Deze sluitvoeg ligt tussen twee tunnelementen of tussen een tunnelement en het landhoofd. (of overgangsgedeelte) Dit laatste is meestal niet het geval omdat er voldoende waterdiepte moet zijn of ruimte naast het element om het laatste element op zijn plaats te leggen.



### 5.2.1.2 Doelstelling

Waar moet een zink-en sluitvoeg aan voldoen:

- de tunnelementen moeten op elkaar aan kunnen sluiten;
- er dient een waterdichte constructie gemaakt te worden;
- er moeten geringe bewegingen loodrecht op het voegvlak mogelijk zijn;
- er moeten geringe rotaties loodrecht op as tunnel mogelijk zijn;
- de verschilverplaatsing en -rotatie in de voegen moeten worden voorkomen.

Op deze manier vormen de moten van de tunnelementen een waterdichte "kettinglijn" waarbij de zink- en sluitvoegen samen met de dilatatievoegen de schakels vormen.

### 5.2.1.3 Oplossingen

Het primaire doel is om de tunnelementen constructief tegen elkaar aan te kunnen sluiten en het garanderen van de waterdichtheid zowel tijdens de uitvoering als in de eindfase.

De waterdichtheid van de tunnel wordt als volgt gerealiseerd:

#### a: zinkvoeg

Voor het aansluiten van de tunnelementen wordt het Gina-profiel gebruikt. Het profiel werd eind jaren vijftig door Gemeentewerken Rotterdam ontwikkeld en begin jaren zestig voor het eerst toegepast voor het afzinken van de tweede zinktunnel in Nederland, de Metrotunnel onder de Maas te Rotterdam.

Bij de eerste zinktunnel, de Maastunnel, werden de tunnelementen op een meter afstand van elkaar afgezonken. Tussen de tunnelementen werden wiggen geplaatst om te voorkomen dat bij het leegpompen van de zinkvoegen de tunnelementen, door de waterdruk, naar elkaar toe worden gedrukt. Rondom de tunneldoorsnede werden stalen schotten geplaatst die waterdicht werden gelast tegen de stalen bekleding van de tunnel. Na het leegpompen van de zinkvoeg, werd de volledige betonnen tunneldoorsnede gestort. Om het dak van de voeg in den droge te kunnen storten stak het stalen dakschot als een caisson 2,0 m boven het dak uit. Het dakschot werd voorzien van een schacht die boven het waterniveau uitstak. Na het storten van het dak werd deze voorzien van een stalen bekleding die waterdicht werd gelast aan de tunnelbekleding. Het stalen dakschot en de schacht werden later verwijderd.

Het verschil met de zinkvoeg van de Metrotunnel is, dat tegenwoordig in de droge zinkvoeg:

- een tweede dichting wordt aangebracht in de vorm van het Omega-profiel, dit is de permanente waterafdichting. (primaire afdichting)
- de tunnel niet wordt voorzien van een stalen bekleding, omdat het Gina-profiel de functie van eerste waterdichting heeft overgenomen..

Het in de zinkvoeg te storten tunneldeel wordt aan de ene zijde constructief verbonden met een van de tunnelementen en aan de andere zijde voorzien van een dilatatievoeg met tand- of deugelconstructie om zettings- en rotatieverschillen tussen de tunnelementen te voorkomen en dwarskracht over te brengen. Vanaf de Wijkertunnel is steeds een dubbele tand in de vloer gemaakt ipv een stalen deugel of constructieve tand in het dak. Hiervoor dient er wel voldoende hoogte in de vloer aanwezig te zijn

**b. sluitvoeg**

Voor de sluitvoeg wordt het principe van de zinkvoeg van de Maastunnel toegepast. In de jaren 1970 t/m 1988 is in de resterende ruimte van de sluitvoeg een dubbel omega-profiel toegepast, terwijl de vloer en de wanden constructief met beton met elkaar werden verbonden. Ter plaatse van het dak werden toen de zogenaamde No-Brandaplaten toegepast. Bij het maken van de Botlek (G.W.R.) en later de Tunnel onder de Noord is men weer overgegaan op de "ouderwetse, maar in een nieuw jasje gestoken" constructieve voeg.

In de sluitvoeg worden t.p.v de wanden betonnen wiggen geplaatst en rondom de aangepaste rechthoekige tunneldoorsnede afgedicht met stalen schotten. Daar de tunnel tegenwoordig geen stalen bekleding meer heeft kunnen de schotten niet waterdicht worden aangelast. De schotten worden met behulp van rubberen fenderprofielen waterdicht op de tunnelementen aangesloten m.b.v. knevelverbindingen. Na het leegpompen van de sluitvoeg wordt de volledige betonnen tunneldoorsnede gestort.

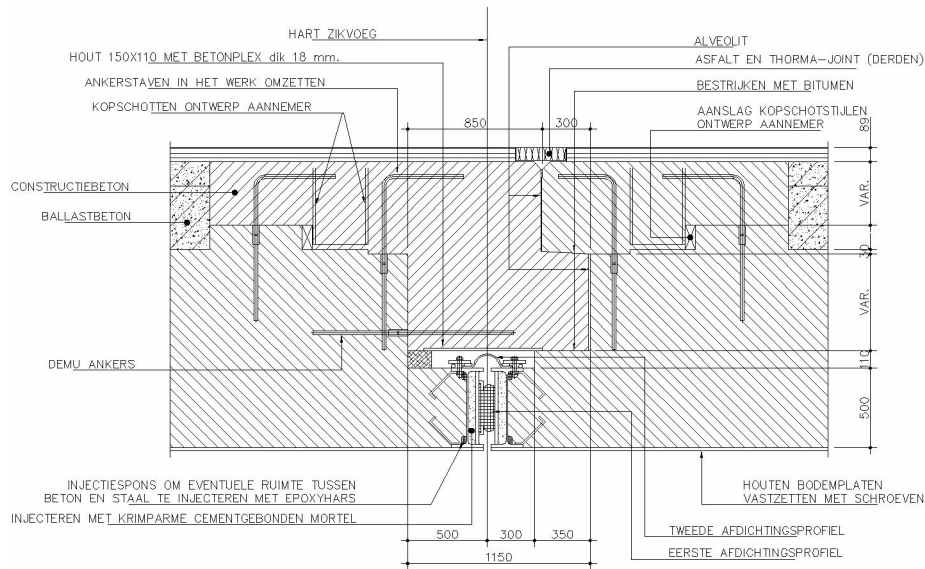
De tunneldoorsnede in de sluitvoeg wordt aan de ene zijde constructief verbonden met een van de tunnelementen en aan de andere zijde voorzien van een dilatatievoeg met tand- of deugelconstructie om zettingsverschillen tussen de tunnelementen te voorkomen en dwarskracht over te brengen. Als waterdichting wordt de voeg aan beide zijden voorzien van een injecteerbare rubbermetalen voegstrook.



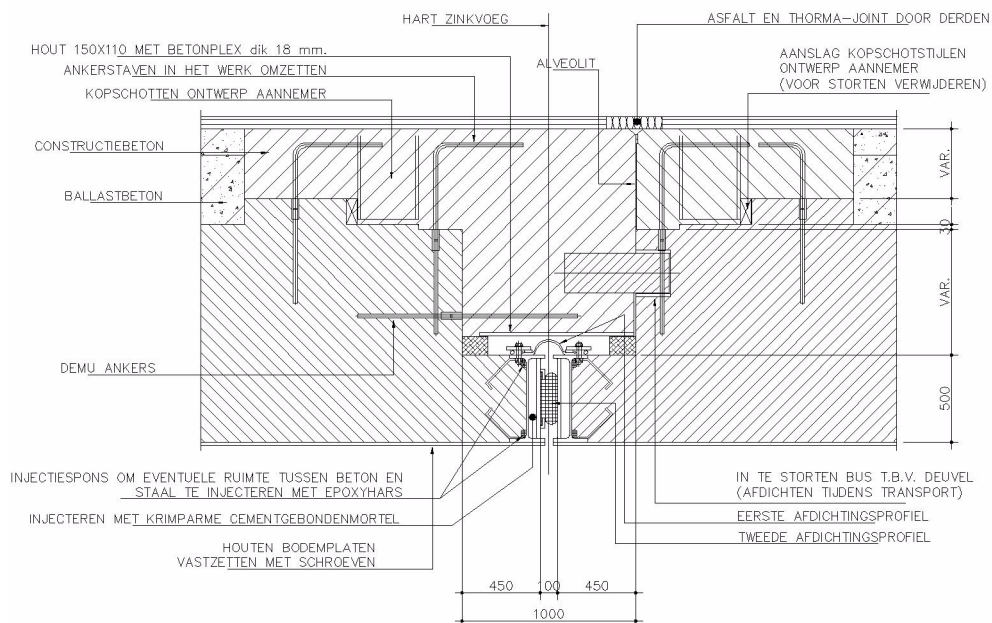




## **5.2.2 Zinkvoeg vloer**



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG VLOER MET BETONNEN TAND



DETAILONTWERP TUNNELELEMENTEN T.P.V. VERKEERSKOKER: AFWERKING ZINKVOEG VLOER MET STALEN DEUVEL



### 5.2.2.1 Tunnelement - tunnelement t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en grondichting in de eindfase. toestaan van geringe bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen, translaties en rotaties evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (bv. IPE-profiel met ingelaste plaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

Indien er voldoende hoogte is om de dwarskracht over te brengen dan wordt in de voeg van de vloer een dubbele gewapend betonnen tand gemaakt. Is deze hoogte te gering dan worden of in vloer en dak een betonnen tand gemaakt of er worden stalen deuvels toegepast (in secundaire einde).

Van belang is dat de tand- (of deuvel)werking in twee richtingen is en roteren voorkomt.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte hiervan wordt d.m.v. een berekening bepaald.

T.p.v. voeg in asfalt een voegprofiel toepassen met eventueel een Thorma Joint.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

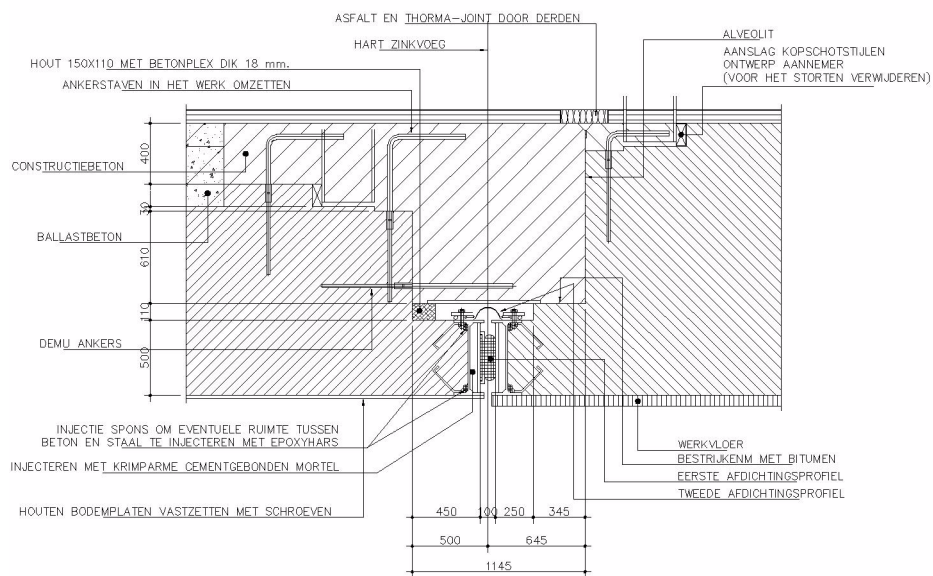
Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

Detail 3 Krachtsoverdracht (5.2.9.3)

Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt (5.2.9.4)

Detail 9 Stalen aanslag in de vloer (5.2.9.9)



DETAILONTWERP TUNNELELEMENT-LANDHOOFD T.P.V. VERKEERSKOKER:  
AFWERKING ZINKVOEG VLOER



### 5.2.2.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.  
Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op het voegvlak.  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn en waarbij landhoofd op palen is gefundeerd.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van element en landhoofd voorzien van een stalen omranding (b.v. IPE-profiel met ingelaste plaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

Het tunnelement wordt opgelegd op het landhoofd. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

T.p.v. asfalt een Thorma Joint en voegprofiel toepassen.

**Motivering:**

In de meeste gevallen volstaat een tand die in één richting werkt omdat het landhoofd niet (of nauwelijks) aan zetting onderhevig is.

Mocht er een tand (of deuvel) nodig zijn die in twee richtingen werkt dan wordt verwezen naar de details in hoofdstuk 'Tunnelement - tunnelement t.p.v. verkeerskoker'.

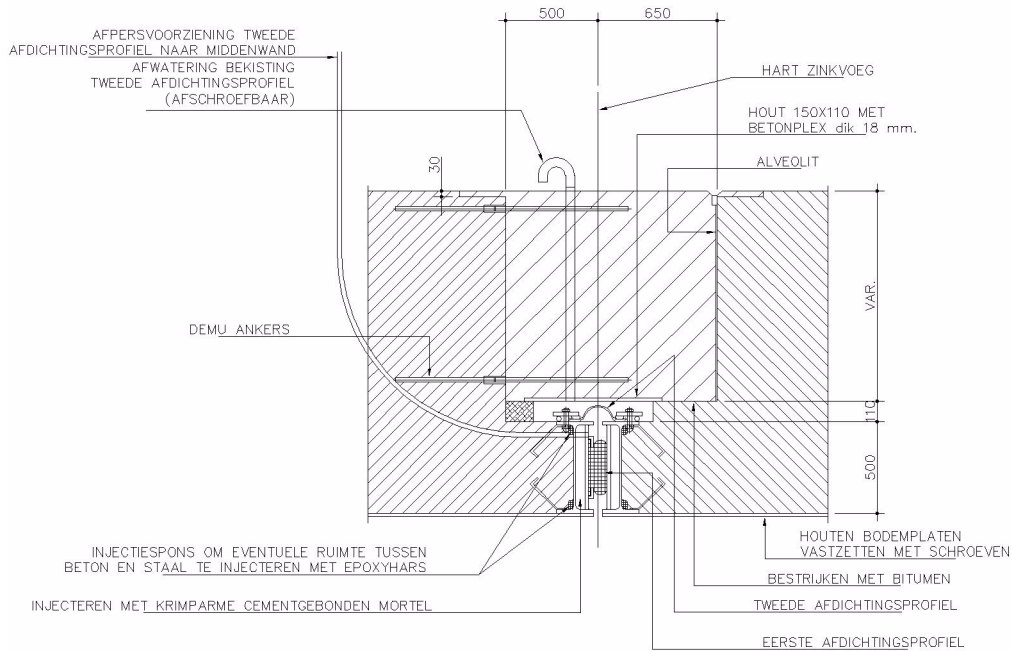
**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

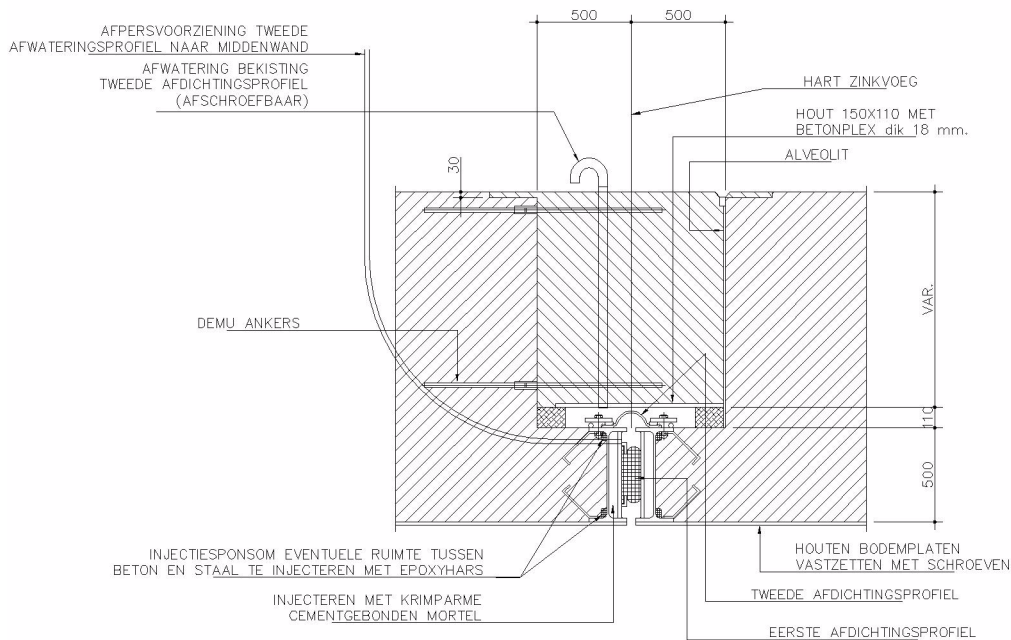
Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt (5.2.9.4)

Detail 9 Stalen aanslag in de vloer (5.2.9.9)



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VERKEERSKOKER )



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG VLOER

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VERKEERSKOKER )



### 5.2.2.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.  
Toestaan van geringe bewegingen loodrecht op het voegvlak.  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (b.v. IPE-profiel met ingelaste plaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

Wordt in de vloer van de verkeerskoker een betonnen tand toegepast, dan wordt deze in de vloer van het middenkanaal doorgezet. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening. Worden in de vloer stalen deuvels toegepast dan hoeft geen betonnen tand in de vloer van het middenkanaal te worden gemaakt. Wel mag een (smallere) betonrug worden gebruikt om azobé te besparen. Er moet dan een afweging worden gemaakt tussen minder azobé en een moeilijker te maken bekisting.

T.b.v. afvoeren lekwater tussen eerste en tweede afdichting wordt t.p.v. de vloer in het middenkanaal een HDPE-buis Ø63 door de bekisting van het Omega-profiel gevoerd. Deze buis omzetten of bij rechte buis afsluiten. Lekwater op de vloer van het middenkanaal waarschuwt voor lekkage. Het lekwater wordt uiteindelijk via de middenpompenkelder afgevoerd.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

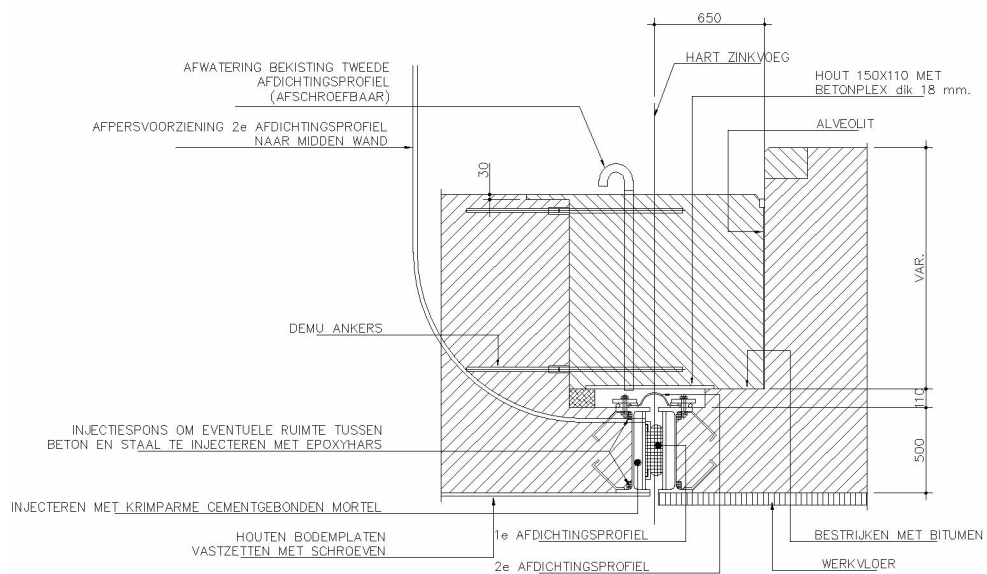
De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)





DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG VLOER



#### 5.2.2.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en grondichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn en waarbij landhoofd op palen is gefundeerd.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (IPE-profiel met ingelaste plaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

De betonnen tand in de vloer van de verkeerskoker wordt doorgezet in de vloer van het middenkanaal. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

T.b.v. afvoeren lekwater tussen eerste en tweede afdichting wordt t.p.v. de vloer in het middenkanaal een HDPE-buis Ø63 door de bekisting van het Omega-profiel gevoerd. Deze buis omzetten of bij rechte buis afsluiten. Lekwater op de vloer van het middenkanaal waarschuwt voor lekkage. Het lekwater wordt uiteindelijk via de middenpompenkelder afgevoerd.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

Let er op dat t.p.v. het landhoofd voldoende ruimte is onder het Dejo-rooster voor de brandblusleiding en de afvoerleiding van de middenkelder. Is deze ruimte kleiner dan ca. 400 mm dan moet t.p.v. het landhoofd de vloer van het middenkanaal worden verlaagd. Het detail ziet er dan uit als 'Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal'. Nadeel hiervan is dat er geen doorgaande vloer kan worden gemaakt.

**Bijbehorende details:**

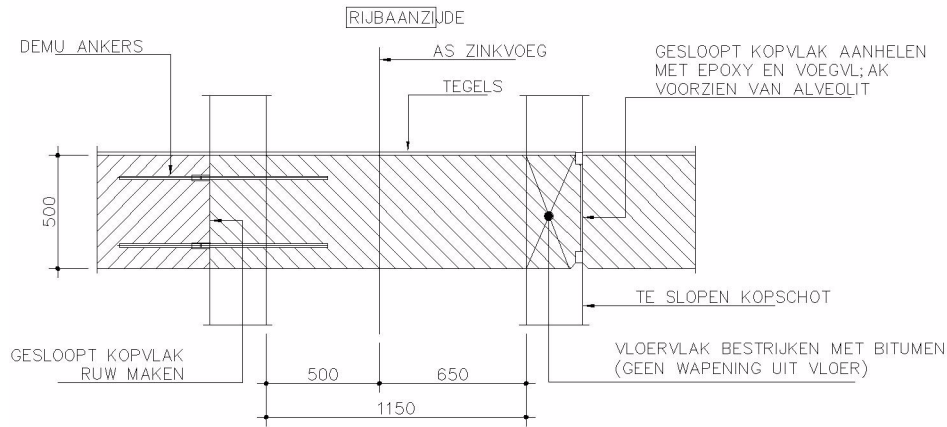
Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

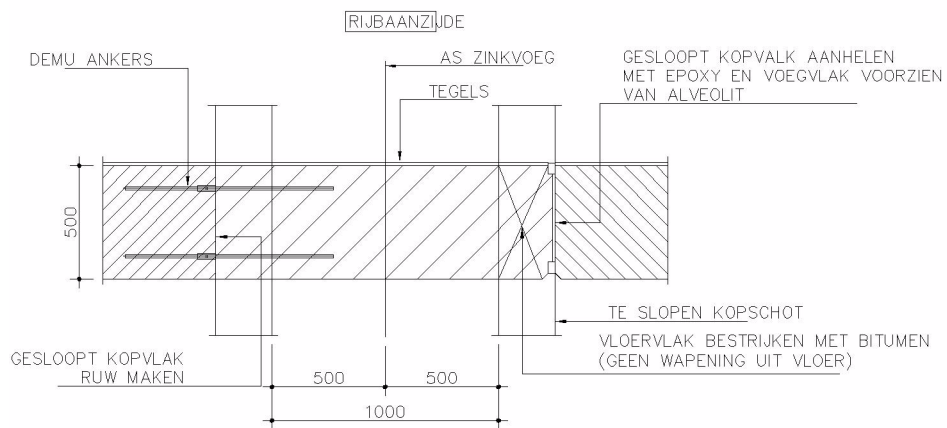




### **5.2.3 Zinkvoeg wand**



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG MIDDENWAND  
( BIJ TOEPASSING TANDOPLOSSING IN VLOER VERKEERSKOKER )



DEATILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG MIDDENWAND  
( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VLOER VERKEERSKOKER )



### 5.2.3.1 Zinkvoeg t.p.v. middenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een doorlopende, vlakke, gasdichte wand.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonden tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Voor het verlengen van de wapening worden ankers toegepast. Hoeveelheid en h.o.h. maat volgt uit berekening.

Als voegafdichting wordt gebruikt gemaakt van een voegprofiel voor zowel de tunnel- als de middenkanaalzijde.

Eventuele neuzen en kinnen volledig verwijderen.

Het kopschot loopt voor de middenwand langs.

De breedte van de zinkvoeg is 1000 of 1150 mm; afhankelijk van het wel of niet toepassen van stalen deuvels.

Het voegvlak aanhelen met epoxy. In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

Om een goede vlakke voeg te kunnen maken t.b.v. de tegelafwerking dienen de neuzen en kinnen gesloopt te worden.

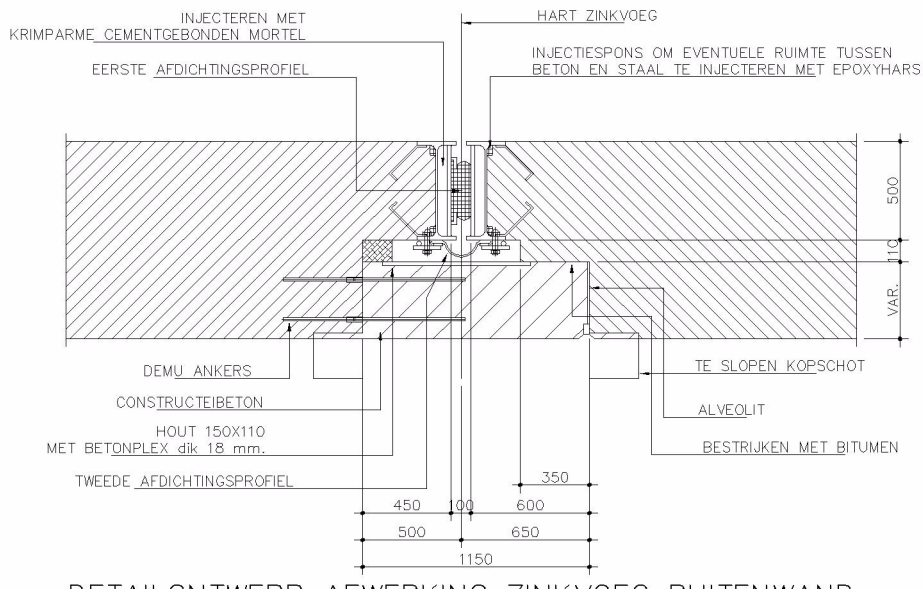
Consequentie van een doorlopend kopschot (voor de middenwand langs) is dat er een sprong in de voeglijn zit. In het middenkanaal valt dit echter niet op omdat deze overgang onder het stalen rooster zit. In de verkeerskoker valt de sprong niet op door de brede Thorma Joint en de geleidebarrier.

Wordt er een neus- en kinconstructie t.p.v. de middenwand toegepast dan valt het kopschot hier plaatselijk in een sponning.

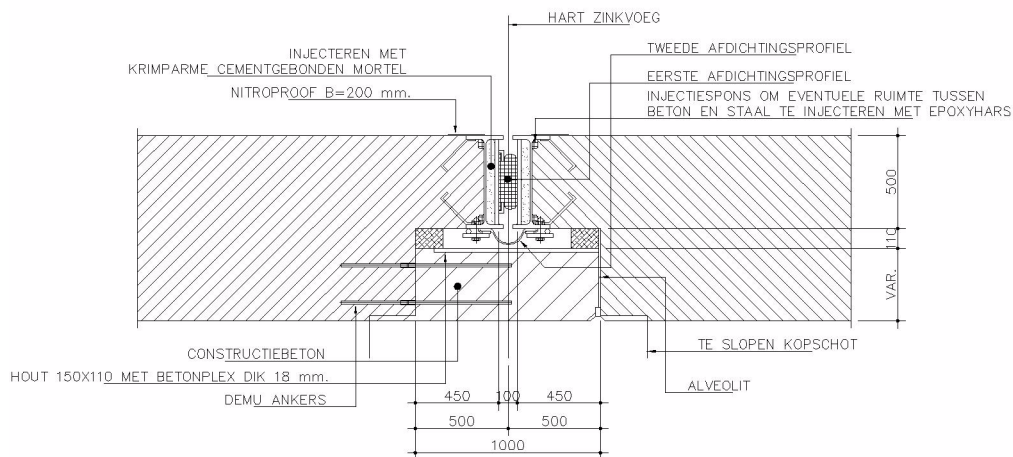
**Bijbehorende details:**

Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG BUITENWAND



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG BUITENWAND

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VLOER VERKEERSKOKER )



### 5.2.3.2 Tunnelement-tunnelement t.p.v. buitenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (b.v. IPE-profiel met inlasplaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

Wordt in de vloer van de verkeerskoker een betonnen tand toegepast dan moet ook in de buitenwanden een tand worden gemaakt. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening. Worden in de vloer stalen deuvels toegepast dan hoeft geen betonnen tand in de wand te worden gemaakt.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

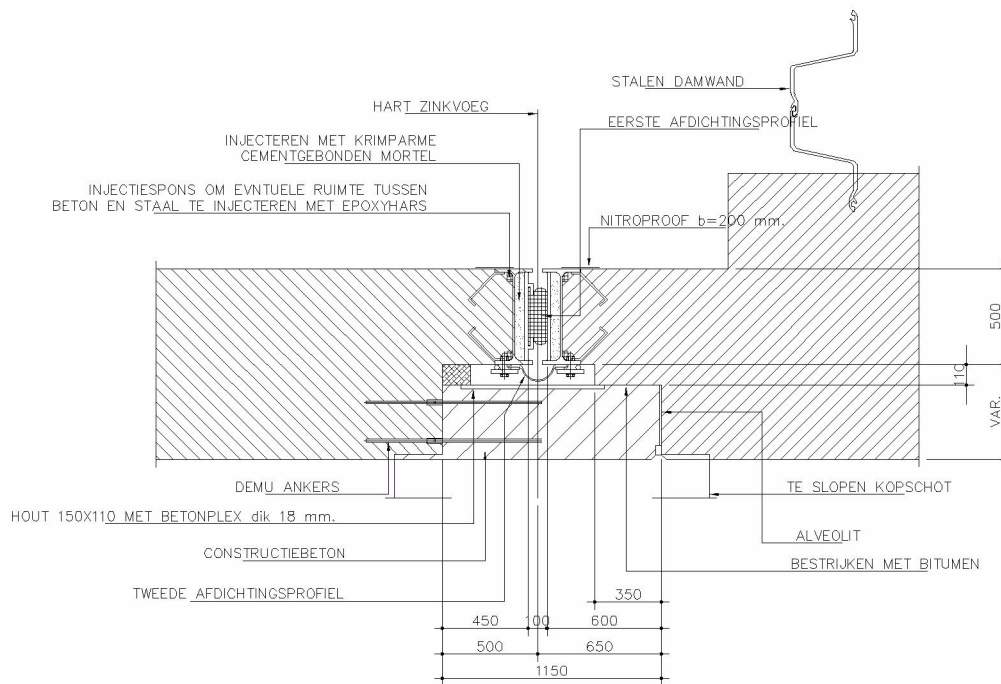
Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)





DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG BUITENWAND



### 5.2.3.3 Tunnelement-landhoofd t.p.v. buitenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase;  
Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak;  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (b.v. IPE-profiel met inlasplaat);

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde;

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

Bekisting over Omega-profiel ter bescherming bij:

- het slopen van het kopschot.
- het plaatsen en vlechten van wapening.
- het storten van beton.

Bekisting dient tevens voor het vrij vervormen van het Omega-profiel bij initiële verschilzettingen.

In de buitenwanden wordt een betonnen tand gemaakt (behalve als in de vloer van de verkeerskoker een stalen deuvel wordt toegepast). Bij voorkeur geen stalen deuvels toepassen.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

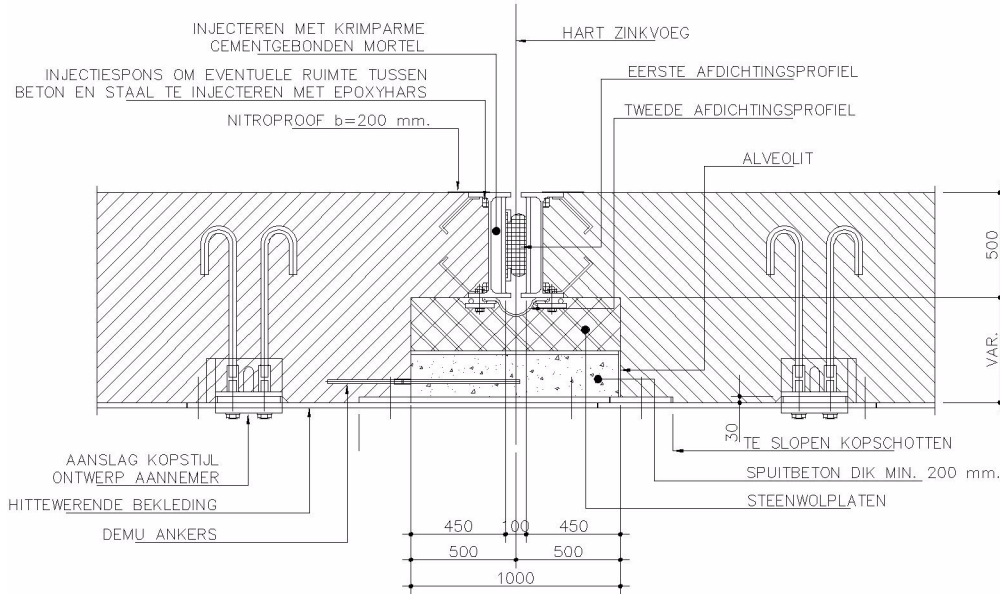
Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)



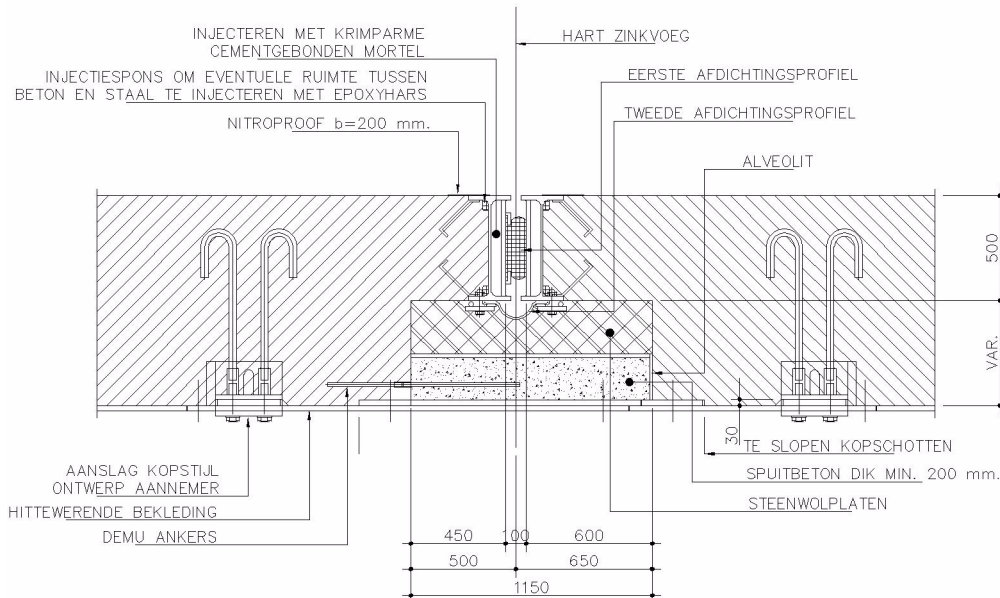


## **5.2.4 Zinkvoeg dak**



**DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK**

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VLOER )



**DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK**

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VLOER )



### 5.2.4.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van verschilbewegingen loodrecht op het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (IPE-profiel met inlasplaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

De verkregen sparing uitvullen met steenwolplaten tot een ruimte overblijft van 200 mm. Deze laatste 200 mm voorzien van krimpwapening en uitvullen met spuitbeton.

De steenwolplaten vastzetten met bekistingsplaten.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

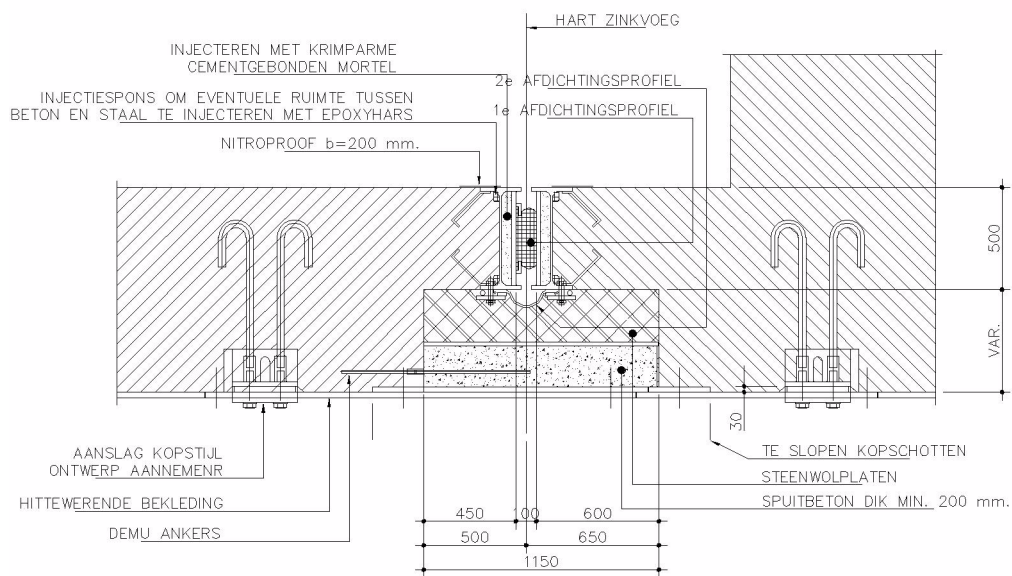
**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

Detail 7 Afwerking zinkvoeg dak (5.2.9.7)

Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK



### 5.2.4.2 Tunnelelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van verschilbewegingen loodrecht op het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (IPE-profiel met inlasplaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

De verkregen sparing uitvullen met steenwolplaten tot een ruimte overblijft van 200 mm. Deze laatste 200 mm voorzien van krimpwapening en uitvullen met spuitbeton.

De steenwolplaten vastzetten met bekistingsplaten.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

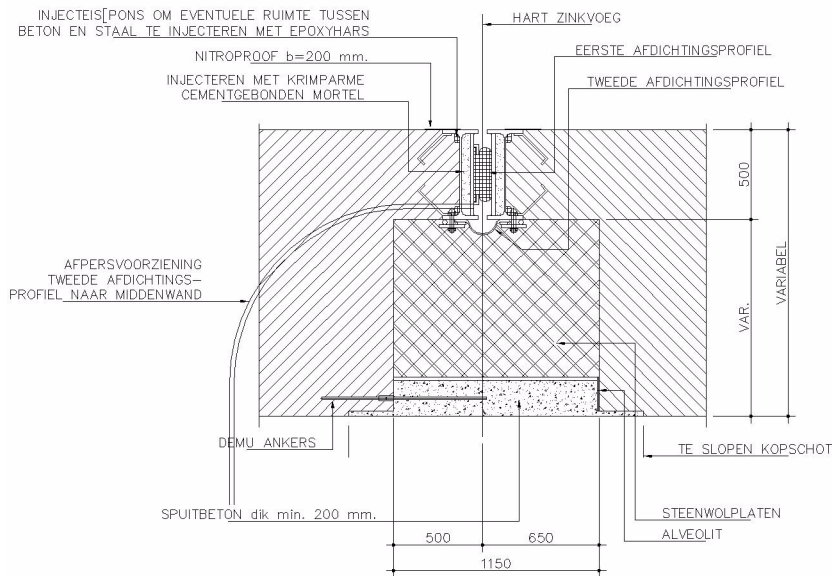
Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)

Detail 7 Afwerking zinkvoeg dak (5.2.9.7)

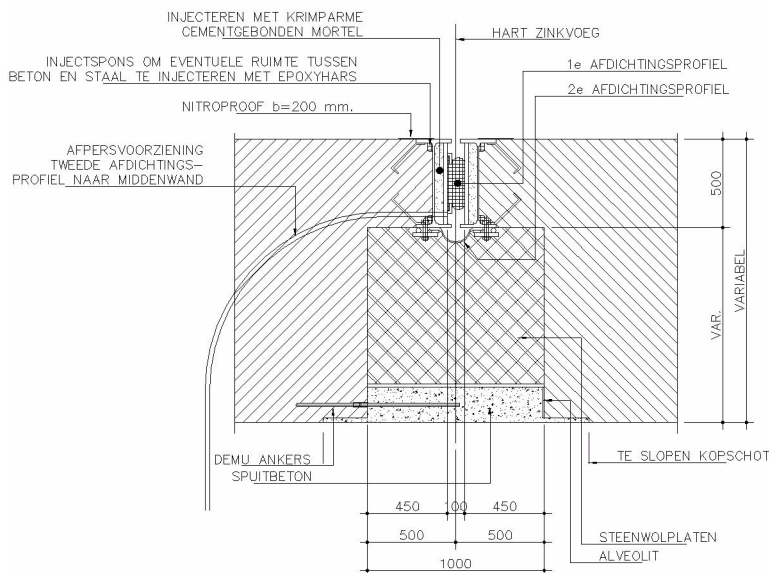
Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)





DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK MIDDENKANAAL

( BIJ TOEPASSING TANDOPLOSSING IN VLOER VERKEERSKOKER )



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK MIDDENKANAAL

( BIJ TOEPASSING STALEN DEUVEL IN VLOER VERKEERSKOKER )



### 5.2.4.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van verschilbewegingen loodrecht op het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (IPE-profiel met inlasplaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

De verkregen sparing uitvullen met steenwolplaten tot een ruimte overblijft van 200 mm. Deze laatste 200 mm voorzien van krimpwapening en uitvullen met spuitbeton.

De steenwolplaten vastzetten met bekistingsplaten.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

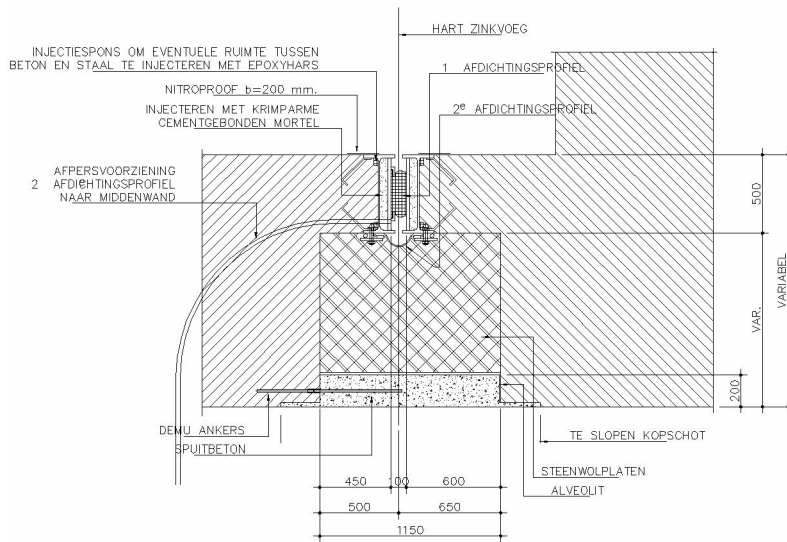
**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)



DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK MIDDENKANAAL LANDHOOFD



#### 5.2.4.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van verschilbewegingen loodrecht op het voegvlak.

**Toepassingen:**

Zinkvoegen van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Primaire- en secundaire einde van de elementen voorzien van een stalen omranding (IPE-profiel met inlasplaat).

Eerste afdichtingsprofiel aan primaire einde.

Tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel).

De verkregen sparing uitvullen met steenwolplaten tot een ruimte overblijft van 200 mm. Deze laatste 200 mm voorzien van krimpwapening en uitvullen met spuitbeton.

De steenwolplaten vastzetten met bekistingsplaten.

In het voegvlak wordt alveolit aangebracht. De dikte dient hiervan te worden berekend.

**Motivering:**

De motivering is opgenomen in de achtergronden.

**Bijbehorende details:**

Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg (5.2.9.1)

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)



### 5.2.4.5 Achtergronden zinkvoegen

De einden van de tunnelementen worden ter plaatse van de zinkvoegen voorzien van een stalen omranding bestaande uit IPE500-profielen (Hoofdstuk 5.2.2, 5.2.3 en 5.2.4 en voor details zie hoofdstuk 5.2.9.1). In de profielen worden platen gelast waarop de Gina (Hoofdstuk 5.2.9.2) aan de primaire zijde (vaareind) van het tunnelement wordt bevestigd. De secundaire zijde (moereind) worden eveneens voorzien van ingelaste platen, zo mogelijk gecontramald aan de aan te sluiten beplating van het aan te sluiten tunnelement. De ingelaste platen dienen om bouw- en meettoleranties op te vangen.

Het grootste voordeel van het toepassen van ingelaste platen is dat het aanbrengen van de correcties buiten het kritieke pad van de bouw van de tunnelementen kan worden gebracht. In notitie GT-9004, d.d. 18 maart 1990 werden verschillende alternatieven besproken. Het vaak voorgestelde alternatief is om tenminste aan de secundaire zijde van het tunnelement een gezette U-vormige profiel toe te passen in plaats van een IPE-profiel met ingelaste platen. De bezwaren vanuit de buitendienst tegen een U-vormige profiel waren dat:

- er geen standaard gewalste U-profielen in de handel zijn. Het profiel moet van gewalst plaatstaal worden samengesteld. Behalve de toleranties van gewalste platen, die groter zijn dan die bij gewalste IPE-profielen, komen de toleranties voor het samenstellen nog daar bovenop. De correcties, die moeten worden aangebracht zijn groter en er moeten meer eisen worden gesteld aan de dichting van het Gina neusje;
- de correcties niet over twee voegvlakken kunnen worden verdeeld, terwijl de stel mogelijkheden binnen de flens van het IPE profiel beperkt zijn;
- de kosten voor het leveren en verwerken van beide profiel typen nagenoeg dezelfde zijn.
- de toleranties niet meer beheersbaar zijn t.g.v. het betonstorten. Er is geen correctiemogelijkheid na het storten en verharden van het beton.
- Het profiel is te slap wat ook weer grotere toleranties met zich mee brengt.

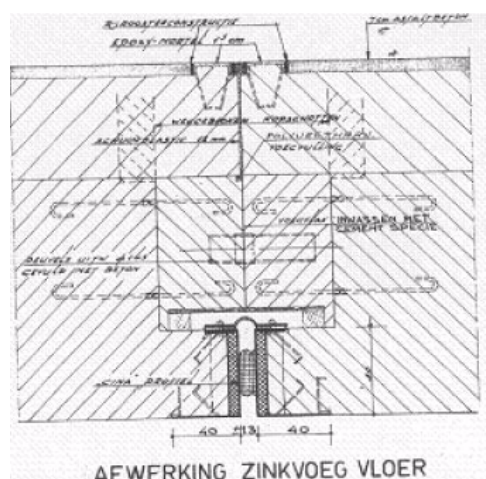


Fig.1 Zinkvoeg met gezet profiel



In de binnen hoeken van de IPE-profielen zijn aan de betonzijde sponsstrippen aangebracht om later te kunnen injecteren. De reden hiervoor is dat, door temperatuursinvloeden, het beton van het IPE-profiel los kan krimpen waardoor na afzinken achterloopsheid en dus lekkage ontstaat. Vóór het aanbrengen van de inlasplaten worden de sponsjes vanuit het lijf van de IPE-profielen aangeboord en geïnjecteerd met epoxyhars. Tussen het IPE-profiel en de ingelaste beplating wordt een krimparme cementgebonden mortel aangebracht.

De zinkvoeg wordt voorzien van een Omega-profiel, de tweede ofwel de permanente afdichting genoemd. Met behulp van klemstrippen wordt het Omega-profiel op de flenzen van de IPE-profielen vastgeklemd. Hiertoe worden hoge dopmoeren vlak op de flenzen van de IPE-profielen waterdicht vastgelast. De klemstrippen klemmen met behulp van, in de dopmoeren ingedraaide, draadeinden en moer. Het nadeel van het toepassen van een draadeind kan zijn, dat zij onvoldoende diep wordt ingedraaid, waardoor zij mogelijk slechts op een beperkt aantal schroefdraden aanligt. Door de bovenzijde van de draadeinden (thermisch verzinkt) te voorzien van een spleet kunnen zij als schroeven worden ingedraaid. Het is niet raadzaam, zelfs onverstandig om bouten toe te passen, omdat ondanks toepassen van hoge dopmoeren deze toch een beperkte indraaidiepte hebben (materiaal dikte heeft invloed op de draadlengte) waardoor de kans bestaat dat de Omega niet voldoende wordt afgeklemd.

De zinkvoegen worden voorzien van een afpersvoorziening om de Omega te controleren op lekkage. Er wordt t.p.v. de wand van het middenkanaal een buis in de vloer ingestort en door de bekisting boven de Omega gevoerd. De afpersvoorziening in een sparing in de wand van het middenkanaal laten uitkomen en voorzien van een afschroefbare dop. Eventuele lekkage door de Gina kan door het buisje worden weggepompt.

Het water afvoeren is alleen noodzakelijk als dit tussen de Gina en Omega kan bevriezen. (Bij zinkvoeg die in ondiep water ligt zoals de noordzijde Zeeburgertunnel)

In het verleden werden alleen de vloer en ca. 1,5 m hoogte van de buitenwanden van de sluitvoeg en de totale hoogte van de buitenwanden van de zinkvoeg zinkvoeg volledig gestort. De betonwanden dienen als geleiding van een uit de koers geraakt voertuig. De overige ruimten in de wanden en in het dak werden afgedicht met Nobrandplaten die het Omega-profiel tegen eventuele brand moest beschermen. Daar tegenwoordig gevaarlijke stoffen door de tunnels worden vervoerd moeten de Omega-profielen beter worden beschermd en worden de wanden en dak gebetonneerd.

Sinds de Zeeburgertunnel worden de betonwanden over de volledige hoogte gestort. Daar de ruimte in het dak zeer beperkt is, wordt tegen de Omega in het dak steenwol aangebracht en het geheel afgedekt met gewapend spuitbeton. Het betondak (spuitbeton) is onvoldoende sterk om de waterdruk bij een calamiteit, het falen van de Omega profiel, te kunnen opnemen. Daarom dient de Omega zodanig te worden beschermd dat na 2 uur brand de temperatuur van het rubber niet hoger wordt dan 60 oC.



De tunnelementen worden in het algemeen op een zandbed gefundeerd door het zand met behulp van de onderstroommethode aan te brengen. Bij de onderstroommethode ontstaan aaneengesloten zandpannenkoeken als fundering onder de tunnelementen. Het zand bereikt echter niet alle hoeken, waardoor er gaten in de bedding onder de tunnelementen aanwezig zijn. Bovendien is het aangebrachte zand in het algemeen losgepakt. Beiden veroorzaken zettingen van het tunnelement.

Om ongelijke zetting van twee naastliggende tunnelementen te voorkomen, wordt in de vloer een tand- of deugelconstructie aangebracht die op dwarskracht moet worden gedimensioneerd. Door de beperkte ruimte in het dak, kan daar geen tand- of deugelconstructie worden gemaakt en moet de tand- of deugelconstructie in de vloer worden aangebracht en dwarskracht in twee richtingen kunnen overbrengen. In het verleden wordt uitsluitend de stalen deugelconstructie aangebracht binnen de hoogte van de constructiebeton. Sinds de Wijkertunnel worden hoofdzakelijk betonnen tandconstructie gemaakt waarbij de ballastbeton ter plaatse van de voeg als constructiebeton wordt uitgevoerd. De reden dat men is overgegaan op de dubbele tand ipv een deugelconstructie was dat er;

- geen staalwerk nodig was voor de krachtoverdracht
- geen handelingen mbt, laswerk, vullen deuvels met beton, stellen deuvels en
- aanbrengen en lassen van haarspelden rondom deuvels.

Om een verticale verplaatsing te voorkomen dient het oplegvlak van de tand niet schuin maar horizontaal te worden uitgevoerd. De breedte van het oplegvlak mag niet meer dan 0,30 m zijn om rotatie van de moten nog mogelijk te maken.

In het middenkanaal is geen ballastbeton aanwezig en kan de betonnen tandconstructie ook niet volledig worden gemaakt.

Het overgangsgedeelte of het landhoofd worden op ongeroerde grond of op palen gefundeerd en zullen daardoor weinig of in het geheel niet zettingen. Daarom worden de zinkvoegen hier niet voorzien van een tand- of deugelconstructie die in twee richtingen dwarskracht moet kunnen overbrengen. De vloer van het tunnelement wordt eenvoudig op het landhoofd opgelegd.

Wanneer de tunnelementen op palen worden gefundeerd (Zeeburgertunnel), is een tand- of deugelconstructie niet gewenst. Door verschil in zetting van de palen zouden grote krachten in de tand worden geïntroduceerd. Dit geldt ook voor de voeg tussen een onderheid tunnelement en een onderheid overgangsgedeelte.

In de voegvlakken van de zinkvoeg, busankers instorten ten behoeve van de wapening van de later te storten tunneldoorsnede. Het aantal, plaats en diameter dient zo vroeg mogelijk, in de ontwerpfase, door de constructeur globaal te worden bepaald om deze aan de uitvoerbaarheid te kunnen toetsen.

In de periode van de Zeeburgertunnel tot en met de Wijkertunnel werden Lentonankers toegepast met tapse toelopende draadeinden. In verband met de vereiste verankeringslengte moeten de ankers in de zinkvoeg vaak worden omgebogen. Vaak kunnen de ankers pas na het indraaien worden omgebogen. Door het ombuigen en wrikken ontstaat zoveel ruimte, dat de draadeinden los komen te zitten in de bussen waardoor de toelaatbare trekkracht op deze ankers drastisch afneemt. Sinds de tweede beneluxtunnel worden ECS ankers toegepast met rechte draadeinden. Tegenwoordig bestaan voor Lenton ankers koppelmoffen waardoor reeds omgebogen ankers kunnen worden aangesloten.





In de zinkvoegen dienen de buitenzijde van de voegen tussen de tunnelementen te worden voorzien van een blijvend elastisch materiaal om eventuele vervorming van de tunnel te kunnen opvangen en ter voorkoming van afzetten van vuil. De dikte van de voegvulling dient door de constructeur te worden bepaald. Verder worden de voegen in de vloer en wanden afgewerkt met rubber voegprofielen en het dak en de bovenste meter van de wanden in de verkeerskoker voorzien van een hittewerende bekleding.

Voor de aanslag van de kopschotstijlen worden in de vloer constructies opgenomen. Tot voorheen uitgevoerd in gewapend betonnen opstorten, minimaal 0,15 m hoog, gemaakt welke zijn voorzien van een verdeelplaat. Deze plaat moet er voor zorgen dat de bovenrand van de opstorten niet door de kopschotstijlen worden verbrijzeld. In het verleden werd voor dit doel een kraanrail ingestort. Verdeelplaat of kraanrail na het slopen van het kopschot verwijderen. De opstort tenminste 150 mm hoog maken om stelruimte voor de kopschotstijlen te creëren en de breedte bepalen op circa vier maal de hoogte (1:4). De constructie dient door de constructeur te worden bepaald, waarbij met de uitvoerbaarheid van een kleine opstort de wapening moet worden aangepast. Door het toepassen van busankers kan in de uitvoering een hoop narigheid worden voorkomen. Wel dient rekening te worden gehouden met de wielbasis van de vaak toe te passen rijdende tunnelbekisting.

In het dak is het, vanwege de tunnelbekisting, niet mogelijk om een betonnen opstort te maken. Hiervoor worden stalen aanslagen in het dak ingestort waarop later stalen aanslagblokken worden gebout. De aanslagblokken worden na het slopen van de kopschotten verwijderd en het dak voorzien van een hittewerende bescherming.

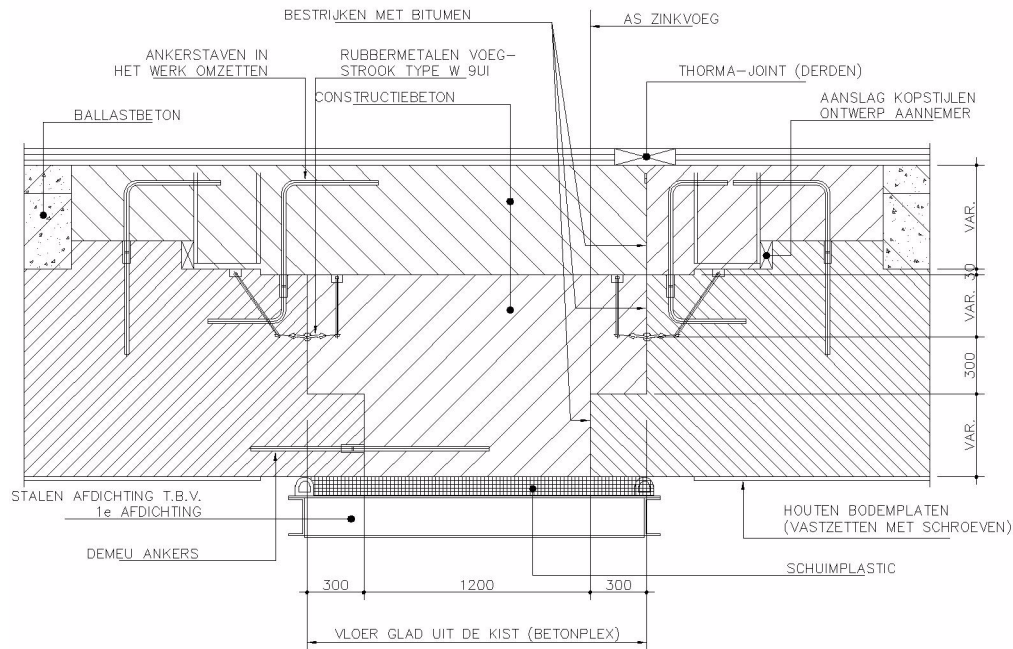


## **5.2.5 Sluitvoeg vloer**

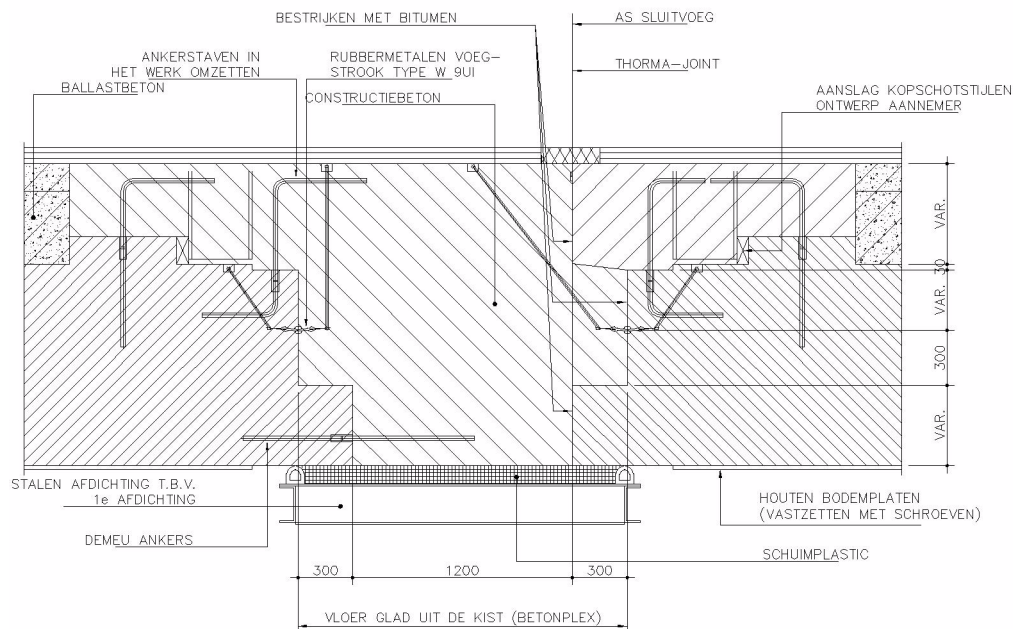


Tunneldetails

Zink- en sluitvoegen



AFWERKING SLUITVOEG VLOER



AFWERKING SLUITVOEG VLOER  
(TWEEZIJDIGE BEWEGING)



### 5.2.5.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en grondichting in de eindfase.  
Verhinderen van verschil bewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

In de vloer wordt een betonnen tand gemaakt die in één richting werkt. Dit gaat dan in combinatie met een constructieve tand in het dak die in de andere richting werkt. De sluitvoeg wordt in 2 fasen gemaakt. Eerst wordt het onderste deel gestort. Daarna wordt het kopschot gesloopt en wordt het bovenste deel gestort. T.p.v. de stortnaad en de voeg zijn rubbermetalen voegstroken opgenomen. De maat van 1200 mm is enigszins afhankelijk van de situatie. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening. H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening. Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend. Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

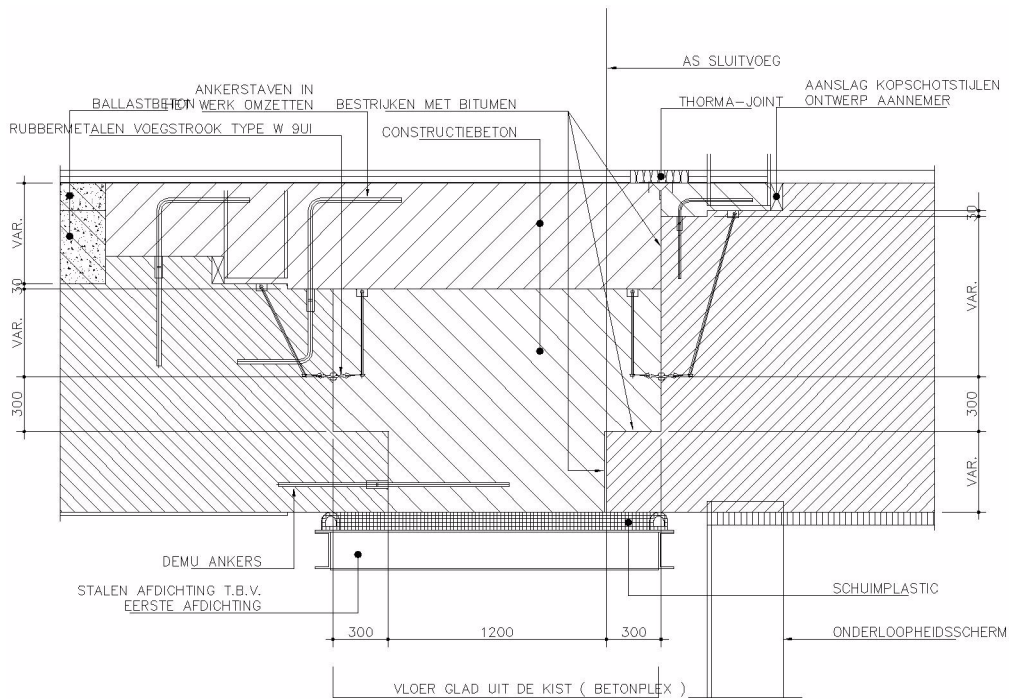
**Motivering:**

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt (5.2.9.4)

Detail 9 Stalen aanslag in de vloer (5.2.9.9)



DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG VLOER



### 5.2.5.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase;  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak;

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

De sluitvoeg wordt met een betonnen tand gemaakt die in één richting werkt, zodat het tunnelement op het landhoofd ligt.

De sluitvoeg wordt in 2 fasen gemaakt. Eerst wordt het onderste deel gestort.

Daarna wordt het kopschot gesloopt en vervolgens het bovenste deel gestort.

T.p.v. de stortnaad en de voeg zijn een rubbermetalen voegstroken opgenomen.

De maat van 1200 mm is enigszins afhankelijk van de situatie.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.

Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend.

Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

**Motivering:**

In de meeste gevallen volstaat een tand die in één richting werkt omdat het landhoofd niet (of nauwelijks) aan zetting onderhevig is.

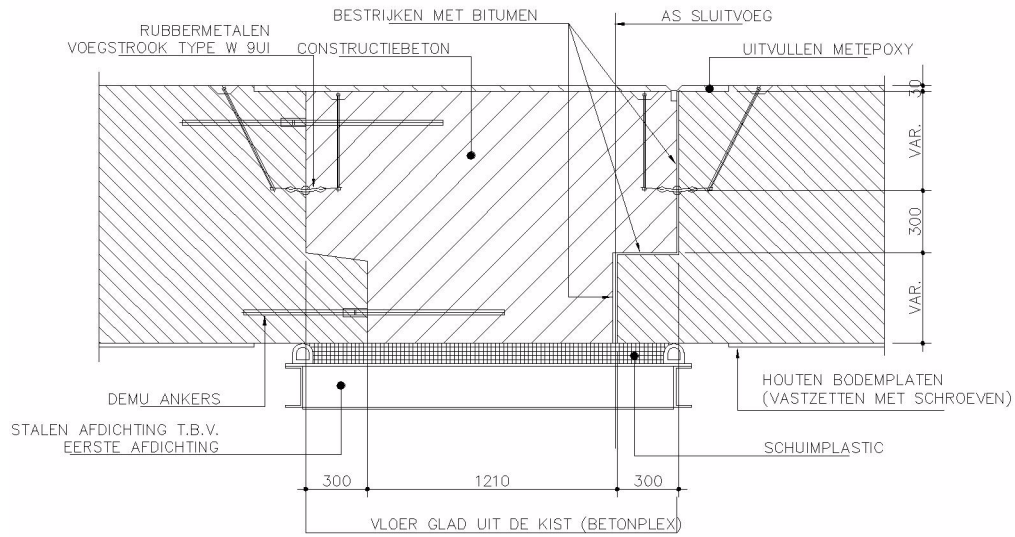
Mocht er een tand nodig zijn die in twee richtingen werkt dan wordt verwezen naar het detail 'Tunnelement - tunnelement t.p.v. verkeerskoker'. Of een enkelzijdig werkende tand toepassen in combinatie met een tand in het dak.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

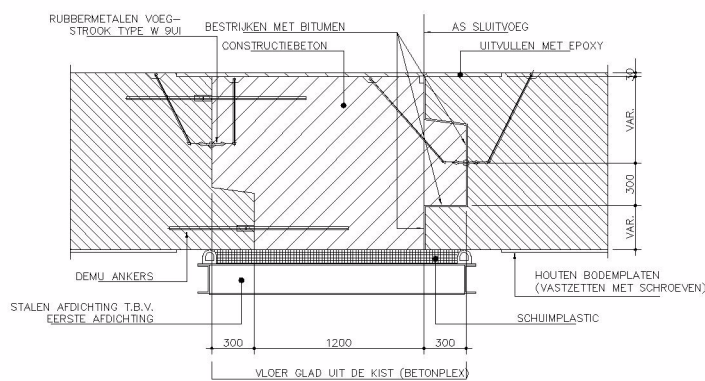
**Bijbehorende details:**

Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt (5.2.9.4)

Detail 9 Stalen aanslag in de vloer (5.2.9.9)



**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG VLOER**  
(EENZIJDIGE BEWEGING)



**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG VLOER**  
(TWEEZIJDIGE BEWEGING)



### 5.2.5.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase;  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak;

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

T.p.v. de stortnaad en de voeg zijn een rubbermetalen voegstroken opgenomen.

De maat van 1200 mm is enigszins afhankelijk van de situatie.

H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend.

Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

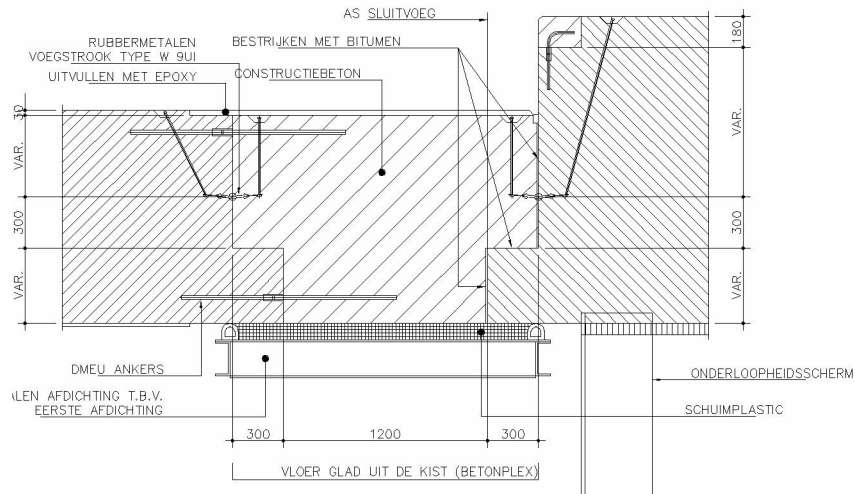
**Motivering:**

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

Geen





DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG VLOER



#### 5.2.5.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal

**Funcities:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase;  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak;

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

T.p.v. de stortnaad en de voeg zijn een rubbermetalen voegstroken opgenomen.

De maat van 1200 mm is enigszins afhankelijk van de situatie.

H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend.

Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

**Motivering:**

Let er op dat t.p.v. het landhoofd voldoende ruimte is onder het Dejo-rooster voor de brandblusleiding en de afvoerleiding van de middenkelder. Is deze ruimte kleiner dan ca. 400 mm dan moet de vloer van het middenkanaal worden verlaagd. Het detail ziet er dan uit als 'Tunnelement - tunnelement t.p.v. middenkanaal'. Nadeel hiervan is dat er geen doorgaande vloer kan worden gemaakt.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

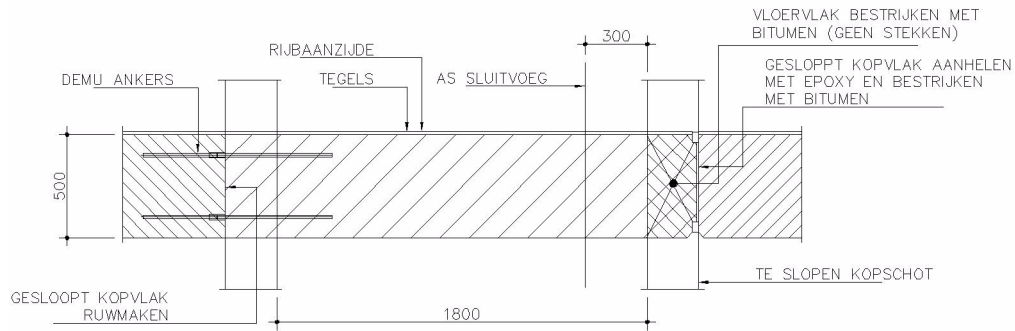
**Bijbehorende details:**

Geen





## **5.2.6 Sluitvoeg wand**



DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG MIDDENWAND



### 5.2.6.1 Sluitvoeg t.p.v. middenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een doorlopende, vlakke, gasdichte wand.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Voor het verlengen van de wapening worden ankers toegepast.

Als voegafdichting wordt gebruikt een voegprofiel voor zowel de tunnel- als de middenkanaalzijde.

Het kopschot loopt voor de middenwand langs.

De breedte van de sluitvoeg is 1800.

Eventuele wigconstructies dienen eerst gesloopt te worden.

Het voegvlak aanhelen met epoxy.

Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend.

Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

**Motivering:**

Gezien de grote lengte van de sluitvoeg moet de te maken middenwand het dak ondersteunen.

Consequentie van een doorlopend kopschot (voor de middenwand langs) is dat er een sprong in de voeglijn zit. In het middenkanaal valt dit echter niet op omdat deze overgang onder het stalen rooster zit. In de verkeerskoker valt de sprong niet op door de brede Thorma Joint en de geleidebarrier.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

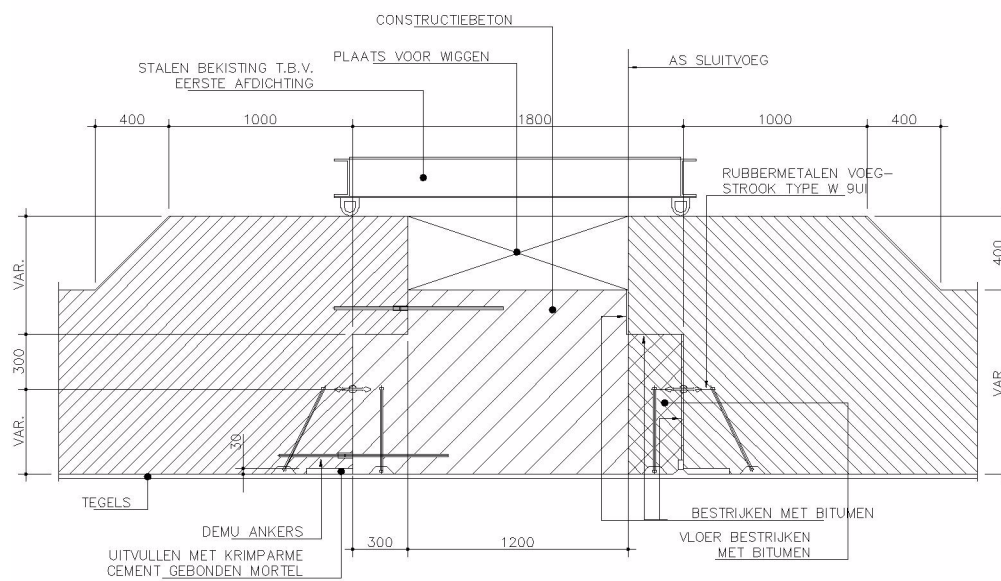
Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)



## Tunneldetails

## Zink- en sluitvoegen

DEAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG BUITENWAND



### 5.2.6.2 Tunnelement-tunnelement t.p.v. buitenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Door de wanden van een verdikking te voorzien kan de volledige betondoorsnede worden doorgezet en blijven de wiggen daar buiten. De wiggen behoeven niet gesloopt te worden, maar dienen wel gefixeerd te worden.  
T.p.v. de stortnaad en de dilatatievoeg zijn rubbermetalen voegstroken opgenomen.  
H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.  
De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.  
De wigconstructie kan eventueel in de tussenwanden worden toegepast wanneer het een tunnel betreft met meerdere kokers en tussenwanden.  
Deze wiggen dienen dan na het maken van de vloer wel gesloopt te worden.  
Als de wiggen gesloopt worden dan alveolit op het kopvlak toepassen om uitzetten van het tunnelement toe te staan. De dikte dient hiervan te worden berekend.  
Anders het voegvlak glad afwerken en bestrijken met bitumen (horizontale en verticale vlakken).

**Motivering:**

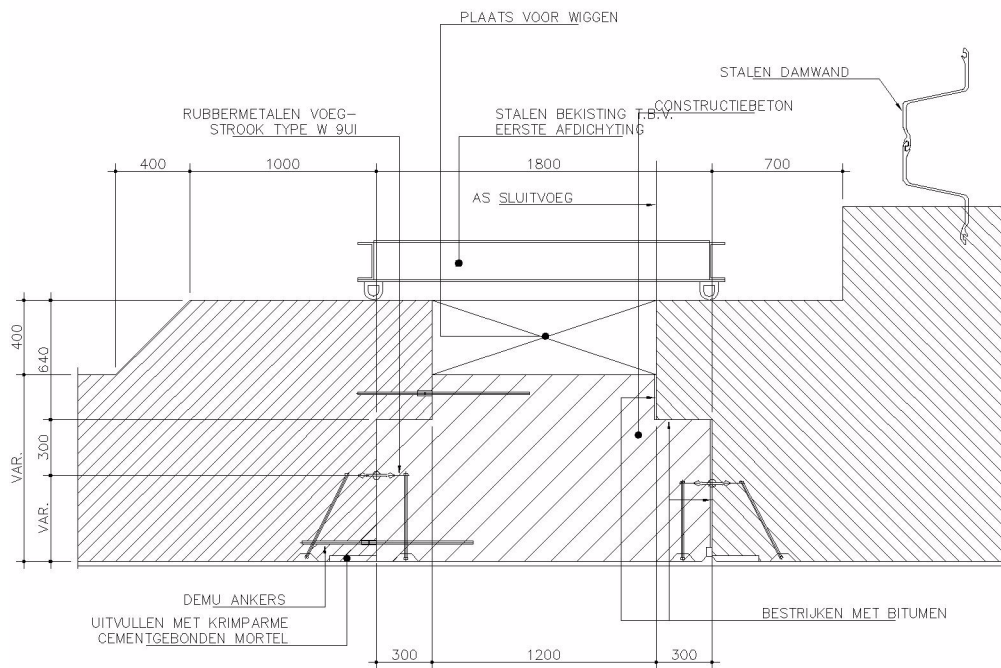
Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)





DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG BUITENWAND



### 5.2.6.3 Tunnelement-landhoofd t.p.v. buitenwand

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Door de wanden van een verdikking te voorzien kan de volledige betondoorsnede worden doorgezet en zitten de wiggen daar buiten. De wiggen behoeven niet gesloopt te worden, maar dienen wel gefixeerd te worden.  
T.p.v. de stortnaad en de dilatatievoeg zijn rubbermetalen voegstroken opgenomen.  
H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.  
De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.  
Wigconstructie kan eventueel in de tussenwanden worden toegepast wanneer het een tunnel betreft met meerdere kokers en tussenwanden.  
Deze wiggen dienen dan na het maken van de vloer wel gesloopt te worden.

**Motivering:**

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

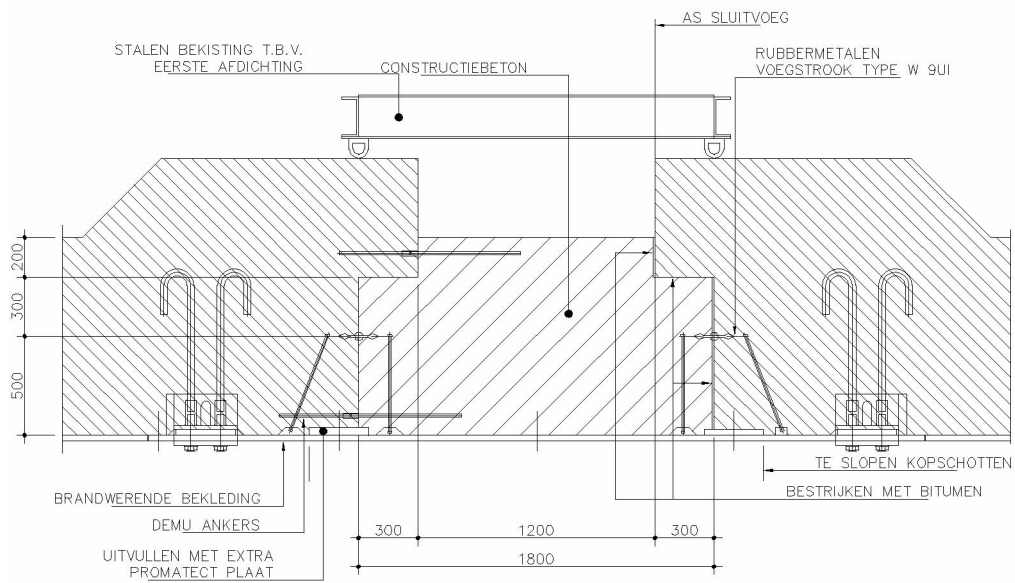
Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels (5.2.9.5)

Detail 6 Voegafwerking wand met tegels (5.2.9.6)





## **5.2.7 Sluitvoet dak**



DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK



### 5.2.7.1 Tunnelement-tunnelement t.p.v. verkeerskoker

**Funcities:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase;  
Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

Het dak wordt voorzien van een tand. Hierbij wordt een verdikking in het dak gemaakt die nodig is voor het storten van de sluitvoeg en de rubbermetalen voegstrook enige bescherming biedt.

De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

De rubbermetalen voegstrook zo hoog mogelijk plaatsen i.v.m. spankrachten t.g.v. voorspanning.

De laag zandasfaltbitumen wordt aangebracht om indringing van vuil in de voeg tegen te gaan.

T.p.v. de stortnaaden de dilatatievoeg zijn rubbermetalen voegstroken opgenomen.

H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.

**Motivering:**

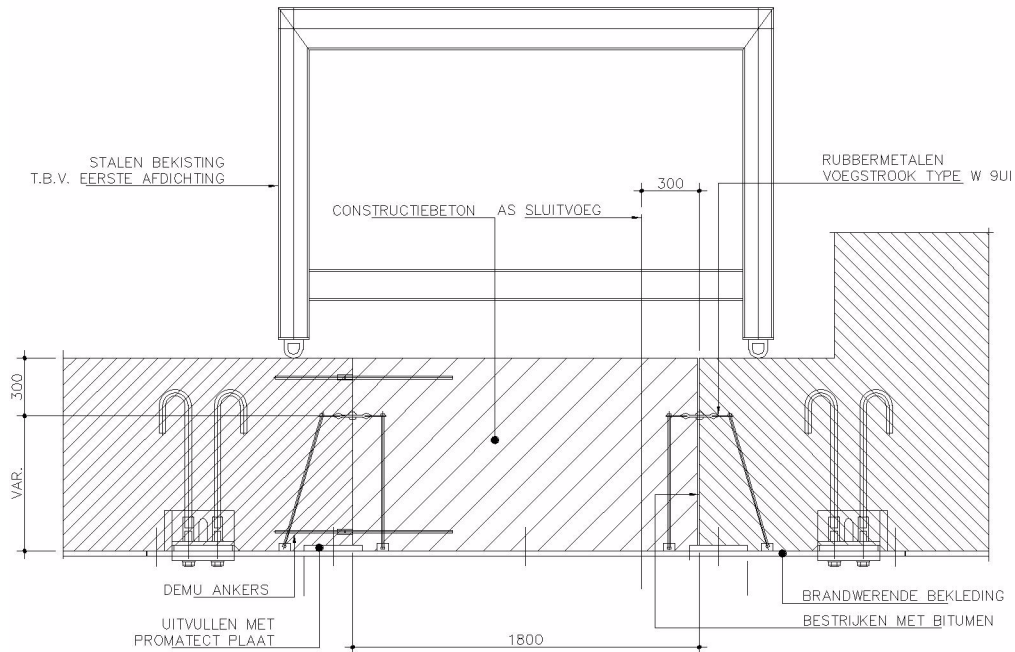
De sluitvoeg tussen 2 tunnelementen kan i.v.m. scheepvaart (meestal) niet m.b.v. een stortkoker gemaakt worden. Daarom moet de beton van binnenuit worden gestort (verdichtingsvrije beton) en dient er een verdikking op het dak te worden gemaakt.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

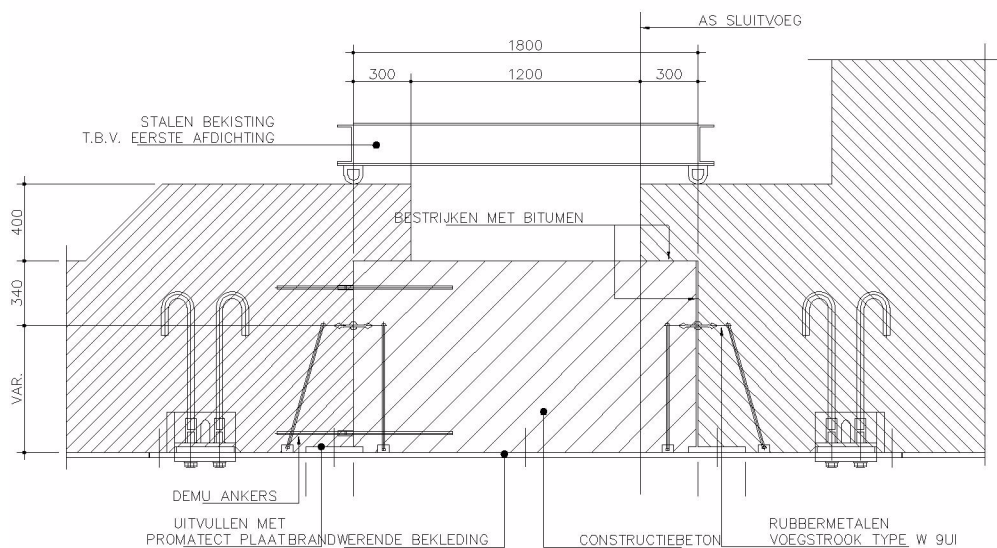
Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak (5.2.9.8)

Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)



DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK

( OPLOSSING MET PLAT DAK )



DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK

( OPLOSSING MET NIET-CONSTRUCTIEVE TAND )



### 5.2.7.2 Tunnelement-landhoofd t.p.v. verkeerskoker

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak. (geldt alleen bij tandconstructie).

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

In principe hoeft in het dak geen (constructieve) tand gemaakt te worden en kan er een "plat" dak gemaakt worden.

Kan i.v.m. scheepvaart niet met een stortkoker worden gewerkt dan een verdikking met een (niet constructieve) tand toepassen. In ieder geval de volledige betondoorsnede doorzetten.

De rubbermetalen voegstrook zo hoog mogelijk plaatsen i.v.m. spankrachten t.g.v. voorspanning.

De laag zandasfaltbitumen wordt aangebracht om indringing van vuil in de voeg tegen te gaan.

T.p.v. de stortnaad en dilatatievoeg zijn rubbermetalen voegstroken opgenomen.

H.o.h. afstand en de diameter van de ankers volgt uit berekening.

**Motivering:**

De sluitvoeg tussen tunnelement en landhoofd kan (meestal) m.b.v. een stortkoker worden gemaakt. Er hoeft daarom geen verdikking op het dak te worden aangebracht. Ter bescherming van de rubbermetalen voegstrook bij het transporteren van de tunnelementen kan worden overwogen een verdikking met een (niet constructieve) tand te maken.

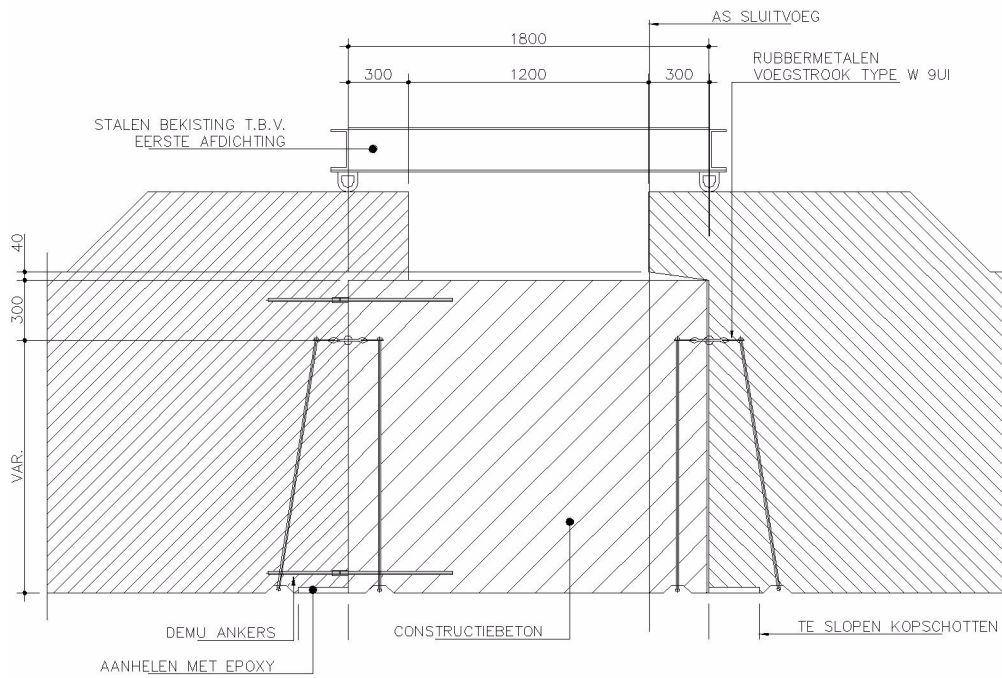
Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak (5.2.9.8)

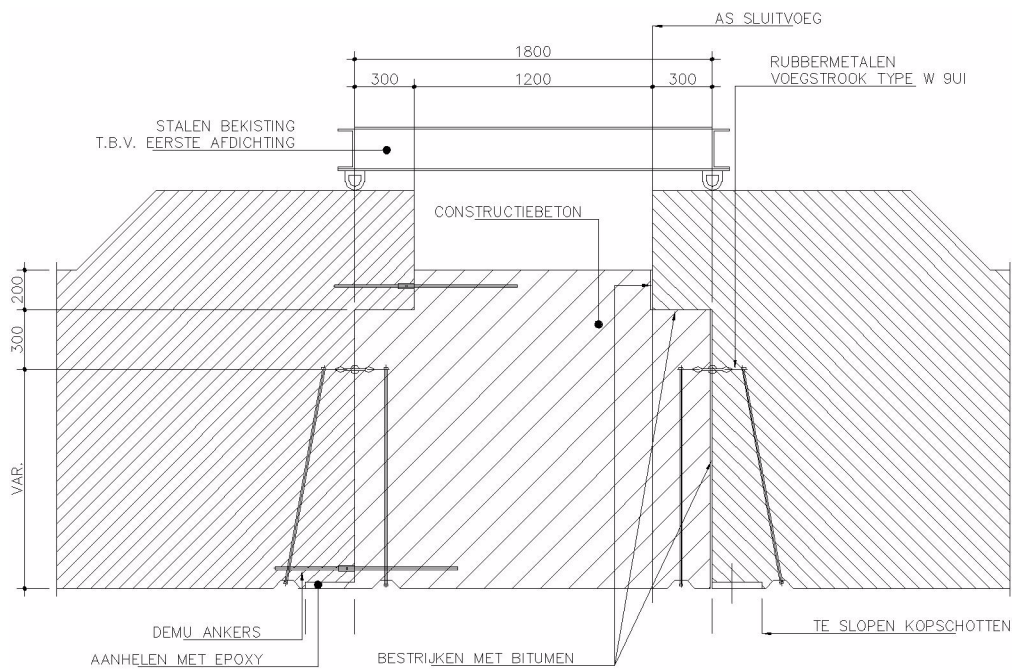
Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)





**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK**

( BIJ TOEPASSING TWEEZIJDIG WERKENDE TAND IN VLOER VERKEERSKOKER )



**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK**

( BIJ TOEPASSING ENKELZIJDIG WERKENDE TAND IN VLOER VERKEERSKOKER )



### 5.2.7.3 Tunnelement-tunnelement t.p.v. middenkanaal

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak (geldt alleen bij tandconstructie).

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

De sluitvoeg kan op 2 manieren worden gemaakt. Als de vloer t.p.v. de verkeerskokers is voorzien van een tweezijdig werkende tand dan hoeft in het dak geen tand gemaakt te worden. Wel wordt een verdikking met een (niet constructieve) tand in het dak gemaakt t.b.v. het storten van de sluitvoeg. Deze verdikking werkt tevens ter bescherming van de rubbermetalen voegstrook. Is de vloer t.p.v. de verkeerskokers voorzien van een éézijdig werkende tand dan moet in het dak een tand worden gemaakt die in de andere richting werkt. Ook dan wordt een verdikking in het dak gemaakt. De breedte van het oplegvlak bepalen d.m.v. berekening.

De laag zandasfaltbitumen wordt aangebracht om indringing van vuil in de voeg tegen te gaan.

Voor zowel de stortnaad als de dilatatievoeg is een rubbermetalen voegstrook opgenomen.

H.o.h. afstand en de diameter van de ankers volgt uit berekening.

**Motivering:**

Voor achtergronden en motivering zie AGTO.

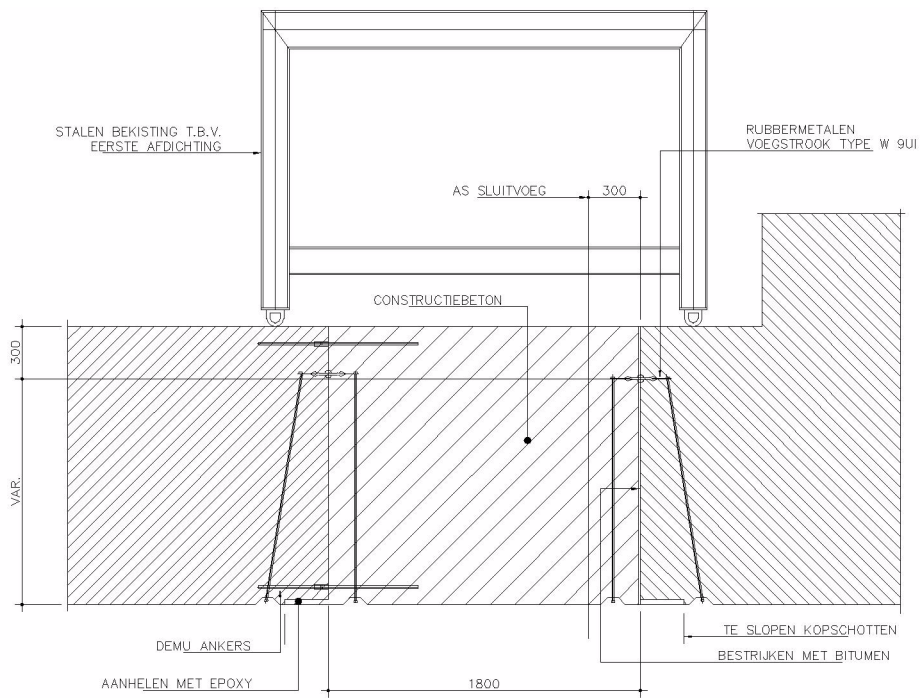
De sluitvoeg tussen 2 tunnelementen kan i.v.m. scheepvaart (meestal) niet m.b.v. een stortkoker gemaakt worden. Daarom moet de beton van binnenuit worden gestort en dient er een verdikking op het dak te worden gemaakt.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

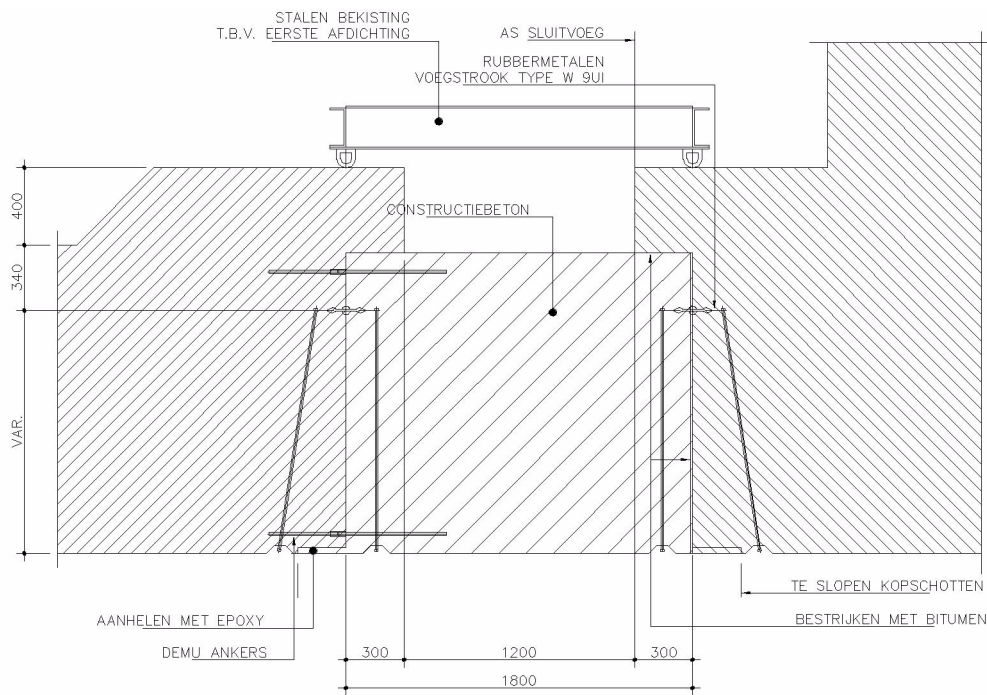
**Bijbehorende details:**

Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak (5.2.9.8)

Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)



**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK**  
( OPLOSSING MET PLAT DAK )



**DETAILONTWERP AFWERKING SLUITVOEG DAK**



#### **5.2.7.4 Tunnelement-landhoofd t.p.v. middenkanaal**

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

**Toepassingen:**

Sluitvoeg van afgezonken tunnels, die op staal gefundeerd zijn.

**Detailontwerp:**

In principe hoeft in het dak geen (constructieve) tand gemaakt te worden en kan er een "plat" dak gemaakt worden.

Kan i.v.m. scheepvaart niet met een stortkoker worden gewerkt dan een verdikking met een (niet constructieve) tand toepassen.

In ieder geval de volledige betondoorsnede doorzetten.

De laag zandasfaltbitumen wordt aangebracht om indringing van vuil in de voeg tegen te gaan.

Voor zowel de stortnaad als de dilatatievoeg is een rubbermetalen voegstrook opgenomen.

H.o.h. afstand van de ankers en de diameter volgt uit berekening.

**Motivering:**

De sluitvoeg tussen tunnelement en landhoofd kan meestal m.b.v. een stortkoker worden gemaakt. Er hoeft daarom geen verdikking op het dak te worden aangebracht. Ter bescherming van de rubbermetalen voegstrook bij het transporteren van de tunnelementen kan worden overwogen een verdikking met een (niet constructieve) tand te maken.

Als de wiggen niet gesloopt worden maar alleen gefixeerd dan geen Alveolit toepassen op de kopvlakken. De wiggen staan dan nl. geen uitzetting toe.

**Bijbehorende details:**

Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak (5.2.9.8)

Detail 10 In te storten aanslag in het dak (5.2.9.10)



### 5.2.7.5 Achtergronden sluitvoegen

De einden van de tunnelementen ter plaatse van de sluitvoeg worden niet voorzien van een stalen omranding. In beide voegvlakken worden rubbermetalen voegstroken ingestort. Aan één zijde wordt een dilatatievoeg gemaakt. Aan de andere zijde wordt het beton momentvast aan het aangrenzende tunnelement gestort en is de voegstrook bedoeld als veiligheid voor het geval dat het verse beton loskrimpt van het oude beton.

In het verleden werd na het droogpompen van de sluitvoeg een dubbel-Omegaprofiel aangebracht als een tweede waterdichting tijdens de bouwfase. Om te voorkomen dat slepende ankers aan het sluitvoegschot in het dak konden blijven haken, werd in de eindfase het dakschot verwijderd. Daardoor vormde het dubbele-Omegaprofiel ter plaatse, de enige waterdichting van de tunnel. De sluitvoeg werd voorzien van een U-vormige stalen omranding waartussen de wiggen werden geplaatst en waartegen de sluitvoegschotten werden aangeklemd. Aan de binnenflens van het U-profiel werden dopmoeren gelast voor de bevestiging van het Dubbele-Omega-profiel.

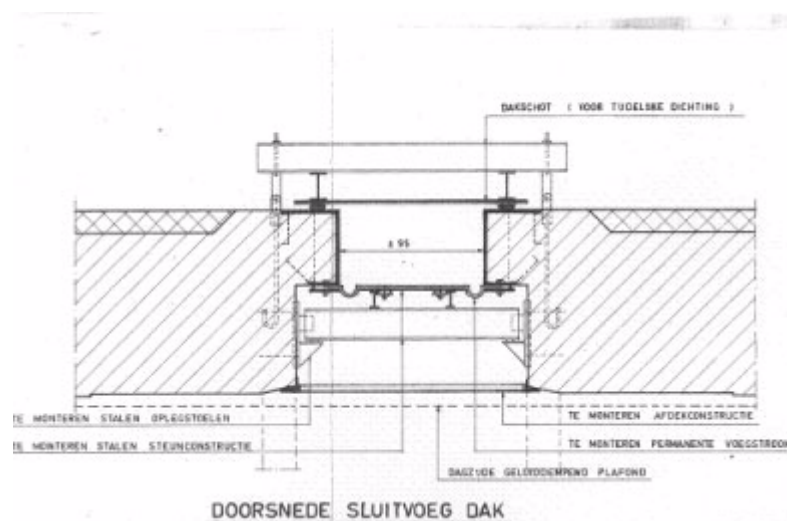


fig. 2 sluitvoeg met dubbele omega profiel

Door het toelaten van vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels en de kwetsbaarheid van het Dubbele-Omega-profiel werd deze bij de Noordtunnel vervangen door een enkelvoudig Omega-profiel. Daardoor moest de tunneldoorsnede in de sluitvoeg in twee fasen worden gestort om de bevestiging van de Omega te kunnen maken. De kopschotten mochten niet worden gesloopt voordat het Omega-profiel, dat tijdens de bouwfase een dubbele dichting<sup>1</sup> moest garanderen, was geplaatst. Behalve dat het veel tijd vergde, kon de waterdichtheid van de Omega niet worden gecontroleerd omdat de sluitvoegschotten niet waren berekend op waterdruk van binnen uit. Voor de Wijkertunnel is daarom gekozen voor de huidige oplossing, van het type dilatatievoeg.

1. Het beleid is dat altijd een dubbele waterdichting aanwezig dient te zijn. Dit betekent dat de kopschotten pas gesloopt mogen worden als zowel de Gina als de Omega aanwezig is

Om aan de eis van een dubbele dichting tijdens de bouwfase te voldoen werden de kopschotten pas gesloopt nadat het eerste deel van de vloer, de buitenwanden en het dak waren gestort. Het tweede deel van de vloer, niet in het middenkanaal, kan pas worden gestort nadat de kopschotten zijn verwijderd.

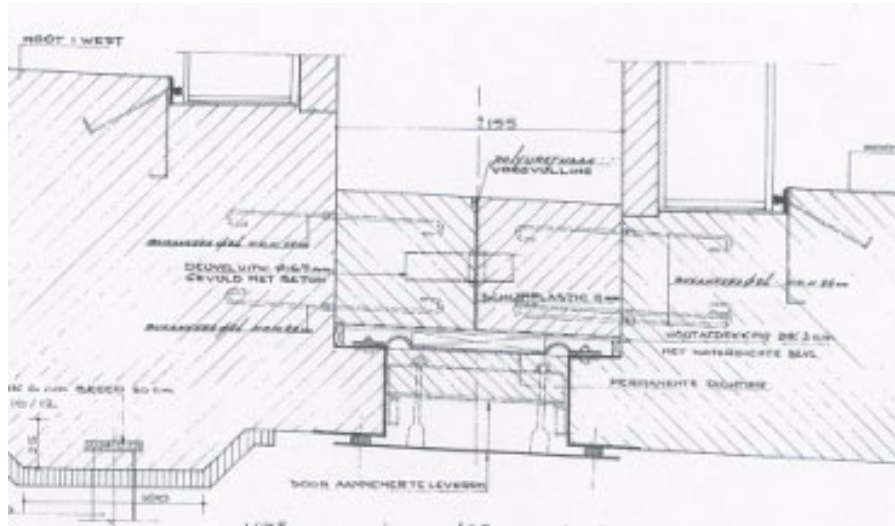


Fig. 3 Sluitvoeg vloer, dubbele omega profiel

De vloer van de sluitvoeg tussen twee tunnelelementen wordt, evenals bij de zinkvoegen, voorzien van een tand- of deugelconstructie om zettingsverschillen tussen de elementen te voorkomen en dwarskracht in twee richtingen over te kunnen brengen. Indien het dak van de sluitvoeg van een tand- of deugelconstructie is voorzien of de sluitvoeg ter plaatse van het landhoofd is gesitueerd, dan is het niet nodig om een tand- of deugelconstructie, die in twee richtingen dwarskracht moet overbrengen, aan te brengen. De vloer van het tunnelelement wordt eenvoudig op het landhoofd opgelegd.

In de voegvlakken van de sluitvoeg, busankers instorten ten behoeve van de wapening van het later te storten tunneldoorsnede. Het aantal, plaats en diameter dient zo vroeg mogelijk, in de ontwerpfase, door de constructeur globaal te worden bepaald om aan de uitvoerbaarheid te kunnen toetsen. Voor wat betreft de busankers, zie hoofdstuk zinkvoegen.

In tegenstelling tot de wand in de zinkvoeg wordt de tunneldoorsnede in de sluitvoeg even zwaar belast als de normale tunneldoorsnede. De buitenwanden moeten daardoor dezelfde dikte hebben als die van de normale tunneldoorsnede. Om dat te kunnen realiseren moeten de buitenwanden en het dak worden voorzien van een kraag. (Hoofdstuk 5.2.6)

De kraag is tevens nodig om de wiggen te kunnen plaatsen en de stalen sluitvoegschotten tegen te plaatsen. De wiggen worden ook wel tegen de middenwanden geplaatst. Het nadeel hiervan is dat de wiggen later gesloopt moeten worden om, in verband met de betegeling, een vlakke wand ter plaatse van de voeg te kunnen maken.

Zoals de wanden van de sluitvoeg wordt het dak in de sluitvoeg even zwaar belast als het dak van de normale tunneldoorsnede. Het dak moet daardoor dezelfde dikte hebben als dat van de normale tunneldoorsnede. Om dat te kunnen realiseren moet het dak worden voorzien van een kraag. In het dak kan een, in één richting werkende, tand- of deugelconstructie worden gemaakt.



Door de beperkte ruimte in het dak moet het beton vanuit de tunnelbuizen, via door de bekisting gevoerde stortpijpen, worden gepompt. De kraag in het dak is nodig om de stortpijpen voldoende hoog te kunnen doorvoeren en waardoor de zekerheid wordt verkregen dat de volledige dikte van het dak aanwezig is.

Het is begrijpelijk dat het erg moeilijk is om het dak in die smalle ruimte van de sluitvoeg te storten. Juist daarom moet veel aandacht worden besteed om te voorkomen dat er geen grindnesten onder de rubbermetalen voegstroken ontstaan die later moeilijk te injecteren zijn. Een betere oplossing is om, zoals bij de Maastunnel, op het dak een verhoogd dakschot aan te brengen waar mensen in kunnen staan en waardoor het beton op normale wijze kan worden gestort en verdicht. Dit kan echter alleen als de sluitvoeg buiten de vaargeul is gesitueerd. Een bijkomende voordeel van deze oplossing is, dat het dak niet van een kraag hoeft te worden voorzien.

Zowel de sluitvoeg van de 2de Benelux- als de Calandtunnel zijn zonder verhoogd dakschot gemaakt. Hier is gebruik gemaakt van zelfverdichtend beton wat door stortopeningen in de kist werd gepompt. Een goede controle is nodig om er voor te zorgen dat het beton overal komt. (bv camera's)

Door het hoge cementgehalte van zelfverdichtend beton kan koeling van het beton noodzakelijk zijn.

Door de aanwezigheid van de wiggen t.p.v. de wanden wordt de voeg in de sluitvoeg niet voorzien van een blijvend elastisch materiaal. Het voegvlak wordt bestreken met bitumen. Verder worden de voegen in de vloer en wanden afgewerkt met rubber voegprofielen en het dak en het bovenste meter van de wanden in de verkeerskoker voorzien van een hittewerende bekleding.

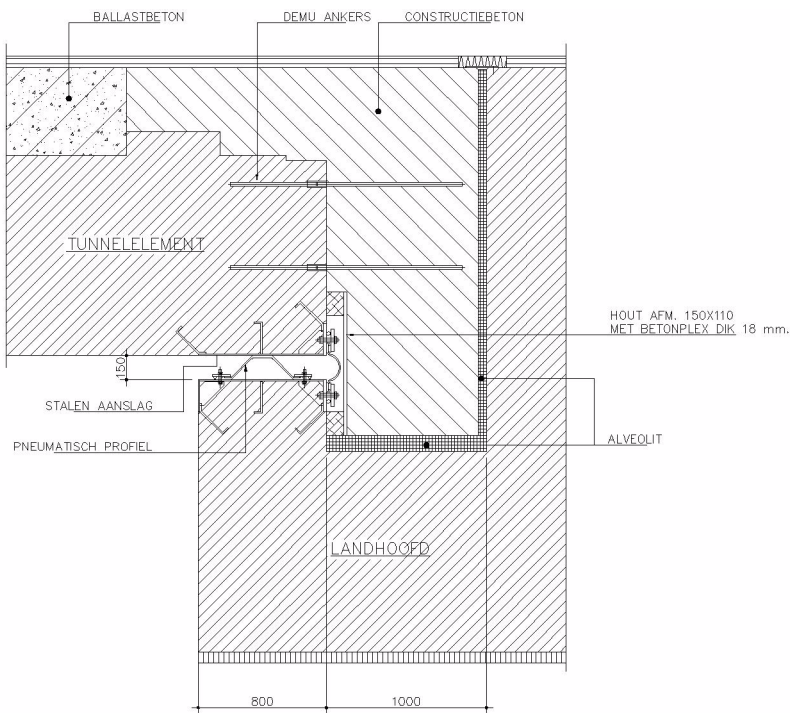
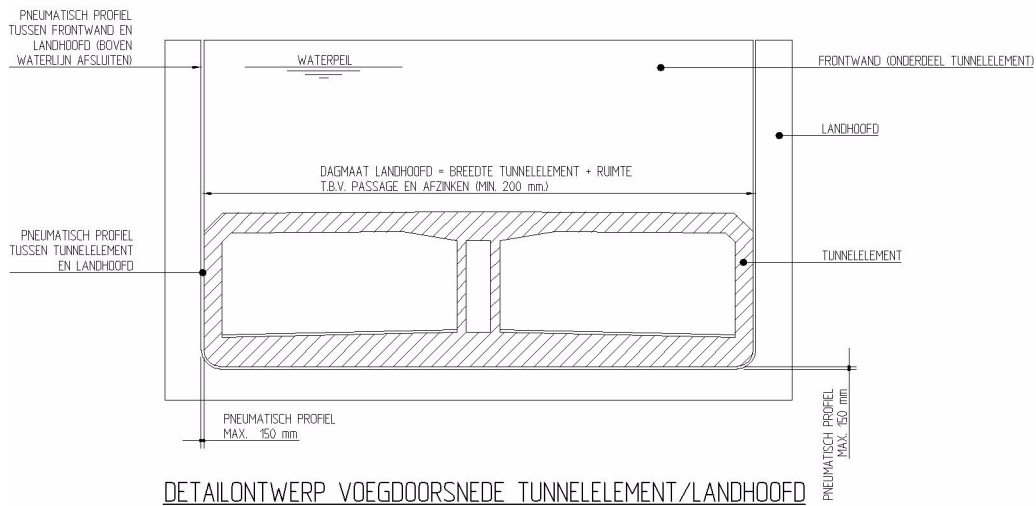
Voor de aanslag van de kopschotstijlen worden, zoals in de zinkvoegen, gewapend betonnen opstorten in de vloer gemaakt en stalen aanslagen in het dak ingestort.







## **5.2.8 Speciale sluitvoeg**





### 5.2.8.1 Voeg met pneumatisch profiel

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.  
Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.  
Toestaan van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Voeg tussen tunnelelement en landhoofd bij afgezonken tunnels.

**Detailontwerp:**

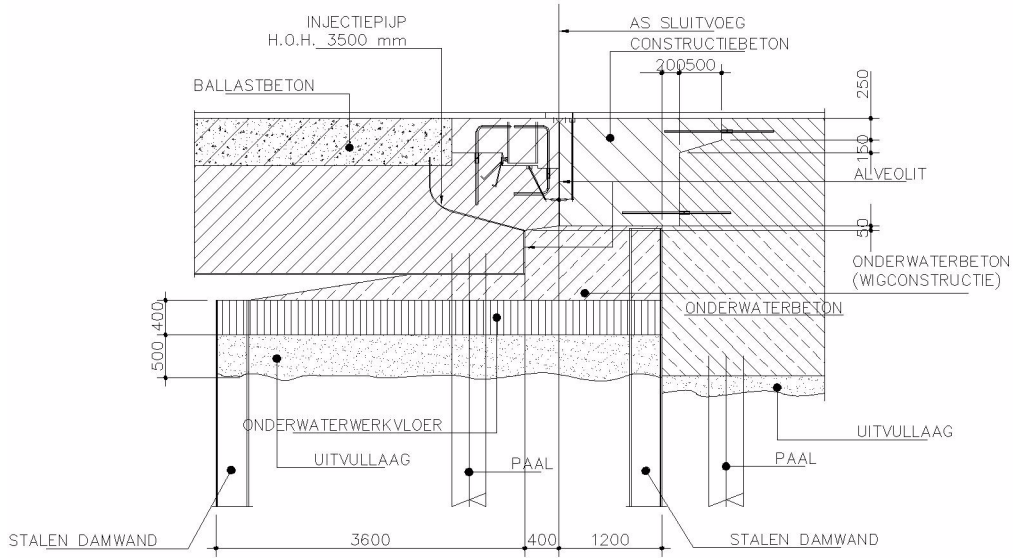
Het element en het landhoofd worden voorzien van een stalen aanslag.  
Krachtsoverdracht vindt plaats d.m.v. glijopleggingen.  
Een gedeelte van het element en van het landhoofd worden later gestort i.v.m. het invaren van het element.  
Eerste afdichting: pneumatisch profiel aan landhoofd.  
Tweede afdichting: Omega profiel.  
Omega profiel beschermen tegen mechanische invloeden en brand.

**Motivering:**

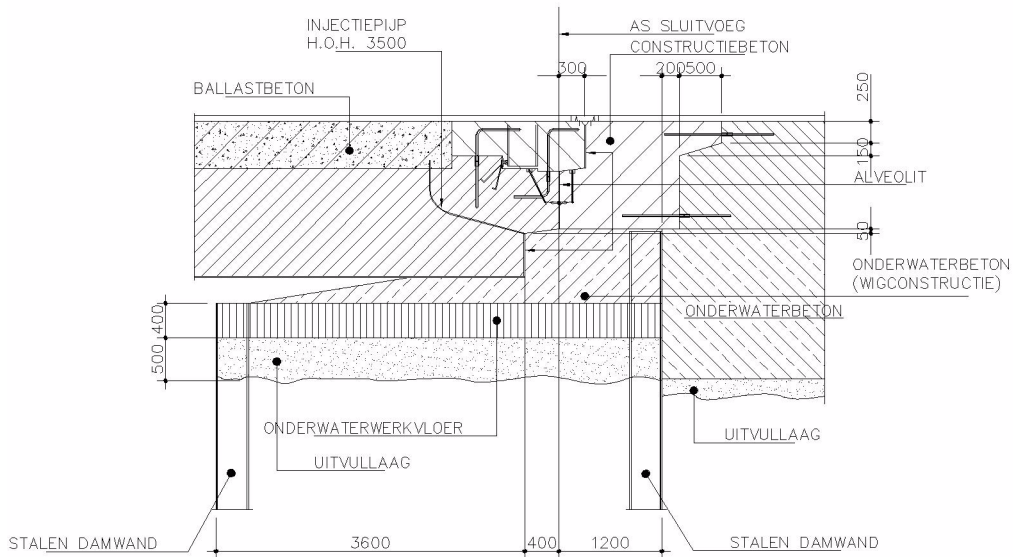
Een dergelijke oplossing kan worden toegepast wanneer een tunnelelement in de toerit gebouwd wordt.  
Het voordeel is dat er geen dure sluitvoegconstructie gemaakt hoeft te worden. Dit betekent overigens wel dat er achteraf geen correctie mogelijk is op de maatvoering. Er moet dus van te voren rekening worden gehouden met toleranties.

**Bijbehorende details:**

Detail 2 Waterafdichting (5.2.9.2)



DETAILONTWERP AFWERKING VLOER  
( OP PALEN )



DETAILONTWERP AFWERKING VLOER  
( OP STAAL )



### 5.2.8.2 Voeg met wigconstructie (vloer)

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Voeg tussen tunnelelement en landhoofd bij afgezonken tunnels.

**Detailontwerp:**

Het (laatste) element wordt uit de toerit verhaald en op zijn plaats afgezonken. Dan worden de damwanden op het dak geplaatst en de lange sluitvoegplanken langs de wanden geheid (zie 5.2.8.3). Daarna wordt het element door een wigconstructie van onderwaterbeton gefixeerd tegen de onderwaterbetonvloer van de naastliggende bouwkuip. Deze bouwkuip kan nu worden drooggezet en de naastliggende moten kunnen worden gemaakt. De sluitvoeg wordt verder in den droge afgemaakt.

Bij het funderen op staal van zowel tunnelelement als landhoofd wordt een dubbele tandconstructie toegepast.

De dikte van het onderwaterbeton(wigconstructie) berekenen (moet de waterdruk kunnen keren.)

**Motivering:**

Een dergelijke oplossing kan worden toegepast wanneer een tunnelelement in de toerit gebouwd wordt.

Het voordeel is dat de sluitvoegconstructie in den droge gemaakt kan worden.

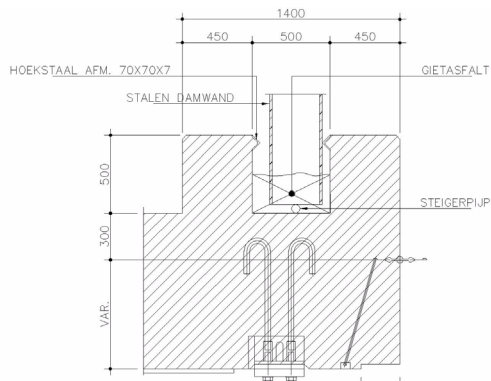
**Bijbehorende details:**

Geen

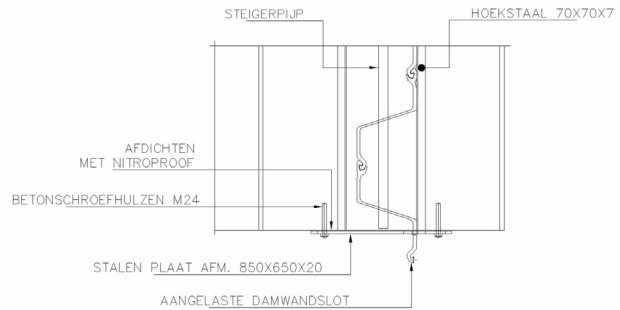


Tunneldetails

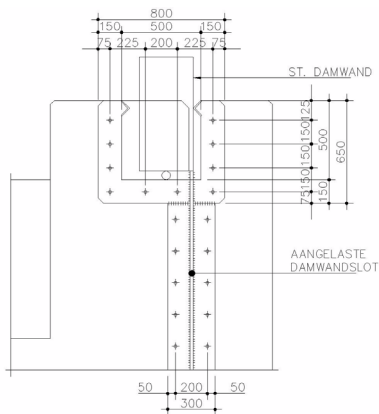
Zink- en sluitvoegen



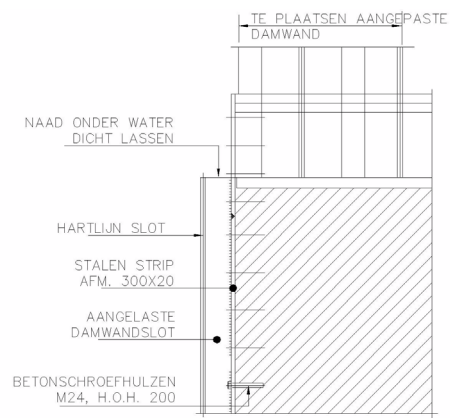
DEAILONTWERP AANSLUITING  
DAK-DAMWAND



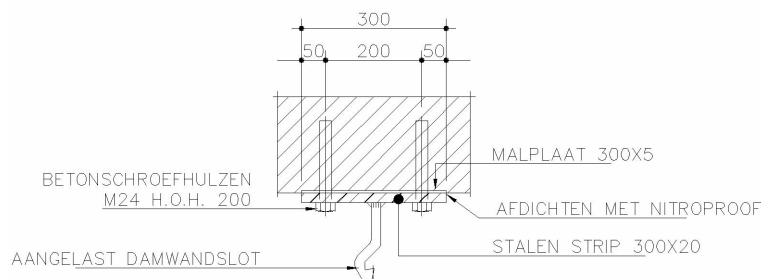
BOVENAANZICHT B



AANZICHT C



DOORSNEDE D



DOORSNEDE E



### 5.2.8.3 Voeg met wigconstructie (wand en dak)

**Functies:**

Het verzorgen van een water- en gronddichting in de eindfase.

Toestaan van bewegingen loodrecht op het voegvlak.

Verhinderen van verschilbewegingen evenwijdig aan het voegvlak.

**Toepassingen:**

Voeg tussen tunnelelement en landhoofd bij afgezonken tunnels.

**Detailontwerp:**

Het (laatste) element wordt uit de toerit verhaald en op zijn plaats afgezonken. Dan worden de damwanden op het dak geplaatst en de lange sluitvoegplanken langs de wanden geheid. Om beschadiging van het beton te voorkomen worden de damwanden op het dak op een steigerpijp gezet. Gietasfalt verzekert een waterdichte afsluiting. De aansluiting van de wand met de damwand wordt gemaakt via een aangelasd damwandslot. Daarna wordt het element door een wigconstructie van onderwaterbeton gefixeerd tegen de onderwaterbetonvloer van de naastliggende bouwkuip. Deze bouwkuip kan nu worden drooggezet en de naastliggende moten kunnen worden gemaakt. De sluitvoeg wordt verder in den droge afgemaakt.

**Motivering:**

Een dergelijke oplossing kan worden toegepast wanneer een tunnelelement in de toerit gebouwd wordt.

Het voordeel is dat de sluitvoegconstructie in den droge gemaakt kan worden.

**Bijbehorende details:**

Geen







#### 5.2.8.4 Achtergronden speciale sluitvoegconstructies

Wanneer een tunnelement in een tijdelijke bouwdok in het tracé of de toerit wordt gemaakt kan voor de sluitvoeg gebruik worden gemaakt van een pneumatisch profiel (Margrietunnel en aquaduct Alphen) of van een onderwaterbeton wig met een damwandkuip (Zeeburgertunnel) rondom het tunnelement. (Hoofdstuk 5.2.8)

a. Voeg met pneumatisch profiel.

Het bouwdok of de toerit wordt voorzien van een U-vormige kraag. De kraag wordt voorzien van een stalen omranding (Hoofdstuk 5.2.8.1) waaraan het pneumatisch profiel (voor detail zie Hoofdstuk 5.2.9.2) wordt bevestigd. Aan het tunnelement wordt een gecontramalde stalen omranding ingestort waartegen het pneumatisch profiel later, in opgeblazen toestand, aandrukt.

Na het afzinken wordt het pneumatisch profiel opgeblazen waarna het bouwdok of de toerit wordt drooggezet. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de horizontale stabiliteit van het tunnelement en de krachten die op de landhoofden aangrijpen. Na het leegpompen van het bouwdok of de toerit wordt een tweede dichting, het Omega-profiel, aangebracht.

In de montage (niet opgeblazen) toestand is het pneumatisch profiel inclusief de bevestiging circa 60 mm hoog. In opgeblazen toestand is het profiel 150 à 170 mm hoog. De ruimte tussen pneumatisch profiel en het tunnelement is per zijde dus niet meer dan 90 à 110 mm. Specifiek aandacht moet worden besteed aan de geleiding van het tunnelement om beschadiging van het pneumatisch profiel te voorkomen.

Het is te overwegen om beschadiging te voorkomen het profiel in een 60 mm diepe sponning in te bevestigen. Het is ook mogelijk om de zijkanten van het tunnelement van een kraag te voorzien zodat de afstand tussen pneumatisch profiel en tunnelement groter wordt. Een combinatie van beide maatregelen zou het mooiste zijn.

b. Wig met damwandkuip.

Aan weerszijden van het tunnelement worden damwandsloten bevestigd. De bovenzijde van het dak van het tunnelement wordt voorzien van een sponning of opstort waartussen damwanden worden geplaatst voor de waterdichting van het bouwdok of toerit. De sponning wordt met gietasfalt gevuld om onderloopsheid te voorkomen.

De damwanden moeten zodanig worden geplaatst dat de randsloten precies aansluiten op de sloten welke aan weerszijden van het tunnelement zijn bevestigd, waarna de sloten aan elkaar worden gelast. (Hoofdstuk 5.2.8.3) Aan deze aan elkaar vastgelaste sloten worden damwanden geslagen en aangesloten aan het bouwdok of de toerit.

Op de bodem van de gevormde damwandkuip wordt een werkvloer aangebracht om het onderwaterbeton te kunnen storten. Na het afzinken van het tunnelement wordt op de werkvloer het onderwaterbeton aangebracht (Hoofdstuk 5.2.8.2). Het doel van deze wig is om te voorkomen dat het tunnelement verplaatst wanneer het bouwdok of afrit weer wordt leeggepompt. Het onderwaterbeton naast het tunnelement moet niet alleen de waterdichting van de bodem vormen maar moet bovendien waterdicht aansluiten op het tunnelement. Dit kan worden bereikt door het onderwaterbeton aan weerszijden van de tunnel tenminste even hoog als de wig te storten.



Het voegvlak van het tunnelement wordt voorzien van een rubbermetalen voegstrook om later een normale dilatatievoeg te kunnen maken.

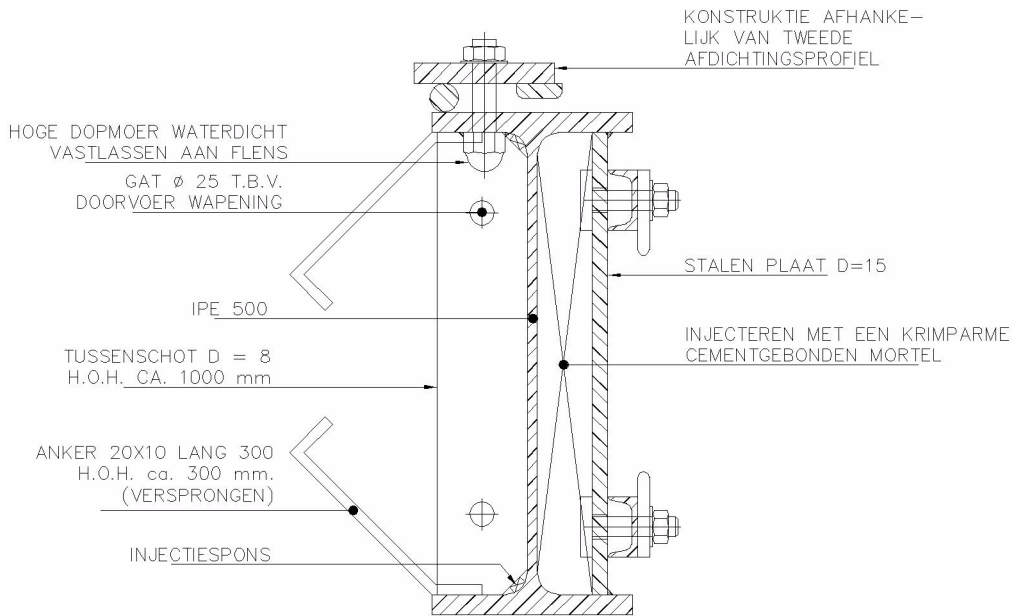


## **5.2.9 Bijbehorende details**

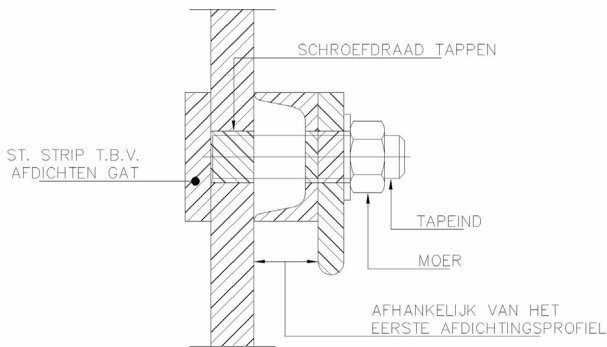


Tunneldetails

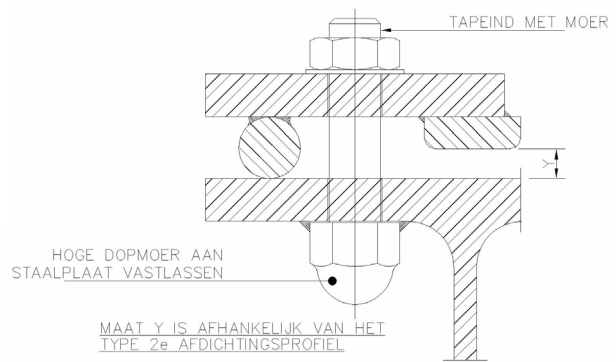
Zink- en sluitvoegen



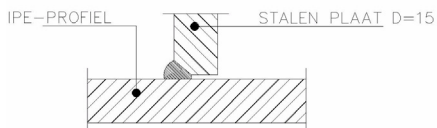
DETAILONTWERP STALEN OMRANDING



DETAILONTWERP KLEM EERSTE AFDICHTINGSPROFIEL



DETAILONTWERP KLEM 2e AFDICHTINGSPROFIEL



DETAIL LAS STALEN PLAAT IN IPE-PROFIEL



### 5.2.9.1 Detail 1 Stalen omranding zinkvoeg

**Functie:**

Het verzorgen van een zuiver vlakke en maatvastе ondergrond voor de bevestiging en aansluiting van de afdichtingsprofielen (eerste en tweede afdichtingsprofielen). Het voorzien van een bevestiging voor deze afdichtingsprofielen.

**Detailontwerp:**

Gekozen is een standaard IPE 500 profiel. Tussen de flenzen van het IPE profiel wordt een staalplaat, dik 15 mm gelast voor bevestiging c.q. aanslag van het eerste afdichtingsprofiel.

Bevestiging rubber profiel t.b.v. eerste afdichting met een stalen U-profiel en een staalplaat. Afmetingen afhankelijk van het type rubber profiel.

Bevestiging rubber profiel t.b.v. tweede afdichting met een staalplaat met een stalen staaf voor de krachtverdeling. Afmetingen afhankelijk van het type rubber profiel.

Op de flenzen van het IPE profiel twee injectiesponzen, over de volledige omtrek opnemen, om te kunnen injecteren voor een waterdichte aansluiting. Het buitenste sponsrubber in de vloer injecteren voordat stalen plaat in IPE-profiel wordt gelast. In dak en wanden erna.

De ruimte tussen het IPE profiel en de staalplaat moet worden geïnjecteerd met krimparme, cementgebonden mortel.

IPE-profielen voorzien van verstijvingsschotten, dik 8 mm aan de in te storten zijde t.b.v. de vormvastheid en de achterwaartse verankering in de beton. Hiertoe haarspelden door de verstijvingsschotten voeren.

De berekening en dimensionering voor de klemconstructie van het eerste afdichtingsprofiel zal door de aannemer gemaakt worden.

Alle draadeinden/moeren moeten berekend worden.

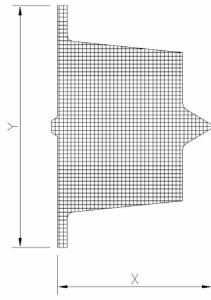
**Conservering:**

Conservering volgens RAW.



Tunneldetails

Zink- en sluitvoegen



MATEN X EN Y ZIJN AFHANKELIJK VAN HET GEKOZEN PROFIEL

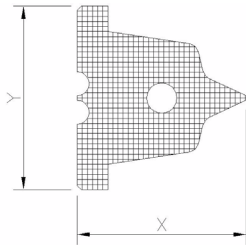
MAAT X IS DE MAAT BIJ HET AANBRENGEN VAN HET PROFIEL

EERSTE AFDICHTINGSPROFIEL (TYPE VREDESTEIN)



MAAT NA AFZINKEN

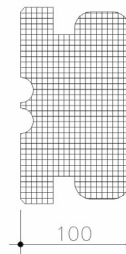
EERSTE AFDICHTINGSPROFIEL (TYPE VREDESTEIN)



MATEN X EN Y ZIJN AFHANKELIJK VAN HET GEKOZEN PROFIEL

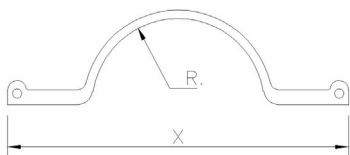
MAAT X IS DE MAAT BIJ HET AANBRENGEN VAN HET PROFIEL

EERSTE AFDICHTINGSPROFIEL (BAKKER RUBBER)



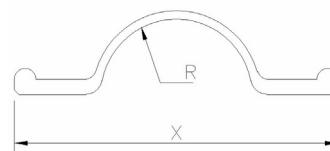
MAAT NA AFZINKEN

EERSTE AFDICHTINGSPROFIEL (BAKKER RUBBER)



MATEN X EN R ZIJN AFHANKELIJK VAN HET GEKOZEN PROFIEL

TWEEDE AFDICHTINGSPROFIEL (VREDESTEIN)



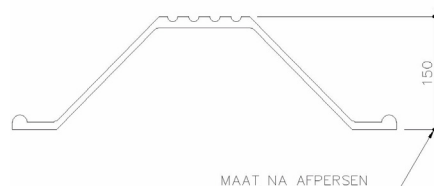
MATEN X EN R ZIJN AFHANKELIJK VAN HET GEKOZEN PROFIEL

TWEEDE AFDICHTINGSPROFIEL (BAKKER RUBBER)



MAAT VOOR AFPERSEN

PNEUMATISCH PROFIEL (VREDESTEIN)



MAAT NA AFPERSEN

PNEUMATISCH PROFIEL (VREDESTEIN)



### 5.2.9.2 Detail 2 Waterafdichting

**Functie:**

Het eerste afdichtingsprofiel verzorgt de eerste waterafdichting direct na het afzinken.

Het tweede afdichtingsprofiel (Omega-profiel) verzorgt na het maken van de zinkvoeg de tweede waterafdichting.

Pneumatisch profiel: het verzorgen van de eerste waterafdichting na het afzinken.

**Detailontwerp:***Eerste waterafdichting:*

In de doorsneden is het Gina-profiel van Vredestein getekend. Dit profiel wordt niet meer geleverd. Daarom is er nu ook een voorbeeld gegeven van een eerste afdichtingsprofiel van Bakker rubber. (Dit profiel heet geen Gina).

De indrukking van het profiel is afhankelijk van de samenstelling en vorm van het rubber, omtrek en waterdruk op het kopschot. De berekening van het profiel zal door de aannemer geschieden.

*Tweede waterafdichting:*

In de doorsneden is het Omega-profiel van Vredestein getekend. Dit profiel wordt niet meer geleverd. Daarom is er nu ook een voorbeeld gegeven van een tweede afdichtingsprofiel van Bakker rubber (ook Omega-profiel genaamd).

In combinatie met de IPE is een goede klemconstructie te verwezenlijken.

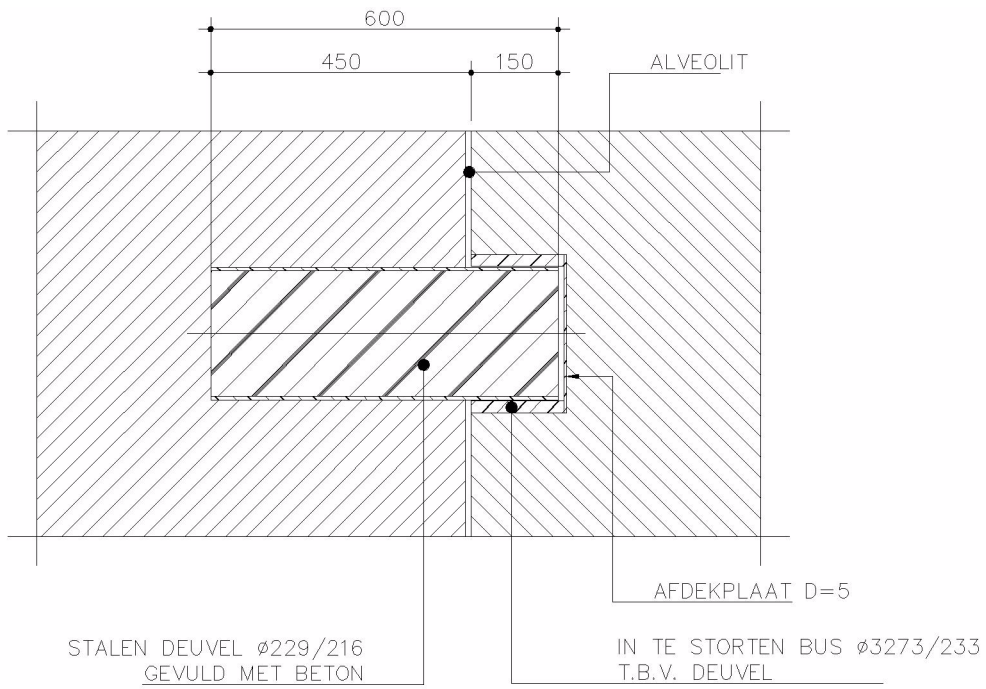
*Pneumatisch profiel:*

Gekozen is voor een profiel dat relatief grote vervormingen / maatafwijkingen kan ondergaan. In verband met de beschikbare ruimte tijdens het invaren van het element is het profiel in ontspannen toestand bovendien slechts 50 mm dik. Verder is het profiel bestand tegen grote waterdrukken.

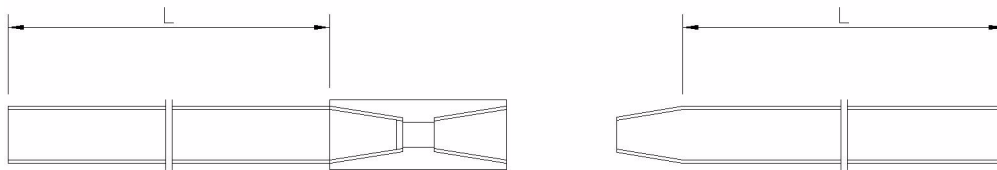
**Conservering:**

Niet van toepassing.





## DETAILONTWERP STALEN DEUVEL



L=VERANKERINGSLENGTE



### 5.2.9.3 Detail 3 Krachtsoverdracht

**Functie:**

I.v.m. het later aanstorten van de zinkvoeg, waartegen de waterdruk komt te staan, dienen ankers ingestort te worden om het moment op te kunnen nemen.

De deuvels zorgen er voor dat er geen verschil van zetting kan optreden tussen de elementen. Ze dienen de dwarskracht op te nemen.

**Detailontwerp:**

*Stalen deuvels en bussen:*

Toe te passen is een stalen deuvel, diameter 229/216 mm, lang 600 mm, die in een stalen bus schuift, in het secundaire tunneleind. De stalen deuvels vullen met beton. De h.o.h. afstand volgt uit berekening.

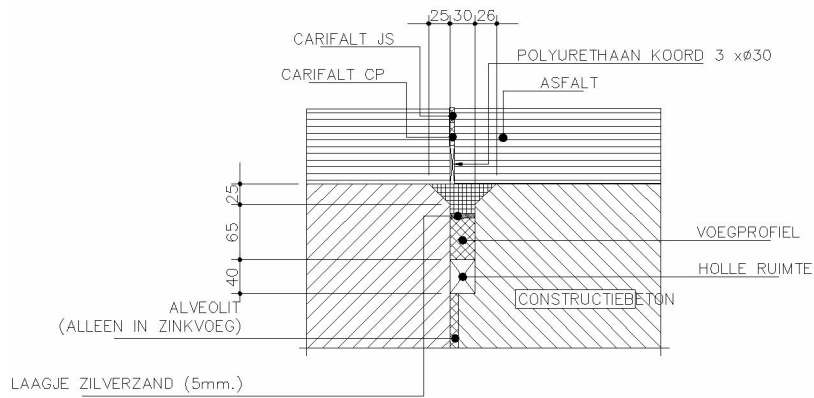
*In te storten ankers:*

Minimaal toepassen ankers M20.

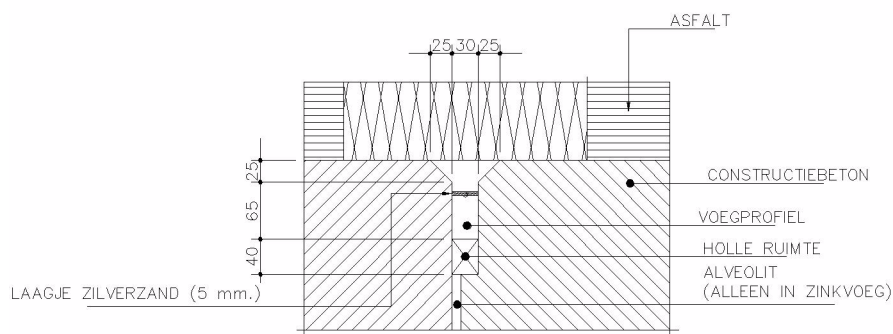
Aan de hand van de berekening zal de diameter en de h.o.h. afstand bepaald moeten worden.

**Conservering:**

De conservering volgens RAW.



DETAILONTWERP VOEGOVERGANG T.P.V. ASFALT



DETAILONTWERP VOEGOVERGANG T.P.V. ASFALT



#### 5.2.9.4 Detail 4 Voegovergang t.p.v. asfalt

**Functie:***Sponning:*

Het creëren van een waterafvoer voor eventueel lekwater in de zink- en sluitvoeg

*Thorma Joint:*

Het verzorgen van de vlakheid en continuïteit van het rijdek t.p.v. de voegovergang landhoofd/tunnelement en bij tunnelementen onderling waarbij de voorspanning niet doorgeslepen is. Water- en vuilafdichting, overbrugging dilatatie.

**Detailontwerp:**

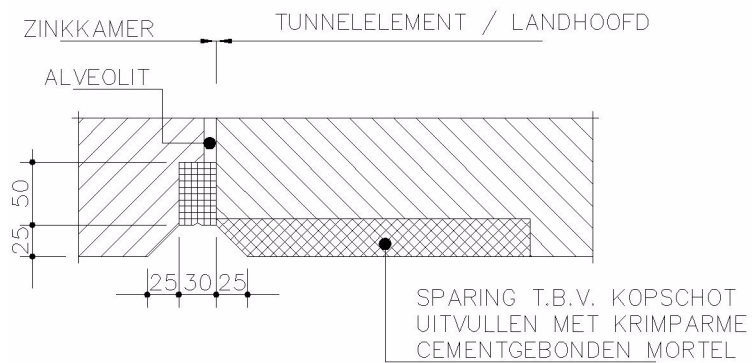
Voor de afwerking van de voegen tussen 2 tunnelementen en de voegen tussen de landhoofden en de tunnelementen wordt een Thorma Joint voegovergang toegepast. Dit omdat er in deze voegen de meeste werking verwacht wordt (voornamelijk rotatie).

De sponning dient in verbinding te staan met het middenkanaal d.m.v. een sparing in de middenwand. Het lekwater wordt uiteindelijk via de middenpompenkelder afgevoerd.

De breedte van de voeg is afhankelijk van de lengte van de tunnelementen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAILONTWERP:  
VOEGAFWERKING WAND ZONDER TEGELS

**5.2.9.5 Detail 5 Voegafwerking wand zonder tegels****Functie:**

Het verzorgen van een vlakke, gladde en stofdichte wand met voeg.

**Detailontwerp:**

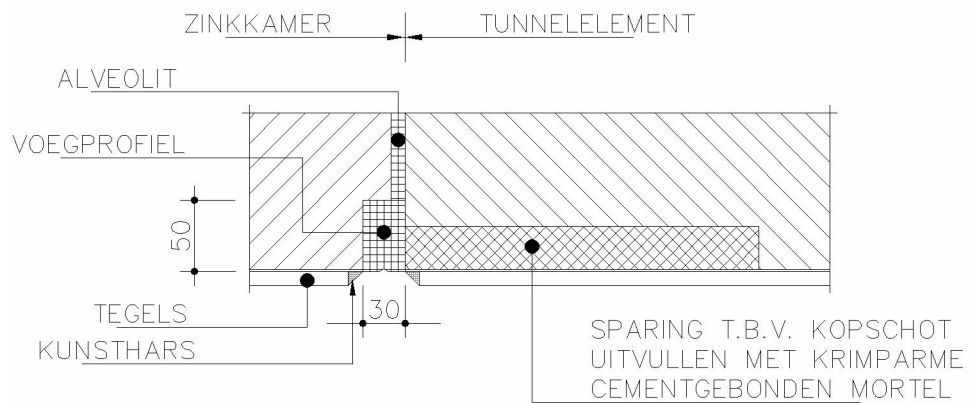
T.v. de stortnaad en de voeg dient eerst de sparing van het kopschot uitgevuld te worden met een cement gebonden mortel. Dit geldt voor de hele omtrek;

T.p.v. de voeg wordt een voegprofiel in een sponning toegepast.

Indien de voegprofielen niet worden aangebracht door de leverancier dan dienen er in het bestek voorschriften m.b.t. het aanbrengen te worden opgenomen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



## DEYAILONTWERP: AFWERKING WAND MET TEGELS



### 5.2.9.6 Detail 6 Voegafwerking wand met tegels

**Functie:**

Het verzorgen van een vlakke, gladde en stofdichte wand met voeg.

**Detailontwerp:**

T.p.v. de voeg dient de sparing van het kopschot uitgevuld te worden met krimparme cementgebonden mortel;

Vellingkanten zijn bij dit detail niet aanwezig.

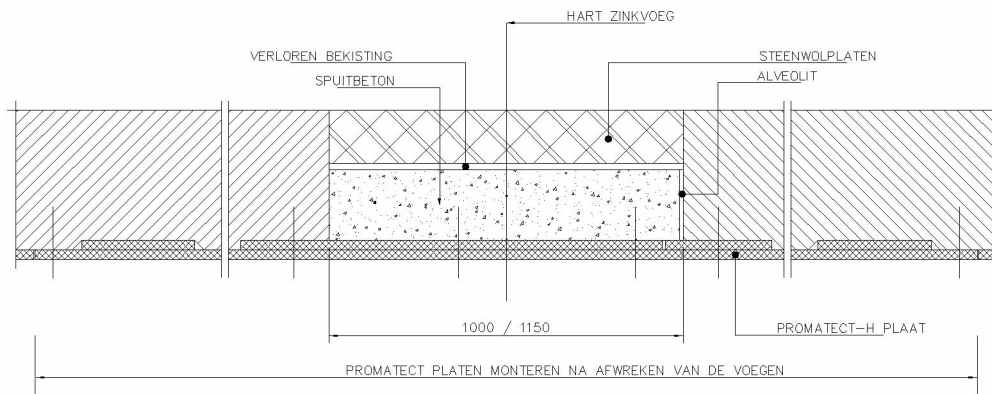
Indien de voegprofielen niet worden aangebracht door de leverancier dan dienen er in het bestek voorschriften m.b.t. het aanbrengen te worden opgenomen.

Omdat het voegprofiel bij inbrengen beschadigd kan raken door de scherpe randen van de tegels, worden de tegels iets teruggehouden en afgewerkt met een kunstharsmortel.

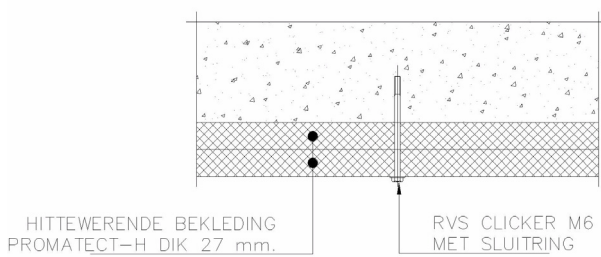
**Conservering:**

Niet van toepassing.

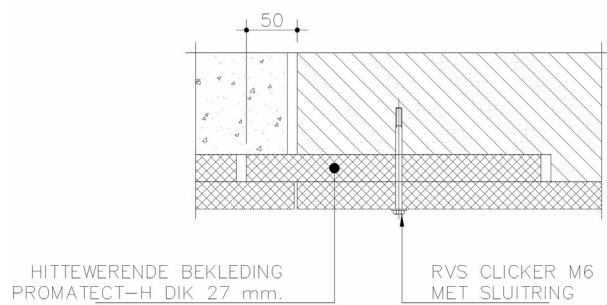




DETAILONTWERP AFWERKING ZINKVOEG DAK



DETAIL 1



DETAIL 2



### 5.2.9.7 Detail 7 Afwerking zinkvoeg dak

**Functie:**

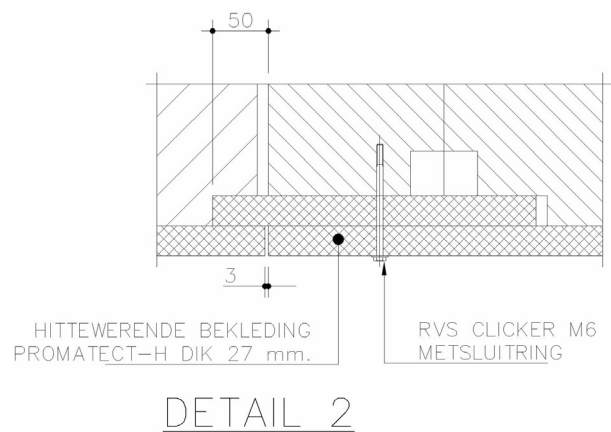
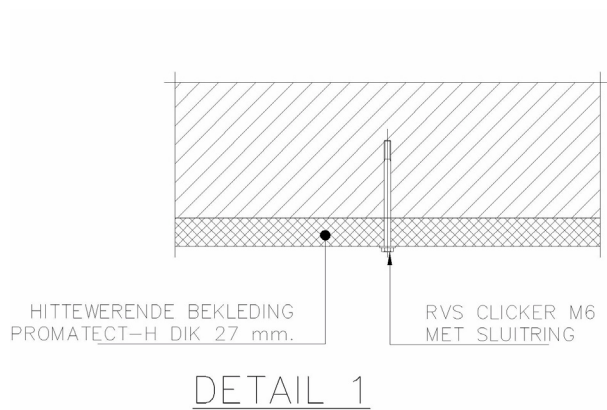
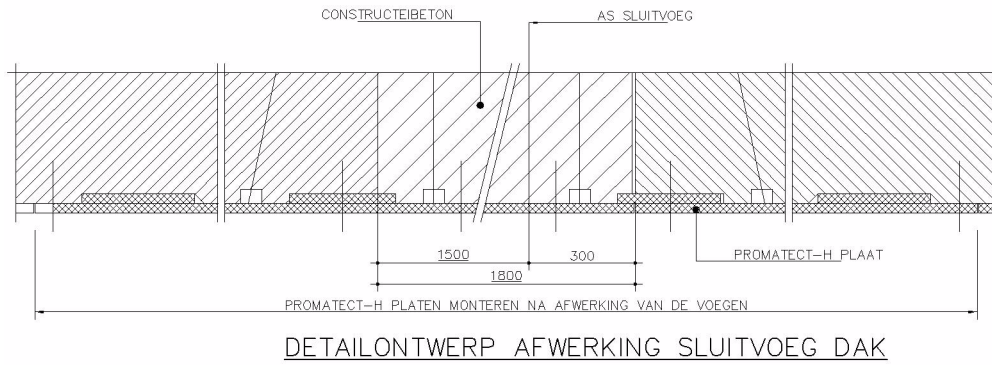
Het verzorgen van een hittewering t.p.v. de zinkvoeg;  
Het waarborgen van een dilatatie in de hittewering;  
Bescherming Omega-profiel tegen hitte.

**Detailontwerp:**

De sparing van de voeg wordt gevuld met steenwolplaten. Dit als isolatie voor het tweede afdichtingsprofiel.  
De bekisting zorgt voor scheiding met de spuitbeton. De laag spuitbeton is 200 mm.  
Als hittewering wordt een dubbele Promatect-H plaat toegepast.  
De dikte van de platen bedraagt 27 mm.  
Voor de bevestiging van de platen worden RVS clickers gebruikt, M6, h.o.h. max. 500 mm.  
Als dilatatie loopt de onderste plaat ca. 50 mm door.  
De sparing t.p.v. de aanslag van de kopschotstijlen kan worden opgevuld met Promatect-platen, maar kan ook worden gevuld met een krimparme cementgebonden mortel.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



**5.2.9.8 Detail 8 Afwerking sluitvoeg dak****Functie:**

Het verzorgen van een hittewering t.p.v. de sluitvoeg;

Het waarborgen van een dilatatie in de hittewering;

Het beschermen van het rubber metalen voegprofiel profiel tegen hitte.

**Detailontwerp:**

De sparing van de voeg wordt gevuld met beton;

Als hittewering wordt een Promatect-H plaat toegepast, dik 27 mm;

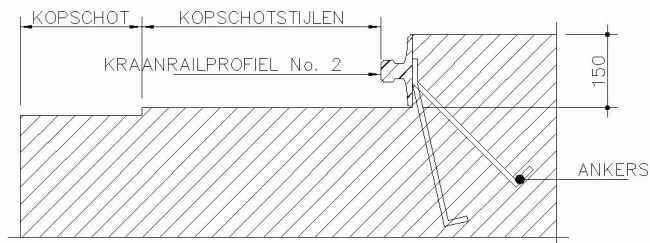
Voor de bevestiging van de platen worden RVS clickers gebruikt, M6, h.o.h. max. 500 mm;

Als dilatatie loopt de onderste plaat ca. 50 mm door.

De sparing t.p.v. de aanslag van de kopschotstijlen kan worden opgevuld met Promatect-platen, maar kan ook worden gevuld met een krimparme cementgebonden mortel.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAILONTWERP STALEN AANSLAG KOPSCHOTSTIJLEN



### 5.2.9.9 Detail 9 Stalen aanslag in de vloer

**Functie:**

Voor de krachtsoverdracht van de stalen kopschotstijlen achter het kopschot dient een stalen aanslag ingestort te worden

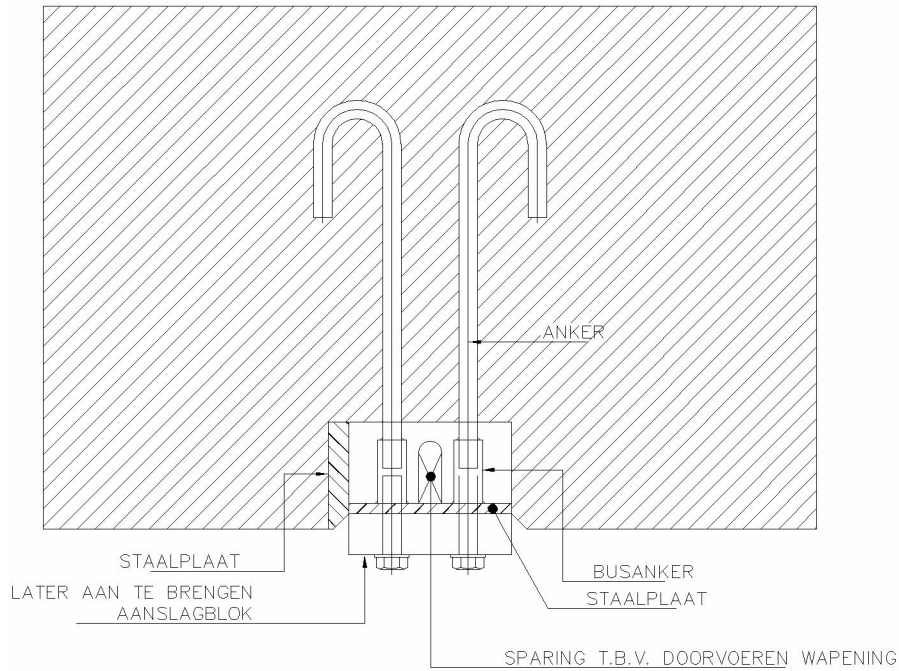
**Detailontwerp:**

Voor deze aanslag zijn meerdere oplossingen mogelijk. De aannemer kan deze aandragen. Hier als voorbeeld een stalen kraanrail profiel nr. 2, die na het slopen van het kopschot verwijderd moet worden. Dit om te voorkomen dat er grindnesten en een doorsnijding in het beton komen (onder het profiel). Voordeel van het profiel is dat het een doorgaande vlakke aansluiting geeft voor de kopschotstijlen. (minder maatgevoelig) ;

Aan de kraanrail ankers vastlassen ter keuze van de aannemer. (kan minimaal in aantal)

**Conservering:**

De conservering volgens RAW.



DETAILONTWERP ANKER T.B.V. AANSLAGBLOK

**5.2.9.10 Detail 10 In te storten aanslag in het dak****Functie:**

Voor de krachtsoverdracht van de stalen kopschotstijlen achter het kopschot dient een stalen aanslag ingestort te worden.

**Detailontwerp:**

Het ontwerp wordt door de aannemer uitgevoerd.

Voor deze aanslag zijn meerdere oplossingen mogelijk.

De aangegeven oplossing wordt meestal toegepast.

Uit ervaring is gebleken dat deze oplossing zeer doelmatig en goed is, maar wel duur.

**Conservering:**

De conservering volgens RAW.







## Inhoudsopgave Betonconstructies

- 5.3.1 Inleiding
- 5.3.2 Rioleringsysteem
  - 5.3.2.1 Inlaatputten (bij toepassing DAB)
  - 5.3.2.2 Inlaatputten (bij toepassing ZOAB)
  - 5.3.2.3 Achtergronden rioleringsysteem
- 5.3.3 Waterkelders
  - 5.3.3.1 Principe-indeling hoofdkelder
  - 5.3.3.2 Principe-indeling hoofdkelder met bezinkbassin
  - 5.3.3.3 Principe-indeling hoofdkelder met verbeterd gescheiden systeem
  - 5.3.3.4 Principe-indeling middenkelder
  - 5.3.3.5 Principe-indeling middenpompenkamer
  - 5.3.3.6 Inlaatroosters t.p.v. hoofdkelder (bij toepassing DAB)
  - 5.3.3.7 Inlaatroosters t.p.v. hoofdkelder (bij toepassing ZOAB)
  - 5.3.3.8 Inlaatroosters t.p.v. middenkelder (bij toepassing DAB)
  - 5.3.3.9 Waterslot
  - 5.3.3.10 Achtergronden waterkelders
- 5.3.4 Doorvoeren
  - 5.3.4.1 Stalen muurdoorvoer in waterkerende wanden
  - 5.3.4.2 Achtergronden doorvoeren
- 5.3.5 Hittewerende bekleding
  - 5.3.5.1 Bevestiging hittewerende bekleding
  - 5.3.5.2 Beëindiging hittewerende bekleding t.p.v. de wand
  - 5.3.5.3 Beëindiging hittewerende bekleding t.p.v. het dak
  - 5.3.5.4 Achtergronden hittewerende bekleding
- 5.3.6 Overige details
  - 5.3.6.1 Overgang ZOAB naar DAB in tunnels
  - 5.3.6.2 Oplegging stootplaten met voegovergang
  - 5.3.6.3 Ophanging ventilatoren
  - 5.3.6.4 Achtergronden overige details
- 5.3.7 Diversen
  - 5.3.7.1 Lijst met technische begrippen
  - 5.3.7.2 Literatuurlijst / Bronnen



---

Tunneldetails



## **5.3 BETONCONSTRUCTIES**

### **5.3.1 Inleiding**

Dit hoofdstuk heeft betrekking op een aantal betonconstructies die voorkomen in tunnels.

Hierbij gaat het met name over de indeling van waterkelders en in te storten voorzieningen.

Er wordt in dit hoofdstuk een aantal malen verwezen naar de Veiligheidsrichtlijnen deel C: Basismaatregelen (VRC). Hierin worden veiligheidsmaatregelen voorgeschreven die in ondergrondse en verdiept gelegen infrastructuur moeten worden toegepast.

Daar waar gesproken wordt over tunnels, kan afhankelijk van het detail gelezen worden tunnels, aquaducten en onderdoorgangen.

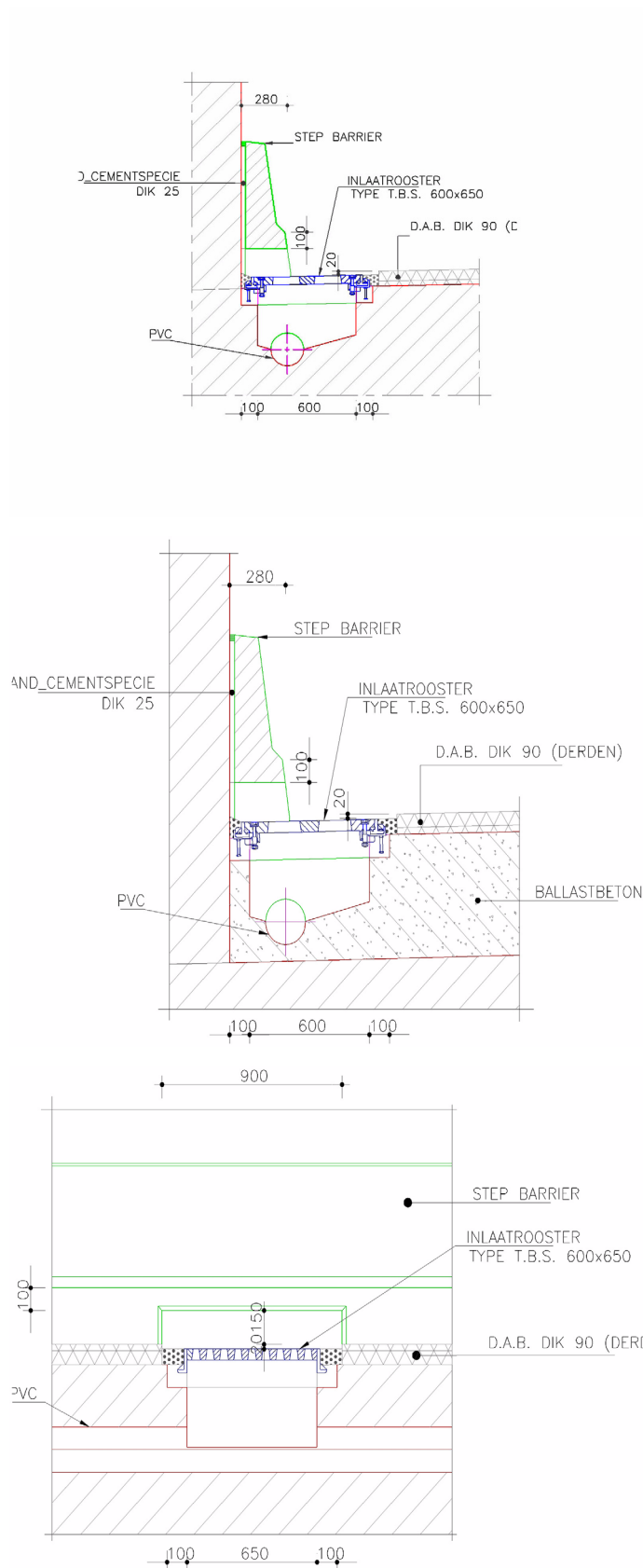
De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

- definitief: maart 1993
- 1e herziening: juli 1995
- 2e herziening: december 2000
- 3e herziening : oktober 2005





### **5.3.2 Rioleringsysteem**





### 5.3.2.1 Inlaatputten (bij toepassing DAB)

**Doel:**

Het naar één of meer verzamelpunten afvoeren van hemel- en wandenwaswater en het afvoeren van eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen van de weg zodat het verdampingsoppervlak kleiner wordt en het explosiegevaar beperkt wordt.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte en in het gedeelte van de overgangsgedeelten waar DAB wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op de rioleringsbuis wordt een bekisting aangebracht t.b.v. de sparing van het inlaatrooster. Na het storten van het beton wordt het inlaatrooster geplaatst en aangestort met krimparme cementgebonden mortel. De barrier wordt ter plaatse van de inlaatroosters voorzien van een sparing. Het inlaatrooster wordt in dwarsrichting ten minste 100 mm onder de barrier geplaatst. De bovenkant van het inlaatrooster wordt 20 mm onder bovenkant asfalt gesteld. De roosters zijn van het type TBS 600/650 (gekneveld; zwaar verkeer). Om te voorkomen dat water onder de barriers komt moeten de kopse kanten onder de barriers worden dichtgezet met bijvoorbeeld thormaseal.

De afstand tussen de inlaatroosters bedraagt maximaal 20 m en op opgaande hellingen maximaal 10 m. De buis moet minimaal ca. 150 mm onder het betonoppervlak liggen. Bij gewapend beton rekening houden met de betondrukzone. Bij ballastbeton moet er minimaal 60 mm beton onder de buis aanwezig zijn.

De kantstreep dient om de meter, onder een hoek van 45 graden in de stroomrichting, over een lengte van 100 mm te worden onderbroken.

Voor het afvoeren van lekwater uit de ballastbeton kan een aanvullende drainage onder de ZOAB laag worden aangebracht. Deze bestaat uit een platte drain (drainflex) die door middel van het aanboren van de PVC-afvoerleiding het lekwater afvoert.

**Motivering:**

Bij praktijkproeven is gebleken dat uitsparingen onder in de barriers en het gedeeltelijk onder de barriers plaatsen van de inlaatroosters positief werken op de afvoer van water en dus het plasoppervlak beperken.

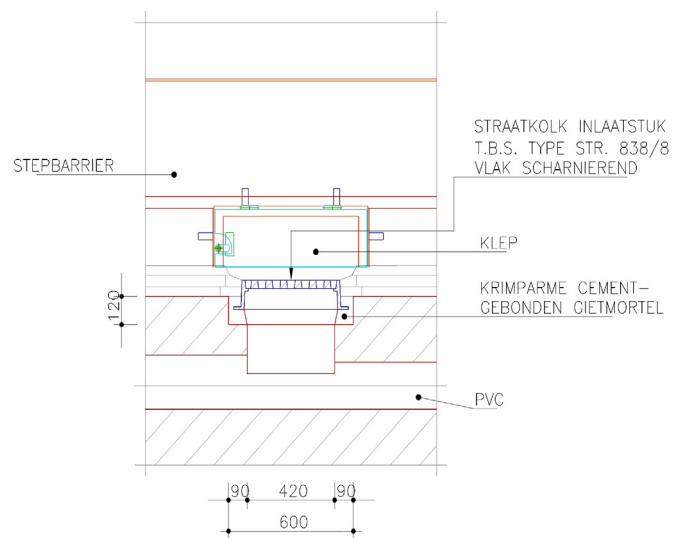
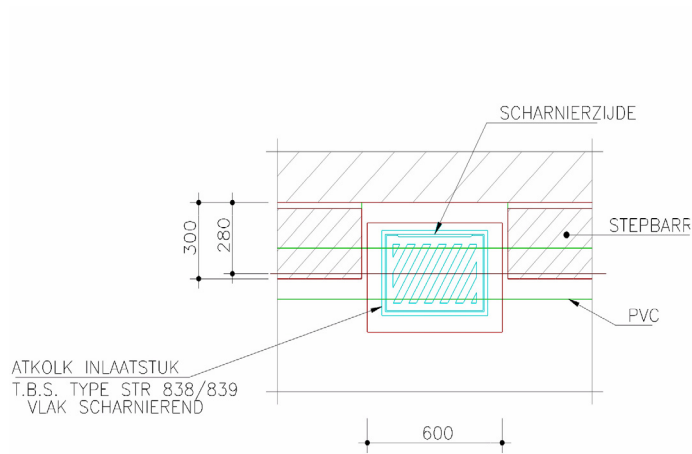
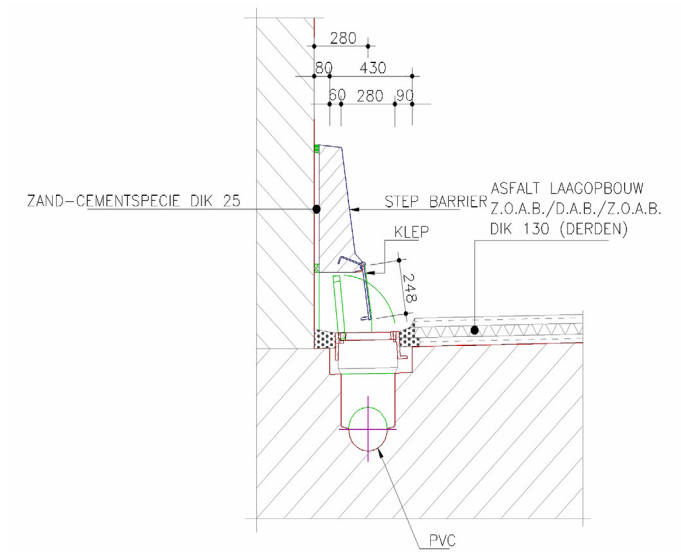
Voor het toepassen van een scharnierend deksel is vanwege de gedeeltelijke plaatsing onder de barrier geen ruimte, daarom wordt een gekneveld inlaatrooster toegepast. De sparing in de barrier moet voldoende hoog zijn om de achterste knevel los te kunnen draaien.

Berekening van de afvoer volgens de Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

**Conservering:**

Alkydhars merk Tropic rw Primer zf.







### 5.3.2.2 Inlaatputten (bij toepassing ZOAB)

**Doel:**

Het naar één of meer verzamelputten afvoeren van hemel- en wandenwaswater.

**Toepassingen:**

In de toeritten en in een gedeelte van de overgangsgedeelten van tunnels waar ZOAB wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op de rioleringsbuis wordt een bekisting aangebracht t.b.v. de sparing van het inlaatstuk. Na het storten van het beton wordt het inlaatstuk geplaatst en aangestort met krimparme cementgebonden mortel. De inlaatput wordt 20 mm onder bovenkant DAB gesteld; 1 per stortmoot, echter max. h.o.h. afstand 25 m.

Aangezien de put voor het grootste gedeelte onder de geleidebarrier zit wordt de geleidebarrier voorzien van een R.V.S. klepje (zie hoofdstuk Prefabconstructies).

Vanwege de bereikbaarheid wordt het scharnier van de put aan de wandzijde geplaatst.

De buis moet minimaal ca. 150 mm onder het betonoppervlak liggen. Bij gewapend beton rekening houden met de betondrukzone.

**Motivering:**

Het type straatkolkinlaat (TBS STR 838/839) wordt toegepast vanwege de afmetingen en de vlakscharnierendheid.

Berekening van de afvoer volgens de Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

**Conservering:**

Alkydhars merk Tropic rw Primer zf





### 5.3.2.3 Achtergronden rioleringsysteem

Op 11 juni 2004 hebben er in de Calandtunnel proeven plaatsgevonden om de afvoercapaciteit van de riolering in tunnels te onderzoeken. De resultaten van deze proeven zijn vastgelegd in de notitie met de titel "Eindrapportage afvoercapaciteit riolering, Onderzoek in de Calandtunnel" juli 2004 met documentnummer 4818-2004-0336.

De conclusies uit deze proeven hebben voornamelijk betrekking op de gedeeltelijke plaatsing van de inlaatroosters onder de barrier in het gesloten gedeelte van tunnels en zijn verwerkt in de detaillering. Dit heeft er toe geleid dat het detail in SATO in de versie 2005 is aangepast. Hierbij is de scharnierende straatkolkinlaat die tegen de barrier werd geplaatst vervangen door een gekneveld rooster dat gedeeltelijk onder een sparing in de barrier wordt geplaatst.

Voor die delen in de tunnel waar ZOAB wordt toegepast moeten de inlaatputten zo ver mogelijk onder de barrier worden aangebracht. Dit heeft echter niet zo zeer te maken met de afvoercapaciteit, maar met de veiligheid van de weggebruikers. Zou de inlaatput niet onder de barrier worden geplaatst dan ontstaat bij iedere put een diepe kuil in de weg die gevaar oplevert voor de verkeersveiligheid. Is er sprake van een vluchtstrook (die niet in een later stadium wordt gebruikt als rijstrook) dan is de noodzaak voor een plaatsing onder de barrier niet aanwezig. Er kan dan gekozen worden voor dezelfde oplossing als bij die delen waar DAB wordt toegepast.

Bovengenoemde wijziging is in juli 2005 voorgelegd aan de beheerder van de Wijkertunnel. Hierbij werd een aantal zaken besproken dat te maken had met het onderhoud van het rioleringsysteem.

- Het toepassen van gekneveld roosters i.p.v. scharnierende inlaatkolken in het gesloten gedeelte levert geen probleem op, zolang de knevels maar goed bereikbaar zijn. Hiertoe moet de sparing in de barrier voldoende hoog zijn (ref. Calandtunnel 150 mm).
- Het tweede aspect heeft te maken met de afmeting van de zuigbuis waarmee de putten in de tunnels worden schoongemaakt. Door het gedeeltelijk plaatsen van het inlaatrooster onder de barrier is er minder ruimte beschikbaar voor onderhoud. Navraag leerde echter dat de zuigbuis een diameter heeft van slechts 40 mm. Het toegepaste inlaatrooster TBS 600/650 is voldoende breed om het onderhoud te laten plaatsvinden.
- Het laatste aspect had te maken met de ZOAB oplossing. Aangezien dit een relatief dure oplossing is, is nagevraagd hoe het onderhoud plaatsvindt. Worden alle putten opengemaakt of bijvoorbeeld om de 100 meter? Het blijkt echter dat tijdens het reguliere onderhoud in de tunnel alle inlaatputten worden schoongemaakt en dat ze dus allemaal d.m.v. het aangegeven klepje bereikbaar moeten zijn.

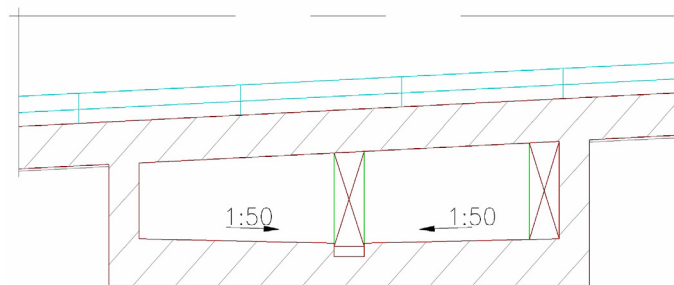
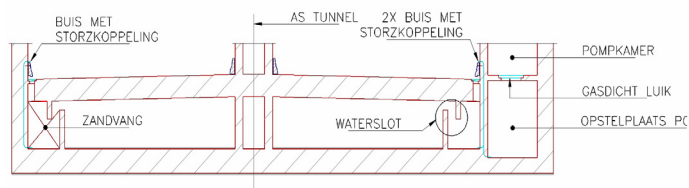
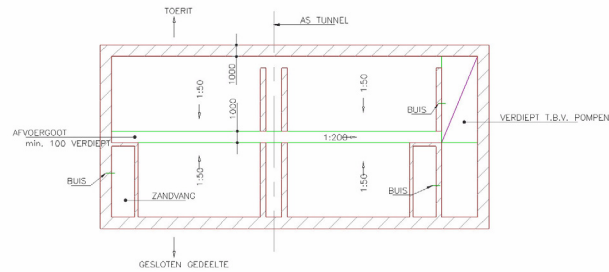
Een andere wijziging die in de versie 2005 is doorgevoerd is het materiaal van de riolering. In het verleden werden veelal vezelcementbuizen toegepast als riolering in tunnels. Deze buizen waren bestand tegen een groot aantal chemicaliën. Dit type buis is echter niet meer leverbaar. Daarom is nu gekozen voor PVC.

Voor wat betreft de conservering moet nog vermeld worden dat een conservering met twee lagen epoxytar (zoals aangegeven in SATO versie juli 1995) niet meer is toegestaan vanwege het milieu. Dit is vervangen door een conservering met alkydhars merk Tropic rw Primer zf.





### **5.3.3 Waterkelders**





### 5.3.3.1 Principe-indeling hoofdwaterkelder

**Doel:**

Het verzamelen en afvoeren van hemel- en wandenwaswater en eventueel lekwater en vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het voorkomen van dampvorming in de afvoerbuïs.

**Toepassingen:**

In het overgangsgedeelte t.p.v. de overgang naar de toeritten in tunnels, waarbij vanuit de vergunningsvoorwaarden geen (verbeterd) gescheiden systeem wordt geëist.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van de indeling van een hoofdwaterkelder.

De onderdelen die in een dergelijke kelder aanwezig dienen te zijn, zijn:

- waterberging;
- per rijbuis een zandvang met waterslot (gescheiden per rijbuis);
- verdiept gedeelte t.b.v. pompen (min. ca. 0.35 m).

De af te voeren vloeistoffen komen via roosters in de redresseerstrook in de zandvang terecht. Deze roosters dienen tevens voor de toegankelijkheid van de zandvang. De rest van de kelder is toegankelijk via de pompkamer en via een luik in de redresseerstrook. De diverse hellingen waarborgen een goede afvoer naar de pompen.

Er moeten in de pompkelders 3 buizen aangebracht worden, welke voorzien zijn van een Stortkoppeling. Twee buizen beginnen boven de geleidebarrier en eindigen zo laag mogelijk in de watersloten. De andere buis begint boven de geleidebarrier en eindigt zo laag mogelijk in de pompkelder. Indien er een vluchtstrook aanwezig is, dan bij voorkeur de buizen hier laten beginnen.

Er moet een ontluchtingsbuis zitten tussen de waterkelder en de buitenlucht (niet de tunnelbuis of het middenkanaal). Deze buis begint zo hoog mogelijk in de waterkelder, eindigt boven het dienstengebouw en is voorzien van een vlamdover. Bij de doorvoer van buizen door wanden moeten de buizen zodanig worden aangebracht dat er geen vonkdoorslag op kan treden.

**Motivering:**

De effectieve berging van de kelder wordt enerzijds bepaald door de hoeveelheid toestromend water (maatgevende bui volgens methode Braak) en anderzijds door de eisen die gesteld worden in de Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

De inlaatroosters worden zo laag mogelijk in het alignement geplaatst zodat zoveel mogelijk regenwater kan worden afgevoerd via de hoofdwaterkelders.

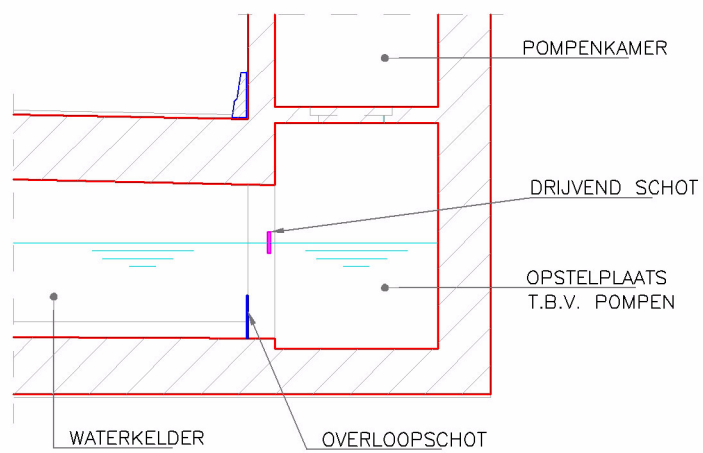
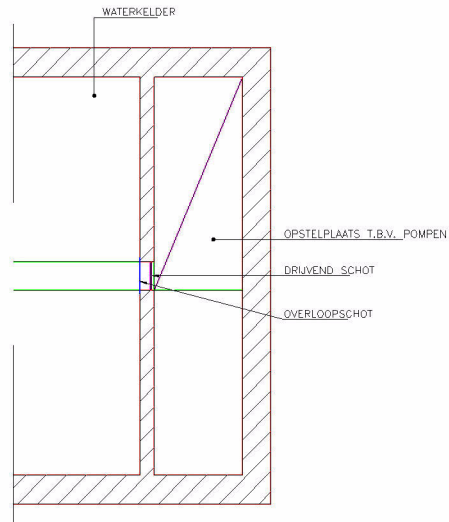
De buizen met Stortkoppeling zijn bedoeld om de waterkelder en het waterslot na een calamiteit leeg te pompen om gevaarlijke stoffen af te voeren. De buizen naar de watersloten kunnen gebruikt worden om het waterslot weer te vullen met water.

Drainagewater hoeft niet via de zandvang afgevoerd te worden, behalve wanneer er kans is op ijzerhoudend water.

**Conservering:**

Alle stalen buizen thermisch verzinkt uitvoeren.







### 5.3.3.2 Principe-indeling hoofdwaterkelder met bezinkbassin

**Doel:**

Het verzamelen en afvoeren van hemel- en wandenwaswater en eventueel lekwater en vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het voorkomen van dampvorming in de afvoerbuïs.

**Toepassingen:**

In het overgangsgedeelte t.p.v. de overgang naar de toeritten in tunnels, waarbij vanuit de vergunningsvoorwaarden een zuiveringstechnische voorziening wordt geëist.

**Detailontwerp:**

Het detailontwerp is in grote lijnen gelijk aan dat van de in het vorige hoofdstuk beschreven principe-indeling van de hoofdwaterkelder.

De extra voorzieningen zijn een overloopschot en een drijvend schot voor de toegang naar de opstelplaats voor de pompen. Daarnaast moet er in de berging ruimte gereserveerd worden die fungeert als bezinkbassin. Het overloopschot zorgt ervoor dat er een bassin ontstaat waarin microverontreinigingen naar de bodem bezinken. De drijvende balk zorgt ervoor dat drijvende delen en olie tegen worden gehouden. De hoogte van het schot bepaalt de diepte van het bezinkbassin. Deze diepte is onder meer afhankelijk van de snelheid waarmee de af te voeren vloeistoffen de kelder binnen stromen. Een andere belangrijke factor is de afstand van het instroompunt van de af te voeren vloeistoffen tot het overlooppunt. Deze afstand wordt bepaald door de benodigde bezinktijd. Eén en ander is weer afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater en zal moeten worden bepaald in overleg met de vergunningverlener.

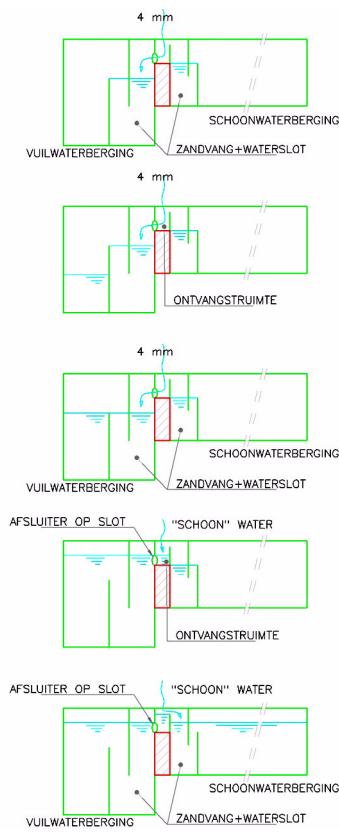
**Motivering:**

Voordeel van dit principe is dat met eenvoudige middelen een zuiveringstechnische voorziening in de waterkelder kan worden gecreëerd. Het grote nadeel is echter dat de waterkelder dieper moet worden gemaakt dan op basis van de benodigde bergingscapaciteit noodzakelijk is.

Deze voorziening is ingebouwd in de Vlaketunnel. Er werd daar door de vergunningverlener een zuiveringstechnische voorziening geëist en de waterkelders bleken een overcapaciteit te hebben. De hier beschreven oplossing bleek een eenvoudige en vooral goedkope oplossing voor dit probleem te zijn.

**Conservering:**

Niet van toepassing





### 5.3.3.3 Principe-indeling hoofdwaterkelder met verbeterd gescheiden systeem

**Doel:**

Het verzamelen en afvoeren van hemel- en wandenwaswater en eventueel lekwater en vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het voorkomen van dampvorming in de afvoerbuï.

**Toepassingen:**

In het overgangsgedeelte t.p.v. de overgang naar de toeritten in tunnels, waarbij vanuit de vergunningsvoorwaarden een zuiveringstechnische voorziening wordt geëist.

**Detailontwerp:**

Bij dit systeem wordt de eerste 4 mm van een regenbui opgevangen in een vuilwaterberging en de rest in een schoonwaterberging.

Om het vervuilde en het (relatief) schone water gescheiden te kunnen opvangen en afvoeren, wordt de waterkelder verdeeld in twee delen, te weten een vuilwaterberging en een schoonwaterberging. Daarnaast is de waterkelder voorzien van een ontvangstput die de functie heeft om het af te voeren water door te geven aan de vuilwaterberging en vervolgens de schoonwaterberging. Het doorstroomniveau naar de vuilwaterberging is lager gelegen dan het overloopniveau naar de schoonwaterberging. Het af te voeren water komt binnen in de ontvangstput. Deze put wordt tot het niveau van de doorstroomopening opgevuld met beton. Hiermee wordt voorkomen dat er vuil water in de put achterblijft na het afsluiten van de doorvoer naar de vuilwaterberging en er vermenging optreedt tussen schoon en vuil water.

De doorstroomopening wordt voorzien van niveaugeregelde afsluiters, die ervoor zorgen dat de doorvoer naar de vuilwaterberging wordt afgesloten na de opvang van de eerste 4 mm.

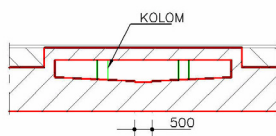
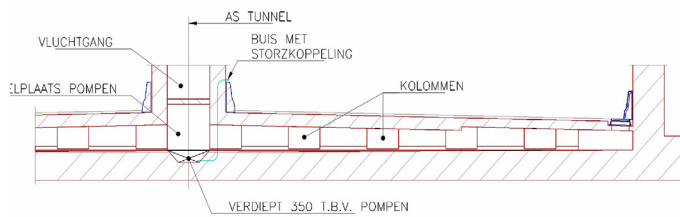
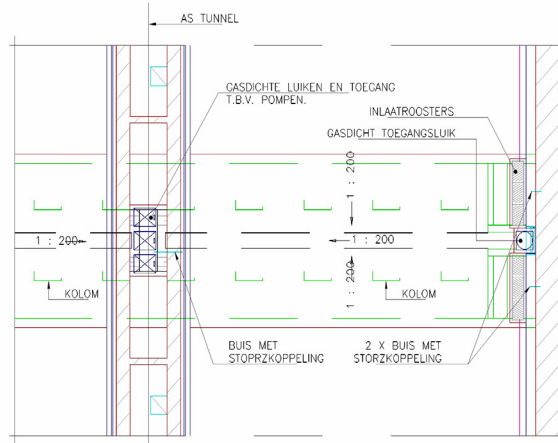
**Motivering:**

Uitgangspunt van dit systeem is dat het wegdek door de eerste 4 mm van een buï schoon wordt gespoeld. Het hemelwater dat hierna op het wegdek valt en via de riolering naar de waterkelder stroomt is relatief schoon. Het vuile water uit de vuilwaterberging wordt geloosd op het riool en het relatief schone water uit de schoonwaterberging wordt geloosd op het oppervlaktewater.

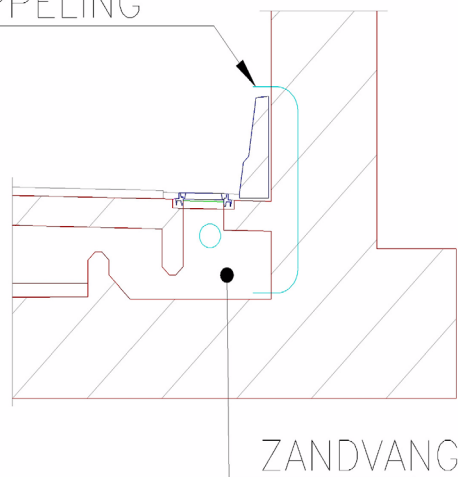
Er zijn vele varianten mogelijk op dit systeem. Van belang is dat voorkomen moet worden dat er in de ontvangstput vermenging optreedt tussen vuil en schoon water. Hiertoe moet de inhoud van deze ontvangstput zo klein mogelijk worden gemaakt.

**Conservering:**

Niet van toepassing



BUIS MET TORZKOPPELING





### 5.3.3.4 Principe-indeling middenkelder

**Doel:**

Het verzamelen en afvoeren van hemel- en wandenwaswater, eventueel lekwater en vrijgekomen gevaarlijke stoffen.

**Toepassingen:**

In het diepste gedeelte in tunnels.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van de indeling van een middenkelder in een afgezonken tunnel. De vorm wordt enigszins bepaald door de beschikbare hoogte van de vloer.

De onderdelen die in een dergelijke kelder aanwezig dienen te zijn, zijn:

- waterberging;
- per rijbuis een zandvang met waterslot (gescheiden per rijbuis);
- verdiept gedeelte t.b.v. pompen (min. ca. 0.35 m).

De af te voeren vloeistoffen komen via roosters in de redresseerstrook in de zandvang terecht. Deze roosters dienen tevens voor de toegankelijkheid van de zandvang. De rest van de kelder is toegankelijk via de toegangsluiken in de tunnelbuizen (putrand met deksel TBS, geknevelde uitvoering, voor zwaar verkeer, type 515). Deze luiken worden in de redresseerstrook tussen de twee gedeeltes van de zandvang aangebracht. Ook in de vluchtgang bevindt zich een toegangsluik. De diverse hellingen waarborgen een goede afvoer naar de pompen.

Er moeten in de middenkelder 5 buizen aangebracht worden, welke voorzien zijn van een Stortkoppeling. Vier buizen beginnen boven de geleidebarrier en eindigen zo laag mogelijk in de watersloten. De andere buis begint boven de geleidebarrier en eindigt zo laag mogelijk in de middenkelder.

Er moet een ontluchtingsbuis zitten tussen de waterkelder en een tunnelbuis. Deze buis begint zo hoog mogelijk in de waterkelder, eindigt zo hoog mogelijk in de tunnelbuis en is voorzien van een vlamdover.

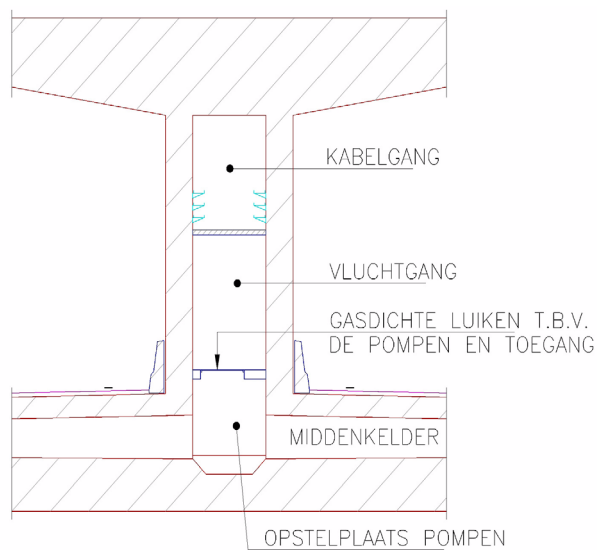
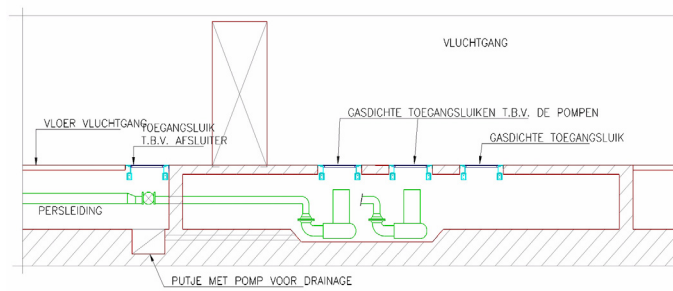
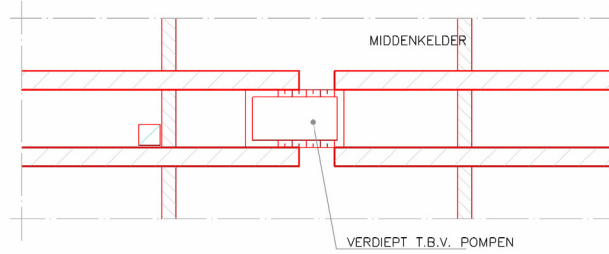
Bij de doorvoer van buizen door wanden moeten de buizen zodanig worden aangebracht dat er geen vonkdoorslag op kan treden.

**Motivering:**

De buizen met Stortkoppeling zijn bedoeld om de waterkelder en het waterslot na een calamiteit leeg te pompen om gevaarlijke stoffen af te voeren. De buizen naar de watersloten kunnen gebruikt worden om de watersloten weer te vullen met water.

**Conservering:**

Alle buizen thermisch verzinkt uitvoeren.





### 5.3.3.5 Principe-indeling middenpompenkamer

**Doel:**

Ruimte t.b.v. opstelplaats en bediening van de pompen van de middenkelder.

**Toepassingen:**

In het diepste gedeelte in tunnels.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van de indeling van een middenpompenkamer in een afgezonken tunnel onder het vluchtpad.

De pompen bevinden zich in een diep deel onder de vloer van het vluchtpad. De gasdichte luiken dienen als toegangsluik. Ook de persleiding en de afsluiters bevinden zich onder het vluchtpad.

Het water wordt afgevoerd naar de hoofdwaterkelder via de persleiding.

De pompputten net buiten de middenpompenkamer dienen voor het verzamelen van eventueel lekwater in het middenkanaal. Vanuit deze pompputten wordt het water naar de middenkelder gepompt.

**Motivering:**

In de nieuwste versie van de VRC is de eis opgenomen dat de vluchtgang in het middentunnelkanaal niet mag worden onderbroken en aan beide zijden een uitgang dient te hebben. De hier aangegeven principe-indeling is het resultaat van een onderzoek naar de ombouw van de bestaande Coentunnel.

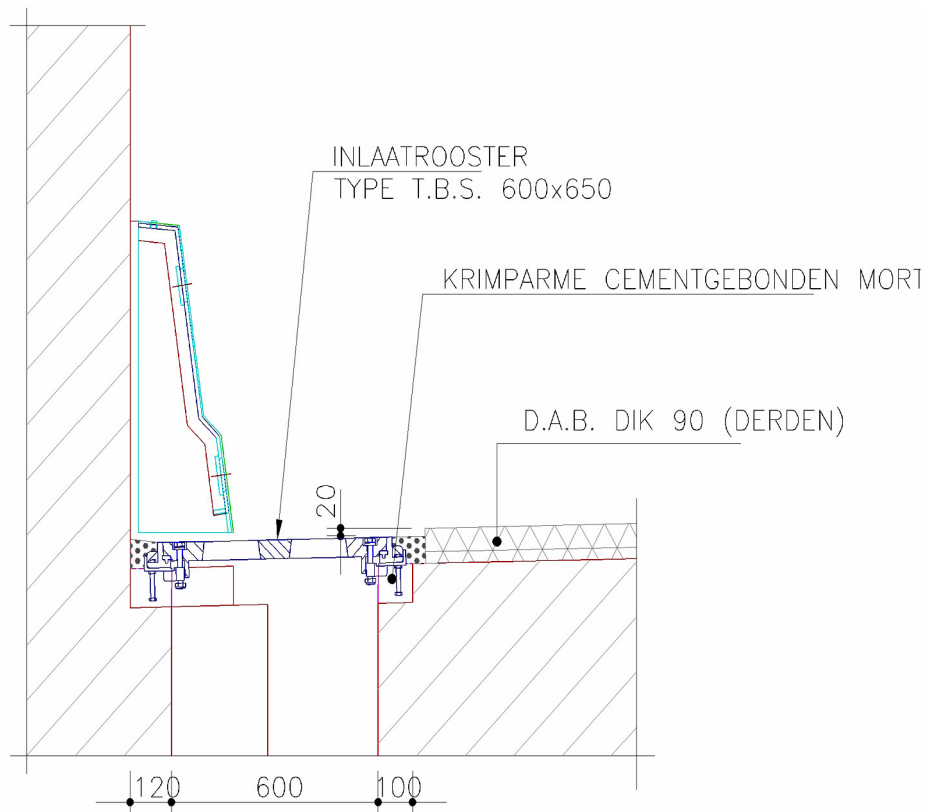
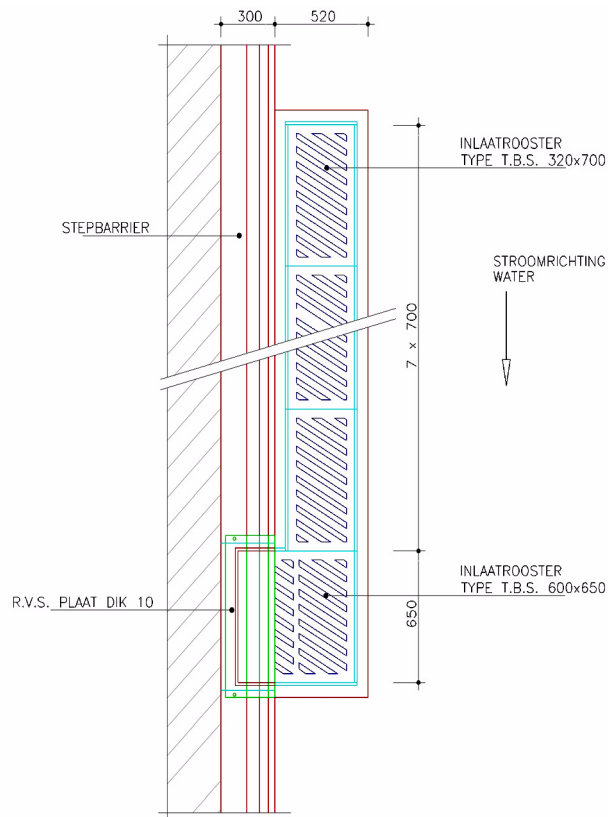
Het is aan te raden om in de buurt van de pompenkamer een vluchtdeur te projecteren. Hiermee wordt het onderhoud (en evt. vervangen) van de pompen een stuk eenvoudiger gemaakt.

De gasdichte luiken dienen om vonkinslag vanuit het middenkanaal naar de pompkelder te voorkomen.

**Conservering:**

Niet van toepassing







### 5.3.3.6 Inlaatroosters t.p.v. hoofdwaterkelder (bij toepassing DAB)

**Doel:**

Het opvangen van hemel- en wandenwaswater en eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het bieden van een ontluuchtingsmogelijkheid bij een eventuele explosie van deze gevaarlijke stoffen.

**Toepassingen:**

T.p.v. hoofdwaterkelders boven de zandvangen in tunnels bij toepassing van DAB als wegverharding.

**Detailontwerp:**

Na het storten van het beton wordt in de gecreëerde sparing het frame op hoogte gesteld. Vervolgens wordt de rand om het frame aangestort met krimparme cementgebonden mortel. De inlaatroosters worden 20 mm onder bovenkant asfalt gesteld. De roosters (gekneveld; zwaar verkeer) zijn van het type TBS 320/700 en TBS 600/650 (t.b.v. mangat). Het totale minimale doorstroomoppervlak van de roosters bedraagt 1 m<sup>2</sup>, gelijk aan de roosters t.p.v. het waterslot. De richting van de spleten van de roosters is loodrecht op de stroomrichting van het water.

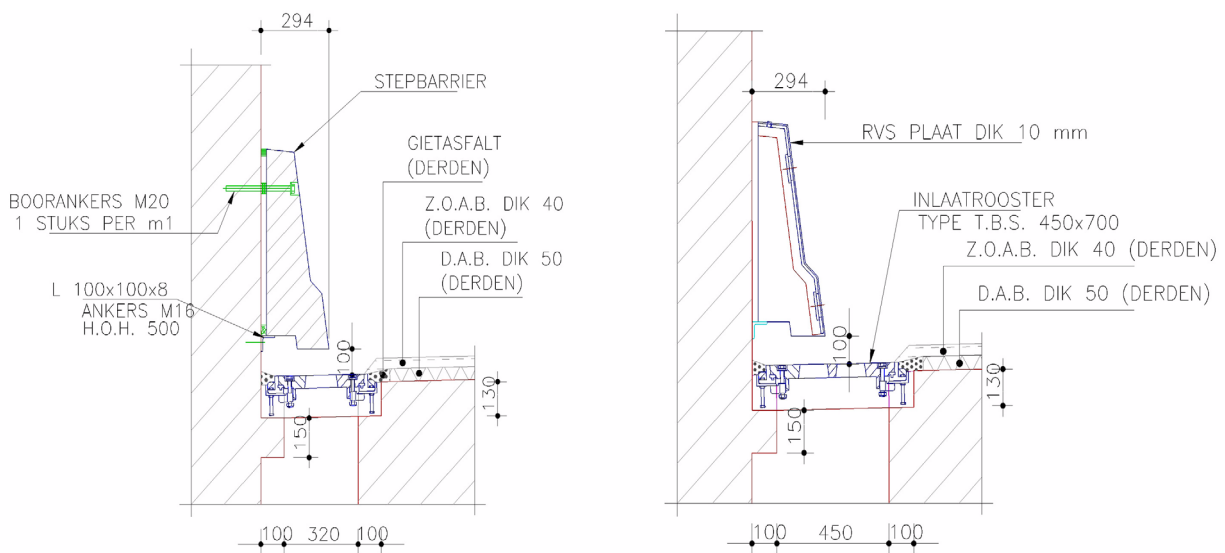
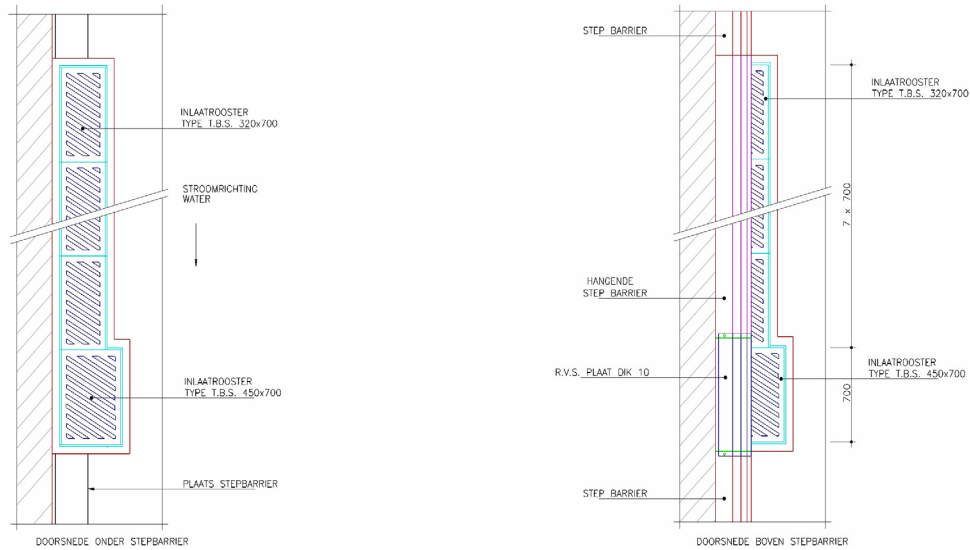
**Motivering:**

Bij een ontsteking in de toeleidende rioleringsbuizen van eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen dient te worden voorkomen dat grote schade aan de kelder ontstaat. De extra inlaatroosters zorgen dan voor een extra ontluuchting. Voor de bereikbaarheid van de zandvang dient minimaal 1 van de roosters als mangat te worden uitgevoerd. De plaats van de roosters wordt zo gekozen dat al het hemelwater kan worden afgevangen. Dit komt er op neer dat ze aangebracht worden in het overgangsgedeelte t.p.v. de overgang naar de toeritten.

De afmetingen van het inlaatrooster 1 m<sup>2</sup> zijn benodigd voor de waterafvoer en explosiedoorslag. Zie Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

**Conservering:**

Alkydhars merk Tropic rw Primer zf





### 5.3.3.7 Inlaatroosters t.p.v. hoofdwaterkelder (bij toepassing ZOAB)

**Doel:**

Het opvangen van hemel- en wandenwaswater en eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het bieden van een ontluchtingsmogelijkheid bij een eventuele explosie van deze gevaarlijke stoffen.

**Toepassingen:**

T.p.v. hoofdwaterkelders boven de zandvangen in tunnels bij toepassing van ZOAB als wegverharding.

**Detailontwerp:**

Na het storten van het beton wordt in de gecreëerde sparing het frame op hoogte gesteld. Vervolgens wordt de rand om het frame aangestort met krimparme cementgebonden mortel. De inlaatroosters worden 20 mm onder bovenkant DAB gesteld en worden zo dicht mogelijk tegen de wand aangezet. De speciale geleidebarriers worden boven de roosters opgehangen.

De roosters (gekneveld; zwaar verkeer) zijn van het type TBS 320/700 en TBS 450/700 (t.b.v. mangat). Het totale minimale doorstroomoppervlak van de roosters bedraagt 1 m<sup>2</sup>, gelijk aan de roosters t.p.v. het waterslot. De richting van de spleten van de roosters is loodrecht op de stroomrichting van het water.

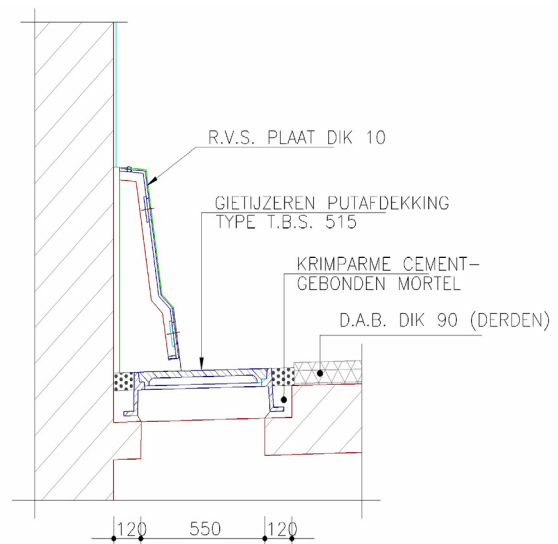
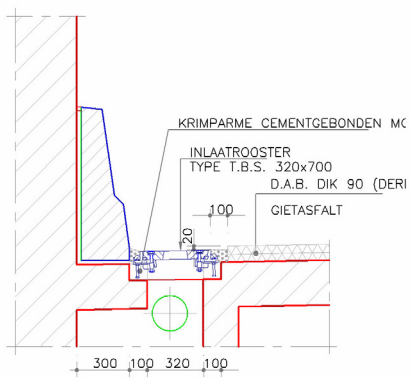
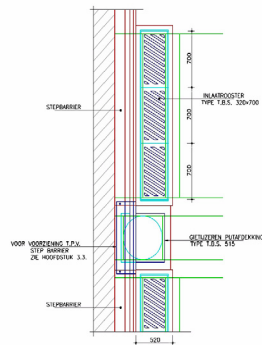
**Motivering:**

De plaats van de roosters onder de geleidebarrier heeft te maken met de verdiepte ligging t.g.v. het ZOAB. Bij een ontsteking in de toeleidende rioleringsbuizen van eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen dient te worden voorkomen dat grote schade aan de kelder ontstaat. De extra inlaatroosters zorgen dan voor een extra ontluchting. Voor de bereikbaarheid van de zandvang dient minimaal 1 van de roosters als mangat te worden uitgevoerd. De plaats van de roosters wordt zo gekozen dat al het hemelwater kan worden afgevangen. Dit komt er op neer dat ze aangebracht worden in het overgangsgedeelte t.p.v. de overgang naar de toeritten. De afmetingen van het inlaatrooster 1 m<sup>2</sup> zijn benodigd voor de waterafvoer en explosiedoorslag. Zie Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

De geleidebarrier is aangepast zodat de inlaatroosters beter zijn schoon te maken.

**Conservering:**

Alkydhars merk Tropic rw Primer zf.





### 5.3.3.8 Inlaatroosters t.p.v. middenkelder (bij toepassing DAB)

**Doel:**

Het opvangen van hemel- en wandenwaswater en eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen en het bieden van een ontluuchtingsmogelijkheid bij een eventuele explosie van deze gevaarlijke stoffen.

**Toepassingen:**

T.p.v. de middenkelder boven de zandvangen in tunnels.

**Detailontwerp:**

Na het storten van het beton worden in de gecreëerde sparingen de frames op hoogte gesteld. Vervolgens worden de randen om de frames aangestort met krimparme cementgebonden mortel. De inlaatroosters worden 20 mm onder bovenkant asfalt gesteld. De roosters (gekneveld; zwaar verkeer) zijn van het type TBS 320/700.

De zandvang is door het toegangsluik tot de kelder in tweeën gedeeld.

Het totale minimale doorstroomoppervlak van de roosters bedraagt per zandvangdeel ca. 0.3 m<sup>2</sup>, gelijk aan dat van het waterslot.

Boven het toegangsluik wordt de geleidebarrier onderbroken en voorzien van een demontabele roestvast stalen plaat (zie hoofdstuk Prefabconstructies).

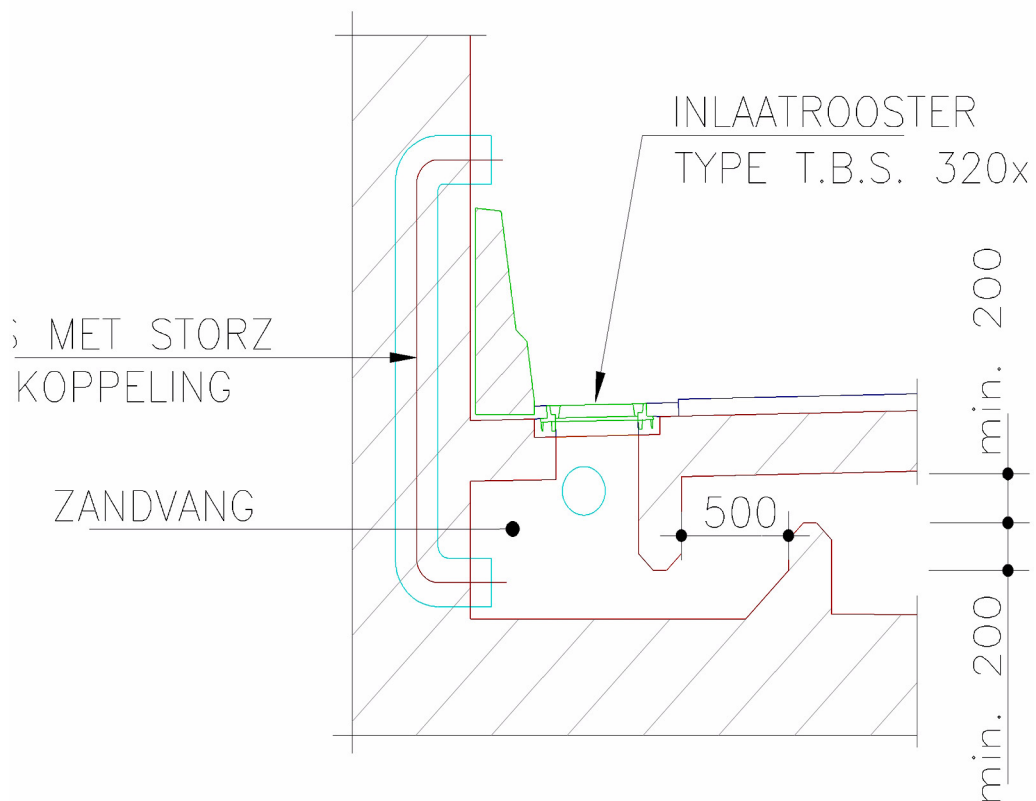
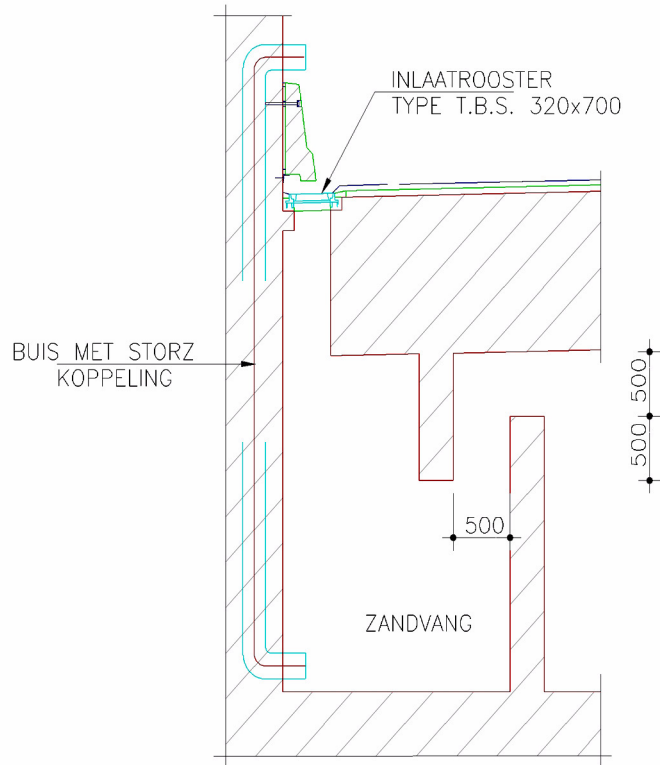
**Motivering:**

Bij een ontsteking in de toeleidende rioleringsbuizen van eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen dient te worden voorkomen dat grote schade aan de kelder ontstaat. De extra inlaatroosters zorgen dan voor een extra ontluuchting. Door het in tweeën delen van de zandvang ontstaat er ruimte voor een toegangsluik in de redresseerstrook.

De geleidebarriers zijn aangepast zodat de inlaatroosters beter zijn schoon te maken.

**Conservering:**

Alkydhars merk Tropic rw Primer zf.





### 5.3.3.9 Waterslot

**Doel:**

Een dampdichte scheiding aanbrengen tussen hoofdwaterkelder of middenkelder en rijbuizen en het laten bezinken van zware delen in het water.

**Toepassingen:**

T.p.v. hoofdwaterkelders en middenkelder in tunnels.

**Detailontwerp:**

De hoogte van het waterslot dient minimaal 0.2 m en maximaal 1.0 m te zijn. Bij voorkeur dient het waterslot een hoogte te hebben van 0.5 m. De grootte van het doorstroomoppervlak is afhankelijk van het type kelder; hoofdwaterkelders moeten een minimaal doorstroomoppervlak van 1 m<sup>2</sup>, middenkelders een minimaal doorstroomoppervlak van 0.3 m<sup>2</sup> hebben. De hoogte onder het waterslot wordt bij middenkelders voornamelijk bepaald door de minimale grootte van het doorstroomoppervlak (rekening houden met ca. 0.1 m slib). Eén en ander in samenhang met de toegangsmogelijkheid en het onderhoud. Is er voldoende ruimte aanwezig dan worden praktische maten aangehouden zoals deze op tekening vermeld staan.

Er moet per waterslot een buis worden aangebracht, welke voorzien is van een Storzkoppeling. Deze buis begint boven de geleidebarrier en eindigt zo laag mogelijk in het waterslot.

**Motivering:**

Door het waterslot wordt verspreiding van gassen in de koker en vlamslag in de kelder voorkomen. Zware delen in de vloeistof zullen bezinken in het waterslot. Door de ontluchtingsparing wordt een overdruk in de kelder voorkomen bij een snel stijgend vloeistofniveau. Bij het ontwerp moet er rekening mee worden gehouden dat na schoonmaken van de zandvang het waterslot weer moet kunnen worden gevuld (met dezelfde leiding die wordt gebruikt om de zandvang leeg te zuigen).

**Conservering:**

Niet van toepassing.







### 5.3.3.10 Achtergronden waterkelders

In deze paragraaf worden achtereenvolgens de achtergronden toegelicht van waterkelders, middenpompenkamers en inlaatroosters bij waterkelders.

#### *Waterkelders*

In dit hoofdstuk is een aantal voorbeelden gegeven van waterkelders met of zonder zuiveringstechnische voorziening. Of er binnen een bepaald project een zuiveringstechnische voorziening moet worden toegepast is afhankelijk van de eisen die gesteld worden door het bevoegd gezag. Op landelijk niveau zijn er aanbevelingen opgesteld voor het omgaan met afstromend wegwater. Deze aanbevelingen zijn vastgelegd in het rapport "Afstromend wegwater" van de Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) van april 2002.

Het rapport handelt behalve over autosnelwegen ook over wegen van lagere orde. Daarnaast wordt ook speciaal stilgestaan bij de situaties in tunnels. In vrijwel alle gevallen zal er echter bij tunnels sprake zijn van een waterkelder, waar het water in eerste instantie wordt verzameld. Hoe deze waterkelder eruit ziet wordt voor een belangrijk deel bepaald door hoe het water verder wordt afgevoerd. In de hier beschreven waterkelders zijn enkele voorbeelden gegeven van hoe zo'n kelder eruit zou kunnen zien.

In de eerst beschreven waterkelder is behalve een zandvang geen zuiveringstechnische voorziening opgenomen. Dit type waterkelder is in het verleden bij veel tunnels gebouwd. De laatste jaren wordt echter meer en meer een zuiveringstechnische voorziening verlangd.

De waterkelder met bezinkbassin is toegepast in de Vlaketunnel. Bij deze waterkelder is de zuiveringstechnische voorziening in de vorm van een overloopschot en een drijvende balk in 2005 ingebouwd. Door intensivering van het weggebruik bleek het water dat uit de kelder moest worden afgevoerd teveel verontreinigde stoffen te bevatten. Er is toen gekeken naar een voorziening buiten de tunnel. Deze voorzieningen bleken echter allemaal erg duur te zijn. Daarom is gekozen voor de hier beschreven oplossing. Omdat de waterkelders een overcapaciteit hadden kon er ruimte gemaakt worden voor een bezinkbassin. Deze oplossing is dan ook met name interessant voor toepassing in bestaande waterkelders, aangezien dit principe bij nieuwbouw een ca. 0,50 meter grotere aanlegdiepte van de waterkelder tot gevolg heeft.

Het droogzetten en schoonmaken van het bezinkbassin kan m.b.v. een simpele klokpomp gebeuren. Bij de Vlaketunnel is echter gebleken dat de vervuiling van het bezinkbassin erg meevalt. Het schoonmaken zal dan ook slechts om de ca. 2 jaar gaan plaatsvinden.

Voor meer achtergronden over deze oplossing wordt verwezen naar de documenten "Eenvoudige voorziening lozing run-off water Vlaketunnel" (Hans Satink, RWS Directie Zeeland, 20 december 2004) en "Aanvraag voor een vergunning ingevolge de Wvo voor het lozen van wegwater afkomstig van de Vlaketunnel in het oppervlaktewater van de Oosterschelde" (RWS Dienstkring Noord en Midden Zeeland, februari 2005).



De indeling van de waterkelder met verbeterd gescheiden systeem geeft de principes van dit systeem weer. Kenmerken van het systeem zijn de ontvangstput, de gescheiden waterbergingen en de afsluiters. Zoals het systeem hier is beschreven wordt bij een goed functioneren van de afsluiters een nagenoeg volledige scheiding bewerkstelligd. Voorwaarde is wel dat de inhoud van de ontvangstput zo klein mogelijk wordt gehouden. Dit kan gerealiseerd worden door deze put op te vullen met beton tot het niveau van de doorstroomopening naar de vuilwaterberging.

Het is ook mogelijk een systeem te bedenken zonder afsluiters. Voordeel van zo'n systeem is dat er zich geen onderhoudsgevoelige bewegende delen in bevinden. Het nadeel is dat de scheiding tussen vuil en schoon water niet volledig is. Voor de principes van het laatstgenoemde systeem wordt verwezen naar het document "Principe gescheiden systeem voor de opvang van afvalwater in waterkelders".

#### *Middenpompenkamers*

In de nieuwste versie van de VRC is de eis opgenomen dat de vluchtgang in het middentunnelkanaal niet mag worden onderbroken en aan beide zijden een uitgang dient te hebben. In de meeste tunnels is de middenpompenkamer geplaatst in de vluchtgang en wordt de vluchtgang dus in tweeën verdeeld. Dit is dus niet meer toegestaan. Er moet dus gezocht worden naar een alternatief voor de positie van de middenpompenkamer.

Een geschikt alternatief is een positie naast de tunnelbuizen zoals dat ook bij hoofdwaterkelders het geval is. Bij de Roertunnel is voor deze positie gekozen. Het voordeel van deze plaatsing is dat de pompenkamer relatief eenvoudig bereikbaar is. Toch is een plaatsing naast de tunnelbuizen niet altijd mogelijk of wenselijk. Dit kan bijvoorbeeld problemen opleveren bij diepe afgezonken tunnels. Bij de ombouw van de Coentunnel is gekeken naar een middenpompenkamer in het middentunnelkanaal in combinatie met een doorgaande vluchtgang over het dak van deze pompenkamer. Deze oplossing is in SATO opgenomen. Dat neemt niet weg dat er per situatie gekeken moet worden naar de best passende oplossing voor dit probleem.

#### *Inlaatroosters bij waterkelders*

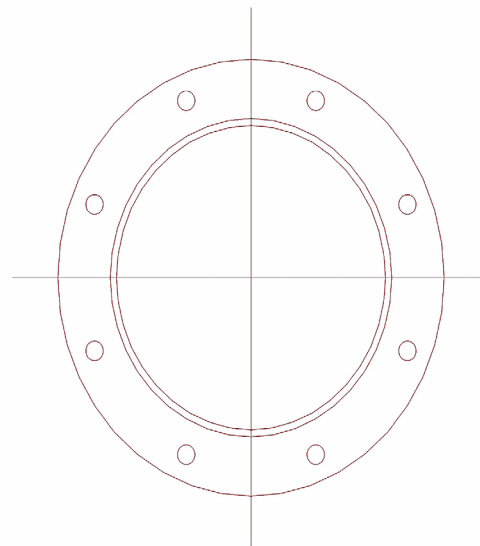
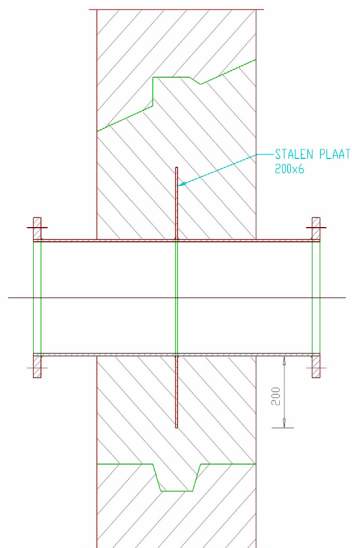
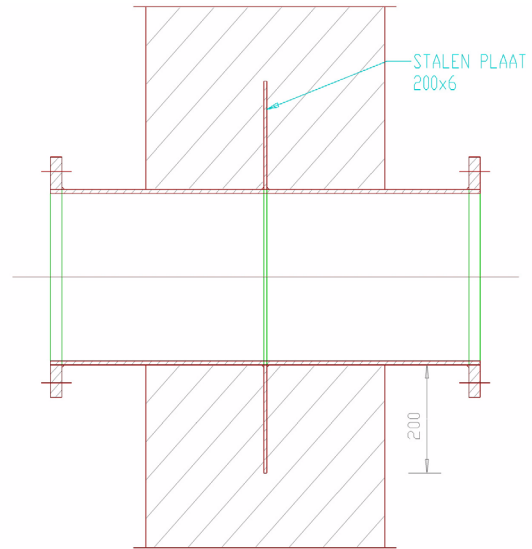
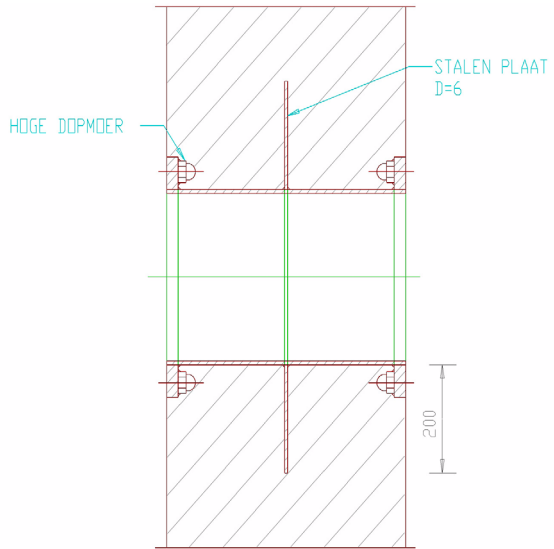
Bij de situatie met DAB als wegverhardingsconstructie bevindt zich t.p.v. hoofdkelders één rooster gedeeltelijk onder de barrier. Dit sluit aan bij de wens om inlaatputten minimaal 0,10 meter onder de barrier te plaatsen i.v.m. een betere opvang van vloeistoffen (zie paragraaf achtergronden inlaatputten). De overige roosters worden tegen de barrier geplaatst en dienen behalve voor het opvangen van vloeistoffen ook voor een extra ontluchting bij een eventuele explosie in de riolering zodat de kans op het doorschieten van de vlam naar de waterkelder wordt verkleind. Zie Veiligheids Richtlijnen Deel C (VRC).

Bij de situatie met ZOAB als wegverhardingsconstructie worden t.p.v. hoofdkelders alle inlaatroosters onder de barrier geplaatst. Dit heeft echter vooral te maken met de verkeersveiligheid (zie paragraaf achtergronden inlaatputten).

Ter plaatse van middenkelders worden de roosters tegen de barrier geplaatst. Er is hier geen noodzaak de roosters (gedeeltelijk) onder de barrier te plaatsen, aangezien de wegverhardingsconstructie bestaat uit DAB. Bovendien is er in deze situatie geen gevaar dat vloeistoffen de roosters zullen passeren, omdat we ons hier op het diepste punt van de tunnel bevinden.



### **5.3.4 Doorvoeren**





### 5.3.4.1 Stalen muurdoorvoer in waterkerende wanden

**Doel:**

Het waterdicht doorvoeren van een buis door een waterkerende wand.

**Toepassingen:**

In verschillende waterkerende wanden in betonconstructies (bv. waterkelders etc.)

**Detailontwerp:***Oplossing A:*

Een (stalen) buis wordt aan beide uiteinden voorzien van een flens met een aantal dopmoeren. Dit geheel wordt in de wand ingestort.

*Oplossing B:*

Een (stalen) buis is in de bekisting opgenomen voordat de beton wordt gestort. De buis is voorzien van een lekweg vergrotende (stalen) plaat. De aansluiting op de buis geschiedt met een stalen overgangsbuis met flens.

De doorvoeren kunnen desgewenst voorzien worden van bochtstukken en / of blindflenzen.

**Motivering:***Oplossing A:*

Voordeel van oplossing A is dat de bekisting ononderbroken blijft. Nadeel van oplossing A is de kwetsbaarheid van de dopmoeren (vervuiling schroefdraad, maattoleranties).

*Oplossing B:*

Voordeel van oplossing B is een degelijke doorvoer van de buis door de wand. Het nadeel van oplossing B t.o.v. oplossing A is dat de bekisting onderbroken moet worden.

NB: Te isoleren leidingen (b.v. brandblusleidingen) mogen niet worden ingestort.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen dienen thermisch verzinkt te worden.





### **5.3.4.2 Achtergronden doorvoeren**

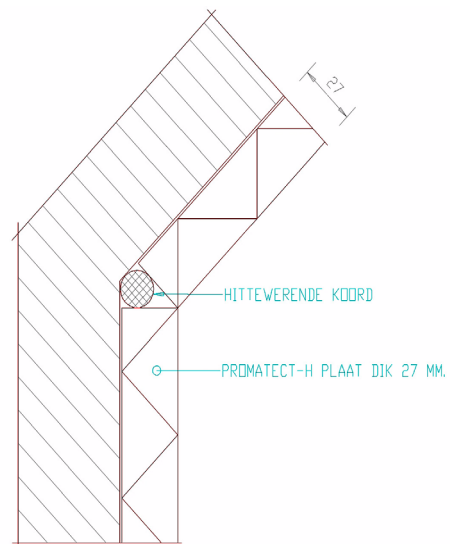
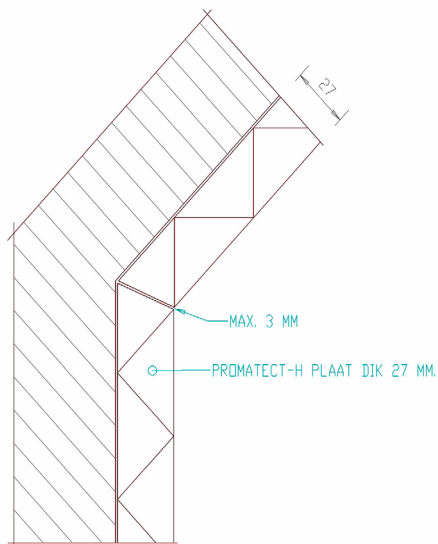
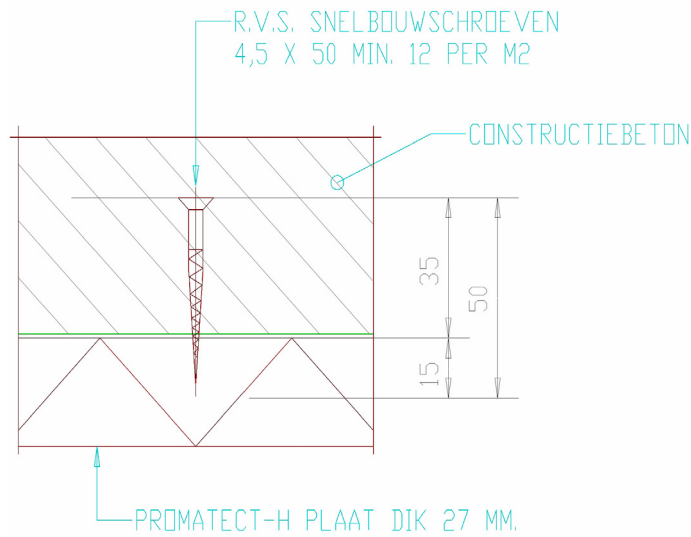
Voor dit hoofdstuk zijn geen achtergronden.







### **5.3.5 Hittewerende bekleding**





### 5.3.5.1 Bevestiging hittewerende bekleding

**Doel:**

Het beschermen van de betonconstructie tegen de gevolgen van brand.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte en overgangsgedeelte van tunnels.

**Detailontwerp:**

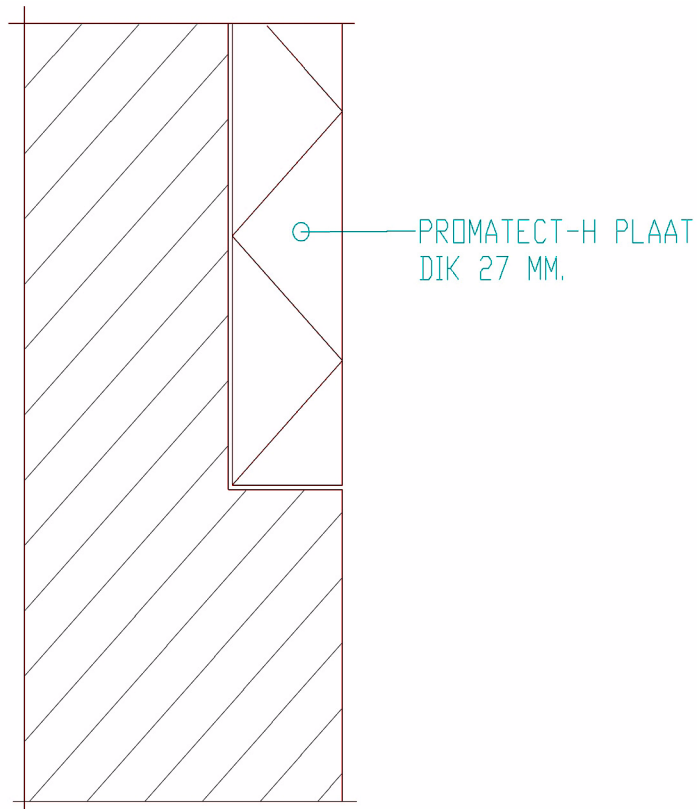
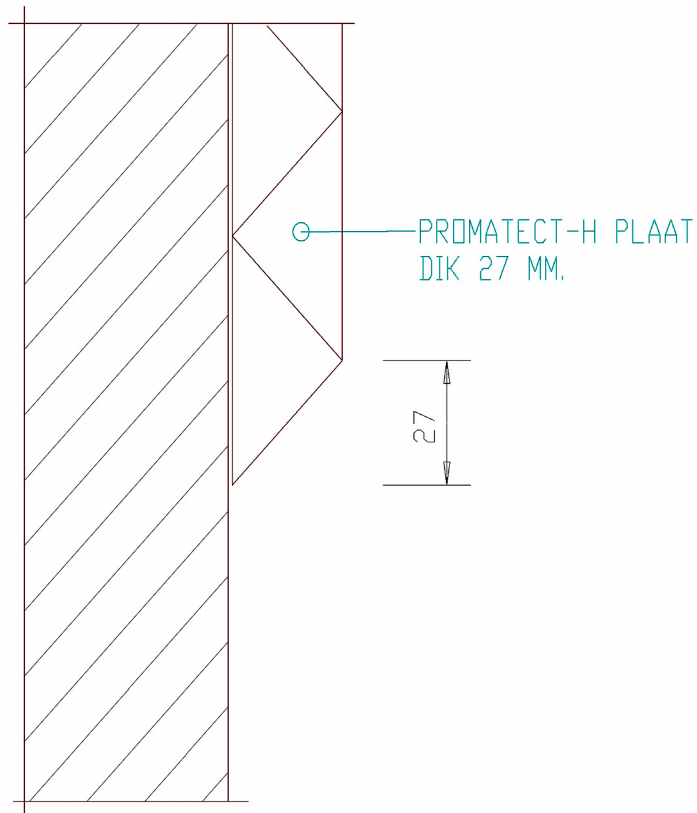
- De Promatect H-platen, dik 27 mm, worden t.p.v. het plafond en in de drukzone van de wanden (ca. 1 m.) in de bekisting opgenomen. Ingestorte snelbouwschroeven en aanhechting aan het beton zorgen voor bevestiging.
- Aan het patroon van de platen worden geen speciale eisen gesteld.
- De maximale voegbreedte is ca. 3 mm.
- Nabij schuine aansluitingen kunnen de platen in de juiste vorm gezaagd worden of kan een hittewerend koord aangebracht worden. Voordeel van het toepassen van een hittewerend koord is dat er minder gezaagd hoeft te worden met minder kans op maatfouten.
- Passtukken dienen een breedte van tenminste 0,3 maal de plaatlengte te hebben.

**Motivering:**

- Spuitwerk met gaaswapening als hittewerende bekleding wordt minder toegepast vanwege de extra arbeidsgang na het afzinken van de tunnel en de hoge kosten van het RVS-bevestigingsmateriaal.
- Het verdient de voorkeur om 9 schroeven per m<sup>2</sup> aan te brengen vanwege de grote kans op omtrappen van de schroeven tijdens de bouw.

**Conservering:**

Snelbouwschroeven dienen uitgevoerd te worden in RVS.





### 5.3.5.2 Beëindiging hittewerende bekleding t.p.v. de wand

**Doel:**

Een goede overgang creëren van een doorsnede met hittewerende bekleding naar een doorsnede zonder hittewerende bekleding.

**Toepassingen:**

In de gesloten gedeelten en overgangsgedeelten van tunnels.

**Detailontwerp:**

De beëindiging van de hittewerende bekleding t.p.v. de wand is afhankelijk van de wijze van aanbrengen.

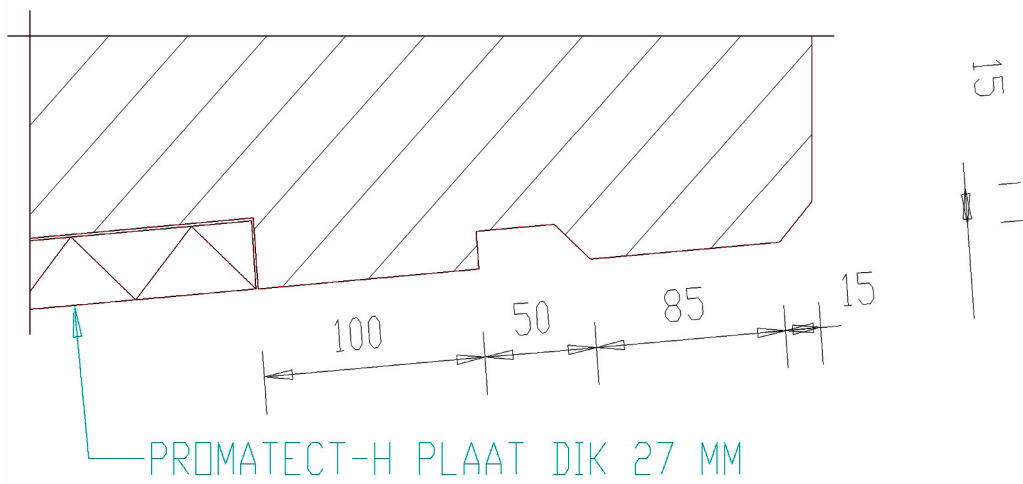
Wordt hittewerende bekleding tijdens de betonstort aangebracht (in de bekisting), waarbij de rest van de bekisting wordt uitgevuld, dan worden de platen aan de onderzijde schuin afgezaagd (platen op het beton). Wordt de rest van de bekisting niet uitgevuld dan hoeven geen speciale maatregelen te worden getroffen (platen in het beton).

**Motivering:**

De keuze voor de plaats van de hittewerende bekleding (op of in het beton) wordt bepaald door diverse aspecten. Het plaatsen op het beton heeft als voordeel dat de wapening gewoon door kan lopen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.3.5.3 Beëindiging hittewerende bekleding t.p.v. het dak

**Doel:**

Een goede overgang creëren van een doorsnede met hittewerende bekleding naar een doorsnede zonder hittewerende bekleding.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte en overgangsgedeelte van tunnels.

**Detailontwerp:**

Bij de beëindiging t.p.v. de overgang van het overgangsgedeelte naar de toeritten wordt een waterhol aangebracht zoals op tekening is aangegeven.

T.p.v. de wanden wordt de beplating omgezet; een waterhol is hier overbodig.

**Motivering:**

Een waterhol is noodzakelijk om te voorkomen dat hemelwater achter de hittewerende bekleding komt en naar binnengaat. De maten die vermeld staan zijn indicatief.

**Conservering:**

Niet van toepassing.







#### **5.3.5.4 Achtergronden hittewerende bekleding**

Hittewerende bekleding:

Spuitwerk met gaaswapening is tevens een mogelijkheid om tunnels te voorzien van hittewerende bekleding. Het is een methode die in boortunnels wordt toegepast wegens de ronde vorm van de tunnel. Voor afgezonken tunnels wordt deze methode minder toegepast vanwege de extra arbeidsgang en de hoge kosten van het RVS-bevestigingsmateriaal. Het voordeel van spuitwerk is dat het achteraf is aan te brengen. Ook kunnen lokaal eenvoudig reparaties uitgevoerd worden.

Passtukken:

Vaak worden in tunnelmotten passtukken van platen hittewerende bekleding toegepast. De ervaring bij diverse afgezonken tunnels leert dat als gevolg van de zuigende werking van vrachtwagens te smalle passtukken kunnen loslaten.

Aanbevolen wordt om passtukken van tenminste 0,3 keer de plaatlengte toe te passen. Bij deze lengte blijkt de plaat over voldoende aanhechting te beschikken.

Bevestiging in de bekisting:

De hittewerende bekleding wordt met een aantal schroeven in de bekisting gelegd. Ervaring heeft uitgewezen dat 6 schroeven per m<sup>2</sup> Promatect voldoende is voor een goede bevestiging. Toch verdient het de voorkeur om 9 schroeven per m<sup>2</sup> aan te brengen vanwege de grote kans op omtrappen van de schroeven tijdens de bouw.

Beëindiging hittewerende bekleding in de wand:

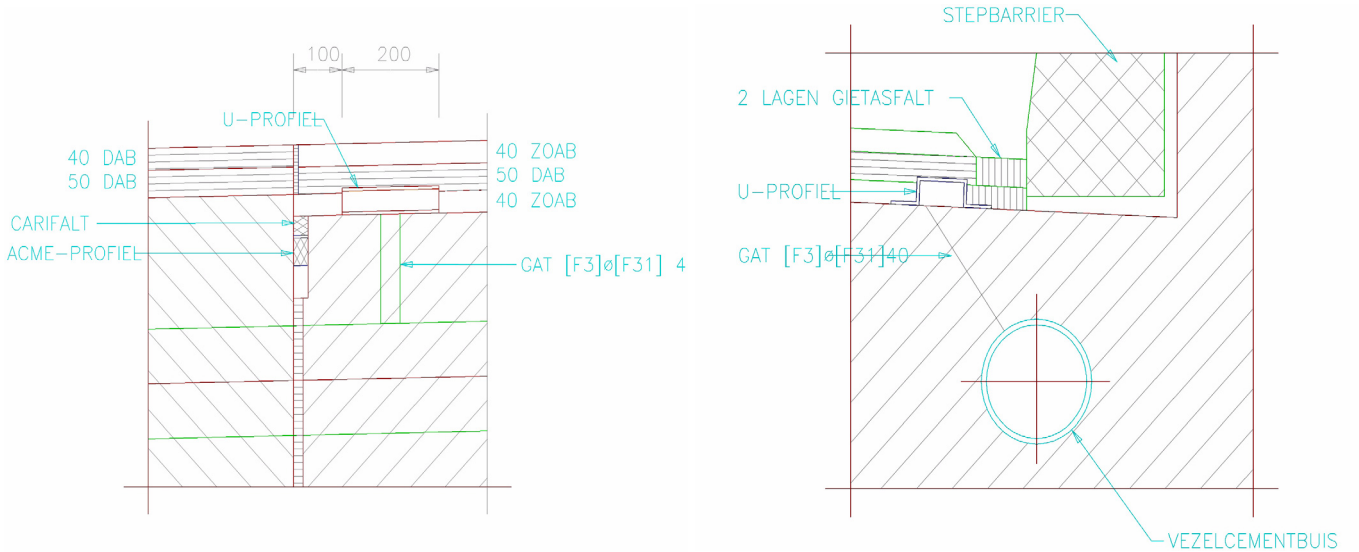
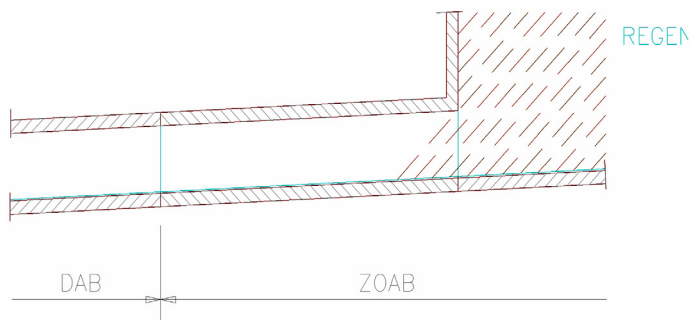
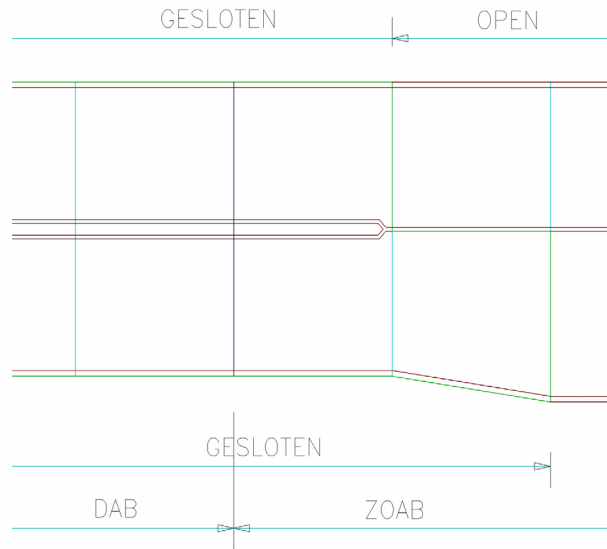
Door het toepassen van opstorten in het beton nabij de buiten- en middenwanden wordt een stelmogelijkheid gecreëerd zodat de onderlijn van de hittewerende bekleding een mooie rechte lijn is.

Het plaatsen van hittewerende bekleding in het beton heeft als voordeel dat niet de hele wandkist hoeft te worden uitgevuld. Nadeel bij deze methode is dat of bovenin de betonwand dunner wordt (27 mm) of onderin de betonwand breder gemaakt moet worden. Met de wapening moet hiermee rekening worden gehouden.





### **5.3.6 Overige details**





### 5.3.6.1 Overgang ZOAB naar DAB in tunnels

**Doel:**

Het verzorgen van een zodanige overgang van Zeer Open Asfalt Beton (ZOAB) naar Dicht Asfalt Beton (DAB) dat voor de weggebruiker zo weinig mogelijk hinder optreedt.

**Toepassingen:**

Tunnels in een wegtracé met ZOAB.

**Detailontwerp:**

Het ZOAB loopt minimaal 1 mootlengte door in het gesloten gedeelte. Bij de overgang zit een sprong in het constructiebeton van 40 mm.

**Motivering:**

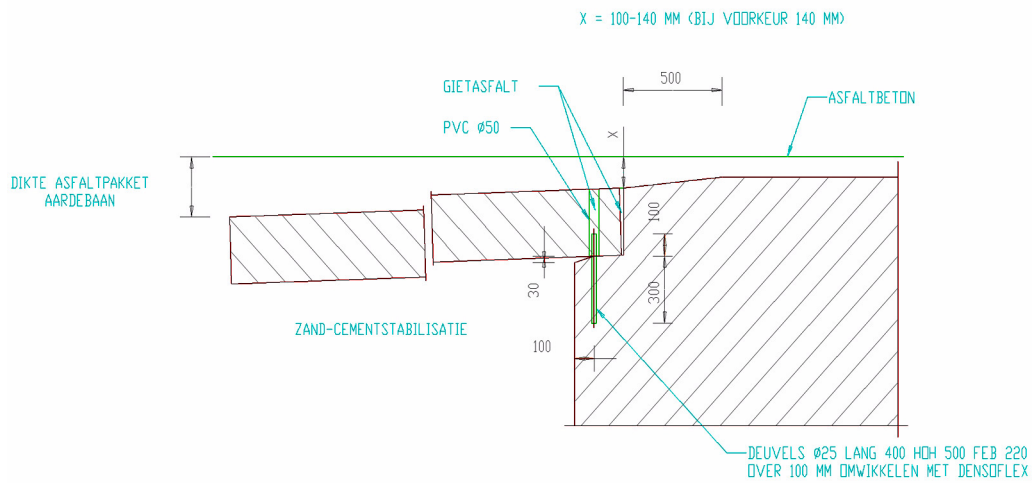
Door de ZOAB door te laten lopen in het gesloten gedeelte wordt bereikt alle hemelwater op het ZOAB terecht komt. Het hemelwater kan vanuit de ZOAB afgevoerd naar de hemelwaterafvoer worden vóór de overgang naar het DAB.

**Opmerking:**

Wanneer zich t.p.v. de eerste moot in het gesloten gedeelte een waterkelder bevindt, kan de onderste laag ZOAB (40 mm) achterwege blijven. De functie die deze laag vervult, namelijk het afvoeren van door de constructiebeton binnendringend water, is dan niet van toepassing.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.3.6.2 Oplegging stootplaten met voegovergang

**Doel:**

Het creëren van een vlak en continue rijdek.

**Toepassingen:**

Nabij de overgang van betonconstructie naar aardebaan.

**Detailontwerp:**

De stootplaat wordt zodanig geplaatst dat de bovenkant t.p.v. de betonconstructie en t.p.v. de aardebaan gelijk valt met de onderkant van het totale asfaltpakket. Omdat bij rotatie van de stootplaat scheuren in het asfalt ontstaan dient het pakket ter plaatse van de aansluiting op de betonconstructie een minimale dikte van 80 mm, maar bij voorkeur 120 mm te hebben.

De deuvel wordt over de bovenste 100 mm omwikkeld met densoband. De kier tussen betonconstructie en stootplaat wordt gevuld met gietasfalt. Onder de stootplaat een zand-cementstabilisatie aanbrengen.

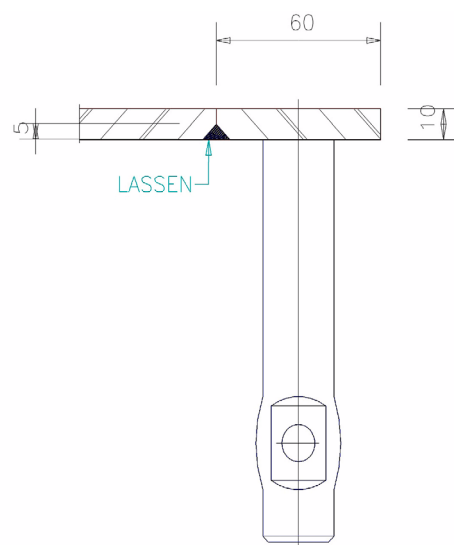
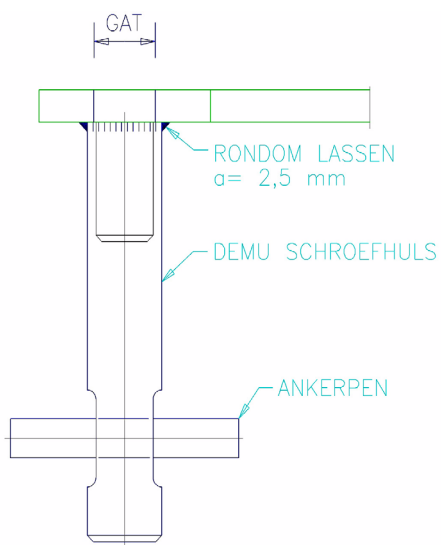
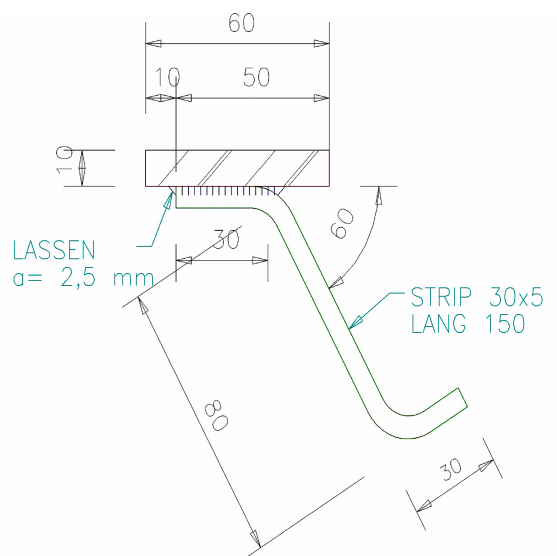
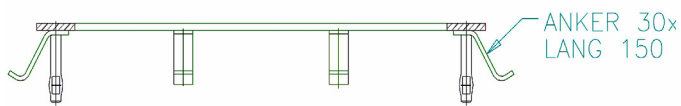
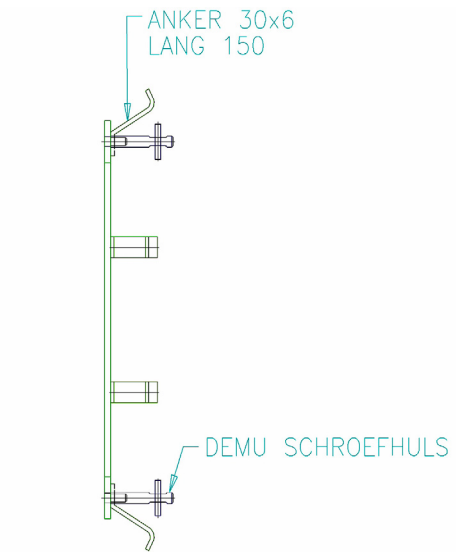
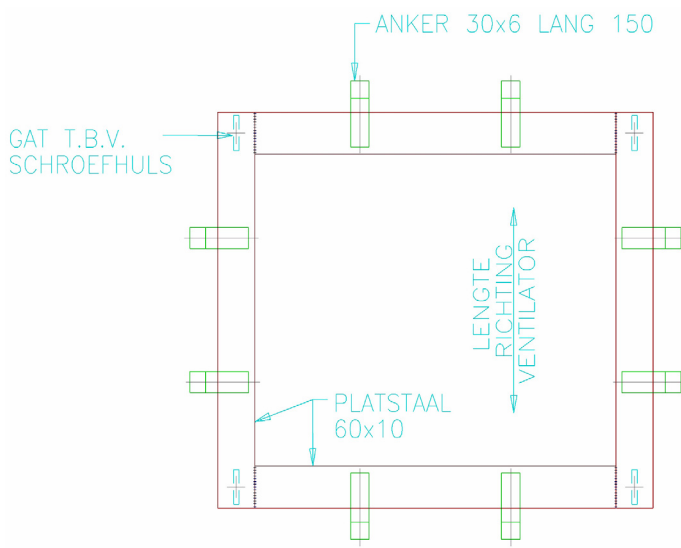
**Motivering:**

De vorm van de oplegging in combinatie met de plaats van de deuvel zorgen ervoor dat de gaping als gevolg van de rotatie minimaal is.

**Conservering:**

Stalen onderdelen thermisch verzinkt uitvoeren.







### 5.3.6.3 Ophanging ventilatoren

**Doel:**

Een maatvastе ophanging voor ventilatoren onder de hittewerende bekleding.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte en overgangsgedeelte van tunnels.

**Detailontwerp:**

Het stalen frame maken volgens de principetekening. Ter plaatse van de schroefhulzen gaten boren in de hittewerende bekleding. De schroefhulzen vervolgens vullen met vet om vuilindringing te voorkomen.

**Motivering:**

Het ophangen van de ventilatoren aan boorankers heeft bewezen dat deze eruit kunnen trillen bij veelvuldig gebruik van de ventilatoren. Een stalen frame voorkomt dit.

**Conservering:**

Het stalen frame thermisch verzinkt uitvoeren.





#### **5.3.6.4 Achtergronden overige details**

Overgang ZOAB naar DAB:

Ter plaatse van constructies waarbij men watervoerende scheuren verwacht (b.v. palenfundering en onderwaterbeton) kan men kiezen voor een preventieve oplossing. Dit houdt in dat er een onderlaag van ZOAB aangebracht wordt. Hierin wordt het 'lekwater' opgevangen en afgevoerd naar de riolering (zie doorsnede B). Het genoemde verschil van 40 mm in asfaltdikte is uiteraard afhankelijk van de opbouw van de verschillende asfaltpakketten.

Oplegging stootplaten:

In het geval dat bij een kunstwerk grote rotaties verwacht worden, moeten ter plaatse van de overgang van stootplaat naar betonconstructie speciale elastische mengsels bv. op rubber bitumenbasis (Thorma Joint) worden toegepast omdat deze materialen de verwachte rotaties beter kunnen opvangen.

Ophangframes ventilatoren:

Ventilatoren die zijn bevestigd aan boorankers hebben bij verschillende tunnels er toe geleid dat deze boorankers uit het beton kunnen trillen bij veelvuldig gebruik van de ventilatoren. Een stalen frame dat is ingestort in het beton biedt hiervoor een beter alternatief aangezien dit in het geheel in het beton is ingestort.





### **5.3.7 Diversen**





### 5.3.7.1 Lijst met technische begrippen

**Bezinkbassin**

Bassin in waterkelder waarin microverontreinigingen naar de bodem bezinken.

**Gescheiden systeem**

Systeem voor het verzamelen en afvoeren van afvalwater waarbij het vuile en schone water gescheiden wordt. (Zie ook verbeterd gescheiden systeem).

**Hittewerende bekleding**

Bekleding die de betonconstructie beschermt tegen de gevolgen van brand.

**Hoofdwaterkelder**

Waterkelder in het overgangsgedeelte welke als doel heeft het verzamelen en afvoeren van wandenwas- en hemelwater alsmede eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen.

**Inlaatput**

Inlaat t.b.v. wandenwas- en hemelwater alsmede eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen.

**Inlaatrooster**

Inlaat t.b.v. wandenwas- en hemelwater en eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen alsmede dienend als ontluchting bij een eventuele explosie van deze vrijgekomen gevaarlijke stoffen.

**Middenkelder**

Waterkelder in het diepste gedeelte van een tunnel welke als doel heeft het verzamelen en afvoeren van wandenwas- en hemelwater alsmede eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen.

**Pompenkamer**

Bedieningsruimte boven de pompenkelder in de hoofdwaterkelder en de middenkelder.

**Pompenkelder**

Ruimte in de hoofdwaterkelder of de middenkelder waarin de pompen zijn opgesteld.

**Verbeterd gescheiden systeem**

Systeem voor het verzamelen en afvoeren van afvalwater waarbij het vuile en schone water (vrijwel) volledig gescheiden wordt. (Zie ook gescheiden systeem).

**Voegovergang**

Overgang t.p.v. wegdek tussen twee stortmoten of tussen betonconstructie en aardebaan.

**Waterslot**

Dampdichte scheiding tussen de hoofdwaterkelder of de middenkelder en de zandvang.

**Zandvang**

Ruimte onder het inlaatrooster van de hoofdwaterkelder of de middenkelder waarin het met de af te voeren vloeistof meegevoerde slib kan bezinken.







### 5.3.7.2 Literatuurlijst / Bronnen

De volgende richtlijnen en handboeken zijn in dit hoofdstuk van toepassing:

- Veiligheidsrichtlijnen deel C basismaatregelen (VRC versie 1.0 januari 2004)
- Eindrapportage afvoercapaciteit riolering, Onderzoek in de Calandtunnel (juli 2004 met documentnummer 4818-2004-0336)
- Afstromend wegwater van de Commissie Integraal Waterbeheer CIW (april 2002)
- Eenvoudige voorziening lozing run-off water Vlaketunnel (Hans Satink, RWS Directie Zeeland, 20 december 2004)
- Aanvraag voor een vergunning ingevolge de Wvo voor het lozen van wegwater afkomstig van de Vlaketunnel in het oppervlaktewater vaan de Oosterschelde (RWS Dienstkring Noord en Midden Zeeland, februari 2005).
- Principe gescheiden systeem voor de opvang van afvalwater in waterkelders (augustus 2005)
- Notitie "Overgang ZOAB naar DAB bij kunstwerken".
- Notitie "Richtlijn overgangsconstructies" van dir. Bruggen.
- Notitie "Problemen bij overgangsconstructies" van P.Riemens.
- "Fire protection for tunnels" van G.L. Tan, J. Hoeksma en G. Wolsink (RWS-BD) en P.W. van de Haar en C. Both (TNO-Bouw)





## Inhoudsopgave Prefabconstructies

- 5.4.1 Inleiding
- 5.4.2 Geleidbarrier
  - 5.4.2.1 Geleidebarrier (Stepbarrier)
  - 5.4.2.2 Detail t.p.v. voeg (onderling)
  - 5.4.2.3 Detail geleidebarrier/wand
  - 5.4.2.4 Geleidebarrier t.p.v. vluchtdeur
  - 5.4.2.5 Geleidebarrier t.p.v. middenkelder/hoofdwatorkelder
  - 5.4.2.6 Geleidebarrier t.p.v. inlaatputten (bij toepassing zoab)
  - 5.4.2.7 Achtergronden geleidebarrier
- 5.4.3 Overgangen
  - 5.4.3.1 Overgang t.p.v. buitenwand
  - 5.4.3.2 Overgang t.p.v. middenberm
- 5.4.4 Overige details
  - 5.4.4.1 Afdekband
  - 5.4.4.2 Plaat in middenkanaal
  - 5.4.4.3 Afdekplaat in middenberm
  - 5.4.4.4 Stootplaat
  - 5.4.4.5 Achtergronden details
- 5.4.5 Diversen
  - 5.4.5.1 Lijst met technische begrippen
  - 5.4.5.2 Literatuurlijst / bronnen



---

Tunneldetails



## 5.4 PREFABCONSTRUCTIES

### 5.4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de prefab details welke voorkomen in tunnels. De details in dit hoofdstuk hebben in het algemeen betrekking op verkeerstunnels die geschikt dienen te zijn voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Zie ook "Richtlijnen i.v.m. vervoer van gevaarlijke stoffen".

In dit hoofdstuk worden de meest voorkomende **prefab beton details** beschreven welke toegepast worden bij de afbouw.

Het is mogelijk dat er nog meer relevante details zijn die in prefab beton uitgevoerd kunnen worden maar niet beschreven zijn in dit document, deze kunnen alsnog opgenomen worden.

De afdeling TUNNELBOUW geeft de voorkeur bij toepassen van de afbouwdetails deze uit te voeren in **prefab beton** boven het **in het werk te storten beton** om de duurzaamheid en kwaliteit van de beton.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

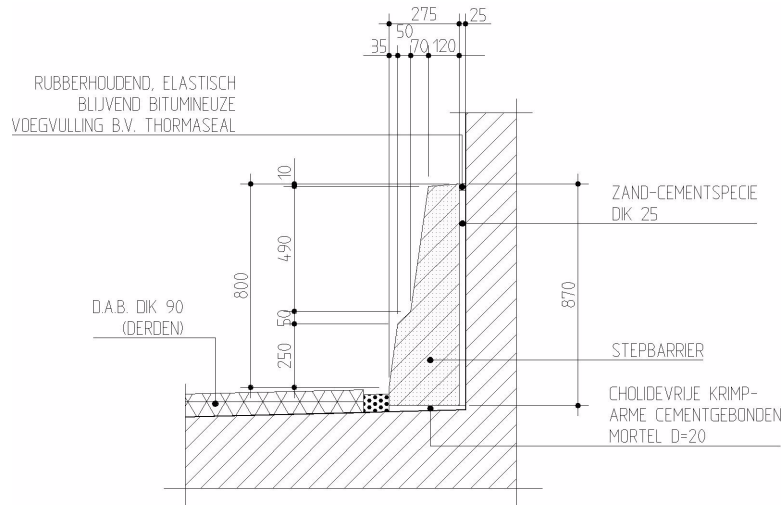
- definitief: maart 1993
- 1<sup>e</sup> herziening: juli 1995
- 2<sup>e</sup> herziening: januari 2002
- 3<sup>e</sup> herziening: januari 2005





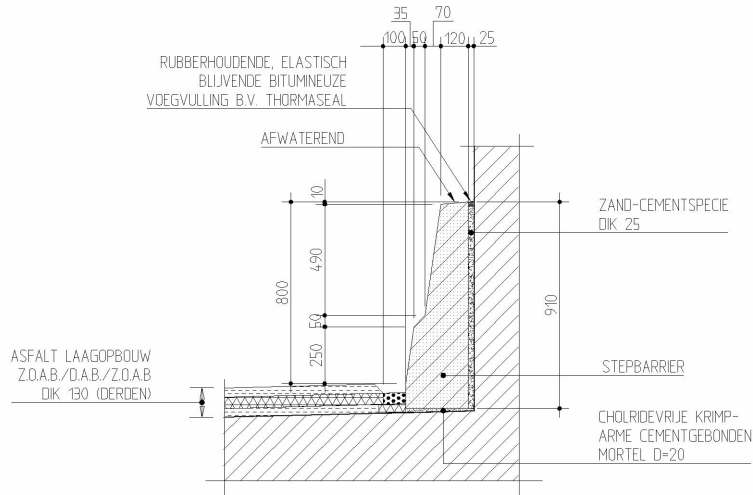
## **5.4.2 Geleidbarrier**





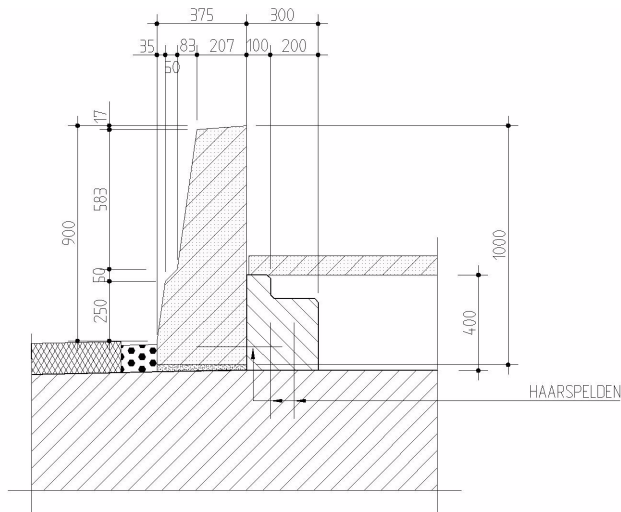
**DOORSNEDE STEPBARRIER**

BIJ TOEPASSING D.A.B.



**DOORSNEDE STEPBARRIER**

(BIJ TOEPASSING Z.O.A.B.)



**DOORSNEDE STEPBARRIER**

BIJ TOEPASSING VRIJSTAANDE STEPBARRIER



### 5.4.2.1 Geleidebarrier (Stepbarrier)

**Functies:**

Geleiden van het verkeer en het beschermen van de wanden bij ongelukken.

**Toepassingen:**

In verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

De functionele opbouw van de geleidebarrier (Stepbarrier) is als volgt: De hellingshoek van de Stepbarrier is gesteld op 9 gon. De staphoogte bedraagt 250 mm. Bij een aanrijding onder een flauwe hoek (tot 20 x) zal het voertuig (als bij een trottoirband) worden teruggeleid. Het schuin lopende gedeelte heeft een hoogte van 50 mm. Bij een aanrijhoek groter dan 20 x kan het voertuig op dit vlak komen en wordt dan teruggeleid (dit gaat des te beter naar mate het oppervlak gladder is). Indien een barrier tegen een wand geplaatst wordt is het bovenste deel van de barrier 500 mm. Staat de barrier vrij (b.v. bij de as van de weg en t.p.v. een aardenbaan) dan is deze maat 600 mm. (Zie 5.4.3.2 en 5.4.4.3).

Het bovenste gedeelte van de barrier is 500 mm. De motivatie voor de lagere hoogte dan de standaardhoogte, is dat in een tunnel de barrier er niet voor hoeft te zorgen dat voertuigen niet over de barrier geraken. Het afwaterend bovenvlak bedraagt 10 mm.

Dit gedeelte dient ter bescherming van de tunnelwand, de helling dient om schade aan voertuigen te beperken.

De geleidebarrier wordt hoofdzakelijk uitgevoerd in gewapend beton en in lengten van max. 6000 mm i.v.m. de hanteerbaarheid.

De geleidebarrier wordt gesteld op de vloer en tegen de wand d.m.v. stelbouten en vervolgens ondersabelen met chloridevrije krimparme cementgebonden gietmortel laagdikte min. 20 mm.

De ruimte tussen de geleidebarrier en de wand achtervullen met een mengsel van zand/cement specie dik min. 25 mm.

Bij toepassing van ZOAB als wegverharding is de geleidebarrier 20 mm hoger dan bij DAB.

**Motivering:**

De standaardhoogte van de barrier is 900 mm. Alleen indien er niet voldoende (bijvoorbeeld bij hulpposten) ruimte is mag van de standaardhoogte worden afgeweken. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de hulpposten. De barrier heeft hier een hoogte van 800 mm. Dit is acceptabel omdat de barriers tegen een betonnen wand staan waardoor de vrachtwagens niet kunnen kantelen.

Om de breedte en daarmee de bouwkosten te beperken wordt in verkeerstunnels en eventueel in onderdoorgangen en aquaducten gekozen voor een geleidebarrier i.p.v. een geleiderail.

Onderbouwing van de Stepbarrier is terug te vinden in:

- Richtlijnen nota Stepbarrier, een stap nader!
- Handboek bermbeveiligingsvoorzieningen.

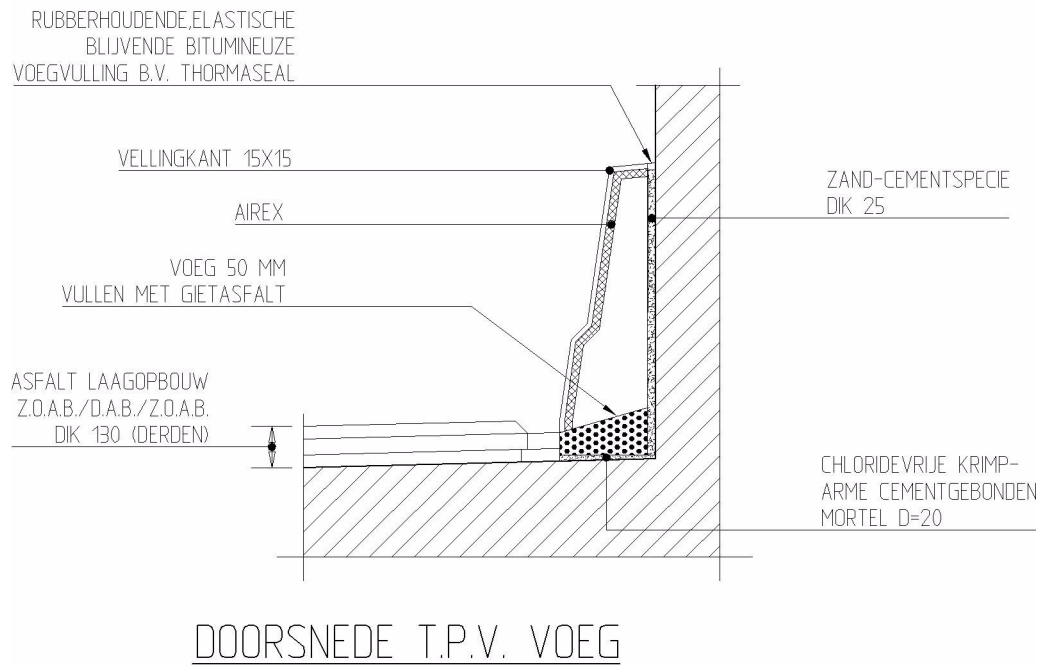
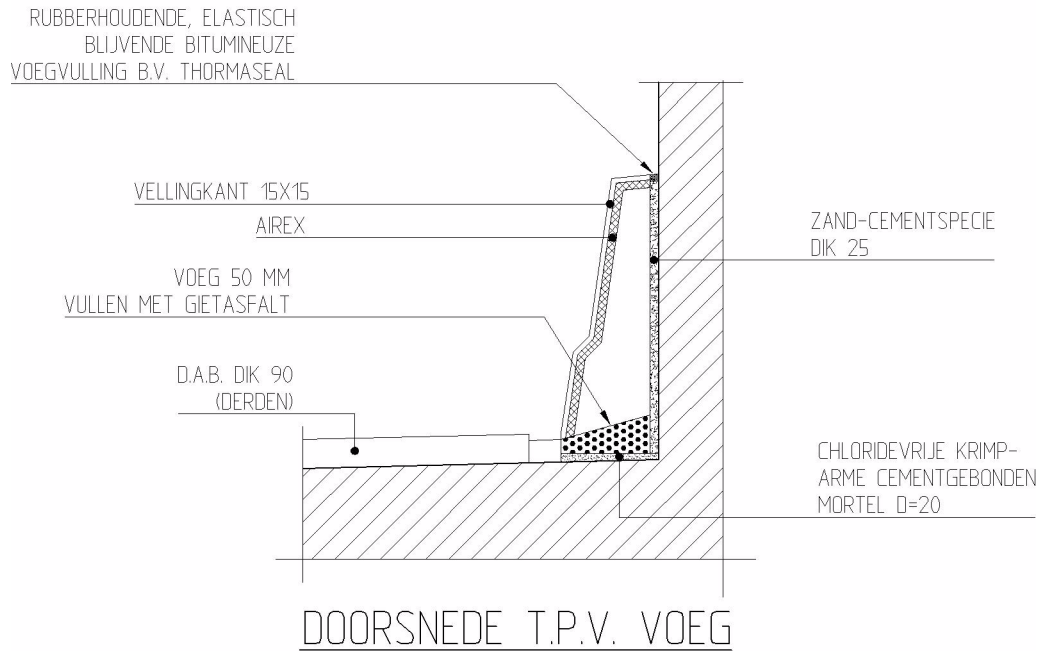
**Conservering:**

Toevoegingen toepassen aan de betonmortel t.b.v. het verhogen van de vorst- en dooizoutbestendigheid (zie BetonTech BT99.007).



Tunneldetails

Prefabconstructies





### 5.4.2.2 Detail t.p.v. voeg (onderling)

**Functies:**

Het opvangen van speling in de lengte van de prefab elementen.

**Detailontwerp:**

De breedte van de voeg is  $50 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ . De scherpe hoeken van de geleidebarrier voorzien van vellingkanten  $15 \times 15 \text{ mm}$ .

I.v.m. achtereenvolgens van de geleidebarrier de voegen aan de achterzijde dichtzetten met Airex.

De voegen aan de onderzijde tussen de geleidebarriers (behalve de dilatatievoegen) gedeeltelijk volzetten met gietasfalt om zodoende te voorkomen dat opgesloten water door bevrozing tot schade kan leiden.

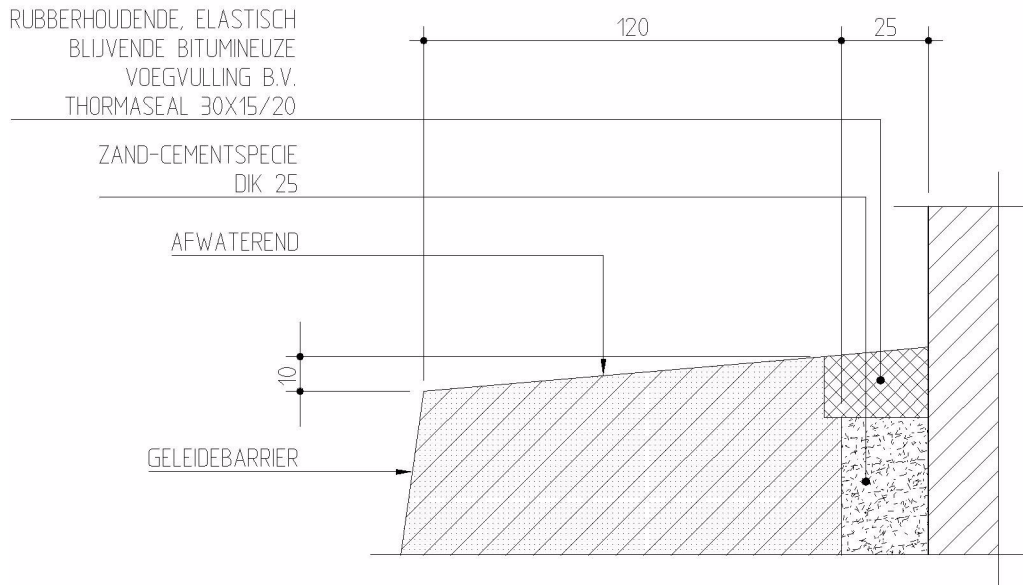
De dilatatievoegen van de geleidebarriers worden beschreven in Tunneldetails deel 5, hoofdstuk 1.2.8 Dilatatievoeg t.p.v. Stepbarrier.

**Motivering:**

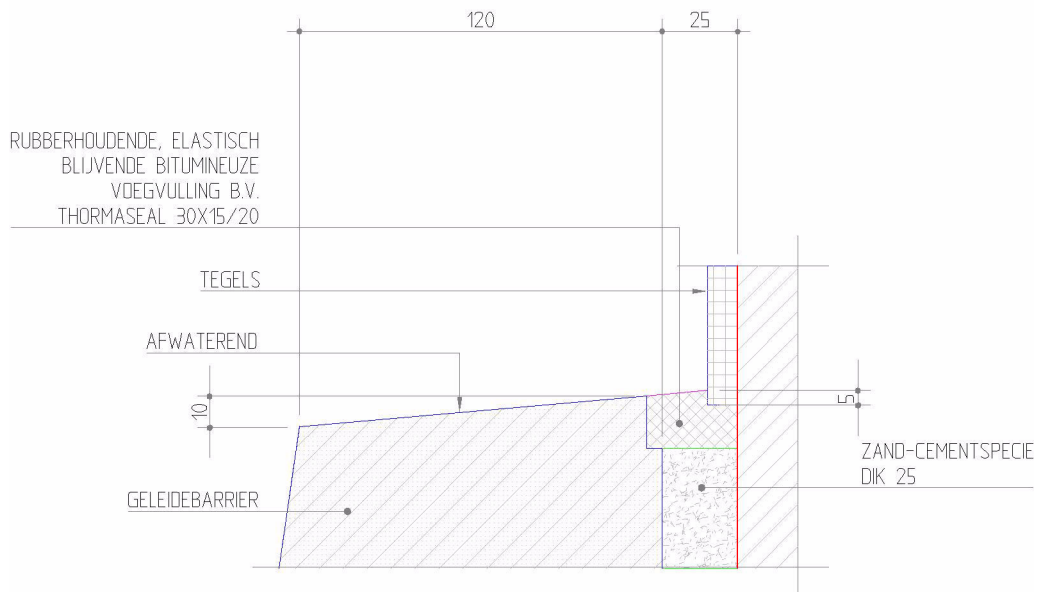
De rubberhoudende elastisch blijvende bitumineuze voegvulling voorkomt het binnendringen van water in de zand/cement specie (voorkomen van vorstschade).

**Conservering:**

Niet van toepassing.



DETAIL GELEIDEBARRIER /WAND



DETAIL GELEIDEBARRIER /WAND MET TEGELS



### 5.4.2.3 Detail geleidebarrier/wand

**Functies:**

Het opvangen van speling in de lengte van de prefab elementen.

**Detailontwerp:**

De geleidebarrier aan de achterzijde bovenin voorzien van een sponning.

Bij de productie van de geleidebarriers wordt er een lat 5\*15 mm opgenomen in de bekisting. Deze lat blijft tot ná het achtervullen aanwezig en voorkomt zodoende vervuiling van de sponning.

De voegvulling aanbrengen nadat de lat verwijderd is en de aanhechtingsoppervlakten zijn vrijgemaakt van stof, vocht, vet, olie en eventuele specieresten.

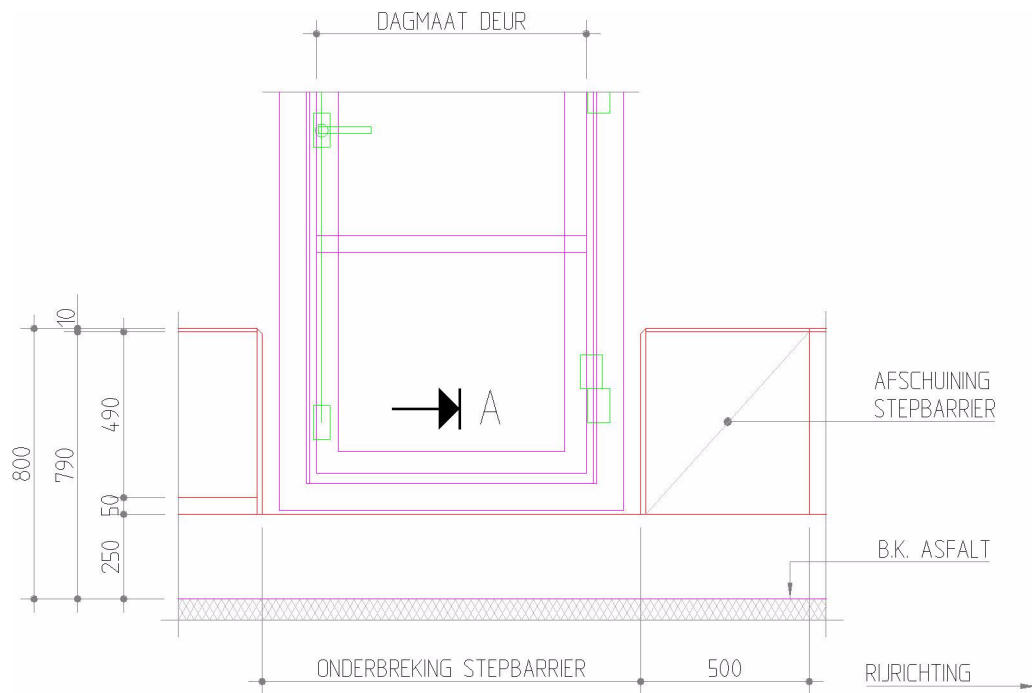
Bij het detail geleidebarrier/wand met tegels ervoor zorgen dat de rubberhoudende elastisch blijvende bitumineuze voegvulling ruim voldoende wordt opgezet tegen de tegelwand.

**Motivering:**

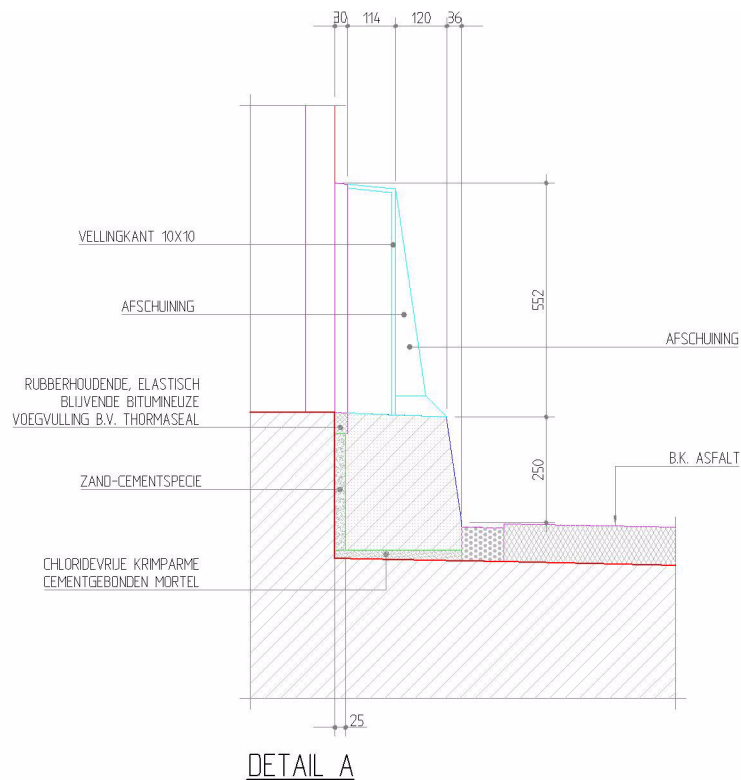
De rubberhoudende elastisch blijvende bitumineuze voegvulling voorkomt het binnendringen van water in de zand/cement specie (voorkomen van vorstschade).

**Conservering:**

Niet van toepassing.



VOORAANZICHT T.P.V. VLUCHTDEUR



DETAIL A



#### 5.4.2.4 Geleidebarrier t.p.v. vluchtdeur

**Functies:**

Onderbreking in de geleidebarrier t.b.v. de toegang naar het middenkanaal. De onderbreking zodanig uitvoeren dat de geleidende functie zo goed mogelijk wordt gewaarborgd.

**Toepassingen:**

T.p.v. de vluchtdeuren en deuren in verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

De onderbreking moet altijd beginnen boven het onderste schuine vlak. Voor de werking van de geleidebarrier is het onderste schuine vlak van essentieel belang (zie detailontwerp 5.4.2.1).

De onderbreking niet onnodig groot maken.

Om in de rijrichting geen haaks aanrijpunt te krijgen dient het bovenste gedeelte van de geleidebarrier te worden voorzien van een afschuining.

Het bovenvlak van de horizontale opstap afwaterend maken. De voeg tussen de geleidebarrier en de wand van de horizontale opstap waterdicht afsluiten met een rubberhoudende elastisch blijvende bitumineuze voegvulling (zie detailontwerp 5.4.2.3).

De scherpe hoeken van de geleidebarrier voorzien van vellingkanten 10\*10 mm.

**Motivering:**

Een goede bereikbaarheid van het middenkanaal en pompenkamers, met behoud van een zo goed mogelijke verkeersgeleiding.

**Conservering:**

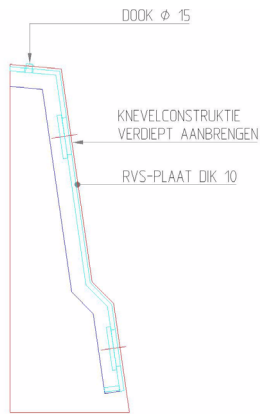
Niet van toepassing.



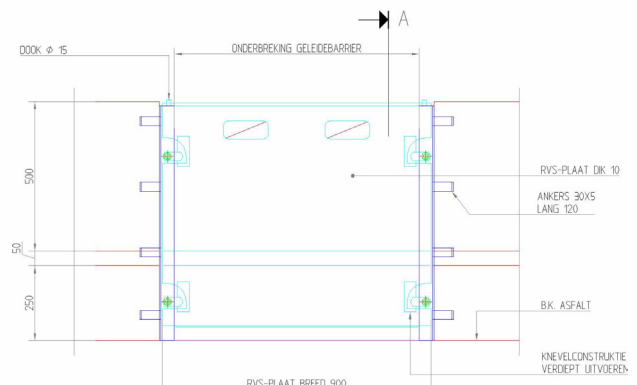


Tunneldetails

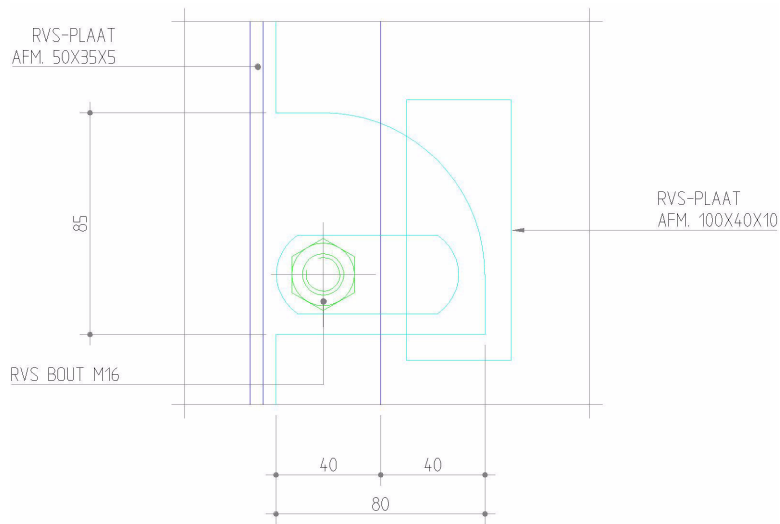
Prefabconstructies



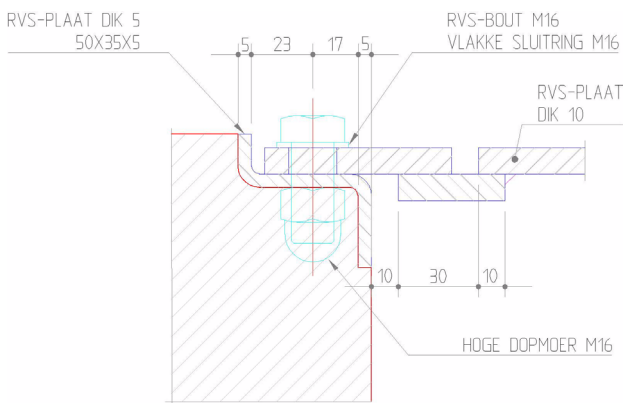
DOORSNEDE A



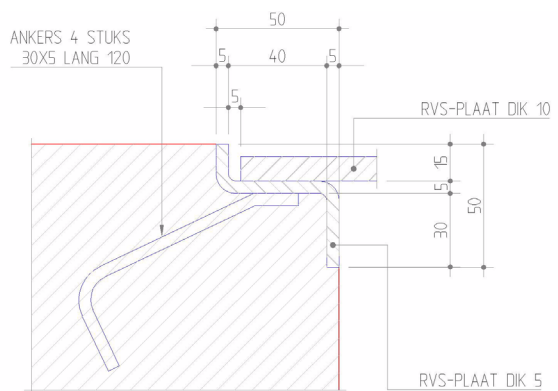
AANZICHT GELEIDEBARRIER MET PLAAT



DETAIL KNEVELCONSTRUCTIE



DETAIL B



DOORSNEDE C



#### **5.4.2.5 Geleidebarrier t.p.v. middenkelder/hoofdwaterkelder**

**Functies:**

Onderbreking in de geleidebarrier t.b.v. de toegang naar de middenkelder/hoofdwaterkelder.

**Toepassingen:**

T.p.v. de toegang naar de zandvang van de middenkelder/hoofdwaterkelder in verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

De lengte van de onderbreking wordt bepaald door de afmeting van het inlaatrooster/afdekplaat.

De onderbreking tussen de geleidebarriers wordt overbrugd met een roestvast stalen plaat dik 10 mm in de buitenvorm van de geleidebarrier.

De roestvast stalen plaat wordt m.b.v. knevels bevestigd aan de ingestorte roestvast stalen omranding van de geleidebarrier.

**Motivering:**

Een goede bereikbaarheid van de zandvang van de kelders met behoud van de verkeersgeleiding.

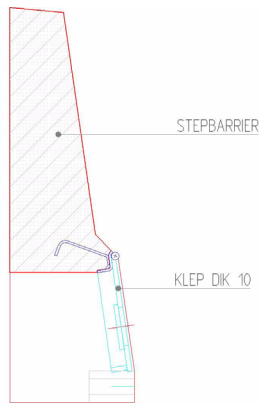
**Conservering:**

De plaat, knevelconstructie en omranding uitvoeren in roestvast staal.

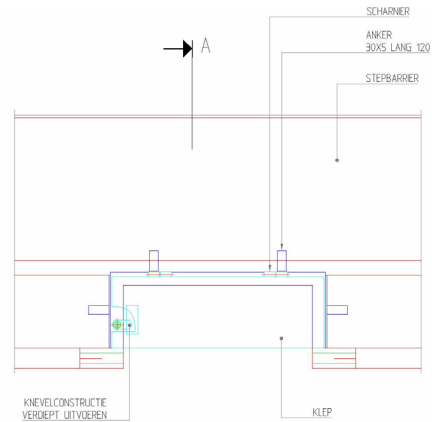


Tunneldetails

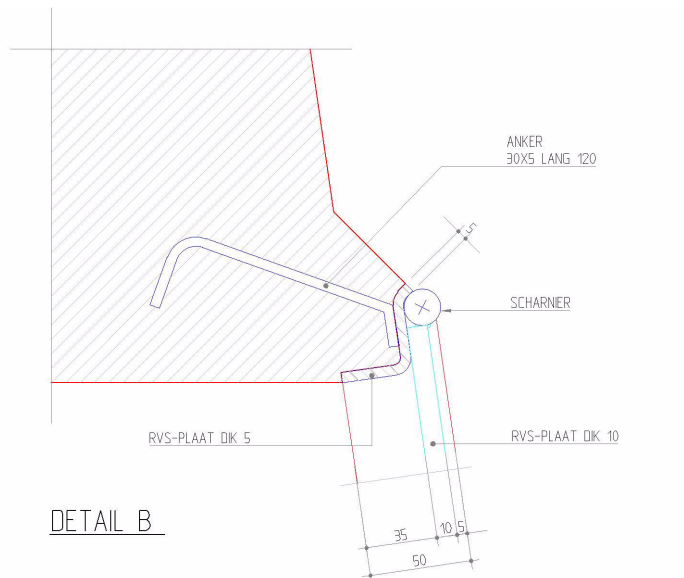
Prefabconstructies



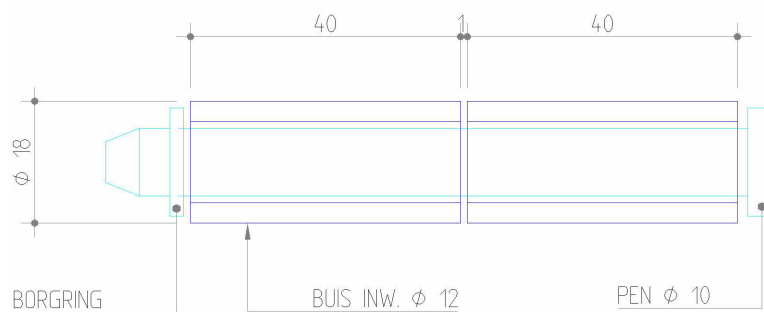
DOORSNEDE A



AANZICHT GELEIDEBARRIER MET KLEP



DETAIL B



DETAIL SCHARNIER



#### **5.4.2.6 Geleidebarrier t.p.v. inlaatputten (bij toepassing zoab)**

**Functies:**

Onderbreking in de geleidebarrier t.b.v. de bereikbaarheid van de inlaatputten.

**Toepassingen:**

T.p.v. de inlaatputten onder de Stepbarriers bij toepassing van z.o.a.b. in verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

Er wordt een sparing in de onderzijde van de Stepbarrier gemaakt. Deze sparing wordt afgedekt met een scharnierende roestvast stalen klep met een dikte van 10 mm.

De roestvast stalen klep wordt m.b.v. een knevelconstructie geborgd aan de ingestorte roestvast stalen omranding van de geleidebarrier.

**Motivering:**

Een goede bereikbaarheid van de inlaatputten met behoud van de verkeersgeleiding.

**Conservering:**

De klep, knevelconstructie en omranding uitvoeren in roestvast staal.





### 5.4.2.7 Achtergronden geleidebarrier

#### Doel

Geleiding van het verkeer; de profielen worden zodanig vorm gegeven dat bij een aanrijding van het profiel de gevolgen voor voertuigen en de inzittenden daarvan relatief beperkt blijven.

#### Geschiedenis

Tijdens de bouw werden de Velsertunnel, de Coentunnel, de Beneluxtunnel, de Schipholtunnel en de Heinenoordtunnel voorzien van ca. 800 à 1200mm brede en ca 150mm hoge stoepen (trottoirs) ter weerszijden van de rijbaan. De Vlaketunnel, de Drechtunnel, de Margrietunnel en de Botlektunnel werden voorzien van zogenaamde General Motors (GM)-profielen langs de tunnelwand aan weerszijden van de rijbaan.

De Zeeburgertunnel, de Noordtunnel en de Wijkertunnel zijn voorzien van zogenaamde New Jersey (NJ)-profielen. Tot overgang van GM-profielen naar NJ-profielen werd besloten nadat uit Amerikaans onderzoek was gebleken dat de NJ-profielen in de praktijk iets beter voldoen dan de GM-profielen.

Bij de renovatie van de tunnels zijn de stoepen gesloopt en vervangen door GM-profielen (Coentunnel en Beneluxtunnel) of NJ-profielen (Velsertunnel, Schipholtunnel en Heinenoord-tunnel). Vervanging van GM-profielen door NJ-profielen is nooit overwogen omdat de afloop van een aanrijding van een NJ-profiel slechts in geringe mate gunstiger is dan de afloop van een aanrijding met een GM-profiel.

#### Algemeen

In het verleden werd het type "New Jersey" toegepast voor de afscherming van de (midden)bermen van autosnelwegen. Geconstateerd werd dat dit profiel niet optimaal was. Met name kleinere voertuigen die onder een geringe hoek in botsing kwamen met de barrier hadden een verhoogde kans om over de kop te slaan (roll-overs). Door de SWOV is een literatuurstudie en een simulatie-onderzoek gedaan om te komen tot een optimalisatie van geleidebarriers. In opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) is door een werkgroep van AVV, de Bouwdienst en de SWOV een ontwerp van een zogenaamde "single slope"-barrier uitgewerkt.

Hierbij zijn de ontwerpeisen vastgesteld voor het huidige type barrier, het z.g. "Stepprofiel". Het specifieke voordeel van het Stepprofiel is dat voertuigen bij zwaardere aanrijdingen goed worden geleid en bij kleine inrijhoeken slechts een geringe kans hebben op schade. Door deze betere geleiding van het voertuig is de kans op over de kop slaan bij een botsing sterk afgenomen. De naam stepbarrier is ontstaan door de verbreding of stap aan de basis met dezelfde helling als het aanrijdingsvlak boven de stap. De stap heeft als doel voertuigschade bij lichte aanrijdingen te beperken.

De uitvoeringsvormen (betonnen slipformconstructie, prefab beton en staal) van de stepbarrier zijn getest op ware schaal conform de Europese regelgeving (NEN1317-1 en 1317-2). In de nota "Stepbarrier, een stap nader" wordt ingegaan op de eisen voor de verschillende uitvoeringen (beton en staal) van de Stepbarrier.



Vanaf 1996 is gestart met de toepassing van de Stepbarrier i.p.v. het New Jersey profiel in het tunnelontwerp. De destijds in uitvoering zijnde projecten zoals de Gaag en Alphen zijn niet aangepast aan deze ontwikkeling (tenzij de opdrachtgever dat wenste).

### **Afmetingen en belastingen**

De standaard afmetingen van de barrier zijn:

1. hoogte boven het wegdek 900 mm;
2. bovenbreedte 200 mm;
3. basisbreedte 542 mm;
4. staphoogte 250 mm;
5. stapbreedte 50 mm.
6. aanrijdingsvlak met standaardhelling 9 gon.

Het kerend vermogen is 135 kN loodrecht op de barrier. De werking van de barrier mag hierdoor niet worden aangetast.

De keuze voor de hellingshoek van 9 gon is afhankelijk van de negatieve of positieve verkanting (2,5%) van autosnelwegen. Om redenen van eenvoud en esthetica is de hellingshoek van 9 gon vastgesteld.

De hoogte van de barriers is 800 mm. Vaak wordt aanbevolen om deze te verhogen naar 1000 mm. De keuze voor 900 mm is gebaseerd op:

1. koplampen van tegenliggers afschermen door barrier (verblinding);
2. beperkte hoogte waardoor bestuurders over de barrier heen kunnen kijken en het zicht behouden;

De keuze van 200 mm voor de bovenbreedte is:

1. het kunnen storten van een betonnen barrier in samenhang met de aanwezige wapening;
2. het evt. kunnen aanbrengen van specifieke voorzieningen (leuning)

In een tunnel is de toepassing van een "half profiel" mogelijk. Wel dient de geometrie van het aanrijdingsvlak hierdoor niet te worden gewijzigd.

### **Motivering**

De toepassing van een barrier (bermbeveiligingsconstructie) is gebaseerd op het afschermen van zogenaamde gevarenszones. Er zijn twee typen beschikbaar:

1. geleiderailconstructie
2. geleidebarrier

In het verleden ging de voorkeur uit naar de geleiderailconstructie omdat hierbij de kans op letsel aan de inzittenden en schade aan het voertuig kleiner was dan bij een geleidebarrier. Positieve ervaringen met de geleidebarrier, met name door toepassing ervan in het buitenland, hebben de belangstelling versterkt. Studies naar veiligheid, kosten en beheersaspecten van de geleidebarrier t.o.v. geleiderail hebben aangetoond dat het toepassingsgebied in Nederland kan worden verruimd. Vooral situaties met beperkte ruimte dwarsprofiel en beheer en onderhoud hebben hieraan bijgedragen. De betonnen barrier ter plaatse gestort met een slipformconstructie (geen wapening (m.u.v. 2 strengen)) zal van alle varianten het meest worden toegepast. De levensduur van een barrier moet minimaal 20 jaar zijn.

### **Onderzoeksresultaten**

Ongevallenstudies in de VS hebben de roll-overs van kleine voertuigen aangetoond. Simulatieonderzoek en botsproeven (o.a. in Engeland en Frankrijk) hebben die ook bevestigd. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

1. een vlakke verticale wand geeft een aanzienlijke reductie in roll-overs;



2. aanrijdingen van een verticalere wand verlopen stabiel maar geven wel grotere schade aan voertuigen en grotere voertuigvertragingen;
3. een hellingshoek van 8 tot 10 gon is het meest gunstig.

**Varianten**

Zoals genoemd in het algemene gedeelte kent de barrier een aantal verschillende varianten:

1. de betonnen, starre uitvoering ter plaatse gestort met een dynamische bekisting (slipform), statische bekisting of gebouwd met prefab elementen;
2. de betonnen, flexibele uitvoering met prefab elementen;
3. de stalen, starre uitvoering;
4. de stalen, flexibele uitvoering.

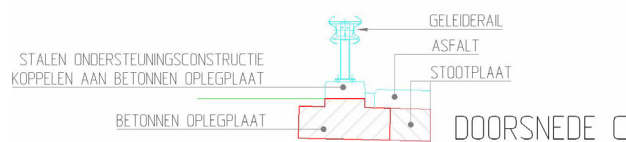
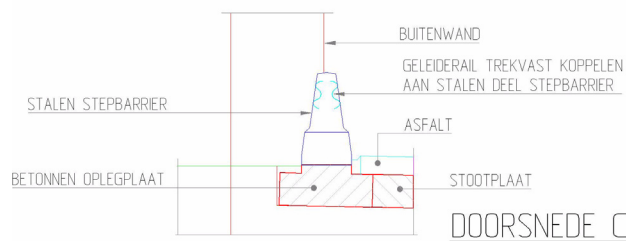
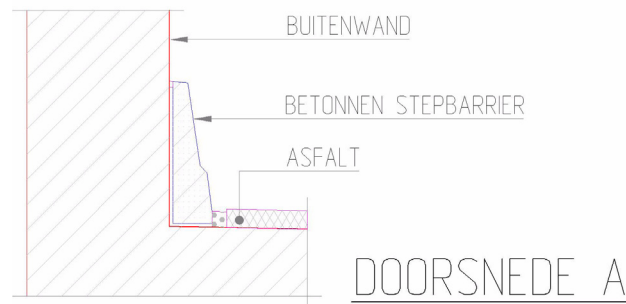
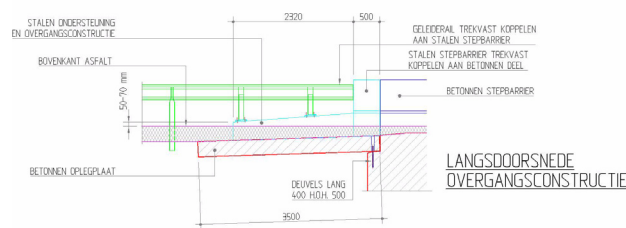
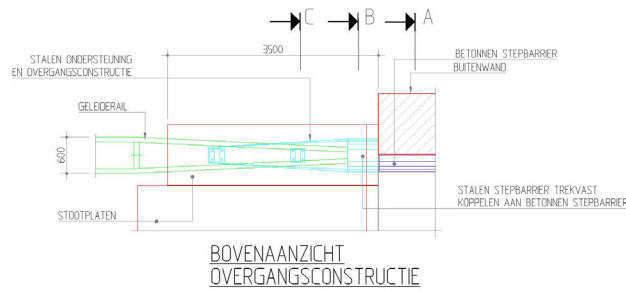
Bij de onderzoeken is voor de verschillende varianten van de betonnen barrier ingegaan op de verankering, wapening en betonsamenstelling. Voor de stalen varianten is ingegaan op de constructie en de verankering. Vooral de geometrische vorm van het aanrijdingsvlak en de flexibiliteit van de constructie zijn van belang. Inmiddels is door de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat besloten in voorkomende gevallen voortaan de Stepbarrier toe te passen.







### **5.4.3 Overgangen**





### 5.4.3.1 Overgang t.p.v. buitenwand

**Funcities:**

Een geleidelijke overgang maken van een flexibele/verstijfde geleiderail naar een starre geleidebarrier.

**Toepassingen:**

Aan het begin c.q. eind van de betonnen buitenwandconstructie van de toeritten van verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

Buiten de betonnen bakconstructie de voorgeschreven (R.O.A.) overgang maken van een flexibele geleiderail naar een verstijfde geleiderail. De laatste achterplank van de geleiderail verankeren tegen de kopzijde ( of achterzijde ) van de betonnen buitenwand. Aan de voorzijde een getordeerde (12°) geleideplank met behulp van plooibare afstandhouders bevestigen aan de betonnen buitenwand.

De geleidebarrier zowel verticaal als horizontaal afschuinen (horizontale hoek max. ca. 3° resp. 1:20 t.o.v. kantstreep) en beginnen buiten de voorplank van de geleiderail.

**Motivering:**

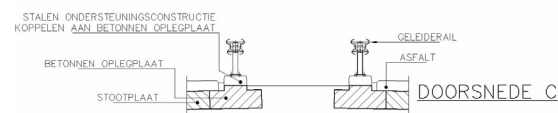
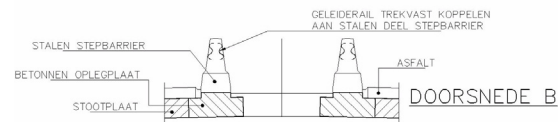
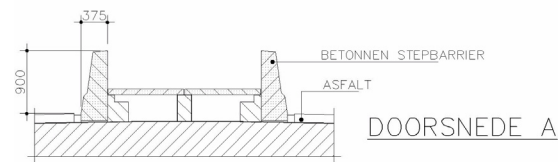
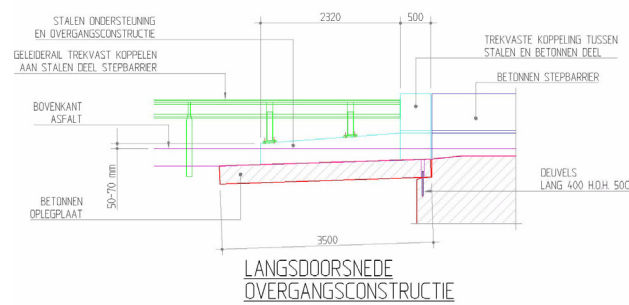
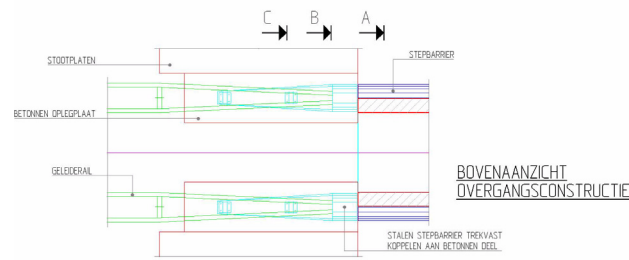
Deze overgang is een principe-oplossing en wordt toegepast indien de geleidebarrier deel uitmaakt van een betonnen buitenwandconstructie in verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

De onderbouwing hiervan is terug te vinden in de,

- Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen (ROA), hoofdstuk 6, Veilige inrichting van bermen.
- Handboek bermbeveiligingsvoorzieningen.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1461, laagdikte volgens bestek.





### 5.4.3.2 Overgang t.p.v. middenberm

**Funcities:**

Een geleidelijke overgang maken van een flexibele/verstijfde geleiderail naar een starre geleidebarrier.

**Toepassingen:**

Aan het begin c.q. eind van de betonnen bakconstructie van de inrit en de uitrit in de middenberm van verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

Buiten de betonnen bakconstructie de voorgeschreven (R.O.A.) overgang maken van een flexibele geleiderail naar een verstijfde geleiderail. De laatste achterplank van de geleiderail verankeren tegen de achterzijde van de betonnen wand. Aan de voorzijde een getordeerde (12°) geleideplank met behulp van plooibare afstandhouders bevestigen aan de betonnen wand.

Het overgangsprofiel van de geleidebarrier zowel verticaal als horizontaal afschuinen (horizontale hoek max. ca. 3° resp. 1:20 t.o.v. de kantstreep) en beginnen buiten de voorplank van de geleiderail.

Het betonnen overgangsprofiel wordt geplaatst op en tegen een betonnen plaat/wand.

**Motivering:**

Deze overgang is een principe-oplossing en wordt voornamelijk toegepast indien de geleidebarrier deel uitmaakt van een betonnen wandconstructie in verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

De onderbouwing hiervan is terug te vinden in de,

- Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen (ROA), hoofdstuk 6, Veilige inrichting van bermen.
- Handboek bermbeveiligingsvoorzieningen.

**Conservering:**

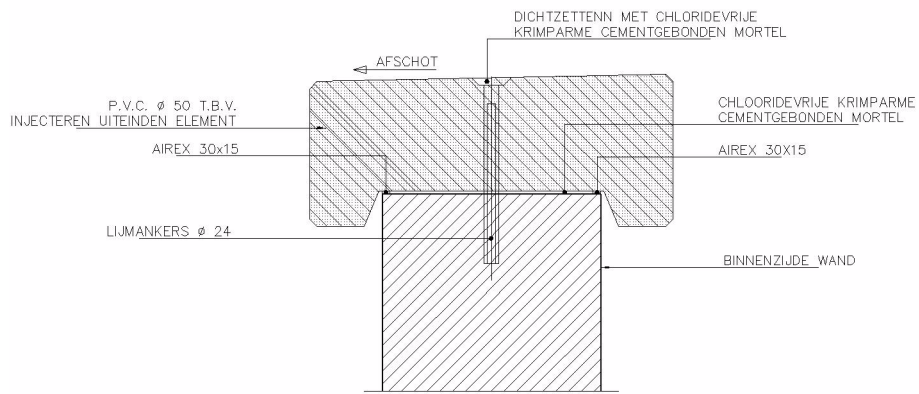
Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1461, laagdikte volgens bestek.





#### **5.4.4 Overige details**





DOORSNEDE AFDEK (PRINCIPE)



#### 5.4.4.1 Afdekkand

**Functies:**

Een esthetisch verantwoord geheel maken.

Het indringen van het water zoveel mogelijk voorkomen.

**Toepassingen:**

Boven op de betonwanden van de toeritten en eventueel andere plaatsen van verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten.

**Detailontwerp:**

De vorm van de afdekkand wordt in de meeste gevallen in overleg met de architect bepaald.

De elementen uitvoeren in een lengte van max. 4000 mm (i.v.m. hanteerbaarheid).

De elementen bevestigen met R.V.S. ankers en stellen op stelbouten. Vervolgens ondersabelen en injecteren met injectiemortel via PVC Ø50 mm.

De onderlinge voegen dicht zetten met chloridevrije krimparme cementgebonden mortel.

Ter plaatse van de dilatatievoegen 20 mm tussen de profielen openhouden.

**Motivering:**

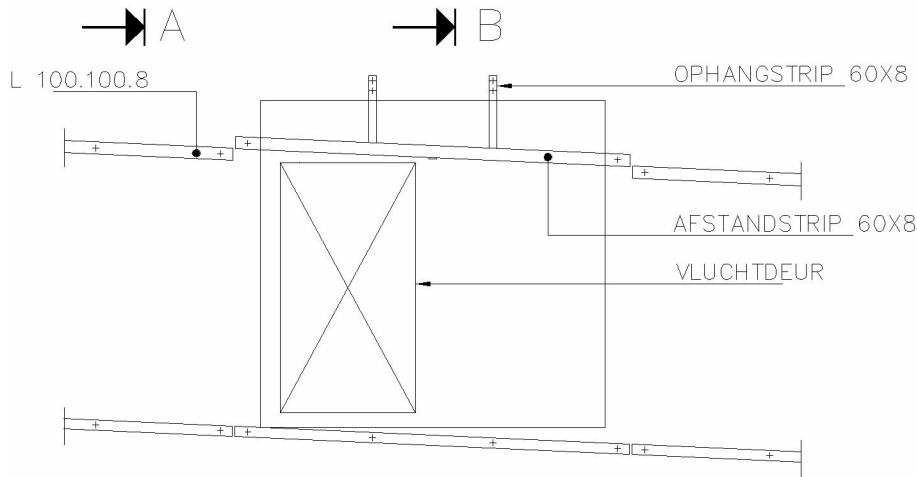
Een totaal afwerking van de constructieve wanden.

Bij een goede vorm van de afdekkand (incl. waterhol) worden verwateringsstrepen en algengroei op de wanden t.g.v. druipend water voorkomen.

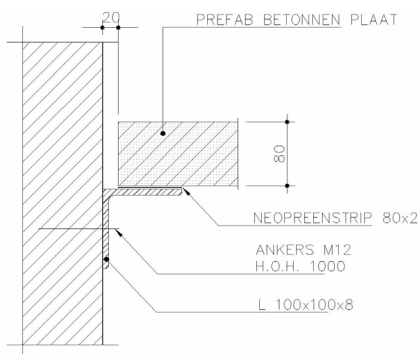
**Conservering:**

De ankers zijn van roestvast staal.

Anti-graffiti bescherming kan in overleg met de opdrachtgever toegepast worden.

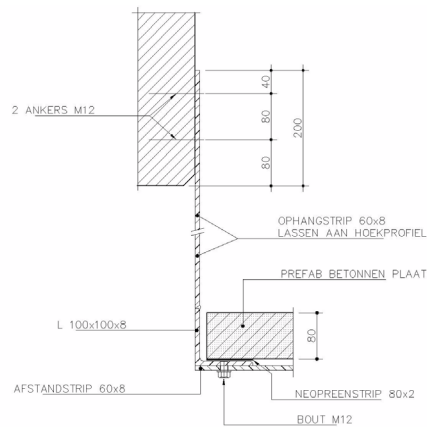


DOORSNEDE MIDDENKANAAL



DOORSNEDE A

DE AFMETINGEN VAN PREFAB BETONPLAAT EN OPLEGGING ZIJN AFHANKELIJK VAN DE BREEDTE VAN HET MIDDENKANAAL



DOORSNEDE B



#### 5.4.4.2 Plaat in middenkanaal

**Functies:**

Een afscheiding tussen de vluchtgang en de bovenste electro mechanische ruimte (kabels,kasten, enz.).

**Toepassingen:**

In het middenkanaal van het gesloten tunnelgedeelte en overgangsgedeelte van de verkeerstunnels.

**Detailontwerp:**

De breedte van de plaat is afhankelijk van de breedte van het middenkanaal min. 1200 mm (zie W.U.T. notitie). In de meeste gevallen is de breedte 1350 mm, die wordt bepaald door de 2 kabelrekken en een looppad in de bovenste electro mechanische ruimte.

Dus een effectieve plaatbreedte van 1310 mm, de lengte is 1000 mm, de dikte is 80 mm. Bij een grotere breedte van het middenkanaal moet men rekening houden met een vloerbelasting van 4 KN/m<sup>2</sup> dit i.v.m. het bepalen van de dikte van de plaat en de afmeting van de hoekstalen en ankers.

De plaat wordt opgelegd op hoekstalen 100\*100\*8, die worden bevestigd met ankers M 16 h.o.h. 1000 aan middenkanaalwand. Tussen de plaat en het hoekstaal wordt een neopreenstrip gelegd voor de drukverdeling.

T.p.v. de vluchtdeuren worden de platen onderbroken door een rooster.

Bij schuifdeuren worden de hoekstalen omgedraaid en opgehangen aan strippen 60\*8. De 2 hoekstalen worden onderling verbonden met een afstandstrip 60x8.

De hoekprofielen 80x80x8 zijn bevestigd met veiligheidsankers M12 h.o.h.500 mm. Bij Tunnel tracé Sijtwende zijn de hoekprofielen bevestigd met ankers M10, h.o.h. 750 mm. Deze afmetingen van de ankers en de h.o.h afstand bij Sijtwende zijn volgens de berekeningen constructief voldoende. In SATO wordt in het detail alleen een prefab betonnen plaat weergegeven. Er kan ook voor een alternatief gekozen worden nl. Dejo-roosters..

**Motivering:**

Het middenkanaal is opgesplitst in 3 verschillende ruimten. De bovenste en onderste ruimten zijn bestemd voor electro mechanische installaties (kabels, kasten, leidingen enz.).

De middelste ruimte is bestemd als vluchtgang.

Door de roosteropening in de plaat t.p.v. de vluchtdeur wordt lucht in de vluchtgang geblazen. In de vluchtgang heerst er dan een overdruk.

De onderbouwning hiervan is terug te vinden in een door de W.U.T. groep geschreven notitie,

- Richtlijnen voor vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels.

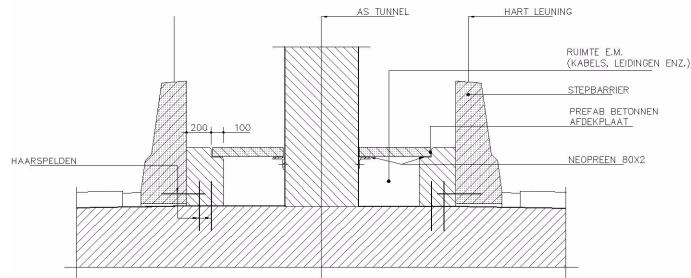
**Conservering:**

De hoekstalen, ophangstrippen en ankers thermisch verzinken volgens NEN 1461, laagdikte volgens bestek.

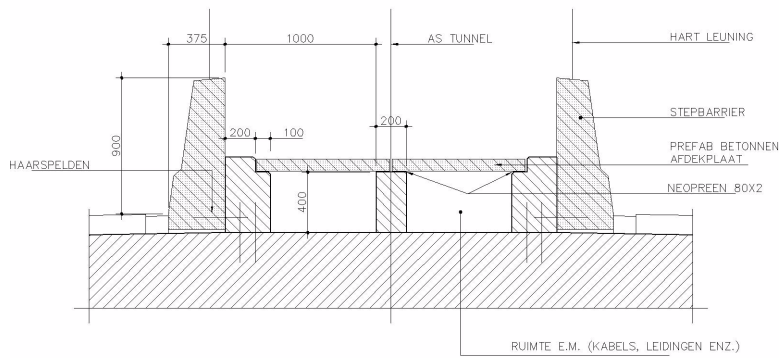


Tunneldetails

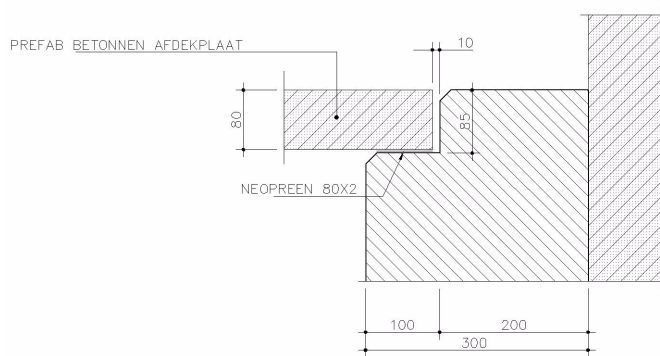
Prefabconstructies



DOORSNEDE MIDDENBERM



DOORSNEDE MIDDENBERM



OPLEGGING [PLAAT OP BETON



### 5.4.4.3 Afdekplaat in middenberm

**Functies:**

De plaat is de afscheiding tussen de vluchtgang en de electro mechanische ruimte (kabels, leidingen enz.).

**Toepassingen:**

In de middenberm van de toeritten van verkeerstunnels, onderdoorgangen en aquaducten .

**Detailontwerp:**

De breedte van de plaat is afhankelijk van de ruimte tussen de middenwand en de geleidebarrier. De plaatlengte is over het algemeen 1000 mm, de dikte is 80 mm. De plaat wordt aan de zijde van de middenwand opgelegd op een hoekstaal 100\*100\*8 mm en aan de andere zijde wordt de plaat opgelegd op een betonnen opstort. Bij het ontbreken van een middenwand wordt de plaat ook in het midden opgelegd op een betonnen opstort.

Tussen de plaat en de opleggingen wordt er plaatselijk een neopreenstrip gelegd voor de drukverdeling. Het hoekstaal wordt aan de middenwand bevestigd met ankers M 16 h.o.h. 500. Bij een grotere breedte van de middenberm moet er rekening worden gehouden met een vloerbelasting van 4 kN/m<sup>2</sup>, dit i.v.m. het bepalen van de dikte van de plaat en de afmeting van het hoekstaal en de ankers. Na het stellen van de geleidebarrier wordt de betonnen opstort gestort.

De minimale hoogte van de electro mechanische ruimte is 400 mm (i.v.m. de flenzen van de leidingen).

Op de geleidebarrier een leuning aanbrengen i.v.m. de veiligheid.

De geleidebarrier die in de middenberm toegepast wordt is breder dan de normale geleidebarrier (zie 5.4.2.1), dit i.v.m. de sterkte van de geleidebarrier.

**Motivering:**

Door het kiezen van deze oplossing ontstaat er een looppad c.q. vluchtgang en onder de plaat een ruimte voor de electro mechanische leidingen.

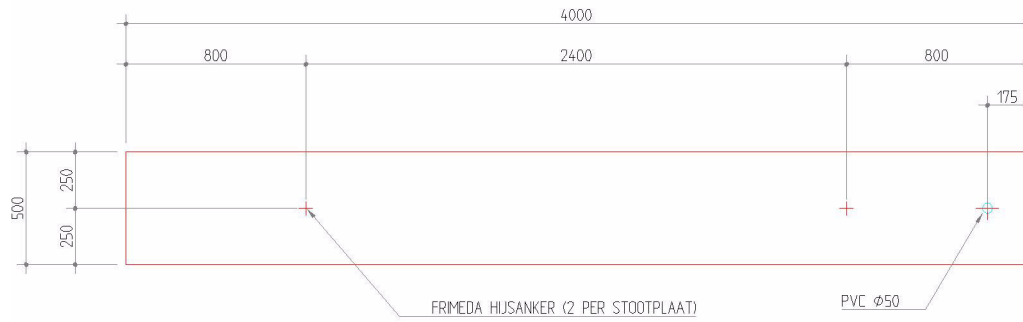
Het geeft tevens een extra steun aan de geleidebarrier.

De onderbouwning hiervan is terug te vinden in een door de W.U.T. groep geschreven notitie,

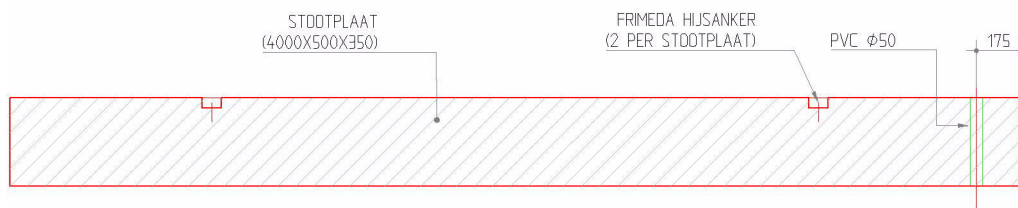
- Richtlijnen voor vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels.

**Conservering**

De hoekstalen en de ankers thermisch verzinken volgens NEN 1461, laagdikte volgens bestek.



BOVENAANZICHT STOOTPLAAT (PRINCIPE)



LANGSDOORSNEDE



#### 5.4.4.4 Stootplaat

**Functies:**

Zorgen voor een geleidelijke overgang bij hoogteverschillen die kunnen ontstaan tussen het relatief zettingsvrij gefundeerde kunstwerk en de meer zettingsgevoelige aardebaan.

**Toepassingen:**

Overgang van de beton constructie (einde toeritten) naar de aardebaan van verkeerstunnels, onderdoorgangen, aquaducten en viaducten.

**Detailontwerp:**

De lengte van de stootplaat is afhankelijk van toelaatbare "knik" in het verticaal alignement (1:100 à 1:120) en de te verwachte restzettingen van de aardebaan onder de stootplaat.

De breedte is afhankelijk van de te verwachte ongelijkmatige zettingen in de dwarsrichting.

De geprefabriceerde stootplaten krijgen een breedte van 500 mm voor stootplaten tot een lengte van 6 m, bij grotere lengten worden geen prefab platen toegepast maar terplaatse gestorte stootplaten.

De dikte in het midden van de stootplaat volgt uit een berekening als een ligger op twee steunpunten opgelegd op de beide uiteinden.

De dikte van de stootplaat moet zo dun mogelijk gekozen worden zodat na rotatie de gaping tussen de voorkant van de stootplaat en de betonnen bakconstructie minimaal blijft.

Hijsvoorzieningen in de stootplaat aanbrengen t.b.v. ophalen van de stootplaten.

**Motivering:**

Bij het zorgvuldig kiezen van een goed ontwerp worden de volgende problemen nagenoeg voorkomen,

- abrupte hellingen en hoogteverschillen in het verticale alignement,
- scheuren in het asfalt,
- geluidshinder.

Het voordeel van prefab stootplaten t.o.v. ter plaatse gestorte is, dat ze na geconstateerde zettingen (zakkingen), opgehaald kunnen worden.

De onderbouwing hiervan is terug te vinden in,

- Richtlijnen Overgangsconstructie Stootplaten rapport nr 7, maart 1988.

**Conservering:**

Hijsvoorzieningen thermisch verzinken volgens NEN 1461, laagdikte volgens bestek.







#### 5.4.4.5 Achtergronden details

##### **Afdekband**

De afdekband is een totaalafwerking van de wanden, waarbij de vorm in overleg met de architect wordt bepaald. Bij het bepalen van deze vorm dient wel rekening gehouden te worden met de functionele eisen van de afdekband. Zo dient ter voorkoming van verwateringstrepen en algengroei een waterhol aangebracht te worden. Het afschot van het bovenvlak loopt naar de buitenzijde van de wand zodat de binnenwanden minder onderhoud nodig hebben. De afmetingen van de lijmmankers zijn afhankelijk van de afmetingen van de afdekband.

##### **Afdekplaat in middenberm**

De plaat wordt gelegd in een sponning (ca. 100 x 80 mm, afhankelijk van betonplaat) in de wand achter de stepbarrier. Voorheen werd de plaat op een sponning gelegd waardoor schade kan ontstaan bij aanrijding van de stepbarrier. Door de plaat in een sponning te plaatsen is de kans op schade door aanrijding gereduceerd. Tevens een kleinere overspanning benodigd. Door verkleinde oplegpunten kunnen de afdekplaten nauwkeuriger gelegd worden.

##### **Stootplaten**

Het doel van stootplaten is om abrupte hoogteverschillen in de weg te voorkomen bij de overgang van een aardebaan naar een kunstwerk. Dit bevordert de verkeersveiligheid, het rijdcomfort en minimaliseert de onderhoudskosten en geluidsoverlast. De afmetingen van stootplaten zijn afhankelijk van meerdere aspecten welke beschreven staan in het document "Richtlijn overgangsconstructies (stootplaten), rapport nr. 7" dd maart 1988. Deze aspecten zijn o.a. te verwachten zettingen, (onderhouds)kosten en de keuze voor prefab of in het werk gestort beton.





## 5.4.5 Diversen

### 5.4.5.1 Lijst met technische begrippen

#### **Geleidebarrier (Stepbarrier)**

Geleidebarrier is een starre geleidingswand van beton of staal met aan de verkeerszijde een speciale profilering.

#### **Geleiderail**

Geleiderail is een vervormbare stalen constructie ter afscherming van of ter reductie van de risico's van een gevarezone.

#### **Stootplaat**

Een stootplaat is een beton plaat die een geleidelijke overgang maakt van een betonconstructie naar de aardebaan om zodoende de verkeersveiligheid te bevorderen en het rijcomfort te verbeteren.

#### **Middenkanaal**

Het middenkanaal is de ruimte tussen 2 tunnelbuizen welke opgesplitst is in een vluchtgang en een ruimte t.b.v. kabels/leidingen.

#### **Vluchtgang/route**

De vluchtgang/route is de middelste ruimte in het middenkanaal welke wordt gebruikt door bedieningspersoneel en door de weggebruikers in geval van een calamiteit.

### 5.4.5.2 Literatuurlijst / bronnen

#### **De volgende richtlijnen en handboeken zijn in dit hoofdstuk van toepassing:**

- Richtlijnen voor het Ontwerp van Autosnelwegen (ROA), hoofdstuk 6; Veilige inrichting van bermen.
- Handboek bermbeveiligingsvoorzieingen,
- Richtlijnen voor het vervoeren van gevaarlijke stoffen door tunnels
- Richtlijnen overgangsconstructie (stootplaten)
- Richtlijnen Nota Stepbarrier, een stap nader !





## Inhoudsopgave Afbouw

- 5.5.1 Inleiding
- 5.5.2 Tegelwerk
  - 5.5.2.1 Wandafwerking tegels algemeen
  - 5.5.2.2 Wandafwerking tegels t.p.v. hulpposten en vluchtdeuren
  - 5.5.2.3 Achtergronden tegelwerk
- 5.5.3 Hulpposten
  - 5.5.3.1 Kozijn en deuren grote hulppost
  - 5.5.3.2 Kozijn en deur kleine hulppost
  - 5.5.3.3 Afdichting achterzijde grote hulppost en nis brandblusleiding
  - 5.5.3.4 Details achterzijde grote hulppost en nis brandblusleiding
  - 5.5.3.5 Achtergronden hulpposten
- 5.5.4 Vluchtdeuren
  - 5.5.4.1 Kozijn en deur vluchtdeur (draaideur)
  - 5.5.4.2 Kozijn en deur vluchtdeur (schuifdeur)
  - 5.5.4.3 Montage kozijn vluchtdeur (draaideur)
  - 5.5.4.4 Montage kozijn vluchtdeur (schuifdeur)
  - 5.5.4.5 Achtergronden vluchtdeuren
- 5.5.5 Daglichtrooster
  - 5.5.5.1 Lamellen, liggers en dragers
  - 5.5.5.2 Oplegging dragers
  - 5.5.5.3 Overgang naar overgangsgedeelte
  - 5.5.5.4 Achtergronden daglichtrooster
- 5.5.6 Overige details
  - 5.5.6.1 Spijlendeur
  - 5.5.6.2 Roosters middentunnelkanaal
  - 5.5.6.3 Achtergronden
- 5.5.7 Diversen
  - 5.5.7.1 Lijst met technische begrippen
  - 5.5.7.2 Literatuurlijst / bronnen



---

Tunneldetails



## **5.5 AFBOUW**

### **5.5.1 Inleiding**

De details in dit hoofdstuk hebben betrekking op de afbouw van tunnels. Dit betekent dat de beschreven onderdelen aangebracht worden nadat de ruwbouw gereed is.

Er wordt in dit hoofdstuk een aantal malen verwezen naar de Veiligheidsrichtlijnen deel C: Basismaatregelen (VRC). Hierin worden veiligheidsmaatregelen voorgeschreven die in ondergrondse en verdiept gelegen infrastructuur moeten worden toegepast.

Dit hoofdstuk van SATO gaat niet in op de veiligheidsaspecten van de verschillende onderdelen, maar alleen op de detaillering die hiervan het gevolg is.

Daar waar gesproken wordt over tunnels, kan afhankelijk van het detail gelezen worden tunnels, aquaducten en onderdoorgangen.

De achtergronden van de in dit hoofdstuk opgenomen details zijn per onderdeel beschreven.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

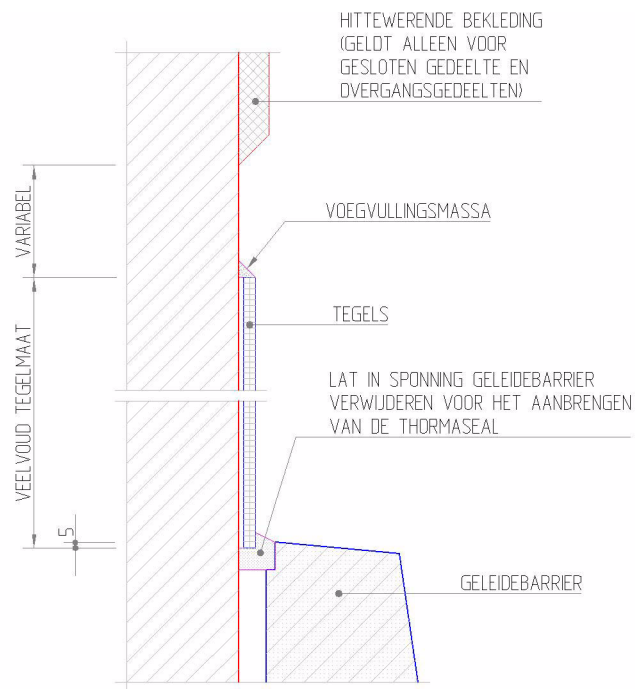
- definitief: april 1993
- 1<sup>e</sup> herziening: juli 1995
- 2<sup>e</sup> herziening: december 2000
- 3<sup>e</sup> herziening: januari 2005







## **5.5.2 Tegelwerk**



### WANDAFWERKING TEGELS



### 5.5.2.1 Wandafwerking tegels algemeen

**Functie:**

Een goede lichtreflectie in het gesloten gedeelte en een goede overgang tussen toerit en gesloten gedeelte. Het zorgdragen voor doelmatig onderhoud.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte, overgangsgedeelten en in inritten eventueel onder daglichtroosters van verkeerstunnels.

**Detailontwerp:**

Na het gritstralen en het met water onder hoge druk reinigen van de te betegelen oppervlakken en het injecteren van de scheuren worden de tegels (lange zijde) evenwijdig aan het alignement verlijmd.

De voegen tussen tegels dienen circa 6 mm breed zijn. Ter plaatse van aansluitingen, bovenrand en onderbrekingen de voegen glad afwerken met voegvullingsmassa.

Ter plaatse van verticale beëindigingen het tegelwerk over een breedte van 10 mm glad afwerken met epoxymortel. Het tegelwerk wordt aangebracht vanaf de geleidebarrier tot ca. 100 mm onder de hittewerende bekleding.

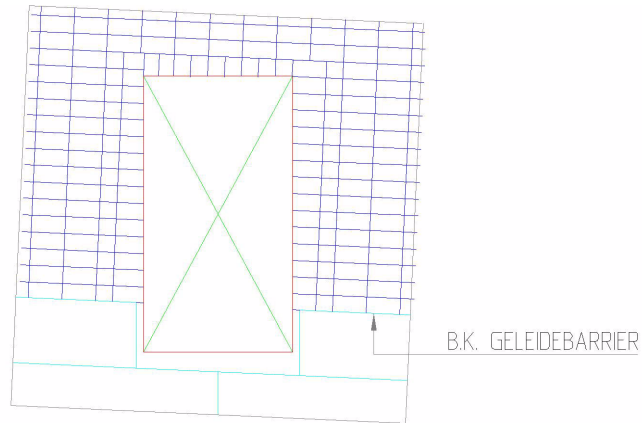
Er moet naar gestreefd worden geen kleinere tegels toe te passen dan halve tegels. Geen onnodige (onderhoudsgevoelige) dilatatievoegen in het tegelvlak aanbrengen.

**Motivering:**

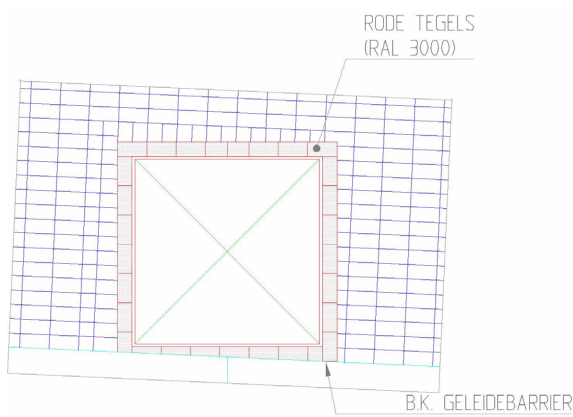
De tegels dienen een hoge reflectie te hebben; daarom worden in principe witte tegels (mat) toegepast. Tegels hebben het voordeel boven een verflaag dat het onderhoud doelmatiger is. Glasal en emailleplaten, die voor wat betreft lichtreflectie prima voldoen, hebben het nadeel dat bij aanrijdingen over grote vlakken beschadigingen kunnen optreden.

**Conservering:**

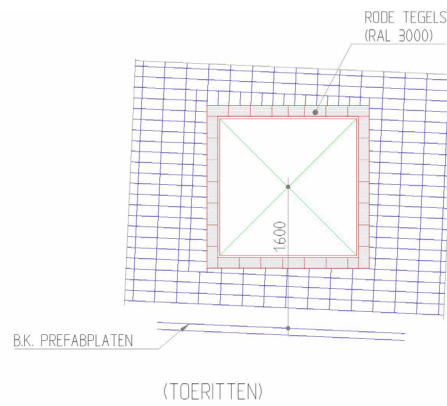
Niet van toepassing.



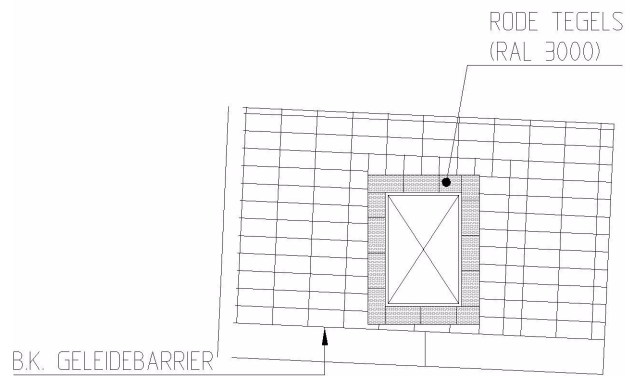
### TEGELWERK T.P.V. VLUCHTDEUR



(GESLOTEN GEDEELTE EN OVERGANGSGEDEELTEN)



TEGELWERK T.P.V. GROTE HULPPOST



### TEGELWERK T.P.V. KLEINE HULPPOST

(TOERITTEN, OVERGANGSGEDEELTEN EN GESLOTEN GEDEELTE)



### 5.5.2.2 Wandafwerking tegels t.p.v. hulpposten en vluchtdeuren

**Functie:**

Het creëren van een esthetisch goede overgang van tegels naar kozijnen.

**Toepassingen:**

In het gesloten gedeelte, overgangsgedeelten en in inritten eventueel onder daglichtroosters van verkeerstunnels ter plaatse van vluchtdeuren en hulpposten.

**Detailontwerp:**

De tegels worden loodrecht op het verticale alignement om de diverse verticale springen aangebracht.

Om de grote en kleine hulpposten wordt een rand rode tegels (RAL 3000) aangebracht. Hiertegen worden de witte tegels aangebracht.

Gezaagde tegels boven en eventueel onder de sparing zorgen voor een goede tegelverdeling. Voor het totaal te tegelen oppervlak moet er naar gestreefd worden geen kleinere tegels toe te passen dan halve tegels.

**Motivering:**

De tegelverdeling zoals aangegeven op bijgaande tekeningen is een principe-oplossing waarvan afgeweken kan worden.

De rand met rode tegels om de hulpposten wordt aangebracht vanwege de herkenbaarheid van de hulpposten (VRC).

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.5.2.3 Achtergronden tegelwerk

Het belang van witte wanden in een tunnel is niet zo groot als in het verleden werd gedacht.

In de VRC (hoofdstuk 6.3) wordt aangegeven dat wit betegelde wanden een te verwaarlozen bijdrage (in gunstige gevallen maximaal 5%) leveren aan de verlichting op het wegdek.

Zij dragen echter wel bij tot het bevorderen van een positieve en comfortabele beleving in de tunnel. Het is aan te bevelen hiervoor per geval een belevingsonderzoek uit te (laten) voeren.

Indien gekozen wordt voor een sober ontwerp behoeft de tunnel dus niet in alle gevallen over de gehele lengte betegeld te worden. De VRC geeft aan dat alleen de ingangszone (ca. 200-300 m) van een lichte kleur voorzien moet worden.

In het verleden werden de tunnelwanden geschilderd. Dit bracht echter veel onderhoud en, na verloop van tijd, vervanging met zich mee. Daarom werd gekozen voor een andere oplossing. Er zijn toen o.a. in de Drechtunnel kunststof platen toegepast. Deze platen moesten echter regelmatig worden vervangen omdat er schade aan was. Dat is de reden geweest om te kiezen voor tegelwerk.

Aan de lijmsoort moeten eisen worden gesteld. De wens is dat de lijm blijvend elastisch zou moeten zijn om, indien er scheuren in de betonwand komen, te voorkomen dat de tegels gaan scheuren. Dit is echter alleen te bereiken met zgn. pastalijmen. Deze voldoen echter niet aan de tweede eis dat de lijm een zekere trekkracht moet kunnen opnemen i.v.m. de zuigkracht van het verkeer. Daarom wordt uitgegaan van een cementgebonden tegellijm waaraan een middel wordt toegevoegd dat ervoor zorgt dat het tijdens het verwerken elastischer is. Bovendien zorgt dit middel ervoor dat er een betere hechting wordt verkregen (Ardion).

Proeven hebben uitgewezen dat deze elasticiteit (helaas) niet blijvend is.

Ook aan het voegmiddel moeten eisen worden gesteld. Het moet waterdicht zijn zodat geen water achter de tegels kan komen bij het wassen van de wanden. Het moet echter wel in staat zijn damp door te laten dat vanuit het achterliggende beton naar buiten wil.

Het detail in SATO heeft betrekking op een situatie waarbij hittewerende bekleding wordt toegepast en waarbij het tegelwerk over de gehele (resterende) hoogte van de wand wordt aangebracht. In het algemeen kan worden gesteld dat de hoogte van het tegelwerk afhankelijk is van een aantal aspecten, te weten:

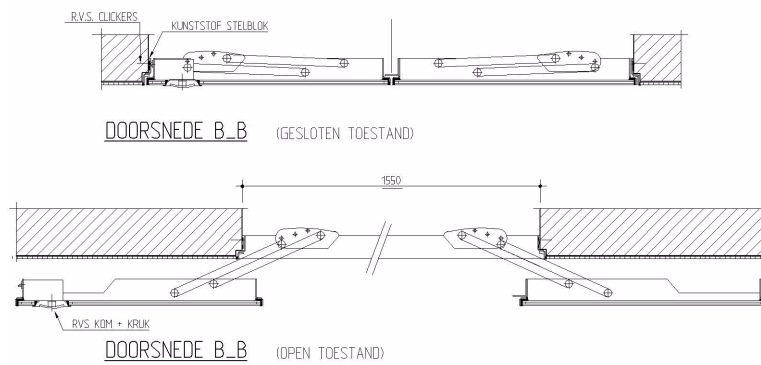
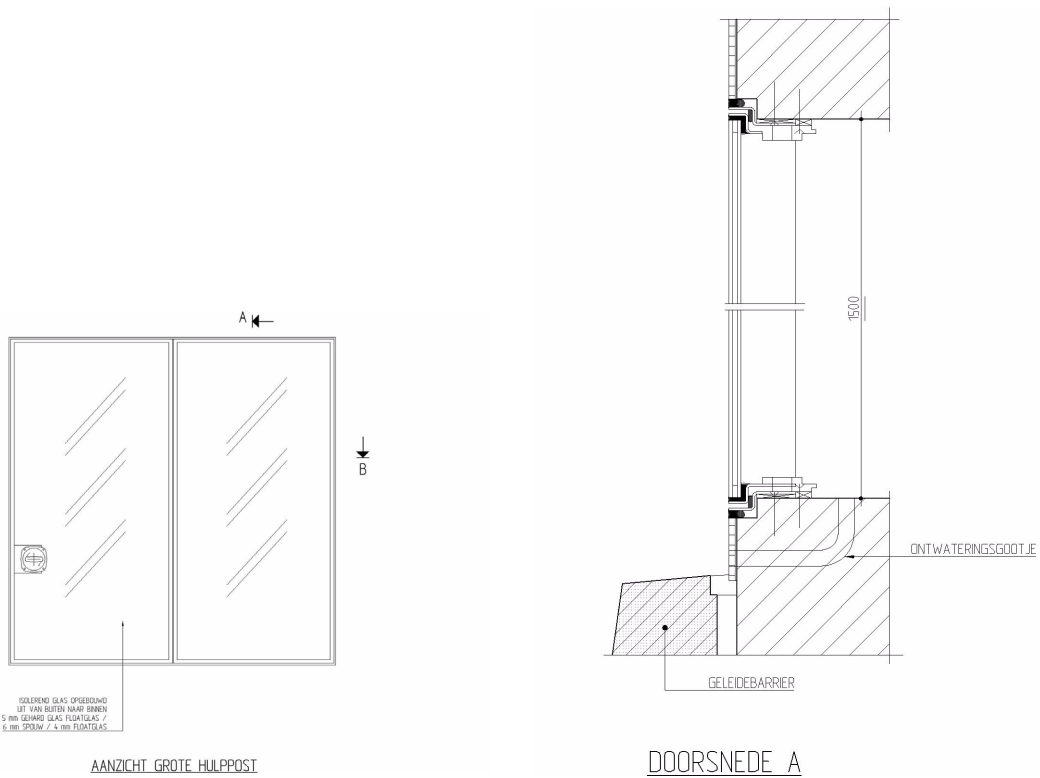
- Veiligheid (belevingsonderzoek),
- Kosten,
- Esthetische eisen (in overleg met architect).







### **5.5.3 Hulpposten**





### 5.5.3.1 Kozijn en deuren grote hulppost

**Functie:**

Toegang bieden tot brandblusmiddelen en communicatiemiddelen. Het beschermen ervan tegen weers- en milieu-invloeden.

**Toepassingen:**

In de middenwanden van verkeerstunnels in het gesloten gedeelte, de overgangsgedeelten en eventueel in de toeritten.

**Detailontwerp:**

Het kozijn bestaat uit een RVS profiel. De dubbele deuren zijn voorzien van isolerend gehard glas met een RVS kader. De scharnieren zijn aan de binnenzijde van de hulppost aangebracht waarbij de deuren openen zoals deuren bij autobussen opengaan. De sluiting bevindt zich aan de wandzijde van de eerst openende deur en bestaat uit een verzonken RVS draaiknop. De deur met de sluiting sluit in de rijrichting.

De hulppost wordt onderverdeeld in een deel ten behoeve van de weggebruiker en een technisch deel. Het deel met voorzieningen voor de weggebruikers is aangebracht achter de eerst openende deur. Het technische deel (voor de brandweer en ten behoeve van onderhoud) zit achter de laatst openende deur en wordt voor de weggebruiker afgeschermd door een afsluitbare scharnierende plaat.

In verband met lekkages van het brandblussysteem wordt de hulppost voorzien van een ontwateringsgootje.

De afmetingen van de hulppost zijn 1550 mm (b) x 1500 mm (h). Het gaat hier om de maten van de sparing in het beton. De diepte van de sparing van de hulppost is minimaal 470 mm.

Rondom de hulppost wordt een rood kader (RAL 3000) aangebracht. Dit kan in de vorm van tegels maar ook bijvoorbeeld in de vorm van een kunststofrand.

**Motivering:**

Bij het ontwerp van deze hulppost is ernaar gestreefd de hoeveelheid metalen delen aan de buitenzijde te minimaliseren. Er wordt bij deze hulppost dan ook wel gesproken over "volglas" deuren. De scharnieren van de deuren zitten bij dit type deur aan de binnenzijde. Het voordeel hiervan is dat ze niet vervuilen en niet kunnen worden beschadigd door de borstels van de wandenwaswagen.

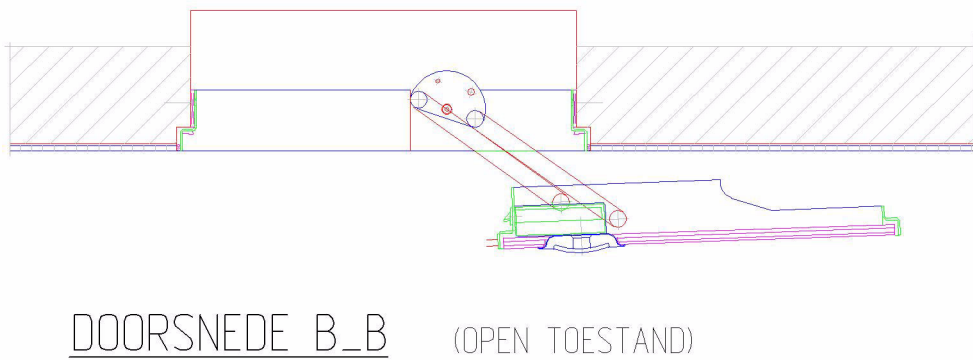
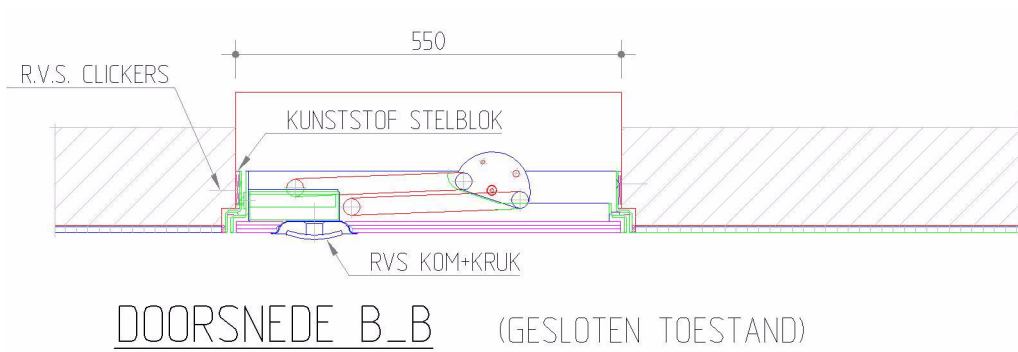
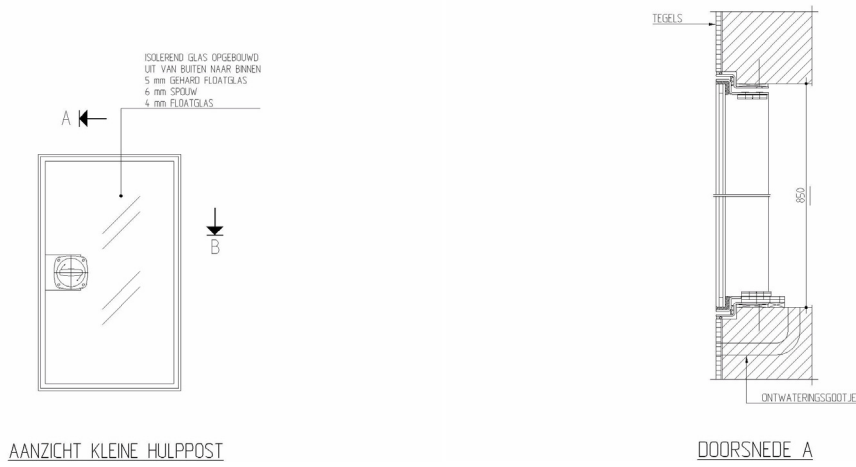
Isolerende uitvoering: geen condens aan binnenzijde beglazing in verband met de herkenbaarheid van brandblus- en communicatiemiddelen.

De hulpposten dienen zo dicht mogelijk bij de vluchtdeuren geplaatst te worden, zodat de brandweer bij een calamiteit, komende vanuit het middentunnelkanaal, snel bij de hulppost is.

De rode rand om de hulpposten wordt aangebracht vanwege de herkenbaarheid van de hulpposten (VRC). Hiervoor bij voorkeur geen verf toepassen. Verf is namelijk niet goed bestand tegen het geweld van de borstels van de wandenwaswagen.

**Conservering:**

RVS kwaliteit 316L.





### 5.5.3.2 Kozijn en deur kleine hulppost

**Functie:**

Toegang bieden tot brandblusmiddelen en communicatiemiddelen. Het beschermen ervan tegen weers- en milieu-invloeden.

**Toepassingen:**

In de buitenwanden van verkeerstunnels tegenover de grote hulpposten in het gesloten gedeelte, overgangsgedeeltes en eventueel in de toeritten.

**Detailontwerp:**

Het kozijn bestaat uit een RVS profiel. De deur is voorzien van isolerend gehard glas met een RVS kader. De scharnieren zijn aan de binnenzijde van de hulppost aangebracht waarbij de deuren openen zoals deuren bij autobussen opengaan. De sluiting bestaat uit een verzonken RVS draaiknop. De deur sluit in de rijrichting. In verband met lekkages van het brandblussysteem wordt de hulppost voorzien van een ontwateringsgaatje.

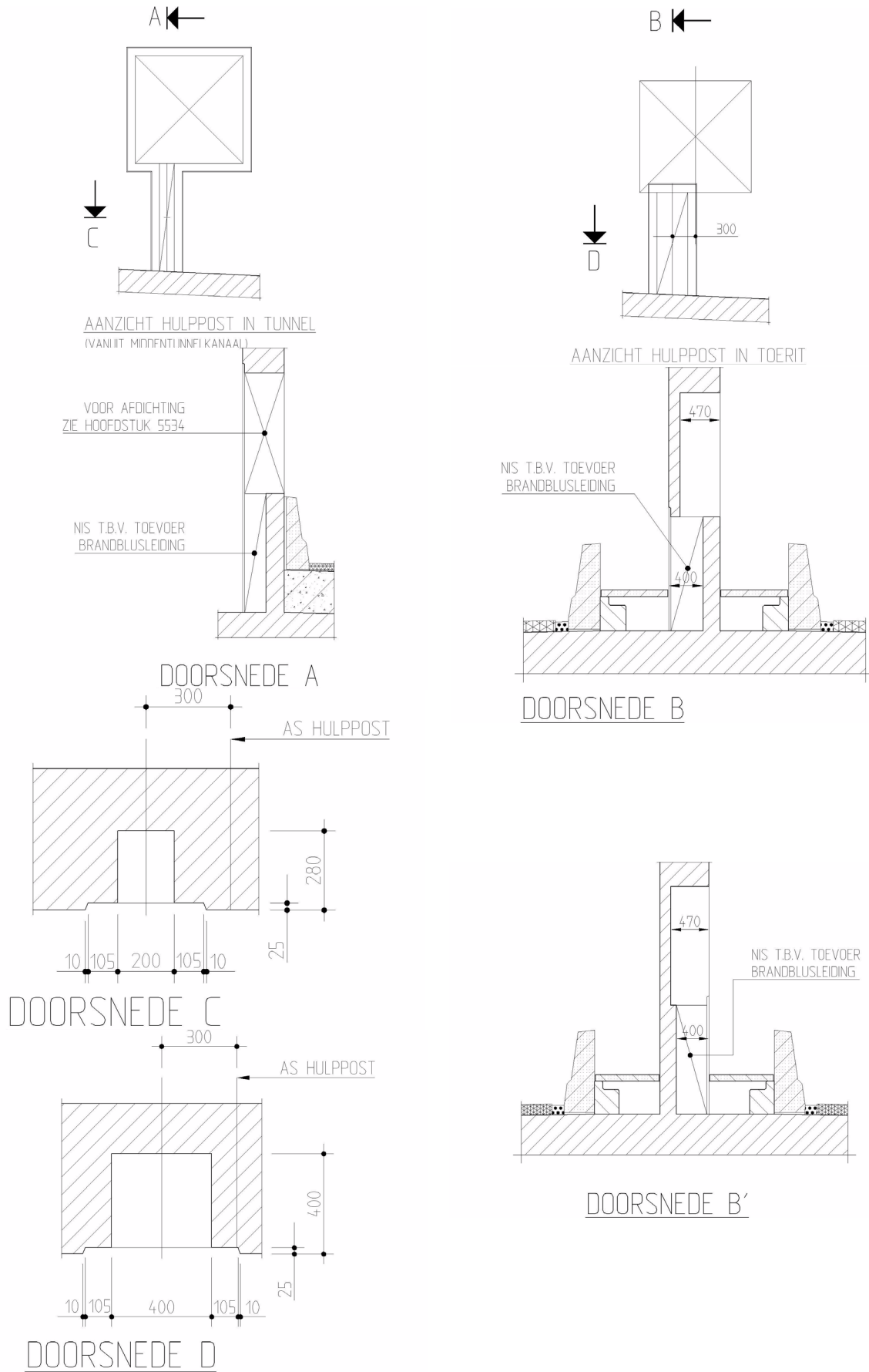
De afmetingen van de hulppost zijn 550 mm (b) x 850 mm (h). Het gaat hier om de maten van de sparing in het beton. De diepte van de sparing van de hulppost is minimaal 450 mm.

Rondom de hulppost wordt een rood kader (RAL 3000) aangebracht. Dit kan in de vorm van tegels maar ook bijvoorbeeld in de vorm van een kunststofrand.



Tunneldetails

Afbouw





### 5.5.3.3 Afdichting achterzijde grote hulppost en nis brandblusleiding

**Functie:**

Het brand- en/of hittevrij houden van het middentunnelkanaal bij brand in één der tunnelbuizen. Bescherming bieden van de brandblusleiding bij brand.

**Toepassingen:**

In de wanden van het middentunnelkanaal van verkeerstunnels achter de hulpposten en vóór de brandblusleiding in het gesloten gedeelte, overgangsgedeeltes en toeritten.

**Detailontwerp:**

Ter plaatse van het gesloten gedeelte worden de hulppost en de nis aan de middentunnelkanaalzijde afgedicht met Promatect-H platen. Ter plaatse van de toeritten wordt de sparing van de hulppost niet helemaal doorgezet. Er is dus aan de achterzijde geen afdichting nodig. De plaats van de nis onder de hulppost t.b.v. de brandblusleiding is afhankelijk van de plaats van de brandblusleiding in de kabelgoot (zie doorsneden B en B').

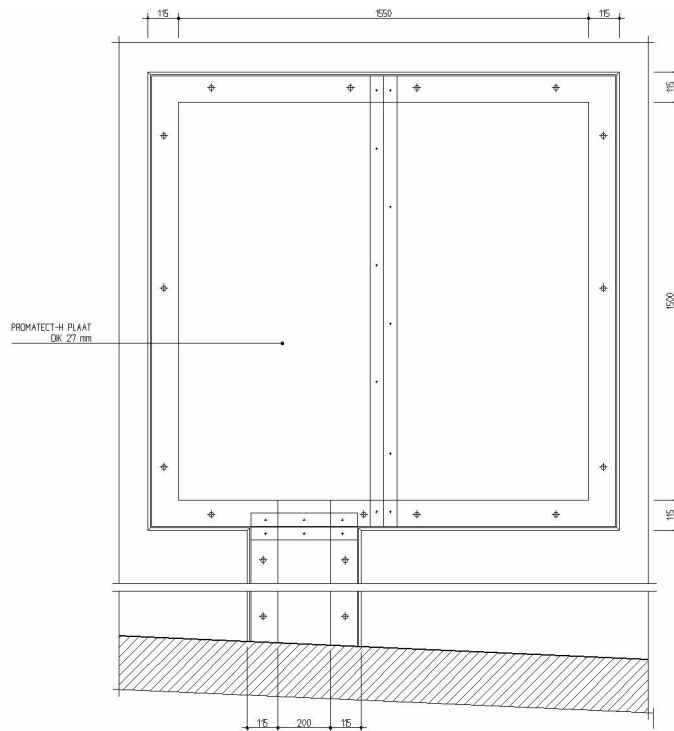
**Motivering:**

De nis ten behoeve van de brandblusleiding in de toeritten is wat groter dan die in het gesloten gedeelte, omdat de compensator die tussen de brandblusleiding en de haspel zit niet in de kabelgoot past en dus gedeeltelijk in de nis wordt geplaatst.

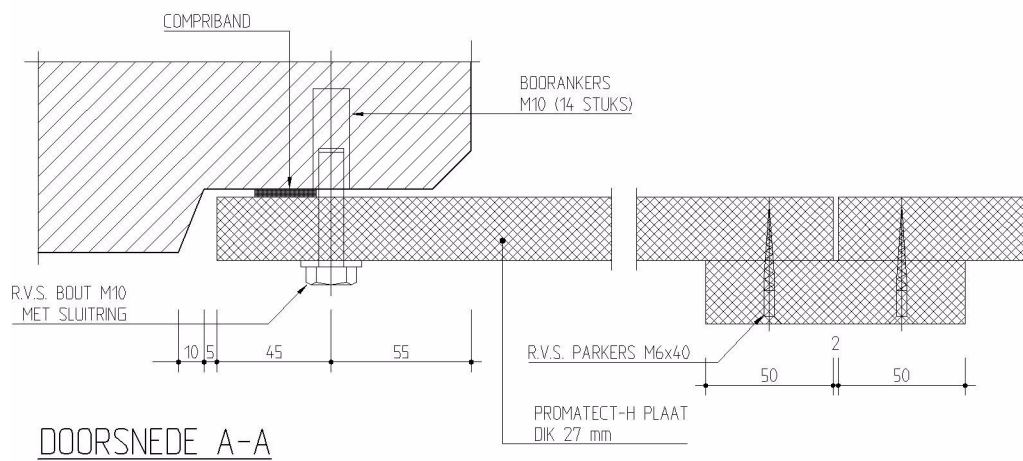
**Conservering:**

Niet van toepassing





AANZICHT ACHTERZIJDE HULPPDST



DOORSNEDE A-A



#### 5.5.3.4 Details achterzijde grote hulppost en nis brandblusleiding

**Functie:**

Het brand- en/of hittevrij houden van het middentunnelkanaal bij brand in één der tunnelbuizen.

Het beschermen van de brandblusleiding bij brand.

**Toepassingen:**

In de wanden van het middentunnelkanaal van verkeerstunnels achter de hulpposten en vóór de brandblusleiding in het gesloten gedeelte, overgangsgedeelten en toeritten.

**Detailontwerp:**

Een paneel van twee Promatect-H platen wordt in een in de beton gecreëerde sponning gemonteerd met boorankers M10. Een strook compriband zorgt voor een goede afdichting. In het midden wordt de naad tussen de twee Promatect-H platen afgedekt met een Promatect-H strook, breed 10 centimeter en bevestigd met parkers M6. De nis van de brandblusleiding wordt eveneens afgedicht met een Promatect-H plaat. De naad tussen afdichting hulppost en nis wordt afgedekt met een Promatect-H strook, breed 10 centimeter en bevestigd met parkers M6.

**Motivering:**

De afdichting, verzorgd door het compriband, is nodig voor het opbouwen van een overdruk in het middentunnelkanaal. Promatect-H voldoet aan de eisen met betrekking tot hittewering.

**Conservering:**

Bevestigingsmiddelen dienen uitgevoerd te worden in RVS kwaliteit A4





### 5.5.3.5 Achtergronden hulpposten

In de VRC (hoofdstuk 17) worden eisen gesteld m.b.t. locaties, toepassing en uitrusting van hulpposten. Hierin wordt ondermeer aangegeven in welke situatie welk type hulppost moet worden toegepast en wordt tevens de h.o.h. afstand aangegeven.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de grote hulppost (type A) en de kleinere types (B-F).

Voor de grote hulppost geldt dat het deel van de hulppost dat bestemd is voor gebruik door de weggebruiker moet worden afgeschermd met een doorzichtige deur om de weggebruiker te laten zien wat er achter de deur te vinden is. Het deel dat bestemd is voor (professionele) hulpverleners moet worden afgescheiden met een ondoorzichtige deur.

De grote hulpposten moeten zo dicht mogelijk bij de vluchtdeuren worden aangebracht. Op deze manier is de weg voor de hulpverleners, die via het middenkanaal de calamiteitenbuis bereiken, van de vluchtdeur naar de hulppost zo kort mogelijk.

De reden dat gekozen is voor dit type en materiaal hulppost heeft te maken met een aantal problemen met hulpposten die bij diverse tunnels zijn opgetreden.

Bij een groot aantal tunnels is namelijk corrosievorming op de aluminium kozijnen en deuren opgetreden.

Er zijn in de afgelopen jaren diverse onderzoeken gedaan naar deze corrosievorming, o.a. bij de Botlektunnel, Wijkertunnel, IJtunnel. Vrijwel in alle tunnels kun je corrosie constateren op de hulpposten. De oorzaken zijn velerlei, te weten:

- zeer agressief klimaat ;
- hogere zoutbelasting (tunnels aan de kust) en door strooizouten;
- wijze van reinigen;
- detaillering en conservering kozijnen;
- mechanische beschadigingen.

Er zijn door diverse instanties al onderzoeken gedaan, vaak om juridisch sterk te staan voor het verhalen van de schade, maar eenvoudig is het niet omdat diverse factoren elkaar versterken en de oorzaak dus niet eenduidig is; zo is bijv. het schoonmaakmiddel (Jonclean 112) een mogelijke oorzaak omdat , indien het achterblijft op het aluminium, het indamppt en daardoor agressief wordt voor aluminium.

Het schoonmaken geschiedt mechanisch d.m.v. de wandenwaswagen en hoewel al eerder is aangegeven dat schoonmaken van deze deuren en ramen anders zou moeten, blijft het telkens weer een verwaarloosd onderdeel, waarschijnlijk vanwege de kosten.

Bij de Wijkertunnel is door TNO een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van corrosie die is opgetreden op onderdorpels van de hulppostkasten. Hieruit bleek dat de oorzaak voornamelijk moet worden gezocht in de detaillering en conservering van de hulpposten. (TNO-rapport BU4.99/030600-1/RK)

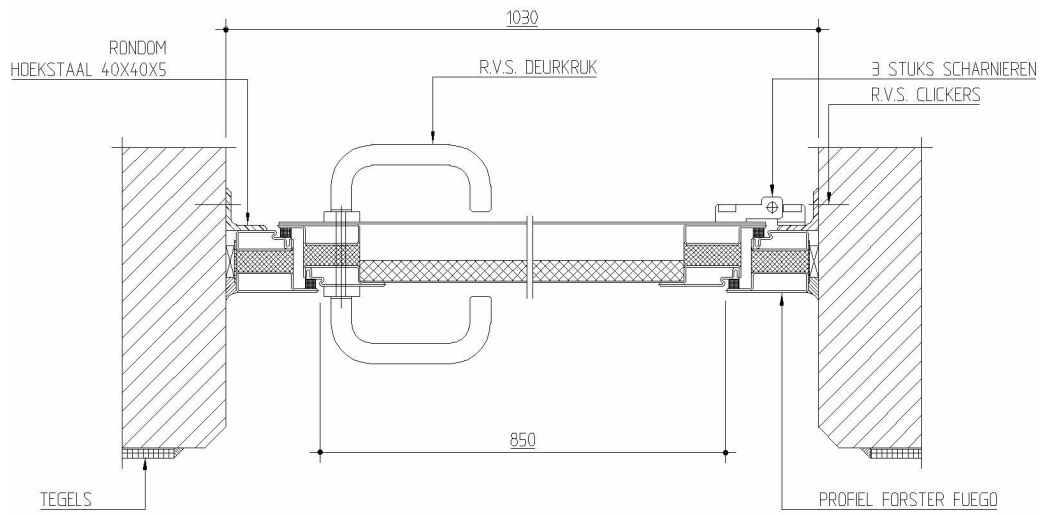
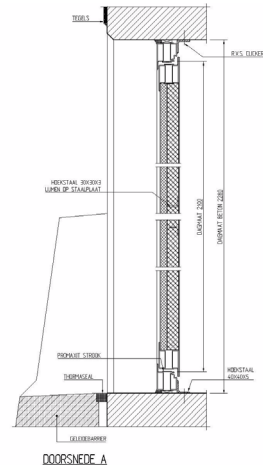
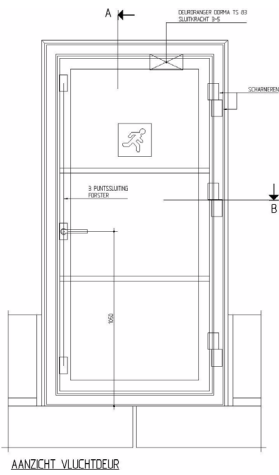
Gevoelig onderdeel is de detaillering en uitvoering van het hang- en sluitwerk; door de aannemer wordt altijd gezocht naar de goedkoopste onderaannemer en dan is bewaking van de kwaliteit van het geleverde uitermate belangrijk.



Er is gezocht naar een materiaal en detaillering die minder gevoelig zijn voor de elementen. De hier aangegeven oplossing voldoet daar zoveel mogelijk aan. De grote hulppost is enige tijd geleden bij wijze van proef vervaardigd en geplaatst in de Drechttunnel. De deuren bestaan zoveel mogelijk uit glas; de kaders en de kozijnen zijn vervaardigd uit RVS 316(L) en zijn zo klein mogelijk van oppervlak gehouden; de deuren zijn voorzien van inwendige scharnieren. De hulppost is destijds (2000) door Peter van den Heuvel op bouwkundige aspecten en door de regionale brandweer op de openingsmethodiek getest en positief beoordeeld. De hulppost die bij de Drechttunnel is toegepast is nog op een aantal punten verbeterd zodat hij voldoet aan de eisen van de VRC. Daarnaast zijn de afmetingen van de hulppost nog enigszins aangepast omdat de brandslang bij het uitrollen van de haspel onder bepaalde situaties tegen het scharnier aanliep. De hulppost is 0,10 meter breder gemaakt en is nu 1,60 meter breed en 1,50 meter hoog.



## **5.5.4 Vluchtdeuren**



DOORSNEDE B



### 5.5.4.1 Kozijn en deur vluchtdeur (draaideur)

**Functie:**

Waarborgen vluchtroute en bescherming van kabels en leidingen van de tunnelinstallatie.

**Toepassingen:**

In overgangsgedeelten toegang bieden tot hoofdwaterkelder. In toeritten toegang bieden van vluchtpad naar middentunnelkanaal.

**Detailontwerp:**

Een zelfsluitende brandwerende draaideur (type BDD/4k/100), welke bij een Hydrocarboncurve aan de volgende eisen voldoet:

- 120 minuten vlamdicht
- 30 minuten thermisch isolerend (Dt gem. £140°C, Dt max. £180°C t.p.v. oppervlak binnenzijde vluchtdeur).

Het kozijn en de deuropranding zijn opgebouwd uit speciale stalen warmteïsoleerende profielen. Het deurpaneel is gebouwd uit twee staalplaten, waartussen brandvertragende materialen (Promatect-H en Rockwool Conlite P) zitten. Voor detaillering hangwerk, zie hoofdstuk 5.5.4.3.

Alle aan de tunnelzijde zichtbare delen van de deur poedercoaten in de kleur groen (RAL 6024). De andere kant van de deur poedercoaten in de kleur grijs (RAL 7035).

**Motivering:**

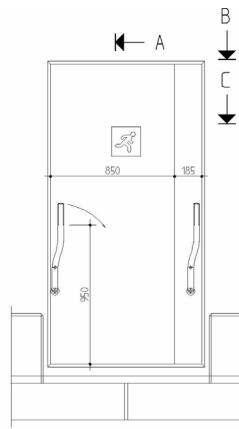
De hier omschreven vluchtdeur wordt in de vluchtroute alleen toegepast als er geen ruimte is voor een schuifdeur. In het algemeen is dat alleen aan de uiteinden van het middentunnelkanaal bij de overgang naar het vluchtpad van de open toeritten en bij boortunnels met tussenverbindingen.

**Conservering:**

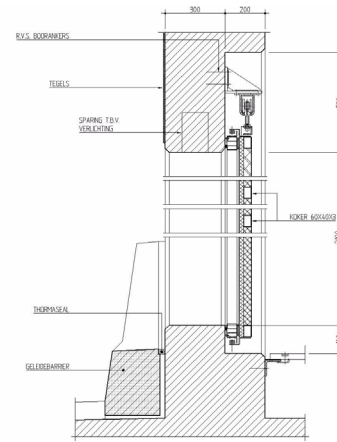
Stalen onderdelen thermisch verzinken, laagdikte 80 mu; staal plaatwerk in sendzimir verzinkte uitvoering.

Alle stalen onderdelen van de deur alzijdig voorzien van een tweelaags poedercoatsysteem met een gemiddelde laagdikte van 120 mu.

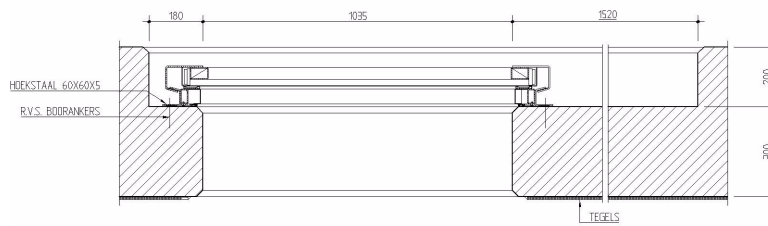




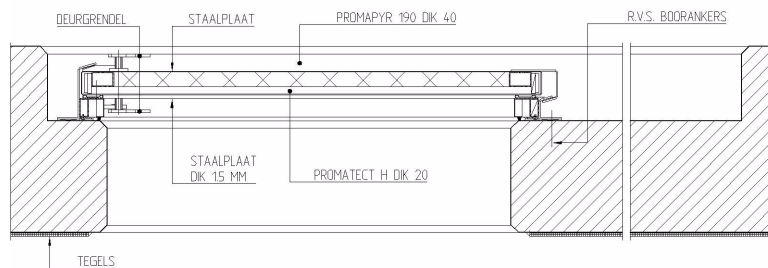
AANZICHT VLUCHTDEUR



DOORSNEDE A



DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



### 5.5.4.2 Kozijn en deur vluchtdeur (schuifdeur)

**Functie:**

Waarborgen vluchtroute en bescherming van kabels en leidingen van de tunnelinstallatie.

**Toepassingen:**

In de wanden van het middentunnelkanaal in het gesloten gedeelte en overgangsgedeeltes van verkeerstunnels.

**Detailontwerp:**

Een zelfsluitende brandwerende draaideur (type BSD/4k/705), welke bij een Hydrocarboncurve aan de volgende eisen voldoet:

- 120 minuten vlamdicht
- 30 minuten thermisch isolerend (Dt gem.  $\leq 140^{\circ}\text{C}$ , Dt max.  $\leq 180^{\circ}\text{C}$  t.p.v. oppervlak binnenzijde vluchtdeur).

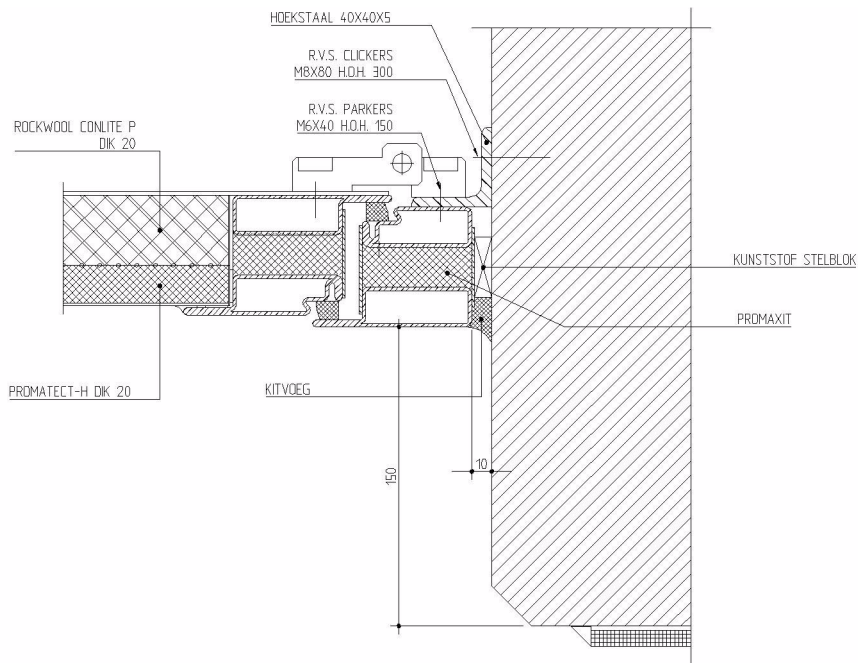
**Motivering:**

De hier omschreven vluchtdeur wordt in de vluchtroute, daar waar voldoende ruimte beschikbaar is, toegepast.

**Conservering:**

Stalen onderdelen thermisch verzinken, laagdikte 80  $\mu\text{m}$ ; staal plaatwerk in sendzimir verzinkte uitvoering.

Alle stalen onderdelen van de deur alzijdig voorzien van een tweelaags poedercoatsysteem met een gemiddelde laagdikte van 120  $\mu\text{m}$ .



MONTAGE KOZIJN VLUCHTDEUR  
(T.P.V. WAND)



### 5.5.4.3 Montage kozijn vluchtdeur (draaideur)

**Functie:**

Het bevestigen van het kozijn van de draaideur.

**Toepassingen:**

In overgangsgedeelten toegang tot hoofdwaterkelder en in toeritten van vluchtpad naar middentunnelkanaal.

**Detailontwerp:**

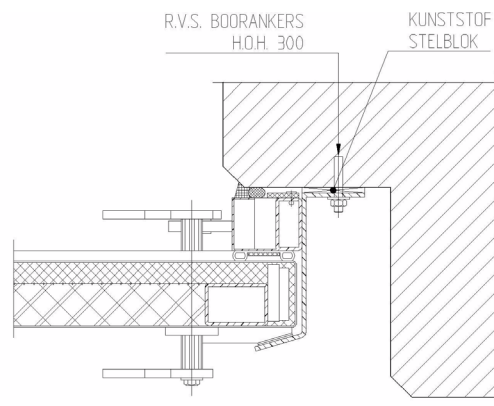
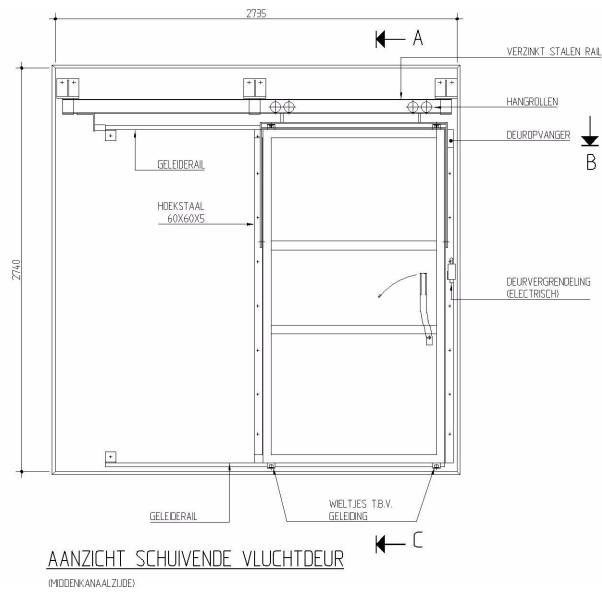
In de sparing wordt rondom een hoekstaal 40.40.5 bevestigd met clickers M8, waartegen het kozijn wordt gemonteerd met parkers M6. Tegen de zijkant van het kozijn wordt een strook promaxit aangebracht. De ruimte tussen kozijn en beton wordt zowel aan de boven- als aan de onderzijde opgevuld met kunststof stelblokken. Afdichting vindt plaats door middel van een kitvoeg.

**Motivering:**

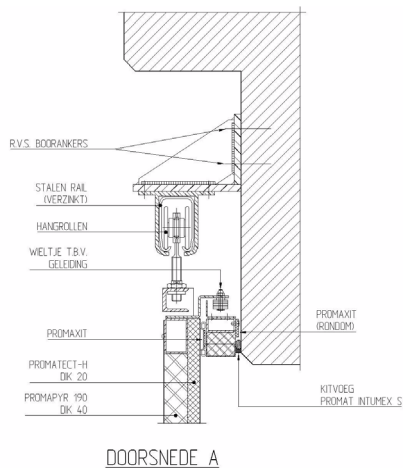
De strook promaxit zorgt er voor dat de naad tussen kozijn en beton, die bij brand ontstaat, wordt afgedicht.

**Conservering:**

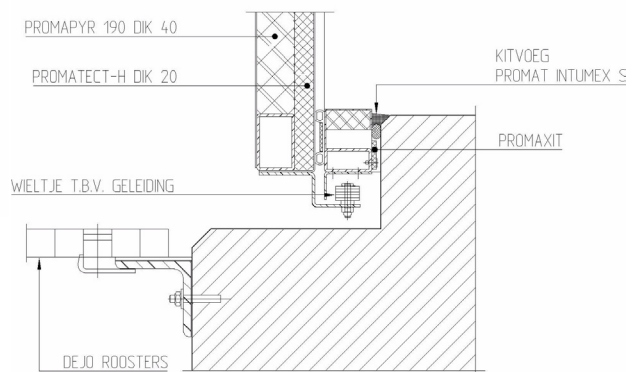
Bevestigingsmiddelen (clickers en parkers) dienen uitgevoerd te worden in RVS kwaliteit A4.



DOORSNEDE B



DOORSNEDE A



DOORSNEDE C



#### 5.5.4.4 Montage kozijn vluchtdeur (schuifdeur)

**Functie:**

Het bevestigen van het kozijn van de schuifdeur.

**Toepassingen:**

In de wanden van het middentunnelkanaal van verkeerstunnels in het gesloten gedeelte en overgangsgedeelten.

**Detailontwerp:**

Op de sparing in middentunnelkanaal wordt aan de linker- en rechterzijde een hoekstaal 60.60.5 inclusief kunststof stelblokken bevestigd met clickers M8, waartegen het kozijn wordt gemonteerd met parkers M6. Tegen de zijkant van het kozijn wordt een strook promaxit aangebracht. Afdichting vindt plaats door middel van een kitvoeg. De deur wordt met behulp van hangrollen afgehangen tegen de betonwand aan een boven het kozijn bevestigde stalen draagrail en stalen draagconstructie met eindopvang. Verder is de deur boven en onder voorzien van gelagerde geleidingrollen. De deur en het kozijn zijn voorzien van stuurknoppen en vangbeugels met kunststof glijplaten.

**Motivering:**

De strook promaxit zorgt er voor dat de naden tussen kozijn en beton en kozijn en deur, die bij brand ontstaan, worden afgedicht.

**Conservering:**

Bevestigingsmiddelen (clickers en parkers) dienen uitgevoerd te worden in RVS kwaliteit A4.





#### 5.5.4.5 Achtergronden vluchtdeuren

In de VRC (hoofdstuk 11) worden eisen gesteld aan vluchtwegen en in mindere mate aan vluchtdeuren. Er wordt ingegaan op de h.o.h. afstanden van de deuren en op de minimale afmetingen.

De reden dat in tunnels schuifdeuren worden toegepast en geen draaideuren heeft te maken met de gevraagde overdruk in het middentunnelkanaal. Bij openstand van 3 vluchtdeuren naar het middentunnelkanaal dient bij een bepaalde winddruk nog voldoende luchtstroom aanwezig te zijn om te voorkomen dat rook in het middentunnelkanaal komt. Toepassing van deze overdruk in combinatie met draaideuren bleek niet mogelijk omdat de optredende krachten bij het sluiten van de draaideur van dien aard waren dat deze niet meer beheersbaar sloot en zelfs gevaar voor personen zou kunnen opleveren. Ook het openen van de draaideuren vergde te veel kracht. Bij toepassing van een schuifdeur spelen deze krachten geen rol van betekenis.

Bij boortunnels met verbindingsbuizen moet extra aandacht besteed worden aan de overdruk.

Er moet eventueel een overdrukklep worden toegepast of de overdruk moet pas worden ingesteld als één deur is geopend.

De schuifdeur zoals deze nu in SATO is opgenomen en vaak is toegepast in tunnels is ontwikkeld door een bedrijf (fa. Keers) in nauw overleg met de Bouwdienst. In diverse bestekken wordt de deur dan ook voorgeschreven. De deuren van Keers voldoen aan de door de Bouwdienst gestelde eisen. Hoewel de deuren in het verleden volgens de Mobilcurve (max. 1100 graden) zijn getest en niet volgens de RWS brandkromme (max. 1300 graden), is door de Bouwdienst geconcludeerd dat op basis van de toegepaste materialen deze deuren voldoen aan de eisen gesteld in de VRC.

De maatvoering van de sponningen van de deur is n.a.v. problemen bij de Calandtunnel aangepast.

Het let de aannemers echter niet om te zoeken naar alternatieven, zoals recentelijk is gebeurd bij project Sijtwende, waar door een andere deurenfabrikant een deur is ontwikkeld en getest bij TNO. De resultaten waren tweeledig, enerzijds kwam de deur glansrijk uit de test t.a.v. de brandwerendheid, anderzijds voldeed de deur niet t.a.v. gebruiksvriendelijkheid: de kracht om de deur te openen was veel te groot. Dit laatste punt moest dus worden verbeterd.

De dagmaten voor vluchtdeuren dienen volgens het Bouwbesluit 850 x 2100 mm te zijn. Een tunnel valt echter onder "Bouwwerk geen gebouw zijnde" en hoeft dus niet aan deze eis te voldoen. Omdat het echter wel zeer gewenst is deze afmetingen voor de vluchtdeuren aan te houden zijn ze wel als zodanig opgenomen in SATO. Hiermee wordt afgeweken van de VRC waarin minimale afmetingen zijn genoemd van 850 x 2000 mm.

Voor wat betreft de maatvoering geldt dat per situatie moet worden bekeken of het opstapje van 120 mm er uit kan worden gehaald. Dit levert hoogtewinst op in het middentunnelkanaal. Dit kan overigens alleen indien beide tegenover elkaar liggende vluchtdeuren zich op gelijke hoogte bevinden.

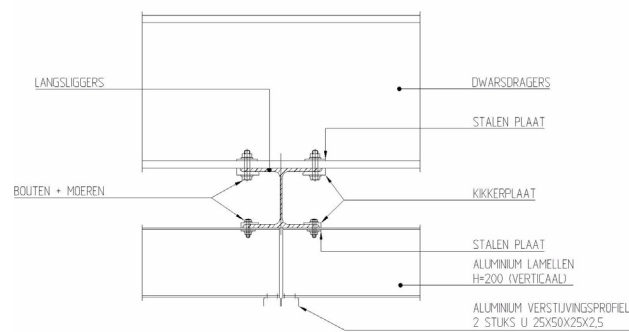
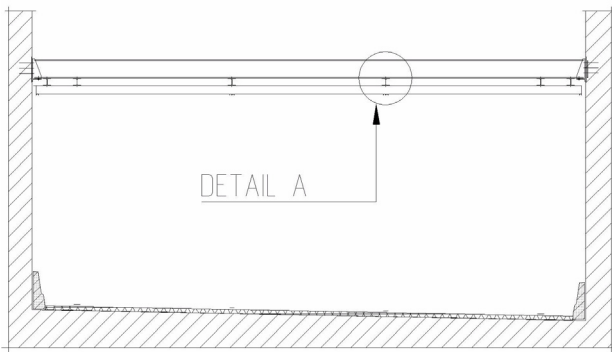
De deur moet terugvallen t.o.v. de wand (gezien vanuit de tunnelbuis). De reden hiervoor is dat de ontgrendeling van de deur hoog zit t.o.v. het asfalt. Via de barriër wordt op deze manier een opstapje gecreëerd om de deur te openen.



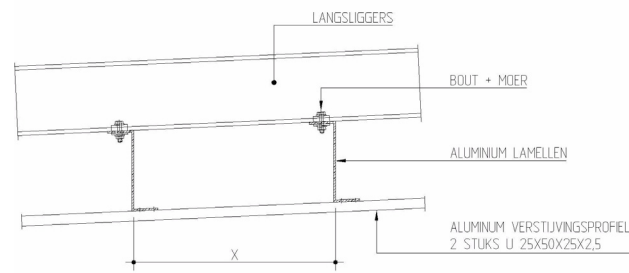




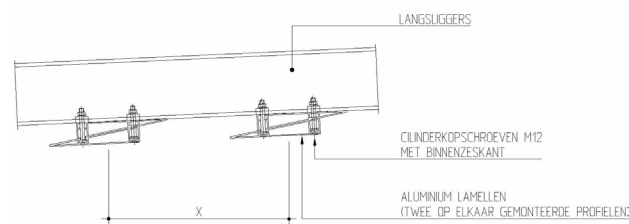
## **5.5.5      Daglichtrooster**



DETAIL A



ZIJAANZICHT (NOORD-ZUID)



ZIJAANZICHT (WEST-OOST)



### 5.5.5.1 Lamellen, liggers en dragers

**Functie:**

Het creëren van een geleidelijke overgang van daglicht naar kunstlicht bij het inrijden van verkeerstunnels.

**Toepassingen:**

Ter plaatse van de inritten van verkeerstunnels, daar waar een afweging tussen ingangsverlichting en een daglichtrooster in het voordeel van een daglichtrooster is uitgevallen.

**Detailontwerp:**

De stalen dwarsdragers worden middels een ophangconstructie aan de wanden bevestigd en de stalen langsliggers worden aan de dwarsdragers bevestigd met bouten en moeren M16. De vorm van de lamellen is zeer afhankelijk van de kompasrichting waarin de tunnel ligt. De vorm wordt met behulp van een computerprogramma bepaald. De lamellen worden aan de langsliggers bevestigd met cilinderkopschroeven M12 (horizontale lamellen) of bouten en moeren M10 (verticale lamellen). In principe worden, bij een ligging van de tunnel in noord-zuid richting, verticale lamellen toegepast en bij west-oost richting horizontale lamellen. Alleen bij verticale lamellen worden voor de stevigheid aluminium koppelprofiel U 25.50.25.2,5 aangebracht. In dwarsdragers, langsliggers en lamellen dienen voldoende ontwateringsgaatjes aangebracht te worden. De afmetingen van liggers en dragers zijn afhankelijk van overspanningen, etc. Genoemde oplossing is een principe-oplossing waarvan afgeweken kan worden.

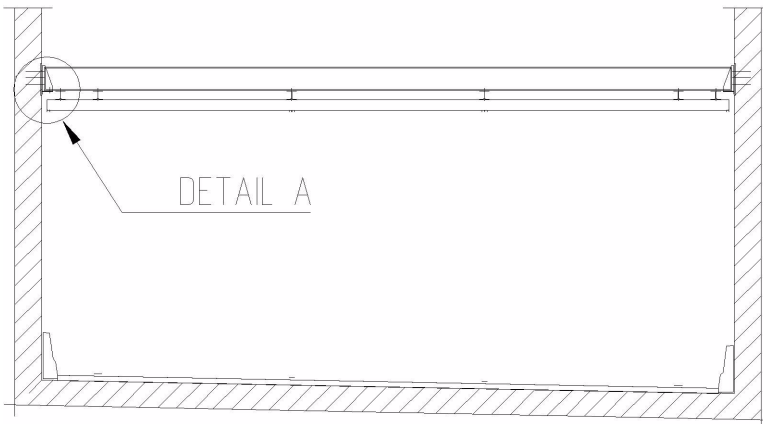
**Motivering:**

Op deze manier wordt afhankelijk van de ligging van de tunnel een geleidelijker overgang gemaakt van dag naar kunstlicht.

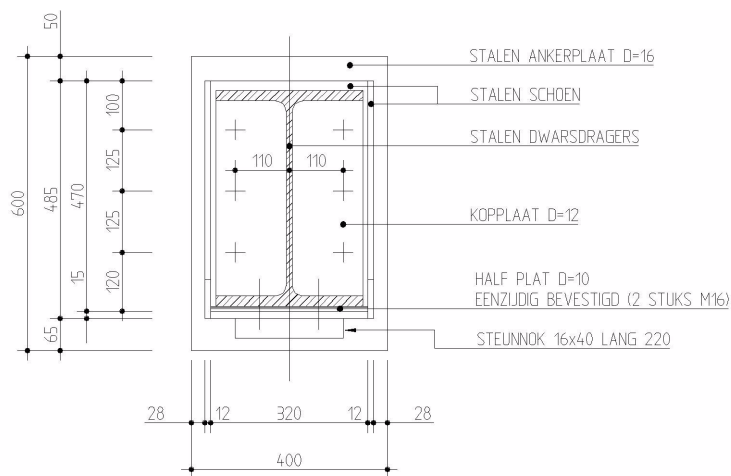
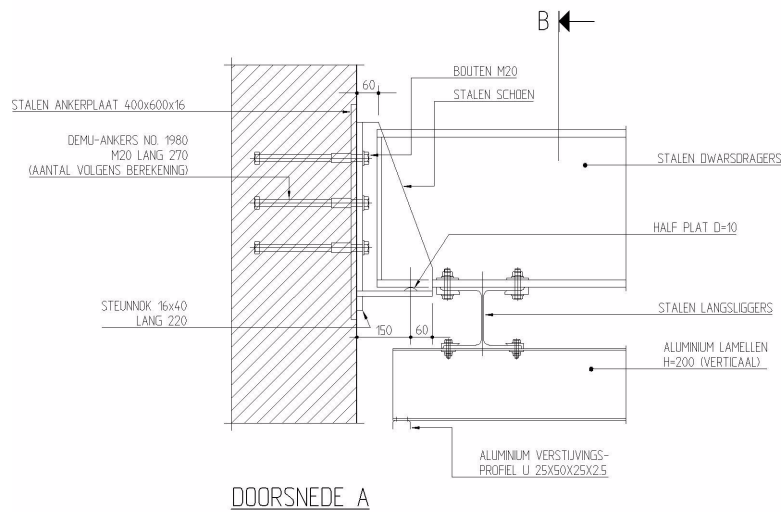
De lengte van het daglichtrooster moet per situatie worden bepaald.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen dienen thermisch verzinkt te worden en de dwarsdragers en langsliggers moeten voorzien van 2 lagen epoxytar (teervrij). De aluminium delen dienen te worden ontvet en geanodiseerd en te worden voorzien van gemoffelde acrylaatlak (kleur zwart).



DWARSDOORSNEDE OVER INRIT





### 5.5.5.2 Oplegging dragers

**Functie:**

Het bevestigen van het daglichtrooster.

**Toepassingen:**

Ter plaatse van de inritten van verkeerstunnels, daar waar een afweging tussen ingangsverlichting en een daglichtrooster in het voordeel van een daglichtrooster is uitgevallen.

**Detailontwerp:**

In de wand zijn stalen ankerplaten afmetingen 400.600.16 ingestort met Demu-ankers no. 1980. Het benodigde aantal ankers volgt uit berekening. De stalen schoenen worden aan deze platen gemonteerd door middel van bouten M20. De steunnok 16.40, lang 220 zorgt voor het vergemakkelijken van plaatsing en bevestiging van stalen schoen op ankerplaat. De stalen dwarsdragers rusten op half plat in de stalen schoen, ze worden aan een stalen schoen (dus eenzijdig) bevestigd met bouten en moeren M16.

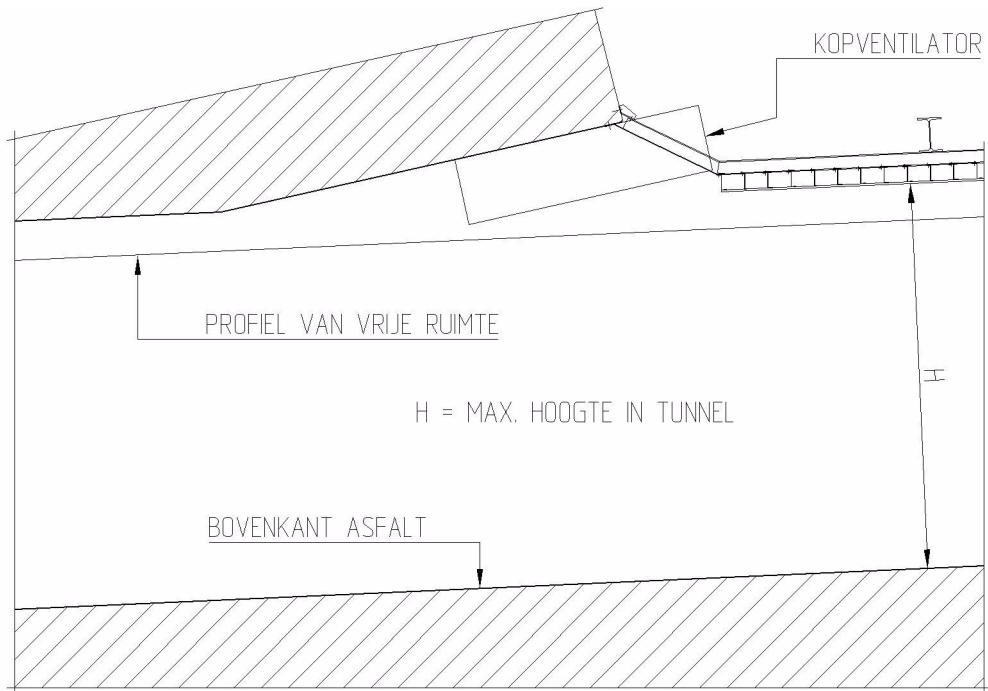
Genoemde oplossing is een principe-oplossing waarvan afgeweken kan worden.

**Motivering:**

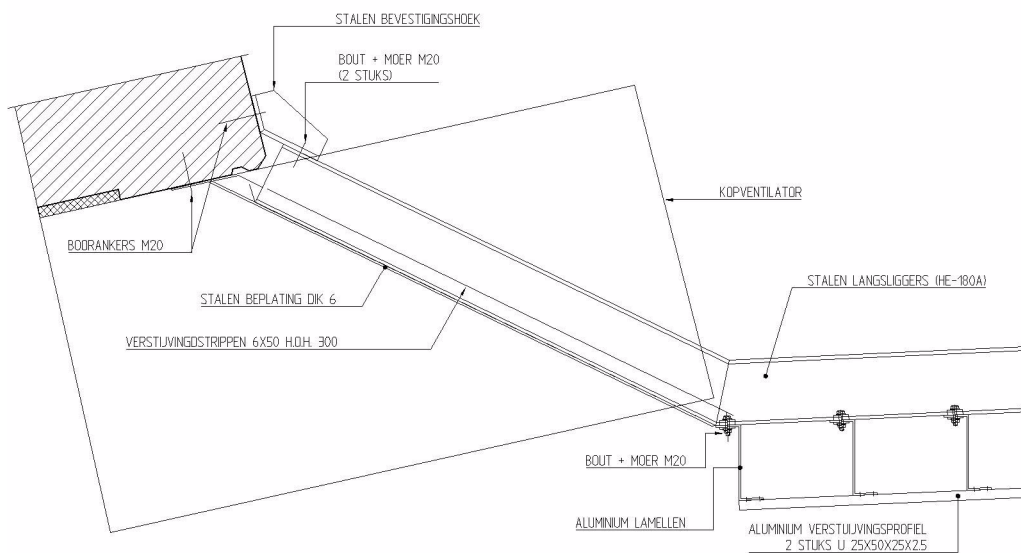
Op deze manier kan het daglichtrooster snel en doelmatig gemonteerd worden. De afmetingen van de stalen schoen is afhankelijk van het gekozen type dwarsdrager. Deze is afhankelijk van de overspanning.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen dienen thermisch verzinkt te worden en de dwarsdragers en langsliggers dienen te worden voorzien van primerlaag zinkepoxy 60 mu.



OVERGANG NAAR OVERGANGSGEDEELTE



DETAIL A



### 5.5.5.3 Overgang naar overgangsgedeelte

**Functie:**

Het aansluiten van het daglichtrooster op het overgangsgedeelte.

**Toepassingen:**

Ter plaatse van de overgang van de open inrit naar het overgangsgedeelte.

**Detailontwerp:**

De stalen bevestigingshoeken worden ter plaatse van de stalen langsliggers aan de wand van het gesloten gedeelte gemonteerd met boorankers M20. De stalen langsliggers worden hieraan opgehangen en bevestigd met bouten en moeren M20. De onderkant van de stalen langsliggers wordt afgedekt met een stalen beplating, die ter plaatse van het overgangsgedeelte wordt gemonteerd met boorankers M20 en aan de andere zijde met bouten en moeren M20. Om doorbuiging van deze afdekplaat te voorkomen, worden deze voorzien van verstijvingstrippen 6.50 mm, h.o.h. 300 mm. Voor indeling kopventilatoren, zie deel tunneltechnische installaties. Genoemde oplossing is een principe-oplossing waarvan afgeweken kan worden.

**Motivering:**

De afdekplaat zorgt ervoor dat er geen lichtinval is.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen dienen thermisch verzinkt te worden en de dwarsdragers en langsliggers dienen te worden voorzien van zinkepoxy (kleur zwart).







#### 5.5.5.4 Achtergronden daglichtrooster

De in SATO aangegeven details zijn principeoplossingen voor het ontwerp van daglichtroosters. Een andere detaillering is uiteraard mogelijk.

De lengte van het daglichtrooster moet per situatie worden bepaald. De in Nederland toegepaste lichtroosters zijn allemaal ongeveer 100 meter lang.

*Onderstaande achtergronden zijn gebaseerd op de "Aanbeveling verlichting van tunnels en onderdoorgangen" (Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde).*

Een daglichtrooster is een constructieve voorziening die slechts een deel van het daglicht doorlaat. Een daglichtrooster vervangt (een deel van) de drempelzoneverlichting.

De functie van een daglichtrooster is tweeledig:

- **Lichtovergang:** het lichtniveau in de drempelzone wordt via natuurlijke weg verminderd. Een lichtrooster dient derhalve als inleiding van de overgangsverlichting en moet een gelijkmatige overgang bewerkstelligen tussen de hoge lichtniveaus overdag buiten de tunnel en de lage lichtniveaus binnen de tunnel. Dat wil zeggen: bij het binnenrijden van de tunnel neemt tijdens de passage van het lichtrooster de hoeveelheid licht geleidelijk af van het lichtniveau buiten de tunnel tot aan het niveau van de eerste overgangszone in de tunnel.
- **Hemelafscherming:** bedoeld om de hemel binnen het blikveld van de weggebruiker af te schermen, waardoor de verstorende werking daarvan voor de weggebruiker wordt verminderd. Aldus wordt bijgedragen aan het verminderen van de sluierluminantie.

Een goed geconstrueerd lichtrooster bewerkstelligt een regelmatige overgang tussen buiten en binnen (licht en donker) zonder sprongen en zonder dat een secundair zwarte gat effect ontstaat bij de overgang tussen roosterconstructie en gesloten tunneldeel.

De lengte van het rooster wordt bepaald door de adaptatiesnelheid van het menselijk oog. Er vanuit gaande dat de adaptatiesnelheid vrij constant is, wordt de lengte van het lichtrooster in hoofdzaak bepaald door de ontwerpsnelheid en het verschil tussen het lichtniveau buiten en binnen.

Een medebepalende factor voor de lengte is de beschikbare ruimte. Indien voor het plaatsen van het rooster onvoldoende lengte beschikbaar is moet dit gecompenseerd worden door een hoger verlichtingsniveau in de eerste overgangszones van de overdekte tunnel.

Tenslotte hebben ook omgevingsfactoren, die de mate van afscherming van de hemel binnen het blikveld van de waarnemer bepalen, invloed op de benodigde lengte.

Lichtroosters bij tunneluitgangen zijn bij de meeste tunnels overbodig. Aangezien het menselijk oog veel sneller adapteert aan een overgang van donker naar licht dan andersom, hebben de meeste weggebruikers geen hinder van de plotselinge lichtovergang bij de uitgang. Bovendien vertonen voertuigen en voorwerpen een scherp contrast tegen de lichte achtergrond van de tunneluitgang.

Bij de keuze voor het al dan niet toepassen van een daglichtrooster moet de volgende afweging worden gemaakt.



Een lichtrooster maakt een hoog, aan het buitenlicht aangepast verlichtingsniveau in de tunnelingang overbodig en is diensgevolge energiebesparend. Lichtroosters vragen echter om een hoge investering voor bouwkundige kosten (veroorzaakt door zowel het lichtrooster als de ondersteunende constructies). De installatiekosten voor tunnelingangsverlichting zijn lager.

Afgezien van factoren zoals het ruimtebeslag moet het besluit om al dan niet een lichtrooster toe te passen worden afgewogen aan de hand van een vergelijking van de kosten van de aanleg, onderhoud en energie van een drempel- en overgangsverlichting met de kosten van de kosten van aanleg en onderhoud van een lichtrooster, beide gerekend over een periode gelijk aan de levensduur van een lichtrooster (ongeveer 30-50 jaar).

Bij de huidige prijsniveaus voor installatie, energie en onderhoud blijken de kosten, gerekend over de hele levensduur, voor daglichtroosters in combinatie met een beperkte ingangsverlichting hoger dan de kosten voor alleen ingangsverlichting.

#### *Ontwerputgangspunten*

Er worden twee typen daglichtroosters onderscheiden, te weten:

- Daglichtroosters zonder doorlating van direct daglicht
- Daglichtroosters met doorlating van direct daglicht

Daglichtroosters zonder doorlating van direct zonlicht zijn bedoeld om het lichtniveau in de drempelzone via natuurlijke weg te verminderen. Op basis van praktijkervaring in Nederland blijken dergelijke roosters sterk gevoelig te zijn voor veroudering en vervuiling. Dat is de reden dat ze niet meer worden toegepast.

Ontwerputgangspunten bij een zonlicht doorlatend rooster zijn:

Door de zon beschenen gebieden moeten zoveel mogelijk buiten het wegdek vallen. Indien doervallend zonlicht het wegdek bereikt mag dit niet aanleiding geven tot hinderlijke flikkereffecten.

Een weggebruiker mag nooit direct in de zon kunnen kijken

De lichtdoorlaat van het rooster moet constant, en min of meer evenredig zijn met de lichthoeveelheid in het vrije veld, onafhankelijk van de zonnestand en onafhankelijk van het jaargetijde.

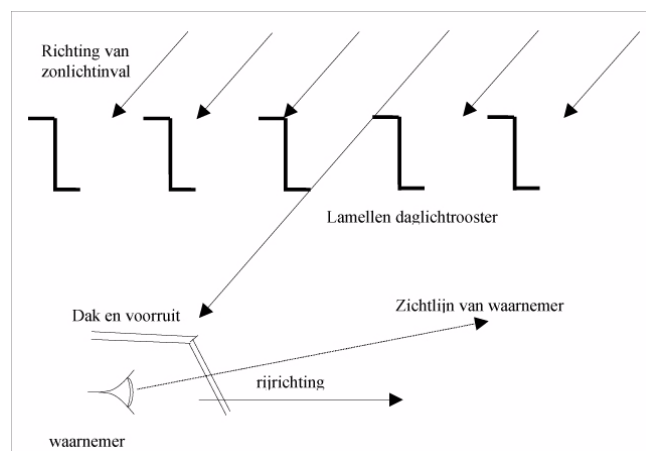
Bij onbewolkte hemel kan aan de eerstgenoemde eis vrijwel nooit volledig worden voldaan. Ten opzichte van de as van de weg zijdelings instralend zonlicht kan worden afgeschermd door zijwanden zodanig te dimensioneren dat alleen de zijwanden van de toeritconstructie worden aangestraald. Het wegdek bevindt zich dan in de schaduw van de zijwand.

Aan de tweede eis kan worden voldaan door de lamellen van het rooster zodanig vorm te geven en de oriëntatie zodanig te kiezen dat een automobilist niet recht in de zon kan kijken.

Het bovenstaande impliceert dat de optimale basisvorm van een rooster weliswaar eenduidig is, doch dat de uitwerking daarvan moet worden afgestemd op de geografische ligging van het wegdeel, waarboven het is gesitueerd. Om te kunnen voldoen aan de bovengeformuleerde eisen zal een noord-zuidrooster op een andere wijze moeten worden geconstrueerd dan een oost-west georiënteerd rooster.

De in Nederland aanwezige daglichtroosters zijn vrijwel alle toegepast voor noordelijk en zuidelijk georiënteerde tunnelportalen. Ze zijn opgebouwd uit Z-vormige lamellen met de afmetingen circa 65 x 200 x 65 mm. Het verticale deel is 200 mm hoog en de horizontale delen zijn 65 mm lang. Het lamel als geheel voorkomt dat een weggebruiker vanuit zijn gezichtshoek rechtstreeks in de zon kan kijken, terwijl de horizontale flenzen de hemel afschermen en daarmee tevens de lichtdoorlatendheid van het rooster bepalen. Door de afstand tussen de lamellen respectievelijk de grootte van de flenzen te variëren kan de lichtdoorlaat worden gevarieerd.

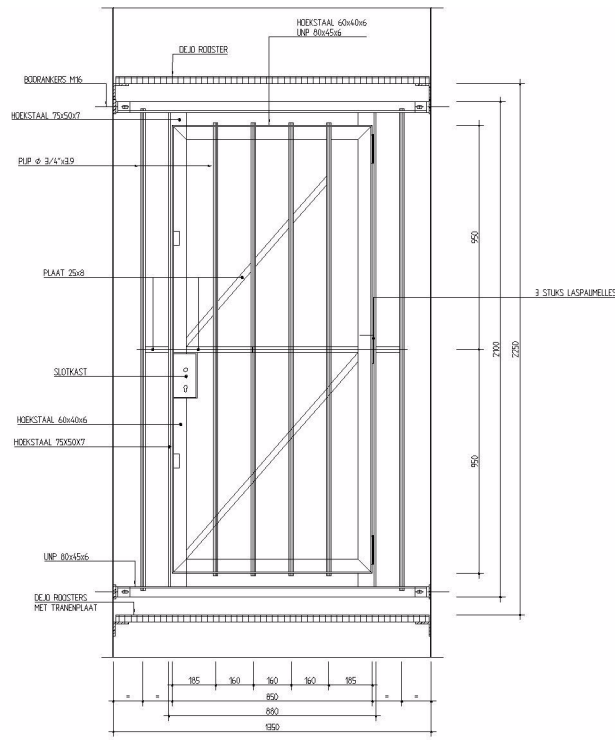
De vorm van de lamellen is experimenteel tot stand gekomen door beproeving van allerlei varianten waarbij tevens rekening is gehouden met duurzaamheid, gewicht, kosten en het voorkomen van aanhechting van sneeuw en ijsel op de constructie.







## **5.5.6 Overige details**



AANZICHT SPIJLENDEUR



### 5.5.6.1 Spijlendeur

**Functie:**

Er voor zorg dragen dat mensen, die gebruik maken van de vluchtgang in het middentunnelkanaal, niet de pompkamer ingaan, maar in de juiste richting gestuurd worden, waardoor een goede doorstroming in de vluchtgang gewaarborgd wordt.

**Toepassingen:**

In het middentunnelkanaal van verkeerstunnels in het gesloten gedeelte vlakbij de eerste vluchtdeur vanaf de middenpompenkelder en ter afsluiting van het dienstengebouw.

**Detailontwerp:**

De deur is opgebouwd uit hoekstalen 60.40.6, waaraan pijpen rond 3/4" 3,9 mm zijn vastgelast. De schoren (plaat 25.8) zorgen ervoor dat de deur niet schrankt. De deur is opgehangen door middel van drie laspaummelles, die aan hoekstaal 75.50.7 gelast zijn. Het kozijn bestaat uit stijlen L 75.50.7, die gelast zijn aan horizontale regels UNP 80.45.6. Deze zijn door middel van boorankers M16 gemonteerd aan de wand.

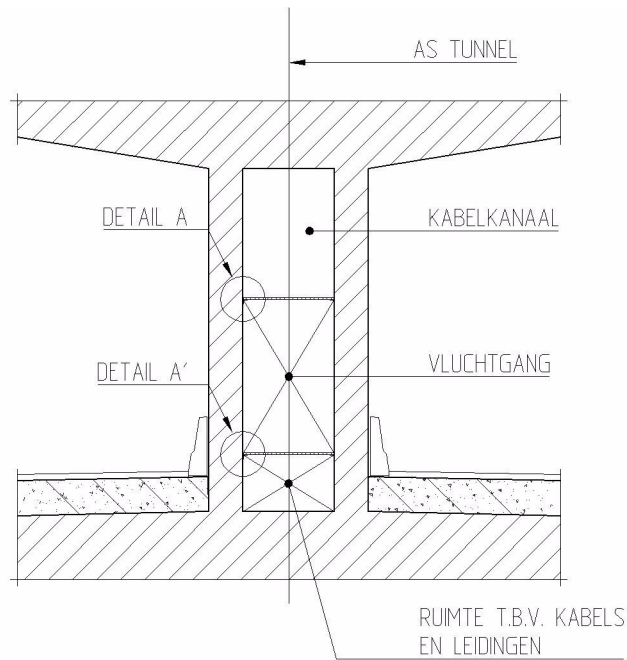
**Motivering:**

Eenvoudige uitvoering.

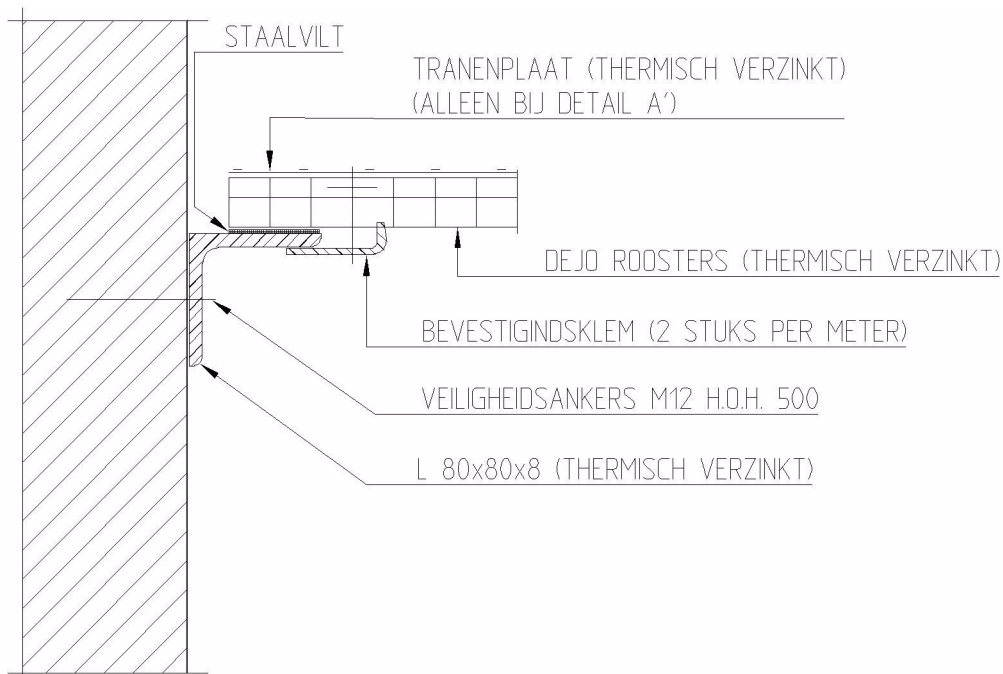
**Conservering:**

Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen moeten thermisch verzinkt worden.





## OPLEGGING ROOSTERS MIDDENTUNNELKANAAL



DETAIL A

(DE AFMETINGEN ZIJN AFHANKELIJK VAN DE BREEDTE VAN DE MIDDENKANAAL)



### 5.5.6.2 Roosters middentunnelkanaal

**Functie:**

Het creëren van vloeren in het middentunnelkanaal ten behoeve van de vluchtgang en het kabelkanaal.

**Toepassingen:**

In het middentunnelkanaal van het gesloten gedeelte en overgangsgedeeltes van verkeerstunnels.

**Detailontwerp:**

De stalen DEJO-roosters (met draagstaven 30.3 mm<sup>2</sup>) worden opgelegd op hoekprofielen 80.80.8 die met veiligheidsankers M12 h.o.h. 500 mm aan de wand bevestigd worden. Indien de asfaltheogte in de rijbuizen ter plaatse van de middenwand gelijk is, dan is de hoogte van de bovenkant van de roosters ten behoeve van de vluchtgang gelijk aan de hoogte van de knik in de geleidebarrier. De hoogte van de roosters voor het kabelkanaal wordt bepaald door de beschikbare hoogte in het middentunnelkanaal. Er moet echter naar worden gestreefd de vluchtgang minimaal 2,30 meter hoog te maken.

Ter voorkoming van trilling moet tussen de hoekprofielen en de roosters staalvilt aangebracht worden.

De roosters worden met bevestigingsklemmen (twee stuks per meter) vastgeklemd aan de hoekprofielen.

Bij de vloer van de vluchtgang wordt de roostervloer afgedekt met een thermisch verzinkte tranenplaat.

**Motivering:**

De looppaden dienen te worden berekend op een veranderlijke belasting van 4 kN/m<sup>2</sup>. Deze constructie voldoet aan deze eis.

Bij tunnels die onder de grondwaterstand liggen is het wenselijk om op een eenvoudige wijze de voegen te kunnen controleren op lekkage. Hiertoe wordt de tranenplaat ter plaatse van de voegen aan één buitenzijde onderbroken over een breedte van 0,30 meter.

**Conservering:**

Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen dienen thermisch verzinkt te worden.





### 5.5.6.3 Achtergronden

#### *Spijlendeur*

Indien het middentunnelkanaal geblokkeerd is door bijvoorbeeld de middenpompenkamer wordt er een spijlendeur zo dicht mogelijk (1 meter) bij de eerste vluchtdeur geplaatst. Zo wordt voorkomen dat vluchtende mensen de verkeerde (doodlopende) kant op lopen.

Het is wenselijk om één vluchtdeur zo dicht mogelijk bij de middenpompenkamer te plaatsen. Hierdoor kan er een spijlendeur vervallen.

#### *Vluchtweg*

In het verleden bestond de vloer van de vluchtweg uit zgn. Dejeroosters. De reden hiervan was dat de onderliggende betonconstructie inspecteerbaar moest zijn (voegen, lekkage).

In de VRC echter wordt gesteld dat roostervloeren als vluchtweg zoveel mogelijk moeten worden vermeden (hoofdstuk 11 richtlijn 22). Daarom is er voor gekozen de roostervloer af te dekken met een thermisch verzinkte tranenplaat.

Bij tunnels die onder de grondwaterstand liggen is het echter wenselijk om op een eenvoudige manier de voegen te kunnen controleren op lekkage. Een mogelijke oplossing hiervoor is om ter plaatse van de voegen aan één buitenzijde de tranenplaat te onderbreken.

De aangegeven minimale hoogte van de vluchtgang van 2,30 meter komt voort uit het feit dat de vluchtgang moet worden voorzien van vluchtwegaanduidingen. Deze verminderen de netto hoogte van de vluchtgang.

#### *Dienstgang*

Vanuit het monteren van de electromechanische installaties in het kabelkanaal werd in het verleden de eis gesteld dat de vloer van de dienstgang dicht moest zijn.

Voortschrijdend inzicht geeft echter aan dat deze noodzaak niet meer aanwezig is.

Hier kan dus een roostervloer worden toegepast.

Voor de bouwfasering is dit een groot voordeel omdat nu niet van te voren de betonnen platen in het middenkanaal hoeven worden neergezet.





## **5.5.7 Diversen**

### **5.5.7.1 Lijst met technische begrippen**

#### **Daglichtrooster**

Constructie bij de ingang van een tunnel die een hinderlijke overgang van dag- naar kunstlicht moet voorkomen.

#### **Hulppost groot**

Kast in de middenwand van het gesloten gedeelte en het overgangsgedeelte en onder het daglichtrooster waarin o.a. brandblusvoorzieningen en een intercomtoestel zijn opgenomen.

#### **Hulppost klein**

Kast in de buitenwand tegenover de grote hulppost waarin o.a. een handblusser en een intercomtoestel zijn opgenomen.

#### **Spijlendeur**

Scharnierend hekwerk in het middentunnelkanaal vlakbij de eerste vluchtdeur vanaf de middenpompkelder, dat dient om te voorkomen dat vluchtende mensen in een doodlopend deel van het middentunnelkanaal terecht komen.

#### **Vluchtdeur**

Brandwerende deur tussen het middentunnelkanaal en de tunnelbuis waardoor vluchtende mensen in geval van calamiteiten het middentunnelkanaal kunnen bereiken.

### **5.5.7.2 Literatuurlijst / bronnen**

De volgende richtlijnen en handboeken zijn in dit hoofdstuk van toepassing:

- Veiligheidsrichtlijnen deel C basismaatregelen (VRC versie 1.0 januari 2004)





## Inhoudsopgave Folieconstructies

- 5.6.1 Inleiding
- 5.6.2 Principedoorsnede
  - 5.6.2.1 Principedoorsnede folieconstructie met groene taluds
  - 5.6.2.2 Achtergronden folieconstructie met groene taluds
- 5.6.3 Kielspit
  - 5.6.3.1 Normale oplossing kielspit parallel aan as weg
  - 5.6.3.2 Ruimtebesparende oplossing kielspit parallel aan as weg
  - 5.6.3.3 Overgang normaal kielspit naar ruimtebesparende oplossing
  - 5.6.3.4 Achtergronden kielspit
- 5.6.4 Verticale beëindiging folie
  - 5.6.4.1 Verticale beëindiging folie parallel aan as weg
  - 5.6.4.2 Verticale beëindiging folie onder wegdek
  - 5.6.4.3 Achtergronden verticale beëindiging folie
- 5.6.5 Klemconstructies
  - 5.6.5.1 Klemconstructie in den droge
  - 5.6.5.2 Klemconstructie in den droge t.p.v. dilatatievoeg
  - 5.6.5.3 Klemconstructie in den natte
  - 5.6.5.4 Klemconstructie in den natte t.p.v. dilatatievoeg
  - 5.6.5.5 Achtergronden klemconstructies
- 5.6.6 Details riolering en drainage
  - 5.6.6.1 Inspectieput
  - 5.6.6.2 Aansluiting inspectieput op betonconstructie
  - 5.6.6.3 Ligging drainage t.p.v. aansluiting bij diepste punt
  - 5.6.6.4 Drainage met omhulling en grindkoffers
  - 5.6.6.5 Achtergronden riolering en drainage
- 5.6.7 Diversen
  - 5.6.7.1 Aanbevelingen voor de materiaalkeuze
  - 5.6.7.2 Aanbevelingen voor de foliedikte
  - 5.6.7.3 Aanbevolen lasmethoden/ligging van de lassen/controlen van de lassen
  - 5.6.7.4 Lijst met technische begrippen
  - 5.6.7.5 Literatuurlijst / bronnen





---

Tunneldetails



## **5.6 FOLIECONSTRUCTIES**

### **5.6.1 Inleiding**

De details in dit hoofdstuk hebben betrekking op folieconstructies en allerlei zaken die daarmee te maken hebben, zoals riolering en drainage binnen de folieconstructie.

Waar wordt gesproken over de "hoogst bekende grondwaterstand" moet met verschillende omstandigheden rekening worden gehouden.

Bij polders kan worden uitgegaan van het hoogste polderpeil. In andere situaties moet gebruik worden gemaakt van statistische gegevens die bekend zijn over het betreffende gebied.

Uiteraard moet altijd na worden gegaan of er toekomstige ontwikkelingen zijn die van invloed zijn op het grondwaterpeil.

De riolering- en drainagesystemen die zijn vermeld dienen per project te worden gedimensioneerd op grond van berekeningen en eisen en adviezen van derden (G.D., FUGRO, etc.). Ook is hierover het één en ander opgenomen in "Eindrapportage werkgroep folieconstructies" en in de "handleiding wegebouw ontwerp hemelwaterafvoer".

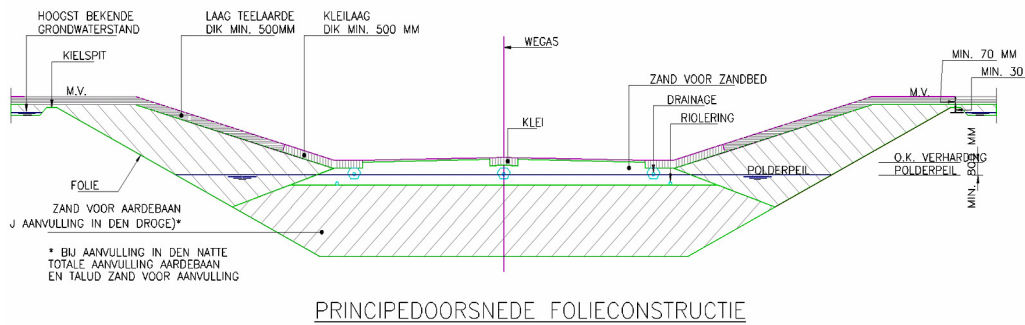
De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

- definitief: november 1994
- 1e herziening: december 2000
- 2e herziening: augustus 2005





## **5.6.2 Principedoorsnede**





### 5.6.2.1 Principedoorsnede folieconstructie met groene taluds

**Functies:**

Het maken van een waterremmende constructie (polder), waarbinnen een verdiepte wegconstructie kan worden aangelegd.

**Toepassingen:**

Bij wegvakken waar voldoende ruimte is voor het aanleggen van een folieconstructie en waar dit economisch gezien een voordelige(r) oplossing is.

**Detailontwerp:**

De aanlegdiepte van de folie volgt uit een evenwichtsberkening.

De aanlegbreedte wordt bepaald uit de diepteligging van de folie, het dwarsprofiel van de weg en de benodigde bermen.

De bovenkant van het kielspit dient 0,30 m boven de hoogst bekende grondwaterstand te worden gelegd. Bovenkant kielspit is tevens het rekenpeil voor de dimensionering van de diepteligging van de folie. Op het kielspit dient een gronddekking aanwezig te zijn ca. 1,0 m (minimaal 0,70 m).

Er wordt in de midden- en zijbermen aansluitend op de wegverharding een kleilaag aangebracht. Deze kleilaag heeft een minimale dikte van 0,50 m en wordt op het talud tot minimaal 1 m boven de wegverharding aangebracht.

In midden- en zijbermen wordt over de gehele lengte van de folieconstructie een ribbedrainbuis met een diameter van 200 mm aangebracht. Bij de plaatsing hiervan moet rekening worden gehouden met later aan te brengen geleiderail, lichtmasten, etc. T.p.v. het diepe gedeelte wordt in de zijbermen de drainage dubbel uitgevoerd. Tevens wordt daar dwarsdrainage aangebracht. De drainagebuizen worden gelegd in een grindkoffer.

In de zijbermen wordt een rioleringsstelsel aangebracht, dat gescheiden is van het drainagesysteem. Deze systemen dienen eveneens gescheiden te lozen op de waterkelder. Om een droog zandpakket onder de wegverharding te garanderen dient de onderkant van de drainagebuis minimaal 0,80 m onder het diepste punt (zijkant) van de wegverharding te liggen.

**Motivering:**

De hoogte van het kielspit hangt af van de situatie. Bij polders dient het kielspit 0,30 m boven de hoogst bekende grondwaterstand te worden gelegd om extreem hoge waterstanden te kunnen weerstaan. Bij nog hogere waterstanden wordt de voorkeur gegeven aan vollopen van de folieconstructie boven opbarsten. In andere situaties (bv. invloed van rivier, etc.) moet voor de hoogte van het kielspit gebruik worden gemaakt van statistische gegevens t.a.v. de waterstanden. Ook dan geldt dat het vollopen van de folieconstructie de voorkeur geniet boven het opbarsten er van. Ter plaatse van de folieconstructie mag geen diepwortelende begroeiing geplant worden die de folieconstructie kan beschadigen.

De kleilaag wordt in de midden- en zijbermen aansluitend op de wegverharding aangebracht om te voorkomen dat agressieve stoffen door kunnen dringen tot het polderpeil en zo de folie aan kunnen tasten.



Het rioleringsysteem en drainagesysteem dienen gescheiden te lozen op de waterkelder, omdat op deze manier geen afvalstoffen, die via het rioleringsysteem de waterkelder zijn ingekomen, via het drainagesysteem weer naar buiten lopen. Daarnaast is het op deze manier mogelijk om in een droge periode de lekkage van de folieconstructie te meten.









### 5.6.2.2 Achtergronden folieconstructie met groene taluds

*Ligging folieconstructie in het dwarsprofiel (diepte, breedte, minimaal kielspit)*

In het dwarsprofiel van de weg de teen van het folietalud minimaal 1 m buiten de teen van het hoger liggende grondtalud situeren. De stabiliteit van het grondlichaam boven de folieconstructies neemt hierdoor belangrijk toe en het voorkomt een heleboel extra rekenwerk en narigheid.

Controle stabiliteit grondlichaam onder de verschillende belastingssituaties, zowel tijdelijk als definitief, bij voorkeur met het softwareprogramma Plaxis. Bij de softwareprogramma's m.b.v. de methode Spencer en methode Bishop (M-STAB) wordt de controle op de stabiliteit uitgevoerd met vooraf gedefinieerde aangenomen glijvlakken. Opgemerkt wordt dat de methode Bishop (M-STAB) soms 10 tot 15% te gunstige uitkomsten geeft t.o.v. de methode Spencer. De methode Spencer en in mindere mate Bishop (M-STAB) zijn vooral geschikt voor snelle globale (verkennde) berekeningen. Plaxis heeft de voorkeur vooral bij grondgelaagde constructies waarbij in het algemeen niet direct een maatgevend glijvlak is vast te stellen. Plaxis berekent deze.

*Beschouwing veiligheidscoëfficiënten*

De veiligheidscoëfficiënt tegen opdrijving van 1,1 betreft een minimale waarde en dient t.p.v. de hooggelegen delen van de toeritten beslist te worden verhoogd. De invloed op de grootte van de veiligheidscoëfficiënt tegen opdrijving, bij een eventuele wijziging van de verschillende parameters is hierbij te groot. Naast de veiligheidscoëfficiënt tegen opdrijven geldt ook nog een absolute oplegdruk eis van 5 kN/m<sup>2</sup>. Deze eis wordt maatgevend bij ondiep liggende folies.

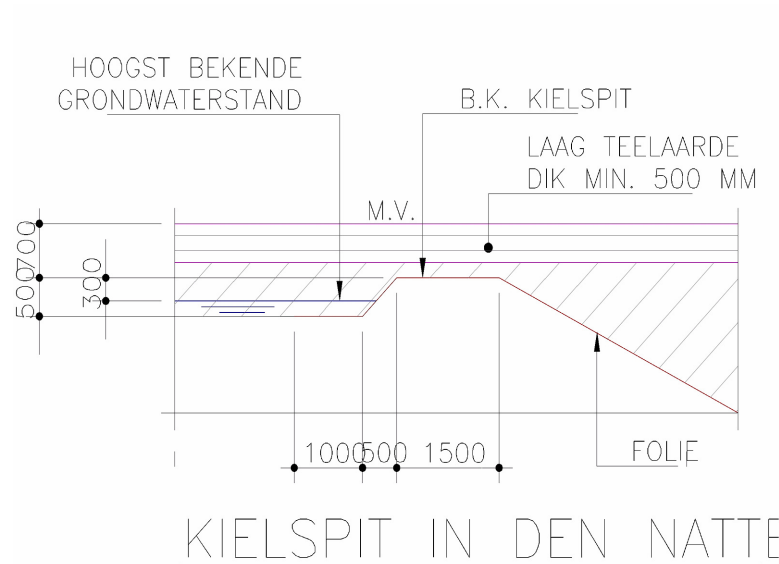
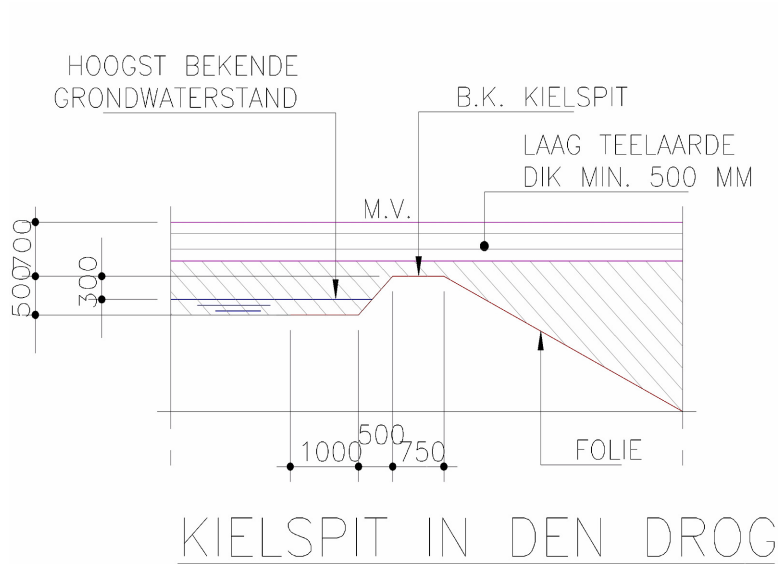
**Conclusie:**

Altijd ook een gevoeligheidsanalyse uitvoeren waarbij er wordt gevarieerd met de verschillende parameters (volumegewichten, waterstanden, hoogte van de aanvullingen). Niet altijd is het goede zand, op de juiste wijze verdicht, ook werkelijk in het werk aanwezig.





### **5.6.3 Kielspit**





### 5.6.3.1 Normale oplossing kielspit parallel aan as weg

**Funcities:**

Het aan de bovenzijde beëindigen en "verankeren" van de folieconstructie.

**Toepassingen:**

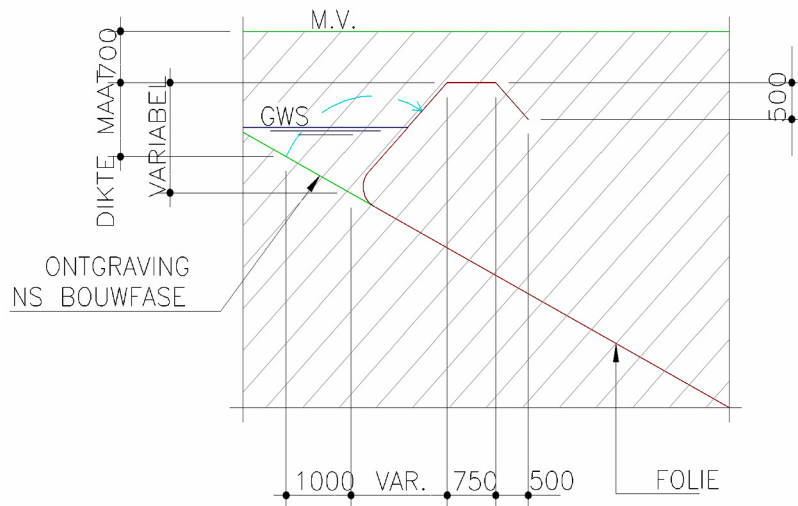
T.p.v. folieconstructies waar voldoende breedte aanwezig.

**Detailontwerp:**

De folie wordt opgetrokken tot minimaal 300 mm boven de hoogst bekende grondwaterstand. Vervolgens wordt het bij in den natte afgezonken folies over 1500 mm en bij in den droge gelegde folies over 750 mm horizontaal gelegd. Dan wordt het onder een helling van 1 op 1 naar een niveau 500 mm lager gebracht en tenslotte wordt het weer over 1000 mm horizontaal gelegd.

**Motivering:**

Een dergelijke beëindiging is t.p.v. de zijkanten van de folieconstructie de eenvoudigste oplossing. Deze oplossing vraagt wel om een grote breedte van het bouwterrein.



## KIELSPIT RUIMTEBESPARENDE OPLO



### 5.6.3.2 Ruimtebesparende oplossing kielspit parallel aan as weg

**Functies:**

Het aan de bovenzijde beëindigen en "verankeren" van de folieconstructie.

**Toepassingen:**

T.p.v. folieconstructies waar onvoldoende breedte aanwezig is voor de normale oplossing.

**Detailontwerp:**

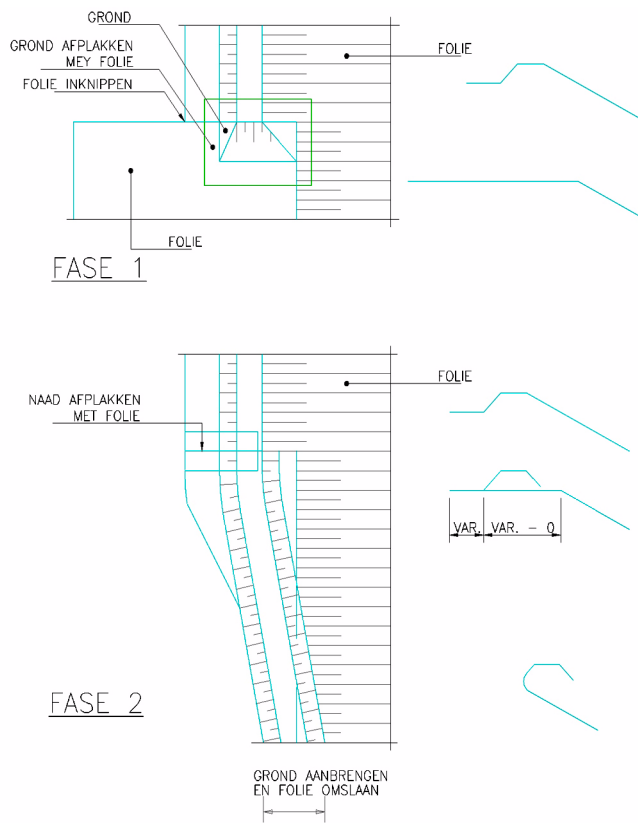
De folie wordt op een bepaald punt teruggeslagen. Vervolgens wordt de folie onder een helling van 1:1 opgetrokken tot 300 mm boven de hoogst bekende grondwaterstand, waarna het over een breedte van 750 mm horizontaal wordt gelegd. Tenslotte wordt het weer onder een helling van 1:1 naar een niveau 500 mm lager gebracht.

**Motivering:**

Een dergelijke beëindiging is t.p.v. de zijkanten van de folieconstructie bij ruimtegebrek de eenvoudigste oplossing.

Bij berekening is controle van talud stabiliteit vereist.







### 5.6.3.3 Overgang normaal kielspit naar ruimtebesparende oplossing

**Functies:**

Het maken van een waterdichte overgang van het normale kielspit naar de ruimtebesparende oplossing.

**Toepassingen:**

Bij toepassing van de ruimtebesparende oplossing.

**Detailontwerp:**

De overgang van een normaal kielspit naar een ruimtebesparend kielspit moet waterdicht afgedicht en verlijmd worden met een aparte strook folie. Bij het in het werk plakken van de folie moeten de oppervlakken van de te lijmen folie goed schoon en vetvrij worden gemaakt.

**Motivering:**

Er moet goed worden opgelet dat alle naden goed zijn afgeplakt om lekkage te voorkomen





#### **5.6.3.4 Achtergronden kielspit**

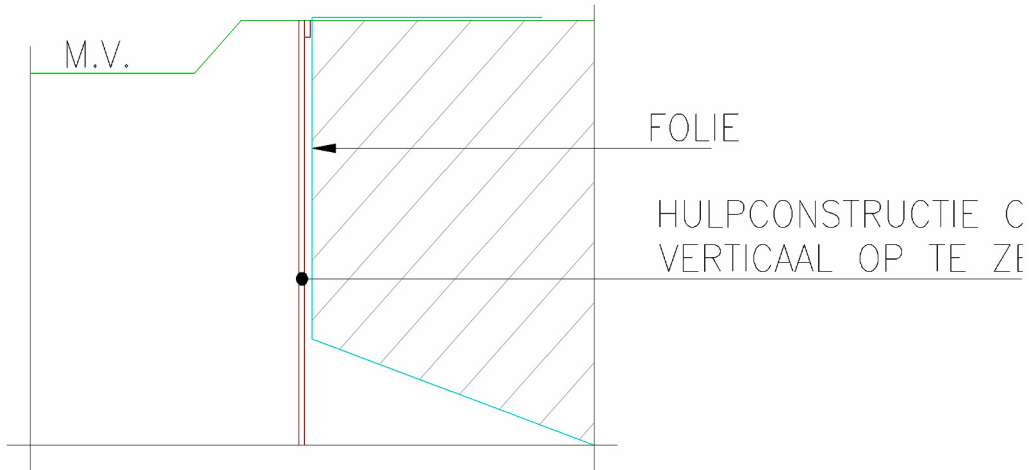
Horizontaal deel van het kielspit niet te smal uitvoeren om geen watertransport over het kielspit, bij lokale zetting t.p.v. het kielspit mogelijk te maken. De kans dat een 1,50 m breed horizontaal deel van het kielspit volledig omlaag is gebracht door een niet verwachte belasting is veel kleiner dan bij een breedte van bijv. 0,75 m of nog kleiner

Bij teruggeslagen kielspit i.v.m. een minimaal ruimtebeslag de stabiliteit van grondlichaam altijd met behulp van het softwareprogramma Plaxis controleren. Minimaal ruimtebeslag kielspit folieconstructie alleen toepassen als het niet anders kan en er grote kosten mee zijn gemoeid bij handhaving van het normale kielspit zonder het terug slaan van de folie.

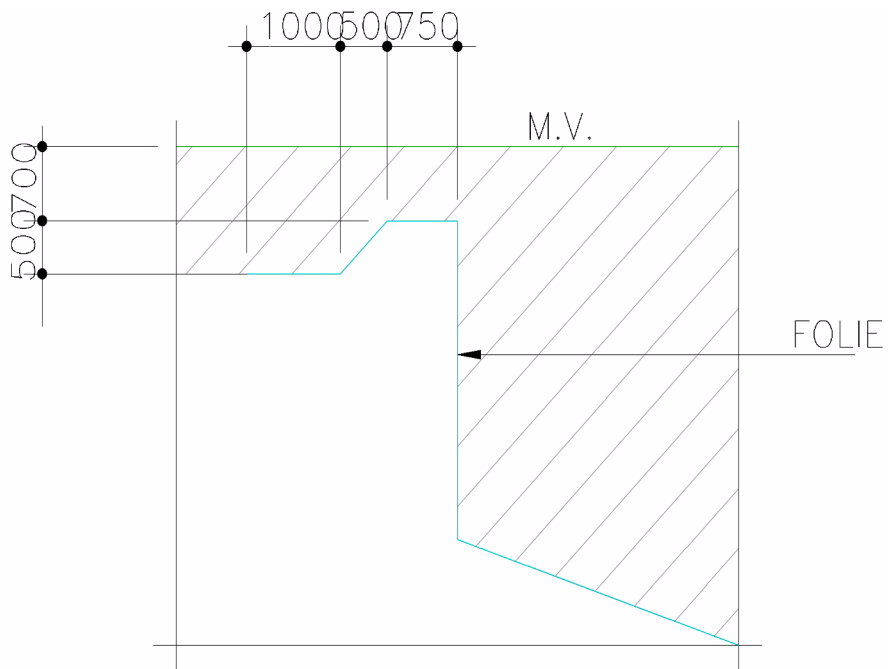




### **5.6.4 Verticale beëindiging folie**



DOORSNEDE BOUWFASE



DOORSNEDE EINDSITUATIE



### 5.6.4.1 Verticale beëindiging folie parallel aan as weg

**Functies:**

Het creëren van een waterdicht grensvlak tussen de folieconstructie en het ernaast aanwezige grondwater.

**Toepassingen:**

T.p.v. beëindiging folie bij beperkte breedte.

**Detailontwerp:**

De folie wordt m.b.v. een hulpconstructie verticaal opgezet tot 300 mm boven de hoogst bekende grondwaterstand.

Dan wordt er aangevuld en wordt de hulpconstructie verwijderd. Daarna wordt de folie over een lengte van 750 mm horizontaal gelegd, onder een helling van 1 op 1 naar een niveau 500 mm lager gebracht en tenslotte wordt het weer over 1000 mm horizontaal gelegd.

Afhankelijk van de beschikbare ruimte kan het kielspit naar binnen of naar buiten worden gelegd.

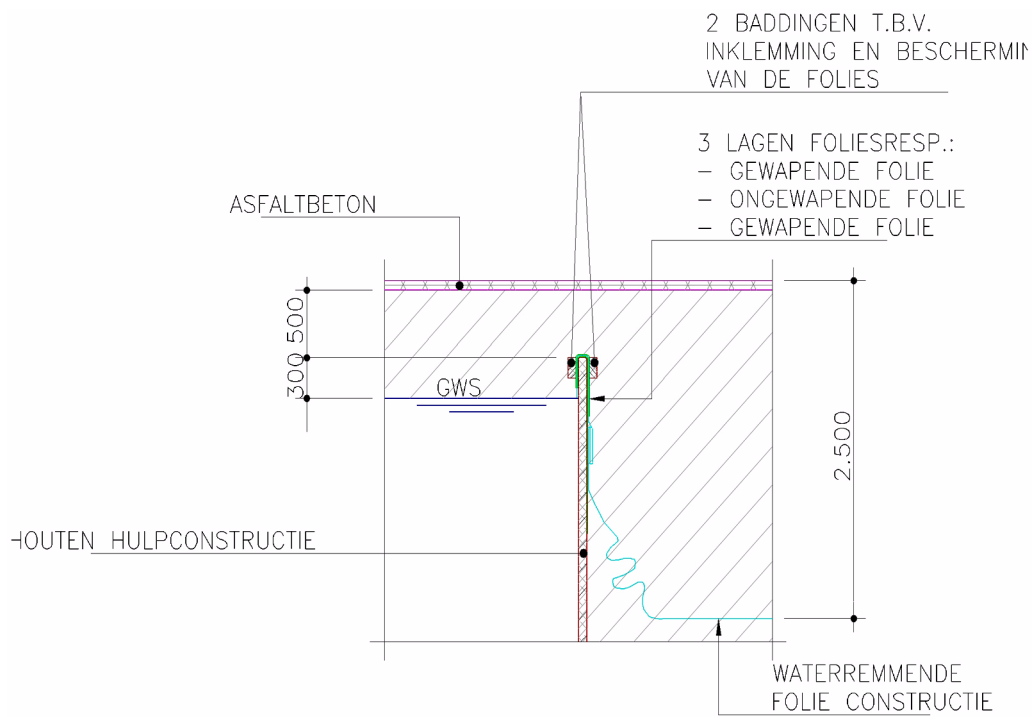
**Motivering:**

Een dergelijke beëindiging kan worden toegepast in geval van ruimtegebrek.

De hulpconstructie kan bestaan uit bijvoorbeeld een aantal palen met een gording erover. Hij dient slechts voor het verticaal zetten van de folie. Bij het eventueel verwijderen van deze hulpconstructie moet beschadigen van de folie worden voorkomen.

Bij deze oplossing moet te allen tijde de stabiliteit gewaarborgd zijn. Latere ontgravingen kunnen fataal zijn.





### KIELSPIT ONDER WEGDEK



### 5.6.4.2 Verticale beëindiging folie onder wegdek

**Functies:**

Zorgdragen voor een beëindiging van de folieconstructie onder het wegdek waarbij de kans op beschadiging van de folie door obstakels zo gering is.

**Toepassingen:**

T.p.v. beëindiging van folieconstructies loodrecht op de as van de weg (kopkant folieconstructie).

**Detailontwerp:**

De folie wordt m.b.v. een hulpconstructie verticaal opgezet tot 300 mm boven de hoogst bekende grondwaterstand

De folie wordt om een damwand geslagen en vastgezet met behulp van twee baddingen. Deze baddingen dienen tevens ter bescherming van de folie. Ter plaatse van de omslag om de damwand is de folie drie-laags; de folie wordt tussen twee gewapende folies geklemd.

In de hoek tussen damwand en folie dient de folie met overlengte gelegd te worden. De minimale afstand van de folie tot bovenkant wegdek bedraagt 2500 mm. Het kielspit ligt minimaal 500 mm onder de onderkant van het wegdek. Het kielspit dient op de vangrail verkleefd te worden

**Motivering:**

Door het verticaal opzetten van de folie is het gedeelte van de folieconstructie dat in aanraking kan komen met later aan te brengen obstakels zo klein mogelijk gehouden. De aangegeven 2500 mm is voldoende om bijvoorbeeld een geleiderailconstructie aan te brengen.

Met deze verticale beëindiging wordt tevens de totale lengte van de folieconstructie beperkt. De folie dient met een overlengte gelegd te worden om zetting van de grond te kunnen weerstaan.

Er moet worden opgelet dat er geen hard punt vlak onder het wegdek ontstaat. Stootplaten kunnen in dat geval uitkomst bieden.





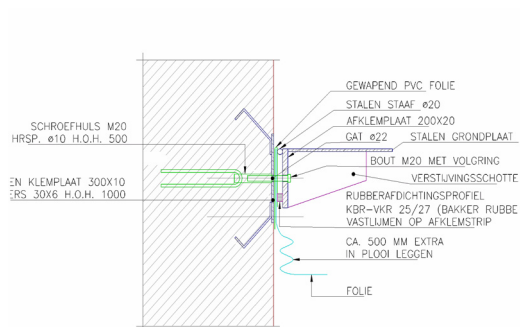
### **5.6.4.3 Achtergronden verticale beëindiging folie**

De folie dient voldoende diep te worden aangelegd vooral t.p.v. de hooggelegen delen van de toeritten voor de berging van de riolerings- en drainageputten maar ook om voldoende veiligheid t.o.v. opdrijven te hebben bij ongewenste ontgravingen. Bij een kleine hoeveelheid ballast wordt een en ander al snel kritisch. Veiligheden tegen opdrijving van 1,1 zijn dan beslist te weinig. Soms zijn dan veiligheden bij geringe ballastdekkingen van 1,20 m tot 1,30 m of meer vereist. Minimaal een neerwaartse overdruk van 5 kN/m<sup>2</sup> op de folie aanhouden. Bij voorkeur een gronddekking om voornoemde redenen aanhouden van minimaal 2,30 m op het diepste punt in het dwarsprofiel. Eventueel beschermingsmaatregelen treffen, bijv. gewapendbetonplaten onder de putten, indien de gronddekking i.v.m. beschadiging folieconstructie bij het plaatsen van de putten te klein is.

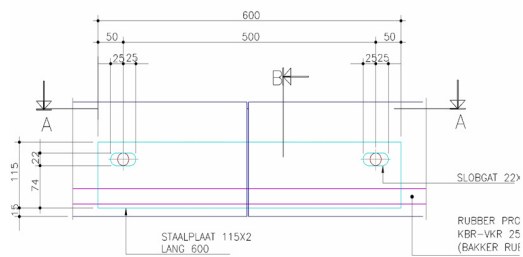




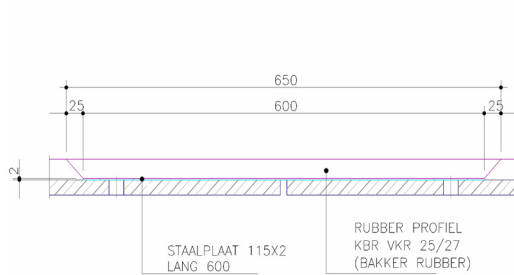
## **5.6.5 Klemconstructies**



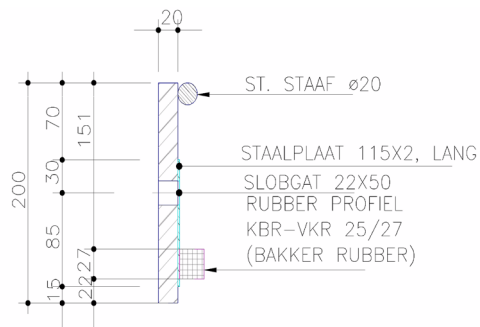
DOORSNEDE KLEMCONSTRUCTIE



VOEG TUSSEN AFKLEMPLATEN



DOORSNEDE A-A



DOORSNEDE B



### 5.6.5.1 Klemconstructie in den droge

**Functies:**

Verzorgen van waterdichting tussen folie- en betonconstructie.

**Toepassingen:**

T.p.v. folieconstructies die in den droge worden aangelegd (voorbeeld: Wijkertunnel).

**Detailontwerp:**

Een stalen klemplaat wordt in de betonconstructie opgenomen.

De folie wordt d.m.v. een afklemplaat, voorzien van aangelaste stalen staaf en gevulkaniseerd rubberafdichtingsprofiel, tegen deze plaat geklemd. T.p.v. de klemconstructie wordt de folie beschermd met gewapend P.V.C. folie. Tegen de afklemplaat wordt een grondplaat bevestigd met verstijvingschotten.

Om afscheuren van de folie bij zettingen te voorkomen, wordt direct onder de klemconstructie de folie geplooid aangebracht.

Afmetingen van de klemconstructie en ankers zijn indicatief. De klemconstructie dimensioneren op de benodigde klemkracht.

T.p.v. de voegen tussen 2 afklemplaten wordt een staalplaatje met een dikte van 2 mm tussen de afklemplaten en het rubberafdichtingsprofiel geplaatst.

**Motivering:**

De werking van deze constructie berust op een permanente en constante kracht op het afdichtende rubberprofiel ten gevolge van de grondbelasting op de grondplaat. Essentieel bij deze oplossing is dat er veel aandacht moet worden besteed aan de berekening van het rubberafdichtingsprofiel (relaxatie) en aan de vlakheid en stijfheid van de ingestorte stalen plaat en de klemplaat. Voor berekeningsmethodiek zie "Eindrapportage werkgroep folieconstructies". Bovendien moet er bij de uitvoering op worden gelet dat alle bouten goed worden aangedraaid (momentsleutel).

**Conservering:**

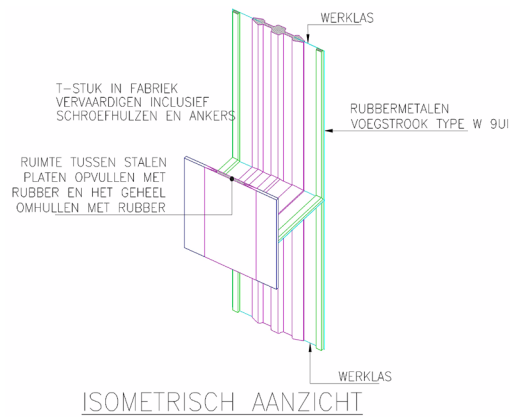
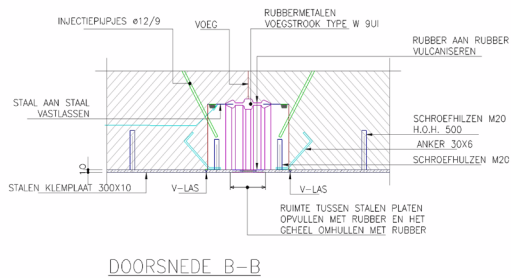
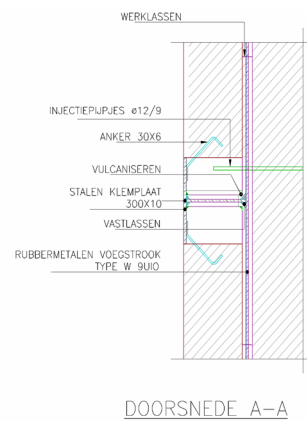
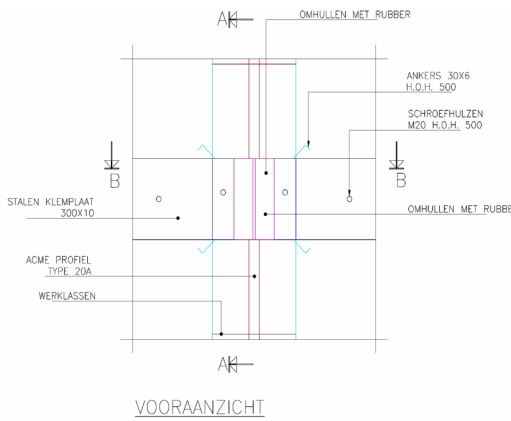
Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1275.





Tunneldetails

Folieconstructies





### 5.6.5.2 Klemconstructie in den droge t.p.v. dilatatievoeg

**Functies:**

Verzorgen van waterdichting tussen folie- en betonconstructie.

**Toepassingen:**

Dilatatievoegen in de betonconstructie waartegen een folie is geklemd.

**Detailontwerp:**

Het principe is dat de lekweg tussen rubbermetalen voegstrook en klemplaat wordt afgedicht met een stuk rubbermetalen voegstrook. Het T-stuk bestaat uit 2 loodrecht op elkaar staande stukken rubbermetalen voegstrook en 2 met rubber omhulde stalen platen. Ook de ruimte tussen deze 2 platen is opgevuld met rubber. Dit geheel wordt fabrieksmatig in elkaar gezet, waarbij het staalwerk aan elkaar wordt gelast en de rubber onderdelen aan elkaar worden ge vulkaniseerd.

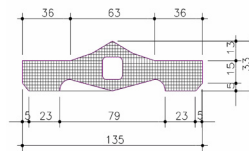
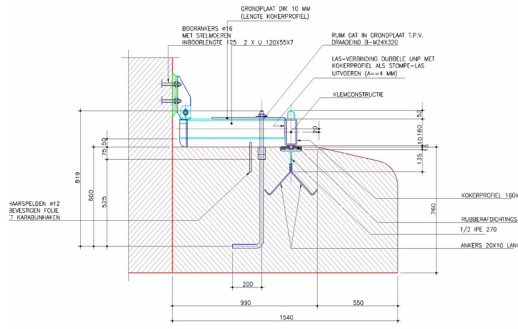
In het werk wordt de rubbermetalen voegstrook vastgezet aan de in de voeg in te storten rubbermetalen voegstrook. De klemplaat wordt vastgelast aan de klemplaten van de beide moten.

**Motivering:**

Het prefab T-stuk zorgt voor een waterdichte oplossing. In het werk dient extra aandacht te worden besteed aan de inpassing van het T-stuk in de constructie.

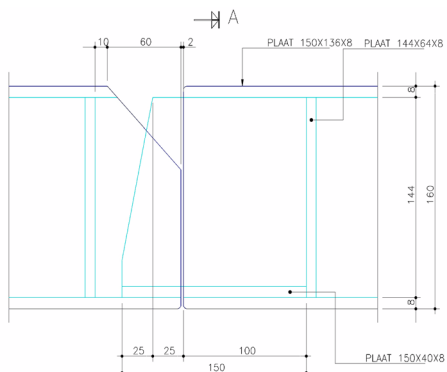
**Conservering:**

Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1275.

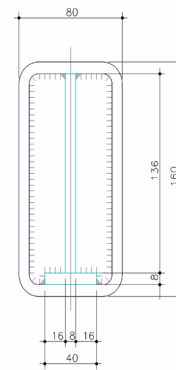


DOORSNEDE RUBBER KL

KLEEMCONSTRUCTIE IN DEN NATTE



VOEG KOKERPROFIELEN



DOORSNEDE A



### 5.6.5.3 Klemconstructie in den natte

**Functies:**

Verzorgen van waterdichting tussen folie- en betonconstructie.

**Toepassingen:**

T.p.v. folieconstructies die in den natte worden neergelegd (Noordtunnel).

**Detailontwerp:**

De folie wordt door duikers op de betonnen balk gelegd. In de balk is een stalen halve IPE balk ingestort met daarop een rubberafdichtingsprofiel. T.p.v. de klemconstructie wordt het folie beschermd met gewapend P.V.C. folie.

Als de folie op de juiste plek ligt, wordt de stalen klembalk op de folie gezet en gefixeerd.

De grondbelasting op de stalen grondplaat zorgt voor een permanente en constante kracht op het afdichtende rubberprofiel.

Bij de overgang tussen 2 kokers worden beide kokers met elkaar verbonden d.m.v. een plaat door de kokers (zie detail). Op deze manier wordt de stijfheid van de totale constructie gewaarborgd. Ook bij hoeken wordt een dergelijke constructie toegepast.

Afmetingen van de klemconstructie, grondplaat en ankers zijn indicatief. De klemconstructie dimensioneren op de benodigde klemkracht. Grondplaat dimensioneren op maximale belasting in het diepste punt.

**Motivering:**

Door het toepassen van de grondplaat wordt voorkomen dat door relaxatie van het rubberafdichtingsprofiel een kier ontstaat.

Voor berekeningsmethode klemkracht zie "Eindrapportage werkgroep folieconstructies".

Vanwege de ingewikkelde constructie van deze klemconstructie is het aan te raden te onderzoeken of het mogelijk is een strook folie in den droge in de klemconstructie aan te brengen en deze vóór het uitzetten van de bemaling naar boven te leiden. Er kan dan worden volstaan met een eenvoudiger klemconstructie. Bij het afzinken van de folie kan dan een werkklas gemaakt worden.

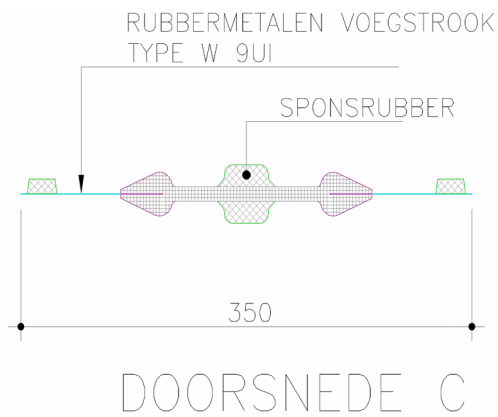
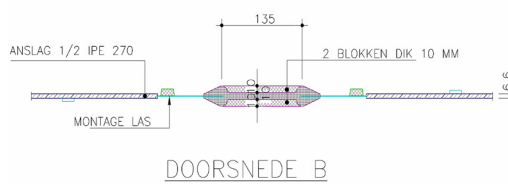
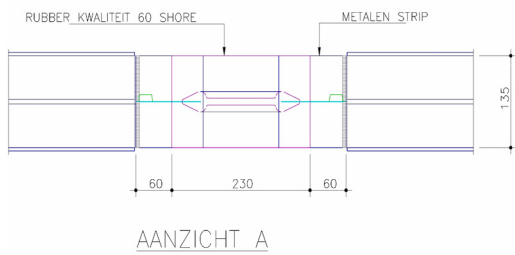
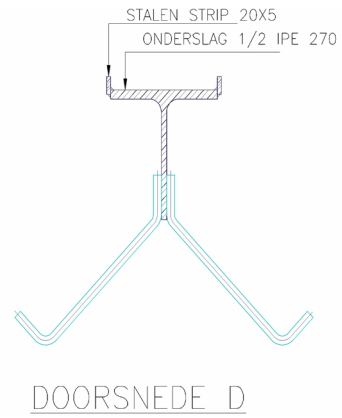
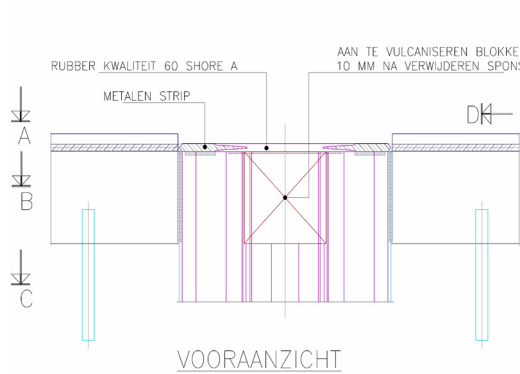
**Conservering:**

Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1275.



Tunneldetails

Folieconstructies





#### 5.6.5.4 Klemconstructie in den natte t.p.v. dilatatievoeg

**Functies:**

Verzorgen van waterdichting tussen folie- en betonconstructie.

**Toepassingen:**

Dilatatievoegen in de betonconstructie waartegen een folie is geklemd.

**Detailontwerp:**

Het overgangstuk volgens de tekening wordt geheel fabrieksmatig vervaardigd. Het principe is dat de lekweg tussen rubbermetalen voegstrook en het halve IPE profiel wordt afgedicht. Het overgangsstuk bestaat uit een stuk rubbermetalen voegstrook met haaks erop 2 stalen strippen van 112 x 12 mm waartussen een rubber flap is aangebracht. Dit geheel wordt fabrieksmatig in elkaar gezet, waarbij het staalwerk aan elkaar wordt gelast en de rubber onderdelen aan elkaar worden gevulkaniseerd. Ter plaatse van de dilatatievoeg wordt het halve IPE profiel onderbroken en wordt het overgangsstuk ertussen geplaatst. De stalen strippen worden vastgelast aan de flenzen van het IPE profiel en de stalen gedeelten van de rubbermetalen voegstrook worden vastgelast aan de lijven van de beide halve IPE profielen.

**Motivering:**

Het prefab overgangsstuk zorgt voor een waterdichte oplossing. In het werk dient extra aandacht te worden besteed aan de inpassing van het overgangsstuk in de constructie.

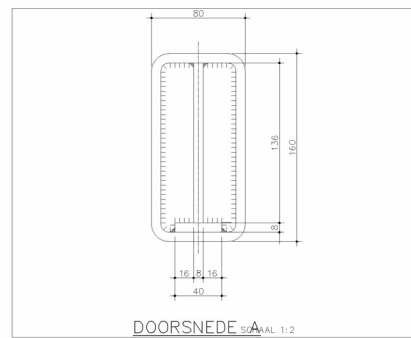
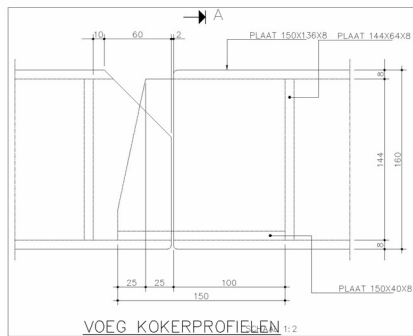
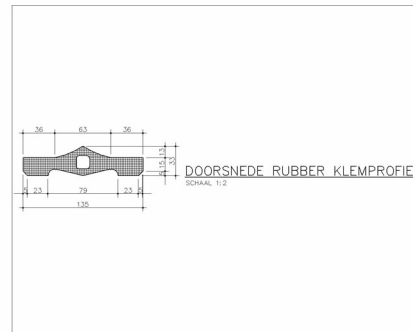
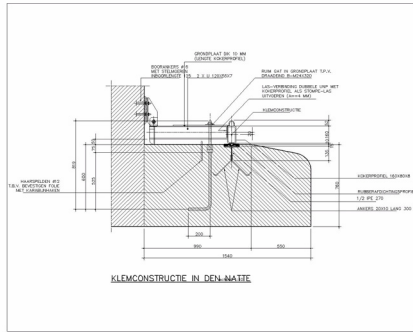
**Conservering:**

Alle stalen onderdelen thermisch verzinken volgens NEN 1275.



Tunneldetails

Folieconstructies





### 5.6.5.5 Achtergronden klemconstructies

#### *Algemeen*

Bij eventuele lekkage binnen de verdiepte ligging moet de aansluiting van de folieconstructie aan de betonconstructie boven alle twijfel staan. Er moet dan ook veel aandacht worden besteed aan de uitvoering van de klemconstructie.

Vaak kunnen ook de aansluitingen van in den natte aangebrachte folieconstructies met enige hulpmaatregelen en creativiteit wel in den droge worden aangebracht. Dit is bijvoorbeeld gebeurd bij aquaduct Akkrum en zal ook bij de Roertunnel worden gedaan. Behalve dat met deze werkwijze geld kan worden bespaard vanwege een eenvoudigere constructie en een eenvoudigere uitvoering is er ook meer zekerheid over de kwaliteit van de constructie zoals die uiteindelijk is gerealiseerd.

In de "Eindrapportage werkgroep folieconstructies" is een inventarisatie gemaakt van in het verleden toegepaste folieconstructies bij tunnelbouwprojecten. Daarbij heeft de werkgroep aanbevelingen gedaan welke klemconstructies de voorkeur genieten. Deze aanbevelingen zijn overgenomen in dit hoofdstuk van SATO.

#### *Klemconstructie bij een folieconstructie aangebracht in den droge*

De werking van de klemconstructie berust op een permanente en constante kracht op het afdichtende rubberprofiel ten gevolge van de grondbelasting op de grondplaat. De relaxatie van het rubberprofiel wordt direct gecompenseerd en kan niet leiden tot een lekweg.

De afmetingen van de grondplaat zijn afhankelijk van het waterdrukverschil onder en boven de folie, het profieltype en de rubberkwaliteit.

De in het detail aangegeven principe-oplossing dient nader te worden uitgewerkt op basis van berekeningen.

De klemconstructie is een verbeterde versie van de klemconstructie die is toegepast bij de Wijkertunnel. Ten opzichte van de daar toegepaste klemconstructie is de grondplaat toegevoegd.

Voor meer achtergronden wordt verwezen naar de "Eindrapportage werkgroep folieconstructies".

#### *Klemconstructie bij een folieconstructie aangebracht in den natte*

Ook bij deze klemconstructie berust de werking op een permanente en constante kracht op het afdichtende rubberprofiel ten gevolge van de grondbelasting op de grondplaat.

Ook hier geldt dat de in het detail aangegeven principe-oplossing nader dient te worden uitgewerkt op basis van berekeningen.

De klemconstructie is een verbeterde versie van de klemconstructie die is toegepast bij de Noordtunnel. Ten opzichte van de daar toegepaste klemconstructie is de grondplaat toegevoegd.

Voor meer achtergronden wordt verwezen naar de "Eindrapportage werkgroep folieconstructies".

*In beton opgenomen klemconstructies*

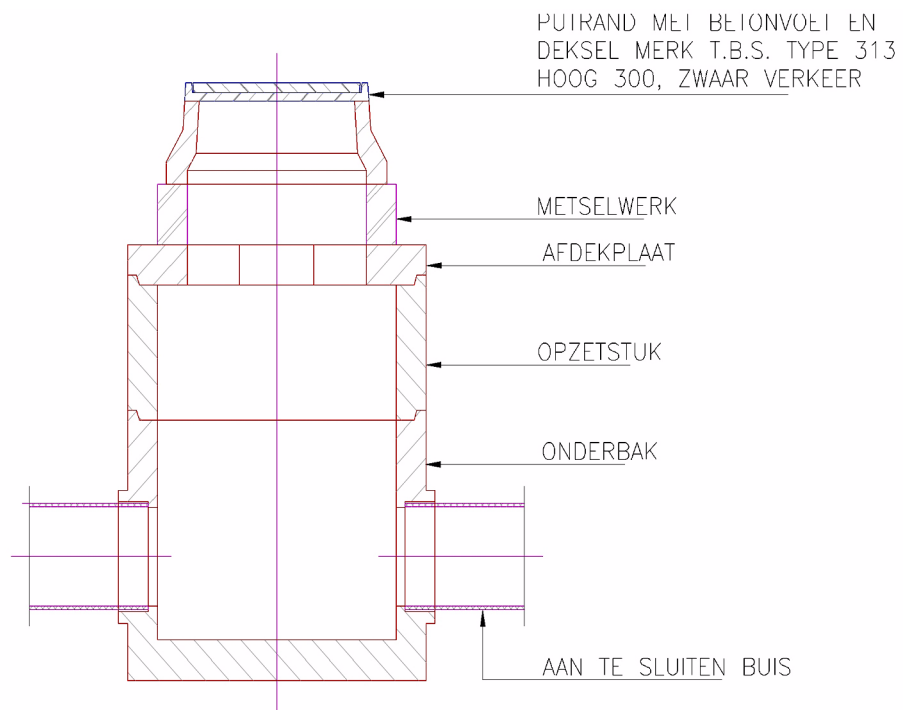




Bij een aantal werken is de klemconstructie opgenomen in een betonsloof (aquaduct Grouw, aquaduct Akkrum, Spitsendijk en onderdoorgang te Nijnsel). De achterliggende gedachte hierbij is dat er sprake is van een tweevoudige zekerheid qua waterdichtheid. De effecten van onvolkomenheden in de uitvoering, die regelmatig voorkomen, worden door de tweevoudige zekerheid qua waterdichtheid geneutraliseerd. Bovendien wordt het mogelijk doorroesten van de bouten van de klemconstructie op de lange duur wordt zo eveneens geneutraliseerd. Het nadeel van het opnemen van de klemconstructie in een betonsloof is echter dat het risico bestaat dat op langere termijn, door relaxatie van het rubberprofiel, de voorspanning verloren gaat en een lekweg ontstaat. Verder is het de vraag of het opnemen van de klemconstructie in een betonsloof nu echt een meerwaarde geeft. Alles valt en staat echter bij een goede en zorgvuldige uitvoering.



### **5.6.6 Details riolering en drainage**



## INSPECTIEPUT MET AFDEKPLAAT



### 5.6.6.1 Inspectieput

**Functies:**

Het creëren van een inspectiemogelijkheid in een riolerings- of drainagesysteem. Tevens wordt het d.m.v. deze putten mogelijk buizen vanuit diverse richtingen te laten samenkomen.

**Toepassingen:**

In riolerings- en drainagesystemen.

**Detailontwerp:**

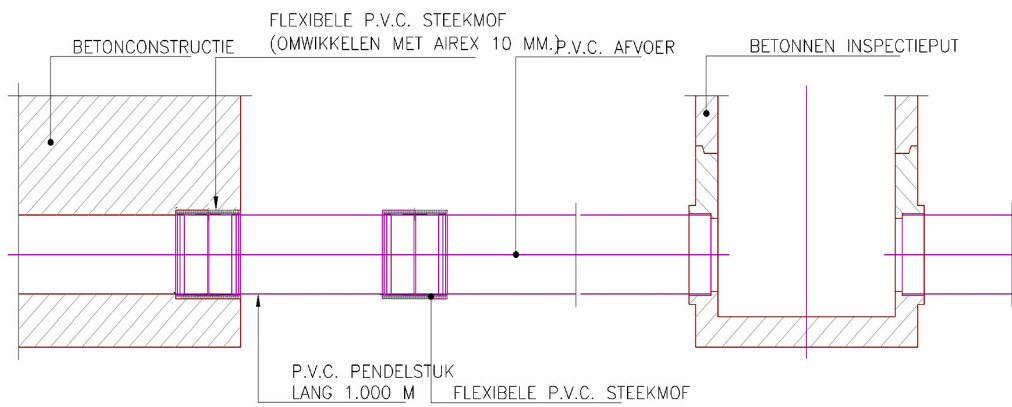
De gewapend betonnen put wordt op de gewenste plaatsen voorzien van P.V.C.-inlaatmoffen. Afmetingen van de put en de aansluitende riolerings- en drainagebuizen dimensioneren op maatgevende regenbui en in relatie met het vangoppervlak. De afmetingen van de put zijn bovendien afhankelijk van de hoeveelheid aan te sluiten buizen en de diameter ervan. De put wordt afgedekt met een bovenplaat. Hierop kan een rand worden gemetseld, die tevens een stelmogelijkheid biedt. Hierop wordt tenslotte een putrand met betonvoet en deksel aangebracht. Ook de zgn. opzetstukken kunnen voor een juiste hoogte zorgdragen. Deze zijn nl. verkrijgbaar in een groot aantal hoogtematen.

Riolerings- en drainagesysteem altijd gescheiden houden.

De bovenkant van het putdeksel t.o.v. het maaiveld wordt in overleg met de beheerder vastgesteld. Mogelijkheden zijn: gelijk met het maaiveld i.v.m. maaien van het gras; iets boven het maaiveld met bestrating er omheen; iets verdiept in taluds. Eveneens in overleg met de beheerder is het aan te bevelen de putdeksels te merken (riolering of drainage).

**Motivering:**

Als alternatief kunnen bv. polyester putten toegepast worden. Gewapend betonnen putten hebben echter het voordeel dat ze minder kwetsbaar zijn en dat de prijs t.o.v. polyester wat gunstiger ligt.



AANSLUITING INSPECTIEPUT-BETONCONSTRUCTIE



### 5.6.6.2 Aansluiting inspectieput op betonconstructie

**Functies:**

Het opvangen van ongelijke zettingen tussen de put en de betonconstructie.

**Toepassingen:**

In rioleringsystemen bij de aansluiting van de buis op de betonconstructie.

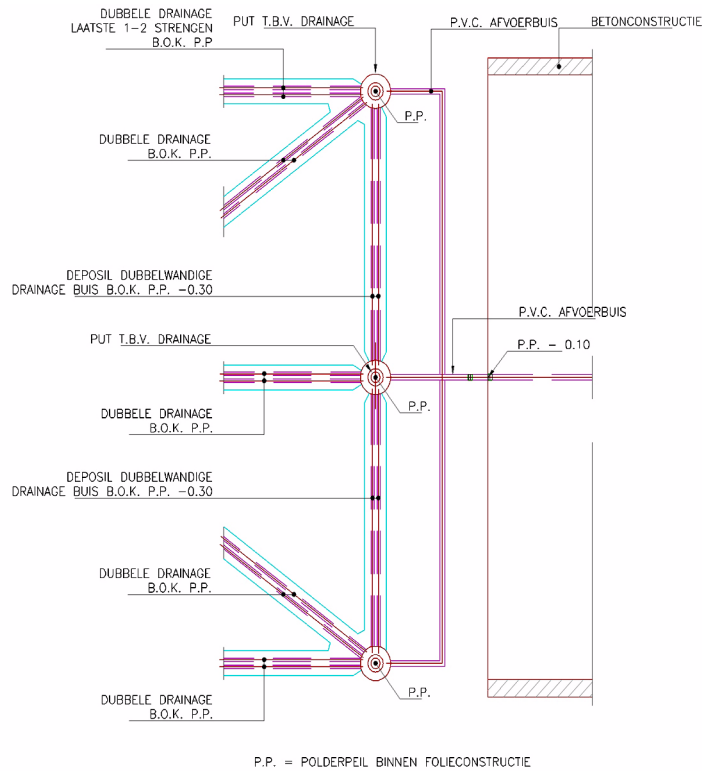
**Detailontwerp:**

In de betonconstructie wordt een met 10 mm airex omwikkelde U2-koppeling ingestort, waarop de buis wordt aangesloten.

Tussen put en betonconstructie wordt altijd een zgn. pendelstuk toegepast. Dit is een buis met een lengte van ca. 1 m. die tussen 2 koppelingen wordt aangebracht.

**Motivering:**

Er is uitgegaan van een P.V.C. aansluiting omdat dit materiaal eenvoudig te verwerken is en omdat het vroeger veel gebruikte asbest-cement niet meer toegepast mag worden. Het pendelstuk laat een grotere hoekverdraaiing toe.



LIGGING DRAINAGE T.P.V. AANSLUITING BIJ DIEPSTE PUNT



### 5.6.6.3 Ligging drainage t.p.v. aansluiting bij diepste punt

**Funcities:**

De drainage wordt 0.30 m onder het polderpeil gelegd zodat de buis niet kan dichtslibben.

**Toepassingen:**

Binnen folieconstructies.

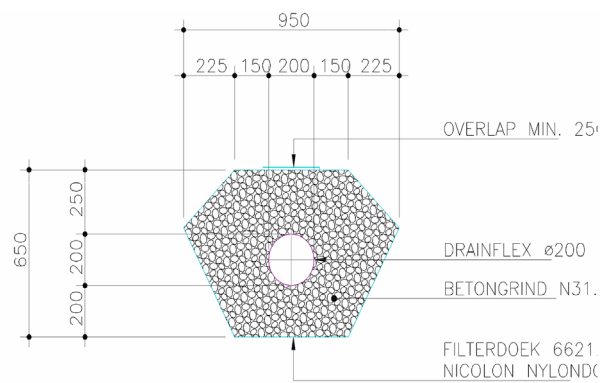
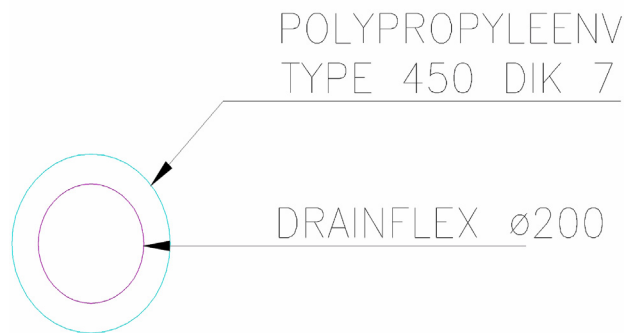
**Detailontwerp:**

De drainage zorgt voor het instandhouden van het polderpeil binnen de folieconstructie. De drainage die voor de betonconstructie loodrecht op de as van de weg ligt, wordt met binnen-onderkant 300 mm onder het polderpeil gelegd. Het polderpeil t.p.v. deze buis wordt bepaald door de hoogteligging van de afvoerbuis. T.p.v. het diepste punt dient de drainage dubbel te worden uitgevoerd. De inspectieputten worden met elkaar verbonden d.m.v. een PVC buis  $\gamma$  300.

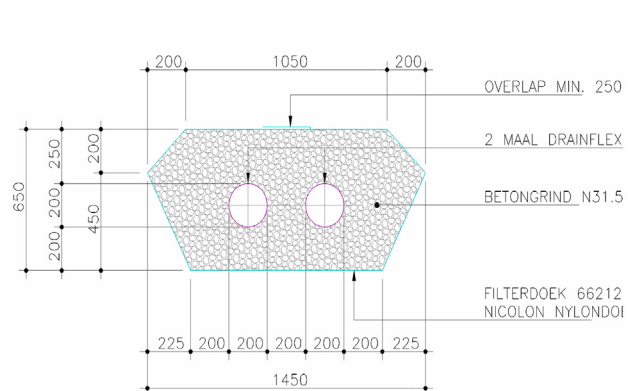
**Motivering:**

Op deze manier ligt de dwarsdrainage altijd onder water en wordt voorkomen dat de buis dichtslibt door eventueel aanwezig ijzerhoudend water. Indien de buis toch dichtslibt, kan de PVC buis de afvoer overnemen.





GRINDKOFFER MET 1 DRAIN



GRINDKOFFER MET 2 DRAINS



#### 5.6.6.4 Drainage met omhulling en grindkoffers

**Functies:**

Het afvoeren van overtollig water.

**Toepassingen:**

T.p.v. drainagesystemen.

**Detailontwerp:**

De drainagebuis is een geprofileerde flexibele geperforeerde buis uit hard P.V.C. van het type drainflex met een uitwendige diameter van 200 mm. Bij toepassing zonder grindkoffer wordt een omhulling toegepast van 7 mm polypropyleenvezels van het type 450. Alleen bij grote hoeveelheden ijzerhoudend water wordt het duurdere type 750 toegepast (alleen in kwelgebieden). Ook kunnen 1 of 2 buizen in een grindkoffer van betongrind N 31.5 gelegd. De grindkoffer wordt omhuld met filterdoek 66212 nicolon nylondoek, waarbij een overlap van minimaal 250 mm gemaakt wordt.

**Motivering:**

De keuze voor het toepassen van een buis met omhulling of een grindkoffer met 1 of 2 buizen is afhankelijk van de waterafvoer en de grondsoort. Eén en ander zal aan de hand van berekeningen per project moeten worden bepaald. In het algemeen zal een grindkoffer met 1 buis worden toegepast in het hoger gelegen gedeelte van de totale folieconstructie. Daar is de afvoer nog niet zo heel groot en ligt het polderpeil onder de drainage. Een grindkoffer met 2 buizen wordt toegepast in het dieper gelegen gedeelte van de folieconstructie. Daar is de afvoer het grootst en ligt het polderpeil op gelijke hoogte met de drainage.

Bij andere toepassingen dan folieconstructies (bijvoorbeeld in kwelgebieden met een natuurlijke waterremmende laag) wordt geen nicolon doek aan de onderkant en aan de zijkanten van de grindkoffer toegepast. De kans op dichtvlokken van het nicolon doek door ijzerhoudend water is dan namelijk zeer groot. Om zandindringing te voorkomen moet de grindkoffer dan wel zorgvuldig worden opgebouwd.





### **5.6.6.5 Achtergronden riolering en drainage**

Op de aanleg van het drainage- en rioleringssysteem dient niet te worden bezuinigd. T.o.v. een gewapend betonnen bakconstructie is een folieconstructie op een aardebaan relatief goedkoop en duurzaam.

De functionele zekerheid van deze constructie, voldoende droge wegligging in de verdiepte ligging van het wegtrace, dient groot te zijn. Bij calamiteiten dient er voldoende reserve te zijn in de opvang/verwerking van het waterbezwaar.

Maatgevende bui minimaal 1x250 jaar. Enige geprognostiseerde lek in de folieconstructie in de hoeveelheid waterbezwaar wordt aanbevolen, afhankelijk van het ontwerp.

Ook dient er bij het toe te passen drainagesysteem reserve worden ingebouwd in geval van calamiteiten. Een goed drainagesysteem kan eventueel gebruikt worden bij zowel het bergen van extra water als het zonodig verversen van water binnen de folieconstructie.





**5.6.7 Diversen**





### 5.6.7.1 Aanbevelingen voor de materiaalkeuze

Er is een groot aantal verschillende kunststofmaterialen voor de toepassing van folieconstructies.

Alleen de folieconstructies die tot op heden bij de afdeling Tunnelbouw in de weg- en waterbouw met enige regelmaat zijn toegepast worden in beschouwing genomen, te weten:

- PVC-folie (PVC=Poly Vinyl Chloride) en in het bijzonder PVC-P-folie (PVC-folie met weekmaker en in zekere mate oliebestendig);
- PE-folie en hiervan met name de LLDPE-folie.

In RW 50 is ter plaatse van de verdiepte ligging nabij Son een omvangrijke hoeveelheid folieconstructie in den droge toegepast. Het ging hier om ruim 240.000 m<sup>2</sup>

Hierbij kwam bij het ontwerp de vraag aan de orde welk type folie voor het onderhavige werk het meest geschikt is: PVC-P-folie of PE-folie; meer in het bijzonder LLDPE-folie of VLDPE-folie?

Er is een afweging tussen beide foliematerialen gemaakt. Hierbij is rekening gehouden met een groot aantal aspecten.

Tot de folieconstructie in RW 50 nabij Son in beeld kwam zijn de folieconstructies bij werken in uitvoering bij de afdeling Tunnelbouw voornamelijk uitgevoerd met PVC-P-folie.

De meeste werken, o.a. RW 27 verdiepte ligging Amelisweerd, toeritten tunnel de Noord, RW 32 aquaduct Grouw en aquaduct Akkrum, waarbij PVC-P-folie is toegepast, betroffen werken die in den natte zijn uitgevoerd. De keuze voor PVC-P lag hier voor de hand i.v.m. het mogelijk kunnen repareren van PVC-P-folie onder water (verlijmen) in geval van scheurvorming. Bij PE-folie (polyetheen-folie) (LLDPE-folie of VLDPE-folie) zijn reparaties onder water niet of zeer moeilijk uit te voeren. In een wat verder verleden is bij de toeritten van KW 37 in RW 1 bij Hengelo en RW 32 onderdoorgang in de Spitsendijk echter ook PVC-P-folie in den droge toegepast. Bij werken waarbij folieconstructies in den droge worden aangebracht ligt een keuze voor PVC-P-folie, hoewel zonder meer geschikt, minder voor de hand.

*Afweging keuze folie: PVC-P-folie versus LLDPE- of VLDPE-folie*

LLDPE-folie betreft Lineair Low Density Poly Ethylene folie = lineair lage dichtheid polyetheenfolie

VLDPE-folie betreft Very Low Density Poly Ethylene folie = zeer lage dichtheid polyetheenfolie.

I.v.m. de meestal kritische lasomstandigheden (beperkt lasvenster) is VLDPE-folie en ook LDPE-folie met EVA flexibilisator niet aan te bevelen. Bovendien betreffen het vaak kleine (rest-)partijen. In de verdere vergelijking wordt deze folie daarom niet meer meegenomen.

#### **Conclusie:**

VLDPE-folie en een LDPE-folie met EVA (Ethyl Vinyl Acetaat) flexibilisator niet toepassen voor wegbouwkundige constructies

*Vergelijking van materiaaleigenschappen van beide folietypen:*

Gelet op de materiaaleigenschappen zijn de volgende verschillen aan te geven:

Bij waardering + is LLDPE-folie beter dan PVC-P-folie

Bij waardering - is LLDPE-folie slechter dan PVC-P-folie

- + de mechanische eigenschappen, met name de doorscheursterkte, ponssterkte en biaxiale rek van LLDPE-folie zijn beter dan die van PVC-P-folie;





- + de chemische resistentie van LLDPE-folie is ook wat gunstiger dan PVC-P-folie. PVC-P-folie is met name gevoelig voor aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen;
- + PVC-P-folie voldoet minder aan te stellen milieutechnische eisen dit i.v.m. de toevoeging van chloor bij de fabricage en de (zeer lichte) uitloging van de weekmaker in de tijd;
- + voor wat betreft microbiologische aantasting door bodembacteriën en schimmels en de macrobiologische aantasting door knaagdieren, wortelgroei van planten/struiken e.d. is PE-beter bestand dan PVC-P;
- + PE-folie in zijn algemeenheid is beter bestand tegen koude dan PVC-P-folie;
- PVC-P-folie is daarentegen wat soepeler dan LLDPE-folie, zodat het gemakkelijker verschilzettingen op kan vangen;
- PVC-P-folie is zowel te lassen als te verlijmen wat onder bepaalde omstandigheden een voordeel kan zijn. LLDPE-folie is niet te verlijmen, alleen te lassen.

*Uitvoering:*

- ++ Een belangrijk voordeel van LLDPE-folie t.o.v. PVC-P-folie bij de uitvoering is dat de foliebanen van LLDPE-folie beduidend breder kunnen worden uitgevoerd dan die van PVC-P-folie, zodat veel minder lassen nodig zijn. Ter vergelijking:

breedte foliebanen van LLDPE-folie: ca. 6 tot 10 m

breedte foliebanen van PVC-P-folie: ca. 2 m

Gelet op de uitvoeringswijze - folieconstructie aanbrengen in den droge - en op grond van:

- gunstiger uitvoeringsvoorwaarden - minder lassen - i.v.m. een grotere beschikbare breedte van de foliebanen;
- de betere mechanische eigenschappen;
- de betere chemische resistentie tegen chemische invloeden;
- het beter bestand zijn tegen micro- en macro-biologische invloeden;
- het beter voldoen aan te stellen milieueisen;

is de keuze voor de folieconstructie voor voornoemd werk (verdiepte ligging Son) gevallen op het toepassen van: LLDPE-folie.

**Conclusie:**

Aanbeveling folieconstructie voor civiele toepassing bij verdiepte wegen bij uitvoering in den droge: LLDPE-folie

Gelet op de uitvoeringswijze - folieconstructie aanbrengen in den natte - en op grond van het feit dat:

- PVC-P-folie zowel te lassen als te verlijmen is. Bij calamiteiten en scheurvorming onder water zijn nog reparaties mogelijk d.m.v. verlijming hetgeen een voordeel is. LLDPE-folie is alleen te lassen. Bij scheurvorming onder water dient de folie te worden vervangen of dient er een geheel nieuwe folieconstructie te worden aangebracht.
- PVC-P-folie wat soepeler is dan LLDPE-folie, zodat het gemakkelijker verschilzettingen op kan vangen, hetgeen bij ontgravingen in den natte een gunstig aspect is. Hierdoor kan het profiel van de ontgraving beter worden gevolgd;

ligt de keuze voor een folieconstructie bij uitvoering in den natte bij het toepassen van: PVC-folie (met name de PVC-P-folie van drinkwaterkwaliteit).

**Conclusie:**



Aanbeveling folieconstructie voor civiele toepassing bij verdiepte wegen bij uitvoering in den natte: PVC-P-folie

- Een ander (milieu-)aspect is dat de folie bij voorkeur een (KIWA-)ATA-certificaat moet hebben. ATA=Attest Toxicologische Aspecten van de Commissie Gezondheidsaspecten Chemicaliën en Materialen Drinkwatervoorziening (C.G.C.M.D.). De keuring wordt meestal door de KIWA gedaan.
- Een folie met het ATA-certificaat geeft aan dat de folie geen giftige stoffen afgeeft t.o.v. zijn omgeving. De meeste folies door de Bouwdienst toegepast hadden dit certificaat. De PVC-P folie toegepast bij aquaduct Akkrum is bovendien van zgn. drinkwaterkwaliteit en mag dus zelfs in drinkwatergebieden worden toegepast. Ook de folie toegepast bij de verdiepte liggingen in de RW A50 Son en Sint-Oedenrode voldoen op dit punt aan hoge eisen, min of meer overeenkomend met de te stellen eisen volgens (KIWA-)ATA.

Aanbevolen wordt deze eis m.b.t. tot het ATA-aspect altijd in het contract op te nemen. Toekomstige veranderingen in het milieu zijn moeilijk te voorspellen. In het verleden was bijv. eternit een zeer goed product. Met de kennis van nu is het echter verboden. Het is beter dit te voorkomen door nu al deze eis te stellen onafhankelijk in welk milieu de folieconstructie gelegd wordt.





### 5.6.7.2 Aanbevelingen voor de foliedikte

De dikte van de bij de afdeling Tunnelbouw veel toegepaste PVC-P-folie bij in den natte aangebrachte folieconstructies varieerde tussen 0,8 mm (RW 27 Amelisweerd eerste werk), 1,0 mm (RW 32 Grouw) en maximaal 1,3 mm (RW 32 Akkrum en RW 73 Roertunnel) laatste werken.

De dikte kon hierbij niet veel verder meer worden opgevoerd:

- i.v.m. het zgn. "kalenderen" (op dikte brengen) van de PVC-P-folie uit één laag teneinde het lamineren van folies te vermijden; (bij een gelamineerde folie is de folie opgebouwd uit meerdere lagen en is er bij slechte fabricage de kans op delaminatie= het loslaten van de lagen onderling. Bij een goed vervaardigde gelamineerde folie is de kans op delaminatie gering. Het hechtoppervlak is groot en er wordt niet loodrecht op het oppervlak van de folie getrokken);
- tevens was een goede verwerkbaarheid/hanteerbaarheid in de fabriek belangrijk i.v.m. het omvangrijke lasprocedé door de relatief smalle banen PVC-P-folie (ca. 2m);
- en was het transportgewicht van het prefab gemaakte foliepakket van belang teneinde veldlassen (lassen in het werk) zoveel mogelijk te vermijden;
- de beschikbare lasmachines waren ook nog niet op grotere dikten ingesteld.

*Afweging dikte van de folie:*

Uit verschillend oogpunt is echter een wat dikkere folie over het algemeen te verkiezen boven een wat dunnere folie. De dikkere folie is hierbij:

waardering + = beter- = slechter

- + duurzamer;
- + beter bestand tegen mechanische invloeden;
- + beter bestand tegen chemische invloeden;
- + beter bestand tegen biologische invloeden;
- + beter lasbaar, wat vooral in het werk van belang is;
- minder hanteerbaar met mankracht;
- soepelheid is meestal ook wat minder, van belang i.v.m. vervormingen
- geeft bij grotere dikte een groter transportgewicht en bij een gelijkblijvend transportgewicht meer veldlassen;
- duurder;

Indien permeabiliteit van stoffen moet worden tegengegaan en duurzaamheid een belangrijke voorwaarde is, is de dikte van de folie dus belangrijk. Hoe meer materiaal (dikte) hoe beter.

De Bouwdienst Rijkswaterstaat streeft bovendien naar duurzaam (lange levensduur) te bouwen.

De keerzijde is echter in het algemeen enige vermindering van de soepelheid en de overige met – gewaardeerde eigenschappen.

*Bijkomende aspecten:*

Bij het uit te voeren werk ligt het voor de hand uit te gaan van zo breed mogelijke foliebanen teneinde lassen van foliebanen zoveel mogelijk te beperken.

Tevens ligt het voor de hand, gezien de grote hoeveelheden te verwerken folie, dat de folie zoveel mogelijk machinaal zal worden gelegd.

Gezien de grootte van het werk en de tijdsdruk die er op het werk ligt biedt een dikkere folie vanuit dat oogpunt bezien meer zekerheid tegen beschadiging met mogelijk gepaard gaande lekkage dan een dunnere folie.



Een dikkere folie is bovendien beter lasbaar wat bij uitvoering van lassen in het werk van belang is, vooral gezien het lastiger werken op de taluds van de ingraving. Bij relatief dunne folies LLDPE van bijv. 1 mm kan bij warm weer gedurende bepaalde warme delen van de dag niet gelast worden. Dit moet worden vermeden zeker gezien de grootte van het werk.

Op grond van voorgaande overwegingen en in het kader van duurzaam bouwen is er een duidelijke voorkeur uit te spreken voor een wat dikkere folie bijv. 1,5 mm boven een dunnere (goedkopere) folie van 1,2 mm. Het prijsverschil is ook klein. Een wat dikkere folie compenseert ook enigermate in algemene zin de achteruitgang in zekerheid tegen aantasting van mogelijke schadelijke stoffen bij calamiteiten. De meerkosten voor een dikkere folie 1,5 mm i.p.v. 1,2 mm zijn relatief gering. Verschil tussen 1 en 1,5 mm folie ca. fl. 0,75/m<sup>2</sup> en tussen 1,2 en 1,5 mm folie ca. fl. 0,50m<sup>2</sup>. Prijspeil 1999. (bedragen zijn in gulden!)

De benodigde hoeveelheid folie bij omlegging Son bedroeg ca. 240.000 m<sup>2</sup>. Meerkosten ca. 240.000x fl. 0,50= fl. 120.000. Op zich een geringe extra investering gezien de risico's bij stagnatie in de voortgang bij warm weer en een kwalitatief betere constructie.

In Denemarken is blijkens informatie LLDPE toegepast van 2 mm (als alternatief op HDPE 2 mm) zonder problemen in het veld. De LLDPE-folie is in het werk gelast. Geleverde breedten in het onderhavige geval door de fa. Genap 7 m en 9,30 m. Een van beide breedten folie was voorts gecertificeerd.

**Conclusie:**

PVC-P-folie i.v.m. het kalenderen van banen minimaal dik 1,3 mm. Mochten grotere niet gelamineerde dikten mogelijk zijn, en er ook lasmachines zijn die dit aankunnen, heeft een iets grotere dikte de voorkeur. Bij eventueel gelamineerde dikkere folies laten aantonen dat er geen delaminatie van lagen optreedt. Een niet gelamineerde folie van gelijke dikte heeft echter de voorkeur.

LLDPE-folie: dikte 1,5 mm tot 2 mm afhankelijk van de toepassing.







### 5.6.7.3 **Aanbevolen lasmethoden/ligging van de lassen/controle van de lassen**

Aanbevolen lasmethode voor lassen in het werk: zgn. kanaallas altijd voorschrijven. Het betreft in principe twee lassen met een luchtkanaal er tussen aangebracht volgens de zgn. Heizkeil-methode (hete bout-methode). Dit luchtkanaal wordt onder een vooraf bepaalde druk gebracht ter controle van de waterdichtheid en de mechanische eigenschappen. De overige lassen o.a. extrusie- en hete luchtlassen zijn reparatielassen, in die gevallen toepasbaar waarbij door de aard van de omstandigheden kanaallassen niet mogelijk zijn;

Ligging van de lassen: in principe altijd loodrecht op de teen van het talud. Het geeft bij taludafschuivingen de minste kans op scheurvorming in de folieconstructie. De las is het zwakste punt in de folieconstructie. Indien dit om uitvoeringstechnische en zwaarwegende redenen niet mogelijk is, dan de las op een zodanige afstand uit de teen van het talud leggen richting as weg dat bij instabiliteit van het grondlichaam de (langs-)las buiten het af te schuiven gronddeel ligt (bijv. de las in de as van de rijksweg aanbrengen).

*Controle van de lassen*

Te onderscheiden in:

- Ingangscntrole van het materiaal (juiste folie);
- Prefablassen: het lassen van banen in de fabriek indien geconfectioneerde pakketten aangeleverd worden;
- Veldlassen of werklassen; het lassen van -eventueel aaneengelaste prefab-foliebanen in het veld;
- Reparatielassen (in het geval kanaallassen niet mogelijk zijn).

#### **Conclusie:**

Voor lassen in het werk altijd kanaallassen voorschrijven.

Lassen in principe loodrecht op de teen van het talud voorschrijven.

*Hoeveelheid controles:*

Minimale controle van de lassen per dagdeel, per lasser, per lasmachine en ingeval van gewijzigde lasomstandigheden en bij grote producties per x 100 m wegdeel (x afstemmen op de grootte van het werk).

Lascontroles zoals aangegeven in de protocollen.

De directie, los van de uitgevoerde controles, steekproefsgewijs ook controles laten uitvoeren.





**5.6.7.4 Lijst met technische begrippen****Afklempaat**

Stalen plaat bij klemconstructie in den droge die folie klemt tegen de klempaat

**Folieconstructie**

Waterkerende constructie waarbinnen een verdiepte wegconstructie kan worden aangelegd

Beëindiging folieconstructie aan bovenzijde onder het maaiveld

**Klemconstructie**

Onder water gelegen verbinding tussen folieconstructie en betonconstructie

**Klempaat**

Ingestorte stalen plaat bij klemconstructie in den droge

**LLDPE-folie**

LLDPE-folie is Lineair Low Density Poly Ethylene folie (lineair lage dichtheid polyetheenfolie)

**Polderpeil**

Waterstand binnen de folieconstructie

**PVC-P-folie**

PVC=Poly Vinyl Chloride

PVC-P-folie is PVC-folie met weekmaker en in zekere mate oliebestendig





### **5.6.7.5 Literatuurlijst / bronnen**

De volgende richtlijnen en handboeken zijn in dit hoofdstuk van toepassing:

- Handboek folieconstructies (CUR/COB-rapport M 311-01, augustus 1998)
- Eindrapportage werkgroep folieconstructies (Bouwdienst, september 1995)





## Inhoudsopgave Fundering

- 5.7.1 Inleiding
- 5.7.2 Paalfundering
  - 5.7.2.1 Prefab voorgespannen betonpalen (trek)
  - 5.7.2.2 Prefab voorgespannen betonpalen (druk)
  - 5.7.2.3 Vibropalen (trek)
  - 5.7.2.4 Vibropalen (druk)
  - 5.7.2.5 Vibrocombipalen (trek)
  - 5.7.2.6 Vibrocombipalen (druk)
  - 5.7.2.7 Stalen injectiepalen (M.V.-palen)
  - 5.7.2.8 GEWI anker (trek)
  - 5.7.2.9 Fundatie tunnelelement op buispalen (Op-perskoppen)
  - 5.7.2.10 Achtergronden paalfunderingen
- 5.7.3 Stempelconstructies en damwanden
  - 5.7.3.1 Stempeling m.b.v. buisprofielen
  - 5.7.3.2 Prefab stempelraam
- 5.7.4 Verankeringsconstructies damwanden
  - 5.7.4.1 Anker aansluiting tussen gording achter damwand
  - 5.7.4.2 Anker aansluiting voor gording voor damwand
  - 5.7.4.3 Anker aansluiting in damwandkas
  - 5.7.4.4 Verbinding gording-damwand en ondersteuning gording
  - 5.7.4.5 Koppeling gordingen
  - 5.7.4.6 Verankering damwanden in onderwaterbeton
- 5.7.5 Damwandsloten
  - 5.7.5.1 Waterdichting damwandsloten
  - 5.7.5.2 Slotverklikkers
- 5.7.6 Groutankers
  - 5.7.6.1 Aansluiting t.p.v. damwanden (combiwanden)
  - 5.7.6.2 Aansluiting t.p.v. damwanden (U en Z profielen)
  - 5.7.6.3 Aansluiting t.p.v. diepwanden
  - 5.7.6.4 Aansluiting t.p.v. betonnen vloeren
- 5.7.7 Cement-bentonietwand en diepwanden
  - 5.7.7.1 Prefab geleidebalken
  - 5.7.7.2 In het werk gestorte geleidebalken
  - 5.7.7.3 Aansluiting cement-bentonietwand met diepwand
  - 5.7.7.4 Hoekoplossing diepwanden
  - 5.7.7.5 Voeg tussen twee cement-bentonietwandpanelen
  - 5.7.7.6 Voeg tussen twee diepwandpanelen (zonder voegstrip)
  - 5.7.7.7 Voeg tussen twee diepwandpanelen (met voegstrip)
  - 5.7.7.8 Afwerken bovenzijde diepwand
- 5.7.8 Cement-bentonietwand met waterkerende kern
  - 5.7.8.1 Cement-bentonietwand met damwand
  - 5.7.8.2 Cement-bentonietwand met waterremmende kern
  - 5.7.8.3 Voeg tussen twee foliepanelen
  - 5.7.8.4 Nood- / weekendvoeg tussen twee foliepanelen
  - 5.7.8.5 Overgang damwandkern-foliekern
- 5.7.9 Fundering tunnelelementen
  - 5.7.9.1 Onderstroming van tunnelelementen
  - 5.7.9.2 Tunnelelementen gefundeerd op grind
- 5.7.10 Diversen



---

Tunneldetails

5.7.10.1 Lijst met technische begrippen



## **5.7 FUNDERING**

### **5.7.1 Inleiding**

Dit hoofdstuk heeft betrekking op funderings- en wandconstructies van tunnels, aquaducten en verdiepte liggingen.

Omdat er zeer veel verschillende mogelijkheden zijn voor het maken van funderingen en wandconstructies, geeft dit hoofdstuk slechts een overzicht van de meest gebruikte constructies bij tunnels, aquaducten en verdiepte liggingen.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

definitief : maart 1993

1<sup>e</sup> herziening : juli 1995

2<sup>e</sup> herziening : december 2000

3<sup>e</sup> herziening : januari 2005







### **5.7.2 Paalfundering**

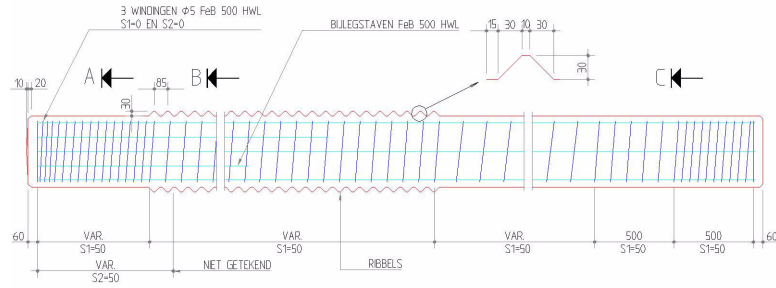
Aangezien niet van alle paaltypen details kunnen worden gegeven is gekozen voor enkele paaltypen die bij tunnelbouw veel worden toegepast bij het ontwerp van tunnels; te weten:

- Prefab voorgespannen betonpalen( vk 300, vk 320, vk 400, vk 450)
- Vibro-palen
- Vibro-combi-palen
- M.V.-palen
- GEWI-palen

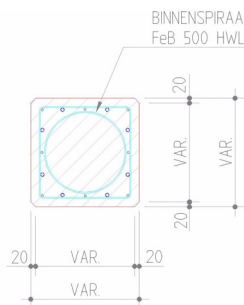
Voor het afzinken van tunnelelementen op buispalen is een speciale voorziening opgenomen: de op-perskop.

Veel aannemers hebben eigen methodes ontwikkeld voor wat betreft de uitvoering van specifieke paaltypen. Voor details wordt dan ook verwezen naar de betreffende documentatie.

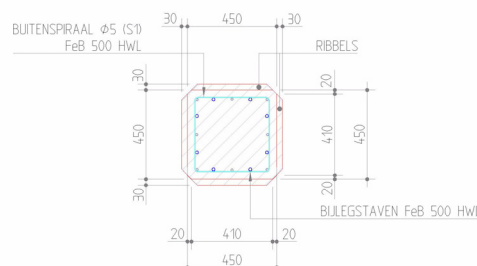
Aardbevingsgevoelige gebieden in Nederland hebben geen invloed op de fundering.



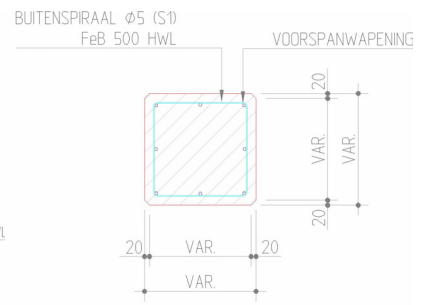
VOORGESPANNEN BETONPAAL



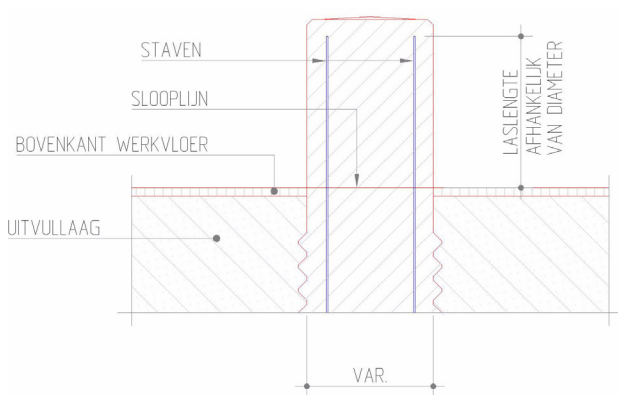
DOORSNEDE A



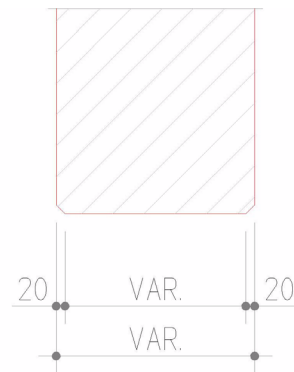
DOORSNEDE B



DOORSNEDE C



DETAIL PAALKOP



DETAIL PAALPUNT



### 5.7.2.1 Prefab voorgespannen betonpalen (trek)

**Functie:**

Verankering van betonconstructies tegen opdrijving.

**Toepassing:**

Betonconstructies die een opdrijvend vermogen hebben.

Bij bouwmethoden met en zonder bemaling.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van een prefab voorgespannen betonpaal, toegepast als trekpaal.

Als eis geldt dat de blijvende voorspanning het beton een bepaalde minimale drukspanning dient te geven. Deze blijvende voorspandruk is afhankelijk van de paaldoorsnede en de trekkracht.

Indien onderwaterbeton wordt toegepast moet de paalkop worden voorzien van ribbels aan 3 zijkanten.

De afmetingen van de ribbels zijn door onderzoek "De optimalisering van de ribbelpaal", gepubliceerd in Cement 1995/12, vastgesteld en staan op de hiernaast afgebeelde tekening.

De paalkop wordt tot op werkvloer niveau gesloopt en de wapening wordt opgenomen in de constructievloer (zowel de bijlegstaven als de voorspanstrengen).

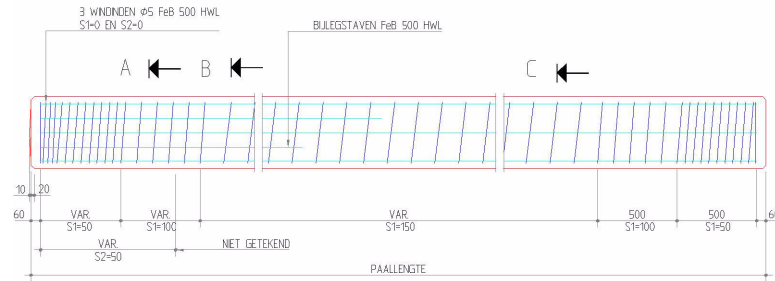
Het aantal en de diameter van de bijlegstaven zijn afhankelijk van de paalkracht in combinatie met het paalmoment en wordt door de constructeur bepaald.

**Motivering:**

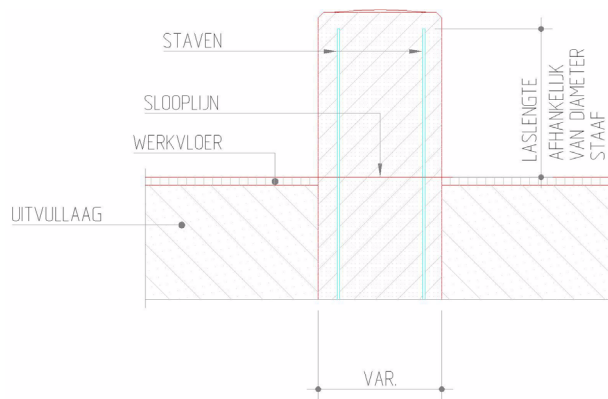
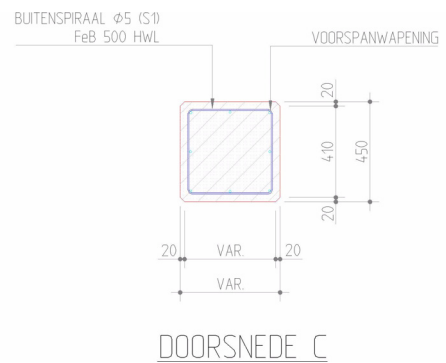
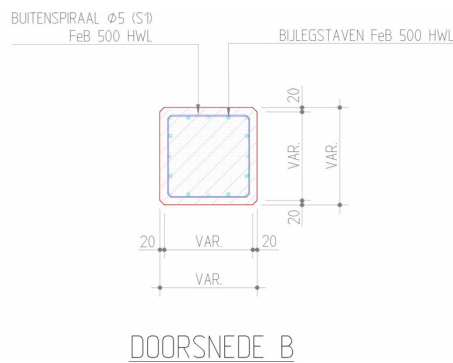
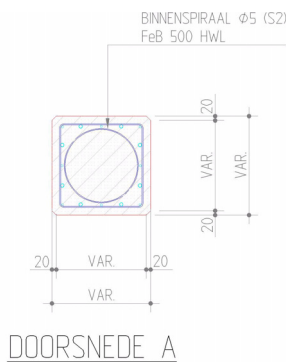
De paal dient opgenomen te worden in de constructievloer zodat de trekbelasting, door het opdrijvend vermogen van de constructie, via de constructievloer naar de trekpalen kan worden overgebracht.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



**VOORGESPANNEN BETONPAAL** (DRUKPAAL)  
 S1 = SPOED BUITENSPIRAAL  
 S2 = SPOED BINNENSPIRAAL



**DETAIL PAALKOP**



### 5.7.2.2 Prefab voorgespannen betonpalen (druk)

**Functie:**

Het overbrengen van de belasting naar draagkrachtige lagen.

**Toepassing:**

Bij betonconstructies die niet rechtstreeks op de onderliggende grondslag gefundeerd kunnen worden.

Bij bouwmethoden met en zonder bemaling.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van een prefab voorgespannen betonpaal, toegepast als drukpaal.

In drukpalen met de blijvende voorspandruk  $s'_{bw}$  in het beton tenminste  $4,5 \text{ N/mm}^2$  zijn.

Als eis geldt dat de blijvende voorspanning het beton een bepaalde minimale drukwapening dient te geven.

De paalkop wordt tot op werkvloer niveau gesloopt en de wapening wordt opgenomen in het constructiebeton.

Op stuit belaste palen worden niet voorzien van een punt.

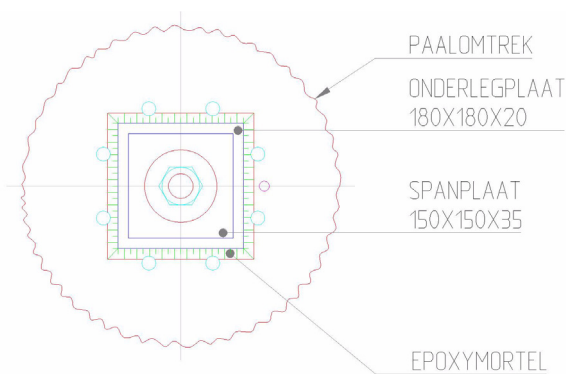
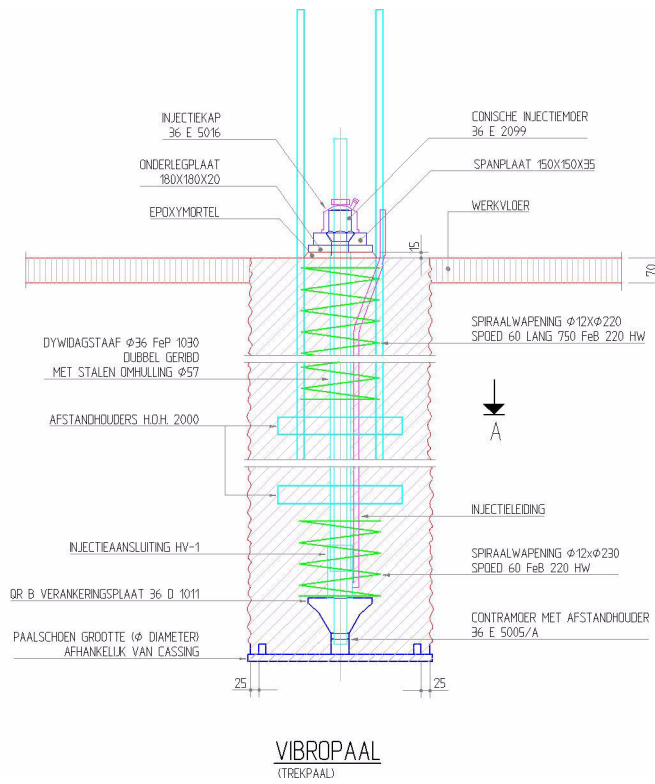
Wordt er grote negatieve kleeft verwacht dan kunnen de palen voorzien worden van een glijdlaag (b.v. bitumen). Nadeel hiervan zijn de hoge kosten en de temperatuurgevoeligheid.

**Motivering:**

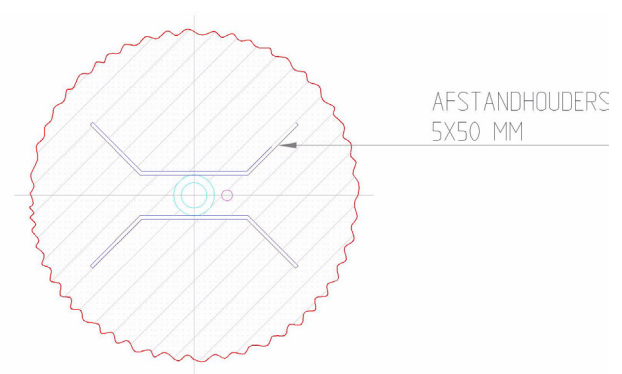
De paal dient opgenomen te worden in de constructievloer zodat de drukbelasting via de constructievloer naar de palen kan worden overgebracht.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A



### 5.7.2.3 Vibropalen (trek)

**Functie:**

Verankering van betonconstructies tegen opdrijven.

**Toepassing:**

Betonconstructies die een opdrijvend vermogen hebben en waarbij tijdens de bouw bemaling wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op het maaiveld wordt een stalen paalschoen met een rubberen manchets, voor de waterdichting, gelegd. Een stalen buis wordt op de paalschoen geplaatst, verticaal gesteld en in de grond geheid. Op diepte gekomen wordt gecontroleerd of er geen grond of water is binnengedrongen\*.

Vervolgens wordt de dywidagstaaf inclusief wapening en afstand-houders, etc. in de buis afgehangen en wordt de buis volgestort met beton. Daarna wordt de buis heidend getrokken, waarbij het beton verdicht en gelijktijdig een ruw oppervlak gecreëerd wordt. Na het verharden van het beton wordt de spanplaat aangebracht en wordt de dywidagstaaf gespannen en de kop geïnjecteerd.

De stekken zorgen voor de verankering in de betonconstructie.

Afmetingen van de diverse onderdelen zijn afhankelijk van de diameter en de kwaliteit van het voorspanstaal en van de betonkwaliteit. Voor achtergronden zie doc. SATO-92-5-641.

De betonkwaliteit van B35 is goed te verwezenlijken.

\* Indien er wel water in de stalen buis bevindt dient deze paal afgekeurd te worden. Een oplossing zou kunnen zijn om dan toch de buis te vullen met het grout. Nadat het grout een beetje verhard is kan er een stalen paalschoen op het groutkolom gelegd worden en deze met een stalen buis alsnog op diepte geslagen worden. Op deze wijze is er geen ontmenging daar waar de krachten zo groot zijn.

**Motivering:**

Bij deze methode wordt op de paal afgespannen. De onderbouwing van de keuze voor deze methode is vastgelegd in "Vibropalen, vergelijkend onderzoek" (documentnummer SATO-92-5-643 in onderzoek bij O.T.).

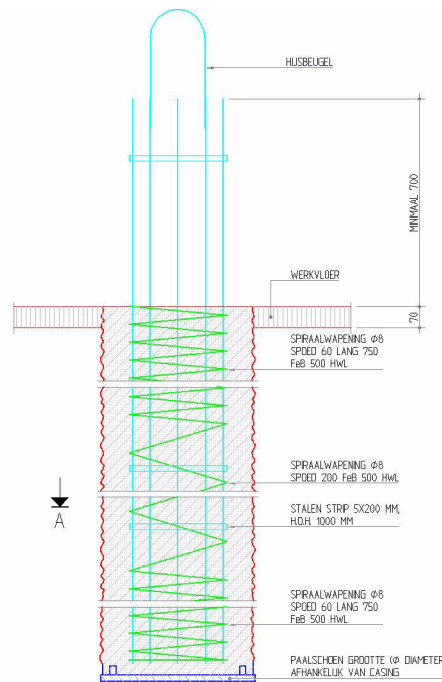
Vibropalen kunnen t.g.v. het ruwe schachtoppervlak grote trekkrachten opnemen.

Een voordeel van vibropalen is dat ze gemakkelijker dan andere palen door puin en grondslagen met grote weerstand geheid kunnen worden. Hiertoe kunnen de stalen buizen eventueel voorzien worden van een stalen punt.

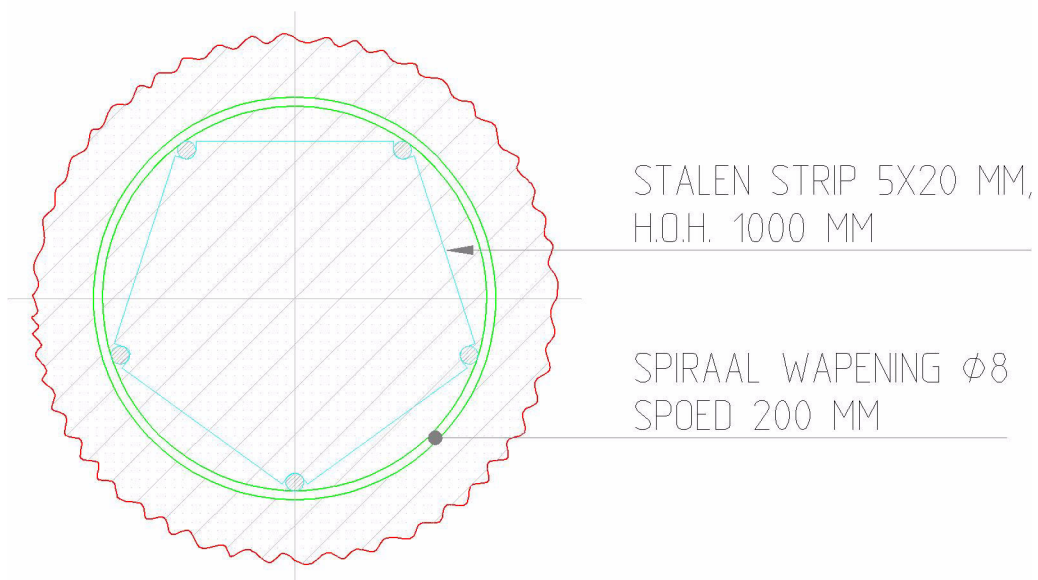
**Conservering:**

Niet van toepassing.





VIBROPAAL  
(DRUKPAAL)



DOORSNEDE A



#### 5.7.2.4 Vibropalen (druk)

**Functie:**

Fundering t.b.v. betonconstructie.

**Toepassing:**

Betonconstructies die niet rechtstreeks op de onderliggende grondslag gefundeerd kunnen worden en waarbij tijdens de bouw bemaling wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op het maaiveld wordt een stalen paalschoen met een rubberen manchet voor de waterdichting gelegd. Een stalen buis wordt op de paalschoen geplaatst, verticaal gesteld en de grond in geheid. Op diepte gekomen wordt gecontroleerd of er geen grond of water is binnengedrongen\* (zie opmerking 5.7.2.3).

Daarna wordt de buis heidend getrokken, waarbij het beton verdicht en gelijktijdig een ruwe oppervlak gecreëerd wordt. Na het verharden van het beton wordt de spanplaat aangebracht en wordt de dywidagstaaf gespannen en geïnjecteerd. De stekken zorgen voor de verankering in de betonconstructie.

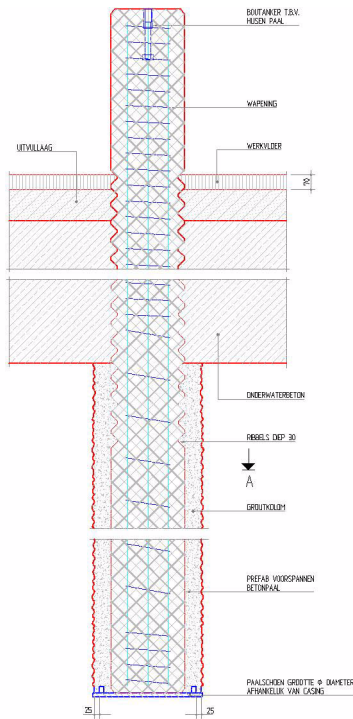
**Motivering:**

Ondanks dat het puntdraagvermogen van de drukpaal maatgevend is, bezitten vibropalen een extra opnemend vermogen door het ruwe schachtoppervlak. Let op bij neg kleef is juist een afnemend draag vermogen het gevolg.

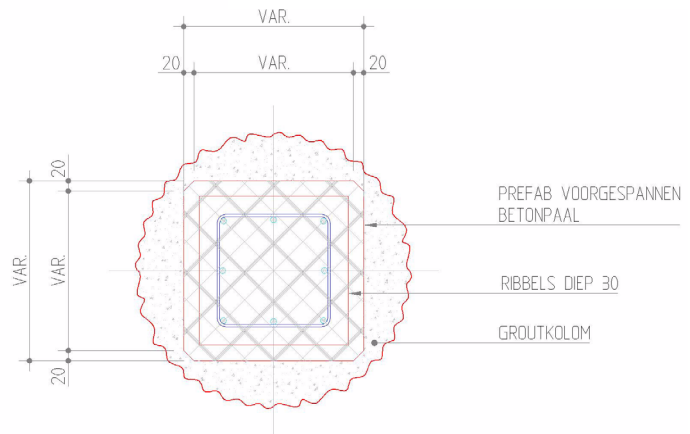
Een voordeel van vibropalen is dat ze gemakkelijker door puin en grondslagen met grote weerstand geheid kunnen worden. Hiertoe kunnen de stalen buizen eventueel voorzien worden van een stalen punt.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



**VIBROCOMBINATIEPAAL**  
(TREFPAAL)



**DOORSNEDE A**



### 5.7.2.5 Vibrocombipalen (trek)

**Functie:**

Verankering van betonconstructies tegen opdrijving.

**Toepassing:**

Betonconstructies, die een opdrijvend vermogen hebben en waarbij tijdens de bouw bemaling wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op het maaiveld wordt een stalen paalschoen met een rubberen manchets voor de waterdichting gelegd. Een stalen buis wordt op de paalschoen geplaatst, verticaal gesteld en in de grond geheid. Op diepte gekomen wordt gecontroleerd of er geen grond of water is binnengedrongen\* (zie opmerking 5.7.2.3).

Daarna wordt een prefab voorgespannen betonpaal in de buis afgehangen. De buis wordt vervolgens gevuld met grout en gelijktijdig pulserend getrokken, waarbij het grout verdicht wordt en enigszins in de grondporiën dringt. De stekken, die fabrieksmatig reeds vrij uitsteken aan de kopzijde van de paal, dan wel na koppensnellen vrijgemaakt kunnen worden, zorgen voor verankering in de constructievloer. Ter voorkoming van een grote wateropname door de paal uit het grout, wordt de paal voor het inhangen goed nat gemaakt. Ook zonder opruwen van de paalschacht d.m.v. boucharderen, cementhuid verwijderen, borstelen dan wel het aanbrenge van noppenplaat is de hechting ruim voldoende om de benodigde schuifspanningen in dit vlak over te dragen.

Afmetingen van de stalen buis worden bepaald door de toe te passen prefab paal en de zwaarte van heien.

Een afstand van 15 mm van paal tot stalen buis dient i.v.m. toleranties minimaal te worden aangehouden.

**Motivering:**

Door deze methode, waarbij de paal fabrieksmatig onder geconditioneerde omstandigheden wordt vervaardigd, wordt de paalwapening blijvend optimaal omhuld en geconserveerd.

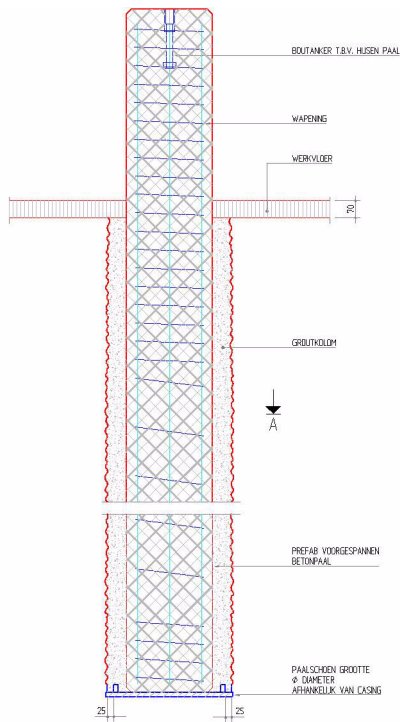
Doordat de kernpaal niet heidend wordt ingebracht en deze door de voorspanning permanent onder druk staat, wordt scheurvorming nagenoeg voorkomen.

Ten gevolge van het ruwe schachtoppervlak kunnen de palen grote trekkrachten opnemen.

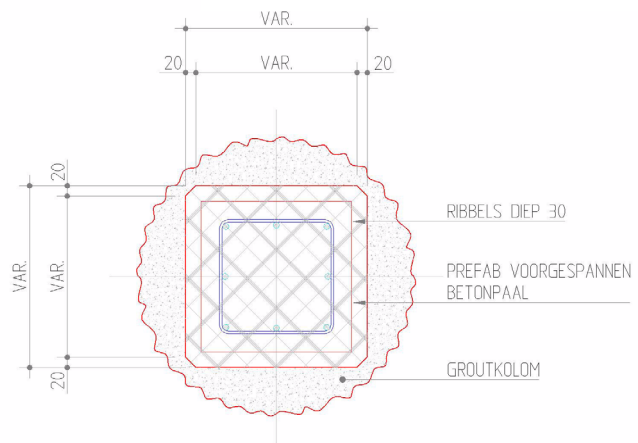
Een voordeel van dit type paal is verder, dat deze gemakkelijker door puin en grondslagen met grote weerstand geheid kunnen worden zonder de kernpaal te beschadigen of door heitruillingen te belasten. Eventueel kan de stalen buis van een puntvormige schoen worden voorzien.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



VIBROCOMBINATIEPAAL



DOORSNEDE A



### 5.7.2.6 Vibrocombipalen (druk)

**Functie:**

Fundering t.b.v. betonconstructies.

**Toepassing:**

Betonconstructies die niet rechtstreeks op de onderliggende grondslag gefundeerd kunnen worden en waarbij tijdens de bouw bemaling wordt toegepast.

**Detailontwerp:**

Op het maaiveld wordt een stalen paalschoen met een rubberen manchets voor de waterdichting gelegd. Een stalen buis wordt op de paalschoen geplaatst, verticaal gesteld en in de grond geheid. Op diepte gekomen wordt gecontroleerd of er geen grond of water is binnengedrongen\* (zie opmerking 5.7.2.3).

Daarna wordt een prefab voorgespannen betonpaal in de buis afgehangen. De buis wordt vervolgens gevuld met grout en gelijktijdig pulserend getrokken, waarbij het grout verdicht wordt en enigszins in de grondporiën dringt. De stekken, die fabrieksmatig reeds vrij uitsteken aan de kopzijde van de paal, dan wel na koppensnellen vrijgemaakt kunnen worden, worden in de constructievloer opgenomen. Ter voorkoming van een grote wateropname door de paal uit het grout, wordt de paal voor het inhangen goed nat gemaakt. Ook zonder opruwen van de paalschacht d.m.v. boucharderen, cementhuid verwijderen, borstelen dan wel het aanbrenge van noppenplaat is de hechting ruim voldoende om de benodigde schuifspanningen in dit vlak over te dragen.

Afmeting van de stalen buis wordt bepaald door de toe te passen prefab paal en de heikbaarheid.

Een afstand van 15 mm van paal tot stalen buis dient i.v.m. toleranties minimaal te worden aangehouden.

**Motivering:**

Door deze methode, waarbij de paal fabrieksmatig onder geconditioneerde omstandigheden wordt vervaardigd, wordt de paalwapening blijvend optimaal omhuld en geconserveerd.

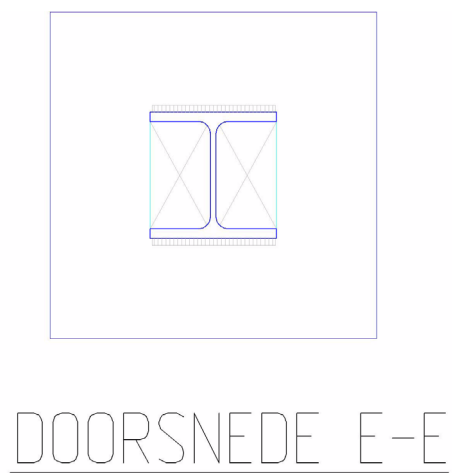
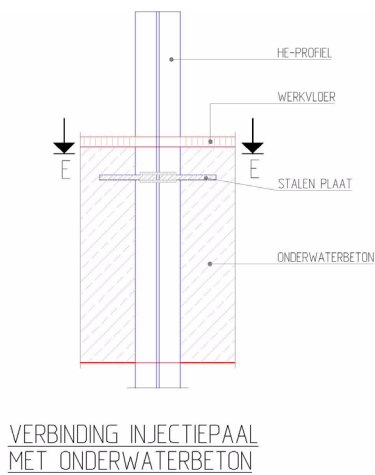
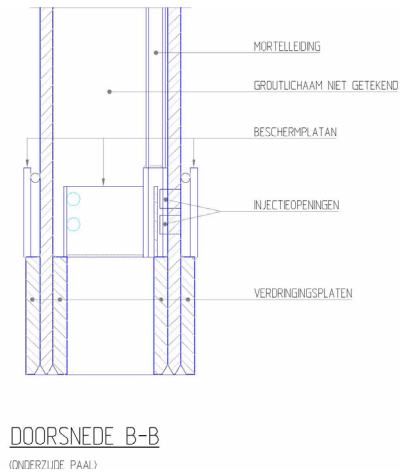
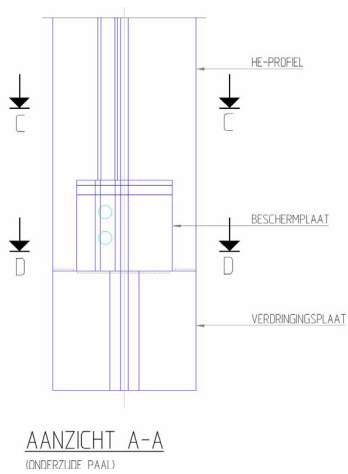
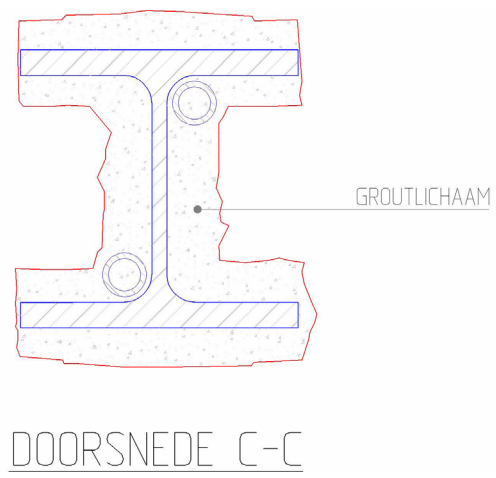
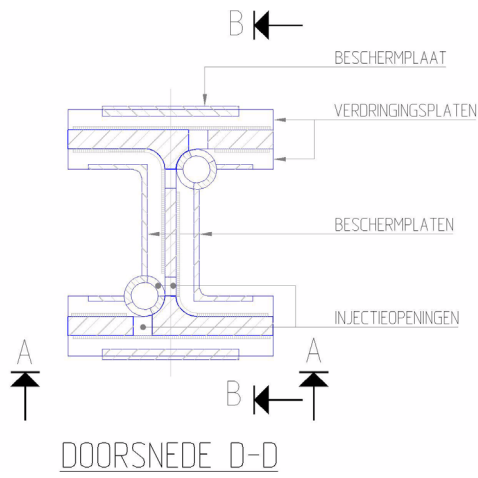
Doordat de kernpaal niet heidend wordt ingebracht en deze door de voorspanning permanent onder druk staat, wordt scheurvorming nagenoeg voorkomen.

Ten gevolge van het ruwe schachtoppervlak kunnen de palen d.m.v. kleef grote drukkrachten opnemen.

Een voordeel van dit type paal is verder, dat deze gemakkelijker door puin en grondslagen met grote weerstand geheid kunnen worden zonder de kernpaal te beschadigen of door heitruillingen te belasten. Eventueel kan de stalen buis van een puntvormige schoen worden voorzien.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.2.7 Stalen injectiepalen (M.V.-palen)

**Functie:**

Verankering van betonconstructies tegen opdrijving.

**Toepassing:**

Betonconstructies die een opdrijvend vermogen hebben.

Bij bouwmethoden met en zonder bemaling.

**Detailontwerp:**

Een stalen injectiepaal bestaat uit een HE-profiel met opgelaste verdringingsplaten t.p.v. de paalvoet. Tijdens het inheien van de stalen paal wordt t.p.v. de verdringingsplaten een ruimte om de plaat gecreëerd, die geïnjecteerd wordt met injectiemortel. Het injecteren gebeurt via 2 langs de paal gelaste mortelleidingen die vlak boven de verdringingsplaten een opening hebben. Deze injectie-openingen worden voorzien van beschermplaten zodat ze niet verstopt raken met grond. Op deze manier ontstaat om de paal een mortelschil. T.b.v. de aanhechting tussen de palen en onderwaterbeton worden de palen voorzien van een stalen plaat. Bij grote trekkrachten in de paal is het noodzakelijk de onderwaterbeton te voorzien van ponswapening.

Om slibinsluiting t.g.v. het storten van het onderwaterbeton te beperken wordt de paal zo geheid dat het lijf van het HE-profiel evenwijdig is aan de stortrichting.

**Motivering:**

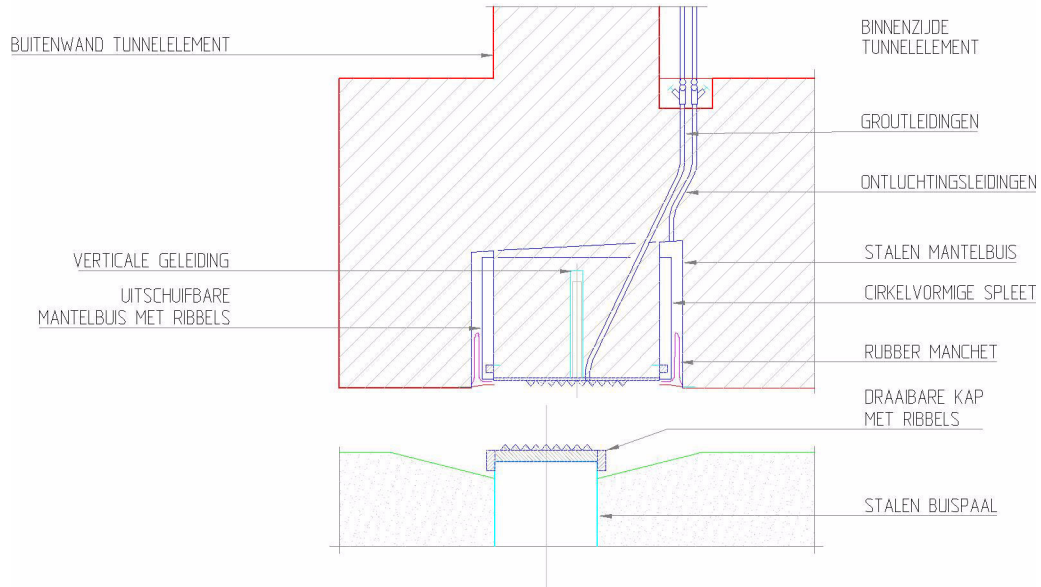
Stalen injectiepalen kunnen zeer grote trekkrachten opnemen (1000-1200 kN). Dit is mogelijk door de grote staaldoorsnede en het hoge penetratievermogen van de profielen, waardoor zeer lange palen gemaakt kunnen worden (30-50 m).

De keuze van het staalprofiel wordt bepaald aan de hand van de benodigde staaldoorsnede, waarbij rekening gehouden moet worden met de verlenging van de stalen paal en heitechnische overwegingen.

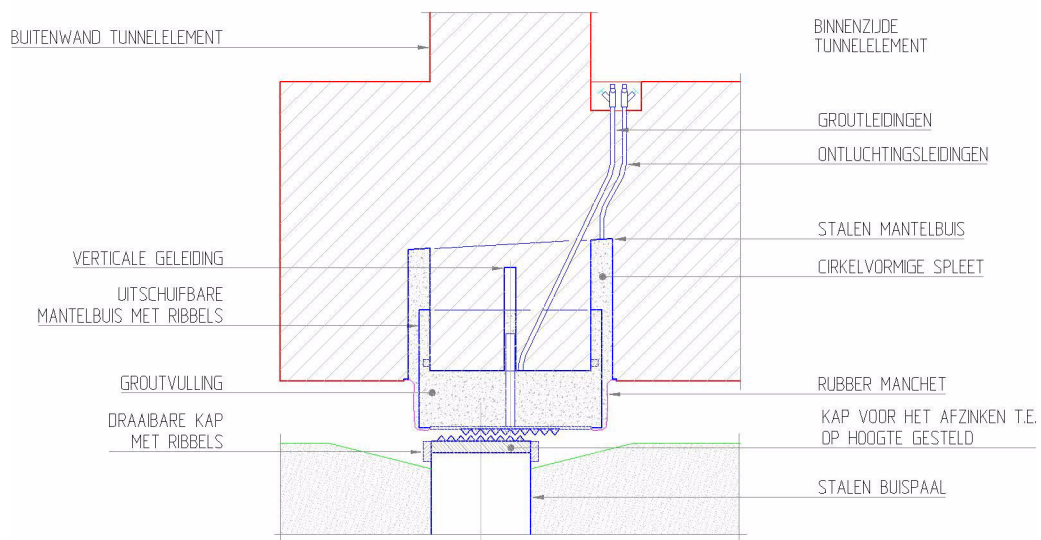
**Conservering:**

Niet van toepassing.





VOOR UITSCHUIVEN



NA UITSCHUIVEN



### 5.7.2.8 GEWI anker (trek)

**Functie:**

Verankering van betonconstructies tegen opdrijving.

**Toepassing:**

Betonconstructies, die een opdrijvend vermogen hebben.

Bij bouwmethoden met en zonder bemaling.

**Detailontwerp:**

Vanaf het maaiveld wordt een gat tot op diepte geboord. Vervolgens wordt het GEWI-anker voorzien van een beschermend omhulsel in het gat neergelaten. Daarna wordt bij het terugtrekken van de boorbuis het gat geïnjecteerd met grout. Indien onderwaterbeton wordt toegepast worden de ankerplaten met een contraoer door duikers op hoogte gedraaid. Na het droogzetten van de bouwkuip kunnen de GEWI-ankers verlengd worden en zodoende worden opgenomen in het constructie beton.

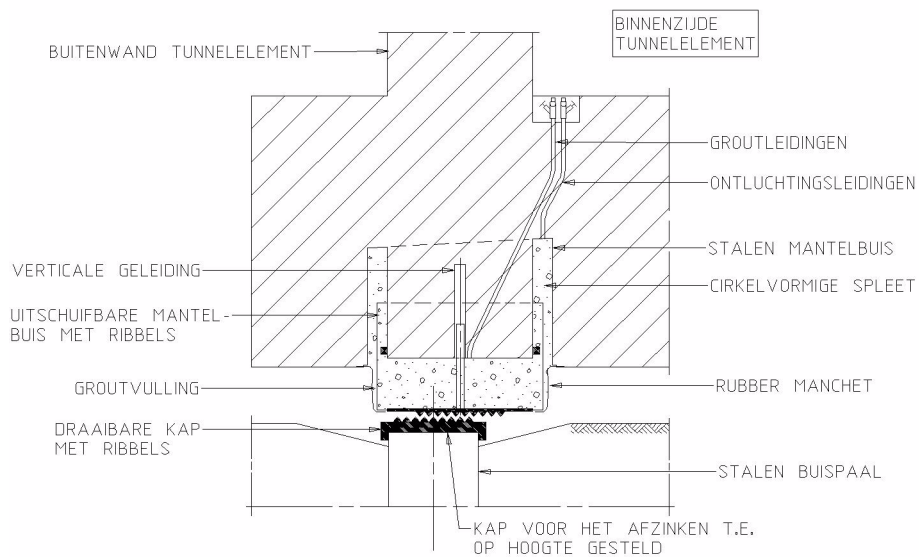
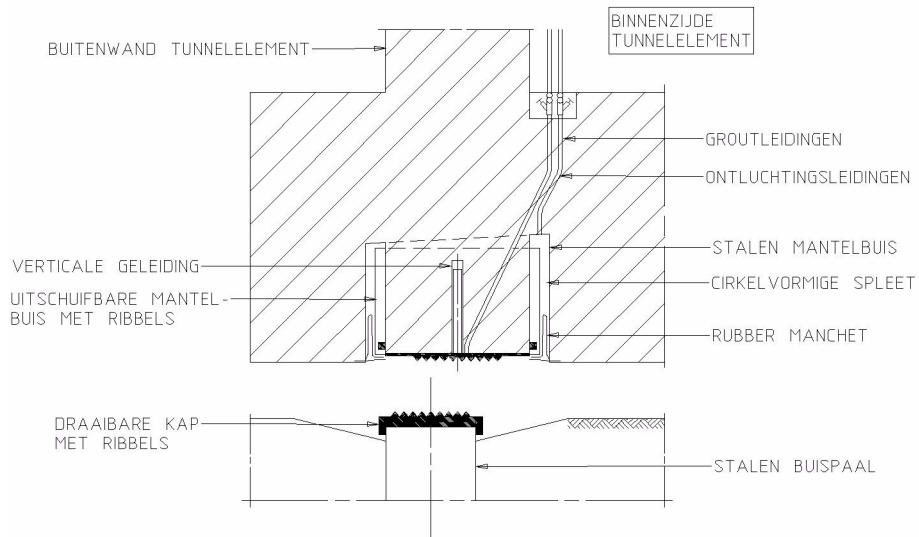
**Motivering:**

Deze funderingstechniek is nog redelijk onbekend voor de Bouwdienst. Toch zijn de GEWI-ankers met succes toegepast bij diverse kunstwerken.

Een groot voordeel is dat de GEWI-ankers redelijk snel zijn aan te brengen. Een ander voordeel van dit type anker is dat deze goed in rotsvormige bodem kan worden gebruikt.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.2.9 Fundatie tunnelement op buispalen (Op-perskoppen)

**Functie:**

Fundering t.b.v. afgezonken tunnelementen.

**Toepassing:**

Indien een draagkrachtige grondlaag ontbreekt, waardoor het onderstromen als fundering niet mogelijk is.

**Detailontwerp:**

De stalen buispalen zijn voorzien van een draaibare kap met ribbels  $\varnothing 20$ .

In de vloer van de tunnelementen zijn zgn. op-perskoppen ingestort, bestaande uit een binnenbuis, verankerd in het beton en een beweegbare mantelbuis  $\varnothing 1050$ , eveneens voorzien van ribbels  $\varnothing 20$ . Deze zijn met elkaar verbonden d.m.v. een rubberen manchet.

Voordat het tunnelement wordt afgezonken worden de deksels van de buispalen zo gedraaid dat de ribbels evenwijdig aan de as van de tunnel komt te liggen.

Vervolgens wordt het tunnelement op zijn hulpsteunpunten afgezonken en laat men de mantelbuis op de deksel zakken. Zodanig dat de ribbels in elkaar vallen. De ruimte tussen de mantelbuis en de vloer wordt geïnjecteerd met grout.

**Motivering:**

M.b.v. deze constructie kunnen de maattoleranties in alle richtingen worden opgevangen. Behalve de verticale neerwaarts gerichte belasting moet de verbinding ook een dwarskracht kunnen overbrengen. Deze dwarskracht wordt veroorzaakt door de scheepvaart en het asymmetrisch aanvullen van de zinksleuf. Echter in de langsrichting moeten de tunnelementen vrij kunnen bewegen.

Het aanvullen van de zinksleuf dient met veel aandacht te geschieden daar er de op-perskoppen geen trek kunnen overbrengen.

Zie ook artikel in Cement 39<sup>e</sup> jaargang nr. 10 (oktober 1987).

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.2.10 Achtergronden paalfunderingen

Onder dit hoofdstuk vallen alle funderingspalen. Het gaat hierbij o.a. om heipalen, trekpalen, in de grond gevormde palen, etc. Er kan onderscheid gemaakt worden in de wijze waarop een paal uitgevoerd wordt en in de wijze van gebruik. Daarnaast kan een paal grondverdringend zijn of niet grondverdringend.

Het is niet de bedoeling om voor elke paal een lijst met kritische eigenschappen op te stellen.

Er zal worden volstaan met het benoemen van de voor- en nadelen van de meest gebruikte paaltypen. Helaas kan niet gegarandeerd worden dat alle voor- en nadelen benoemd zijn en / of op hun juiste waarde zijn ingeschat.

In eerste instantie wordt ingegaan op de voor ondergrondse civiele constructies meest voorkomende paaltypen die ook genoemd zijn in SATO deel 5, te weten:

- prefab voorgespannen betonnen trekpaal;
- prefab voorgespannen betonnen drukpaal;
- vibro-paal trek;
- vibro-paal druk;
- vibro combinatie paal trek;
- vibro combinatie paal druk.

Er wordt aandacht besteed aan een aantal ontwerp- en uitvoeringsaspecten van de verschillende paaltypen. Tevens worden de voor- en nadelen van de diverse paaltypen belicht.

Een zeer belangrijk onderdeel is de verbinding van de paal met de onderwaterbetonvloer en daarna de definitieve betonvloer. In de praktijk zijn vaak scheuren in de onderwater betonvloer geconstateerd. In het rapport "OWAScheuren" van dd. Maart 1992 van BV Articon en Bouwdienst RWS wordt getracht een theoretische onderbouwing te geven van het ontstaan van deze schuren. Waarbij ook gekeken is naar de interactie van de paal en de definitieve betonvloer.

#### **Prefab voorgespannen betonpaal (druk)**

##### **Algemeen**

Een paal die in de eindsituatie op druk belast wordt kan tijdens de uitvoering best op trek belast geweest zijn. Wanneer dit het geval is moet voorzien worden in een paal die beide functies kan vervullen. In onderstaande tekst worden alleen de randvoorwaarden genoemd verbonden aan een op druk belaste paal. Voor de trekfunctie zie trekpaal.

##### **Voordelen**

- de prefab drukpaal wordt veelvuldig toegepast hierdoor is er veel praktijkervaring;
- materiaal kwaliteit is vooraf op eenvoudige en betrouwbare wijze te controleren (iden trekpaal);
- het is mogelijk om bij een drukpaal een verzwaarde punt toe te passen. Hierdoor neemt het maximaal toelaatbare draagvermogen toe.

##### **Nadelen**

- bij zwaar heiwerk door b.v. puin of een hoog gelegen zandlaag is er een reële kans op paalbreuk en / of schade aan de paalkop.



- de trek golf die ontstaat bij zwaar heiwerk heeft tot gevolg dat de betonpaal op..... zin afmaken
- nadeel van een drukpaal met een verzwaarde punt is dat er geen zijdelingse steun is van de omringende grond waardoor er eerder breuk kan optreden (knik)
- door de ruimte langs de paal kan grondwatertransport ontstaan. Verschillende waterdrukken in de verschillende grondlagen kunnen langs de paal water gaan uitwisselen. Deze verstoring in de verticale grondwaterstromingen kan onwenselijk zijn voor de lokale waterhuishouding. Verandering in de geohydrologie kan dus bepalend zijn voor de eind keuze van het type paal;
- wanneer tijdens de uitvoering blijkt dat langere palen nodig zijn dan de ontwerp lengte, is het moeilijk om snel een nieuwe paal te krijgen die voldoet aan de gestelde eisen.

#### **Mogelijke oplossingen:**

- een te diep weggeslagen paal kan d.m.v. opstort verlengd worden tot de vereiste hoogte. Hiervoor moet de kop gesneld en de wapening verlengd worden. In het nieuwe gedeelte is dan geen voorspanning aanwezig, dit kan dus alleen bij palen die in alle situaties alleen maar op druk worden belast;

een andere oplossing kan zijn het plaatsen van meerdere palen i.p.v. een langere paal. Omdat er voor een werk vrijwel nooit reserve palen klaar liggen kan een kapot geslagen paal leveringsproblemen opleveren. Dit is zeker het geval bij een niet standaard paal welke speciaal voor het werk gemaakt moet worden.

#### **Prefab voorgespannen betonpalen (trek)**

##### **Voordelen**

- materiaal kwaliteit is vooraf op eenvoudige en betrouwbare wijze te controleren;
- de beton druksterkte en de blijvende voorspanning zijn voor het plaatsen van de paal bekend en te controleren;
- de dynamische belasting op de paal t.g.v. het heiwerk en de relatie sondering & slagdiagram biedt een betrouwbare referentie voor toekomstig trek en draagvermogen van de paal

##### **Nadelen**

- geen flexibiliteit t.a.v. de inheidiepte, indien het tijdens de uitvoering noodzakelijk wordt geacht dieper te heien is de paal te kort of de ribbels t.b.v. de aanhechting met het onderwaterbeton zitten op de verkeerde hoogte. Vaak zijn de palen niet standaard, dit heeft consequenties voor de voortgang van de bouw.

##### **Toepassingsgebied**

De trekkracht wordt meestal ontleend aan de lengte van de paal in de pleistocene zandlaag. De hoge sondeerwaarden in het pleistocene zand en de lengte waarover de paal in deze laag moet worden verankerd is vaak de oorzaak van het lange en zware heiwerk. De kans op het stukslaan van de paalkop en zelfs het breken van de paal is daarom sterk aanwezig.

Uit gegevens van het project "Caland" is naar voren gekomen dat gewone prefabpalen (550\*450) met een voorspanning van 4.5N/mm<sup>2</sup> en een inheidiepte van 10 tot 15 m in de pleistocene zandlaag niet haalbaar is.



Met toepassing van een hogere betonkwaliteit, meer voorspanning en meer kopwapening is de schade te beperken. Een diepte van 11m in het pleistocene zand is net haalbaar. Het advies is dan ook prefab betonpalen te limiteren tot ca 8m in het pleistocene zand.

#### **Ontwerp en uitvoerings aspecten**

- de sondering geeft een indicatie van hoe zwaar het heiwerk kan worden. Dit kan aanleiding zijn voor het verhogen van de voorspanning en betonkwaliteit ter voorkoming van schade of breuk;
- volgorde van het inbrengen van de palen (volgens het palenplan) is over het algemeen van binnen naar buiten. Dit om opspanning van de grond en dus zwaarder heiwerk te voorkomen;
- de grootte van het heiblok moet altijd in verhouding zijn tot de grootte van de paal en de kracht die deze paal kan opnemen;
- de blijvende voorspandruk moet garanderen dat in alle situaties en met name in de eindsituatie een doorgaande scheur niet kan leiden tot roestvorming van met name de voorspanwapening;
- indien de paal wordt toegepast voor onderwaterbeton is het noodzakelijk dat de paalpunt en de ribbels op diepte zitten. Ook moeten de ribbels schoon zijn om een goede aanhechting te verzekeren;
- paalbreuk kan geconstateerd worden door onregelmatigheden in het heigedrag in relatie tot de sondering. Bijvoorbeeld het plotseling minder weerstand ondervinden waar dat wel het geval zou moeten zijn;
- de trekkracht wordt voornamelijk ontleend aan een zandlaag.

#### **Vibro palen (trek, druk en combi )**

Er wordt van uit gegaan dat de lezer bekend is met productieproces nodig voor het maken van een vibro paal.

#### **Ontwerp en uitvoeringsaspecten**

Een zeer belangrijke fase in het maken van de vibro paal is het trekken van de casing.

De buis wordt getrokken door middel van het terugheien met een heiblok of trillen met een trilblok. De meest onzekere factor is de wrijvingsweerstand langs de casing. Hierdoor is het moeilijk in te schatten welke trekkracht benodigd is en dus ook de zwaarte van het materieel. Door Grondmechanica Delft is t.b.v. onderdoorgang te Nijnsel een rapport opgesteld om te komen tot inzicht in de benodigde zwaarte van het materieel voor het trekken van de casing. Als blijkt dat de benodigde trekkracht niet of nauwelijks geleverd kan worden zijn er maar een paar alternatieven mogelijk zoals:

- het vergroten van de voetplaat;
- verminderen van het gewicht van de casing;
- een glijlaag aanbrengen op de buitenkant van de casing (b.v. bitumen)

Let wel op dat het vergroten van de voetplaat invloed heeft op de statische schachtwrijving evenals het in- en uitheien. Bij het heien van af een ponton of traverse is het vaak onmogelijk of tegen hoge kosten de benodigde trekkracht te mobiliseren.



**Risico's Vibro palen**

Bij het project Aquaduct Gaag zijn de vibro (combi) palen vanaf het nog niet ontgraven maaiveld geplaatst. Tijdens het ontgraven van de bouwput is bij verschillende palen geconstateerd dat de diameter niet voldeed aan de vereiste diameter. De hoofdoorzaak van deze insnoering is niet gevonden maar er zijn een aantal mogelijke oorzaken benoemd:

- het niet tot het maaiveld toe doorzetten van de beton/grout vulling;
- alleen de starttijd en eindtijd word per paal genoteerd. Hierdoor is er onvoldoende bekend over de beheersing van het trekken van de casing.

Het "Gaag" effect;

Hier onder wordt het volgende verstaan: Na het heiwerk blijkt de conuswaarde van de nasondering lager te zijn dan die van voor het plaatsen van de paal. In plaats van de verwachte opspanning van de grond is er ontspanning. Dit verschijnsel is overigens niet uitsluitend bij aquaduct Gaag voorgekomen.

Een aanwijsbare oorzaak hiervoor is niet gevonden er gaan wel een aantal suggesties en er is zeker een discussie of er met een verminderde sondeerwaarde gerekend moet worden.



### 5.7.3 Stempelconstructies en damwanden

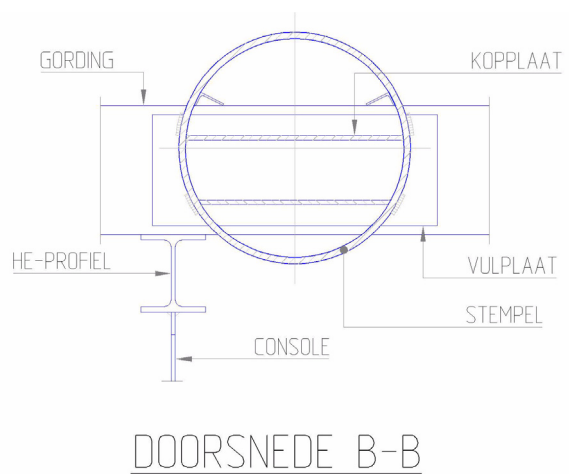
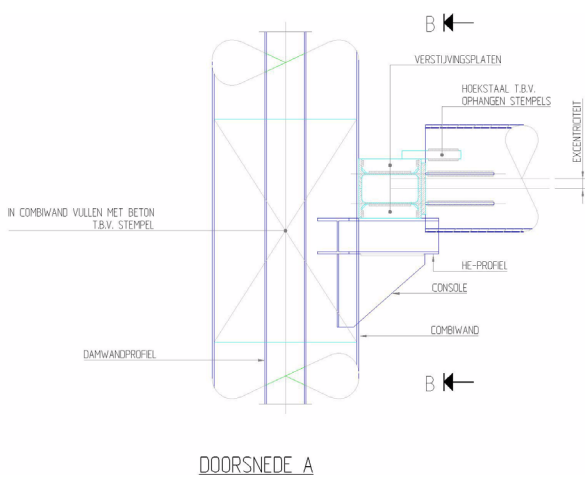
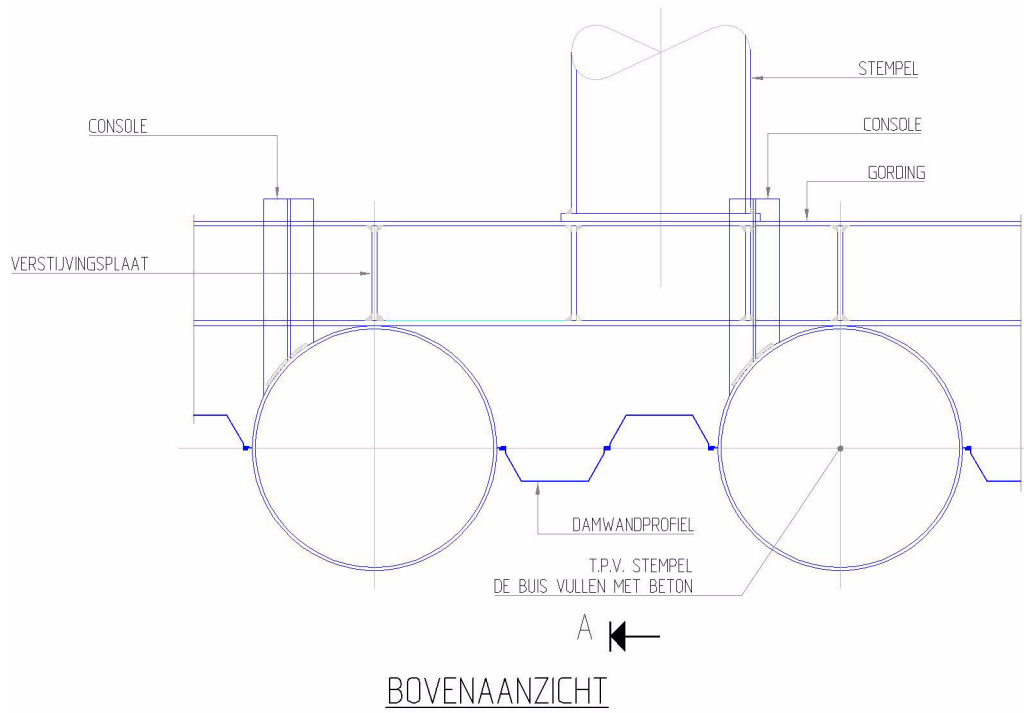
Het aantal mogelijke details t.b.v. verankering en stempeling van damwandconstructies is zeer groot en veelal afhankelijk van het type damwand. Vaak dragen fabrikanten al oplossingen aan. Hierdoor is het niet eenvoudig om standaardoplossingen te geven voor de verschillende details. Daarom zullen in deze paragraaf enkele voorbeelden aangedragen worden om een indruk te geven van de diverse mogelijkheden. Maten en type-aanduidingen, die bij de tekeningen staan, zijn uiteraard slechts van toepassing op het gegeven voorbeeld.

De conservering van damwandconstructies is in hoge mate afhankelijk van de aard van de constructie en het milieu waarin de constructie zich bevindt.

In het algemeen geldt dat bij de gebruikelijke damwandprofielen in niet-agressieve grond nauwelijks rekening gehouden hoeft te worden met corrosie. Bij definitieve damwandconstructies, waarbij aan de dagzijde een voorzetwand wordt aangebracht, kunnen de omstandigheden zeer agressief zijn. Er wordt dan aanbevolen de damwand achter de voorzetwand te voorzien van een bitumen-epoxy deklaag. Voor niet voorgespannen ankers zijn corrosiesnelheden vele malen kleiner dan bij damwanden. I.v.m. de lage staalkwaliteit van deze verankeringen zijn deze vele malen minder gevoelig voor corrosie dan de huidige hogere staalkwaliteit van damwanden. Gezien het grote belang van de verankering voor de veiligheid van de totale damwandconstructie is het aan te bevelen om definitieve ankers te voorzien van een bitumen-epoxy coating.

Voorgespannen ankers die een definitief karakter hebben dienen te allen tijde beschermd te worden. Dit i.v.m. levensduur van de constructie. Voor tijdelijke ankers moet een afweging gemaakt worden t.a.v. duurzaamheid en veiligheid tijdens de bouw fase. Behalve aan de conservering moet ook zorg worden besteed aan de verwerking, aangezien t.p.v. beschadigingen excessieve corrosie kan optreden (putcorrosie). Zie verder "Corrosie onderzoek permanente damwanden" (documentnummer SATO-91-5-605).

Een andere oplossing om de damwand te conserveren tegen corrosie is door een dikkere damwand toe te passen dan volgens berekeningen nodig is.





### 5.7.3.1 Stempeling m.b.v. buisprofielen

**Functie:**

Creëren van een bovensteunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassing:**

Bij damwandkuipen.

**Detailontwerp:**

De kracht uit de stempels wordt via een gording naar de damwand en de grond daarachter overgebracht.

De stempels worden, m.b.v. een op de stempels gelast hoekstaal, tussen de gordingen opgehangen. Voor een betere krachtsoverdracht worden de uiteinden van de stempels voorzien van kopplaten. De ruimte tussen de stempels en de gordingen wordt aangevuld met een stalen plaat of met groutzakken.

Indien grote krachten op de gording worden verwacht kan deze worden ondersteund door consoles. Om plooi van het lijf te voorkomen moeten er verstijvingplaten ingelast worden

**Motivering:**

Bij zware stempels met een grote overspanning wordt de as van het buisprofiel iets hoger gelegd dan de zwaartelijns van de gording (excentrisch aangrijping). Hierdoor wordt het buigend moment t.g.v. het eigengewicht van de stempel gecompenseerd. Het is ook mogelijk om een aansluiting van de stempel op een gording onder een hoek te maken. Zie hoek oplossingen bouwkuipen

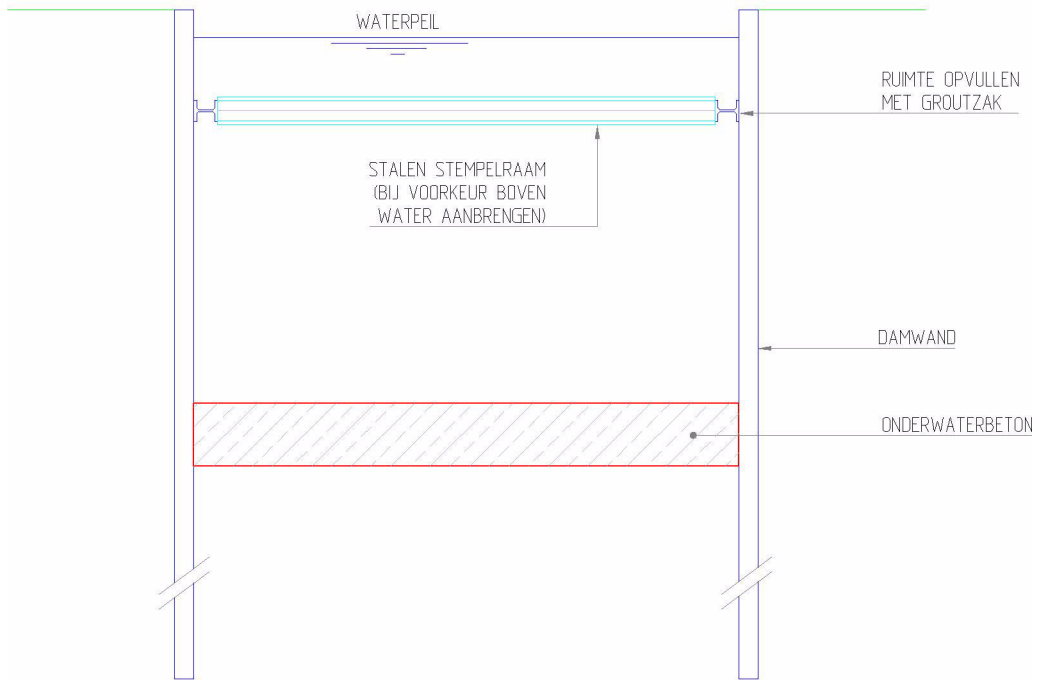
Indien de overspanning niet te groot is, is het mogelijk om stempels van HE-profielen te maken.

**Conservering:**

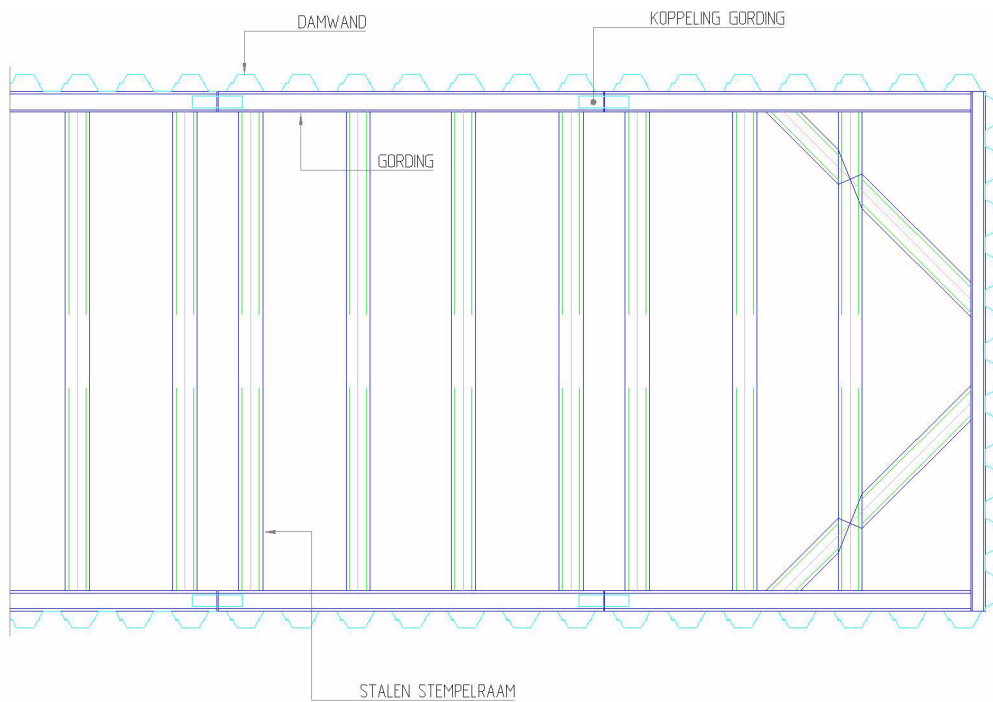
In verband met de grote drukkrachten t.g.v. het uitzetten van de stempels door warmte kunnen de stempels wit geschilderd worden (afhankelijk van het jaargetijde).

Voor conservering damwand zie hoofdstuk 5.7.3.

Opm. Door het door de zon opwarmen van de stempel neemt de drukkracht in de stempel toe. Deze temperatuurs variatie als belastings geval moet niet onderschat worden. (knikkracht buisprofiel)



DWARSDOORSNEDE



BOVENAANZICHT



### 5.7.3.2 Prefab stempelraam

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassing:**

Bij gestempelde damwandkuipen, waarbij de stempels onder water worden gebruikt.

**Detailontwerp:**

De stempelramen, bestaande uit gordingen en stempels, worden in hanteerbare eenheden geprefabriceerd en voor het bemalen van de damwandkuip aangebracht. De ruimte tussen de gording en de damwand wordt opgevuld met groutzakken.

**Motivering:**

Op deze manier kan de stempelconstructie op de optimale plaats worden aangebracht, afhankelijk van de waterstand binnen de damwandkuip.

**Conservering:**

In verband met de grote drukkrachten t.g.v. het uitzetten van de stempels door warmte kunnen de stempels wit geschilderd worden (afhankelijk van de jaargetijde).

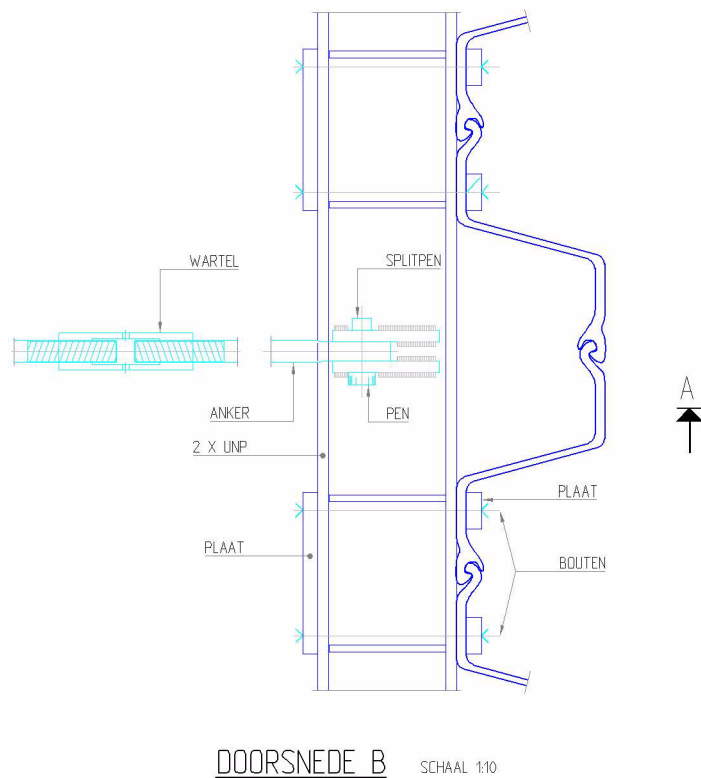
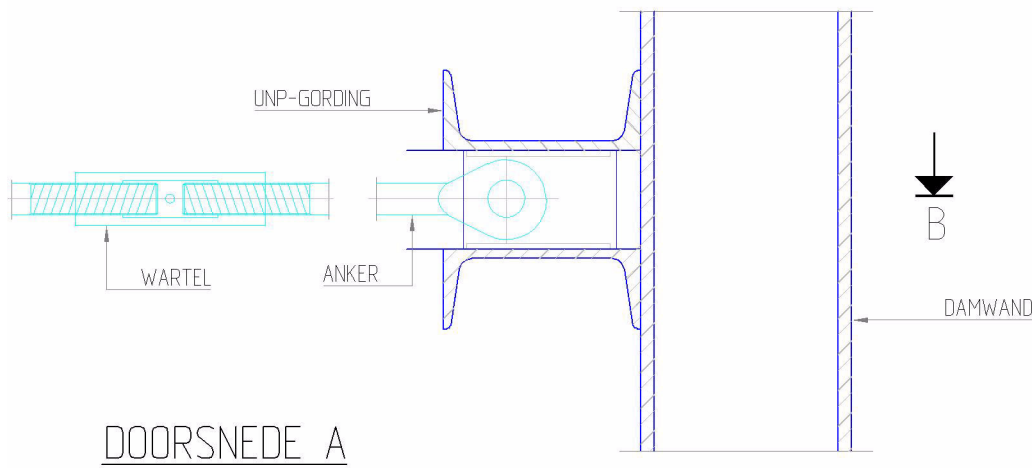
Voor conservering damwand zie 'Stempelconstructies en damwanden'.





## **5.7.4 Verankeringsconstructies damwanden**







### 5.7.4.1 Ankeransluiting tussen gording achter damwand

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassing:**

Damwanden die m.b.v. een ankerscherm verankerd worden.  
Kistdammen.

**Detailontwerp:**

Tussen twee, met de rug naar elkaar toegekeerde, UNP-profielen worden twee platen gelast. Tussen deze twee platen wordt het anker m.b.v. een pen vastgezet. Deze pen wordt geborgen door een splitpen.

Als grote zettingen te verwachten zijn, dan is het raadzaam de ankerstang excentrisch in een ruime P.V.C.-buis te plaatsen. Dit om te voorkomen dat t.g.v. de zettingen extra buigende momenten komen in het trek anker. Tevens kan de PVC-buis in een bolling in de grond gelegd worden.

**Motivering:**

Voordelen:

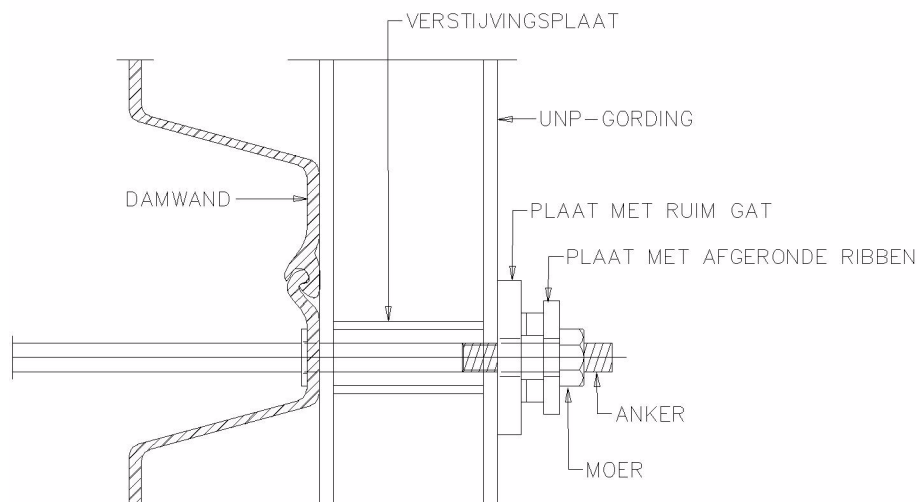
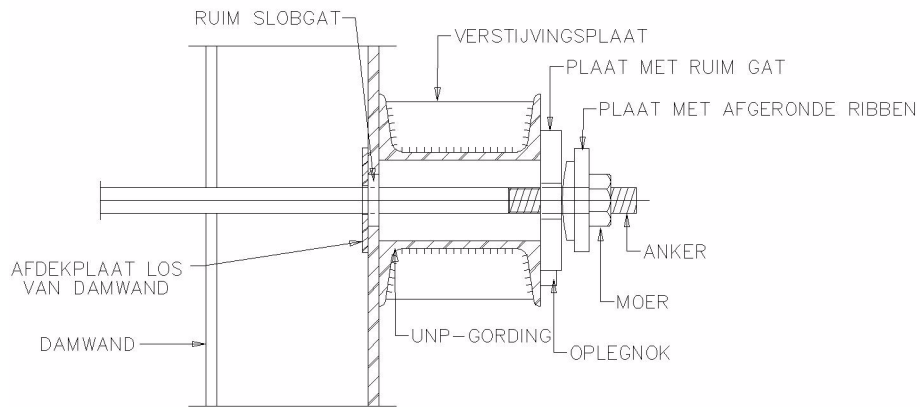
- I. geen doorvoeren in damwand.
- II. geen ankers en gordingen in het zicht;
- III. anker kan onder grote hoeken worden gezet (zowel in horizontaal als verticaal vlak).

Nadelen:

- I. verbinding damwand-gording op trek belast;
- II. veel hoogwaardig laswerk onder (vaak) slechte omstandigheden, daarom wordt er meestal met bouten gewerkt;
- III. na conservering meestal lastig uitvoerbaar.

**Conservering:**

Zie 'Stempelconstructies en damwanden'.





### 5.7.4.2 Ankeransluiting voor gording voor damwand

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassing:**

Damwandconstructies die m.b.v. een ankerscherm verankerd worden.

Kistdammen.

**Detailontwerp:**

Tussen de ruggen van twee UNP-profielen worden twee platen gelast. Haaks tegen deze platen en op de flenzen van de UNP-profielen wordt een plaat met een ruim gat gelast. De ankerstang wordt tussen de twee platen en door het ruime gat gestoken en m.b.v. een moer vastgezet.

Om enige rotatie te kunnen opvangen (b.v. t.g.v. zettingen) wordt een plaat met twee afgeronde ribben achter de moer aangebracht. Uiteraard moeten de springen in de damwand en de stalen plaat voldoende ruim zijn, zodat de ankerstang de eventuele zetting kan volgen.

De gording dient d.m.v. platen te worden verstevigd.

Zie ook 5.7.4.1 Als grote zettingen te verwachten zijn, dan is het raadzaam de ankerstang excentrisch in een ruime P.V.C.-buis te plaatsen.

**Motivering:**

Voordelen:

I. verbinding damwand-gording wordt niet op trek belast.

Nadelen:

I. er worden gaten in de damwand gemaakt (corrosie en lekkage)  
de lekkage kan met kleiballen worden tegengegaan;

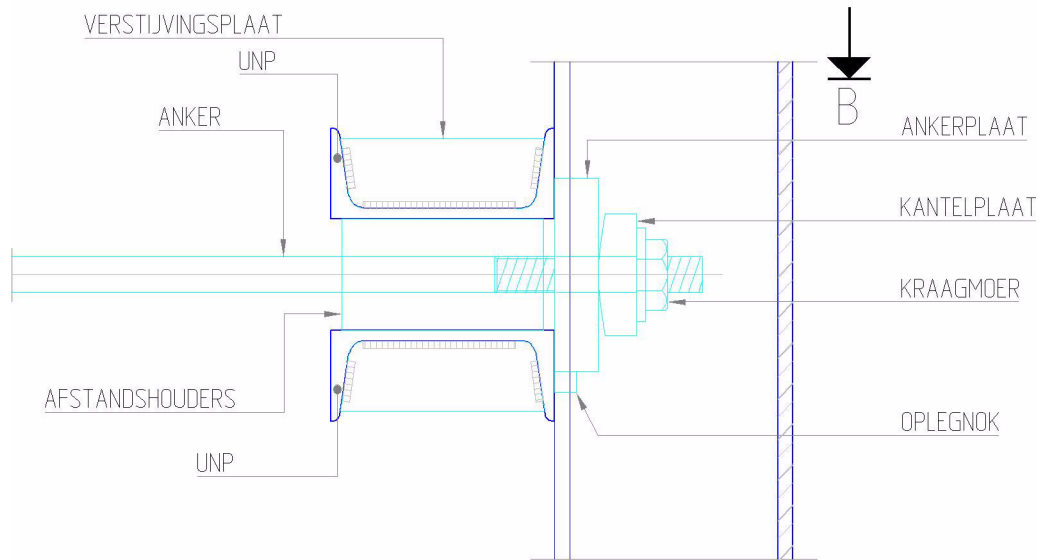
II. anker kan zonder extra voorzieningen (b.v. schuine stoel) niet onder een (grote) hoek in horizontaal vlak worden aangebracht;

III. ankers/gordingen komen in het zicht;

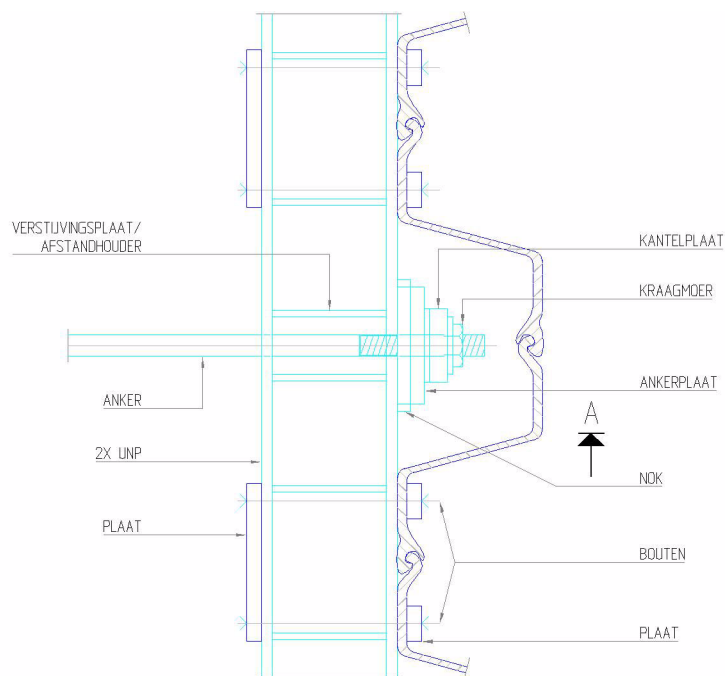
IV. beschadiging van eventuele schepen.

**Conservering:**

Zie 'Stempelconstructies en damwanden'.



DOORSNEDE A SCHAAL 1:10



DOORSNEDE B SCHAAL 1:10



### 5.7.4.3 Ankeransluiting in damwandkas

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassing:**

Damwandconstructies die m.b.v. een ankerscherm verankerd worden.

Kistdammen.

**Detailontwerp:**

Tussen de ruggen van twee UNP-profielen worden twee platen gelast. Haaks tegen deze platen en op de flenzen van de UNP-profielen wordt een plaat met een ruim gat gelast. De ankerstang wordt dan tussen de twee platen en door het ruime gat gestoken en m.b.v. een moer vastgezet.

Om enige rotatie te kunnen opvangen (b.v. t.g.v. zettingen) wordt een kantelplaat achter de moer aangebracht.

Uiteraard moet de sparing in de stalen plaat voldoende ruim zijn, zodat de ankerstang de eventuele zetting kan volgen.

De gording dient d.m.v. platen te worden verstevigd.

Als grote zettingen te verwachten zijn, dan is het raadzaam de ankerstang in een ruime PVC-buis te plaatsen.

**Motivering:**

Voordelen:

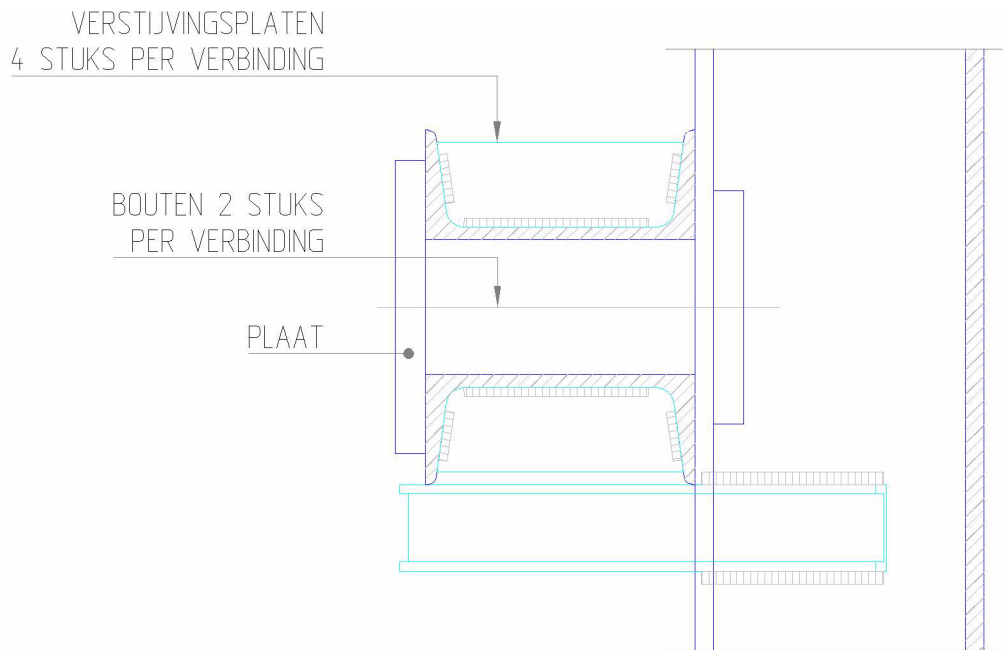
- I. geen doorvoeren in damwand;
- II. geen ankers en gordingen in het zicht.

Nadelen:

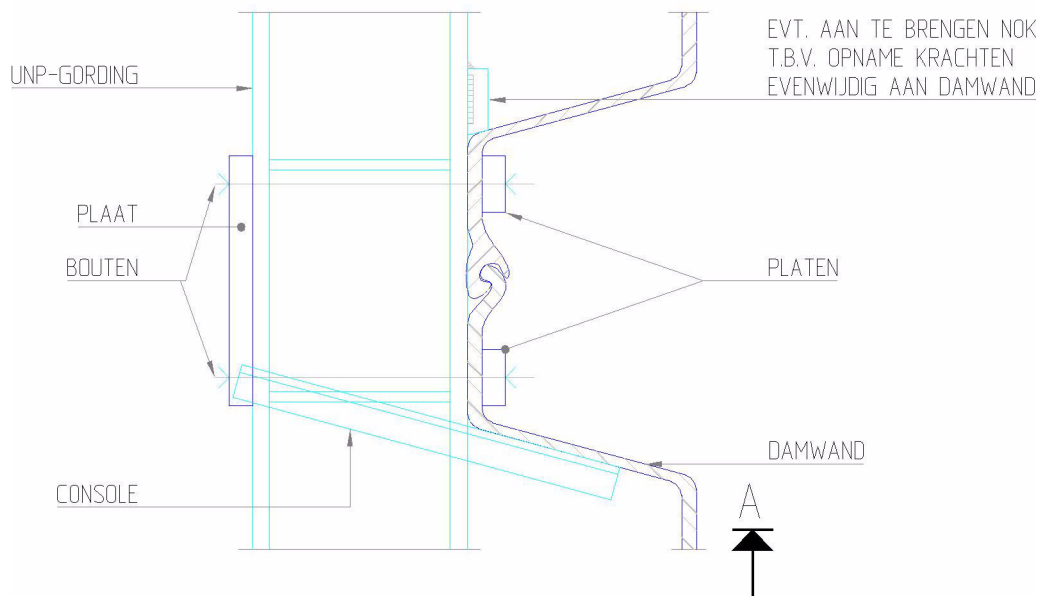
- I. verbinding damwand-gording wordt op trek belast;
- II. na conservering meestal lastig aan te brengen en daardoor meestal slecht uitgevoerd.

**Conservering:**

Zie Stempelconstructies en damwanden.



DOORSNEDE A SCHAAL 1:10



DOORSNEDE B SCHAAL 1:10



#### 5.7.4.4 **Verbinding gording-damwand en ondersteuning gording**

**Functie:**

Het maken van een verbinding tussen de damwand en de gording. De ondersteuning maakt een eenvoudige montage mogelijk.

**Toepassing:**

Damwandconstructies, waarbij de krachten tussen ankerstangen en damwand worden overgebracht via een gording.

**Detailontwerp:**

De gording wordt op een ondersteuningsconstructie gelegd en m.b.v. platen en bouten tegen de damwand geklemd. Bij zware constructies kan het monteren vereenvoudigd worden door de platen door nokjes te ondersteunen.

De gording dient d.m.v. platen te worden verstevigd. Krachten evenwijdig aan de damwand (als de horizontale hoek ongelijk aan  $90^\circ$  is) kunnen d.m.v. de aan de gording gelaste nokken worden opgenomen.

**Motivering:**

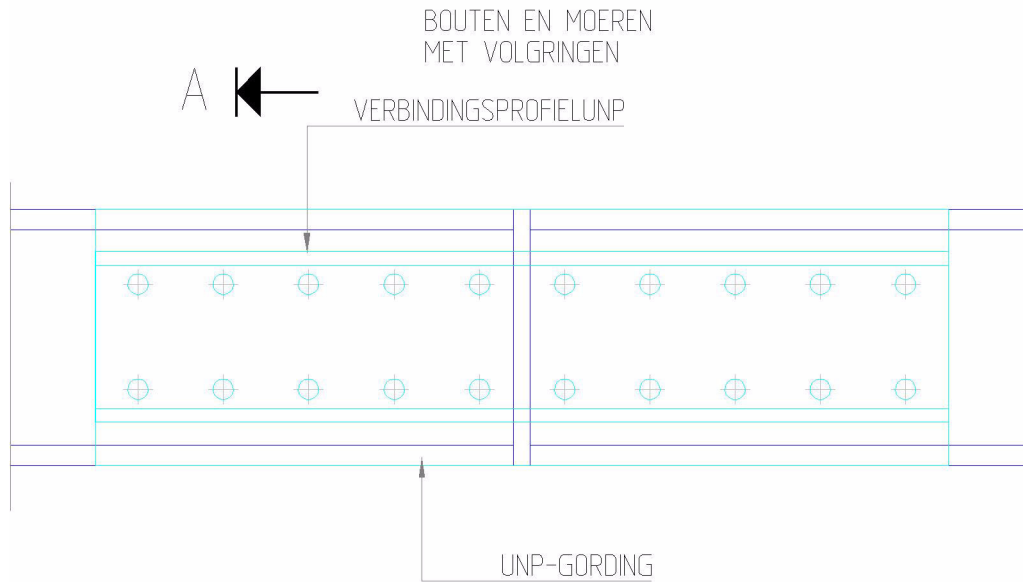
De verbinding damwand-goring kan zowel met U-profielen als met Z-profielen. In het laatste geval dient aan weerszijden van het damwandslot een boutverbinding gemaakt te worden.

Is er sprake van een trekverbinding dan dienen alle verankerde planken op deze manier bevestigd te worden. Bij een drukverbinding hoeven er minder verbindingen gemaakt worden.

**Conservering:**

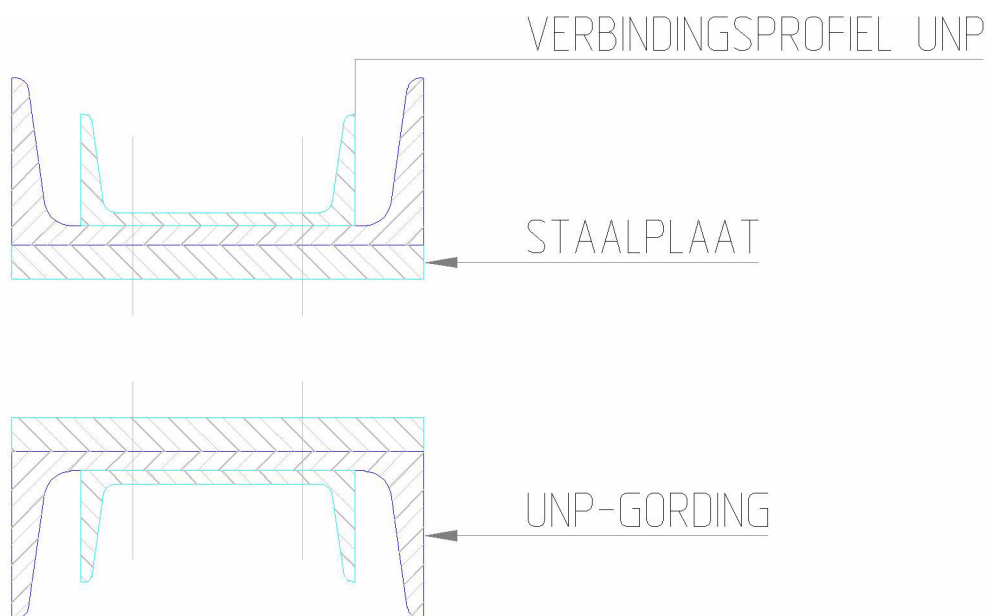
Zie 'Stempelconstructies en damwanden'.





## BOVENAANZICHT KOPPELING GORDING

SCHAAL 1:10



## DOORSNEDE A



### 5.7.4.5 Koppeling gordingen

**Functie:**

Het doorkoppelen van twee gordingen.

**Toepassing:**

Indien een momentvaste, schuifvaste, drukvaste en/of trekvaste verbinding moet worden gemaakt.

**Detailontwerp:**

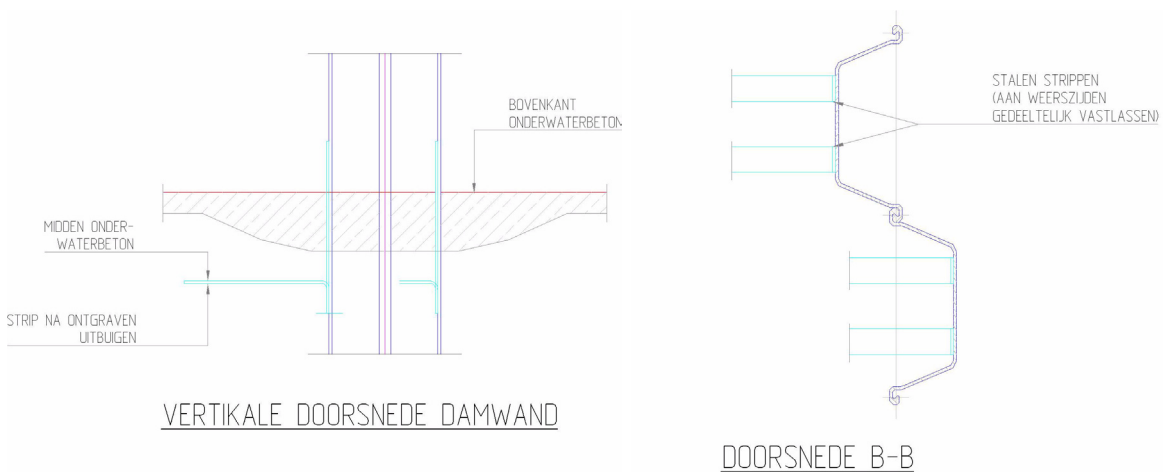
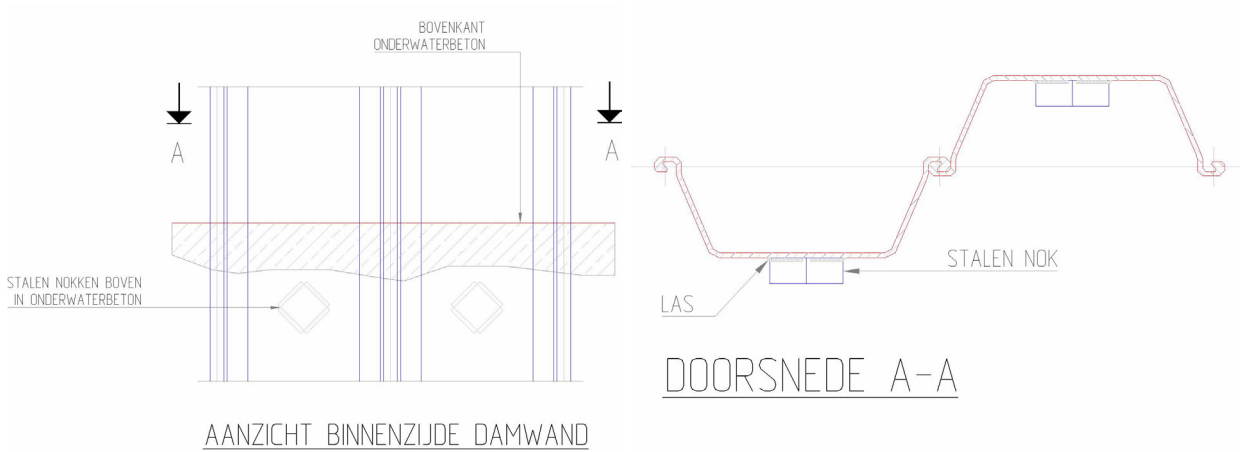
De gording wordt doorgekoppeld met staalplaten en/of walsprofielen. De verbinding tussen de verschillende onderdelen wordt met bouten gerealiseerd. Het aantal en plaats van de bouten dienen door de constructeur te worden bepaald. Er moet op worden gelet dat het totale weerstandsmoment van de koppelplaten/profielen minimaal gelijk is aan het weerstandsmoment van de gording.

**Motivering:**

Dit type verbinding is onafhankelijk van de vorm van de damwand. Worden de platen tegen de buitenzijde van de flenzen van de gording aangebracht dan moet de verbinding t.p.v. een damwandkas zitten. Voordeel van een boutverbinding boven een lasverbinding is dat de eenvoudig in het werk aangebracht kan worden.

**Conservering:**

Denk om conserveren bij beschadiging en/of bij definitief werk.  
Stempelconstructies en damwanden.





### 5.7.4.6 Verankering damwanden in onderwaterbeton

**Functie:**

Het schuifvast verbinden van damwand en onderwaterbeton.

**Toepassing:**

In damwandkuipen met onderwaterbeton indien de damwand het onderwaterbeton verankert tegen opdrijven.

**Detailontwerp:**

De langsdamwandschermen worden voor het heien voorzien van 2 aan te lassen stalen nokken (afmetingen 80 x 80 x 40 mm) per dubbele plank. De compartimenteringsdamwanden (dwarsschermen) worden voorzien van 4 aan te lassen strippen (afmetingen 5 x 50 x 1200 mm). Voor het storten van het onderwaterbeton worden strippen door duikers omgebogen, zodat ze in het onderwaterbeton kunnen worden opgenomen.

**Motivering:**

De verankeringen op de damwand komt het meest tot zijn recht indien er een kleine horizontale (grond)druk t.p.v. het onderwaterbeton is. Bij grote (grond)drukken vervormt de damwand waardoor het onderwaterbeton "opgesloten" wordt en daardoor een zekere oplegging gecreëerd wordt.

De dwarsschermen worden voorzien van strippen i.p.v. nokken omdat door vervorming van de relatief lichte damwand nokken te klein zouden zijn en de strippen enigszins werken als trekstangen die de damwand bij het onderwaterbeton houden. Door de kwetsbare las is de werking van de strippen echter niet optimaal.

Als trekpalen worden toegepast dan mag de palenrij grenzend aan het damwandscherm niet te dicht langs de damwand staan. Tijdens het heien/trillen van de palen wordt het grondpakket nabij de palen in trilling gebracht, waardoor het mogelijk is dat de korrelspanning afneemt waardoor de stabiliteit van het scherm in gevaar kan komen.

Genoemde afmetingen van nokken en strippen zijn uiteraard afhankelijk van de door de constructeur te bepalen afmetingen.

**Conservering:**

Stempelconstructies en damwanden.





## 5.7.5 Damwandsloten

### 5.7.5.1 Waterdichting damwandsloten

Afhankelijk van de eisen die gesteld worden aan de waterdichtheid van damwandconstructies, kunnen diverse voorzieningen getroffen worden om lekkage door sloten te beperken. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen zgn. fabriekssloten en werksloten.

Fabriekssloten zijn sloten tussen twee damwandplanken die in de fabriek reeds "geknepen" zijn, waardoor een dubbele plank ontstaat die in één keer geheid kan worden. Werksloten zijn sloten tussen twee geheide of getrilde (dubbele) planken. Aangezien de fabriekssloten onder relatief geconditioneerde omstandigheden kunnen worden gemaakt, zullen deze over het algemeen goed waterdicht gemaakt kunnen worden. Voor werksloten zal het moeilijker zijn om een waterdichting te realiseren.

Enkele methodes om fabriekssloten af te dichten zijn:

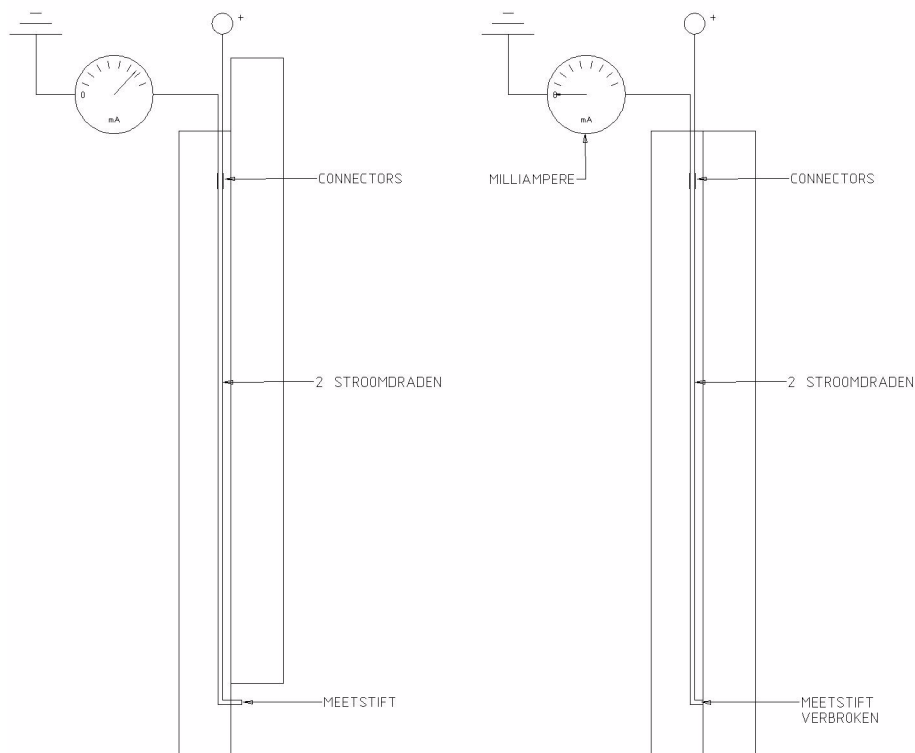
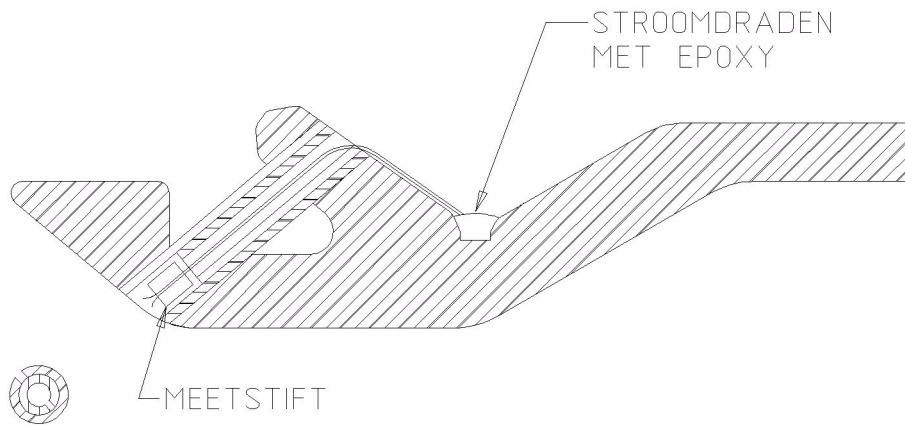
- Het dichtlassen van de sloten, waarbij aan de te ontgraven kant een doorgaande lasnaad en aan de andere kant een kettinglas wordt gemaakt. Deze methode is 100% waterdicht, maar relatief duur.
- Het vullen van de sloten met Beltan. Dit is een mengsel van bitumen en vet, dat vloeibaar gemaakt wordt door het te verhitten. Het slot wordt aan beide kanten volgegoten, zodat het volledig is gevuld. Deze methode is goed en relatief goedkoop.
- Het vullen van de sloten met polyurethaan. Nadat de sloten zijn voorzien van een hechtprimer wordt het slot van één kant volgeperst met polyurethaan. Deze methode is goed maar relatief duur.

Enkele methodes om werksloten af te dichten zijn:

- Het vullen van de sloten met Beltan. Hierbij wordt de klauw van de eerst te heien plank gevuld met Beltan.
- Het aanbrengen van een ge vulcaniseerde polyurethaanstrip in de klauw van de eerst te heien plank.
- Het maken van cement-bentoniet kolommen t.p.v. de sloten, waarna de damwand geheid wordt.

De behandelde methodes zijn ontleend aan een studie die door de HBW in opdracht van Sluizen en Stuwen in 1985 is gemaakt. In deze studie ("Het ontwikkelen van een werkwijze voor het maken van een waterdichte damwandkuip"; documentatienummer SATO-91-5-606) zijn tevens de resultaten opgenomen van de op ware grootte uitgevoerde waterdoorlatendheidsproeven.

Uiteraard zullen er nog andere methodes bestaan, ontwikkeld door fabrikanten van damwanden. Hiervoor wordt echter verwezen naar documentatie betreffende leveranciers.





### 5.7.5.2 Slotverklikkers

In bepaalde gevallen is het belangrijk dat van een damwandscherm alle sloten over de volle hoogte in elkaar zitten. Dit is met name het geval bij damwanden met een permanente waterkerende functie.

M.b.v. een verklikkersysteem is het mogelijk om te controleren of alle damwandplanken goed in het slot geplaatst zijn.

De methode die hier in het kort wordt beschreven is ontwikkeld door Nederhorst Grondtechniek en is bij diverse projecten van de Bouwdienst toegepast.

Langs het slot wordt een meetdraad aangebracht bestaande uit 2 geïsoleerde koperdraadjes, die zijn afgedekt met epoxy. Deze draadjes zijn onder in het slot gekoppeld met een zgn. meetstift. Dit is een stalen stift die door het slot wordt aangebracht. Aan de bovenzijde worden de draden verbonden met connectors die kunnen worden aangesloten op een milli-ampèremeter.

De plank wordt op diepte getrild of geheid en er wordt een spanning op één van de draden gezet. Er wordt nu een stroom gemeten.

Bij het trillen of heien van de volgende plank zal deze - eenmaal op diepte - de meetstift kapot maken, waardoor de stroomkring wordt onderbroken.

Als de plank op diepte is en er wordt nog steeds een stroomspanning gemeten dan is de plank dus ergens uit het slot gelopen

Voor meer informatie wordt verwezen naar de drie onderzoeksrapporten:

- "Het beproeven van een controlemethode voor damwandsloten te Utrecht";
- "Het beproeven van een controlemethode voor damwandsloten deel 2";
- Het beproeven van een controlemethode voor damwandsloten van Z-profielen te Amsterdam op 18 maart 1985" (allen documentnummer SATO-92-5-644)







### 5.7.6 Groutankers

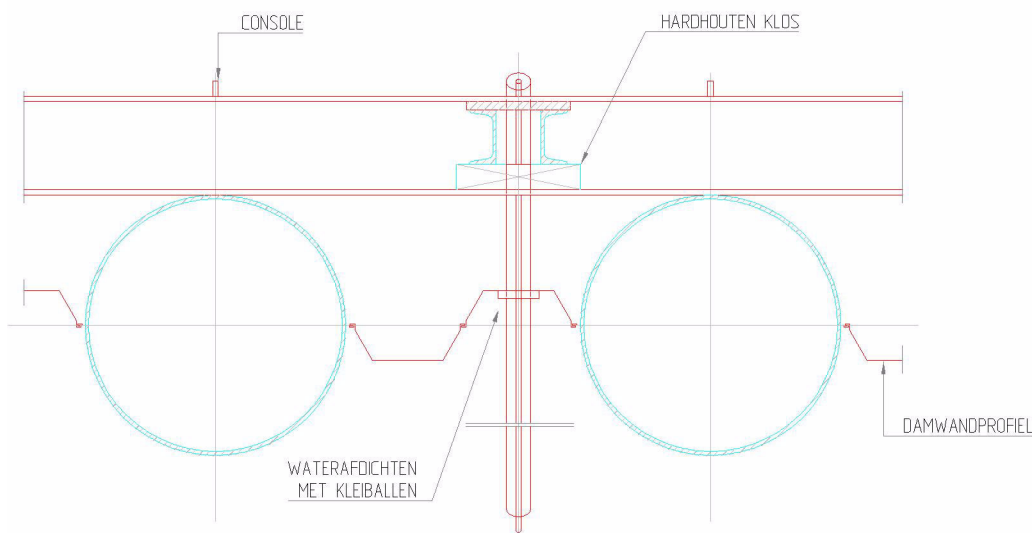
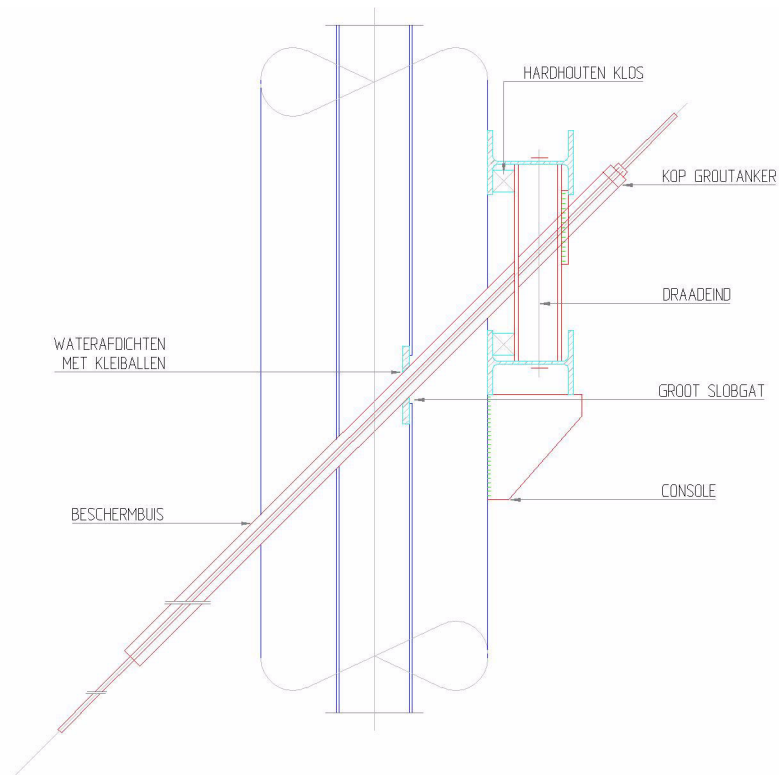
Het aantal mogelijke details t.b.v. groutankers is zeer groot en veelal afhankelijk van het type te verankeren wand, grondsoort, etc. Hierdoor is het niet mogelijk standaardoplossingen te geven voor de verschillende details. Daarom zullen in deze paragraaf enkele voorbeelden gegeven worden, om een indruk te geven van de diverse mogelijkheden.

Maten en type-aanduidingen, die bij de tekeningen staan, zijn slechts van toepassing op het geschetste voorbeeld.

Het al of niet toepassen van beschermbuizen en de manier waarop geïnjecteerd wordt is sterk afhankelijk van het karakter van het groutanker (tijdelijk/definitief), de wijze waarop de trekkracht op de grond wordt overgebracht en de staalkwaliteit. Bij het toepassen van tijdelijke staafankers (kwal. 80/105; diameter 26 en 32 mm) in niet agressieve grond zijn corrosiewerende voorzieningen niet noodzakelijk. Hebben deze ankers een permanent karakter, dan moet een beschermingslaag aangebracht worden.

Draadankers met een staalkwaliteit 145/160 dienen te allen tijde te worden voorzien van een beschermingslaag.

Verder geldt ook hier dat beschadigingen moeten worden voorkomen. Voor meer informatie betreffende **conservering** van groutankers zie "Corrosie onderzoek permanente damwanden" (documentnummer SATO-91-5-605).





### 5.7.6.1 Aansluiting t.p.v. damwanden (combiwanden)

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassingen:**

Damwandconstructies die vanwege ruimtegebrek, faseproblemen en/of te grote ankerkrachten niet met "gewone" ankers of stempels kunnen worden uitgevoerd.

**Detailontwerp:**

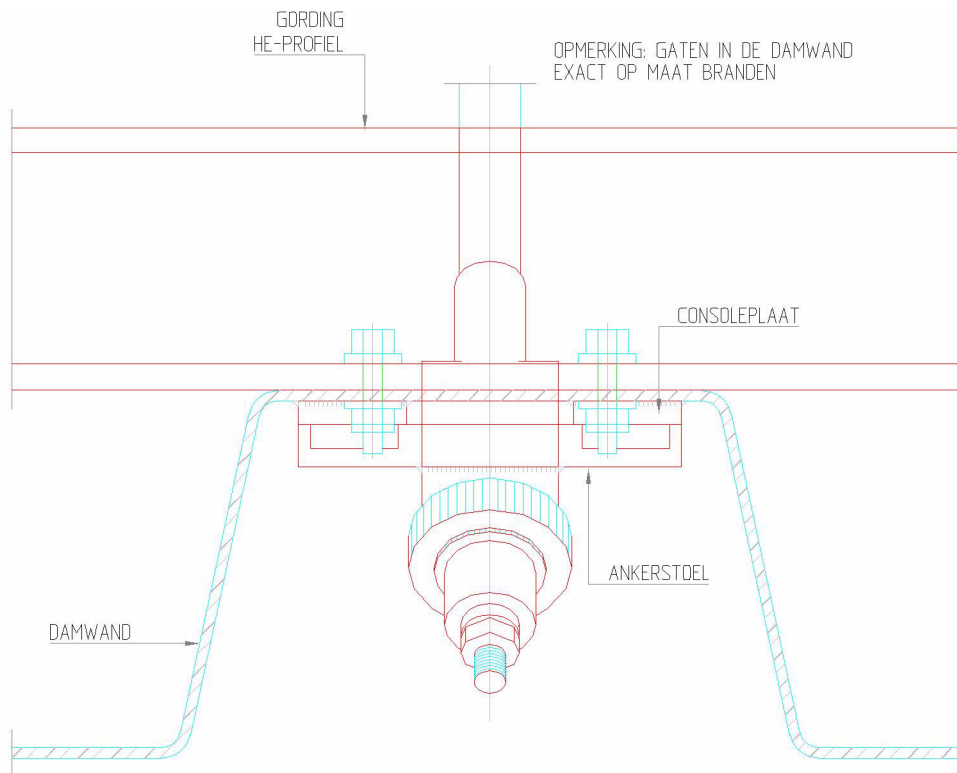
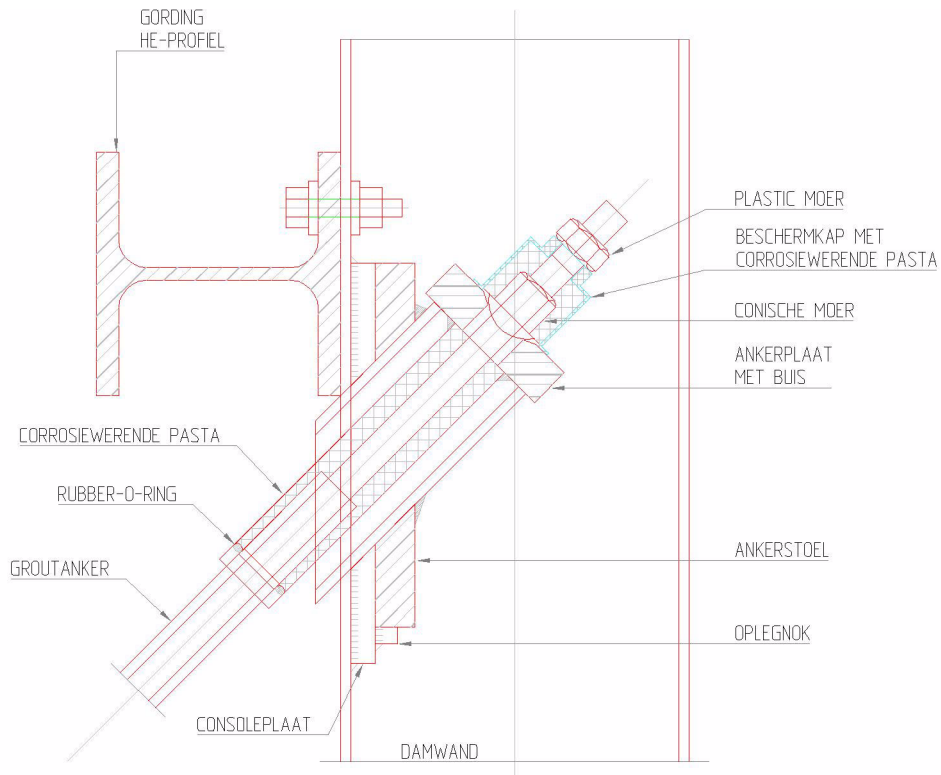
M.b.v. een dubbele gording en hiertussen aangebrachte stijlen wordt een oplegging gecreëerd voor de groutankers. Hierop wordt onder de vereiste helling een ankerkop gemonteerd waardoor het groutanker wordt aangebracht en waarop deze tenslotte wordt aangespannen. Bij enige hoekverdraaiing, wat door omstandigheden altijd gebeurt, dient t.p.v. de kop van de groutanker een voorziening worden aangebracht om deze hoekverdraaiing op te vangen (bv. een conische moer).

**Motivering:**

Een dergelijke detaillering is noodzakelijk vanwege het ontbreken van een vlak oplegvlak bij combiwanden.

**Conservering:**

Stempelconstructies en damwanden.





### 5.7.6.2 Aansluiting t.p.v. damwanden (U en Z profielen)

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een damwandconstructie.

**Toepassingen:**

Damwandconstructies die vanwege ruimtegebrek, faseproblemen en/of te grote ankerkrachten niet met "gewone" ankers of stempels kunnen worden verankerd of gestempeld.

**Detailontwerp:**

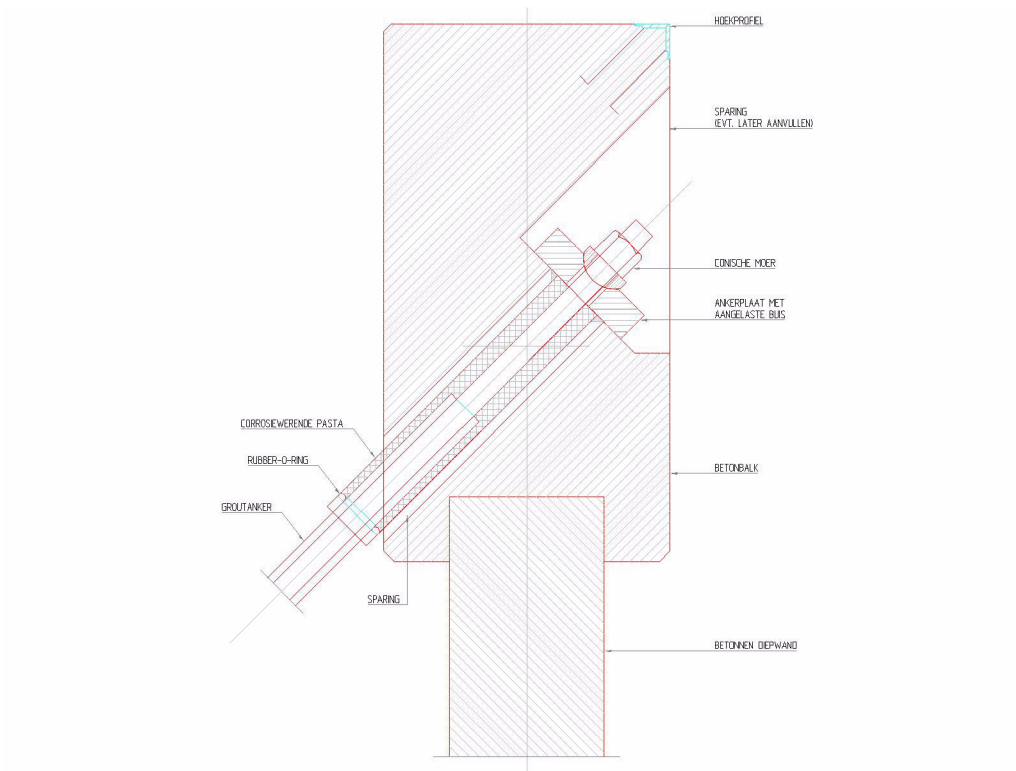
Zo dicht mogelijk bij de gording wordt een gat in de wand gebrand. T.p.v. dit gat wordt een ankerkop gemonteerd waardoor het groutanker wordt aangebracht en waarop deze tenslotte wordt aangespannen. Een dergelijke aansluiting is ook te combineren met een betonnen deksloof, waarbij de kop van het anker wordt ingestort (definitief werk).

**Motivering:**

Het voordeel van deze werkwijze is dat de ankerkop in de kas van de damwand zit en dus niet in de weg zit, denk aan beschadigingen van schepen.

**Conservering:**

Stempelconstructies en damwanden.





### 5.7.6.3 Aansluiting t.p.v. diepwanden

**Functie:**

Het creëren van een steunpunt bij een diepwandconstructie.

**Toepassingen:**

Diepwandconstructies die niet gestempeld kunnen worden.

**Detailontwerp:**

Wordt het anker bovenin aangebracht dan wordt boven op de diepwand een betonnen sloof gestort die voorzien is van sparingen t.b.v. de aan te brengen groutankers. Nadat het anker is aangebracht en is afgespannen wordt de sparing aangevuld en afgewerkt.

Zit het anker wat dieper dan moet een dergelijke sparing gemaakt worden door het uit te hakken en af te vlakken. Ook kan er gebruik gemaakt worden van een staalconstructie. Bij het boren van het gat door de diepwand moet rekening worden gehouden met eventueel aanwezig grondwater.

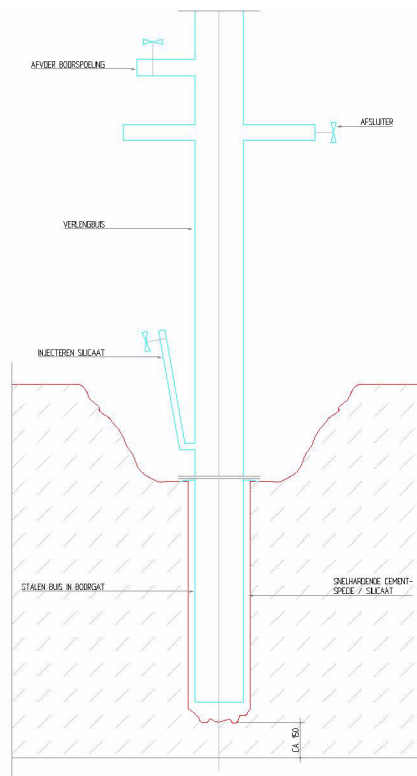
**Motivering:**

De mate van afwerking van de ankerkop is uiteraard afhankelijk van de aard van de groutankers (tijdelijk/definitief).

**Conservering:**

Stempelconstructies en damwanden.







#### 5.7.6.4 Aansluiting t.p.v. betonnen vloeren

**Functie:**

Fundering t.b.v. betonconstructies.

**Toepassingen:**

Bestaande vloeren die tegen opdrijven verankerd moeten worden.

**Detailontwerp:**

Als er sprake is van een reeds aanwezige waterdruk onder de vloer dan wordt gebruik gemaakt van oplengbuizen.

Er wordt dan een gat in de vloer gehakt, van waaruit een gat geboord wordt tot ca. 150 mm van de onderkant. In dit gat wordt een buis geplaatst, waarna de ruimte tussen buis en boorgat met een snelverhardende cementspecie wordt gevuld. Vervolgens wordt de aldus ingebetonnerde buis opgelengd tot boven de stijghoogte van het grondwater, waarna door het resterende beton geboord kan worden. Daarna wordt het groutanker gemaakt. De verlengbuis wordt verwijderd nadat het gat in de vloer is afgedicht met grout. Na het afspannen van het anker wordt de vloer afgewerkt.

**Motivering:**

De werkwijze wordt bepaald door het wel of niet aanwezig zijn van waterdruk onder de vloer. Is er sprake van bemaling dan zal de uitvoering een stuk eenvoudiger verlopen.

Voor meer informatie zie "het aanbrengen van groutankers voor een tunnel in de Beertsterweg" (document SATO-92-5-642).

**Conservering:**

Stempelconstructies en damwanden.



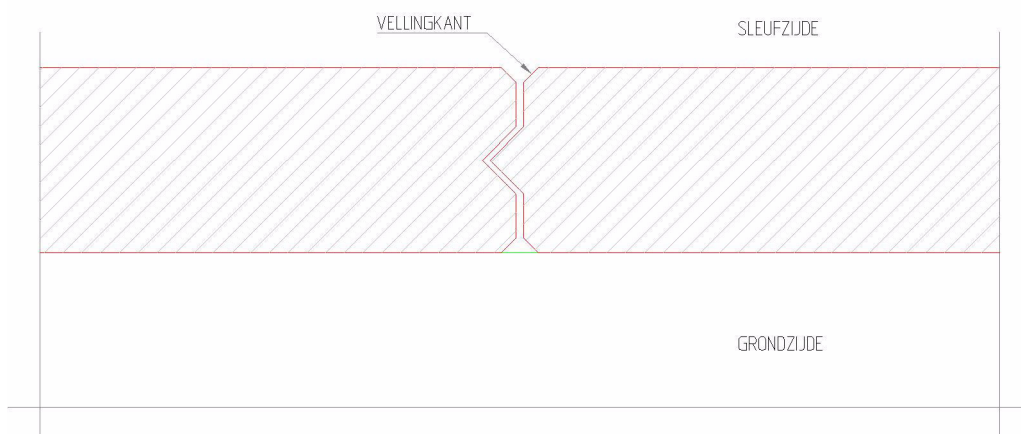
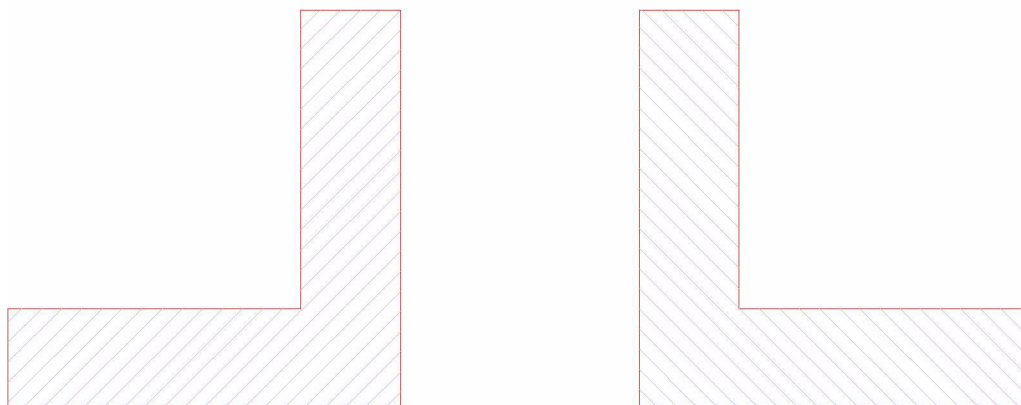


### **5.7.7 Cement-bentonietwand en diepwanden**

In ontwerpen en bestekken wordt in het algemeen weinig gezegd over details t.b.v. cement-bentonietwanden en diepwanden.

Meestal worden aan de waterdichtheid van de wand bepaalde eisen gesteld en wordt een aantal overige randvoorwaarden opgegeven waaraan de wand moet voldoen. De detaillering van hulpconstructies, panneellengtes, etc. wordt aan de aannemer overgelaten.

De details die hier worden behandeld zijn dan ook niet meer dan voorbeelden en geven aan waarmee bij de keuze van bepaalde oplossingen rekening gehouden dient te worden.





### 5.7.7.1 Prefab geleidebalken

**Functie:**

- Geleiding van de grijper tijdens ontgraven;
- Maatvastheid van de breedte en de hoogte van de wand;
- Opslagbassin voor de bentoniet;
- Zijdelingse grondkering van de bovenlaag van het bouwterrein;
- Verticale maatvoering bij het afhangen van de wapeningskorf;
- Geleiding buispalen en voegmallen bij diepwanden;
- Het verzorgen van een oplegging om de reactiekracht te leveren bij het trekken van buispalen en voegmallen bij diepwanden.

**Toepassingen:**

Bij het maken van cement-bentonietwanden en diepwanden.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van een prefab geleidebalk. Er moet speciale aandacht worden besteed aan de voegen tussen de elementen i.v.m. het lekken van bentoniet, wat milieu belastend is. De elementen worden voorzien van hijsankers. Ze kunnen m.b.v. een stelmal op de juiste afstand van elkaar worden neergezet. Stempels houden de beide geleidebalken op de juiste afstand. De ruimte tussen de 2 balken moet ca. 50 mm groter worden aangehouden dan de dikte van de te maken wand.

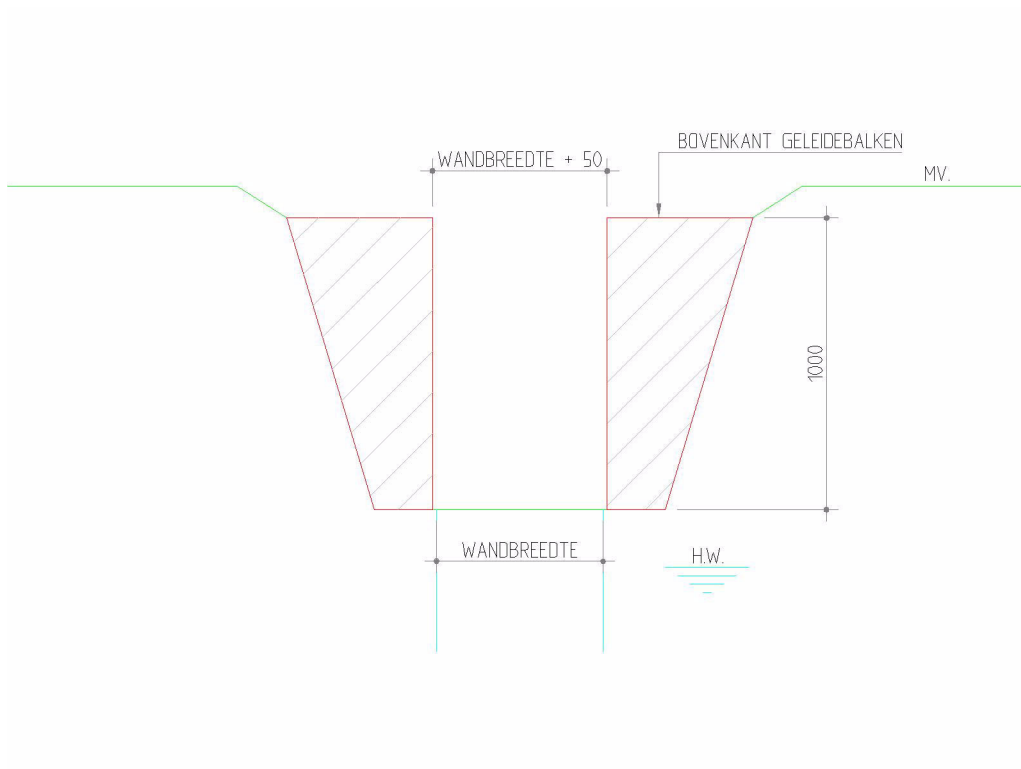
**Motivering:**

Eventuele moeilijke hoeken kunnen met aangepaste elementen of met in het werk gestorte delen worden gemaakt. In verband met de aard van de werkzaamheden is het raadzaam de geleidebalken forse afmetingen te geven. Vaak wordt overigens bij het graven van de sleuf een stalen geleidingsbalk gebruikt om de ergste stoten op te vangen.

Zie ook "Moderne funderingstechnieken".

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.7.2 In het werk gestorte geleidebalken

**Functie:**

- Geleiding van de grijper tijdens ontgraven;
- Maatvastheid van de breedte en de hoogte van de wand;
- Opslagbassin voor de bentoniet;
- Zijdelingse grondkering van de bovenlaag van het bouwterrein;
- Verticale maatvoering bij het voegmalen bij diepwanden;
- Het verzorgen van een oplegging om de reactiekracht te leveren bij het trekken van buispalen en voegmallen bij diepwanden.

**Toepassingen:**

Bij het maken van cement-bentonietwanden en diepwanden.

**Detailontwerp:**

De tekening geeft een voorbeeld van een in het werk gestorte geleidebalk.

Er moet aandacht worden besteed aan de voegen tussen de elementen i.v.m. het lekken van bentoniet, wat milieu belastend is.

Stempels houden de beide geleidebalken op de juiste afstand. De ruimte tussen de twee balken moet ca. 50 mm groter worden aangehouden dan de dikte van de te maken wand.

**Motivering:**

In het werk gestorte geleidebalken hebben het voordeel dat er minder ontgraving vereist is dan bij prefab geleidebalken.

Vaak worden dit soort geleidebalken toegepast indien ze niet verwijderd hoeven te worden.

Enkele nadelen zijn:

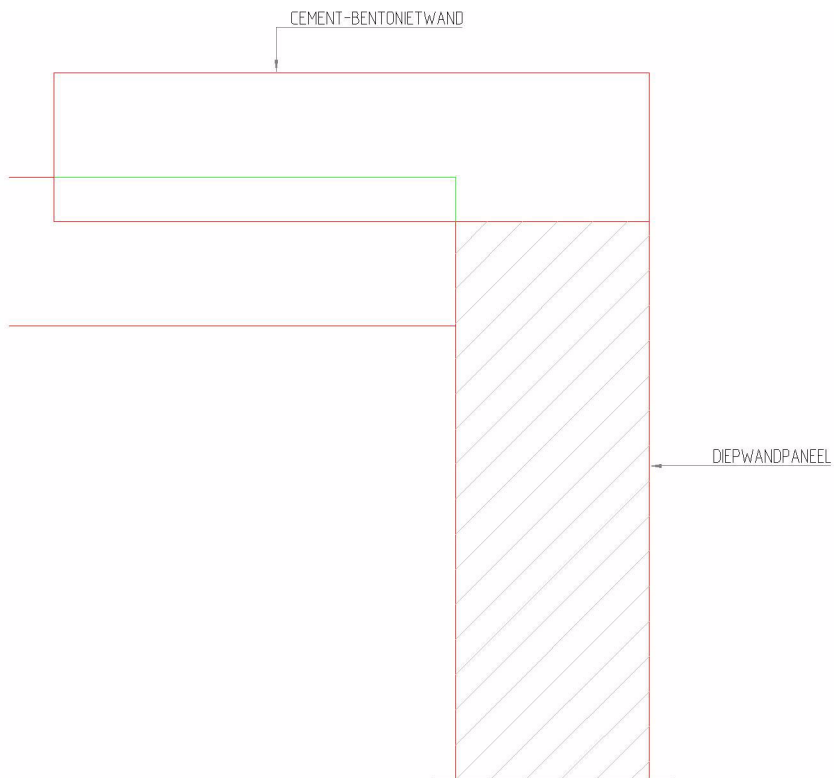
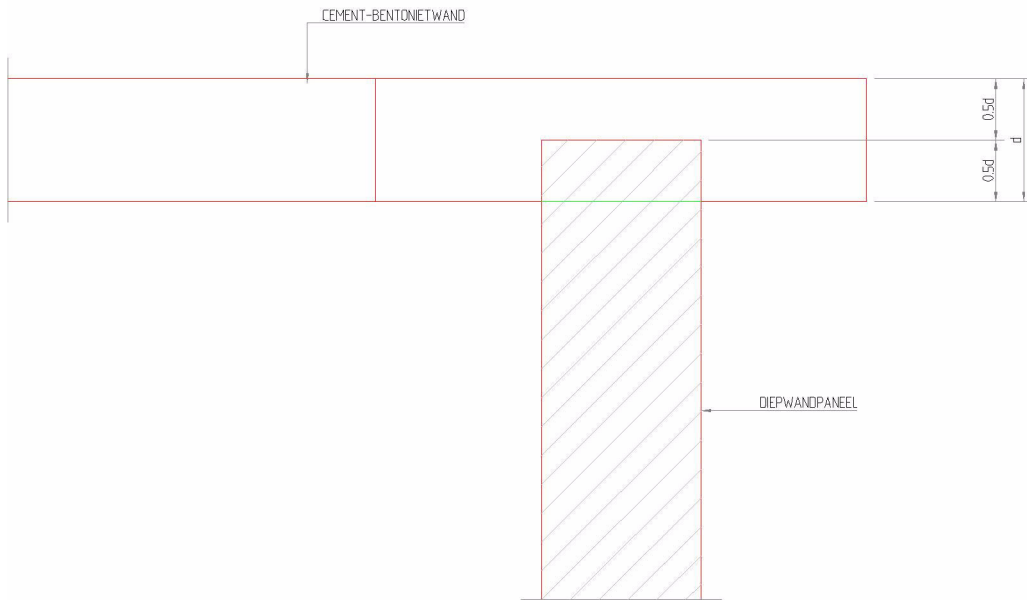
- meer beton nodig
- bekisting vereist;
- rekening houden met een verhardingstijd.

Zie ook "Moderne funderingstechnieken".

**Conservering:**

Niet van toepassing.







### 5.7.7.3 Aansluiting cement-bentonietwand met diepwand

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte aansluiting.

**Toepassingen:**

Bij een overgang tussen een diepwand en een cement-bentonietwand.

**Detailontwerp:**

Een haakse aansluiting kan worden verwezenlijkt door de helft van de reeds opgestijfde cement-bentonietwand weg te graven waaruit de diepwand begint. Deze aansluiting kan ook onder een geringe hoek gemaakt worden.

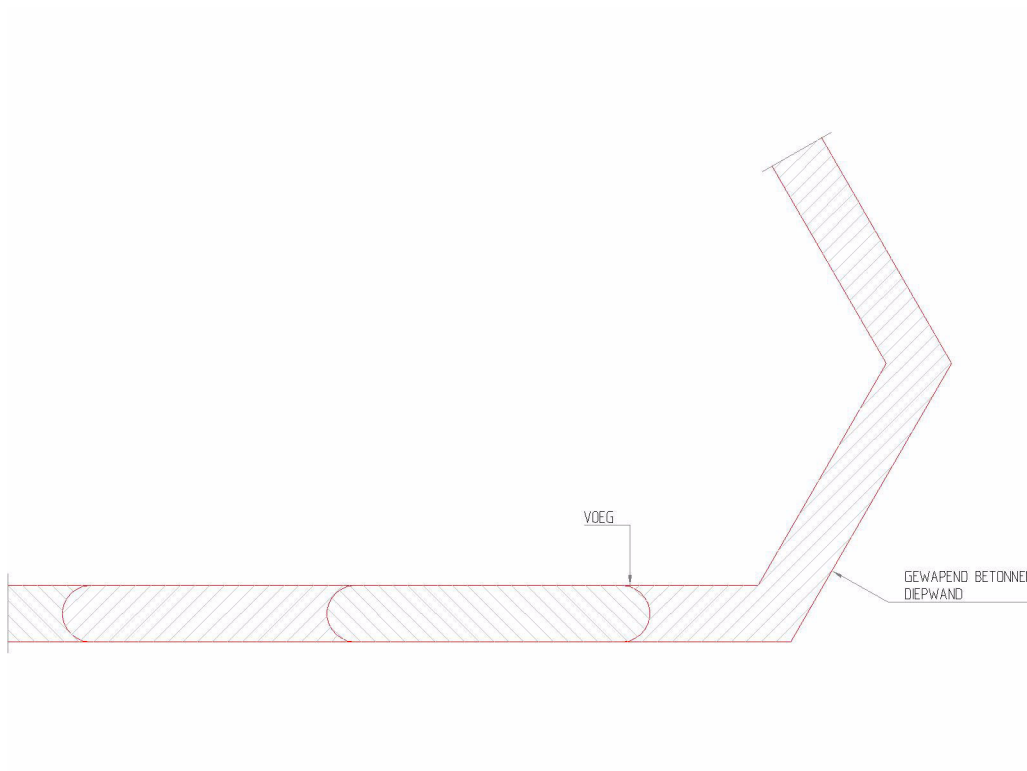
Is de diepwand als eerste gestort dan moet deze aan de buitenkant omgeven worden door cement-bentonietwand panelen.

**Motivering:**

De methode waarbij een gedeelte van de reeds gegraven cement-bentonietwand weer wordt weg gegraven levert een betrouwbaar resultaat op. Een aansluiting van een diepwand op een cement-bentonietwand wordt geprefereerd boven een aansluiting van een cement-bentonietwand op een diepwand. Dit wordt gedaan omdat de diepwand dan moet worden omgeven door cement-bentonietpanelen. Dit is lastiger en duurder.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





#### 5.7.7.4 Hoekoplossing diepwanden

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte en constructief goede hoek.

**Toepassingen:**

Bij een schuine aansluiting tussen twee diepwanden, waarbij een scherpe of haakse hoek gemaakt wordt.

**Detailontwerp:**

De vorm van de aansluiting is afhankelijk van de hoek waaronder de panelen op elkaar aansluiten.

De voeg tussen twee panelen wordt niet t.p.v. de hoek aangebracht.

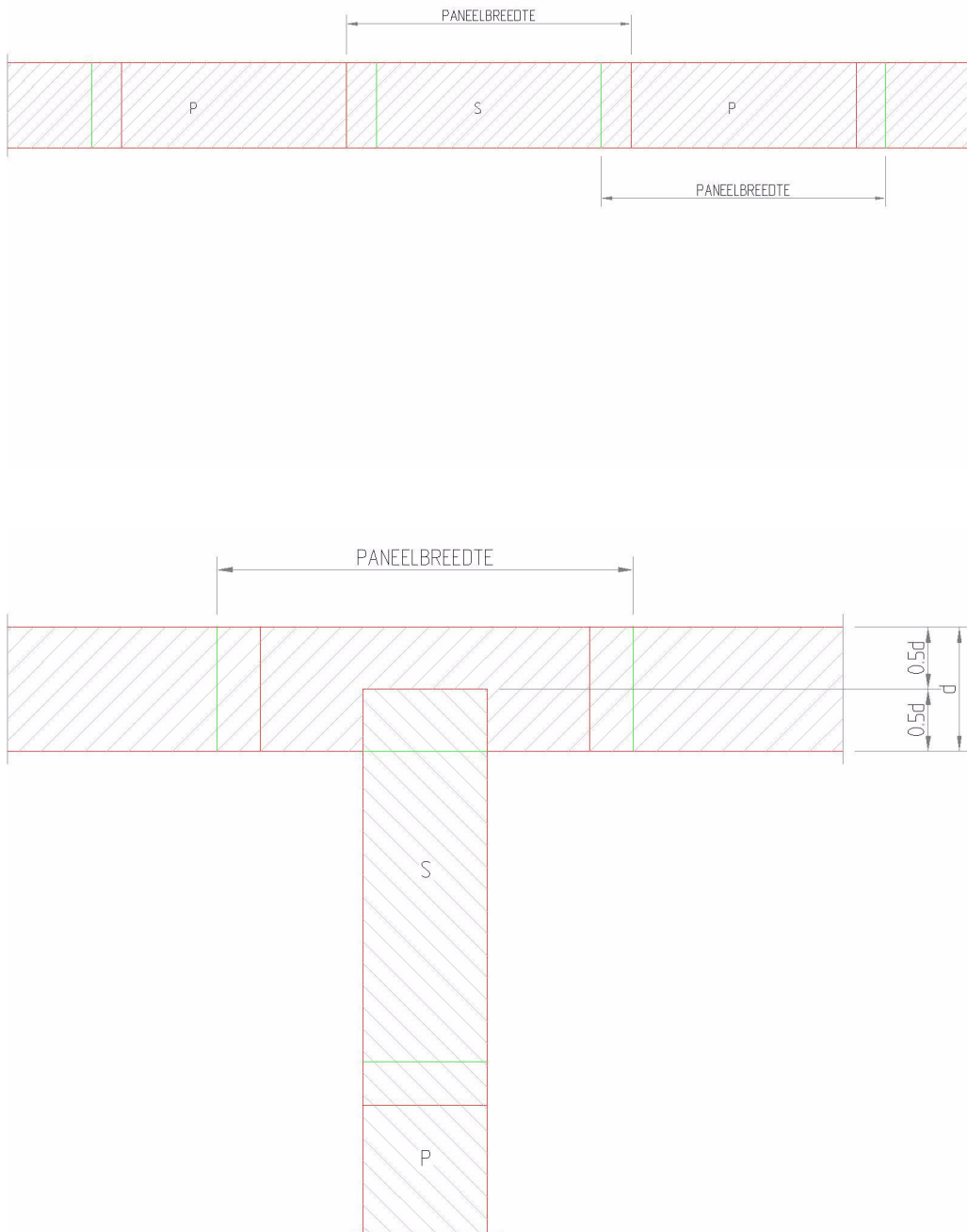
**Motivering:**

Scherpe hoeken kunnen niet gemaakt worden omdat het onmogelijk is in een dergelijke vorm te ontgraven.

Bij cement-bentonietwanden zijn scherpe hoeken wel mogelijk, omdat in fasen kan worden ontgraven. Door de aard van de constructie (waterdichte kuip) zullen scherpe hoeken bij cement-bentonietwanden echter vrijwel nooit optreden.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.7.5 Voeg tussen twee cement-bentonietwandpanelen

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Bij cement-bentonietwanden.

**Detailontwerp:**

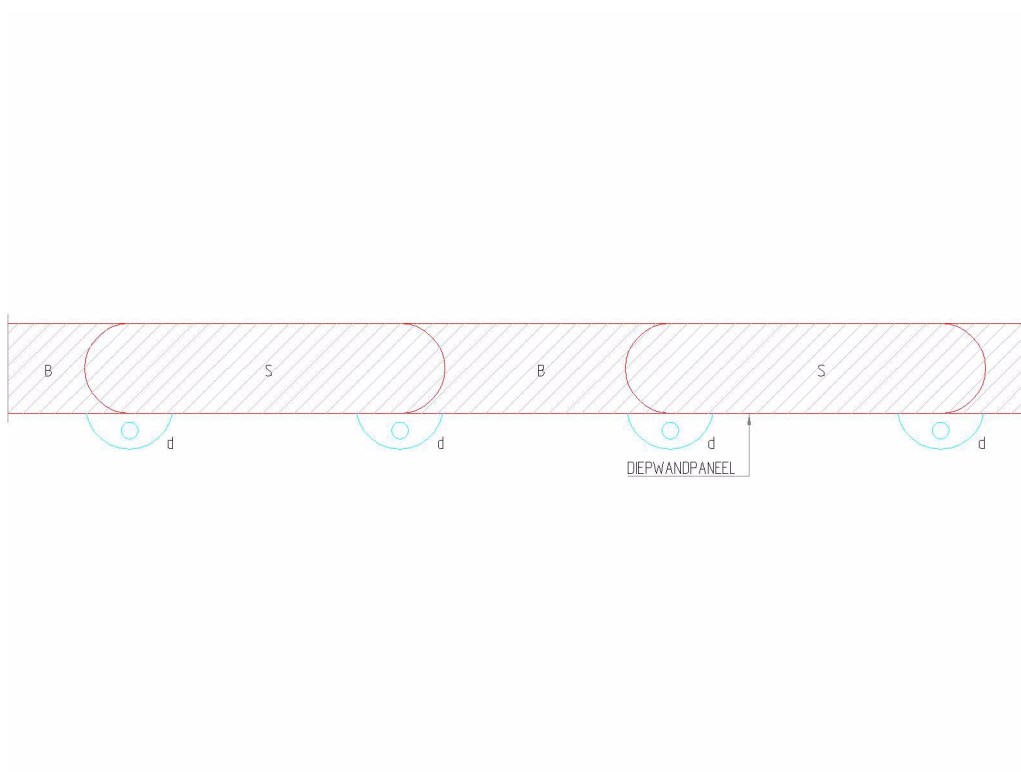
Om en om worden de zgn. primaire sleuven gegraven. De lengte van deze panelen is afhankelijk van de openingsbreedte van de grijper van de graafmachine. Daarna worden de tussenliggende secundaire sleuven gegraven. Hierbij graaft de grijper enkele decimeters in de nog relatief vloeibare dichtingsmassa van de primaire panelen.

**Motivering:**

Door het gedeeltelijk weggraven van de cement-bentonietwand ontstaat een voegloze wand.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.7.6 Voeg tussen twee diepwandpanelen (zonder voegstrip)

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Tussen twee diepwandpanelen.

**Detailontwerp:**

Voor het storten van het beton wordt in de sleuf een dikwandige ronde stalen buis met een buitendiameter gelijk aan de sleufbreedte geplaatst. Na het storten van het beton wordt de buis (na ca. 3 uur) m.b.v. vijzels enigszins losgetrokken en na het verharden van het beton wordt de buis verwijderd. Het volgende paneel kan nu worden gegraven. De ronde voeg wordt m.b.v. een speciale voegbeitel schoongemaakt en opgeruwd. De wand wordt gemaakt met zgn. begin- en sluitpanelen. Afhankelijk van de eisen die gesteld worden aan de waterdichtheid, kan al of niet een zgn. dichtingsmassa-kolom met manchettebuis achter elke voeg worden geplaatst. Hiermee wordt na verharding van de betonspecie over de hele voeghoogte de grond geïnjecteerd middels injectiepunten h.o.h. 33 cm. Hierdoor ontstaat een waterdichte massa.

Bij deze oplossing bestaat de kans dat de scherpe hoeken t.p.v. de voegen aan de ontgraven zijden kunnen afboeren.

**Motivering:**

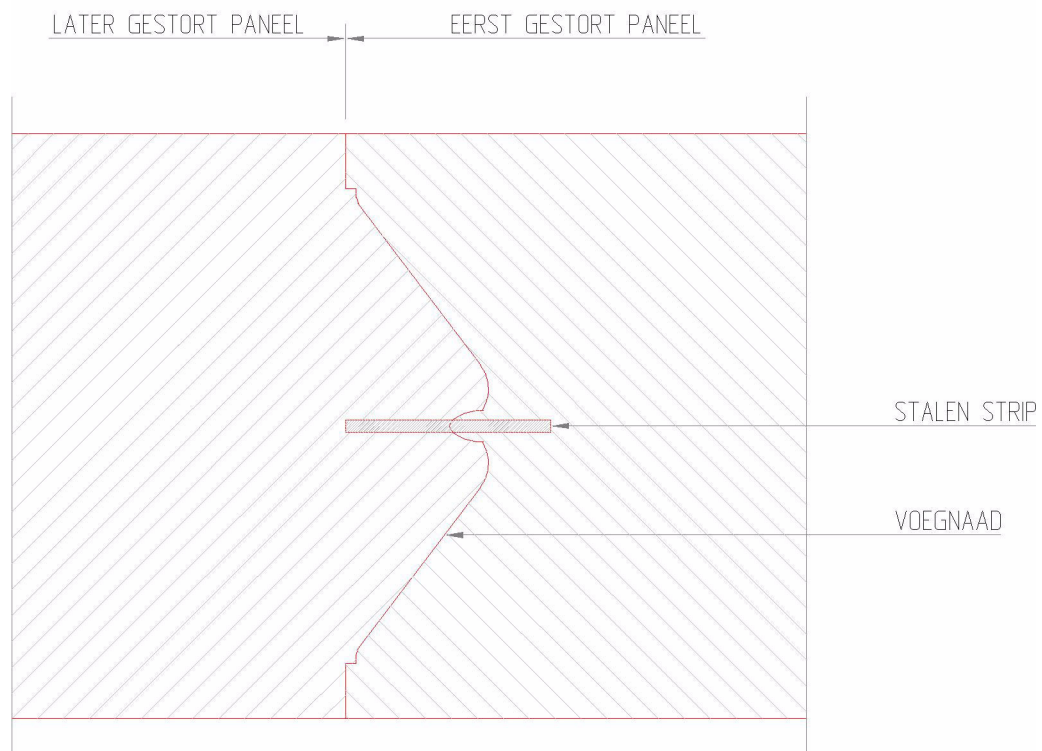
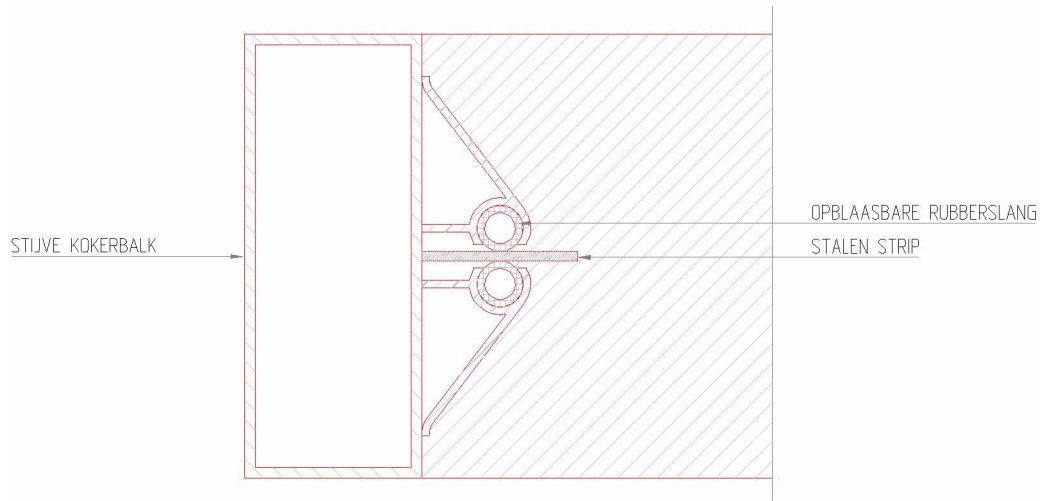
De keuze van het type voeg hangt af van de aannemer en de eisen die gesteld worden aan de waterafdichting. In geval van onduidelijkheid kan een proef met verschillende type voegen duidelijkheid verschaffen.

Indien de diepwanden gebruikt worden als tunnelwand, moet er bij de wandbekleding rekening mee worden gehouden dat de voegen nooit 100% waterdicht zullen zijn. Het is dan ook aan te bevelen voorzetwanden toe te passen, zodat lekwater kan worden afgevoerd.

**Conservering:**

Niet van toepassing.







### 5.7.7.7 Voeg tussen twee diepwandpanelen (met voegstrip)

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Tussen twee diepwandpanelen.

**Detailontwerp:**

Voor het storten van het beton wordt in de sleuf een stijve kokerbalk geplaatst, voorzien van een constructie waarmee een stalen dichtingsstrip kan worden aangebracht. Daarna kan een volgend paneel worden ontgraven. De stalen plaat wordt na verharding van het beton gelost van de vasthoudconstructie en vervolgens wordt de kokerbalk uit de sleuf verwijderd.

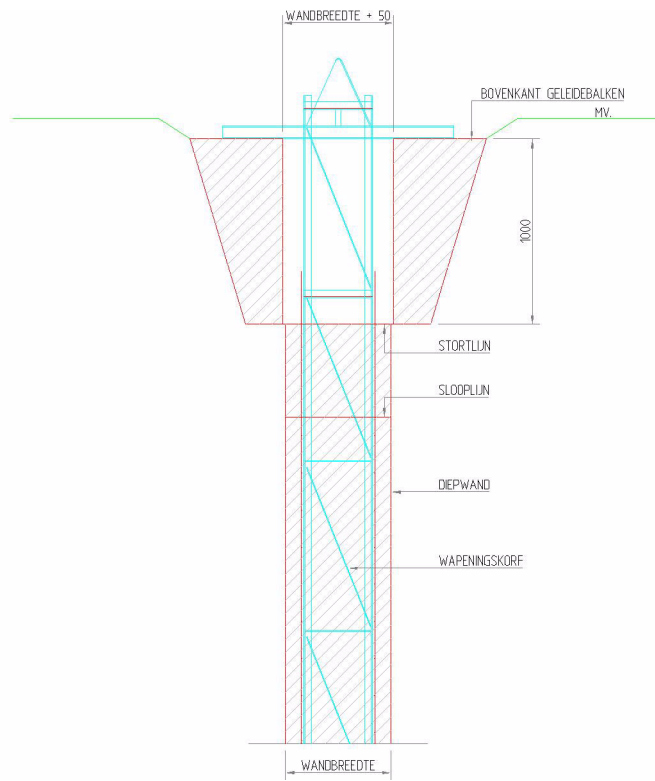
**Motivering:**

Bij een goede uitvoering waarborgt deze voeg een hogere mate van waterdichtheid dan de voeg omschreven in 'Voeg tussen twee diepwandpanelen (zonder voegstrip)'. De keuze van het type voeg hangt af van de aannemer en de eisen die gesteld worden aan de waterdichtheid. In geval van onduidelijkheid kan een proef met verschillende type voegen duidelijkheid verschaffen.

Indien de diepwanden gebruikt worden als tunnelwand, moet er bij de wandbekleding rekening mee worden gehouden dat de voegen nooit 100% waterdicht zullen zijn. Het is dan ook aan te bevelen voorzetwanden toe te passen, zodat lekwater kan worden afgevoerd.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.7.8 Afwerken bovenzijde diepwand

**Functie:**

Het garanderen van een goede kwaliteit beton over de gehele hoogte van de diepwand.

**Toepassingen:**

Bij alle diepwandconstructies.

**Detailontwerp:**

De geleidebalken worden op die hoogte gesteld, waarbij de onderkant samenvalt met de stortlijn van de diepwand. Deze stortlijn ligt weer enkele centimeters boven de hoogte die voor het ontwerp is vereist. De diepwand wordt tot deze hoogte gesloopt. De slooplijn dient bij voorkeur boven de grondwaterstand gemaakt te worden. Tevens moet de voeg t.p.v. de slooplijn voor de stort worden schoongemaakt. Wordt boven op de diepwand een betonconstructie gestort (bv. een landhoofd) dan moeten stekken worden opgenomen die minstens de laslengte boven de slooplijn uitsteken.

**Motivering:**

Omdat de bovenste strook beton van de diepwand slecht van kwaliteit is wordt het bovenste gedeelte over een hoogte van min. 0,50 m. gesloopt (totdat geen bentonietinsluitingen of andere kwaliteitsfouten meer worden geconstateerd). Indien de panelen daarna niet meer de vereiste hoogte hebben kunnen ze met constructiebeton worden aangestort.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



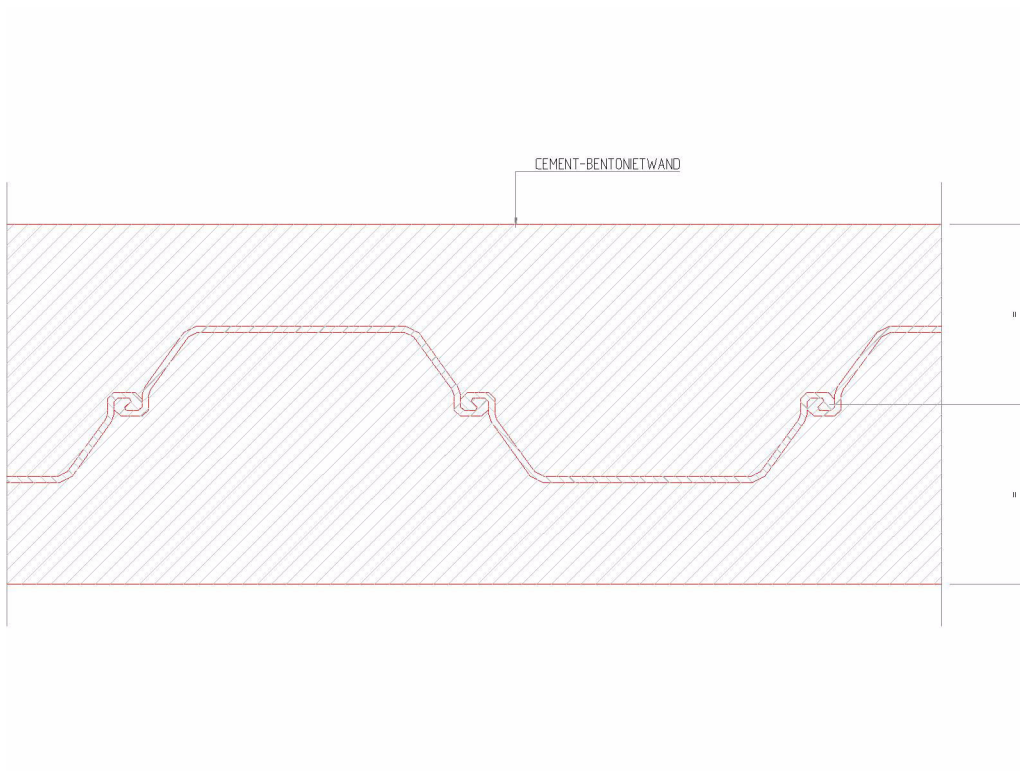


### **5.7.8 Cement-bentonietwand met waterkerende kern**

Het toepassen van cement-bentonietwanden met extra waterremmende kern is een techniek die de laatste tijd sterk in ontwikkeling is.

Met name op het gebied van de HDPE-folies is veel onderzoek gedaan naar voegen, weekendvoegen, wijzen van afhangen, etc.

De hierna beschreven details zijn een inventarisatie van de huidige stand van zaken.





### 5.7.8.1 Cement-bentonietwand met damwand

**Functie:**

Het creëren van een waterremmend en/of grondkerend scherm.

**Toepassingen:**

In het geval een cement-bentonietwand niet voldoende waterdichting garandeert en/of niet voldoende stabiel is (afschuiving in slappe lagen) en in het geval er problemen worden verwacht bij het heien of trillen van de damwand.

**Detailontwerp:**

De damwand wordt in de nog niet opgestijfde cement-bentonietwand geplaatst (evt. getrild).

De zwaarte van de damwand is afhankelijk van de functie die hij heeft. Meestal echter zal het profiel bepaald worden door de verwerkbaarheid.

Voor een optimale waterdichting moeten zo weinig mogelijk werksloten worden toegepast. Dus werken met b.v. drievoudige damwandplanken.

**Motivering:**

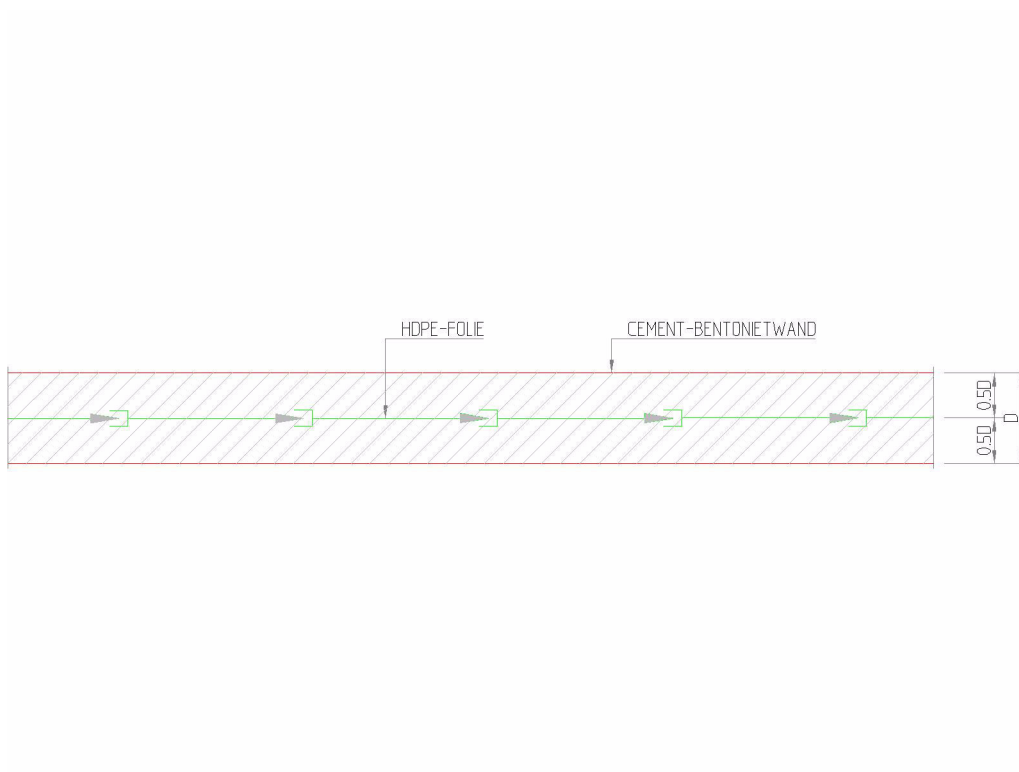
Een waterremmende kern wordt toegepast wanneer het gevaar bestaat van plaatselijk instorten van de wand of niet onderkende zandinsluiting. Ook het waterstandverschil speelt hierbij een belangrijke rol. Eén en ander zal echter altijd bekeken moeten worden met in achtnaam van de eisen die gesteld worden aan de waterdichtheid.

Het is ook mogelijk dat een damwand nodig is, die vanwege te verwachten heiproblemen (vanwege grondslag of trillingseisen) niet zonder meer kan worden aangebracht. In dat geval zal de grond en het gedeelte cement-bentoniet aan één zijde van de wand later worden weggegraven.

**Conservering:**

Niet van toepassing.







### 5.7.8.2 Cement-bentonietwand met waterremmende kern

**Functie:**

Het creëren van een waterremmende kern.

**Toepassingen:**

In het geval een cement-bentonietwand niet voldoende waterdichting garandeert en/of niet voldoende stabiel is (afschuiving in slappe lagen).

**Detailontwerp:**

HDPE-folie wordt in de nog niet opgestijfde cement-bentonietwand geplaatst. Hoe dit gebeurt is een zaak van de aannemer. Bekende methodes van afhangen zijn m.b.v. een frame en direct vanaf een rol.

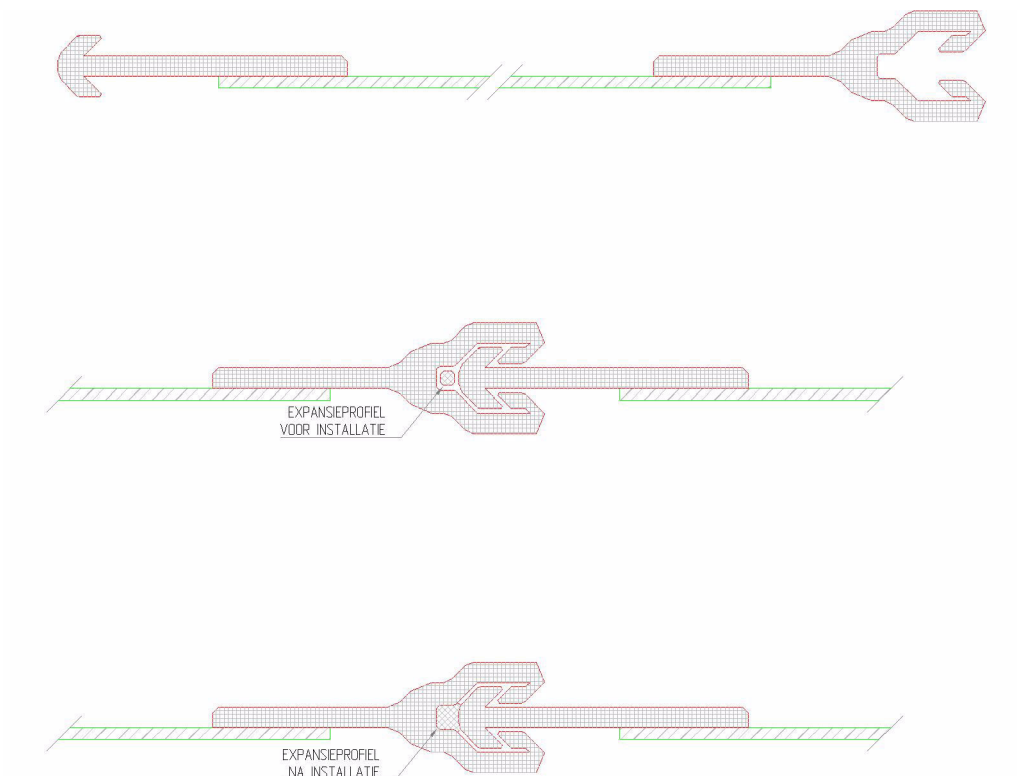
**Motivering:**

Een waterremmende kern wordt toegepast wanneer het gevaar bestaat van plaatselijke instorten van de wand of niet onderkende zandinsluitingen. Ook het waterstandverschil speelt hierbij een belangrijke rol. Eén en ander zal echter worden met in achtname van de eisen die gesteld worden aan de waterdichtheid.

Een HDPE-folie als kern heeft als voordeel boven een damwand dat het veel goedkoper en flexibeler (rekbaarder) is. Het voordeel van een damwand is dat deze de horizontale krachten in de grond door zijn stijfheid en sterkte (afschuiving) kan opnemen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.8.3 Voeg tussen twee foliepanelen

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Als voeg tussen twee foliepanelen in een cement-bentonietwand wanneer in een continu proces gewerkt wordt.

**Detailontwerp:**

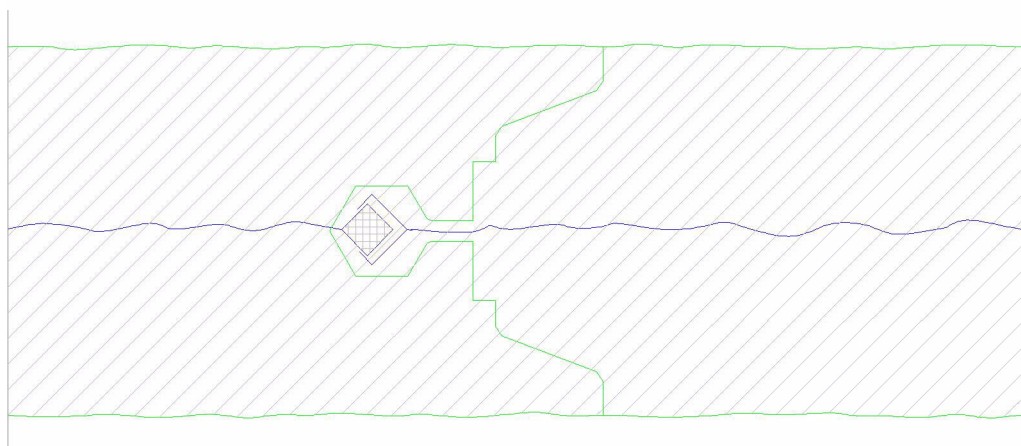
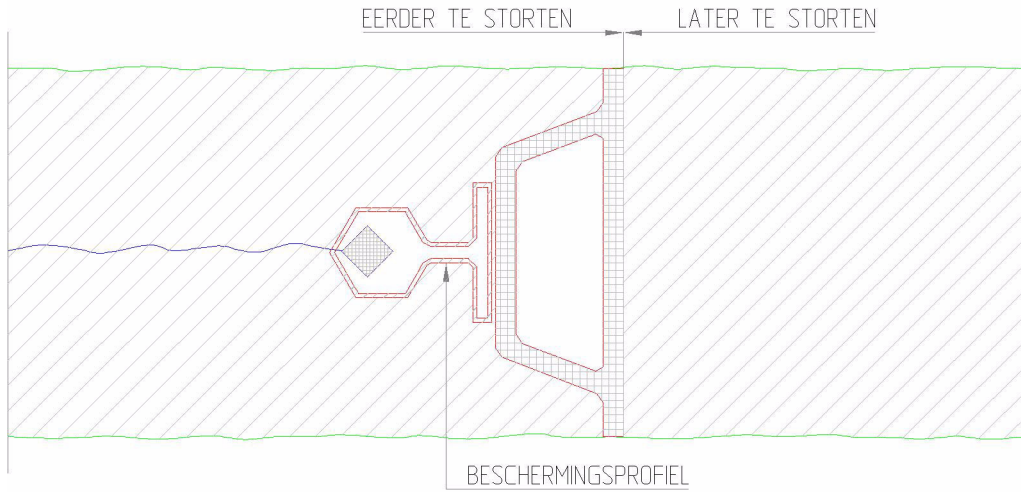
De foliebanen zijn voorzien van een slotprofiel met daarin evt. een zwelkoord. De werkvolgorde is zo dat de vrouwkant aansluiting op de reeds aanwezige mankant. Aangezien het slot min of meer gevuld zal zijn met cement-bentoniet is het gebruik van een zwelkoord misschien wat overdreven, maar brengt nauwelijks extra kosten met zich mee. Er kan op een eenvoudige manier gecontroleerd worden of de panelen goed in het slot zitten. Hiertoe wordt een strookje voegprofiel (vrouwkant) met een koord voor het in te hangen paneel mee naar beneden geschoven. Als het inhangen goed verloopt zal het koord met strookjes pas omhoog kunnen worden getrokken wanneer het in te hangen paneel op diepte is.

**Motivering:**

Als zorgvuldig te werk wordt gegaan wordt op deze manier een goede controleerbare voeg gemaakt.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





#### 5.7.8.4 Nood- / weekendvoeg tussen twee foliepanelen

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Als voeg tussen twee foliepanelen in een cement-bentonietwand wanneer t.g.v. een tijdelijke stop opstijving van het bentoniet-cementmengsel plaats vindt.

**Detailontwerp:**

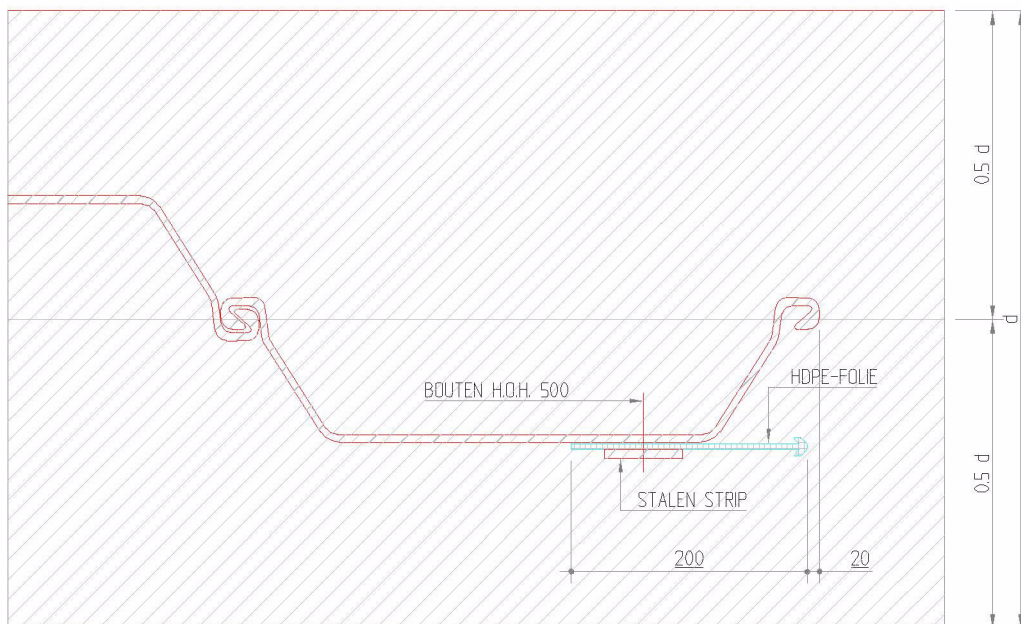
De mankant van het laatst te plaatsen foliepaneel wordt omhuld met een buisvormig beschermprofiel. Na plaatsen wordt tegen dit beschermingsprofiel een stalen buis in de sleuf geplaatst. Dit profiel dient als geleiding van het graafproces na continuering na de stop. Als het werk wordt hervat, kan de buis worden verwijderd en kan het beschermprofiel worden getrokken. Het in de stijve bentonietcement aanwezige folie wordt weliswaar niet gesteund door een frame maar onderdervindt voldoende zijdelingse steun.

**Motivering:**

Hoewel een continu-proces de voorkeur verdient, bieden dit soort voegen een oplossing als om een of andere reden toch gestopt moet worden. Overigens zijn op deze methode vele varianten mogelijk, afhankelijk van de werkwijze van de aannemer.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.8.5 Overgang damwandkern-foliekern

**Functie:**

Het creëren van een zo goed mogelijke waterdichte voeg.

**Toepassingen:**

Als voeg tussen een damwand en een HDPE-folie in een cement-bentonietwand.

**Detailontwerp:**

Op de laatst te plaatsen damwandplank wordt m.b.v. een stalen plaat en moerbouten het mankantgedeelte van een slot gemonteerd, waarna de plank in de cement-bentoniet wordt geplaatst. Hierop kan met een foliepaneel worden aangesloten.

Het plaatsten van het laatste damwandprofiel moet vlak voor het plaatsten van het eerste foliepaneel plaatsvinden, omdat het cement-bentoniet anders al is opgestijfd.

**Motivering:**

Op deze methode vele varianten mogelijk, afhankelijk van de werkwijze van de aannemer.

**Conservering:**

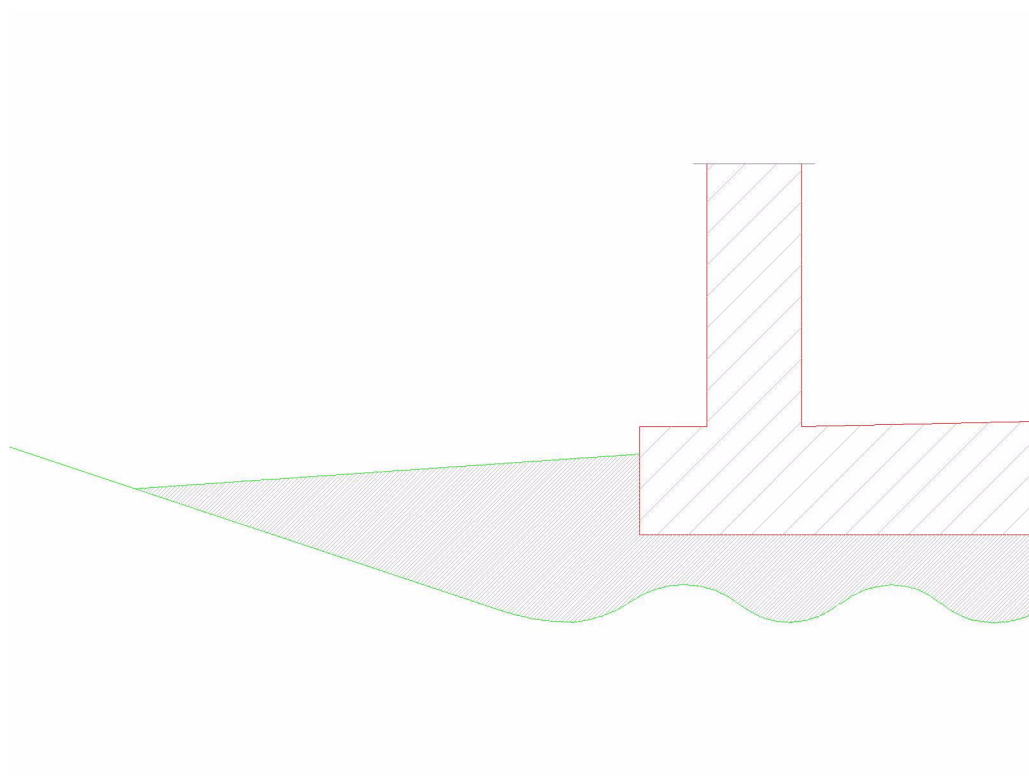
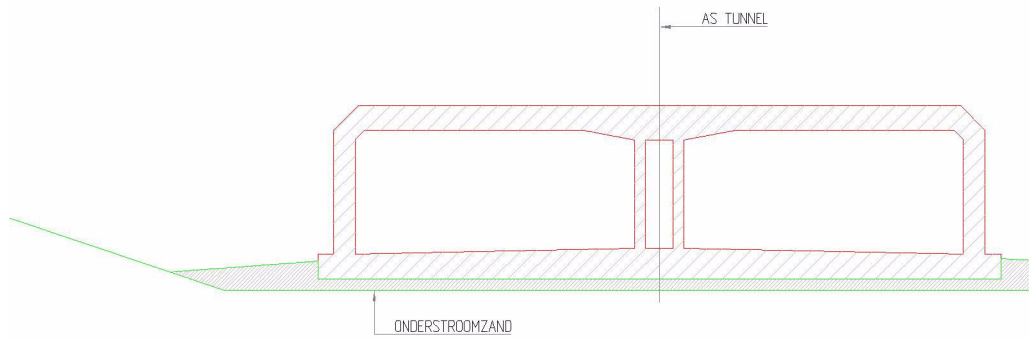
Niet van toepassing.







## **5.7.9 Fundering tunnelementen**





### 5.7.9.1 Onderstroming van tunnelementen

**Functie:**

Het verwezenlijken van de fundatie van tunnelementen.

**Toepassingen:**

Als goede fundatielaag aanwezig is.

**Detailontwerp:**

De bodem van de zinksleuf dient voldoende breed, diep en vlak te zijn (onregelmatigheden +/- 250 mm). Nadat het tunnelement op de tijdelijke opleggingen is geplaatst, op hoogte gesteld en voldoende belast kan met het onderstromen begonnen worden. Dit gebeurt op de in deel "Hulpconstructies t.b.v. afzinken" omschreven wijze. De minimale dikte van het onderstroomzand bedraagt 500 mm.

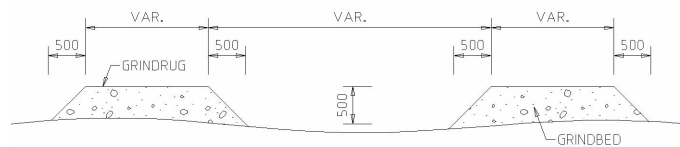
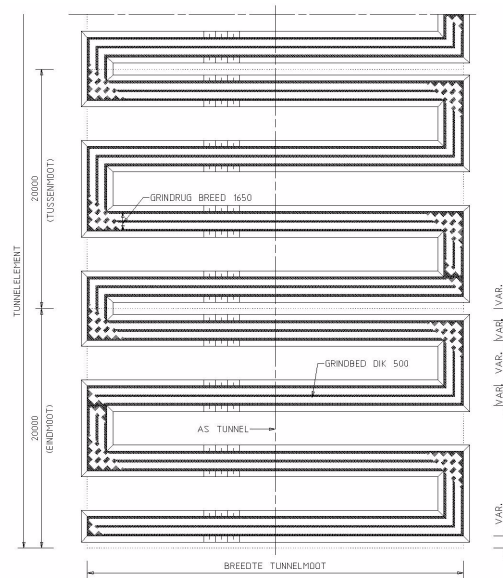
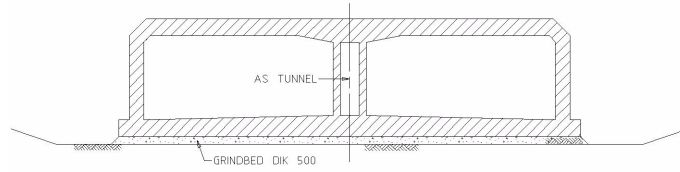
Kort voor het plaatsen van de tunnelementen dient de zinksleuf geïnspecteerd te worden en eventueel nog aanwezig slib verwijderd te worden.

**Motivering:**

Op deze manier wordt een goede fundatie verkregen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.7.9.2 Tunnelementen gefundeerd op grind

**Functie:**

Het verwezenlijken van de fundatie van tunnelementen.

**Toepassingen:**

Als goede fundatielaag aanwezig is.

**Detailontwerp:**

De bodem van de zinksleuf dient voldoende vlak te zijn (onregelmatigheden +/- 250 mm).

Het grind wordt, vanaf een ponton, in banen loodrecht op de tunnelas gelegd. Nadat 1 rug gelegd is, verplaatst het ponton waarna een volgende rug eveneens loodrecht op de tunnelas gelegd wordt. Tussen de grindruggen wordt zodoende een goot gevormd die een zekere bergingcapaciteit voor het sediment vormt. Om het sediment in de goten te kunnen persen dient de funderingsdruk groter te zijn dan bij het onderstromen van het tunnelement.

De afmetingen en de hoeveelheden grindruggen dienen door de constructeur bepaald te worden.

Kort voor het plaatsen van de tunnelementen dient de zinksleuf geïnspecteerd te worden en eventueel nog aanwezig slib verwijderd te worden.

**Motivering:**

Op deze manier wordt een goede fundatie verkregen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.





## 5.7.10 Diversen

### 5.7.10.1 Lijst met technische begrippen

**Ankerscherm**

Een onder de grond aangebracht damwand/diepwand/betonplaat-scherm dat dienst doet als verankering van een grond- en/of waterkerende damwand.

**Ankerstang**

Een stalen stang die de trekkracht overbrengt van de dam/diep-wand naar het ankerscherm.

**Beginpaneel**

Het diepwandpaneel dat tusseen twee tijdelijke voegprofielen gestort wordt (zie ook sluitprofiel).

**Fabrieksslot**

Het slot tussen twee damwandplanken dat fabrieksmatig wordt "geknepen" (zie ook werkslot).

**Groutzak**

Een met grout gevulde zak die de ruimte tussen de stempels en gording (of damwand) opvult en in verharde toestand een stempelkracht overdraagt.

**Kistdam**

Een tussen damwanden gevormde dam, waarbij de damwand aan elkaar gekoppeld zijn.

**Primaire sleuf**

Een sleuf t.b.v. een cement-bentonietwandpaneel die (nog) niet aansluit op een eerder aangebracht paneel (zie ook secundaire sleuf).

**Secundaire sleuf**

Een sleuf t.b.v. een cement-bentonietwandpaneel die aansluit op een eerder aangebracht paneel (zie ook primaire sleuf).

**Sluitpaneel**

Het diepwandpaneel dat aangebracht wordt tussen de eerder aangebrachte beginpaneel (zie ook beginpaneel)

**Werkslot**

Het slot tussen twee apart geheide of getrilde damwandplanken (zie ook fabrieksslot).







## Inhoudsopgave Afzinkdetails

- 5.8.1 Inleiding
- 5.8.2 Ballasten
  - 5.8.2.1 Ballasttanks
  - 5.8.2.2 Slingerschotten
  - 5.8.2.3 Waterballastsysteem
  - 5.8.2.4 Bescherm- / ballastschil
  - 5.8.2.5 Achtergronden
- 5.8.3 Tijdelijke fundaties
  - 5.8.3.1 Oplegtegels
  - 5.8.3.2 Stempelpennen
  - 5.8.3.3 Neus- en kinconstructies
  - 5.8.3.4 Achtergronden
- 5.8.4 Voegconstructies
  - 5.8.4.1 Kopschotten
  - 5.8.4.2 Aantrekcilinder
  - 5.8.4.3 Ginabescherming
  - 5.8.4.4 Wiggen
  - 5.8.4.5 Sluitvoegliniaal
  - 5.8.4.6 Sluitvoegbekisting
  - 5.8.4.7 Afpersen permanente afdichting (OMEGA)
  - 5.8.4.8 Achtergronden
- 5.8.5 Afzinkconstructies
  - 5.8.5.1 Voorspanning
  - 5.8.5.2 Bolders
  - 5.8.5.3 Toegangsschacht
  - 5.8.5.4 Meetmast
  - 5.8.5.5 Ophang- / hijspunten
  - 5.8.5.6 Ankerpunten
  - 5.8.5.7 Fenderconstructies
  - 5.8.5.8 Achtergronden
- 5.8.6 Onderstromen
  - 5.8.6.1 Onderstroomleiding / - punten
  - 5.8.6.2 Sondeeropeningen
  - 5.8.6.3 Achtergronden
- 5.8.7 Bijzondere details
  - 5.8.7.1 Ballasttanks (geïntegreerd in het element)
  - 5.8.7.2 Kopschotten (staal)
  - 5.8.7.3 Toegangsschacht
  - 5.8.7.4 Bescherming pneumatisch profiel
  - 5.8.7.5 Achtergronden
- 5.8.8 Diversen
  - 5.8.8.1 Lijst met technische begrippen



---

Tunneldetails



## **5.8 AFZINKDETAILS**

### **5.8.1 Inleiding**

Dit hoofdstuk beschrijft de hulpconstructies, die benodigd zijn voor het opdrijven, transport en afzinken van tunnelelementen en direct invloed hebben op het ontwerp van een tunnel.

Hoewel vrijwel al deze constructies door de aannemer worden ontworpen, is het toch zinvol om deze zaken in de een hoofdstuk van SATO te behandelen. Vandaar dit speciale hoofdstuk "Hulpconstructies t.b.v. afzinken". Dit document kan dan ook gebruikt worden voor het toetsen van de door de aannemer gemaakte ontwerpen. Als referentie voor onderliggende zaken is gekozen voor de toegepaste oplossingen bij de Spoortunnel Rotterdam en de Tunnel onder de Noord, beide tunnels, waarbij de Bouwdienst direct of indirect betrokken is geweest.

Dit document heeft niet de intentie om alternatieve oplossingen af te wijzen, echter de belangrijkste zaken, waarop bij het ontwerp en de uitvoering gelet moet worden, zijn hierin aangestipt en zullen voor de eventuele aangeboden alternatieve oplossingen veelal identiek zijn.

Voor het berekenen van diverse zaken met betrekking tot het opdrijven, transport, afzinken en onderstromen van tunnelelementen wordt verwezen naar de afzinkprogrammatuur AFTEL, specifiek t.b.v. het afzinken ontworpen computerprogramma's.

Het zou te ver voeren om alle verankerings-, afzink- en meetsystemen te beschrijven. Deze zijn in de verschillende draaiboeken uitgebreid beschreven. Draaiboeken van Tunnel onder de Noord en de Spoortunnel Rotterdam zijn bij de Bouwdienst respectievelijk in Utrecht en Bouwdok Barendrecht op te vragen.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

- definitief: maart 1993
- 1e herziening: december 2000 (dit betreft slechts een redactionele herziening)
- 2<sup>de</sup> herziening: januari 2005 (kleine aanpassingen)



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



## 5.8.2 Ballasten

### 5.8.2.1 Ballasttanks

**Functies:**

Berging van de vereiste hoeveelheden tijdelijke ballastwater in de bouwdok-, afzink- en onderstroom- en gedeeltelijke afbouwfase om voldoende veiligheid tegen opdrijven te waarborgen.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Grootte tanks afhankelijk van:

- Opdrijvend vermogen tunneldoorsnede
- De minimale volumieke massa van de beton
- De maximale volumieke massa van het omringende water
- Scheepvaartkrachten
- Onderstroomkrachten
- Minimaal vereiste bodemdruk of oplegreacties

Overdimensionering in verband met mogelijke afwijkingen in aannames volumieke massa noodzakelijk; in ontwerp als richtlijn 50% overwaarde aanhouden.

Positie tanks afhankelijk van:

- Optimalisatie voegmomenten en dwarskrachten
- Lay-out tunnelelement: in dwarsrichting liefst zo ver mogelijk uit elkaar
- Tanks over zodanig oppervlak verdelen dat vervanging van ballastwater door vaste ballast (beton of grind) goed mogelijk is

Mogelijkheden positie tanks:

- Tanks van langswand tot langswand bij meer dan twee kokers
- Tanks tegen buitenwanden
- Losstaande containers / watertanks uit tuinbouw
- Raakvlak: positie vijzelpenconstructie.

Rekening houden met scheefstand tunnelelement in afzinkfase berging wordt kleiner!

**Kernzaken uitvoering:**

Tanks eventueel voorzien van PVC-folie. Voorgevormde zak iets ruimer nemen dan tank. Maatregelen nemen ter voorkoming van beschadigingen. In ieder geval altijd een laagje water in tank laten staan en laagje zand of tempex onder de folie aanbrengen.

Indien geen folie, alle naden afplakken met een gebitumineerd glasweefsel. Om voegbewegingen te kunnen volgen het glasweefsel met ruimte aanbrengen.

Tanks vooraf testen op waterdichtheid.

Sparingen in de wanden ter plaatse van de tanks waterdicht maken; geeft vaak problemen.

Duidelijk afleesbare, eenduidige meetinstrumenten toepassen voor het bepalen van de vulling van de tanks.

De tanks dienen goed bereikbaar te zijn dmv bordessen, steigers etc.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

**5.8.2.2 Slingerschotten****Functies:**

Scheidingselementen ter voorkoming c.q. beperking van het uit zichzelf verplaatsen van vrij water in tunnelementen tijdens het opdrijven.

**Toepassingen:**

Bij lichte tunnelementen die na het opdrijven nog verder afgebouwd moeten worden. De normale ballasttanks, benodigd voor de afzink- en afbouwfase zijn ontoereikend voor de benodigde bodemdruk tijdens de bouwdokfase.

**Detailontwerp:**

De hoogte van de schotten is afhankelijk van de grootte van de normale ballasttanks, de benodigde bodemdruk en het maximaal opdrijvend vermogen tijdens de bouwdokfase.

De schotten zoveel mogelijk waterdicht maken.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

**5.8.2.3 Waterballastsysteem****Functies:**

Het ledigen en vullen van de ballasttanks en het ledigen van de zinkkamer en de sluitvoeg

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Leidingstelsel doorrekenen voor de benodigde vul- en leegtijden van de ballasttanks.

Alle tanks dienen afzonderlijk bedienbaar te zijn.

De kopschotdoorvoeren aan de buitenzijde en de pompinlaat in de tanks voorzien van korven om vervuiling van het systeem te voorkomen.

**Kernzaken uitvoering:**

Indien van twee tunnelementen de doorvoeren tegenover elkaar zitten aan de lengte van de korf denken (mogen elkaar niet raken).

De doorvoer zo laag mogelijk in verband met het ledigen van de zinkvoeg; in ieder geval onder de onderkant van de kopschotdeur.

Denk aan de beluchting van de zinkkamer tijdens het leegpompen.

Een tweezijdige inlaat van het ballastsysteem verdient de voorkeur in verband met het opvangen van calamiteiten.

Bij twee langsledingen deze in dwarsrichting verbinden en voorzien van een afsluiter, zodat dwarscorrectie mogelijk is.

Om sneller de zinkkamer te kunnen ledigen achter het kopschot via een omloopleiding tijdelijk een extra pomp opnemen.



Na het afzinken moeten de langsleidingen van de diverse tunnelementen kunnen worden doorgekoppeld om uiteindelijk al het water uit de tunnelementen te pompen. Ter plaatse van het landhoofd wordt dan veelal een verticale stijgleiding aangebracht om het ballastwater op het oppervlaktewater te kunnen lozen.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

**5.8.2.4 Bescherm- / ballastschil****Functies:**

Beschermen constructiebeton tegen vallende en/of krabbende ankers;  
Vaste ballast ten behoeve van het aftrimmen van het tunnelement als gevolg van het verschil in aangenomen max. v.m. beton en werkelijke v.m. beton en maatafwijkingen;  
Eventuele optimalisatie van de voegmomenten door de beton met verschillende diktes op de diverse moten aan te brengen.

**Toepassingen:**

Tunnels onder vaarwegen en aquaducten

**Detailontwerp:**

Aan de hand van de resultaten van de doorsnede-berekening en de toegepaste wapening, wordt bij een minimale schildikte van 150 mm de veiligheid tegen een vallend anker bepaald met het programma GENESYS ANKER ( $N \geq 1,0$ ).

De bescherm-schil d.m.v. haarspelden verdeuvelen met de constructiebeton en voorzien van een gepuntlast wapeningsnet.

Alternatief voor de bescherm-schil:

dekking vergroten ter plaatse van het dak en de afschuiningen (tendens 100 mm);  
grotere dekking van grond c.q. grind of stortsteen

**Conservering:**

Niet van toepassing





---

Tunneldetails

Afzinkdetails

### 5.8.2.5 Achtergronden

#### **Ballasttanks**

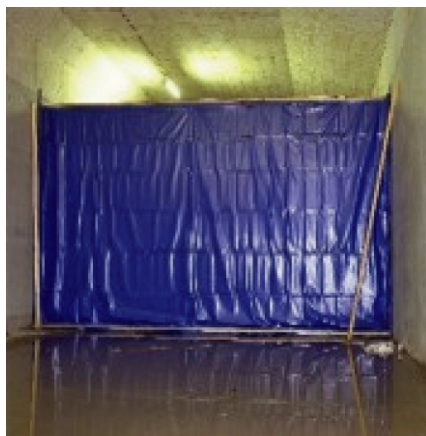
De inrichting van tunnelementen wordt bepaald door de keuze van de locatie en de afmetingen van de ballasttanks. Indien de doorsnede van de tunnel uit meerdere buizen bestaat en waarbij de buizen een geringe breedte hebben (bv metrobus), kan de gehele buisbreedte gebruikt worden als ballasttank. Door het plaatsen van een aantal schotten in de buizen is het mogelijk een enorme ballastcapaciteit te reserveren voor het afzinken.

De schotten dienen gedimensioneerd te worden op een volledige eenzijdige waterdruk, zodat het mogelijk is elk compartiment naar behoefte apart te vullen en te legen. Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel zijn de ballasttanks op deze wijze in de metrobus en de éénrijstrooks bus gemaakt.

De naden bij de dilatatievoegen zijn rondom afgeplakt. Het op deze manier afdichten van ballast tanks kan voor veel lekwater zorgen. Aangeraden wordt om plastic folie zakken toe te passen in de tanks. Deze dienen vooraf beproefd te worden op lekkage. (dmv vol pompen en controleren.) Verlies aan ballastwater mag niet optreden tijdens het afzinkproces, omdat dan bij het onder een helling gaan van het tunnelement, het water naar het laagste punt zal stromen. Op deze manier zouden de afzinkkrachten te hoog kunnen worden (op bv de lieren) en het TE in onbalans kunnen raken.

Bij het ontwerp van de ballasttanks dient rekening gehouden te worden met een goede ballastuitwisseling van het ballastwater met het ballastbeton. Met de volgende zaken dient rekening te worden gehouden:

- 30 cm vrijboord in zoet water
- evt. zouttrog in zinksleuf
- water uit zinkvoeg naar ballasttank
- schuinstand tot 5% van tunnelement



*Afbeelding 5.8.1, Binnenzijde ballasttanks*

Bij de Calandtunnel is als ballast tank een standaard product uit de tuinbouw gekozen, dit is een ronde watertank. Dit was mogelijk gezien de redelijk beperkte hoeveelheid ballastwater. Voordeel hierbij is dat er door de ronde vorm geen grote momenten in de wanden ontstaan. Waardoor ze lichter zijn en dus makkelijker aangebracht en afgebroken kunnen worden. Ze zijn opgebouwd uit gegolfde platen en hebben gestandaardiseerde afmetingen en foliezakken. Om afschuiven/weggliden tegen te gaan is er een betonnen rand in de tank gestort. Vooraf is een proefopstelling gemaakt waarbij de tank onder een extra helling werd gezet. (6 i.p.v. 4,5%) De benodigde ballasthoeveelheid was bij de Calandtunnel 2 tanks primair (5530 kN) en 6 tanks aan de secundaire zijde. (18465 kN) De afmetingen en capaciteit van de tanks waren: Dia 11,83m. hoogte 3,88m. en capaciteit 363m<sup>3</sup>.



Afbeelding 5.8.2, Ballasttank (Calandtunnel / watertank uit de tuinbouw)

Bij de Zeeburgertunnel zijn de ballasttanks gevormd door "open" zeecontainers met folie. Bij andere tunnels zijn tanks bestaande uit bekisting en folie tegen de middenwanden geplaatst.

### **Slingerschotten**

Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel zijn ballast tanks gemaakt door tussenschotten over de hele breedte van de tunneldoorsnede (metrobus en bus met 1 rijstrook) te plaatsen. Op deze manier kunnen tussenschotten ook fungeren als slinger-schotten indien dit noodzakelijk is. (zie figuur 1) De ballasttanks dienen altijd uit verschillende compartimenten te bestaan i.v.m de uitwisseling met ballastbeton.

### Waterballastsysteem

Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel was het ballastleidingensysteem aangepast aan de tankconfiguratie en bestond uit een vul- en uitpompopening voor ieder segment van de tanks. De aannemer had ervoor gekozen om niet ieder segment van de tanks van een eigen pomp te voorzien, maar om te werken met vier pompen zodat gelijktijdig vier tanks naar behoefte konden worden leeggepompt. Het ballastleidingensysteem was opgebouwd uit een standaard systeem van gekoppelde buizen.( $\varnothing$ 100 mm) Dit is in eerste opzet gevoelig gebleken, omdat er tijdens een weekeinde een koppeling was gesprongen terwijl de hoofdafsluiter nog open stond, waardoor er veel water in het betreffende element terecht was gekomen.



*Afbeelding 5.8.3, Ballastleidingensysteem (Wijkertunnel/tanks vrij gehouden van buitenwand))*

Het principe is om de in- en uitlaten van het water door de kopschotten te geleiden. Elke tank heeft zijn eigen vul- en leegpompleiding en een meetlat. De gevulde tanks dienen met regelmaat op lekkage gecontroleerd te worden.

Omdat het vullen en ledigen van de tanks veel tijd kost, kan bij het vullen ook gebruik gemaakt worden van het natuurlijk verval van water.

Voor het vol- en leegpompen van de tanks bij de Calandtunnel is een leidingensysteem opgebouwd met centrifugaalpompen. Hierdoor kon met hoge capaciteit water in en uitgepompt worden. Het basis idee was goed, het heeft echter in de praktijk nog wel eens tot probleempjes geleid. Door kleine lekkages werd lucht aangezogen waardoor de capaciteit van de centrifugaalpompen behoorlijk afnam. Ook zijn een aantal koppelstukken gesprongen vanwege de enorme druk opbouw van deze zware pompen. Het vullen van de tanks echter ging bijzonder snel en aangezien het ballasten altijd het meest tijdrovende deel is van de afzinkoperatie is een soortgelijk systeem wel preferabel, maar heeft extra aandacht (controle) nodig.



*Afbeelding 5.8.4, Ballastleidingensysteem Calandtunnel ( afsluiters, een centrifugaalpomp en de in- en uitstroomleidingen)*

#### **Bescherm- / ballastschil**

De functie hiervan is beschermen van constructiebeton tegen vallende en/of krabbende ankers.

Er kan een extra schil van 100 a 150 mm dik beton op het dak worden gestort evt. voorzien van een krimpnet. (Bij de hemspoortunnel is een schil van 100mm toegepast.)

I.v.m krabbende ankers dienen ook de zijkanten van een tunnel afgeschuind te worden.



### 5.8.3 Tijdelijke fundaties

Tunnelementen worden tijdelijk gefundeerd door middel van vijzelpen-, neus- en kinconstructies en oplegtegels. Deze tijdelijke fase bevindt zich aansluitend aan het afzinken tot en met het onderstromen van het tunnelement.

De constructie van de neus- en kinoplegging is afhankelijk van de soort tunnel, verkeers- of spoortunnel, en direct gerelateerd aan het aantal en de verdeling van de kokers van het tunnelement.

De vijzelpenconstructie bestaat veelal uit twee vijzelpennen. Bij lange tunnelementen of bij tunnelementen met overvarende grote schepen verdient het soms de voorkeur een viertal vijzelpennen toe te passen. In deze situatie worden grote oplegreacties gevraagd om voldoende veiligheid tegen loskomen te waarborgen.

Bovengenoemde vijzelpenconstructies dienen, afhankelijk van het gekozen oplegsysteem, in ieder geval in langsrichting van het tunnelement hydraulisch te worden gekoppeld om een statisch bepaald systeem te verkrijgen.

De hydraulische koppeling van de vijzelsystemen van de oplegconstructies is afhankelijk van de configuratie van die onderdelen. Omdat de neus- en kinconstructies slechts kunnen worden gedimensioneerd op krachten tot ca. 2500 kN is het aan te bevelen de neusvijzels hydraulisch te koppelen om ongewenste krachten op de neuzen en kinnen te voorkomen. Hierbij mogen de vijzels van de pennen in dwarsrichting van het tunnelement vanzelfsprekend niet worden doorgekoppeld.

De tot nu toe toegepaste maximale vijzelpendiameter bedraagt 400 mm en is geschikt om 6000 kN over te brengen.

#### 5.8.3.1 Oplegtegels

**Functies:**

Een tijdelijke fundatie van een tunnelement in de periode van afzinken tot en met het onderstromen. De uitgestuurde stempelpen van een element staat op een in de tegel ingestorte staalplaat, zodat de oplegreacties aan de ondergrond kunnen worden overgedragen

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Grootte van de tegel is afhankelijk van de bodemgesteldheid, de geometrie van de zinksleuf en de maximaal mogelijk optredende vijzelpenbelasting.

De sterkte van de tegel zodanig berekenen dat deze op twee tegenover elkaar liggende lijnen aan de uiteinden van de lange zijden ter breedte van 1,00 m op de ondergrond kan komen te rusten.

De grootte van de staalplaat is afhankelijk van het schuiftraject van het tunnelement tijdens het afzinken en de meetnauwkeurigheden van het plaatsen van de tegel en het tunnelement. Afmetingen ruim nemen; weinig meer investering, doch veel minder problemen.

De tegels op vier punten voorzien van zogenaamde spuds ter voorkoming van het ronddraaien over een hoekpunt tijdens het plaatsen van de tegel.



Ingestorte onderdelen opnemen ten behoeve van het hijsen en inmeten van de tegel tijdens het plaatsen.

Voor de gewichtsbesparing eventueel de bovenzijde buiten de staalplaat afschuinen, hetgeen tevens een relatie heeft met de scheefstand van het tunnelelement in lengterichting - niet raken van de tegel met onderzijde tunnelelement.

De staalplaat dient van hoogwaardiger staal te zijn dan de stempelpen i.v.m. het voorkomen van trechtersvorming in de staalplaat - grote wrijving.

Bij te grote zetting van een tegel na het plaatsen met als gevolg dat de uitstuurlengte van de vijzelpen te groot wordt, kan een opzettegel worden toegepast. Deze wordt dan op de reeds geplaatste tegel aangebracht.

Indien geen ruimte aanwezig is, om de prefab tegel te plaatsen kan ook gebruik gemaakt worden van een ter plaatse gestorte tegel van onderwaterbeton (OWB). Hiervoor dient na het ontgraven van de tegelput, eerst een laag grint gestort te worden als uitvullaag tussen bodem en OWB. Hierna kan een kist geplaatst worden en een prefab wapeningskorf met staalplaat. Na het verharden van het OWB kan de staalplaat ingemeten en op de juiste hoogte gesteld worden. Als laatste kan de ruimte tussen staalplaat en OWB geïnjecteerd worden met een groutinjectie.

**Kernzaken uitvoering:**

De geometrie van de tegel bepalen ten behoeve van het plaatsen; relatie hijsframe en positie staalplaat dient in den droge te worden ingemeten en bekend te zijn in x-, y- en z-richting.

Duidelijke merken op tegel aanbrengen ten behoeve van de richtingen voor het plaatsen e.d.

Duikvriendelijke verbindingen toepassen ten behoeve van het plaatsen.

Plaatsingsnauwkeurigheid in de praktijk bedraagt ca. 250 mm incl. meetnauwkeurigheid.

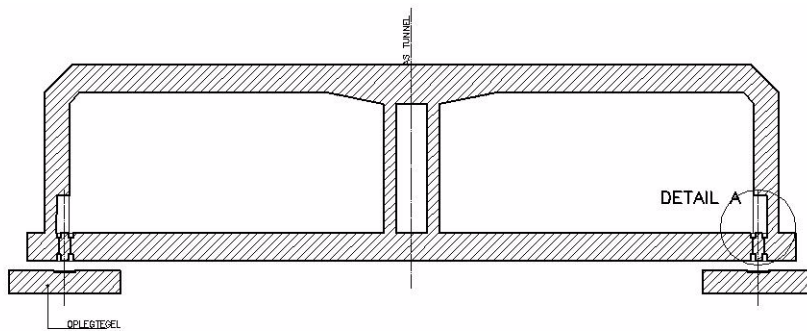
Plaatsingsnauwkeurigheid tunnelelement bedraagt in de praktijk ca. 50 mm, incl. meetnauwkeurigheid.

**Conservering:**

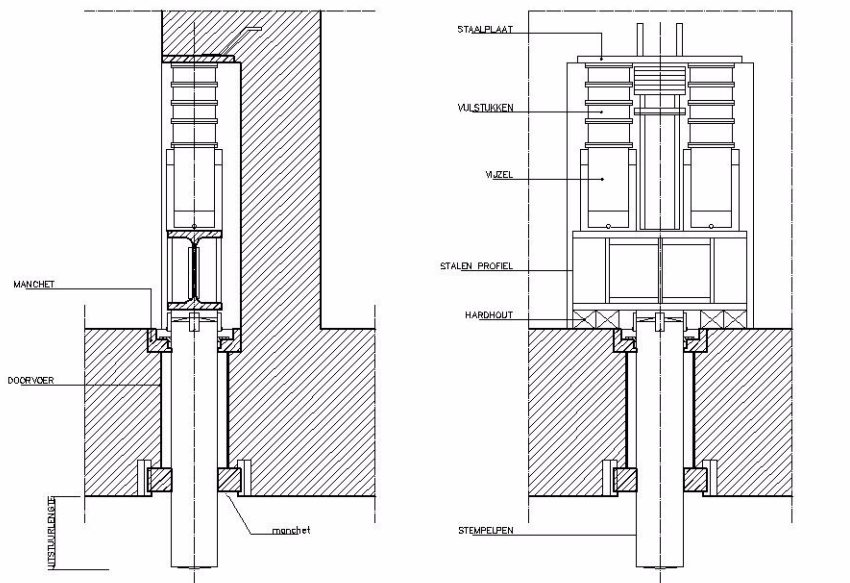
Niet van toepassing.







DOORSNEDE TUNNELELEMENT T.P.V. STEMPELPENNEN



DETAIL A: SPARING T.B.V. STEMPELPEN

DOORSNEDE VLOER MET INKASSING, WAARIN VIJZELS MET STEMPELPEN IN MAXIMALE UITSTAND



### 5.8.3.2 Stempelpennen

**Functies:**

Tijdelijke constructie ten behoeve van de fundatie van het tunnelement in de periode van afzinken tot en met het onderstromen. Tevens ten behoeve van het verticaal op hoogte stellen van het tunnelement vlak voor het onderstromen. De stempelpen wordt door middel van vijzels op een van te voren geplaatste oplegtegel neergelaten en belast door het innemen van ballastwater.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Positie stempelpen bij voorkeur in de buitenwanden (in inkassing); de reactiekracht wordt direkt in de betonconstructie overgebracht.

Indien de plaatsing van de stempelpen ter plaatse van de buitenwanden onmogelijk is, de pen óf in de binnenwanden situeren óf door middel van een trekstaafverbinding aan de vloer verankeren (trekstaaf géén dywidag, maar zachtstaal!!); eventueel doorstempelen tegen het dak. Deze oplossing kan toegepast worden als het tunnelement in een door damwanden begrensde zinksleuf wordt afgezonken, waarbij door ruimtegebrek de oplegtegel niet onder de buitenwanden kan worden aangebracht.

Zwaarte stempelpen en bijbehorende constructies afhankelijk van:

- Vereiste minimale oplegreacties
- Scheepvaartbelastingen
- Zoutfluctuaties
- Onderstroomkrachten
- Oplegreacties van volgend tunnelement

Rekening houden met dwarskracht op stempelpen (uit scheepvaart en stroomkrachten); veelal bepalen de maximale uitstuur lengte van de pen onder het tunnelement en de dwarskracht (geeft moment) de dikte van de pen.

Het manchets dient achteraf waterdicht te kunnen worden afgesloten en geïnjecteerd.

Rekening houden met de borging van de stempelpen.

Extra wapening opnemen voor de krachtsoverdracht van de betonconstructie naar de stempelpenconstructie.

Voorzieningen (b.v. Lentonankers) opnemen voor het aanstorten van de inkassing.

Bij lange tunnelementen kan in langsrichting voor twee keer twee stempelpennen worden gekozen; deze dienen in de operationele fase in langsrichting twee aan twee hydraulisch te worden gekoppeld.

**Kernzaken uitvoering:**

Bij het gebruik van trekstaven met koppelmoffen er op letten dat de trekstaaf voldoende ver is ingeschroefd!

Doorvoer (manchet ten behoeve van de stempelpen) in de vloer instorten - passing pen /manchet vóór storten controleren - pen inclusief manchetsamen instorten.

De trekstaven testen op 1,5 maal de werkbelasting.

Bij het stellen van het manchets letten op de stand van de constructie - de vijzelpen dient in afgezonken positie verticaal te staan.



## Tunneldetails

## Afzinkdetails

Voor het afzinken (drijvende fase in bouwdok) het functioneren van de pen met vijzelconstructie testen.

Extra wapening opnemen.

De vijzelpennen aflaten en verwijderen als het opvolgende tunnelelement is onderstroomd.

Na het verwijderen van de vijzels, de stempelpen 0,5 m optrekken en doorbranden of -gutsen - denk aan de waterdruk, pen kan spontaan omhoog gedrukt worden!

Na het doorbranden van de pen, de pen terugduwen in het manchet en hechten aan het manchet - blindflens vastbouten en rondom waterdicht aflassen.

Door de aanwezige injectieopeningen de nog aanwezige holle ruimte in het manchet met grout vullen.

**Conservering:**

De met beton in aanraking komende delen:

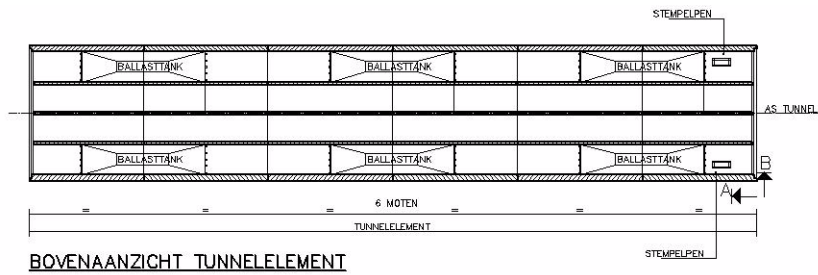
- zinkcompound 60  $\mu\text{m}$

Afdekplaat en uit de constructie stekende deel van bovenflens:

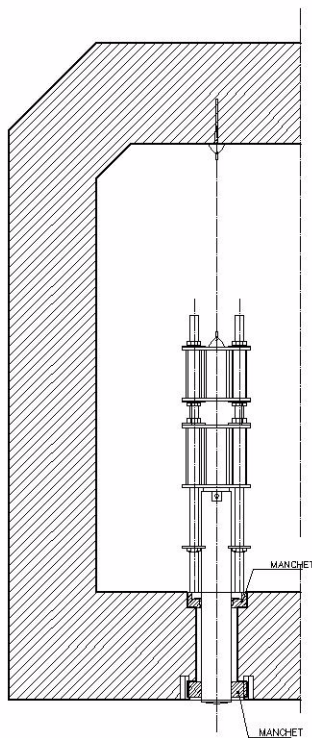
- zinkcompound 40  $\mu\text{m}$

- HS-coating op epoxybasis 150  $\mu\text{m}$

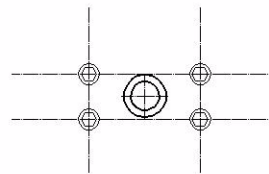




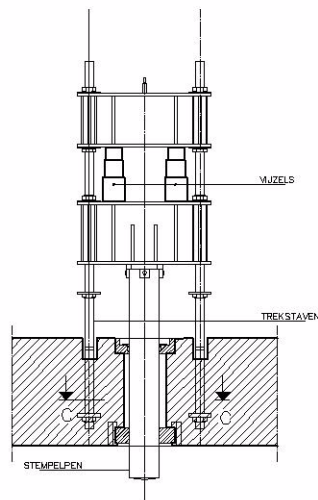
**BOVENAANZICHT TUNNELELEMENT**



**DOORSNEDE A**



**DOORSNEDE C-C**



**DOORSNEDE B: UITSTAANDE STEMPELPEN**



### 5.8.3.3 Neus- en kinconstructies

**Funcities:**

Een tijdelijke oplegging van een tunnelelement in de afzinkfase tot en met de onderstroomfase. Centreert het af te zinken tunnelelement t.o.v. het voorgaand tunnelelement in dwarsrichting. Een tunnelelement voert zijn reactiekracht af naar de ondergrond via de neusconstructie, de kinconstructie van het voorgaand tunnelelement en de stempelpennen met oplegtegels van het voorgaand tunnelelement.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

De zwaarte van de betonnen neus- en kinconstructie is afhankelijk van:

- vereiste minimale oplegreactie
- scheepvaartbelasting
- zoutfluctuaties
- onderstroomkrachten
- stroomkrachten

Altijd twee neus- / kinconstructies toepassen tenzij dit niet mogelijk in verband met de tunnelelement-constructie.

Op de kinnen stalen penconstructies monteren.

Aan de neuzen wordt aan één zijde een stalen vangconstructie en aan de andere zijde een schuifplaatconstructie gemonteerd. (Indien aan beide neuzen een vangconstructie wordt gemonteerd, kunnen deze vangen, indien er slechts kleine maatvoeringsafwijkingen aanwezig zijn, grote krachten ontwikkelen in dwarsrichting op de neus en kin).

Een zodanige staalconstructie ontwerpen dat deze eenvoudig achteraf verwijderd kan worden.

In de staalconstructies dient plaats te zijn voor hydraulische vijzels.

Er dient een dwarskrachtverbinding in de constructie te worden opgenomen, zodat de dwarskracht van het tunnelelement naar de vijzelpennen van het voorgaand tunnelelement kan worden afgevoerd (belasting uit scheepvaart, aanvulling en stroom).

De vang minimaal 150 mm breed maken.

De platen op de neuzen en de pennen op de kinnen zodanig plaatsen dat het tunnelelement tijdens het afzinken afgezet kan worden terwijl nog voldoende speling aanwezig is tussen de tijdelijke afdichting (Gina) en de stalen omranding van het voorgaand tunnelelement (> 250 mm).

In verband met de grote hoeveelheid wapening in de neus en de kin, deze zéér nauwkeurig detailleren.

**Kernzaken uitvoering:**

Er zit zeer veel wapening in de betonnen neuzen en kinnen: het betonmengsel hierop aanpassen; plastisch met superplastificeerder met evt. fijn grind.

Zorgen dat de bovenzijde van de pennen glad en afgerond is in verband met het, in latere fase, schuiven tijdens het aantrekken van het tunnelelement.



Zeer nauwkeurige metingen uitvoeren op de positie van de stalen pen- en vangconstructie van twee aangrenzende tunnelementen (x-, y- en z-meting); meten ten opzichte van de ideale as van een tunnelement. Daarna de constructie pas ondersabelen.

Tijdens het afzinken, direct nadat de zink-kamer is geopend, de vijzels plaatsen en hydraulisch koppelen. Tot dat tijdstip moet de totale belasting door één neus/kin opneembaar zijn. Een tunnelement dient opgelegd te zijn op een driepunts oplegging om torsie in het tunnelement te voorkomen c.q. beperken. Om van de twee neus-/kinconstructies één oplegging te maken dienen de beide vijzels hydraulisch te worden gekoppeld. In dit geval zullen de momenten in dwarsrichting door de vijzelpennen worden opgenomen.

Neus en kin na het afzetten van het tunnelement slopen in verband met het verkrijgen van een rechte dilatatievoeg.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

#### 5.8.3.4 Achtergronden

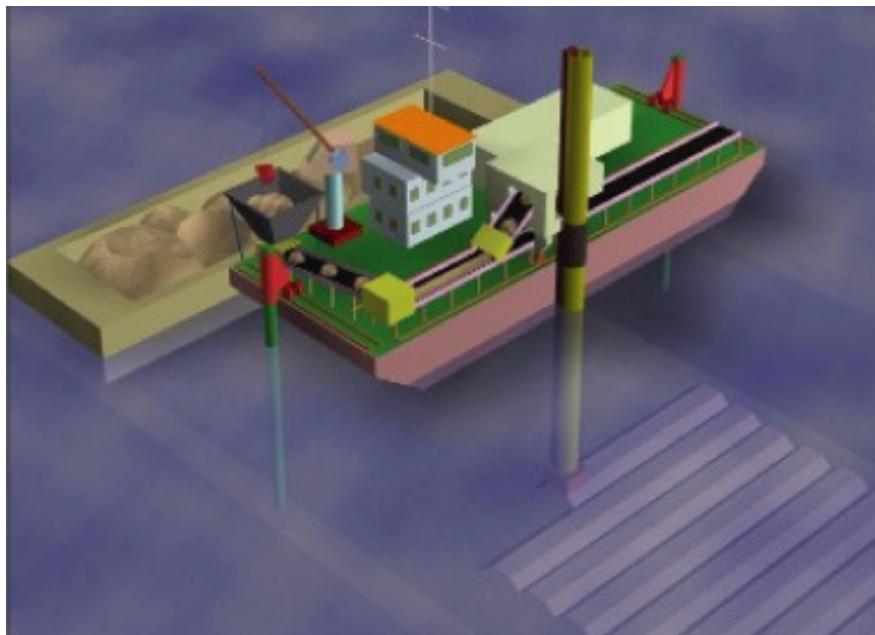
##### Algemeen

In de meeste gevallen worden de tunnelementen bij het afzinken tijdelijk gefundeerd op een neus-kin constructie (primaire zijde) en oplegtegels (secundaire zijde). Nadat het element is afgezonken en geplaatst is op de primaire en secundaire oplegging en de extra ballasttanks vol water zitten, start men met het onderstromen. Daarna kan het volgende element afgezonken en onderstroomt worden. Wanneer dit gereed is kan de vijzelpen van het vorige element ingetrokken worden en rust het element op het zandbed.

Bij een aantal elementen van de 2<sup>de</sup> Benelux tunnel is geen tijdelijke fundatie gebruikt, maar zijn deze elementen direct op een grintbed afgezonken.

De reden hiervoor was dat de grote scheepvaartkrachten waarop de constructie berekend diende te worden, niet opgenomen konden worden door de gebruikelijke vijzelpenconstructie

(hier zouden 4 vijzelpennen benodigd zijn). Door het element direct op een grintbed af te zinken kon de stabiliteit wel gegarandeerd worden.



Afbeelding 5.8.5, Aanbrengen van een grintbed.  
(2e Beneluxtunnel)

Een nadeel van deze grintbedmethode t.o.v. het gebruik van vijzelpennen is, dat er niet meer gecorrigeerd kan worden na het afzinken. Bij het gebruik van vijzelpennen kan er verticaal en horizontaal nog gecorrigeerd worden tot het moment van onderstromen.

Er dient rekening gehouden te worden met slibafzetting op het grintbed. De zinksleuf dient voor het afzinken gecontroleerd te worden en eventueel gezuiverd te worden van slib. In het grintbed van de Beneluxtunnel zijn ruimtes open gelaten, zodat een betere drukverdeling mogelijk was van het tunnelement en meteen een ruimte werd gecreëerd voor eventuele slibafzetting





Scheepvaartkrachten en stroomsnelheden bepalen o.a. het ontwerp van de tijdelijke fundaties. Na het afzinken tot na het aanvullen van de tunnelementen hebben scheepvaartkrachten vrij spel op het tunnelement. Het is dan ook van groot belang deze krachten nauwkeurig te bepalen. Anderzijds kan soms in overleg met de vaarwegbeheerder restricties aan de snelheid van schepen worden gesteld om zodoende, de scheepvaartkrachten te beperken.

Voor info scheepvaartkrachten zie de volgende rapporten:

- Rapport "Afgezonken tunnelementen: krachten door overvarende schepen en stroming" door WL Delft hydraulics, projectnummer Q2550 (4133-2001-1009)
- Rapport "CFD modelling of ship-tunnel interactions" inclusief "supplementary note" en "supplementary note II" door Computational Dynamics (Germany) Limited (4133-2003-1001).
- Rapport "Validatieproeven krachten op afgezonken tunnels door passerende schepen" door WL/Delft hydraulics, projectnummer Q2550 (4133-2003-1002).

Naar deze rapporten wordt verwezen in het document Kennisplan 2003-2005 Constructies document nr. 4133-2003-1003.

Een voordeel van de grintbedmethode is dat geen vijzelpennen meer nodig zijn en er niet meer onderstroomt hoeft te worden. Er zijn dan geen in te storten leidingen meer ten behoeve van het onderstromen en geen vulleidingen meer op de oren. Een nadeel is dat de toegestane toleranties bij het grintbed gehaald moeten worden en dat men een kritiek tijdspad heeft i.v.m. de aanslibbing op het grintbed..

### **Oplegtegels**

Normaal gesproken is een oplegtegel een prefab betonnen plaat die dmv bv een drijvende bok geplaatst wordt in een vooraf gegraven tegelput in een zinksleuf. De oplegtegel is een vierkante gewapend betonnen tegel met een staalplaat voor de oplegging van de vijzelpen. In de berekening van de tegel worden diverse excentriciteiten en scheefstanden voor de belastingen meegenomen a.g.v. plaatsingstoleranties (zowel voor de tegel als voor het tunnelement). Vaak is de draagkracht van de ondergrond bij bezwijken maatgevend voor de tegel. Ook dient er een voorspelling gemaakt te worden van de te verwachte zettingen van de tegel, na het afzetten van het tunnelement op de tegel. Deze voorspelling wordt meegenomen in de bepaling van de hoogte waarop de tegel wordt geplaatst. De tegelputten worden separaat gebaggerd na het gereedkomen van het baggerwerk voor de zinksleuf en daarna weer met een grindaanvulling op de juiste hoogte gebracht.

Bij de Calandtunnel zijn in de gestempelde zinksleuven geen prefab tegels gebruikt. Deze zouden zeer moeilijk te installeren zijn geweest. (gestempelde zinksleuf en ontlastsleuven aan de landzijde) Hier heeft men een tegel gemaakt van gewapend onderwater beton. De wapeningskorf is hierbij met een speciaal ponton, wat onder de stempels door kon, geplaatst. Na het storten van de OWB is de staalplaat op hoogte gesteld en is de ruimte onder de staalplaat geïnjecteerd.



*Afbeelding 5.8.6, Wapeningskorf met stelplaat oplegtegel*

### **Vijzelpennen**

Vijzelpennen worden in een inkassing in de buitenwanden geplaatst, dit om de vijzels tussen pen en beton te kunnen plaatsen. De vijzelpennen worden uitgevoerd als massieve stalen pennen van een hoge staalkwaliteit, C45, met een diameter van 400 mm (2<sup>de</sup> Beneluxtunnel). Extra aandacht dient te worden besteed aan de afronding van de onderkant van de pen en aan de dichtingen. Er dient (forse) bijlegwapening geplaatst te worden in de buitenwand om de horizontale belasting in de betonconstructie in te leiden.

Voor het afzinken zijn de vijzelpennen voorzien van een dwarsbalk, waarop twee vijzels en een borging geplaatst konden worden (dit om te voorkomen dat tijdens het opdrijven en transport de vijzel pen eruit valt of omhoog komt). Bij de 2<sup>de</sup> Beneluxtunnel heeft de aannemer ervoor gekozen om te werken met twee 315 tons vijzels. Tussen de vloer en de dwarsbalk waren twee kleine vijzels aanwezig om de pen te borgen en de benodigde vooruitslag te kunnen geven vlak voor het afzinken.



*Afbeelding 5.8.7, Vijzelpennen met borging en dwarsbalk in sparing buitenwanden*

Bij de Calandtunnel is gebruik gemaakt van pennen met een diameter van 300mm. De minimale vijzeluitslag was 280mm (nominaal 300mm) en maximaal 640mm. De horizontale krachten die op een element werken (secundaire zijde) worden opgenomen door de wrijving die optreedt tussen de stempelpennen en de staalplaat op tegels. Als wrijvingscoëfficiënt wordt in dit geval 0,3 genomen. Na het plaatsen worden de vijzelpennen afgebrand en wordt de opening dichtgelast. De nis in de buitenwand wordt daarna dichtgestort.

#### **Neus- en kinconstructie**

Aan het ontwerp en uitvoering van de neus- en kinconstructie worden hoge eisen gesteld. Naast een grote geconcentreerde belasting die opgenomen dient te worden (veel wapening, speciaal beton) is er ook nog de nauwkeurigheid die bepaald hoe het element er in de eindsituatie erbij ligt. (maatvoering pen en vangconstructie.) De minimaal op te nemen verticale belasting op de neusoplegging dient minimaal 1000 kN te zijn en de horizontaal belasting 500kN. De neus- en kinconstructie wordt na het afzinken dmv Dywidag staven gekoppeld om "losraken" te voorkomen.



## 5.8.4 Voegconstructies

### 5.8.4.1 Kopschotten

**Functies:**

De tijdelijke waterdichting van de kopse einden van een tunnelelement, zodat een doosconstructie wordt gevormd, die kan drijven.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

In te storten onderdelen in het kopschot:

- waterdichte deur
- eventueel mandeksel t.b.v. duiker
- tasterdoorvoeren aan secundaire zijde
- tasterplaten aan primaire zijde
- ballastleidingdoorvoeren
- ontluchtingspijp
- kabeldoorvoeren

Onderdelen van het kopschot:

- aanslag vloer: kraanrail o.i.d.
- aanslag dak
- kopschotstijlen met veelal aangelaste deuvels
- betonwand

De zwaarte van het kopschot is afhankelijk van de maximale waterdiepte in afgezonken toestand van het tunnelelement en stroom tijdens het transport; bij transport over zee rekening houden met golfbelasting.

Het kopschot dient t.p.v. het landhoofd veelal als HW-kering, zodat hierover afspraken met het aanliggende Waterschap o.i.d. gemaakt moeten worden.

Stekken rondom in vloer, dak en wanden opnemen.

Bij de keus van de deurbreedte rekening houden met de breedte van de zinkkamer.

Stekankers (b.v. Lenton) opnemen in de vloer i.v.m. de deugelconstructie in de zinkvoeg (zie SATO hoofdstuk Zink- en sluitvoegen).

Deuren tegenover elkaar op gelijke hoogte stellen en zij dienen 180° draaibaar te zijn.

Alternatieven: Stalen- en prefabschotten

**Kernzaken uitvoering:**

Bij het stellen van de stijlen zorgen dat een goede aansluiting gewaarborgd is tussen stijl en aanslag; eventueel vastlassen met hechtlas.

Bekisting aanbrengen aan de achterzijde van de flens van de stijlen. Het kopschot wordt dan een flensdikte dikker.

Zorgen dat een juist betonmengsel wordt toegepast: goed plastisch met superplastificeerder.

Halverwege de hoogte van het kopschot stortluiken toepassen.

Denk aan een juiste verdichtingsmogelijkheid in de ruimte onder de waterdichte deur.

Door middel van een uitgekiste driehoek t.p.v. de bovenste stortluiken zorgen dat met behulp van een overhoogte een goede aansluiting met het dak wordt verkregen.



De overmaat aan beton weghakken en de stortnaad tegen het dak gedeeltelijk uithakken en repareren met een cementgebonden reparatiemortel.

Stortnaden, scheuren, conusgaten en aansluitingen op ingestorte onderdelen nadien afplakken met een gebitumineerd glasweefsel.

Het slopen van het kopschot in de afbouwfase mag pas plaats vinden als twee actieve waterkeringen aanwezig zijn (tijdelijk afdichting - Gina en permanente dichting - Omega of een kopschot aan de juiste zijde belast).

**Conservering:**

Niet van toepassing.

**5.8.4.2 Aantrekcilinder****Functies:**

Het bewerkstelligen van een eerste, geringe indrukking van de tijdelijke afdichting (Gina), zodanig dat de aanvoer van water door de nog aanwezige spleet tussen de tijdelijke afdichting en de stalen omranding van het voorgaand tunnelelement kleiner is dan de pompcapaciteit van de pomp achter het kopschot, die de zinkkamer moet ledigen.

**Detailontwerp:**

De maximaal te leveren kracht bepalen aan de hand van:

- stijfheid Gina-profiel
- tolerantie en scheefstand kopvlakken
- toelaatbare afwijking van het secundaire einde van het tunnelelement
- wrijving vijzelpen-staalplaat en neus-/kinconstructie

Duikvriendelijke verbindingen ontwerpen

**Kernzaken uitvoering:**

Na het monteren op het tunnelelement (onder water), het volledig uitsturen en intrekken van de cilinder testen.

Alternatief:

d.m.v. ingeschoren of enkele langsdraad

**Conservering:**

Stralen SA 2,5

2 lagen primer 50 µm

2 lagen high build, polyurethaanbasis 70 µm

**5.8.4.3 Ginabescherming****Functies:**

Het beschermen van het tijdelijke afdichtingsprofiel (Gina) tijdens het transport en verhalen van het tunnelelement; veelal in combinatie met een duwbootframe tijdens het transport.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Het duwbootframe ontwerpen op de duwkracht van de betreffende duwboot inclusief het effect uit de dynamische belasting.



In verticale richting rekening houden met de bewegingen en krachten van de duwboot onder invloed van golven e.d.  
De bescherming dient redelijk eenvoudig en snel te kunnen worden verwijderd.  
De bescherming eventueel drijvend uitvoeren.  
De constructie doorzetten tot ca. 1,50 m onder de waterlijn.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

**5.8.4.4 Wiggen****Functies:**

Bewerkstelligen dat de voorspankracht ten gevolge van de waterdruk op de kopschotten in langsrichting van het tunnelelement aanwezig blijft tijdens het legen van de sluitvoeg. Hierdoor blijven de tijdelijke afdichtingen (Gina's) van de aangrenzende tunnelelementen samengedrukt.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

De grootte van de over te brengen kracht is afhankelijk van de grootte van de waterdruk op het kopschot van de tunnelelementen ter plaatse van de sluitvoeg. In het ontwerp er van uit gaan dat 75% van het oppervlak van de wiggen aan de krachtsoverdracht deelneemt.

Hulpconstructies ontwerpen voor het plaatsen (zoeker) en het ondersteunen van de wiggen.

De vlakken van de wiggen die zorgen voor de krachtsoverdracht tegen de tunnelelementen voorzien van 4mm dik hardboard.

De wiggen zover mogelijk van elkaar af situeren: mogelijkheden zijn: t.p.v. de buitenwanden of de binnenwanden. Gesitueerd in de buitenwanden, dienen deze ter plaatse te worden verbreed (zie SATO hoofdstuk Zink- en sluitvoegen).

**Kernzaken uitvoering:**

De vlakken van de tunnelelementen waartegen de wiggen komen te rusten zo vlak mogelijk maken; zonodig met een reparatiemortel uitvlakken.

De wigvlakken van de beide aangrenzende tunnelelementen inmeten in het elementstelsel.

Per stel wiggen één wig vooraf maken; de tweede wig pas storten als de sluitvoegbreedte bekend is.

Na afzinken een directe afstandsmeting ter plaatse van de wigvlakken uitvoeren.

De tweede wig met een laag plastic als tussenlaag tegen de eerste wig, in den droge, volgens de ingemeten maten, storten.

Na het plaatsen van de wiggen op hoogwater een volledige duikercontrole uitvoeren op het aanliggen van de wiggen.

De in de binnenwanden geplaatste wiggen verwijderen als het betonwerk in de sluitvoeg van de vloer en de buitenwanden voldoende is verhard.

**Conservering:**

Niet van toepassing.



#### 5.8.4.5 Sluitvoegliniaal

**Functies:**

Na het plaatsen van het laatste tunnelelement t.p.v. de sluitvoeg, de dwarsligging van de beide aangrenzende tunnelelementen t.o.v. elkaar en de lengte van de sluitvoeg te kunnen meten.

**Detailontwerp:**

Draad/duikervriendelijke constructie.

Een zodanige constructie dat een dubbele meting uitgevoerd kan worden en zodanig dat grove fouten herkend kunnen worden.

**Kernzaken uitvoering:**

Positie markante punten voor latere sluitvoegmeting in den droge inmeten in tunnelelementstelsel.

**Conservering:**

stralen SA 2,5

2 lagen primer 50 µm

1 laag high build, polyurethaanbasis 50 µm

#### 5.8.4.6 Sluitvoegbekisting

**Functies:**

Na het afzinken van alle tunnelelementen het tijdelijk waterdicht afsluiten van het laatste deel van de tunneldoorsnede (1,0 à 1,5 m sluitvoeg) om in den droge de betonconstructie te kunnen afbouwen.

Na het storten van de sluitvoeg:

Het overnemen van de langskracht uit de wiggen in de normaaldoorsnede

Verzorgen van de water- en grondichting in de eindfase

**Detailontwerp:**

Sterkte bekisting is afhankelijk van de waterdiepte en de onderstroomkrachten.

Zwaarte en positie van de bevestigingsmiddelen zijn afhankelijk van stijfheid rubberprofiel (Wale-fender) en gewicht kist, in combinatie met eventueel de bekistingsdruk uit het betonstorten.

Zorgen voor een gladde aansluiting rubber beton; in de vloer te realiseren d.m.v. een staal profiel (houten bekisting weglaten).

De schotten t.p.v. de aansluiting op de tunnelelementen voorzien van delta-vormige rubberprofielen (Wale-profiel).

De waterdichte aansluiting van de schotten onderling (wand, vloer, dak) vraagt bijzondere aandacht.

Indien mogelijk sluitvoegbekisting uitvoeren met drijfkisten om het gewicht onder water te beperken.

Op een veilige plaats op het dakschot een afsluiter monteren om achteraf waterdruk tussen de beton en de stalen bekisting te kunnen bewerkstelligen.

Indien weinig gronddekking (tot 1,0 m) en gesitueerd in de vaargeul zorgen dat het dakschot en de bovenste delen van de zijschotten achteraf verwijderd kunnen worden.



Indien het tunnelelement t.p.v. de sluitvoeg uitwendig geen rechthoekige doorsnede heeft, de driehoeken uitvullen met prefab betonblokken tot een rechthoekige doorsnede; denk aan de waterdichtheid. Voorkeur: direct de constructie storten in een rechthoekige doorsnede.

Breedte sluitvoegschot t.b.v. afdichting dimensioneren op theoretische sluitvoegmaat +/- afwijkingen tijdelijke afdichtingen (Gina's), maattoleranties en afzinktoleranties.

Een deugel opnemen om horizontale verschuiving van de tunnelelementen onderling te voorkomen.

In de betonconstructie aan de buitenzijde van wanden en dak van de aangrenzende tunnelelementen ankerbussen instorten voor de bevestiging van de sluitvoegbekisting.

Rekening houden met een variatie van de sluitvoegbreedte (15 à 30 cm), afhankelijk van nauwkeurigheid van lengtemetingen en afzinktemperaturen.

Indien mogelijk, in verband met de scheepvaart de ruimte tussen dak en bekisting vergroten, zodanig dat personeel hierin kan werken - deze ruimte door middel van een schacht met de buitenlucht verbinden.

#### **Kernzaken uitvoering:**

Handelingen onder water zoveel mogelijk beperken!!

Alle van te voren ingestorte bevestigingsmiddelen zodanig merken, dat de positie onder water door duikers is te herkennen.

Inmeten kopse kanten sluitvoegzijde van de beide aangrenzende tunnelelementen i.v.m. de tolerantie m.b.t. breedte sluitvoeg.

Indien tijdelijke betonnen driehoeken worden toegepast, dienen deze tijdens het transport goed te worden beschermd.

Ingestorte onderdelen t.b.v. bevestiging sluitvoegbekisting inmeten en toetsen aan gewenste positie.

Betonoppervlak rondom aansluitvak controleren op korte knikken; evt. met reparatiemortel/kunstharsmortel uitvlakken.

Uitstekende dil. voegband aan het tunnelelement tijdens oprijf-, transport- en afzinkfase beschermen.

Sluitvoegbekisting t.b.v. vloer na afzinken van voorlaatste tunnelelement op de bodem van de ter plekke verdiepte zinksleuf plaatsen.

De benodigde lange lengtes wapening **voor** het plaatsen van de wiggen t.b.v. de onderzijde en **voor** het plaatsen van het dakschot t.b.v. de bovenzijde van de sluitvoeg in de voeg brengen.

Met betrekking tot het betonstorten van binnenuit het tunnelelement:

- Ten behoeve van het storten van het dak van de sluitvoeg een proefstort uitvoeren. Hieruit komt de betonsamenstelling, m.n. de zetmaat en de h.o.h. afstand van de betondoervoerpijpen naar voren.
- De aanwezigheid van een betontechnoloog op het werk tijdens het storten is een noodzaak.
- Elektronische verklikkers tussen de toevoerpijpen t.b.v. de hoogte van het betonoppervlak is aan te raden.

#### **Conservering:**

Niet van toepassing.





### 5.8.4.7 Afpersen permanente afdichting (OMEGA)

**Functies:**

Controle op de waterdichting van de permanente afdichting (Omega) bij maximaal optredende omstandigheden in de toekomst.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

In de vloer van het tunnelelement een leiding instorten, die de verbinding vormt tussen de ruimte tussen de tijdelijke en de permanente afdichting en de dagzijde van het tunnelelement.

Eveneens aan de dakzijde een soortgelijke leiding opnemen.

Na het monteren van het permanente afdichtingsprofiel de voeg vullen met water.

Het aanwezige water op een druk brengen, die overeenkomt met de hoogst mogelijk voorkomende waterstand, verhoogd met 1,00 m en de afsluiters afsluiten.

Na 12 uur een manometeraflezing doen.

Na 36 uur een tweede manometeraflezing doen.

De tweede aflezing mag niet meer dan 0,05 ato lager zijn dan de eerste.

Indien grotere afwijking, de lekkage opsporen en verhelpen. Daarna opnieuw testen tot de afname minder is dan 0,05 ato in 24 uur.

Na afloop voeg legen en leidingen afdichten.

Hoe achteraf, in de gebruiksfase van de tunnel, lekkage van de voeg eenvoudig te kunnen constateren, is beschreven in SATO hoofdstuk Zink- en sluitvoegen.

**Kernzaken uitvoering:**

Zorgen dat de ingestorte leidingen t.b.v. het testen niet voor de ingelaste plaat uitsteken i.v.m. beschadiging tijdelijke afdichting.

Goed af te lezen, met juiste schaalverdeling uitgeruste manometer toepassen.

Zorg dat de leidingen tijdens opdrijven tot aan het legen van de zinkvoeg afgedopt zijn.

Ter orientatie:

Lekkages kunnen verschillende oorzaken hebben:

- Achterloopsheid van de stalen omranding, afvoer via de roestvast stalen leiding.
- Tijdelijk afdichting is lek, echter de permanente afdichting niet: bij hoog aangelegde voegen kans op bevriezing van het aanwezige water - controle door middel van afpersvoorzieningen - daarna permanente zoutwateroplossing aanbrengen.
- Tijdelijk en permanente afdichtingen zijn lek - lekwater afvoeren via roestvast stalen leiding (zie SATO hoofdstuk Zink- en sluitvoegen)

**Conservering:**

Leidingen t.b.v. testen: geen

Leiding t.b.v. controle achteraf: roestvast staal

### 5.8.4.8 Achtergronden

#### Kopschotten

Bij afzinktunnels zijn de kopschotten uitgevoerd met een systeem van stalen balken en een betonnen plaat (~ 250mm dik) die in het werk gestort wordt. Normaal gesproken wordt er niet gerekend met samenwerking tussen de betonnen stijlen en de betonnen plaat, maar met een losse betonnen plaat gesteund door stalen steunen.

Doordat het kopschot als een soort schijf in het element zit gaat het een deel van de belasting uit de primaire oplegging afdragen. Hier dient het kopschot op getoetst te worden en eventuele extra schuifwapening bij de wandaansluitingen toepassen. Bij alle kopschotten heeft men moeten injecteren om ze waterdicht te krijgen.

Bij de 2<sup>de</sup> Benelux was ervoor gekozen om dubbele doorvoeren voor ballastwater en twee deuren per kopschot toe te passen i.v.m. de breedte van het element. (48 m<sup>2</sup>)

Een aandachtspunt bij de kopschotdeuren zijn de afdichtingrubbers. Bij de 2<sup>de</sup> Benelux bleken na het inunderen kopschotdeuren te lekken a.g.v. het verkeerde afdichtingrubber. (verkeerde shore hardheid) Een speciale habitat(duikklok) werd gemaakt om de rubbers te vervangen.



Afbeelding 5.8.8, Kopschot (2<sup>e</sup> Beneluxtunnel)

#### Met de volgende punten dient rekening gehouden te worden:

- wel of niet deuvels op de stalen balken
- afplakken stornaden van het kopschot
- het instorten van een injectieslang tegen het dak
- het afplakken van centerpennen van de kopschotkist
- maatregelen en inspectie om het lekken van het kopschot te voorkomen.

#### Aantrecilinder

D.m.v lieren wordt een tunnelement op zijn afzinklocatie gepositioneerd. Om het rubber neusje van de Gina ingedrukt te krijgen wordt elke tunnelement dmv een aantrecilinder tegen zijn voorganger aangedrukt.

Duikers bevestigen de aantrecilinder op het dak. De trekkracht om het neusje voldoende in gedrukt te krijgen is ca 50 ton. Hierdoor ontstaat de waterdichte afsluiting tussen Gina en stalen plaat. De Gina wordt ongeveer 7 cm ingedrukt.

Hierna wordt de zinkvoeg ontluicht en kan het water uit de zinkvoeg in de ballasttanks worden gepompt. De waterkracht drukt nu tegen het secundaire kopschot. De Gina wordt door deze druk nog eens zo'n 8 cm ingedrukt.



*Afbeelding 5.8.9, Aantrekcilinder Calandtunnel*

### **Ginabescherming**

Een Gina-bescherming is noodzakelijk voor elke tunnel die afgezonken wordt. Het voorkomt beschadigingen van het neusje door kabels van lieren, sleepboten etc. De bescherming wordt van hout gebouwd en loopt door tot net onder de waterlijn. Tijdens het inunderen, opdrijven en transport dient deze bescherming aanwezig te zijn.

Ook het W9UI-profiel in de sluitvoegkraag moet beschermd moeten worden door een houten constructie. Een grote beschadiging aan de W9UI is niet of nauwelijks te repareren. De bescherming van het Gina- bescherming is nodig slechts tot 1,0 m onder de waterlijn. De W9UI bescherming zou over de volle omtrek van de tunneldoorsnede aangebracht moeten worden.



*Afbeelding 5.8.10, Bescherming Gina profiel*

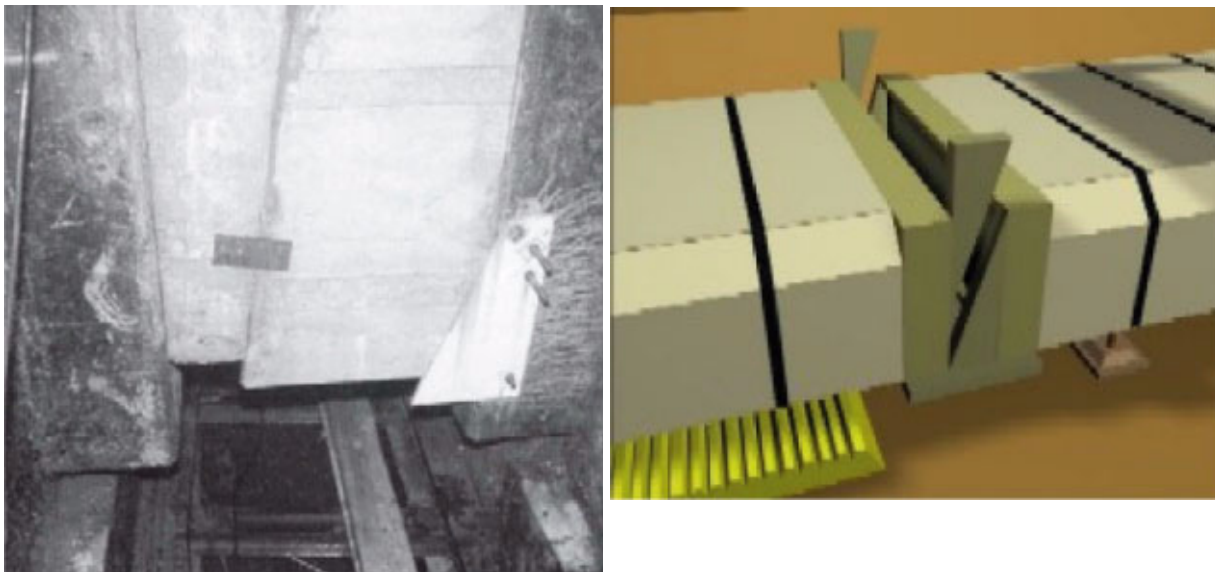
### **Wiggen**

De sluitvoeg wiggen dienen zover mogelijk uit elkaar te liggen, bij voorkeur de buitenwanden. De buitenwanden dienen dan verbreed te worden. (zie SATO)  
De kracht uit de wiggen grijpen excentrisch aan op de buitenwanden die hier dan ook op berekend/gewapend dienen te worden.

Als meewerkend oppervlak van de wiggen is bij de 2<sup>de</sup> Benelux tunnel 2/3 van de hoogte en 3/4 van de breedte genomen. (i.v.m. eventuele oneffenheden en afboeren te kunnen opvangen.)

T.p.v. de tandconstructie is over de volledige aanslaghoogte van de wiggen een staalconstructie in het beton opgenomen om de extra hoge krachten in te kunnen leiden

De eerste wiggen worden prefab gemaakt. De aansluitende wig wordt pas gemaakt als er een inmeting is geweest door duikers



*Afbeelding 5.8.11, Wiggen t.p.v. sluitvoeg*

### **Sluitvoeg liniaal**

Door middel van een sluitvoegliniaal is de ligging van de 2 elementen ter plaatse van de sluitvoeg in te meten door een duiker. De lengte van de sluitvoeg en de dwarsligging t.o.v elkaar wordt zo bepaald.

Deze meting is een noodzaak voor de maatvoering van de niet prefab te maken wig.

### **Tasterpennen:**

In de kopschotten worden staalplaten ingestort t.b.v de maatvoering van de zinkvoeg. In het andere kopschot is een buisje ingestort waardoor een pen gestoken kan worden. Na het afzinken kan hierdoor de maat van de zinkvoeg worden bepaald en er kan gecheckt worden op de x,y bepaling van het TE. Na het legen van de zinkvoeg is er een snelle controle mogelijk over de indrukking van de Gina. Vaak wordt, als kostenbesparing, de tasterpennen en –platen weg gelaten omdat er vertrouwd wordt op de x.y meting.

### **Sluitvoeg bekisting**

De bekisting van de sluitvoeg bestaat gewoonlijk uit 4 panelen. Na het plaatsen en vastzetten van het bodemschot, volgt het dakschot en daarna de zijschotten. De rubber D-fender zorgt voor de afdichting. Deze kan onder voorspanning gezet worden door met trekstangen de schotten tegen het element te trekken. Een verhoogde dakschot wat gebruikt wordt om vanuit de kist te storten, trillen etc is niet meer bij de 2<sup>de</sup> Benelux en Calandtunnel toegepast. De oplossing met een verhoogd dakschot geeft veel praktische problemen. (oa veiligheid werknemers en vaarverkeer)

Mede door het gebruik van zelfverdichtend (of verdichtings arm) beton is deze toepassing niet meer noodzakelijk. Het stortproces wordt d.m.v camera's gevolgd.



*Afbeelding 5.8.12, Sluitvoeg*

**Afpersen permanente afdichting (Omega)**

D.m.v een de afpersvoorziening kan gecontroleerd worden of de ruimte tussen tijdelijke afdichting (Gina) en permanente afdichting (Omega) voldoende waterdicht is. Hiervoor is een leiding ingestort die van de IPE omranding naar het middentunnelkanaal loopt. Bij het transport is op de opening een moer gemonteerd die na het afzinken in de zinkvoeg in den droge wordt verwijderd (vooraf aan het plaatsen van het Omega-profiel)

Het afpersen gebeurt met een waterdruk van circa 2 meter meer dan de hoogst bekende waterdruk. Als er na 48 uur geen drukverlies of lekkage is opgetreden, wordt het water er weer uit gepompt.



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



## 5.8.5 Afzinkconstructies

### 5.8.5.1 Voorspanning

**Functies:**

Koppeling van de moten van een tunnelelement voor en tijdens de opdrijf-, transport-, afzink- en onderspoelfase.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Hoeveelheid voorspanning afhankelijk van horizontale en verticale buigende momenten in de meest ongunstige fase tijdens het opdrijf-, transport-, afzink- en onderspoelproces, rekening houdend met:

- zoutfluctuaties
- scheepvaartkrachten
- reactie opvolgend tunnelelement
- reductie door waterdruk op kopschot

Tijdelijke voorspanning **met** aanhechting is i.v.m. grotere veiligheid noodzakelijk.

Zorgen dat in de meest ongunstige situatie nog een drukspanning van  $0,2 \text{ N/mm}^2$  in de dilatatievoeg aanwezig is.

Berekening dwarskrachtvoorziening en voorspanning in de voegen d.m.v. het afzinkprogramma AFTEL uitvoeren.

Indien beëindiging van de voorspanning aan de kopzijde van het tunnelelement wordt uitgevoerd, is er een grote kans op lekkage indien de voorspankanalen met het napersysteem worden geïnjecteerd.

De voorspankabels dienen binnen de dilatatievoegbanden te worden gesitueerd. Bij beëindiging van de voorspanning halverwege de eindmoten, dient rekening te worden gehouden met veel extra wapening i.v.m. het doorsnijden van de hoofdwapening.

**Kernzaken uitvoering:**

De moten van een tunnelelement voorspannen **voordat** de rubbermetalen voegstrook wordt geïnjecteerd.

Het injecteren dient te gebeuren na het opdrijven (of wanneer de oplegdruk van de tunnelementen op de bodem met 90 % is teruggelopen) en voor het transport van de tunnelementen.

Het tunnelelement pas aftrimmen als de injectiespecie een druksterkte heeft van minimaal  $20 \text{ N/mm}^2$

Injecteren d.m.v. napersen is niet mogelijk als de voorspankasten reeds vroegtijdig zijn gevuld, daarom een zeer fijn cement toepassen met geen of nauwelijks bleeding. De voorspankanalen na inbrengen van de voorspanning luchtdicht afsluiten en vullen met VPI-poeder.

De voorspanstrengen na het afzetten op het zandbed in eindpositie doorslijpen of doorboren, zodat de verschillende moten een kettinglijn kunnen gaan vormen.

**Conservering:**

Dagziende einden voorspaneenheden:

- injectiespecie verwijderen





- gritstralen; cementhuid sparing verwijderen
- staal gritstralen SA 3
- over ankerkop stalen afsluitdop op ankerplaat bevestigen; ruimte onder kop vullen met epoxyteer
- sparingen volzetten met spuitbeton

### 5.8.5.2 Bolders

**Funcities:**

Tijdelijke bevestiging voor ankerdraden ten behoeve van het opdrijven, transporteren, verhalen en afzinken van tunnelelementen .

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Zwaarte van een bolder is afhankelijk van de optredende ankerkrachten in de verschillende fasen van het afzinkproces.

De bevestiging aan de betonconstructie geschiedt door middel van ingestorte ankers.

De ankers stellen met stelplaat of voorzien van vaste aangelaste plaat.

Indien nog ballastbeton op het tunnelelement moet worden aangebracht de ankers op een verhoogd deel aanbrengen.

Veiligheid bolderconstructie is twee maal de maximale statische werkbelasting (op Nederlandse rivieren excl. dynamica).

Bolders kunnen in twee verdiepingen zijn uitgevoerd met de daarbijbehorende toelaatbare ankerkrachten.

Een tunnelelement heeft veelal een zestal (twee maal drie) bolders op de beide uiteinden.

Bij de verankeringspositie van de bolders rekening houden met de verankering van de bovenanslagen van de kopschotstijlen en voldoende afstand tot de zijkant van de beton.

**Kernzaken uitvoering:**

Bij de toepassing van bolders met twee verdiepingen er voor zorgen dat de juiste draad op de juiste verdieping wordt aangebracht.

**Conservering:**

Ankers:

- Stralen S.A. 2,5
- Zinkcompound 40 µm

Overig:

- Stralen S.A. 2,5
- 2 lagen primer 50 µm
- 2 lagen highbuild, polyurethaan basis 70 µm



### 5.8.5.3 Toegangsschacht

**Functies:**

Geeft voor personeel, kabels en klein materieel toegang tot een tunnelement onder water; is veelal gecombineerd met de aanwezigheid van een commandopost met bijbehorende voorzieningen en het gebruik als meettoren.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Korte schachten toepassen voor gebruik in het bouwdok en lange ten behoeve van de afzinklokatie.

Sterkteberekening baseren op:

- stroombelasting
- windbelasting
- afmerende vlet
- belasting op top

Indien de toegangsschacht tevens wordt gebruikt als meetmast de stijfheidsberekening baseren op een uitbuiging van de top van max. 5 mm t.o.v. de nulstand.

De schacht dient een zodanige lengte te hebben dat in ieder geval geen water in het tunnelement kan lopen en een vrije zichtlijn voor het inmeten gewaarborgd is.

In de eindsituatie van het tunnelement dient de toegangsschacht verticaal te staan. Een waterdichte aansluiting bewerkstelligen met het tunnelement door middel van een ingestort manchet met waterdicht deksel in het dak.

Bevestiging en dichting door middel van een rubberring en bouten.

Ten behoeve van het inmeten van de schacht vóór het afzinken in het bouwdok reeds meetpunten in het dak plaatsen en inmeten; direct na het plaatsen van de schacht de relatie bepalen tussen die meetpunten en de meetpunten op de schacht.

Bij de positie op het tunnelement rekening houden met de baan van de verhaal- en afzinkdraden en zover mogelijk uit de as van het element. Ook dient rekening gehouden te worden met eventuele stempels ed boven het water. (bv in geval van een zinksleuf)

Een veiligheidskooi rond de aan de buitenzijde aanwezige ladder monteren.

Afdichten dakdoorvoer door:

- aan de binnenzijde een staalplaat waterdicht in de flens van het manchet te lassen
- doorvoer vullen met beton of grind
- deksel afsluiten en schacht verwijderen
- indien grind, een injectie- en ontluichtingsvoorziening op de ingelaste staalplaat aanbrengen, en de doorvoer injecteren

**Kernzaken uitvoering:**

Bij het zakken van het tunnelement tijdens het afzinken dient het personeel uit veiligheidsoverwegingen het tunnelement te verlaten indien slechts één toegangsschacht aanwezig is.

**Conservering:**

De met beton in contact komende vlakken:



## Tunneldetails

## Afzinkdetails

- stralen S.A. 2,5
  - zinkcompound 40 µm
- Overig:
- stralen S.A. 2,5
  - primer, twee componenten op epoxybasis 60 mm
  - grondverf - twee componenten - high build op polyurethaan basis

**5.8.5.4 Meetmast****Functies:**

Tijdelijke constructie, waarop aan de bovenzijde een meetpunt met reflector is aangebracht, zodat in combinatie met een meetpunt op de toegangsschacht en een aantal hellingmeters in het tunnelelement, de positie van een tunnelelement onder water bekend is.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Bij de sterkteberekening rekening houden met:

- stroombelasting
- windbelasting
- afmerende vlet

De stijfheid van de constructie is van belang voor de meetnauwkeurigheid van het meetsysteem, onder afzinkomstandigheden dient de uitbuiging van de bovenzijde kleiner te zijn dan 5 mm t.o.v. de nulstand.

Bevestiging door middel van ingestorte ankers.

Bij de positie op het tunnelelement rekening houden met de baan van de verhaal- en afzinkdraden en zover mogelijk uit de as van het element.

Een veiligheidskooi rond de aan de buitenzijde aanwezige ladder monteren.

**Conservering:**

De met beton in contact komende vlakken:

- stralen S.A. 2,5
- zinkcompound 40 µm

Overig:

- stralen S.A. 2,5
- primer, twee componenten op epoxybasis 60 µm
- grondverf - twee componenten - high build op polyurethaan basis

**5.8.5.5 Ophang- / hijspunten****Functies:**

Het overbrengen van het afzinkgewicht van het tunnelelement tijdens de afzinkfase via de hysdraden naar pontons of de vaste wal (b.v. traverse op damwanden).

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Zwaarte constructie afhankelijk van afzinkgewicht tunnelelement.



Een veiligheid van 1,7 op het staal toepassen, waarbij het tunnelement over de diagonaal moet kunnen hangen.

Rekening houden met dwarskracht uit stroom en eventueel bewust uit loodstand trekken van tunnelement.

Voldoende afstand uit de voeg in verband met de spreiding van de hijskracht; eventueel extra wapening ter plaatse van bovenzijde dak opnemen.

Laswerk ultrasoon en magnetisch laten onderzoeken.

Vooraf proefbelasten tot 1,5 x de max. mogelijke werkbelasting.

**Kernzaken uitvoering:**

Vooraf m.b.v. pasplaat ingestorte ankerpatroon op het tunnelement toetsen.

Er dient op te worden gelet dat voldoende draad van de bout in het ingestorte anker wordt gedraaid.

**Conservering:**

De met beton in contact komende vlakken:

- stralen S.A. 2,5
- zinkcompound 40 µm

Overig:

- stralen S.A. 2,5 (na het lassen)
- 2 lagen primer 50 µm
- 2 lagen high build, polyur.basis 70 µm

### 5.8.5.6 Ankerpunte

**Functies:**

Overdragen van ankerkrachten uit voorspanning ankersysteem en externe belasting op het tunnelement aan de ondergrond tijdens de opdrijf-, verhaal- en afzinkfase.

**Toepassingen:**

Zinktunnels, bouwdok en zinksleuf

**Detailontwerp:**

Mogelijkheden:

- Dodebedden
- Ankerpalen op vaste wal
- Ankerpalen op rivierbodem
- Ankers

Dodebedden: Stalen of houten damwand of kuubs betonblokken, voorzien van achterliggende gording.

Bij ankerpalen op de vaste wal de bovenzijde voorzien van betonvulling.

Pennen of ringen aan paal lassen om de positie van de voorloper (ankerdraad) te waarborgen.

Bij ankerpalen op de rivierbodem wordt veelal een speciale bovenkop toegepast, waardoor onder verschillende hoeken getrokken kan worden. Indien geen speciale kop wordt toegepast de paal ter plaatse van de inleidende draadkracht versterken.

Er bestaan vele typen ankers; de houdkracht is afhankelijk van de omliggende grondsoort en het type anker (orde 4 à 8 maal het ankergewicht, indien goed ingetrokken).

Veiligheid ankerpunten: twee maal de werkbelasting.



Overige veiligheden:

- draden: 3,3 maal de werkbelasting
- sluitingen en sockets: 5 maal de werkbelasting

**Kernzaken uitvoering:**

Vóór het gebruik van ankerpunten onder water de bevestiging voorloperpaal door duikers laten controleren.

Certificaten van draden of keuringsrapporten opvragen.

Visuele controle draden uitvoeren tijdens de operaties.

Bij het gebruik van polyproprekken letten op de verbranding van binnenuit door inwendige wrijving.

Altijd een trekproef op ankers en ankerpalen uitvoeren; algemeen proefbelasten tot de werkbelasting.

Indien de draadbelasting hoger is geweest dan 2 maal de veilige werkbelasting de betreffende draad afkeuren.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

### 5.8.5.7 Fenderconstructies

**Functies:**

Zoeker bij het verhalen van een tunnelement binnen een door dam- of combiwanden gevormde zinksleuf; Tevens afstandhouder ter bescherming van aan het tunnelement bevestigde onderdelen en als energieabsorbeerder. Een dwarsverhaalsysteem in een lange sleuf is bijna niet uit te voeren, zeker niet in het geval van de aanwezigheid van een stempeling.

**Detailontwerp:**

Maximale dikte afhankelijk van ruimte tussen tunnelement en zinksleufwand en toe te laten spelingen.

Om de wrijving langs de wand te verminderen, buitenzijde voorzien van Hakorith. Energieabsorbeerder door middel van rubberblokken.

Grootte stootkracht is afhankelijk van de maximaal mogelijk op te bouwen snelheid in dwarsrichting in combinatie met de voortgangssnelheid en massa tunnelement.

Om het gewicht van het fender te beperken, kunnen drijfkisten geformeerd worden in de constructie.

Om beweging tussen fender en tunnelement te voorkomen tijdens gebruik, achter het fender, aan het tunnelement aanslagen monteren.

Ter bevestiging (ophangen) op het tunnelementen, ophangschonen monteren.

Denk aan de spelingen van fenders bij óf gebogen tunnelementen en/of gebogen zinksleuf.

Neem voor diktebeschouwing heitoleranties en meettoleranties mee.

**Kernzaken uitvoering:**

Het inmeten van damwanden of combipalen is van groot belang om de positie te toetsen aan de toegestane toleranties.

Op de afzinkpositie is het tevens van belang de verticale stand van de wanden te kennen, als de fenders blijven zitten tijdens de afzinkoperatie.



---

Tunneldetails

Afzinkdetails

**Conservering:**

Stralen SA 2,5

Primer 50 µm

Higbuild, polyurethaan 70 µm



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



### 5.8.5.8 Achtergronden

#### **Voorspanning**

Voorspanning wordt toegepast om de moten van een element te koppelen zodat het element als geheel getransporteerd kan worden naar zijn eindbestemming.

De minimale druk in de dilatatievoegen dient  $0,2 \text{ N/mm}^2$  te zijn. Deze drukspanning geldt voor elk punt in de voeg. Bij de dimensionering van de voorspanning dient rekening gehouden te worden met voorspanverliezen t.g.v. het verlagen van de funderingsdruk tijdens inunderen en het dichttrekken van de voegen tijdens de inundatie. Ook met het dompelen (duiken) van het element tijdens het transport dient in de voorspanberekening te worden meegenomen. Dit duiken kan gebeuren als er te weinig "clearance" tussen rivierbodembodem en onderkant TE is. Door de waterstroom kan het TE onder water getrokken worden.

Gaan de transporten over zee dan dient men de minimale druk in de voegen groter te maken. (bv  $0,3 \text{ N/mm}^2$ ) (bv Wijkertunnel)

De voorspankanalen dienen geïnjecteerd te worden met cementgrout. Dit dient te gebeuren na het opdrijven en vóór het transporteren. (of wanneer bij het opdrijven 90% reductie van de oplegdruk op de bodem is opgetreden)

Tijdens het bouwen van een tunnelelement werken er veel krachten op de verschillende stortmoten van dit element. Dit zijn krachten tgv ongelijkmatige zetting op grintbed, hydratatiekrimp, kruip, temperatuursverschillen tgv zonbestraling enz. Deze krachten komen grotendeels vrij als het element los komt van de bodem (opdrijven). Vervormingen t.g.v het vrij komen van deze krachten concentreren zich bij de mootvoegen, waardoor er grote krachten op de verbindingselementen van de moten komen. Deze krachten kunnen zonder problemen opgenomen worden door de voorspanstrengen, als deze over de volledige lengte van het tunnelelement kunnen vervormen. Echter is de voorspanstreng ingebed, dan kan hij alleen ter plaatse van de voeg vervormen. De kans bestaat dan, dat de voorspanstreng gaat vloeien of zelfs afbreekt.

Het injecteren dient om te voorkomen dat een voeg open kan komen te staan. (concentraties van een totale verlenging van de voorspankabels in één voeg bij bv het onderstromen) Ook wordt op deze manier een lekweg via de kanalen voorkomen en wordt het doorslijpen eenvoudiger.

De voorspanning wordt nl in de definitieve fase door geslepen. (of geboord) Er moet dan aangetoond zijn dat het tunnelelement en de afzonderlijke moten voldoende veiligheid bezitten tegen opdrijven. De funderingsdruk dient dan minimaal  $2.0 \text{ kN/m}^2$  te zijn. Bij een individuele moot zou de funderingsdruk wat lager mogen zijn mits dit gecompenseerd wordt door andere moten en de veiligheid van het gehele tunnelelement niet in gevaar komt.

Het doorslijpen van de voorspanning gebeurt pas na het onderstromen en aanvullen van de zinksleuf

#### **Bolders**

Het uitgangspunt bij het ontwerp van de bolders (en andere tijdelijke voorzieningen) is dat deze altijd eerder dienen te bezwijken dan de permanente constructie. De keuze van de bouten heeft dan ook invloed op de wapeningsconfiguratie (extra wapening) van de permanente constructie. Een lage boutkwaliteit (bv 4.6) heeft dan ook de voorkeur. Er zijn dan wel meer bouten nodig.





*Afbeelding 5.8.13, Bolders*

### **Toegangsschacht**

De toegangsschacht wordt gebruikt na inunderen van de bouwput om in de afgezonken positie toegang te hebben tot het element. Verder is het onderdeel van het meetsysteem. Op de toegangsschacht worden reflectoren gemonteerd t.b.v. de positiebepaling van het element.

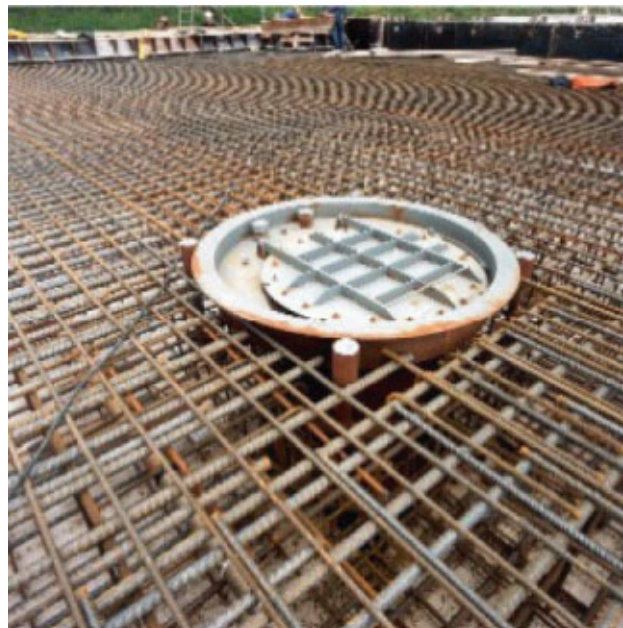
Vaak wordt een kleine toegangsschacht gemonteerd voorafgaand aan het inunderen, om toegang tot het element te hebben. Tijdens transport is het vaak niet mogelijk om met een lange toegangsschacht (ca 20 m') te varen. (brug passages ed.) Op de afzinklocatie worden de korte en lange schacht verwisseld.

I.v.m. de ARBO wetgeving dient een keuze gemaakt te worden voor een tweede mangat in het tunnelement, zodat er altijd een alternatieve vluchtroute aanwezig is mocht er met een van de toegangswegen wat gebeuren. Bij de huidige zinktunnels (ref. tot 2003) heeft men één toegangsschacht steeds voldoende bevonden.

Aanscherping van de ARBO wetgeving/regels zou kunnen betekenen dat de volgende tunnels in ieder geval met twee vluchtvoorzieningen gebouwd dienen te worden. (Dit creëert wel weer een mogelijke lekweg.)



*Afbeelding 5.8.14, Toegangsschacht*



*Afbeelding 5.8.15, In te storten gedeelte en verankering toegangsschacht*

### **Meetmast of meettoeren**

Een van de belangrijkste onderdelen tijdens het afzinken is de positiebepaling van de tunnelelementen. Onderdeel van het gehele meetsysteem is de meetmast.

De meetmast is meestal een stalen vakwerkconstructie van ~20m. hoog.

Op de meettoeren worden reflectoren gemonteerd, die naast de reflectoren op de toegangsschacht, gebruik worden voor de positiebepaling in x, y en z-richting.

Bij de 2<sup>de</sup> Beneluxtunnel heeft men gebruik gemaakt van een viertal reflectoren., die op de uithouders van de meetmast en toegangsschacht waren aangebracht. Verder is gebruik gemaakt van één inclinometer in het element. (meting dwarshelling)

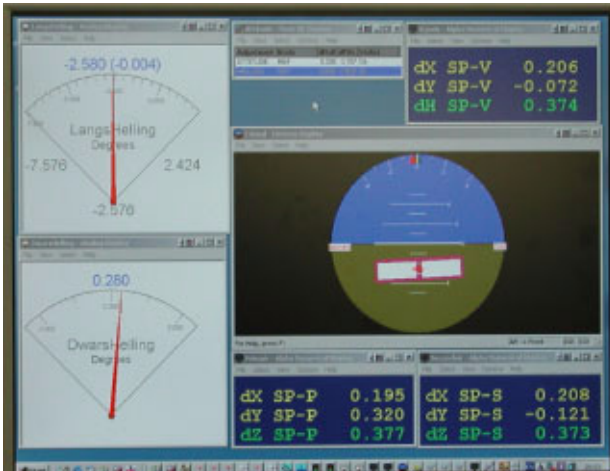
De uithouders dienen robuust te zijn en zo veel mogelijk in het zicht te blijven. Bij de 2<sup>de</sup> Benelux was dit niet altijd het geval en gaf dan ook problemen. Ook het toepassen van slechts één inclinometer (geen terugval optie) is niet aan te raden i.v.m afwijkingen.

In de meeste gevallen wordt bij het afzinken van tunnelelementen gebruik gemaakt van een onafhankelijke schaduwmeting. Doordat positiemetingen zelden vlekkeloos verlopen en gezien de belangrijkheid van deze metingen, zijn de schaduwmetingen nog steeds van groot belang. Doordat de meetsystemen een back-up moeten hebben wordt door de opdrachtgever (RWS) geen schaduwmeting meer uitgevoerd.

Bij de 2<sup>de</sup> Beneluxtunnel en Calandtunnel is nog wel een schaduwmeting uitgevoerd tbv eigen kennis en kunde.

De aannemer zinkt af op zijn eigen meetsysteem. Na het afzinken wordt door de afgezonden tunnelelement en toegangsschacht een controle meting voor de x, y en z-richting uitgevoerd.

(tolerantie x-richting is 35 mm.)



Afbeelding 5.8.16, Monitor waarop positie tunnelelement onder water is te zien



Afbeelding 5.8.17, Installatie meettoeren met bok (Calandtunnel)

### Ophang- / hijspunten

De ophang- of ophijspunten dienen voor het aanhaken van de lierdraden van het afzinkponton of in geval van de Calandtunnel afzinktraverse.

De ankers dienen een trekkracht van 50 T. (Caland) tot 100T. te kunnen opnemen.

De ballasttanks worden tijdens de afzinkoperatie gevuld, zodanig dat het vrijboord is overwonnen en er op ieder hijspunt 50 ton belasting staat.

Bij de berekening dient rekening te worden gehouden met eventueel zoutwater op diepte. (Bij ieder element de dichtheid in een zinksleuf meten) Er moet in ieder geval voldoende ballastwater ingenomen zijn om het element in één afzinkmanoeuvre af te kunnen zinken. Bij ballasten tijdens de afzinkoperatie dient vermeden te worden omdat dit te veel extra tijd kost, het afzinkproces vertraagd en de scheepvaart onnodig belemmerd.



*Afbeelding 5.8.18, Hijspunten en afzinktraverse*



*Afbeelding 5.8.19, Hijspunt*

### **Ankerpunten**

Voor het opdrijf- en afzinkproces zijn veelal ankerpunten nodig. Deze ankerpunten kunnen zelf gemaakt worden in de vorm van ankerpalen, ankers of dodebed (ankerconstructie op de wal). Echter zijn er vaak ook mogelijkheden om de lieren te verankeren aan bestaande constructies zoals afmeerpalen, ducdalven of brugfundaties.

Er dient ten allen tijden gecontroleerd te worden of de mogelijke ankerkrachten opgenomen kunnen worden door de constructies.

### **Fenderconstructies**

Een fenderconstructie dient als afstandhouder tijdens het afmeren of bv tijdens inlieren in een zinksleuf, tijdens een afzinkoperatie.

Afhankelijk van de toleranties kan een geavanceerd blokruubber fendersysteem ontworpen worden of kan een simpele rij van (vracht-)autobanden volstaan. (Calandtunnel)

Een TE wordt dmv staalkabels met fenders verankerd. Er dient rekening gehouden te worden dat korte ankerdraden geen rek hebben en enorme krachten naar zich toe kunnen trekken.. Ankerdraden dienen bij voorkeur even lang te zijn en eventueel voorzien te zijn van een rekker. (bij korte draden) Een rekker is gemaakt van nylon.



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



## 5.8.6 Onderstromen

### 5.8.6.1 Onderstroomleiding / - punten

**Functies:**

Vooraf ingestorte pvc-leidingen of doorvoeren die bij het onderstromen van het tunnelement zorgen voor de verbinding tussen de onderzijde van de tunnel (uitstroomopening) en de aan te koppelen leiding vanaf de perszuiger of grondpers (instroomopening). Door deze leidingen wordt een zand-watermengsel onder het tunnelement gebracht ter verwezelijking van de fundatie van het tunnelement in de eindfase.

**Toepassingen:**

Zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Bepaling van de positie van de uitstroomopeningen zodanig dat door overlapping van de te vormen zandpannekoeken (aangebrachte afgeknotte kegel zand) een onderstroompunt defect of verzand mag zijn en toch een goede fundatie wordt verkregen.

De snijpunten van de pannekoekcirkels aan de buitenzijde dienen buiten het tunnelement te liggen.

De maximaal gewenste opwaartse kracht door het onderstromen bedraagt tussen de 150 en 200 ton. Hierop de straal van de pannekoek baseren.

De leidingdiameter niet te groot kiezen in verband met de kans op verzanding (orde Ø250 - Ø300 mm.)

De aansluiting van de instroomopening voorzien van een stalen ingestorte plaat met de mogelijkheid tot bevestiging van de persleiding.

De positie van de onderstroompunten aan de uiteinden van een tunnelement dient in overeenstemming te zijn met de positie van het eerste punt van het aangrenzende tunnelementen.

Bij de aansluiting vanuit de binnenzijde van het tunnelement een balafsluiter toepassen met een mogelijkheid voor afdichten na het onderstroomproces door middel van een stalen blindflens - waterdicht aflassen - holle ruimte volgrouden.

Aansluitmogelijkheden:

- Door middel van een aan de buitenzijde van het tunnelement gemonteerde langsleiding; systeem is kwetsbaar bij opdrijf-, transport- en afzinkproces; veel afsluiters: twee per onderstroompunt; te bedienen door duikers, moeilijk controleerbaar.
- Door middel van een verticale leiding, komend direkt vanaf perszuiger o.i.d.; aansluiting op elke opening; veel duikwerk; flexibel systeem; bij veel scheepvaartverkeer veel hinder!
- Door middel van een langsleiding in het tunnelement en aangesloten op een doorvoer met balafsluiter; potentieel lekgevaar; doorvoer door vloer zoveel mogelijk voorkomen!

Keus is afhankelijk van de omstandigheden ter plaatse

**Kernzaken uitvoering:**

Indien instroomopening aan buitenzijde van tunnelement (zijkant), dan deze minimaal 1,50 m vanaf onderkant tunnel houden in verband met de te vormen zandrug langs het tunnelement tijdens het onderstroomproces; voorkomen van verzanding afsluiter.

Afsluiters herkenbaar maken voor duikers.

De opwaartse kracht van het onderstroomstelsel wordt gecontroleerd aan de hand van de vieldrukken van de stempelpennen en de neus- en kinconstructie.

De grootte van de pannekoeken aan de buitenzijde van het tunnelement controleren met behulp van duikers en aan de hand van de verwerkte hoeveelheid zand.

**Conservering:**

Onderdelen aan buitenzijde tunnel:

- stralen S.A. 2 1/2
- zinkcompound 40 µm
- HS-coating op epoxybasis 150 µm

**5.8.6.2 Sondeeropeningen****Functies:**

Doorvoer in de vloer van een tunnelement ten behoeve van de mogelijkheid om het aangebrachte zandpakket (fundatie) te kunnen controleren (aansluiting beton - fundatielaag, aanwezigheid van slib, sondeerwaarden van zandpakket). Duur onderzoek, dat veelal niet leidt tot aanvullende maatregelen bij negatieve resultaten. Deze sondeeropeningen worden dan ook vaak achterwegen gelaten, ook al omdat elke opening een potentiële lekweg is.

**Toepassingen:**

Zinktunnels

**Detailontwerp:**

Positie sondeerpunten aan de hand van onderstroomcirkels kiezen, zodanig dat een goed inzicht van de fundatie wordt verkregen.

Doorvoerpijpen voorzien van waterdicht opgelast waterslot(en).

Keuze uit:

- methode G.D. met vooraf ingestorte doorvoeren
- methode Spoortunnel Rotterdam: onderzoek volgens G.W. Rotterdam door vooraf ingestorte doorvoeren
- methode G.W. Rotterdam: het doorboren van de tunnelvloer achteraf

**Kernzaken uitvoering:**

Let op dat afdichting aan onderzijde met de neopreenrubber prop vóór het inunderen wordt aangebracht.

Blindflens in bouwdok vastbouten.

De blindflens na het sonderen waterdicht aflassen en behandelen.

**Conservering:**

Met de beton in aanraking komende delen:

- stralen S.A. 2,5
- zinkcompound 80 µm



Achteraf te monteren en af te lassen blindflens:

- stralen S.A. 2,5
- primer op epoxybasis 40 µm
- HS-coating op polyurethaanbasis 180 µm





---

Tunneldetails

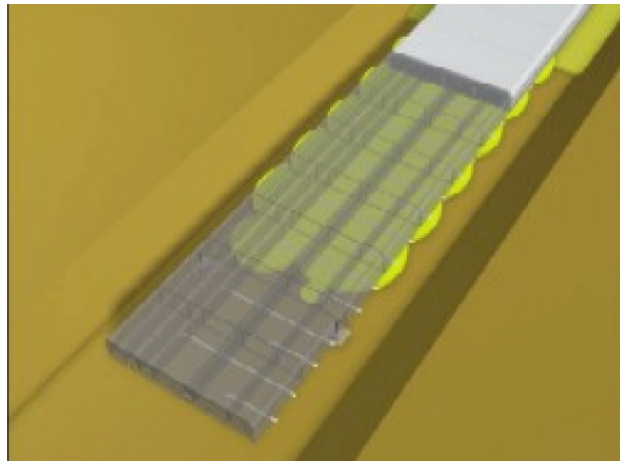
Afzinkdetails

### 5.8.6.3 Achtergronden

#### Onderstroming /-punten

Het onderstroomsysteem is een traditioneel systeem met ingestorte PVC-leidingen in de vloer van de TE welke vanaf de zijkant van het element worden bediend. Puntaansluitingen voor de oeverelementen en langsleiding aansluitingen voor de kanaalelementen.

Bij de Calandtunnel zijn over de breedte van het element twee onderstroompunten gebruikt met persstralen tussen de 10 en 13 meter. Persdruk 1600 kN (voor afzinkberekening)



Afbeelding 5.8.20, Onderstromen (schematisering)

Ook bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel is gekozen om in de breedte van het tunnelelement twee rijen onderstroompunten toe te passen. Gezien de breedte van de tunnelelementen (48 m.) was dit net haalbaar binnen de maximaal haalbare persstralen voor het onderstromen. De gekozen persstraal was ongeveer 13m en de onderstroompunten lagen 11 m uit de rand van het element met een tussenafstand van 23,25m (in breedterichting). In lengterichting lagen de onderstroompunten h.o.h. 6,67m verspringend. Deze maat van 6,67m levert precies drie onderstroompunten per moot van 20m op, of te wel 21 onderstroompunten per tunnelelement. De onderstroompunten waren van één zijde onderstroomd, de oostzijde. In eerste instantie zouden alle elementen onderstroomd worden, maar voor de wijziging naar het grintbed waren alle leidingen reeds ingestort. In totaal zijn vier elementen direct op een grintbed gezet.

De zettingen van een element op een grintbed zijn moeilijker in te schatten dan bij het traditionele onderstromen. In het ontwerp dient men hier dan ook rekening mee te houden. (grotere bandbreedte i.v.m. benodigd profiel van vrije ruimte)

Het onderstromen dient per TE in één doorgaande tijd te worden uitgevoerd om slibinsluitingen of afzetting te voorkomen.

**Sondeeropening**

Zowel bij de 2<sup>de</sup> Benelux als bij de Calandtunnel zijn er geen sondeeropening meer toegepast. Reden hiervan is dat de sondeerresultaten niet tot aanvullende maatregelen zullen leiden. De start van het afbouwen van de zink en sluitvoegen wordt bepaald aan de hand van de zettingsgrafieken in de eerste maanden na het aflaten. (=90% van de voorspelde zettingen)

Sondeeropening kunnen ook een lekweg worden en zijn om deze reden ook een risico.



## 5.8.7 Bijzondere details

### 5.8.7.1 Ballasttanks (geïntegreerd in het element)

**Functies:**

Berging van de vereiste hoeveelheden tijdelijk ballastwater in de bouwdok-, en afzinkfase om voldoende veiligheid tegen opdrijven te waarborgen.

**Toepassingen:**

Aquaducten.

**Detailontwerp:**

Groote tanks afhankelijk van:

- Opdrijvend vermogen tunneldoorsnede
- De minimale volumieke massa van de beton
- De maximale volumieke massa van het omringende water
- Scheepvaartkrachten
- Onderstroomkrachten
- Minimaal vereiste oplegreacties

Overdimensionering in verband met mogelijke afwijkingen in aannames volumieke massa noodzakelijk; in ontwerp als richtlijn 50 % overwaarde aanhouden.

Positie van de tanks aan de koppen van het element.

Ballasttanks compartimenteren.

**Kernzaken uitvoering:**

Tanks vooraf testen op waterdichtheid.

Sparingen in de compartimenteringswanden waterdicht maken.

Duidelijk afleesbare, eenduidige meetinstrumenten toepassen voor het bepalen van de vulling van de tanks.

De tanks dienen goed bereikbaar te zijn.

**Conservering:**

Niet van toepassing.

### 5.8.7.2 Kopschotten (staal)

**Functies:**

De tijdelijke waterdichting van de kopse einden van een element, zodat een doosconstructie wordt gevormd, die kan drijven.

**Toepassingen:**

Aquaducten /zinktunnels.

**Detailontwerp:**

Onderdelen opnemen in het kopschot (alleen bij zinktunnels):

- waterdichte deur
- eventueel mandeksel t.b.v. duiker
- tasterdoorvoeren aan secundaire zijde
- tasterplaten aan primaire zijde
- ballastleidingdoorvoeren
- ontluchtingspijp
- kabeldoorvoeren



Onderdelen van het kopschot:

- aanslag vloer
- aanslag dak
- kopschotstijlen
- koppelbalken
- afdichtingsprofiel
- plaat

De zwaarte van het kopschot is afhankelijk van de maximale waterdiepte in afgezonken toestand van het tunnelelement en stroom tijdens het transport; bij transport over zee rekening houden met golfbelasting.

Het kopschot dient t.p.v. het landhoofd veelal als HW-kering, zodat hierover afspraken met het aanliggende Waterschap o.i.d. gemaakt moeten worden.

Bij de keus van de deurbreedte rekening houden met de breedte van de zinkkamer. Deuren tegenover elkaar op gelijke hoogte stellen en zij dienen 180° draaibaar te zijn.

De afdichting tussen de beton en de staalplaat wordt tot stand gebracht door een afdichtingsprofiel (hopperdoorprofiel).

**Kernzaken uitvoering:**

Bij het stellen van de stijlen zorgen dat een goede aansluiting gewaarborgd is tussen stijl en aanslag.

Het afdichtingsprofiel een bepaalde voorspanning tegen de betonnen wand aanbrengen en middels een klemverbinding, welke momentvast is aangebracht, bevestigen op het stalen kopschot.

Als extra zekerheid voor de waterafdichting zijn de rubberprofielen afgekit met butyleenkit.

**Conservering:**

Niet van toepassing

### 5.8.7.3 Toegangsschacht

**Functies:**

Geeft voor personeel, kabels en klein materieel toegang tot een element onder water.

**Toepassingen:**

Aquaducten

**Detailontwerp:**

De toegang tot het element bestaat uit een centrale schacht, stalen buis f 1000, welke is geplaatst in de ballasttank.

Op de toegangsschacht is geen waterdicht deksel geplaatst, omdat er geen verbinding is met open water.

De schacht dient een zodanige lengte te hebben dat in ieder geval geen water in het element kan lopen.

De toegang naar de toegangsschacht vanaf de wal is verzorgd door een drijvend steiger.

**Kernzaken uitvoering:**

Bij het zakken van het element tijdens het afzinken dient het personeel uit veiligheidsoverwegingen het element te verlaten indien slechts één toegangsschacht aanwezig is.

**Conservering:**

Niet van toepassing

**5.8.7.4 Bescherming pneumatisch profiel****Functies:**

Een tijdelijke bescherming van het pneumatisch profiel.

**Toepassingen:**

Aquaducten

**Detailontwerp:**

De beschermkap bestaat uit (bijvoorbeeld) een damwandplank met aangelaste strippen, zodat deze juist over het pneumatisch profiel en de klemstrippen valt:

- Op het horizontale gedeelte wordt de beschermkap over het pneumatisch profiel geplaatst.
- Het verticaal gedeelte van het pneumatisch profiel wordt de beschermkap opgehangen op de bovenzijde van het landhoofd.

**Kernzaken uitvoering:**

Nadat het pneumatisch profiel getest en goed bevonden is, wordt het pneumatisch profiel beschermd met een beschermkap.

Deze bescherming blijft aanwezig tot het moment van invaren van het element.

Voordat het element over c.q. langs het pneumatisch profiel vaart moet de beschermkap verwijderd worden.

Direct na het verwijderen van de beschermkappen inspecteren duikers het pneumatisch profiel op eventuele gebreken.

**Conservering:**

Niet van toepassing



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



### 5.8.7.5 Achtergronden

#### W9UI-profiel

Hoewel het W9UI-profiel niet binnen het OTAO gebeuren valt, heeft het wel een directe link. Het profiel is gevoelig voor beschadigingen (mechanisch) en dient derhalve tijdens het gehele OTAO-proces beschermd te worden.

(aanvaringen, draden)

De mate van corrosiebescherming dient afgestemd te worden aan de tijdsduur dat het profiel na het opdrijven in het water ligt. Bij de Calandtunnel hebben de eerste twee elementen (bouwcyclus van 3\*2 elementen) meer dan een jaar in het water (brak) gelegen. De staalplaat had een corrosiebescherming van 2 mu (electrolitisch verzinkt). Een extra corrosiebescherming was dan ook noodzakelijk.

Het W9UI-profiel dient beschermd te worden tegen aanvaringen en mogelijke beschadigingen in de verschillende fases van de bouw (vanaf het aanbrengen tot het storten van de sluitvoeg.)

Het injecteren van het W9UI-profiel dient voor het inunderen te gebeuren. (in den droge) Men kan dan met een epoxy hars injecteren. (epoxy met water geeft kwaliteitsverlies)

#### Kwispelen

Bij het afzinken van een tunnelelement wordt de secundaire zijde op tijdelijk vijzelpennen gezet. Na het plaatsen volgt er een positiemeting (x,y,z). Hieruit kan volgen dat de secundaire zijde in de x-richting (dwarsrichting) buiten de toleranties van 35 mm ligt. In dat geval moet de primaire zijde binnen deze toleranties worden gevizeld (kwispelen).

De kwispelvizels worden gereed gelegd om direct aangebracht te kunnen worden als kwispelen noodzakelijk is. De vizeldrukken moeten nog zo minimaal mogelijk zijn en het element moet nog aan de pontondraden hangen. De afzinkoperatie is dan ook nog niet afgelopen en de stremming van de scheepvaart blijft.

#### Aanbrengen Omega profiel

Het aanbrengen van de Omega profiel gebeurt voordat de kopschotten gesloopt worden. Dit is om ten allen tijde een tweede afdichting te hebben.

Het aanbrengen van deze afdichting (primaire waterafdichting) is zeer lastig als de kopschotten aanwezig zijn. I.v.m. de ARBO technisch aspect is er een discussie op gang gekomen om eerst de kopschotten te slopen, zodat er voldoende ruimte ontstaat voor het aanbrengen van de Omega's. Het aanwezige Gina-profiel is dan de enige waterafdichting die de tunnel voor het vollopen van water moet behoeden.

Doordat in deze fase de tunnelelementen nog iets aan het zetten zijn, de Gina meestal op termijn niet geheel lekvrij is en het slopen van kopschotten met geweld gepaard gaat, is vooralsnog het inzicht om geen onnodige risico's te lopen en twee afdichtingen voor te schrijven voorafgaande aan het slopen van het kopschot.

Voor het aanbrengen van de Omega's zou iets slims verzonnen kunnen worden.

Bij het plaatsen van de Omega is het volgende van belang:

- de voeg dient schoon te zijn. (geen vuil, slib of zand aanwezig)
- passende klemplaten
- thermisch verzinkte bouten en moeren
- geijkte luchtaanslag moersleutel
- controle op momentkracht



- controle lekkage (op druk brengen na het plaatsen)



### Pen en Vang constructie

Bij de Calandtunnel is gebruik gemaakt van een pen en vangconstructie die zowel trek als druk op kon nemen. (1000kN trek en 4000kN druk representatieve waarde)



*Afbeelding 5.8.21, Pen en vang*

### Afzinkpontons

Bij de 2<sup>de</sup> Benelux zijn afzinkpontons gebruikt die op het dak zijn geplaatst. De pontons zijn boven de TE gevaren voorafgaande aan het opdrijven. Bij het opdrijven werden de TE tegen de pontons gelierd en lagen zo op het dak.

Bij de berekening van het vrijboord dient rekening gehouden te worden met het gewicht van deze pontons. (~tot 400T.)

Een vrijboord van 150mm wordt onder normale omstandigheden noodzakelijk geacht.

**Duwbootframe**

Aan de primaire zijde van het element wordt een duwbootframe geïnstalleerd om het element tijdens transport te verplaatsen. Het frame wordt vastgezet (met ankers) op het element. De stalen omranding met Gina mogen niet beschadigd worden.



---

Tunneldetails

Afzinkdetails



## 5.8.8 Diversen

### 5.8.8.1 Lijst met technische begrippen

**Aantrekcilinder**

Een tijdelijke constructie om een geringe indrukking van de tijdelijke afdichting te bewerkstelligen.

**Afbouwen**

Het afwerken van de tunnel.

**Aftrimmen**

Uitbalanceren van het drijvende tunnelelement.

**Afzinken**

Geheel van handelingen om het drijvende tunnelelement in de zinksleuf neer te laten.

**Ankerpunten**

Bevestigingspunten van ankerdraden.

**Ballasttanks**

Een tijdelijke doorvormige berging in het tunnelelement t.b.v. het ballasten van het tunnelelement in de bouwdok-, afzink-, onderstroom- en afbouwfase.

**Bescherm-/ballastschil**

Een achteraf aan te brengen betonnen schil boven op het tunnelelement.

**Bolders**

Een stalen constructie t.b.v. het bevestigen van draden boven op het tunnelelement.

**Bouwdok**

Een tijdelijke boueplaats welke omringd is door een waterkerende constructie en gesitueerd naast een scheepvaartweg.

**Fenderconstructie**

Beschermings-/geleidingsconstructie van een tunnelelement.

**Ginabescherming**

Een tijdelijke constructie ten behoeve van het beschermen van het tijdelijke afdichtingsprofiel (Gina).

**Kinconstructie**

Een tijdelijke betonnen oplegging met een penconstructie aan het secundaire eind van het tunnelelement.

**Kopschot**

Een tijdelijke waterdichting aan het primaire en secundaire eind van het tunnelelement.

**Meetmast**

Een stalen mast boven op het tunnelelement t.b.v. het kennen van de positie van het tunnelelement onder water.

**Neusconstructie**

Een tijdelijk betonnen oplegging met een vangconstructie aan het primaire eind van het tunnelement.

**Onderstromen**

Een zand-/watermengsel aanbrengen onder het afgezonken tunnelement.

**Onderstroomleiding**

Een leiding welke ingestort is in de tunnelementvloer t.b.v. het onderstromen van het tunnelement.

**Ophang-/hijspunt**

Een stalen oogbevestiging t.b.v. hijsdraden boven op het tunnelement.

**Oplegtegels**

Een tijdelijke betonnen fundatie t.b.v. de stempelpennen

**Slingerschotten**

Tijdelijke scheidingswanden in een tunnelement.

**Sluitvoeg**

Een voeg tussen de laatst afgezonken tunnelementen c.q. de aansluiting met een landhoofd.

**Sluitvoegbekisting**

Een stalen bekisting t.b.v. het waterdicht afsluiten van de sluitvoeg.

**Sluitvoegliniaal**

Een liniaal t.b.v. metingen in de sluitvoeg.

**Sondeeropeningen**

Een stalen buis in de tunnelementvloer t.b.v. het sonderen.

**Stempelpen**

Een stalen pen t.b.v. het overbrengen van krachten van het tunnelement naar de oplegtegel.

**Toegangsschacht**

Een stalen toegangsbuis boven op het tunnelement t.b.v. de toegang van personen en klein materieel.

**Waterballaststelsel**

Een leidingensysteem t.b.v. het vullen en ledigen van de ballasttanks.

**Wiggen**

Een betonnen wigvormige constructie t.b.v. het voorspannen van de laatst afgezonken tunnelementen.

**Zinkkamer**

De ruimte tussen de kopschotten van de tunnelementen.



## Inhoudsopgave ITSO's

- 5.9.1 Inleiding
- 5.9.2 Vloer (geen in te storten onderdelen)
- 5.9.3 Middenwanden
  - 5.9.3.1 Ten behoeve van een hulppost (type A)
  - 5.9.3.2 Ten behoeve van een vluchtdeur (schuifdeur)
  - 5.9.3.3 Ten behoeve van het CO-meetsysteem
  - 5.9.3.4 Ten behoeve van detectielussen
  - 5.9.3.5 Ten behoeve van de CCTV camera
  - 5.9.3.6 Ten behoeve van de referentiemicrofoon
  - 5.9.3.7 Ten behoeve van de aardingsinstallatie
- 5.9.4 Buitenwanden
  - 5.9.4.1 Ten behoeve van een hulppost (type C)
- 5.9.5 Dak
  - 5.9.5.1 Ten behoeve van de verlichting
  - 5.9.5.2 Ten behoeve van een luidspreker
  - 5.9.5.3 Ten behoeve van matrixsignaalgevers
  - 5.9.5.4 Ten behoeve van een ventilator
  - 5.9.5.5 Ten behoeve van ophangframe voor een ventilator
  - 5.9.5.6 Ten behoeve van hoogfrequent en radiocommunicatie installatie
- 5.9.6 Middenpompkamer
  - 5.9.6.1 Ten behoeve van energievoorziening
  - 5.9.6.2 Ten behoeve van pompput in de vloer
  - 5.9.6.3 Ten behoeve van vlamdover en tankwagenaansluiting
- 5.9.7 Achtergronden ITSO's
  - 5.9.7.1 Achtergronden met betrekking tot kabelgang
  - 5.9.7.2 Achtergronden met betrekking tot ingestorte mantelbuizen



---

Tunneldetails



## **5.9 ITSO'S**

### **5.9.1 Inleiding**

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de in te storten onderdelen in de vloer, wanden en dak van de tunnelelementen.

De in te storten onderdelen betreffen hoofdzakelijk instortingen voor het doorvoeren van kabels en leidingen ten behoeve van onder meer het voeden van de tunneltechnische installaties.

Gekozen is voor HDPE-buizen in plaats van PVC-buizen, omdat PVC-buizen te kwetsbaar zijn en makkelijker breken bij het storten.

Na het doorvoeren van kabels en leidingen, de buizen die in de middenwanden zitten over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim. Dit moet gebeuren vanwege:

- vervuiling in de tunnel;
- temperatuur in het middentunnelkanaal;
- overdruk in het middentunnelkanaal bij calamiteiten.

Schroefhuizen ten behoeve van bijvoorbeeld trappen en bordessen worden niet ingestort. Hiervoor worden later ankers ingeboord.

Voor de vloer zijn op dit moment geen in te storten onderdelen opgenomen.

De volgende data zijn tijdens het opstellen aangehouden:

definitief : januari 1997

1<sup>e</sup> herziening : december 2000

2<sup>e</sup> herziening : januari 2005





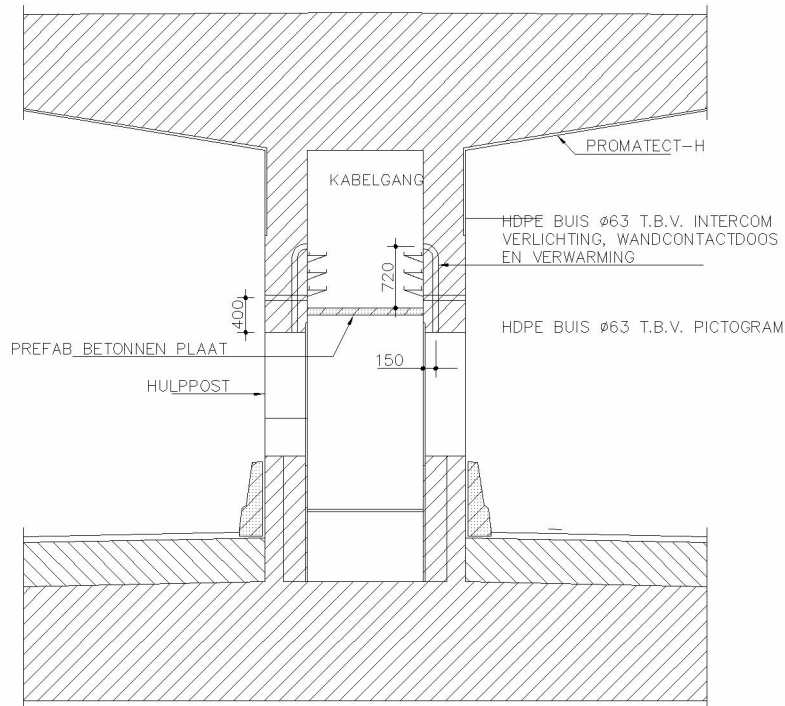


## **5.9.2 Vloer (geen in te storten onderdelen)**

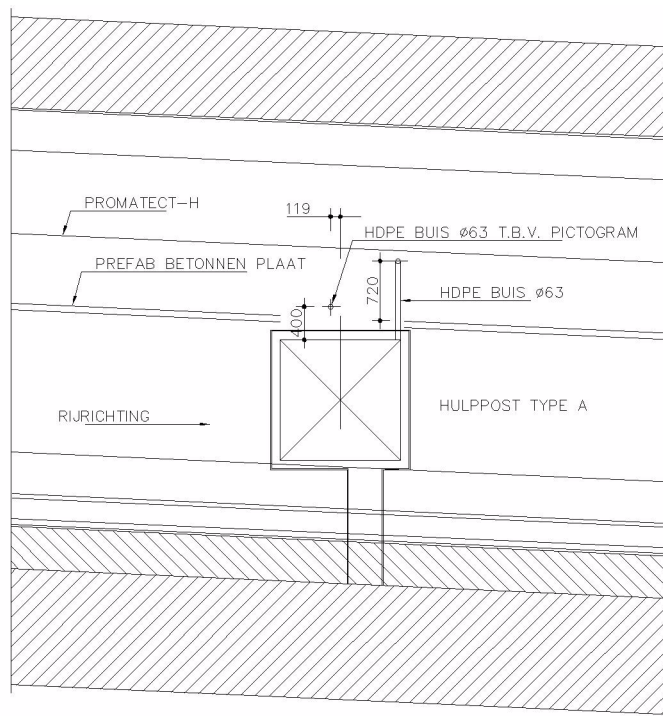




### **5.9.3 Middenwanden**



**DOORSNEDE MIDDENKANAAL**  
SCHAAL 1:50



**AANZICHT HULPPOST TYPE A**  
SCHAAL 1:50



### 5.9.3.1 Ten behoeve van een hulppost (type A)

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De hulppost voorzien van bekabeling.

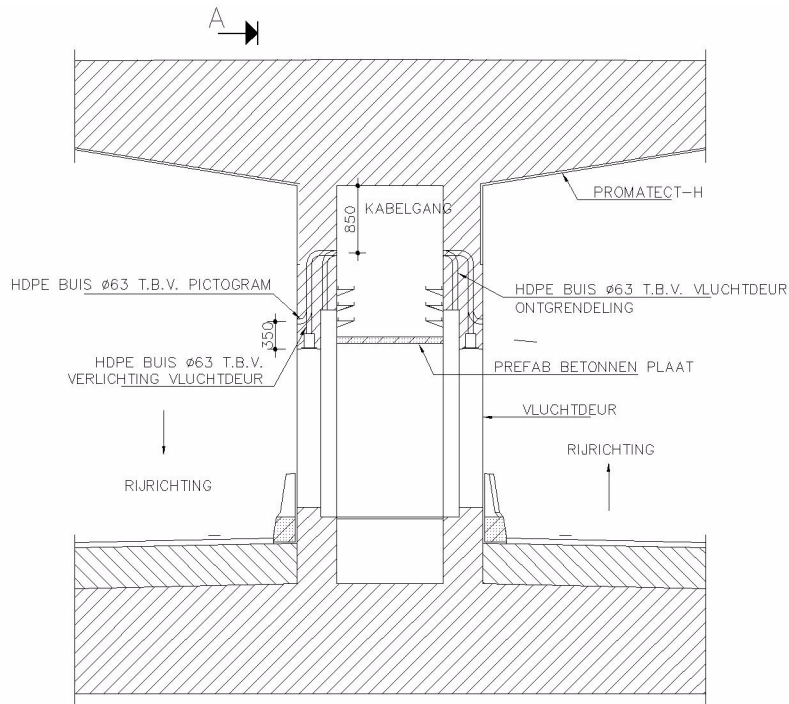
**Detailontwerp:**

Per hulppost worden twee HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm ingestort.

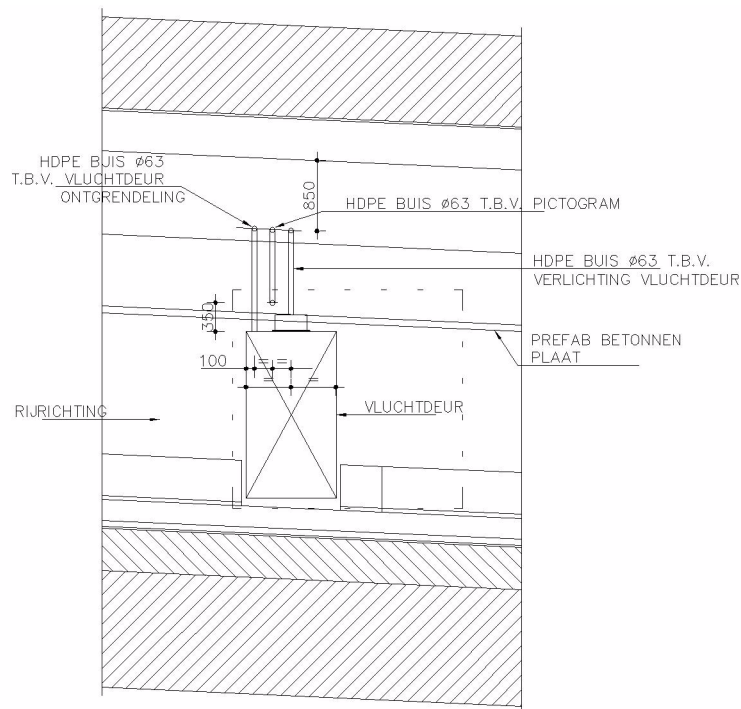
Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

**Bijbehorende details en gegevens:**

- Zie 'Kozijn en deur hulppost'
- Zie 'Afdichting achterzijde hulppost'
- Elektrische bekabeling ten behoeve van het pictogram in de tunnelbuis.
- Elektrische bekabeling ten behoeve van de intercom, de verlichting, een wandcontactdoos en de elektrische verwarming voor hulppost.



**DOORSNEDE MIDDENKANAAL**  
SCHAAL 1:50



**AANZICHT A**  
SCHAAL 1:50



### 5.9.3.2 Ten behoeve van een vluchtdeur (schuifdeur)

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De vluchtdeur voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

De vluchtdeur schuift naar het diepste punt van de tunnel. Aan de bovenzijde van de vluchtdeur is een inkassing voorzien ten behoeve van het inbouwen van een verlichtingsarmatuur.

Het pictogram zit recht boven de vluchtdeur in gesloten toestand. De ontgrendeling zit aan de slotzijde.

Per vluchtdeur worden drie HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm ingestort.

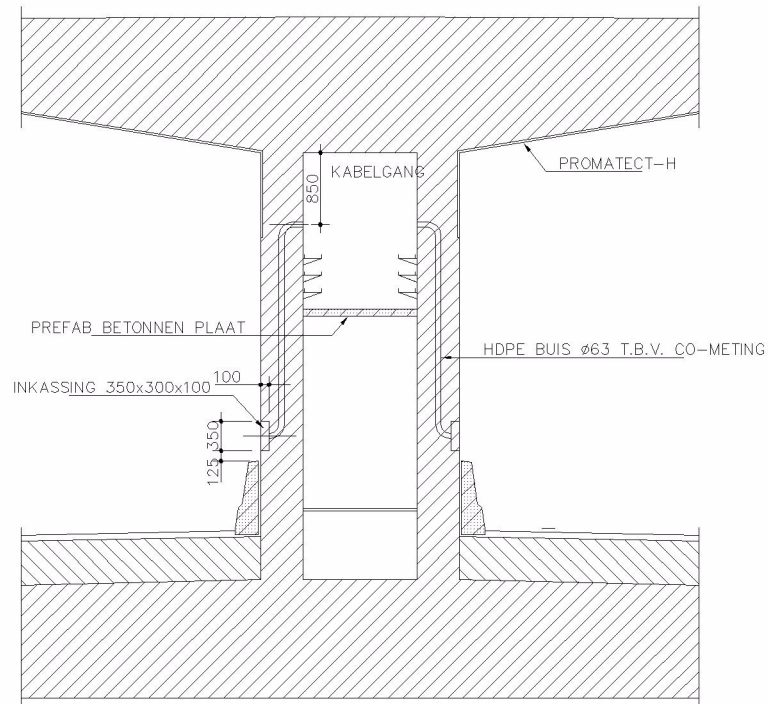
Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

**Bijbehorende details en gegevens:**

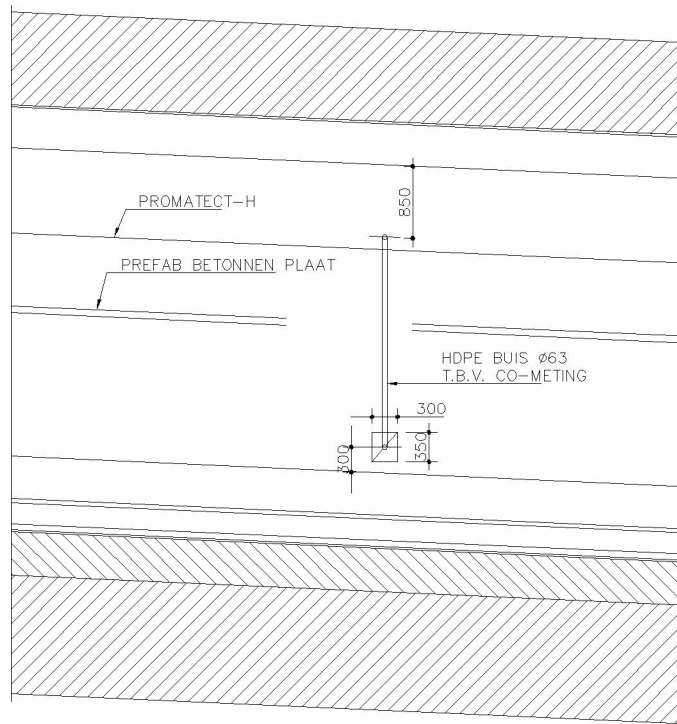
Zie 'Kozijn en deur vluchtdeur'.

- Elektrische bekabeling ten behoeve van het pictogram in de tunnelbuis.
- Elektrische bekabeling voor de verlichting ten behoeve van de vluchtdeur.
- Elektrische bekabeling ten behoeve van de ontgrendeling van de vluchtdeur.





**DOORSNEDE MIDDENKANAAL**  
SCHAAL 1:50



**AANZICHT MIDDENWAND**  
SCHAAL 1:50



### 5.9.3.3 Ten behoeve van het CO-meetsysteem

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

Het CO-meetsysteem voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

De HDPE-buis  $\text{Ø}63 \times 55,8$  mm ten behoeve van het CO-meetsysteem wordt op 3 plaatsen per tunnelbuis ingestort. Eén op het diepste punt van de tunnel en de andere twee op circa 100 m voor het begin respectievelijk het einde van het gesloten gedeelte van de tunnel.

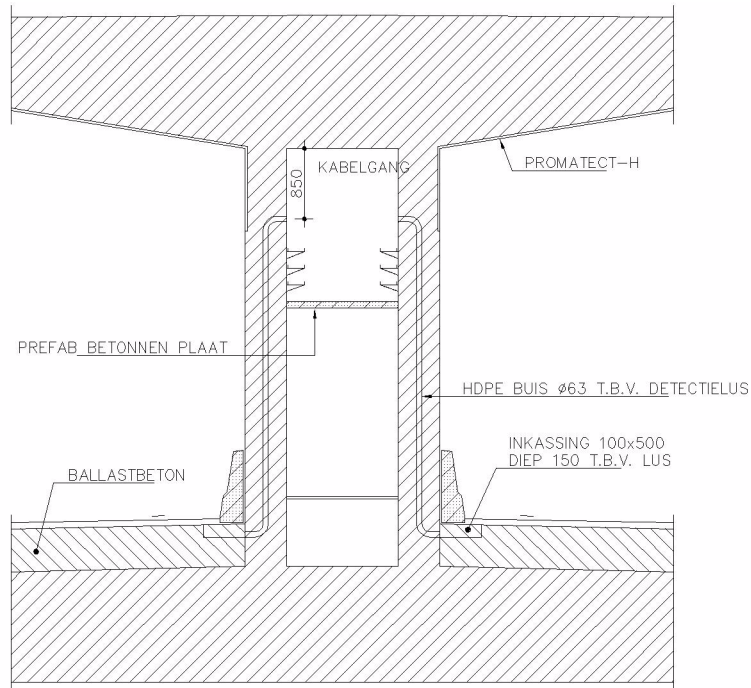
Daar waar de buis in de tunnelbuis uitkomt wordt een inkassing  $350 \times 300 \times 100$  gemaakt.

Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

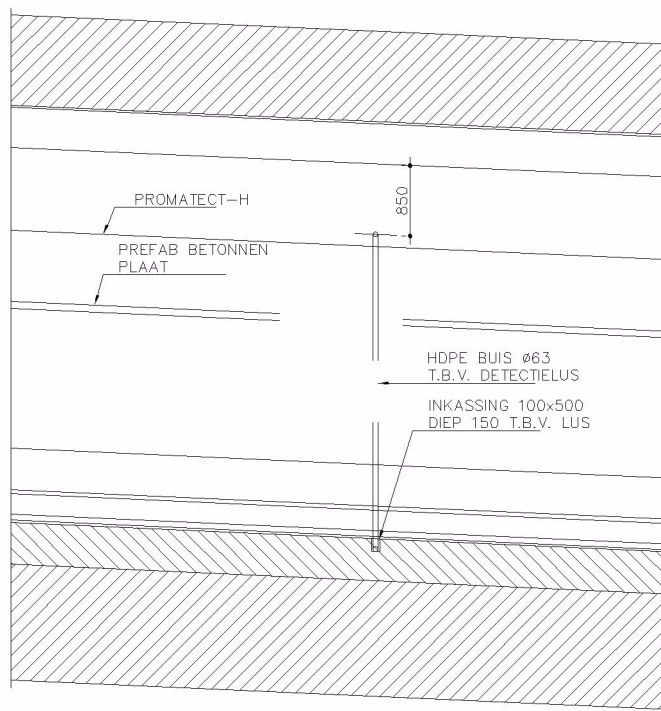
**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7: 'CO-meetsysteem'.

Het meten van de concentratie koolmonoxide (CO) in beide tunnelbuizen. Aan de hand van de gemeten CO-waarden kan het tunnelventilatiesysteem al dan niet in werking treden.



DOORSNEDE MIDDENKANAAL  
SCHAAL 1:50



AANZICHT MIDDENWAND  
SCHAAL 1:50



#### **5.9.3.4 Ten behoeve van detectielussen**

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

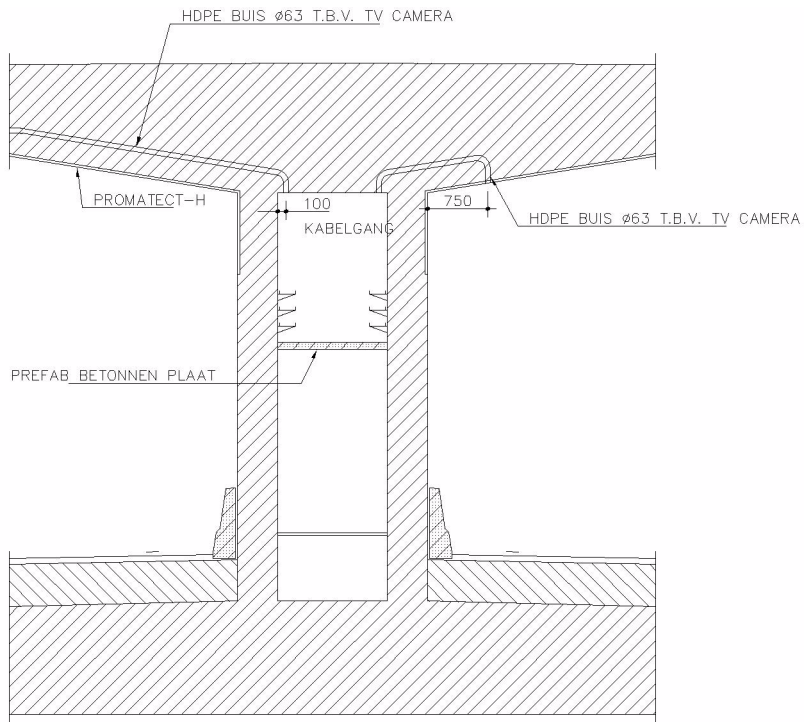
De verkeershoeveelheidsteller, het snelheidsonderschrijdings-systeem (S.O.S) en de verkeerssysteemlussen (MTM) voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

Voor het aanbrengen van de bekabeling naar de detectielussen in het wegdek wordt een sparing 100x150x500 mm aangebracht. Van hier af wordt een HDPE- buis Ø 63x55,8 mm ingestort door de middenwand naar het middentunnelkanaal. De plaatsing van de buizen relateren aan plaatsing van de lussen in het wegdek. Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Verkeersdetectie'.



DOORSNEDE MIDDENKANAAL  
SCHAAL 1:50



### 5.9.3.5 Ten behoeve van de CCTV camera

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De CCTV-installatie voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

Voordat met de montage van het CCTV-installatie wordt begonnen, moet men tijdens het detailleren met behulp van kwaliteits- en zichtmetingen, de juiste locaties van de camera's bepalen. De TV-camera in de tunnel wordt niet draaibaar gemonteerd.

Afhankelijk van het alignement (een eventuele bocht) van de tunnel kan het noodzakelijk zijn om aan de tegenoverliggende buitenwand camera's te plaatsen. De positie voor de camera in de buitenwand is gelijk aan die van de binnenwand.

De hart-op-hart afstand van de camera's wordt bepaald door het alignement van de tunnel.

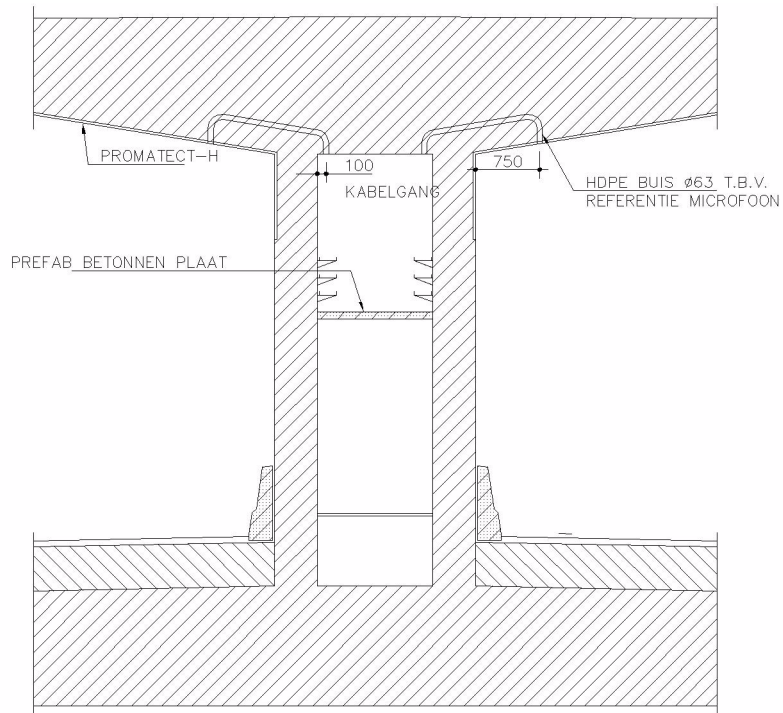
De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Video en CCTV-installatie'.

De CCTV-installatie wordt aangebracht voor het observeren van het verkeer in de tunnel. Bij bijzondere situaties zoals het aanspreken van de hoogtedetectie, de melding van een stilstaand voertuig, een geopende hulppost wordt de CCTV-installatie automatisch ingeschakeld op het punt van de actie.



DOORSNEDE MIDDENKANAAL  
SCHAAL 1:50



### 5.9.3.6 Ten behoeve van de referentiemicrofoon

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De referentiemicrofoon voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

De luidsprekerinstallatie zodanig ontwerpen en inregelen dat een persoon in de aanrijroute van de tunnel en in de tunnel, buiten of in een voertuig, een gesproken boodschap duidelijk kan verstaan. De referentie-microfoon dient in een beschermconstructie geplaatst te worden. De hart op hart afstanden en het aantal dient nader bepaald te worden.

De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

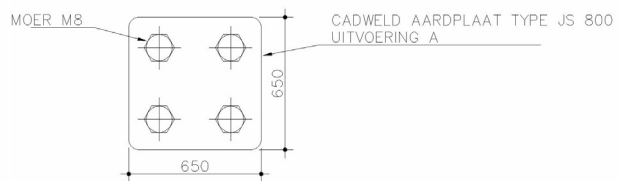
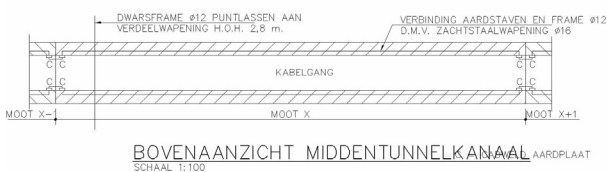
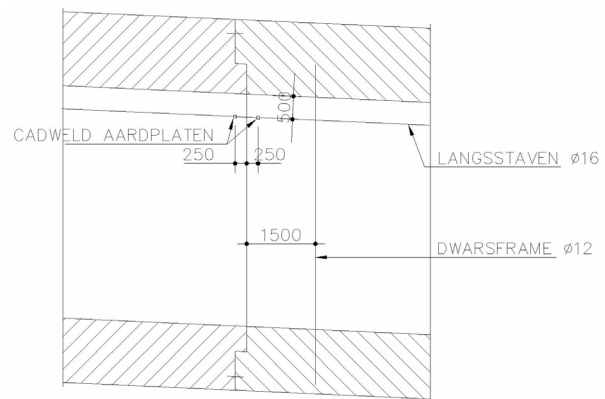
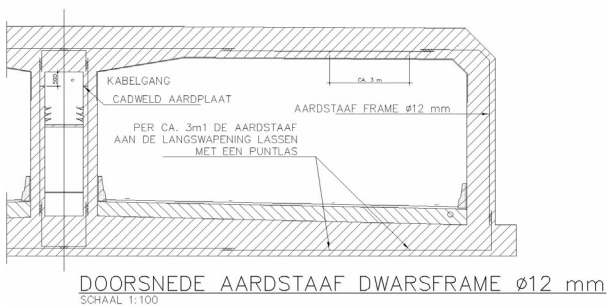
Na het doorvoeren van kabels en leidingen de buizen over circa 50 mm dichtzetten met PUR-schuim.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Luidsprekerinstallatie'.

De geluidsinstallatie wordt aangebracht om tunnelgebruikers in geval van pech of ongeval aanwijzingen te kunnen geven vanuit de centrale bedieningsruimte.







### 5.9.3.7 Ten behoeve van de aardingsinstallatie

**Functies:**

Ingestorte aardingsframe met aardplaten is onderdeel van de tunnelaarding en dient voor de koppeling van de aardingsinstallatie tussen de verschillende tunnelmoten.

**Doel:**

De aardingsinstallatie dient ter bescherming van personen tegen (door defecten) onder spanning staande onderdelen en ter beperking van zwerfstromen. Tevens dient de aardingsinstallatie als bliksemafleider om atmosferische elektrische ontladingen op veilige wijze naar de aarde te geleiden en daarbij schade aan (dienst)gebouwen en installaties te voorkomen.

**Detailontwerp:**

Elke moot in een tunnelement is voorzien van een aardingsframe van doorgelaste wapeningsstaven  $\varnothing 12$  welke in dwarsrichting van de tunnel worden geplaatst. In langrichting zijn de aardingsframes onderling verbonden doordat in elke middenwand een wapeningsstaaf  $\varnothing 16$  is opgenomen welke op de uiteinde van de moot voorzien is van een aardplaat. De aardplaten t.p.v. de mootvoegen worden onderling verbonden middels een koperdraad zodat een doorgaande verbinding ontstaat. De aardplaat moet liefst zo dicht mogelijk bij de mootvoeg worden ingestort zodat de lengte van het koperdraad zo klein mogelijk is. Het ingestorte aardingsframe wordt ook nog aangesloten op een in het middenkanaal aan beide zijden geplaatste rail van blank koper met een minimale doorsnede van  $50 \text{ mm}^2$ .

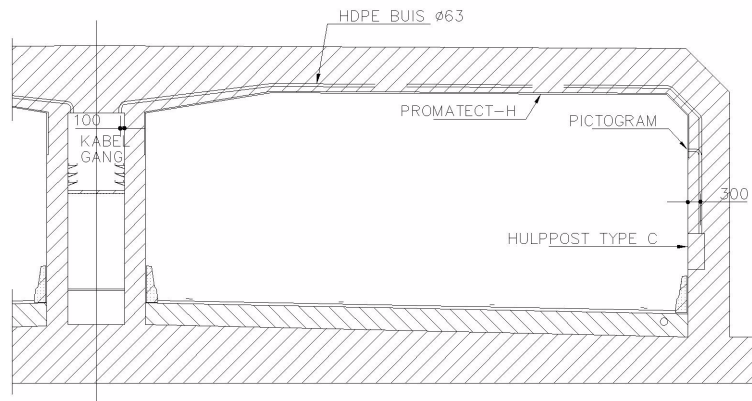
**Bijbehorende details en gegevens:**

Geen.

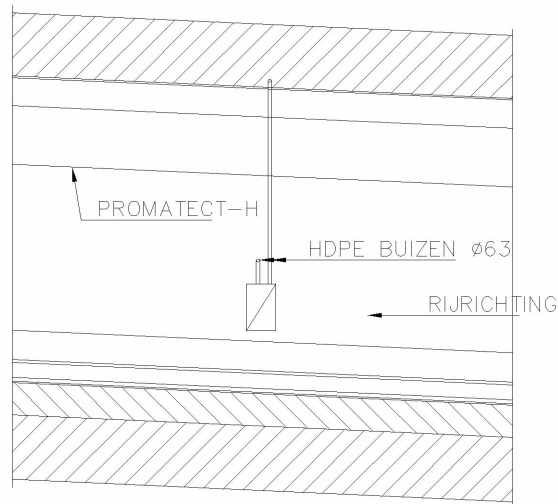




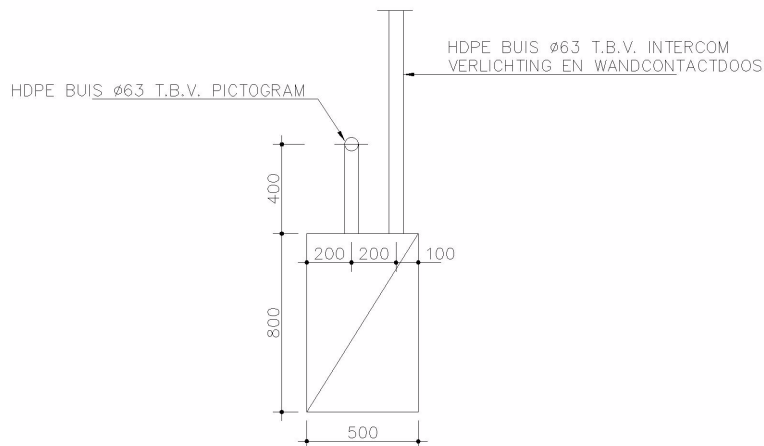
## **5.9.4 Buitenwanden**



**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:100



**AANZICHT BUITENWAND**  
SCHAAL 1:100



**AANZICHT HULPPOST TYPE C**  
SCHAAL 1:20

**5.9.4.1 Ten behoeve van een hulppost (type C)****Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De hulppost voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

Per hulppost worden twee HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm ingestort.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie 'Kozijn en deur hulppost'.

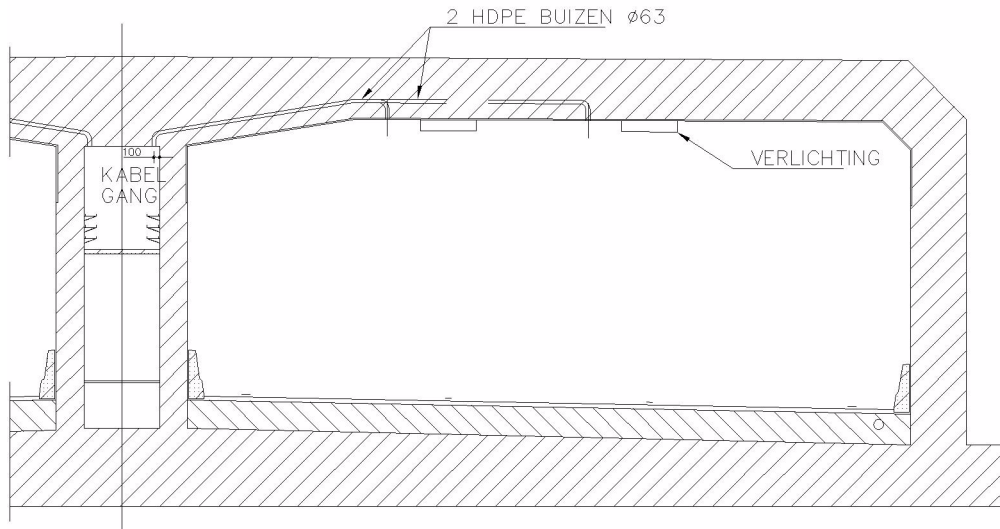
- Elektrische bekabeling ten behoeve van een pictogram.
- Elektrische bekabeling ten behoeve van de intercom, de verlichting en een wandcontactdoos.



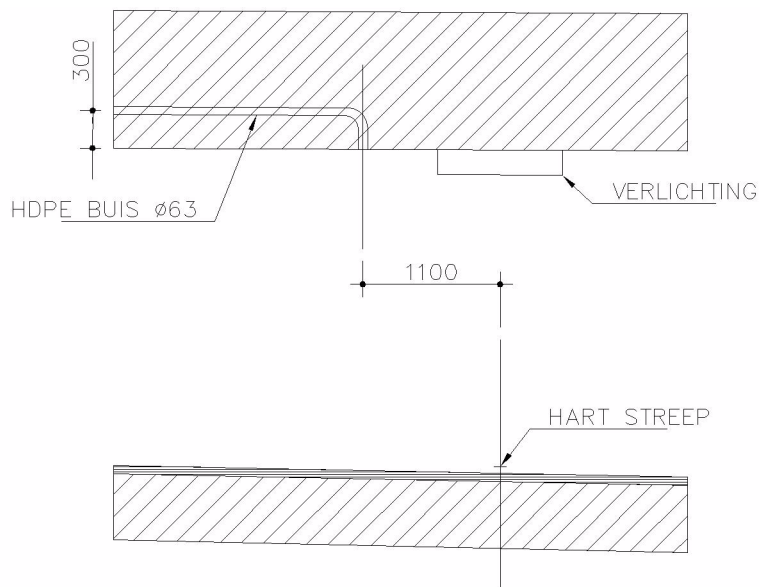


## **5.9.5 Dak**





**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:100



SCHAAL 1:50



### 5.9.5.1 Ten behoeve van de verlichtin

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De verlichting in het gesloten tunnelgedeelte van bekabeling voorzien.

**Detailontwerp:**

De verlichting wordt altijd loodrecht ten opzichte van hart streep op het plafond geplaatst. Bij drie rijstroken komen er twee verlichtingslijnen. Bij twee rijstroken komt er maar één verlichtingslijn.

In langsrichting van de tunnel is de plaats van de verlichting bepalend in verband met tegenstraalverlichting.

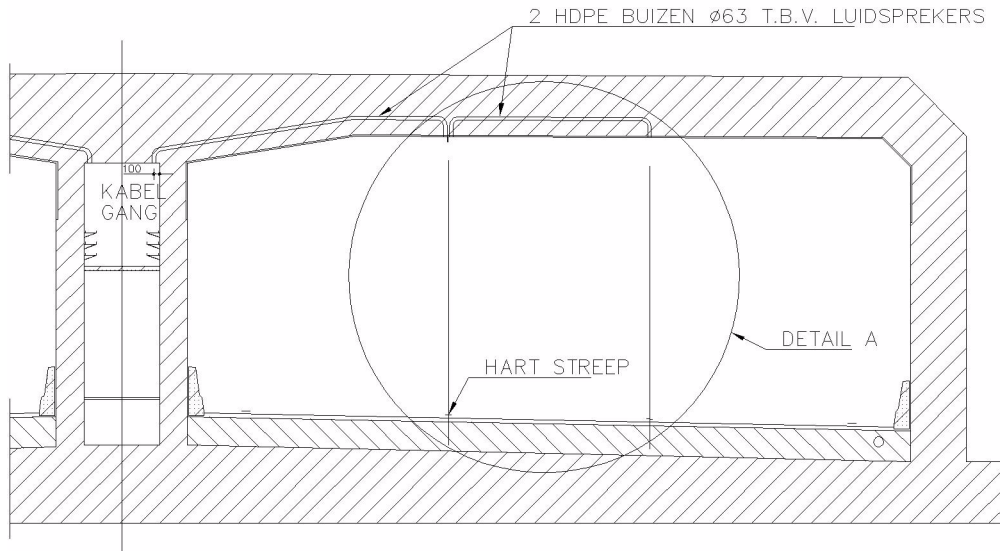
Voor de lijn- en tegenstraalverlichting kan dezelfde instorting gebruikt worden.

De hart-op-hartafstand moet voor beiden apart bepaald worden.

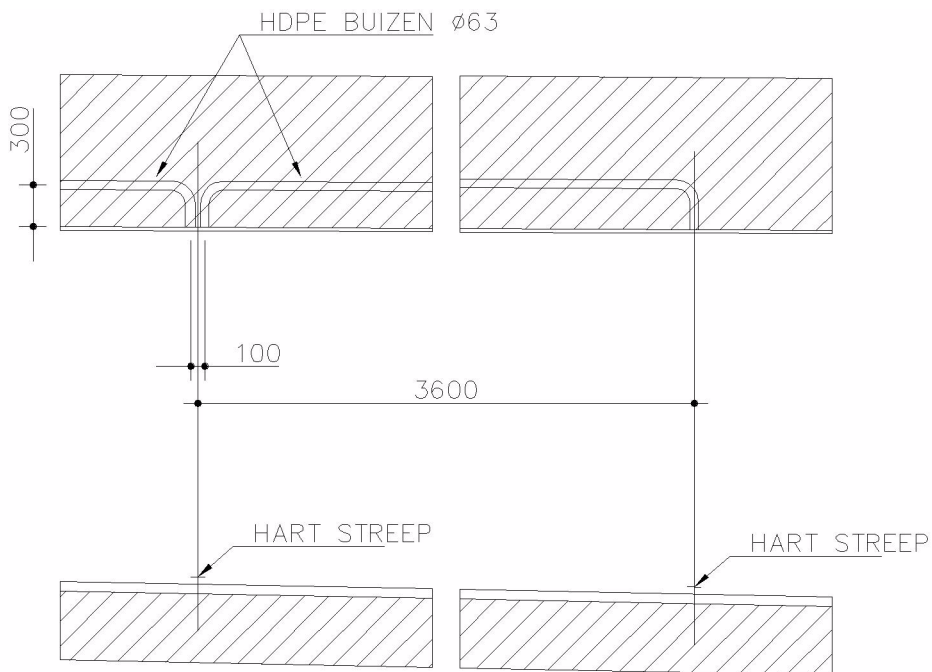
De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Verlichting verkeerstunnel'.



**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:100



**DETAIL A**  
SCHAAL 1:50



### **5.9.5.2 Ten behoeve van een luidspreker**

**Funcities:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De luidspreker in het gesloten tunnelgedeelte voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

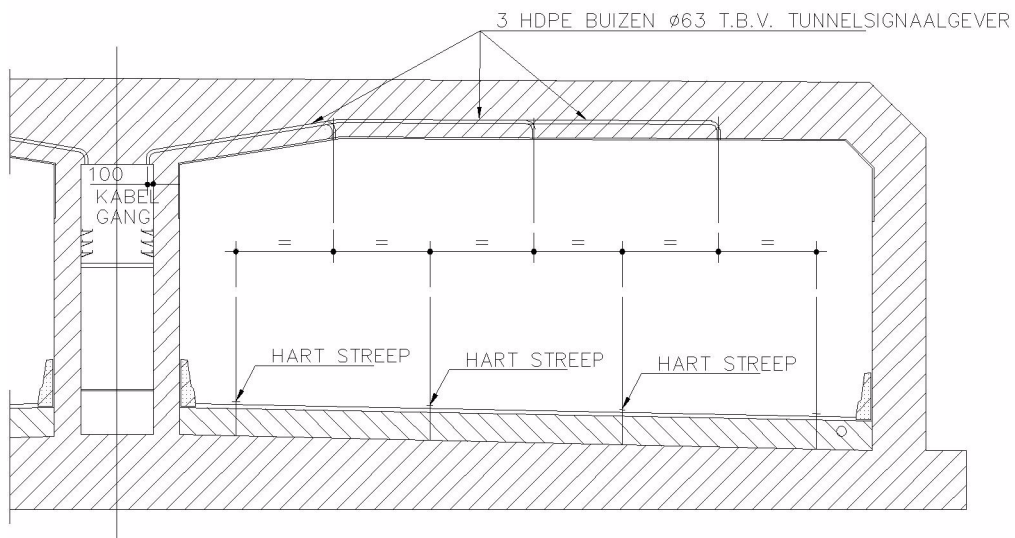
De luidspreker wordt altijd loodrecht ten opzichte van hart streep op het plafond geplaatst. Bij drie rijstroken komen er twee geluidslijnen. Bij twee rijstroken komt er maar één geluidslijn.

De hart-op-hartafstand moet voor beiden apart bepaald worden.

De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Luidsprekerinstallatie'.



**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:100



### 5.9.5.3 Ten behoeve van matrixsignaalgevers

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De matrixsignaalgevers in het gesloten tunnelgedeelte voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

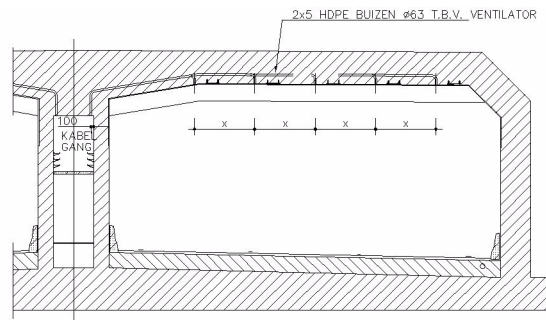
De matrixsignaalgever wordt altijd loodrecht boven het midden van de rijstrook of vluchtstrook op het plafond geplaatst.

In de langsrichting van de tunnel is de hart op hart afstand van de matrixsignaalgevers circa 150 meter. Afhankelijk van het alignement kan een grotere hart op hart afstand worden gekozen.

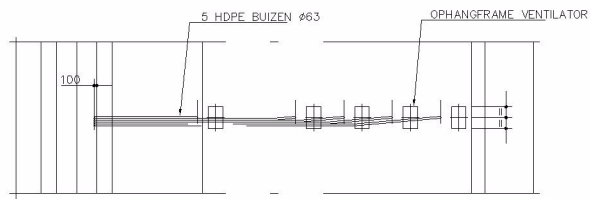
De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Rijstrooksignalering'.



**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:100



**BOVENAANZICHT TUNNELDAK**  
SCHAAL 1:100

**5.9.5.4 Ten behoeve van een ventilator****Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De ventilator voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

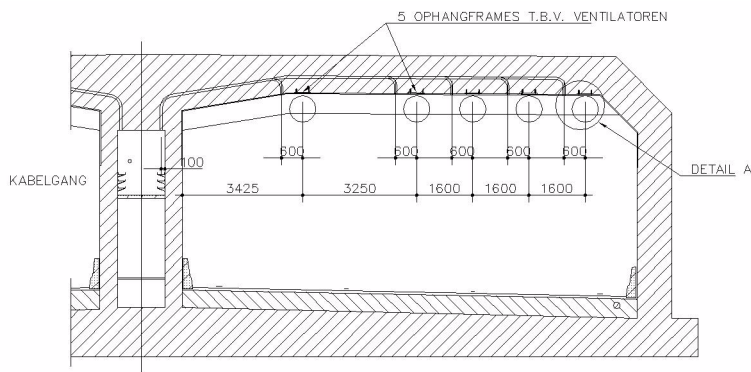
De HDPE-buizen  $\text{Ø}63 \times 55,8$  mm worden diep in het tunneldak geplaatst in verband met ruimte en doortrekken van voorspankabels.

Aantal buizen afhankelijk van het aantal ventilatoren, echter per ventilator een dubbele buis toepassen.

**Bijbehorende details en gegevens:**

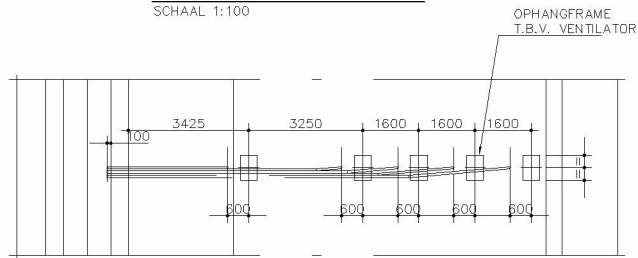
Zie deel 7, 'Tunnelventilatie'.





DOORSNEDE TUNNEL

SCHAAL 1:100



BOVENAANZICHT TUNNELDAK

SCHAAL 1:100



### **5.9.5.5 Ten behoeve van ophangframe voor een ventilator**

**Functies:**

De functie van het ophangframe is ervoor zorg te dragen dat de ventilator kan worden gemonteerd aan het plafond van de tunnel.

**Doel:**

Bevestigingsmogelijkheid voor de ventilator in het gesloten tunnelgedeelte aan het plafond.

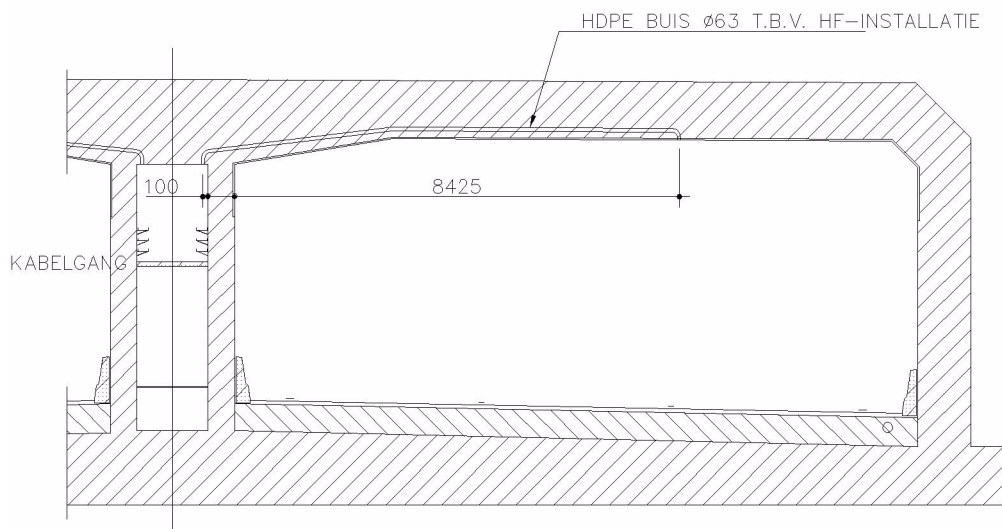
**Detailontwerp:**

Het ophangframe wordt in de constructiebeton opgenomen en ligt bovenop de hittewerende bekleding van het dak.

Afmetingen van het ophangframe zijn afhankelijk van de te plaatsen ventilatoren.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie deel 7, 'Tunnelventilatie'.



**DOORSNEDE TUNNEL**  
SCHAAL 1:50



### **5.9.5.6 Ten behoeve van hoogfrequent en radiocommunicatie installatie**

**Funcities:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

De hoogfrequent en radiocommunicatie installatie voorzien van bekabeling.

**Detailontwerp:**

De hoogfrequent en radiocommunicatie installatie dient aan het begin en einde van de tunnel geplaatst te worden.

De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

**Bijbehorende details en gegevens:**

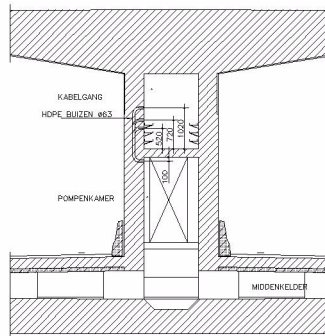
Zie deel 7, 'Hoogfrequent en radiocommunicatie installatie'.

De hoogfrequent en radiocommunicatie installatie is bestemd voor het mobilfoon- en portofoonverkeer van mobiele posten binnen en buiten de tunnel, alsmede voor de ontvangst van radiozenders en het inspreken op de radiofrequenties binnen het gesloten tunnelgedeelte.

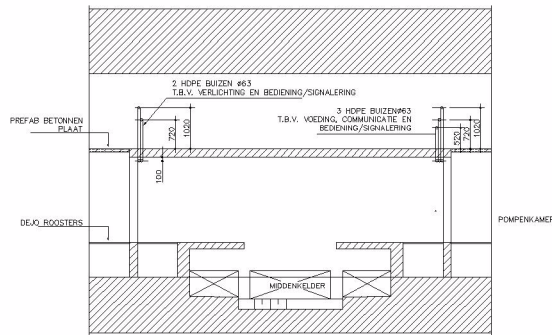




## **5.9.6 Middenpompkamer**



**DWARSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER**  
SCHAAL 1:50



**LANGSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER**  
SCHAAL 1:50



### **5.9.6.1 Ten behoeve van energievoorziening**

**Functies:**

Mantelbuizen ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

Elektrische bekabeling ten behoeve van de verlichting, de voeding, de communicatie, de bediening en de signalering.

**Detailontwerp:**

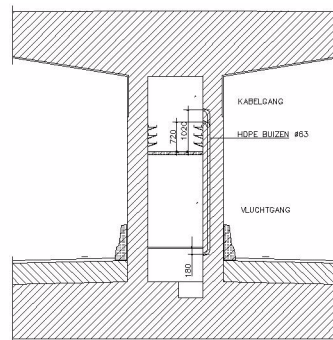
De doorvoeren lopen van de middenpompenkamer naar de kabelgang.

De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

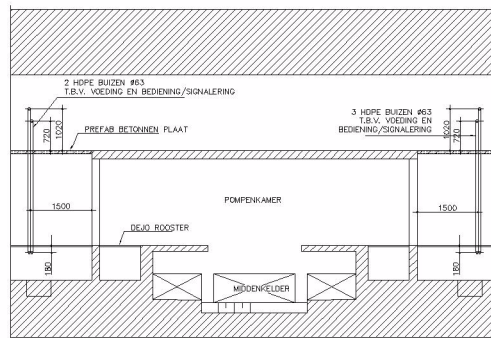
**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie 'Principe indeling middenpompenkamer'.





DWARSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER  
SCHAAL 1:50



LANGSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER  
SCHAAL 1:50



### **5.9.6.2 Ten behoeve van pompput in de vloer**

**Functies:**

Mantelbuis ten behoeve van het doorvoeren van bekabeling.

**Doel:**

Elektrische bekabeling ten behoeve van voeding voor lenspomp en bediening / signalering.

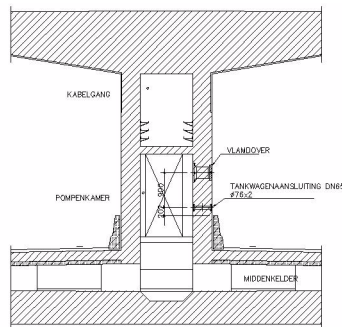
**Detailontwerp:**

De doorvoeren lopen van de lenspomp naar de kabelgang.

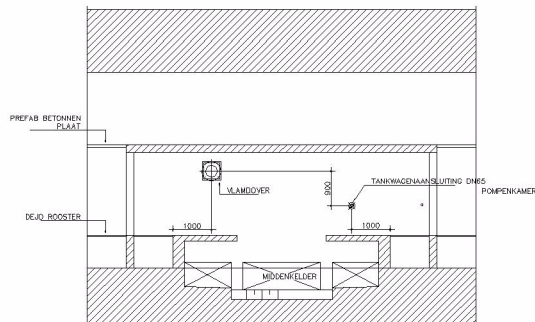
De doorvoeren worden gemaakt met HDPE- buizen Ø 63x55,8 mm.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie 'Principe indeling middenpompenkamer'.



DWARSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER  
SCHAAL 1:50



LANGSDOORSNEDE MIDDENPOMPENKAMER  
SCHAAL 1:50



### 5.9.6.3 Ten behoeve van vlamdover en tankwagenaansluiting

**Functies:**

Doorvoeren door de middenwand ter plaatse van de middenpompenkamer.

**Doel:**

- De vlamdover zorgt ervoor dat er ter plaatse van de ont-/beluchting van de middenpompenkelder geen vlamdoorslag kan plaatsvinden.
- Op de tankwagenaansluiting kan een slang worden aangesloten waardoor vloeistoffen kunnen worden afgevoerd naar een tankwagen die niet naar de hoofdwaterkelder mogen worden gepompt.

**Detailontwerp:**

De vlamdover wordt aangebracht op de ont-/beluchtingsbuis tussen de tunnelbuis en de middenpompenkamer.

De tankwagenaansluiting wordt aangebracht in de wand tussen de tunnelbuis en de middenpompenkamer. Het is een stalen buis Ø76 met twee flenzen.

**Bijbehorende details en gegevens:**

Zie 'Principe indeling middenpompenkamer'.

- De vlamdover zorgt ervoor dat er ter plaatse van de ont-/beluchting van de middenpompenkelder geen vlamdoorslag kan plaatsvinden.
- Op de tankwagenaansluiting kan een slang worden aangesloten waardoor vloeistoffen kunnen worden afgevoerd naar een tankwagen die niet naar de hoofdwaterkelder mogen worden gepompt.





### **5.9.7 Achtergronden ITSO's**

In dit hoofdstuk komen de achtergronden aan de orde m.b.t. de in te storten mantelbuizen voor het voeden en aansturen van verkeers- en tunneltechnische installaties, met name de vraag waarop is de keuze van in te storten mantelbuizen gebaseerd komt aan de orde. De achtergronden worden niet per detail oplossing behandeld maar zijn beschreven als één algemeen verhaal welke op alle details betrekking heeft.

Voor een totaal beeld van de achtergronden met betrekking tot kabels en leidingen in tunnels wordt verwezen naar de het hoofdstuk 'Tunnelinstallaties en VRC.





### **5.9.7.1 Achtergronden met betrekking tot kabelgang**

De dwarsdoorsnede van een tunnel is in het algemeen zo opgebouwd dat er tussen de verkeersbuizen een apart centraal gelegen kanaal aanwezig is welke in de hoogte gezien in twee niveaus is onderverdeeld. Op het laagst gelegen niveau bevindt zich een vluchtgang welke het voor weggebruikers mogelijk maakt om, in geval van calamiteit onder geconditioneerde omstandigheden, te vluchten naar een veilige ruimte. Op het niveau boven de vluchtgang bevindt zich de centraal gelegen kabelgang waarbinnen aan de wanden de doorgaande kabelrekken met kabels en diversen schakel- en verdeelkasten zijn gemonteerd. Het in de kabelgang ondergebrachte hoofdkabeltracé kan gezien worden als de zogenaamde ruggengraat van de tunnel, deze ruggengraat is van vitaal belang voor het functioneren van de installaties en is daarom als ruimte fysiek gescheiden van de verkeersruimte. Een andere achtergrond is dat vanuit het oogpunt van onderhoud en inspectie de kabelgang altijd veilig toegankelijk is zonder dat dit hinder of verkeersstremming geeft voor het wegverkeer.

Onder het vloerniveau van de vluchtgang is eigenlijk nog een derde niveau van beperkte hoogte (400-500mm) aanwezig waarin de brandblusleiding en de pompleiding zijn ondergebracht.

### **5.9.7.2 Achtergronden met betrekking tot ingestorte mantelbuizen**

De keuze voor in te storten mantelbuizen komt voort uit voornamelijk twee achtergronden, namelijk;

- De kwetsbaarheid van kabels binnen de verkeersruimte waarmee de betrouwbaarheid van het functioneren van de installatie sterk verminderd.
- De omgevingscondities in verkeersruimte zijn zonder uitzondering zeer corrosief, opbouwsystemen binnen de verkeersruimte hebben als gevolg daarvan maar een beperkte levensduur.

Gezien de kwetsbaarheid van kabels binnen de verkeersruimte dient die locatie zoveel mogelijk te worden vermeden. Dit vermindert de kwetsbaarheid van kabels en leidingen en daarmee de kwetsbaarheid van de aanhangende systemen aanzienlijk. Het is echter in praktijk altijd onvermijdelijk dat een klein gedeelte van de kabel vanuit de ingestorte mantelbuis naar de betreffende installatie onbeschermd in de verkeersruimte aanwezig is. Door beperking van de lengte van dit deel van de kabel is het risico op beschadiging of geheel verlies ook beperkt.

Vanuit de centrale kabelgang is het onvermijdelijk om, voor het voeden en aansturen van de verkeers- en tunneltechnische installaties welke zich in de verkeersruimte bevinden, voeding- en sturingskabels in de verkeersruimte aan te brengen. Deze voedings- en sturingskabels bevinden zich in mantelbuizen welke in de civiele constructie zijn ingestort. De installaties welke dienen te worden gevoed cq. te worden aangestuurd zijn onder andere: verlichtingsarmaturen, ventilatoren, CCTV-camera's, detectiesystemen, signaalgevers, luidsprekers, intercom, HF-apparatuur en veiligheidsvoorzieningen in hulpposten. Deze systemen van installaties zijn zodanig ingericht en beveiligd dat storing of verlies van een installatie systeem in één tunnelbuis, het bedrijf in de andere tunnelbuis niet beïnvloedt. Evenzo dient





plaatselijke beschadiging en/of verlies van een kabel of leiding niet tot gevolg te hebben dat de gehele installatie, of alle functies van die installatie in één tunnelbuis buiten bedrijf gaat. Dit is te bereiken door het systeem in secties te verdelen die d.m.v. scheiders (schakelaars, afsluiters en/of beveiligingen) kunnen worden afgezonderd van het gemeenschappelijke hoofdaanvoerdeel van het systeem. Het gemeenschappelijke hoofdaanvoerdeel van een systeem, zoals hoofdvoedingskabels, onderverdeeldkasten zijn ondergebracht in de kabelgang om deze zo goed mogelijk te beschermen tegen beschadiging en/of verlies. De lengte van een secties staat in relatie tot het minimaal handhaven van een veilig bedrijf in de verkeersruimte. Voor verlichtingssecties is dit b.v. ongeveer 60m.

Omgevingscondities in de verkeersruimte is zonder uitzondering zeer corrosief. De tunnelatmosfeer is sterk verontreinigd met agressieve stoffen zoals roet, zout, zwakke zuren en vocht. De combinatie van deze stoffen veroorzaakt sterke aantasting van alle installaties, kabel- en leidingdraagsystemen in de verkeersruimte en maakt speciale beschermende maatregelen (inerte materialen en zeer goede afdichtingen) noodzakelijk. In ieder geval wordt de levensduur van installaties en de draagsystemen verkort door plaatsing in de verkeersruimte.

Materiaaleigenschappen en uitvoering van de installaties en de draagsystemen dienen te worden afgestemd op de omgevingscondities. Vanwege het minder agressieve milieu buiten de verkeersruimte kunnen lagere eisen worden gesteld aan kabelafdichtingen en de draagsystemen dan binnen de verkeersruimte.

Het ontwerp van de verkeers- en tunneltechnische installaties loopt in de praktijk niet synchroon met het ontwerp van de civiele tunnelconstructie. Het definitieve ontwerp van de verkeers- en tunneltechnische installaties wordt veelal pas vastgesteld op het moment dat de civiele ruwbouw al in een ver gevorderd stadium is. Vanwege het raakvlak dienen echter de in te storten mantelbuizen al in een vroeg stadium te worden opgegeven zodat deze in de uitvoering nog tijdig kunnen worden ingestort. Uit dit oogpunt is het aan te bevelen om een hoeveelheid reserve mantelbuizen in een vast stramien in de civiele constructie in te storten.



## **Inhoudsopgave**

- 6. Kostenramingen
  - 6.1 Doel, uitgangspunten en documentatie
    - 6.1.1 Algemeen
  - 6.2 Faseringen
    - 6.2.1 Algemeen
  - 6.3 De raming
    - 6.3.1 Algemeen
    - 6.3.2 Opbouw ramingen
    - 6.3.3 Kostensoorten (horizontaal)
    - 6.3.4 Kostencategorieën (verticaal)
  - 6.4 Kwaliteit van de raming
    - 6.4.1 Algemeen



---

Kostenramingen



---

Kostenramingen

## **Inhoudsopgave Doel, uitgangspunten en documentatie**

6.1.1 Algemeen



---

Kostenramingen



## **6.1 DOEL, UITGANGSPUNTEN EN DOCUMENTATIE**

### **6.1.1 Algemeen**

Gebruik van een uniforme en systematische werkwijze bij ramingen voor alle projecten binnen de afdeling Tunnelbouw.

Kennis en ervaring van de onderafdeling Kostprijszaken van de afdeling Bedrijfszaken

CROW-publicatie 137 (PRI2003-systematiek)

Blauwdruk kosten



---

Kostenramingen

Doel, uitgangspunten en documentatie



---

Kostenramingen

## **Inhoudsopgave Fasering**

6.2.1 Algemeen





---

Kostenramingen



## 6.2 FASERINGEN

### 6.2.1 Algemeen

Meestal wordt de onderstaande fasering bij MIT-projecten en andere grote projecten in de GWW sector aangehouden

verkenning		planstudie			realisatie	
<i>initiatief-fase</i>	<i>voorstudie-fase</i>	<i>definitief-fase</i>	<i>voorontwerp-fase</i>	<i>definitief ontwerp-fase</i>	<i>contract-fase</i>	<i>uitvoerings-fase</i>
<i>tbv. verkenning</i>	<i>tbv. startnotitie</i>	<i>tbv. trajectnota</i>	<i>tbv. ontwerp tracébesluit</i>	<i>tbv. uitwerking tracébesluit</i>	<i>tbv. contractering</i>	<i>tbv. oplevering</i>
<i>kentallenraming</i>	<i>kentallenraming</i>	<i>elementenraming</i>	<i>voorontwerpraming</i>	<i>ontwerpraming</i>	<i>contractraming</i>	<i>contractmutatieraming</i>
≤50 %	≤ 50 %	≤25 %	≤15 %	≤ 10 %	≤10 %	≤10 %

Verkenning: In deze fasen worden ramingen opgebouwd middels kengetallen en/of standaard modellen.

Planstudie en realisatie: In deze fasen worden ramingen opgebouwd middels elementen en/of hoeveelheden.



---

Kostenramingen

Faseringen



---

Kostenramingen

## **Inhoudsopgave De raming**

- 6.3.1 Algemeen
- 6.3.2 Opbouw ramingen
- 6.3.3 Kostensoorten (horizontaal)
- 6.3.4 Kostencategorieën (verticaal)



---

Kostenramingen



## **6.3 DE RAMING**

### **6.3.1 Algemeen**

De raming is een prognose van de werkelijke kosten. Daarnaast verschaft de raming inzicht in de kostenopbouw van het project en daarmee in de zwaartepunten en risicovolle onderdelen. De kwaliteit van de raming is o.a. afhankelijk van de afbakening van de projectscope, de volledigheid, een risico-inventarisatie, actualiteit en onderbouwing.

Daarnaast heeft iedere raming een bepaalde trefzekerheid; de bandbreedte waarbinnen de middenwaarde van de geraamde investeringskosten zal liggen. In het verleden werden de midden, en uiterste waarden van de raming aangegeven in L-, T-, en U- waarden. ( L- lage waarde, T- midden waarde en U- hoge waarde). Tegenwoordig wordt in principe de term bandbreedte gebruikt, uitgedrukt in een percentage (+ en -) of een onder- en bovenwaarde.



---

Kostenramingen

De raming



### 6.3.2 Opbouw ramingen

Alle ramingen worden opgebouwd volgens de uniforme ramingsopbouw (PRI-2003 systematiek) zoals hieronder weergegeven. De gebruikte begrippen worden kort toegelicht. Afbeelding 6.3.1 en Afbeelding 6.3.2 zijn toegevoegd om een en ander toe te lichten.

KOSTENSOORTEN		Voorziene kosten				Onvoorziene kosten	Totaal
		directe kosten		indirecte kosten			
Kosten categorieën		bekend	nader te detaileren	bekend	nader te detaileren		
			Bouwkosten	X	X	X	X
	Vastgoedkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Engineeringkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Overige bijkomende kosten	X	X	X	X	X	Σ
	Basisraming	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
	Project Onvoorzien					X	.....
	Investeringskosten, excl. BTW					Σ	Σ
	BTW						X
	Investeringskosten, incl. BTW	prijspeil: X (dd.mm.jj)					Σ
	Bandbreedte	X	X				
	Onzekerheidsreserve						X
	Reserve extern onvoorzien						X
	TOTAAL AAN TE HOUDEN VOOR BUDGETDOELEINDEN						Σ

raming van het project binnen de gegeven project-scope  
 bepaling van het budget t.b.v. financiering

Legend:  
 X verantwoordelijkheid kostenramer  
 X verantwoordelijkheid financier

Afbeelding 6.3.1, PRI 2003 systematiek





---

Kostenramingen

De raming



### 6.3.3 Kostensoorten (horizontaal)

#### a) Voorzien/onvoorzien

Ramingen worden opgebouwd uit voorziene kosten en onvoorziene kosten. Met onvoorziene kosten worden bedoeld de kosten die in de toekomst mogelijk ontstaan binnen de projectscope door onverwachte gebeurtenissen. De hier bedoelde onvoorziene kosten zijn toe te delen aan een specifiek object (object onvoorzien). De post object onvoorzien dient te worden onderbouwd middels een risicoanalyse. De voorziene kosten kunnen worden onderverdeeld in directe en indirecte kosten. Deze beide kunnen weer worden onderverdeeld in bekende en nader te detailleren kosten.

#### b) Direct-/indirect

Directe kosten zijn kosten die rechtstreeks met de productie of levering van een product of dienst gemoeid zijn (zie ook bouwkosten bij 6.4.3) en hier aanwijsbaar aan toe te rekenen zijn. Indirecte kosten worden niet direct aan een product of dienst toegewezen.

#### c) Bekend/nader te detailleren

De directe en indirecte kosten worden weer onderverdeeld uit bekende kosten en nader te detailleren kosten. De bekende kosten bestaan uit die posten die direct afgeleid en gerelateerd kunnen worden aan hoeveelheden en prijzen. Daarnaast bestaat er een opslag voor kosten welke voorzien zijn, maar niet expliciet uitgewerkt zijn.



---

Kostenramingen

De raming



### 6.3.4 Kostencategorieën (verticaal)

De hoofd-kostencategorieën binnen deze opbouw zijn: bouwkosten, vastgoedkosten, engineeringkosten en overige bijkomende kosten. Binnen iedere hoofd-kostencategorie kunnen allerlei kostenposten worden benoemd.

Naast de bekende kosten is er nog een hoofd-kostencategorie voor onbekende kosten: project onvoorzien.

#### a) Bouwkosten

De bouwkosten zijn de kosten die zijn gemoeid met de fysieke realisatie van de in het project onderscheiden objecten. De fase van het project bepaald tot op welk detail verschillende objecten zijn benoemd. Gewoonlijk wordt bij de bouwkosten onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte bouwkosten. De directe bouwkosten zijn de kosten die direct en specifiek voor de productie van de betreffende objecten gemaakt worden. De directe bouwkosten bestaan uit:

- Man- en materieeluren;
- Materiaalkosten;
- Huren, leveranties, onderaannemers, etc.

De indirecte bouwkosten zijn onderverdeeld in:

- Eenmalige kosten (bv. inrichten en opruimen werkterreinen; aanvoer/installatie/afvoer materieel; keten; bouwwegen);
- Uitvoeringskosten (tijdgebonden kosten tbv. de uitvoering);
- Directiebehoeften (tijdgebonden kosten tbv. de directievoering);
- Kwaliteitsborging (kosten direct verbonden aan de eis van RWS om een systeem van kwaliteitsborging toe te passen);
- Algemene kosten (de aan het project toegerekende algemene kosten);
- Winst en Risico (bedrag in de aanneemsom ter dekking van winst en risico van de opdrachtnemer).

#### b) Vastgoedkosten

Vastgoedkosten zijn alle kosten die nodig zijn voor de verwerving van het vastgoed voor zover deze betrekking hebben op het verwerven van eigendom en/of het beheersrecht over het terrein met eventueel hierop aanwezige bouwwerken.

#### c) Engineeringkosten

Ook wel bekend als VAT (Voorbereiding, Administratie en Toezicht). De engineeringkosten betreffen kosten voor werkzaamheden op het terrein van techniek en daarmee verband houdende vakgebieden (organisatie, milieutechniek, juridische en economische)

Engineeringkosten worden ook wel onderverdeeld in PU en DUU, waarbij de Directe UitvoeringsUitgaven bestaan uit alle uitgaven voor RWS-eigen taken voor voorbereiding, administratie en toezicht vanaf Tracébesluit. De ProductUitgaven bestaan uit de engineeringkosten voor de niet-eigen taken van RWS. Bij vroegtijdige inschakeling van de markt wordt een deel van de DUU-uitgaven overgeheveld naar PU-uitgaven

**d) Overige bijkomende kosten**

Dit betreffen alle kosten die niet onder de bovenstaande hoofd-kostencategorieën worden gerekend. Overige bijkomende kosten zijn bijvoorbeeld kosten voor vergunningen, bestemmingsplannen, buitendienststellingen, heffingen, leges, loon- en prijsstijgingen en grondonderzoek.

**e) Basisraming**

De basisraming is gelijk aan de som van de bouwkosten, vastgoedkosten, engineeringkosten en overige bijkomende kosten.

**f) Project onvoorzien**

Project onvoorzien is een toeslag op de basisraming, ter dekking van toekomstonzekerheden (binnen de scope van het project) die niet zijn toe te wijzen aan een specifiek object, deelproject of kostencategorie.

**g) Investeringskosten (excl. BTW.)**

De investeringskosten zijn gelijk aan de som van de basisraming en project onvoorzien.

**h) Prijspeil**

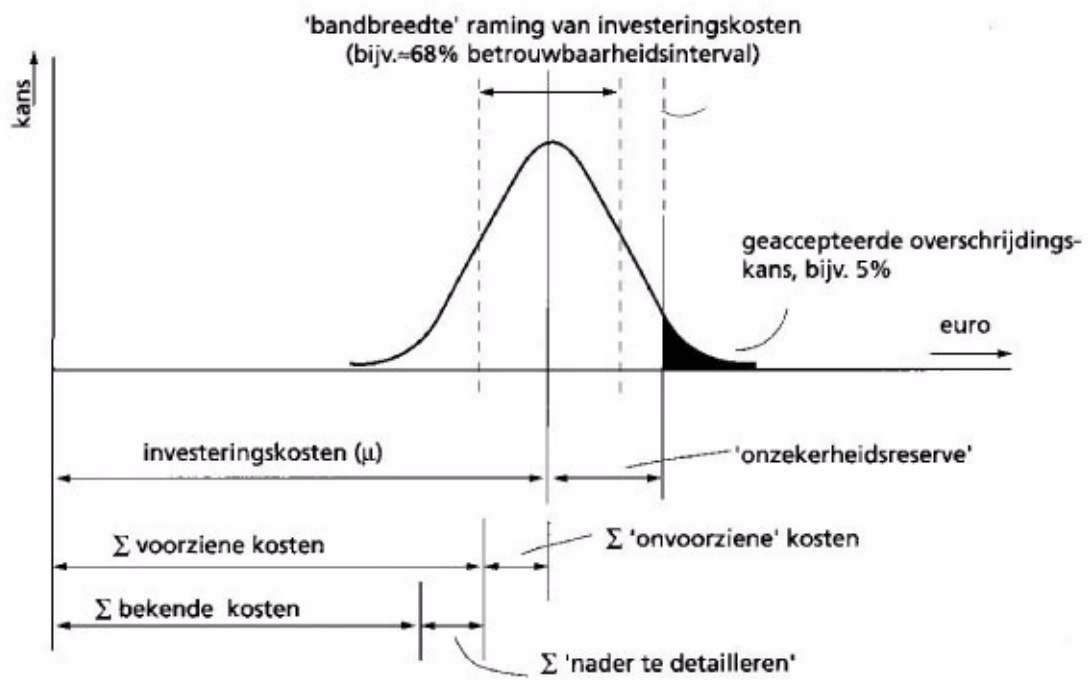
Bij elke raming dient duidelijk te worden aangegeven welk prijspeil bij de opbouw van de raming is gehanteerd. Alle objecten dienen hetzelfde prijspeil te hebben.

**i) Bandbreedte**

Om een indruk te geven hoe trefzeker een raming is, wordt de bandbreedte van de raming aangegeven. Meestal wordt de bandbreedte bij een betrouwbaarheidsinterval van 70 % gegeven. (m.a.w. er is 70% kans dat de werkelijke investeringskosten binnen de bandbreedte van de raming vallen)

**j) Extern onvoorzien.**

Door een reservering voor extern onvoorzien houdt de financier van het project (HK) rekening met projectonzekerheden buiten de scope van het project. Dit zijn onvoorzien wijziging van of toevoegingen aan de projectscope, die van buitenaf komen. (bv. veranderde wetgeving of politieke besluiten)



Afbeelding 6.3.2, opbouw raming



---

Kostenramingen

De raming



## **Inhoudsopgave Kwaliteit van de Raming**

- 6.4.1 Algemeen
  - 6.4.1.1 Kwaliteitseis 1: Duidelijke scope
  - 6.4.1.2 Kwaliteitseis 2: Uniforme ramingstructuur
  - 6.4.1.3 Kwaliteitseis 3: Volledige raming
  - 6.4.1.4 Kwaliteitseis 4: Goede onderbouwing
  - 6.4.1.5 Kwaliteitseis 5: Duidelijk prijspeil
  - 6.4.1.6 Kwaliteitseis 6: Actualiteit
  - 6.4.1.7 Kwaliteitseis 7: Inzicht in de trefzekerheid
  - 6.4.1.8 Kwaliteitseis 8: Duidelijk beeld van de risico's
  - 6.4.1.9 Kwaliteitseis 9: Compleet en toegankelijk dossier





---

Kostenramingen



## **6.4 KWALITEIT VAN DE RAMING**

### **6.4.1 Algemeen**

Een PRI-raming voldoet aan negen kwaliteitseisen, welke zijn opgelegd door HK-RWS. Zowel de kostendeskundige als de projectleider zijn verantwoordelijk voor het bewaken van deze kwaliteitseisen. Dit betekent dat een kostenraming in iedere projectfase door een kostendeskundige moet worden begeleid en bij voorkeur door zowel projectleider als kostendeskundige moet worden goedgekeurd. De volgende kwaliteitseisen worden in de blauwdruk kosten genoemd:

1. Duidelijke scope
2. Uniforme ramingstructuur
3. Volledigheid
4. Onderbouwing
5. Prijspeil
6. Actualiteit
7. Trefzekerheid
8. Risico's
9. Dossiervorming

#### **6.4.1.1 Kwaliteitseis 1: Duidelijke scope**

De projectscope moet per onderdeel van de toegepaste decompositie duidelijk worden omschreven. Hierbij moet worden gedacht aan geografische begrenzing van het project, fysiek te realiseren producten en werkzaamheden tijdens de bouwphase. De scope wordt door middel van functionele eisen vastgelegd (de functionele scope). De mogelijke oplossingen binnen de functionele scope dienen voor de kostendeskundige als middel om een representatief beeld te krijgen van het project en zijn onzekerheden.

In het hiernavolgende ontwerpproces zullen wijzigingen optreden. Hierbij worden onderscheiden:

Wijzigingen van de scope (vaak extern geïnitieerd door opdrachtgever of omgeving)  
Bijstellingen binnen de scope, dit betreft een wijziging van het ontwerp bij gelijkblijvende eisen.

Beide gevallen houden per definitie een wijziging van de raming in.

#### **6.4.1.2 Kwaliteitseis 2: Uniforme ramingstructuur**

Aan deze eis wordt voldaan door te werken volgens de PRI-2003 systematiek.

#### **6.4.1.3 Kwaliteitseis 3: Volledige raming**

De volledigheid van een raming kan worden bereikt door goede en nauwe samenwerking tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, tot voor iedere betrokkene een duidelijke afbakening van het project is verkregen. Een volledige raming bevat o.a. een financiële vertaling van de afgesproken scope en bijbehorende risico's; geen overlap of hiaten tussen de verschillende objecten, maar wel een vermelding van aandachtspunten en een overzicht van bijkomende kosten en de indeling van onvoorziene kosten.

**6.4.1.4 Kwaliteitseis 4: Goede onderbouwing**

Een goede onderbouwing van de raming is essentieel om de traceerbaarheid en controleerbaarheid van de ramingsposten te kunnen garanderen. Kort samengevat moeten alle kostensoorten en kostencategorieën die zijn benoemd in de PRI-2003 zijn onderbouwd.

**6.4.1.5 Kwaliteitseis 5: Duidelijk prijspeil**

Een raming moet altijd gebaseerd worden op het prijspeil dat de principaal aangeeft. Indexcijfers kunnen worden gebruikt om een bestaande projectraming bij te stellen naar een actueler niveau. Indexeren van een raming kan slechts voor een beperkte periode worden toegepast.

**6.4.1.6 Kwaliteitseis 6: Actualiteit**

De actualiteit van een raming wordt bepaald door twee factoren. Ten eerste moet de raming gebaseerd zijn op actuele gegevens en ten tweede moet de raming passen bij de fase waarin het project verkeert.

**6.4.1.7 Kwaliteitseis 7: Inzicht in de trefzekerheid**

De presentatie van de raming moet inzicht verschaffen in de trefzekerheid van deze raming. Dit betekent dat de risico's (via kans x gevolg of onvoorzien) en onzekerheden in hoeveelheden en prijzen (via L-, T-, en U-waarden) op overzichtelijke wijze verwerkt moeten worden.

Per fase (zie paragraaf 6.3) wordt een (maximale) eis aan de trefzekerheid gesteld. Daarom is het noodzakelijk om ook vooraf (m.b.v. de beschikbare informatie) in te schatten waar de trefzekerheid ongeveer op zal uitkomen. Wanneer het vermoeden bestaat dat de te maken raming niet aan de gestelde eis zal voldoen zullen hierover tijdig aanvullende afspraken gemaakt moeten worden.

**6.4.1.8 Kwaliteitseis 8: Duidelijk beeld van de risico's**

Onzekerheden of onnauwkeurigheden in informatie en calamiteiten vormen risico's voor het project. De calamiteitsrisico's binnen het project worden omschreven en vormen hiermee een gedeeltelijke onderbouwing van de post onvoorzien. Onzekerheden volgen uit het niet volledig zijn van het ontwerp (en daarmee ontbreken van beheersmaatregelen). Deze onzekerheden worden in de raming als reservering meegenomen. In de indirecte kosten zijn de risico's opgenomen die traditioneel door de aannemer worden gedragen (winst en risico).

**6.4.1.9 Kwaliteitseis 9: Compleet en toegankelijk dossier**

De kostendeskundige legt de volledige, onderbouwde raming in het werkdossier vast. Dit dossier bevat de tracering van het project vanaf een vorige raming/mijlpaal tot heden. Aan het eind van een projectfase schoont hij dit dossier op en stelt het ter beschikking aan de opdrachtgever.



## Inhoudsopgave

- 7. Tunnelinstallaties
  - 7.1 Algemene eisen en aanwijzingen
    - 7.1.1 Algemeen
    - 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis
    - 7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties
    - 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen
    - 7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal
    - 7.1.6 Algemeen Installatienummering
  - 7.2 10 Energievoorziening
    - 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net
    - 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties
    - 7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling
    - 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening
    - 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening
    - 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie
    - 7.2.7 Installaties 17 Alternatieve energie
  - 7.3 20 Verlichting
    - 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel
    - 7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg
    - 7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting
  - 7.4 30 Drainagepomp installaties
    - 7.4.1 Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties
    - 7.4.2 Installaties 31 Hoofdpompinstallaties
    - 7.4.3 Installaties 32 Middenpompinstallaties
    - 7.4.4 Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders
    - 7.4.5 Installaties 34 Bronpompinstallaties
  - 7.5 35 Ventilatiesysteem
    - 7.5.1 Algemeen
    - 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie
    - 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging
    - 7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers
    - 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie
  - 7.6 40 Verkeersinstallaties
    - 7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties
    - 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering
    - 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)
    - 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie



---

## Tunnel technische installaties

- 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem
- 7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen
- 7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging
- 7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs
- 7.7 50 Brandblusinstallaties
  - 7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels
  - 7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels
  - 7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten
  - 7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming
- 7.8 60 Communicatie
  - 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie
  - 7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)
  - 7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie
  - 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie
  - 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie
- 7.9 70 Gebouwinstallaties
  - 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen
  - 7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen
  - 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen
  - 7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen
  - 7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen
- 7.10 80 Besturing, bediening en bewaking
  - 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening
- 7.11 90 Diverse installaties
  - 7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling
  - 7.11.2 Installaties 92 Kabeltrace's, kabelgoten en ladders
  - 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen
  - 7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding
  - 7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters



## **Inhoudsopgave Algemene eisen en aanwijzingen**

- 7.1.1 Algemeen
- 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis
- 7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties
- 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen
- 7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal
- 7.1.6 Algemeen Installatienummering



---

Tunnel technische installaties



## **7.1 ALGEMENE EISEN EN AANWIJZINGEN**

### **7.1.1 Algemeen**

- Alle tunnelinstallaties en systemen moeten voldoen aan de eisen en standaarden van de Veiligheidsrichtlijnen deel C (VRC),  
Uitgegeven door het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Bouwdienst  
(zie [www.tunnelsafety.nl](http://www.tunnelsafety.nl)).
- De hiernavolgende "Richtlijnen en Aanwijzingen bij ontwerp en uitvoering van tunnelinstallaties" is een praktisch gerichte aanvulling (verfijning en toelichting) op de VRC en geeft ook aanwijzingen en richtlijnen voor kleine tunnels en onderdoorgangen, al of niet geschikt voor het doorlaten van gevaarlijke stoffen. Bij kennelijke strijdigheid in een bepaalde situatie preferereert de VRC.







## 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis

- a. Verrichten van werkzaamheden in de verkeersbuis van een tunnel is vrijwel altijd gevaarlijk, of schept gevaarlijke situaties voor derden.  
Daarom moet apparatuur voorzover mogelijk buiten de verkeersruimte worden geplaatst: (in volgorde van voorkeur) in het technische (eind)gebouw of in een (midden)kanaal parallel aan de verkeersbuizen.
- b. Indien in de verkeersbuis opgehangen, moet de apparatuur zo mogelijk onderhoudsvrij zijn, d.w.z. zeer snel gereinigd en gemakkelijk vervangen kunnen worden.
- c. De werking van alle apparatuur in de tunnelbuizen moet onveranderd blijven bij een omgevingstemperatuur van  $-15^{\circ}\text{C}$  tot  $+40^{\circ}\text{C}$ . In specifieke gevallen kunnen hogere eisen worden gesteld.
- d. In verband met de kans op mechanische beschadiging, moet kwetsbare, buiten de tunnelwand uitstekende apparatuur die lager dan 4,70m (minimum hoogte waarboven geen hoogtedetectie noodzakelijk is = zie de VRC) is opgehangen binnen de tunnelbuis beschermd worden dmv. een beschermende, kooiconstructie, zodanig dat de kooiconstructie de werking en het onderhoud van de apparatuur niet beïnvloedt.  
Beschadiging kan ontstaan door omhoogstekende lading, opbollende dekzeilen of losslingerende koorden van dekzeilen.
- e. De atmosfeer binnen de verkeersruimte is sterk verontreinigd met agressieve stoffen zoals roet, zout, zwavel, zwakke zuren en vocht. De combinatie van deze stoffen veroorzaakt sterke aantasting van alle apparatuur en maakt speciale beschermende maatregelen (inerte materialen en zeer goede afdichtingen) noodzakelijk. In ieder geval wordt de levensduur van apparatuur aanzienlijk verkort door plaatsing binnen de verkeersruimte.
- f. In tunnels en onderdoorgangen die gemakkelijk toegankelijk zijn voor voetgangers moet rekening worden gehouden met vandalisme.  
Het meest kwetsbaar hiervoor is de verlichting. Het verdient aanbeveling verlichtingsarmaturen zodanig te monteren dat zij niet of zeer moeilijk van de wand kunnen worden gesloopt (instorten of inmetzelen). Armaturen in slagvaste uitvoering, voorzien van slagvaste kunststof ruiten, eventueel afgedekt door stalen roosters.
- g. Op voor het publiek bereikbare plaatsen geen kunststof, maar bijvoorbeeld roestvrij stalen kasten installeren. Alle voor publiek bereikbare luiken en deuren vergrendelen. (een eenvoudige wijze van vergrendeling is mogelijk door middel van verzonken aangebrachte inbusbouten M16 (grote maat om onbevoegd openen te voorkomen).
- h. Afsluitbomen ter afsluiting van langzaamverkeersbanen of fietspaden moeten bestand zijn tegen vandalisme.





### **7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties**

- a. De efficiency van tunnelonderhoud en exploitatie wordt aanzienlijk bevorderd door bij het ontwerp rekening te houden met een veilige en gemakkelijke toegang tot installaties en of onderdelen daarvan, zodanig dat de installaties bereikbaar zijn zonder dat daarvoor de verkeersruimte hoeft te worden betreden.  
*N.B. Verkeersmaatregelen om de installaties te kunnen bereiken en te onderhouden en/of 's nachts werken en werken in verkeersbuizen, maakt tunnel exploitatie duur en onveilig en dient te worden vermeden. Door zoveel mogelijk de apparatuur te installeren op plaatsen die altijd bereikbaar zijn, buiten de verkeersbuis wordt de tunnel exploitatie veiliger, eenvoudiger en goedkoper;*
- b. Ruimten waar regelmatig wordt gewerkt moeten (met helm) rechtopstaand beloopbaar zijn (vrije hoogte > 2,0m);
- c. Onderdelen van apparatuur in verkeersruimten moet snel en eenvoudig uitwisselbaar zijn; Levensduur van apparatuur op elkaar afstemmen.





### 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen

- a. Door cumulatie van agressieve stoffen uit de tunnelatmosfeer op horizontale vlakken kunnen zeer hoge concentraties van deze stoffen ontstaan. In combinatie met vocht kan dit ernstige lokale corrosie tot gevolg hebben. Bij de keuze van materialen van apparatuur het noodzakelijk hier rekening mee te houden. In ieder geval moet apparatuur in de tunnelbuizen zodanig zijn geplaatst en vormgegeven dat ophoping van vuil en stof op de apparatuur wordt beperkt.
- b. Aan afdichtingen van apparatuur die is blootgesteld aan de atmosfeer binnen de verkeersruimte worden bijzondere eisen gesteld voor wat betreft de stofdichting (roet). Men volg hiervoor de NEN 1010. Afdichting IP 55 is minimaal noodzakelijk.
- c. Noodzakelijkerwijs "open" apparatuur moet goed bestand zijn tegen vervuiling en moet, indien vervuild, snel en eenvoudig kunnen worden gereinigd.

De volgende materialen blijken goed te voldoen:

- Aluminium in zeewaterbestendige kwaliteit (b.v. AlMgSi), gecoat;
- Staal, thermisch verzinkt (ook wel aangeduid als: vuurverzinkt, hot-dip galvanised) volgens NEN-EN-ISO 1461, met een laagdikte van tenminste 80 micron en gecoat indien in direct contact met de tunnelatmosfeer (duplexsysteem);
- Bevestigingsmaterialen in de tunnelbuizen aan beton van roestvast staal, althans het deel van het bevestigingsmateriaal dat buiten het beton uitsteekt; Overige bevestigingsmaterialen van roestvast staal A4, eventueel van thermisch verzinkt staal, als de afmetingen dit toelaten; Bevestigingsmaterialen < M12, die worden toegepast binnen de tunnelbuis van roestvast staal;
- **Ongewapende** kunststoffen zijn in de regel goed bestand tegen de tunnelatmosfeer. Ongewapend, hoogge vuld PUR voldoet goed, maar is alleen voor doosvormige toepassingen geschikt (kasten, armaturen).
- Glasvezelgewapende kunststoffen blijken snel te corroderen zodra de glasvezelwapening t.g.v. beschadiging of erosie aan de oppervlakte komt. Gepultrudeerde glasvezelwapening lijkt hierop een uitzondering te vormen (eis aantoonbare geschiktheid).

*N.B. Binnen de tunnelbuizen voldoen gegalvaniseerde (elektrolytisch verzinkte) of geschoppeerde materialen, al of niet gecoat NIET.*





### **7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal**

In een lange, en zeker in een lange en drukke verkeerstunnel is een middenkanaal of dienstgang over de hele lengte van de tunnel noodzakelijk vanuit het oogpunt van onderhoudbaarheid van de installatie, levensduur van de installatie, veiligheid voor personeel, en minimalisatie van verkeershinder. Hiervoor is de volgende motivatie:

- In tunnels langer dan 300 m is het onmogelijk alle E-apparatuur in de tunnelbuizen (verlichting, ventilatie, monitoring van de tunnelatmosfeer, telefoon, verkeerssignaling, CCTV, luidsprekers, verkeersdetectielussen etc.) te sturen en te voeden zonder onderverdelingen en hulpapparatuur in de tunnel. Indien plaatsing van deze apparatuur binnen de verkeersbuis onontkoombaar is, deze bij voorkeur in afsluitbare nissen in de tunnelwand plaatsen. Onderdelen die geen onderhoud behoeven, zoals lasdozen en/of klemmenkasten zo hoog mogelijk buiten bereik van het verkeer aanbrengen
- In tunnels zonder middenkanaal/dienstgang moet onderhoud en verhelpen van storingen aan deze apparatuur in de tunnelbuis zelf plaatsvinden. Dit heeft vérgaande consequenties voor de verkeersafwikkeling en de mogelijkheden tot onderhoud.

In tunnels met een middenkanaal of een dienstgang in de lengterichting is dit geen probleem aangezien het middenkanaal of dienstgang voldoende mogelijkheden biedt voor het plaatsen van dit soort apparatuur. Onderhoud en verhelpen van storingen wordt in deze situatie mogelijk zonder de verkeersbuis te betreden en kan op elk uur van de dag plaatsvinden.

- Bij boortunnels zonder middenkanaal/dienstgang is plaatsing van apparatuur nissen in de wand niet mogelijk, en moet de apparatuur op de wanden worden aangebracht, hetgeen de kwetsbaarheid aanzienlijk vergroot. Ook in dit soort tunnels moet gestreefd worden naar een dienstgang en/of kabelkanaal in de lengterichting van de tunnel







## 7.1.6 Algemeen Installatienummering

Alle tunnelinstallaties zijn ingedeeld in categorieën en zijn per installatie voorzien van een standaard installatienummer.

Bij alle beschrijvingen van tunnelinstallaties wordt deze indeling en nummering toegepast:

<p><b>10 Energievoorziening</b></p> <p>11 openbaar nutsbedrijf 12 aardingsinstallaties 13 laagspanningsverdeelinrichting 14 noodstroomvoorziening 15 no-break voorziening 16 middenspanningsinstallaties 17 alternatieve energie</p>	<p><b>50 Brandblusinstallatie</b></p> <p>51 brandblusinstallatie in tunnel 52 branddetectieinstallatie in tunnel 53 signaleringen hulppostkasten 54 vorstbeveiliging+verwarming</p>
<p><b>20 Algemeen verlichting</b></p> <p>21 verlichting verkeerstunnels 22 verlichting middenkanaal (vluchtgang) 23 openbare verlichting</p>	<p><b>60 Communicatie</b></p> <p>61 video/CCTVinstallatie 62 HFinstallatie 63 intercominstallatie 64 luidsprekerinstallatie 65 telefooninstallatie</p>
<p><b>30 Drainagepompinstallaties</b></p> <p>31 hoofdpompinstallaties 32 middenpompinstallaties 33 hellingpompinstallaties 34 bronpompen in afritten</p>	<p><b>70 Gebouwinstallaties</b></p> <p>71 luchtbehandeling;c.v.;overdrukinstallatie 72 beveiliging en bewaking 73 licht+krachtinstallaties 74 brandmeldinstallaties 75 brandblussysteem in gebouwen</p>
<p>35 Ventilatiesysteem 36 tunnelventilatie 37 meting van luchtverontreiniging 38 overdrukinstallaties pompkamers 39 vluchtgangventilatie</p>	<p><b>80 Besturing, bediening en bewaking</b></p> <p>81 lokale bediening en bewaking 82 centrale bediening en bewaking 83 noodbediening en bewaking 84 bediening en bewaking voor derden 85 besturingssysteem 86 transmissiesystemen</p>
<p><b>40 Verkeersinstallatie</b></p> <p>41 rijstrooksignalering 42 verkeerslichten 43 verkeersdetectie 44 hoogtemelding 45 afsluitbomen tunnel+toeleidende wegen 46 beweegbare middenbermbeveiliging 47 bijzondere borden/drips</p>	<p><b>90 Diverse installaties</b></p> <p>91 centrale deurontgrendeling 92 kabeltrace's, kabelgoten en ladders 93 liften; roltrappen 94 vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding; 95 technische uitvoering inrit-lichtrooster</p>





## **Inhoudsopgave 10 Energievoorziening**

- 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net
  - 7.2.1.1 Tunnels in secundaire wegen
  - 7.2.1.2 Ligging in leveringsgebied
- 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties
  - 7.2.2.1 Aarding
  - 7.2.2.2 Zwerfstromen in railtunnels en maatregelen ter voorkoming
  - 7.2.2.3 Bliksemafleiderinstallatie
  - 7.2.2.4 Overspanningsbeveiliging
- 7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling
  - 7.2.3.1 Distributie
  - 7.2.3.2 Verdeling
- 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.1 Stroomuitval: kans en gevolg
  - 7.2.4.2 Elementen van de noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.3 Preferentie van groepen aangesloten op de noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.4 Noodstroomaggregaten, werking en piekstroombedrijf
- 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening
  - 7.2.5.1 Algemeen
  - 7.2.5.2 Statische no-break
  - 7.2.5.3 Dynamische no-break
- 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie
- 7.2.7 Installaties 17 Alternatieve energie



---

Tunnel technische installaties



## 7.2 10 ENERGIEVOORZIENING

### 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net

#### 7.2.1.1 Tunnels in secundaire wegen

**Zeer korte tunnels en onderdoorgangen in secundaire wegen, waarin beperkte voorzieningen** en die weinig vermogen afnemen uit het openbare net (minder dan 3050 kW) kunnen worden voorzien van een 3-fase laagspanningsaansluiting. Een gunstige ligging ten opzichte van een openbaar net transformatorstation is hiervoor noodzakelijk.

Voor plaatsing van de bij de aansluiting behorende apparatuur moet een ruimte met door de stroomleverancier te bepalen afmetingen ter beschikking worden gesteld aan de stroomleverancier.

Het NUTS aansluit/inkoppelpunt moet door de personen in dienst van, of gemachtigd door de stroomleverancier kunnen worden bereikt met behulp van een door de stroomleverancier voorgeschreven voorziening. Meestal wordt voor dit doel door het stroomleverend bedrijf een slot ter beschikking gesteld of wordt een sleutelkastje geleverd voorzien van een standaard door de stroomleverancier te verstrekken slot.

Mogelijke aanvullende eisen die door de stroomleverancier worden gesteld bij tunnels voorzien van een laagspanningsaansluiting:

- motoren van meer dan (2,5)kW mogen niet direct aanlopen;
- de kWhmeter mag niet in een ruimte beneden maaiveldniveau worden opgesteld.

**Voor korte tunnels en onderdoorgangen in secundaire wegen die relatief veel vermogen afnemen of op grote afstand van een openbaar net-transformatorstation zijn gelegen**, wordt door het stroomleverende bedrijf een middenspanningsaansluiting geëist. Hiertoe moet in de nabijheid van het kunstwerk of binnen het kunstwerk zelf een middenspanningsruimte worden ingericht. In deze ruimte wordt een door het stroomleverend bedrijf een trafo geplaatst die de middenspanning ten behoeve van de tunnel transformeert naar laagspanning (230/400 of 700VAC).

Wanneer (bij kleinere kunstwerken) de trafo buiten het kunstwerk staat opgesteld, is het mogelijk dat de middenspanningsaansluiting met meerdere externe gebruikers wordt gedeeld.

**Tunnels in hoofdroutes** worden altijd voorzien van een of meer eigen (voor de tunnel gereserveerde) middenspanningsaansluitingen. Aansluiting en plaatsing van apparatuur van het stroomleverend bedrijf, zoals trafo en stroom-verbruikmeting, vindt altijd plaats in een ruimte met door de stroomleverancier bepaalde afmetingen en voorzieningen. De stroomleverancier heeft altijd toegang conform de voorwaarden van het stroomleverend bedrijf.

In verband met kabelverliezen is het niet efficiënt om tunnels >2500m over de volle lengte vanuit één middenspanningsaansluiting elektrisch te voeden met laagspanning. Verdeeld over de lengte van de tunnel moeten dan middenspanningsaansluitingen worden gemaakt.

Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden:



- Eén of meer middenspanningsvoedingkabels worden daartoe door de gehele lengte van de tunnel geleid; op regelmatige afstanden wordt voorzien in een trafostation dat een sectie van de tunnel van laagspanning 230/400 of 700 VAC voorziet.
- Bij lange onderland tunnels is het mogelijk de tunnel te voorzien van meerdere middenspanningsaansluitingen vanaf het openbaar net, verdeeld over de lengte van de tunnel.
- Overigens heeft aansluiten op meerdere, verschillende middenspanningsaansluitingen gevolgen voor de wijze van noodstroomvoorziening:
  - meerdere noodstroomvoorzieningen
  - koppelvoorzieningen tussen de verschillende middenspanningsaansluitingen, zodanig dat bij uitval van een deel van de middenspanningsaansluitingen kan worden overgeschakeld op een andere aansluiting;
  - mengen van de energie van de verschillende aansluitingen door de gehele tunnallengte zodanig dat bij uitval van een deel van de aansluitingen toch een deel van de installaties in bedrijf blijft).

### 7.2.1.2 Ligging in leveringsgebied

#### **Indien een tunnel is gelegen binnen het leveringsgebied van twee onafhankelijke, op middenspanningsniveau gescheiden**

**elektriciteitsnetten**, is het mogelijk de tunnel te voorzien van twee redundante middenspanningsaansluitingen, elk op één van beide netten. Elk van de aansluitingen moet dan voldoende capaciteit hebben om het tunnelbedrijf op veilige wijze te kunnen continueren bij wegvallen van de stroomvoorziening uit één van beide netten.

Diverse varianten zijn mogelijk:

- Bij wegval van één net overschakelen op volledige voeding vanuit het andere net.
- De voeding van alle installaties evenredig verdelen over beide netten, zodat bij wegvallen van één net het tunnelbedrijf voor tenminste 50% kan worden voortgezet vanuit het andere net zonder dat hoeft te worden omgeschakeld.

De faalkans van het geheel moet voldoen aan de eisen gesteld in de VRC. In de berekening van de totale faalkans moet een eventuele dieselnoodstroominstallatie worden betrokken.



## 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties

### 7.2.2.1 Aarding

Aarding van tunnelinstallaties is een veiligheidsaarding. Aanraakbare, metalen delen van stroomvoerende tunnelapparatuur moeten dezelfde potentiaal hebben als de onmiddellijke omgeving (potentiaalvereffening). Dit wordt bereikt door uitwendige metalen delen van stroomvoerende apparatuur d.m.v. een koperverbinding te verbinden met tunnelwapening ter plaatse. Indien door een defect de aanraakbare delen van een apparaat onder spanning (potentiaal) komen te staan krijgt de directe omgeving dezelfde potentiaal en levert aanraking van het apparaat door ter plaatse aanwezige personen geen gevaar op.

Voor potentiaalgevoelige elektronische apparatuur kan een "schone" aarde noodzakelijk zijn. Deze moet gescheiden worden aangebracht van overige aarde om deze apparatuur te vrijwaren van stroompulsen tengevolge van schakelende voedingen en van lekstromen van grote verbruikers.

De wapening van niet geleidend met elkaar verbonden tunneldelen (zoals zinkmoten), moet met elkaar verbonden worden door aardlitzes tussen de tunnelmoten.

Indien de tunnelwapening een volledig doorverbonden aardingsnet vormt, kan de tunnelwapening gebruikt worden als centraal aardingsnet. Dit stelt hoge eisen aan de wijze aan het ontwerp (doorverbinding) en uitvoering van de tunnel- en gebouwenwapening.

Het is daarom sterk aan te bevelen een centrale aardingsvoorziening parallel aan de tunnelwapening aan te brengen. Hiertoe moet door de gehele lengte van de tunnel en in alle apparatuuruimten een ononderbroken centrale aardleiding worden aangebracht.

- De centrale aardleiding moet op regelmatige afstanden (bijvoorbeeld elke 100m) worden verbonden met de tunnelwapening.
- De aarding van alle stroomvoerende apparatuur binnen de tunnelconstructie moet worden verbonden met de centrale aardleiding.
- Buiten de tunnel moet de centrale aardleiding worden geaard aan een aardelektrode in de grond met een verspreidingsweerstand volgens de NEN1010.
- Het sterpunt van de voedingtrafo's van het openbare net aarden op de centrale aarddraad en doorverbinden met de tunnelwapening.
- Verbinding naar tunnelwapening is mogelijk d.m.v. aardplaten verbonden aan de wapeningsstaven. Verbindingen naar het apparaat d.m.v. aardingskabel of litze.

Het is in deze situatie niet noodzakelijk apparatuur te aarden via een aarddraad in de voedingkabel. Dit kan zelfs aanleiding geven tot ongewenste potentiaalvereffeningsstromen via deze aarddraad.

Om te voorkomen dat doorgaande metalen constructies in de tunnel, zoals leuning, kabelgoten en pijpleidingen, aanleiding geven tot een ongecontroleerde en ongewenste vorm van potentiaalvereffening, verdient het aanbeveling alle in de lengte richting van de tunnel doorgaande metalen onderdelen op regelmatige afstanden te verbinden met de tunnelwapening en de centrale aardleiding. Tevens verdient het aanbeveling om doorgaande metalen constructies op regelmatige afstanden te onderbreken indien de functie van de constructie dit toelaat (zoals bij leuning, schampranden, metalen kabelgoten e.d.)





### 7.2.2.2 Zwerfstromen in railtunnels en maatregelen ter voorkoming

In railtunnels wordt de spoorrail als retourleiding voor de elektrische voeding van de trein of tram gebruikt. Dit kan aanleiding geven tot retourstromen via andere geleidende wegen dan de spoorrail, b.v. via de tunnelwapening. Deze stromen kunnen (bij het passeren van een trein) oplopen tot enige honderden Ampère. Dit kan aanleiding geven tot ernstige problemen, bijvoorbeeld indien een geaard apparaat contact maakt met de tunnelwapening (via de bevestiging) zal via de aarding van dat apparaat de zwerfstroom worden afgeleid waardoor een veel te hoge stroom door de aardgeleider gaat lopen.

**(niet effectief):** Alle apparatuur volledig isoleren van de tunnelconstructie. Dit is in principe mogelijk, doch vergt veel aandacht voor details (bijvoorbeeld doorlopende leuning, pijpleidingen en kabelgoten zijn goede geleiders voor zwerfstromen)

Nadeel van deze methode is dat ter plaatse van een geaard apparaat een potentiaalverschil kan ontstaan tussen de omgeving van dat apparaat en het apparaat zelf, waardoor niet voldaan wordt aan de principes van veiligheidsaarding. (bij goede uitvoering effectief) De spoorrails volledig isoleren van de tunnelconstructie, door bijvoorbeeld de spoorrails aan te brengen op een van de tunnelconstructie geïsoleerde (beton)plaat;

**(eenvoudig en effectief):** Van de tunnel een "potentiaal-eiland" maken. D.w.z. alle metalen constructies binnen de tunnel voor zover mogelijk met elkaar verbinden (dus ook de wapening van de verschillende stortmotten) en tevens alle metalen verbindingen van binnen naar buiten de tunnel te onderbreken. De tunnel wordt dus tot één potentieelgebied gemaakt, geïsoleerd van de omgeving. De te nemen maatregelen zijn voor een deel conform de maatregelen beschreven bij aarding onder 7.2.1.1:

- Alle tunnelmotten doorverbinden d.m.v. een doorgelaste wapeningsstaaf in de lengterichting, waarop aan beide zijden een aardplaat is gelast. Alle aardplaten zijn d.m.v. litzes met elkaar verbonden.
- De inkomende aarde van het openbare elektriciteitsnet in de binnenkomende voedingskabel niet verbinden met de tunnelaarde, maar isoleren van de tunnel (anders zou een zwerfstroom via deze aarde kunnen uittreden en in gebouwen in de tunnelomgeving terecht kunnen komen).
- Door de gehele tunnel en alle ruimten loopt een centrale aarddraad 50-100mm<sup>2</sup>, die op regelmatige afstanden (bij voorkeur ter plaatse van een apparaat) is verbonden met de tunnelwapening (d.m.v. aardplaten) en met alle apparatuur. Deze aarddraad mag geen contact hebben met de buitenwereld, maar zorgt ervoor dat binnen de tunnel geen potentiaalverschillen ontstaan.
- Metalen instortdelen door de buitenwanden van de tunnel (dus aan de ene zijde in contact met de grond en aan de andere zijde met de tunnelinstallaties), isoleren van de tunnelinstallaties en van de tunnelwapening.
- Wapening in trekpalen heeft geen contact hebben met de omgevende grond, of is zodanig berekend dat het materiaalverlies t.g.v. kathodische werking gedurende de levensduur van de tunnel niet het overschrijden van de minimum treksterkte tot gevolg zal hebben.



- Lange stalen constructies die door de hele tunnel lopen mogen niet als ongewilde toevallige geleider optreden: kabelgoten, pijpleidingen en leuning zijn op regelmatige afstanden (bijv. aan het einde van een tunnelmoot) onderbroken, waarbij alle onderdelen afzonderlijk zijn geaard aan de centrale aardleiding en aldus zijn doorverbonden aan de tunnelwapening d.m.v. aardplaten in iedere stormmoot. (lange stalen delen kunnen ook bewust volledig worden doorgekoppeld en zijn dan dus niet meer een toevallige passieve geleider. Consequentie is dat doorgekoppelde stalen delen geschikt moeten zijn voor het transport van zwerfstromen).
- Ventilatoren en pompen in de tunnel worden niet d.m.v. de aarddraad in de voedingskabel geaard, maar zijn ter plaatse van de ventilator gekoppeld aan het tunnelwapeningsnet én verbonden met een centrale (vuile) aarddraad, die door de hele tunnel loopt en verbonden is met alle apparatuur en alle tunnelwapening.
- Het sterpunt van de trafo is verbonden met de tunnelwapening en met de centrale aarddraad.

### **7.2.2.3 Bliksemafleiderinstallatie**

Op de technische (eind)gebouwen van een tunnel een bliksemafleiderinstallatie plaatsen conform NEN 1014, klasse LP3

Alle metalen dakdelen, zoals schoorstenen, ventilatiekappen, metalen daklijsten e.d. moeten worden verbonden met de bliksemafleiderinstallatie. Bij dakventilatorbehuizingen e.d. een vonkbrug toepassen over de ventilator.

De afleiderinstallatie aansluiten op met de gebouwwapening verbonden aardplaten. Bevestiging van de dakleidingen moet geschieden met nylon daksteunen.

### **7.2.2.4 Overspanningsbeveiliging**

Elektrische verbindingen tussen verdeelinrichtingen binnen de tunnel en verbruikers buiten de tunnel, voorzien van een overspanningbeveiliging, die installaties beschermt tegen transiënte overspanningen (atmosferische- en schakelverschijnselen).

Zie hiervoor de industriële EMI en EMC-normen.





## **7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling**

### **7.2.3.1 Distributie**

Voeding van installaties in tunnels tot  $\pm 2500$  m vindt bij voorkeur plaats vanaf één centrale laagspanningshoofdverdeling. Bij grotere lengten is het in verband met kabelverliezen niet efficiënt vanuit één punt te voeden.

Energievoorziening naar de centrale laagspanningshoofdverdeelinrichting wordt geleverd door:

1. het openbare net
2. de noodstroominstallatie
3. alternatieve energie, bijvoorbeeld een windmolen.

Vanaf de centrale laagspanningshoofdverdeelinrichting wordt energie over de tunnelinstallaties verdeeld en worden eventuele nobreakvoorzieningen gevoed. Bij tunnels met een lengte van  $\pm 500 - 2500$  m, met een aansluiting op het openbare net aan één zijde van de tunnel, wordt uit economische overwegingen (beperking van kabelverliezen/kabeldiameters) de laagspanning-stroomvoorziening verdeeld over 2 hoofdverdeelinrichtingen: (1) een primaire hoofdverdeelinrichting nabij de aansluiting op het openbare net (meestal bij één van de uiteinden van de tunnel, en (2) een secundaire verdeelinrichting nabij het andere uiteinde van de tunnel. In het geval van een onderwatertunnel bevindt zich dus in elk landhoofd een hoofdverdeelinrichting. In principe wordt vanuit elke verdeelinrichting een halve tunnallengte gevoed.

De energie-aansluiting van de primaire hoofdverdeling naar de secundaire verdeelinrichting geschiedt door middel van een step-up/step-down middenspanningsaansluiting als volgt:

De voedingsspanning vanaf de hoofdverdeling aan de hoofdvoedingszijde van de tunnel wordt door middel van stepup transformatoren getransformeerd naar 10 kV middenspanning; door de tunnel getransporteerd door middel van 10kV-middenspanningskabels en bij de secundaire verdeelinrichting(en) elders in de tunnel dmv. step-down transformatoren weer getransformeerd naar laagspanning en aangesloten op de te voeden secundaire verdeelinrichting.

Transporteren van energie over enige afstand met middenspanning bespaart aanzienlijk op kabelverliezen en kosten.

Distributie vanaf één centrale hoofdverdeling heeft als voordeel dat alle ingekochte en zelf opgewekte energie (dus ook noodstroom en eventuele alternatieve energie), en alle daarvoor noodzakelijke voorzieningen kunnen worden samengebracht binnen één centraal gebouw.

In tunnels met een lengte  $> \pm 2500$ m, is het noodzakelijk in de tunnel één of meer trafostations, aangesloten op een middenspanningsvoeding, te plaatsen (bijv. iedere 1000-1500m), vanwaaruit secties van de tunnel van laagspanning worden voorzien. Hiervoor moeten verdeeld over de lengte van de tunnel, binnen –of indien mogelijk naast- de tunnelconstructie midden- en laagspanningsruimten worden ingericht. Indien de gehele tunnel moet worden voorzien van noodstroomenergie, kan ervoor worden gekozen eventuele noodstroomaggregaten van middenspanningsgeneratoren te voorzien en in middenspanning aan te sluiten op de centrale middenspanningsvoeding.



In de meeste gevallen is het echter economisch voordeliger en minder gecompliceerd een standaard noodstroomaggregaat met laagspanningsgeneratoren te installeren en de geleverde energie d.m.v. een step-up trafo te transformeren naar middenspanning en daarin aan te sluiten op de centrale middenspanningsvoeding.

### **7.2.3.2 Verdeling**

Op de laagspanningsverdeelinrichtingen worden alle tunnelinstallaties aangesloten. In de normale situatie moet voldoende energie aanwezig zijn voor het voeden van alle op de verdeling aangesloten installaties, eventueel met suppletie door middel van de eigen noodstroominstallatie (zgn. piekstroombedrijf).

Energie van het openbaar net en van een eventuele diesel-noodstroominstallatie wordt verdeeld over de diverse tunnelinstallaties in de laagspannings-hoofdverdeelinrichting.

Bij tunnels met twee of meer tunnelbuizen, moet de stroomvoorziening per tunnelbuis zodanig worden gescheiden dat bij een volledige storing in één van de tunnelbuizen de installaties in de andere tunnelbuis blijven functioneren.

Alle tunnelinstallaties per installatie verdelen in secties en onderverdelen in groepen. Elke sectie en/of groep afzonderlijk beveiligen, zodanig dat uitval van één sectie of groep niet kan leiden tot uitval van een andere sectie of groep. Daarbij zorg dragen dat geheel of gedeeltelijk uitvallen van een installatie in één tunnelbuis niet zal leiden tot uitval of storingen in de functie van dezelfde installatie in de andere tunnelbuis.



## 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening

Ongeacht de wijze waarop de energievoorziening vanuit het openbare net plaatsvindt, altijd moet rekening worden gehouden met uitvallen van de energievoorziening. Een inventarisatie:

### 7.2.4.1 Stroomuitval: kans en gevolg

Volledig uitvallen van de stroom in een tunnel is mogelijk tengevolge van:

- falen van het openbare elektriciteitsnet indien geen back-up voorzieningen in de tunnel zijn geïnstalleerd;
- falen van het openbare elektriciteitsnet én gelijktijdig falen van alle back-up voorzieningen (falen van de no-break tijdens uitval van het openbaar net)
- falen van de hoofdvoedingscomponenten van de energie voorziening van de tunnel
- hand-uitschakelen (fout of sabotage)

De kans op volledige stroomuitval wordt bepaald door

- de kans op falen van de voeding of voedingen uit het openbaar net en gelijktijdig falen van de back-up voorzieningen (indien geïnstalleerd);
- de wijze waarop de energievoorziening van de tunnel is opgebouwd en aangesloten op het openbaar net
- de kwaliteit en de faalkans van de regelcircuits van de energievoorziening;

Gevolgen van volledige stroomuitval in de normale verkeerssituatie

- volledige stroomuitval (dus alle stroomleverende en back-upvoorzieningen hebben gefaald) heeft tot gevolg dat alle tunnelinstallaties zonder eigen back-up buiten bedrijf gaan;
- In eerste instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat (direct) alle verlichting en alle verkeersregelsystemen uitvallen; d.w.z. het wordt volledig donker in de tunnelbuis en eventueel ingeschakelde signaalgevers van de verkeerssignalering doven;
- In tweede instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat alle communicatiemiddelen falen, d.w.z. de HF-installatie zendt niet meer uit (radio valt stil), en de tunnelintercom is niet meer bruikbaar
- De tunnelbediening krijgt geen signalen meer uit de tunnel aangezien de CCTV geen beeld meer geeft en ook detectiesystemen (stilstandsdetectieapparatuur stand- en niveaumeldingen) niet meer werken. Eventuele gevolgen van het uitvallen van de stroom in de tunnel worden daarom door de tunnelbediening niet opgemerkt.
- Communicatie richting tunnel is niet meer mogelijk. Luidspreker-, intercom- en HF-installatie zijn buiten bedrijf.
- De drainage pompinstallaties werken niet meer. Afhankelijk van de hoeveelheid water die gedurende de stroomuitval wordt toegevoerd t.g.v. regenval en/of lekkages en de bergingscapaciteit van de waterkelders zullen daardoor binnen zekere tijd de waterkelders gaan overstromen waardoor zich water gaat verzamelen op het diepste punt van de tunnel. Zodra een plas water op de weg ontstaat wordt de tunnel ongeschikt voor normaal verkeer. Al een vrij dunne laag water op de weg kan leiden tot watergordijnen en slippartijen met mogelijk ernstige gevolgen.



Op langere termijn zou zich een aanzienlijke hoeveelheid water in de tunnel kunnen verzamelen met mogelijk gevolgen voor de tunnel en de installaties. Dit is eveneens afhankelijk van de tijdsduur van de stroomuitval en de hoeveelheid aangevoerd water.

- De tunnelventilatie werkt niet meer. Tijdens normaal verkeer heeft dit geen gevolgen.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens afzetting van één of meer rijstroken in de tunnel, terwijl op de andere rijstroken het verkeer beperkt doorgang vindt zijn in principe gelijk aan die tijdens normaal verkeer. Doordat bij kortdurende afzettingen meestal geen harde afzettingen aanwezig zijn zal de weggebruiker bij stroomuitval niet langer geattendeerd worden op de aanwezigheid van personen en werktuigen in de tunnel, waardoor een zeer gevaarlijke situatie kan ontstaan.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens een calamiteit in de tunnel zijn overeenkomstig die tijdens onderhoud en opruimingswerkzaamheden. Vrijwel altijd zal bij een calamiteit de tunnelbuis zijn afgesloten voor verkeer en zijn de afsluitbomen bij de toegangen tot de tunnel neergelaten, waardoor bij volledige stroomuitval de in de tunnelbuis aanwezige personen niet extra bedreigd worden door verkeer.

Door het uitvallen van de stroom zijn echter ook de van energie afhankelijke middelen voor afhandeling van de calamiteit of ter beperking van de gevolgen daarvan niet langer bruikbaar. De tunnelventilatie stopt, waardoor rook en gassen die vrijkomen niet meer kunnen verdreven. De brandblusinstallatie, tenzij gevoed met externe middelen (bluspomp van de brandweer of direct aangesloten op de openbare waterleiding), wordt drukloos zodat niet meer beschikt kan worden over bluswater.

Mogelijk verband tussen bijzondere gebeurtenissen en stroomuitval (onder bijzondere gebeurtenissen wordt verstaan: calamiteiten, sabotage, storingen in een deel van de technische installaties en weersomstandigheden)

1. Een bijzondere gebeurtenis leidend tot stroomuitval
  - Een calamiteit in de tunnelbuis kan alleen leiden (mag alleen kunnen leiden tot) tot uitvallen van een deel van de tunnelinstallaties, en in ieder geval niet tot het uitvallen van installaties in een andere dan de calamiteitenbuis.
  - Een calamiteit binnen het gebouw of de technische ruimten waar de hoofdvoeding van een installatie staat kan leiden tot volledige uitval van een installatie of van alle installaties
  - Sabotage kan leiden tot volledig uitvallen van alle tunnelinstallaties
  - Storing in één deel van de technische installaties kan andere installaties beïnvloeden. Volledige stroomuitval ten gevolge van een storing in een onderverdeelde groep is onwaarschijnlijk. Bovendien moeten de meeste installaties fail-safe worden uitgevoerd. D.w.z. bij uitvallen van de sturing schakelt het systeem in de meest gewenste bedrijfsstoestand. Bijvoorbeeld, indien de sturing van de brandbluspompen faalt, starten de brandbluspompen. Bij falen van de sturing van de verlichting schakelt deze in de meest optimale stand.
  - In een tunnel met back-up faciliteiten in de stroomvoorziening zullen weersomstandigheden in het algemeen niet leiden tot het volledig uitvallen van de stroomvoorziening. In installaties die daar onvoldoende tegen zijn



beschermd zou bijvoorbeeld blikseminslag tot volledige stroomuitval kunnen leiden.

#### 2. Stroomuitval leidend tot een calamiteit

Plotselinge stroomuitval komt voor de weggebruikers als een verrassing. Bij plotseling invallende duisternis verandert op het zelfde moment het referentiekader van de automobilist, en wordt een andere wijze van oriëntatie vereist. Met name in tunnels waar de visuele geleiding slecht is (slechte, vuile of anderszins onduidelijke belijning, donkere of vuile wanden) zou dit kunnen leiden tot desoriëntatie en daardoor mogelijk tot calamiteiten. Deze situatie moet in ieder geval worden voorkomen.

Volledige stroomuitval zal ook uitvallen van de verkeerssignalering tot gevolg hebben:

indien dit gebeurt tijdens een wegblokkering t.b.v. werkzaamheden waarbij mensen en voertuigen in de tunnel aanwezig zijn, kan uitvallen van de verkeerssignalering tot ernstige ongelukken leiden (zeker in combinatie met plotseling uitvallen van de verlichting). Ook deze situatie is kritisch en moet beslist worden voorkomen.

### 7.2.4.2 Elementen van de noodstroomvoorziening

Noodstroomvoorziening om tenminste een deel van de energievoorziening te waarborgen gedurende zekere tijd na het uitvallen van de openbare energievoorziening bestaat uit:

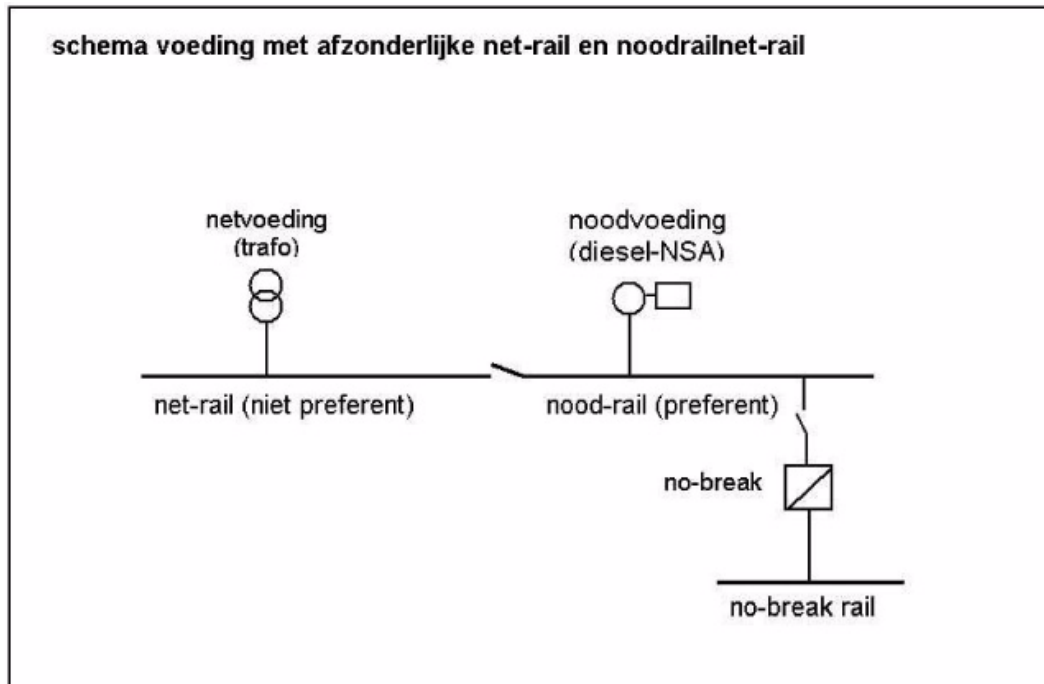
- Een diesel-noodstroomaggregaat voor energievoorziening van normaal bedrijf gedurende een langere periode (VRC tenminste 3x24uur) en geschikt voor enkele uren onafgebroken verhoogd energiegebruik tijdens een calamiteit in de tunnelbuis.
- Een no-break (UPS) installatie. De no-break installatie is niet bedoeld en geschikt voor langdurig gebruik. De standtijd is niet langer dan bijvoorbeeld 15-30 minuten vol belast bedrijf, afhankelijk van de uitvoering.  
Op de no-break installatie worden uitsluitend installaties aangesloten die altijd continue dienen te functioneren zoals een deel van de besturing, de tunnelverlichting en een deel van de verkeersinstallaties.  
De no-breakinstallatie kan gebruikt worden: (1) om de tijd te overbruggen tussen stroomuitval en het in bedrijfstellen van een noodstroomvoorziening die geschikt is om gedurende langere tijd te energie te leveren of (2) de tunnel op verantwoorde manier af te sluiten na totale stroomuitval (openbaar net faalt en/of alternatieve noodstroominstallatie faalt of is niet aanwezig).
- In speciale uitvoeringen kan een no-break en een dieselnoodstroomaggregaat gecombineerd worden in één apparaat

### 7.2.4.3 Preferentie van groepen aangesloten op de noodstroomvoorziening

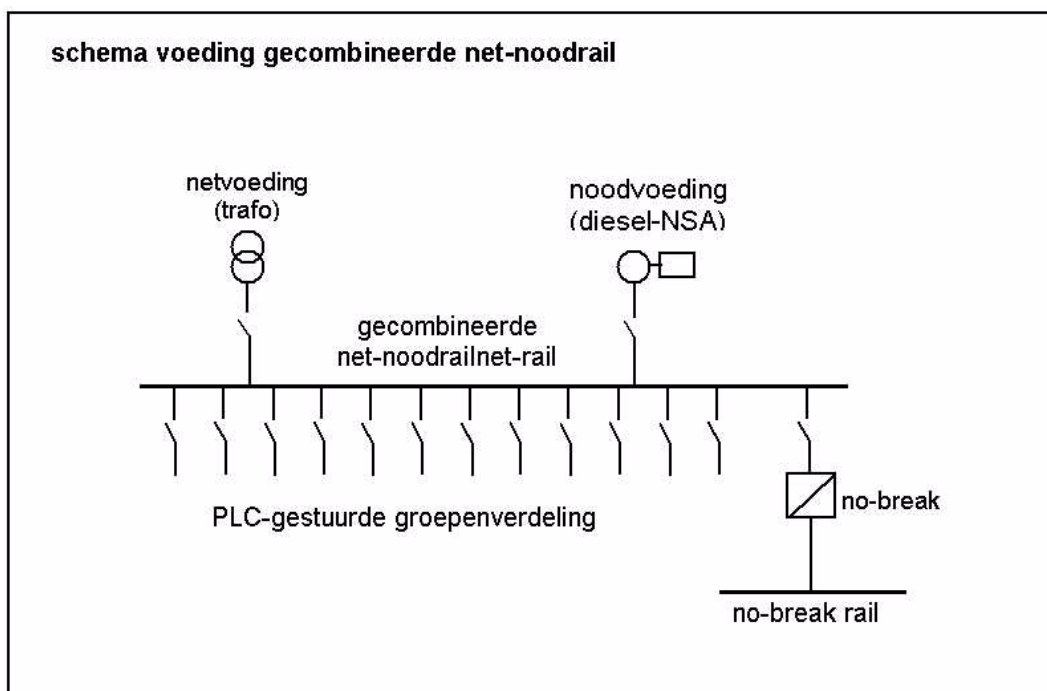
Tot vrij recent was het gebruikelijk de laagspannings-hoofdverdeling te scheiden in preferente en nietpreferente groepen en deze te voeden vanaf verschillende rails; preferente groepen vanaf een noodstroomgevoede rail (nood-rail) en nietpreferente groepen vanaf een netstroomgevoede rail (net-rail) .

Bij normaal bedrijf zijn de niet-preferente en de preferente rails met elkaar gekoppeld. Bij uitval van de voeding van het openbaar net wordt deze koppeling geopend en blijft de preferente rail in bedrijf, gevoed door de noodstroominstallatie.





Programmeerbare besturingsapparatuur (PLC) maakt het mogelijk alle groepen vanaf één netstroom en noodstroom gevoede hoofd rail te voeden. In de netstroom-gevoede situatie kunnen alle aangesloten groepen worden ingeschakeld. In de noodstroom-gevoede situatie bepaalt het PLC-programma welke groepen vrijgegeven en geblokkeerd moeten worden volgens een geprogrammeerde volgorde van preferentie. Dit maakt een optimaal gebruik van het beschikbare noodstroomvermogen mogelijk. Zie verder hst.14.





Bij het wegvallen van het openbare net wordt door de PLC-besturing van de tunnel een aantal gebruikers automatisch geblokkeerd volgens een geprogrammeerde volgorde van preferentie.

Indien alle noodstroom- en nobreakvoorzieningen normaal werken, dan kunnen alle installaties die noodzakelijk zijn voor normaal tunnelbedrijf en voor het bestrijden van calamiteiten worden gevoed.

Bij het wegvallen of gedeeltelijk falen van noodstroomvoorzieningen worden stroomgebruikers volgens vooraf bepaalde preferenties geblokkeerd.

**Volgorde van preferentie**

**(installatiernr. 1 is het minst preferent en wordt dus het eerste geblokkeerd).**

Bij gescheiden net-rail en noodrail	<b>op netrail aangesloten groepen (niet preferent)</b>	Bij PLC-geprogrammeerde preferentie	<b>PLC-geprogrammeerde preferentie van installaties aangesloten op een gecombineerde net-noodrail</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. liften/roltrappen</li> <li>2. tracing brandblusleiding en verwarming hulpposten</li> <li>3. deel gebouwverlichting</li> <li>4. klimaatinstallaties in gebouw</li> </ol>		<p>(1. liften en roltrappen niet voeden met noodstroom)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. tracing brandblusleiding en verwarming hulpposten</li> <li>3. deel gebouwverlichting</li> <li>4. klimaatinstallaties in gebouw</li> <li>5. deel tunnelverlichting</li> <li>6. gasdetectie en zichtmeting</li> <li>7. gebouwbewaking</li> <li>8. 50% drainagepompen</li> <li>9. vluchtgangventilatie</li> <li>10. deel verkeersgeleidingssysteem en afsluitbomen</li> <li>11. (deel) tunnelventilatie<sup>1</sup></li> <li>12. brandblusinstallatie</li> <li>13. koelventilatoren van de dieselinstallatie</li> <li>14. (alle installaties aangesloten op) de nobreakinstallatie</li> </ol>
	<b>op noodrail aangesloten groepen (preferent)</b>		
groepen aangesloten op no-break			



- (een deel van de) tunnelverlichting
- de tunnelbesturingsystemen
- transmissiesystemen
- de afstandsmeldingen en besturingen
- alle communicatiemiddelen zoals:
  - intercom
  - luidsprekers
  - hoogfrequent systeem
  - telefoon
- alle vluchtwegvoorzieningen (niet de vluchtgangventilatie)
- verlichting van de hulpposten + SOS-bordjes
- (een deel van de) verkeersgeleidingssystemen (lichten + signaalgevers)
- verkeersdetectiesysteem
- CCTV-installatie
- hoogtedetectiesysteem
- een deel van de gebouw/dienstruimteverlichting
- brandmeld/detectieapparatuur
- gasdetectie en zichtmeting

1. gezien het bij elk object wisselende belang van tunnelventilatie, in combinatie met de zeer geringe kans dat stroomuitval samenvalt met de noodzaak tot ventileren (brand), hierover per object beslissen

#### 7.2.4.4 Noodstroomaggregaten, werking en piekstroombedrijf

Noodstroomaggregaten worden uitgevoerd als diesel –eventueel gasmotor- die een elektrische generator aandrijft. De generator voedt de hoofdlaagspanningsverdeling Diesel-noodstroominstallaties bij voorkeur uitvoeren als 3 parallel geschakelde diesel-noodstroomaggregaten, die elk rechtstreeks op de hoofdvoedingrail of de noodrail zijn geschakeld.

Diesel-noodstroomvoorziening moet toereikend zijn voor het gelijktijdig voeden van alle preferente installaties, daarbij inbegrepen de installaties aangesloten op de no-break, die immers bij wegvallen van de netspanning wordt gevoed door de noodstroomvoorziening.

##### Werking

De noodstroomsituatie vangt aan bij wegvallen van de elektrische voeding uit het openbare net.

Het noodstroombedrijf verloopt als volgt:

1. de voeding uit het openbare net valt weg (kritische verbruikers blijven in bedrijf, gevoed door no-break)
2. alle dieselmotoren starten;
3.
  - a. de eerste generator die op spanning is, wordt op het tunnelnet geschakeld.
  - b. de belasting van de no-breakinstallatie en de nullast van stepup transformatoren moet direct worden ingeschakeld;
 Indien het vermogen van 1 noodstroomaggregaat onvoldoende is om de inschakelstroom van de nobreakinstallaties en de stepup transformatoren op te nemen, moeten eerst twee noodstroomaggregaten worden gesynchroniseerd, waarna zij beide op het tunnelnet kunnen worden geschakeld;



4. de volgende generator(en) worden, zodra zij op spanning zijn, gesynchroniseerd aan de voorgaande en op het tunnelnet geschakeld.  
De tijd tussen netspanningswegval en volledig noodstroombedrijf is < 30 sec.
5. het gevraagde vermogen zoveel mogelijk gelijk verdelen over de beschikbare aggregaten;
6. alle drie de aggregaten blijven in bedrijf zolang de noodstroomsituatie aanwezig is;
7. Optie: Indien voldoende vermogen ter beschikking is omdat niet alle preferente installaties in bedrijf zijn, kunnen door de besturingsinstallatie van de tunnel (PLC) installaties worden vrijgegeven totdat maximaal noodstroomvermogen wordt afgenomen;
8. bij terugkeren van het openbare net synchroniseert het noodstroombedrijf aan het openbare net, waarna op netbedrijf wordt overgeschakeld;
9. na een nadraaitijd van + 10 min. de aggregaten stoppen.

#### **Piekstroombedrijf**

Noodstroomaggregaten kunnen tevens gebruikt worden voor piekstroombedrijf, d.w.z. het is mogelijk piekbelastingen door de eigen installatie over te laten nemen. Dit kan aanzienlijk besparen op aansluit en/of vastrechtkosten.

In verkeerstunnels is bijvoorbeeld het ventilatiesysteem een buitenproportionele energiegebruiker die zelden wordt gebruikt. Piekstroom draaien t.b.v. het ventilatiesysteem is zeer goed mogelijk en kan een aanzienlijke besparing opleveren.

Piekstroombedrijf kan als volgt worden ingesteld:

- Afhankelijk van de tariefafspraken met het stroomleverend bedrijf wordt een maximale netstroomafnamecapaciteit ingesteld.
- Indien het door de tunnelinstallatie af te nemen vermogen boven deze capaciteit uitstijgt, wordt een van de noodstroomaggregaten gestart, aan het net gesynchroniseerd en bijgeschakeld.  
Bij kortdurende hoge belastingen (ventilatie) alle aggregaten tegelijkertijd starten.
- De aggregaten moeten zo hoog mogelijk worden belast om piekstroombedrijf zo rendabel mogelijk te maken.
- Uit veiligheidsoverwegingen moet een minimale netstroomafname worden gehandhaafd (20 - 50% van de maximaal ingestelde afnamecapaciteit) en mag niet het gehele net afgeschakeld worden indien het beschikbare aggregaatvermogen hoger is dan de ingestelde maximale netstroomafnamecapaciteit.
- Het totaal afgenomen vermogen wordt voor zover mogelijk gelijk verdeeld tussen net en aggregaten, waarbij de aggregaten voor maximaal 80% mogen worden belast.
- Indien één aggregaat is gestart en met meer dan 80% van zijn maximale vermogen gaat worden belast, moet een tweede aggregaat worden gestart en bijgeschakeld.
- Het afgenomen vermogen wordt nu weer gelijk verdeeld over de twee beschikbare aggregaten en het net waarbij weer een minimale netstroomafname moet worden gehandhaafd.
- Dezelfde situatie herhaalt zich voor het derde aggregaat.
- Wanneer de aggregaten met minder dan 20% van hun maximale capaciteit worden belast, wordt het laatst ingekomen aggregaat gestopt, en wordt het benodigde vermogen herverdeeld over de overgebleven aggregaten en het net.



- Wanneer het totaal door de installatie afgenomen vermogen uit het openbaar net kleiner wordt dan + 80% van de ingestelde maximale netstroomafnamecapaciteit, worden de aggregaten afgeschakeld.
- De installatie moet tegen pendelen worden beveiligd door middel van een minimumdraaitijdregeling.

Piekstroom draaien is vooral rendabel indien de afvalwarmte van de dieselmotoren op een of andere wijze nuttig kan worden gebruikt. Daarom is het bij installaties waarmee regelmatig gedurende langere perioden piekstroombedrijf zal worden gedraaid rendabel om warmte terugwinningvoorzieningen te treffen indien voor deze warmte een nuttige bestemming (binnen of buiten de tunnel) kan worden gevonden.

**Opmerking:**

Indien een tunnel gelegen is binnen een dichtbevolkt stedelijk gebied, kan de noodstroomcentrale rendabel gemaakt worden, door de energielevering aan de tunnel te combineren met de energie en warmtelevering aan woningen en bedrijven in de naaste omgeving als volgt:

- De noodstroomcentrale voor de tunnel draait continu en wekt stroom én warmte op voor de tunnel en woningen en bedrijven in de directe omgeving. Op deze wijze wordt een zeer hoog rendement gehaald.
- De tunnel is primaire gebruiker, d.w.z. bij wegvallen van het openbare net worden aangesloten gebruikers buiten de tunnel afgeschakeld of geblokkeerd ten gunste van de tunnel.

Van deze prioriteitstelling heeft een gebruiker buiten de tunnel geen direct nadeel; de stroom is immers uitgevallen in een groot deel van de directe omgeving en ook zonder deze prioriteitstelling zou de gebruiker stroomloos zijn geweest.

Op enkele plaatsen in Nederland wordt deze wijze van noodstroomvoorziening toegepast.



## 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening

Voor een veilig tunnelbedrijf is het van belang dat bij uitvallen van de energievoorziening een aantal vitale tunnelinstallaties in bedrijf blijft. Hiervoor kan een no-breakinstallatie (ook wel UPS) worden aangebracht.

### 7.2.5.1 Algemeen

De no-breakinstallatie continueert de energievoorziening van een aantal vitale installaties

- (1) in de periode tussen stroomuitval en het in bedrijfstellen van een noodstroomvoorziening die geschikt is om gedurende langere tijd te energie te leveren;
- (2) gedurende kortdurende perioden van instabiliteit (schakelpieken, net-frequentie wijkt af van de normale waarde of de spanning is onregelmatig.
- (3) bij langdurige totale spanningswegval (openbaar net faalt én alternatieve noodstroominstallatie faalt of is niet aanwezig) moet de tunnel veilig kunnen worden afgesloten.
- (4) een serieel geschakelde no-breakinstallatie werkt als filter voor de aangesloten groepen. Netvervuiling kan deze groepen niet door de no-break bereiken. Het vermogen van de nobreakinstallatie moet voldoende zijn voor het leveren van energie voor het normaal gebruik van alle daarop aangesloten installaties, voorzover deze niet van een eigen permanente spanningsbron zijn voorzien:
  - gedurende de tijd die nodig is voor het opstarten en overschakelen op een alternatieve stroomvoorziening;
  - én gedurende de tijd die nodig is om bij een totale spanningswegval (1) tot het inzicht te komen dat de spanningswegval niet kortdurend is+ (2) voorbereidingen te treffen voor het volledig afsluiten van de tunnel+ (3) het daadwerkelijk afsluiten van de tunnel (verkeerslichten op rood) en het (4) consolideren van de afsluiting (afsluitbomen naar beneden nadat het verkeer is gestopt).Hiervoor is een no-break standtijd voor 30 minuten normaal bedrijf voldoende. Na afloop van de standtijd van een no-break, worden ook de aangesloten no-breakgroepen stroomloos.

#### Opmerking:

Bij twee gescheiden netten kan de bedrijfszekerheid van de tunnel bij uitval van één net worden verhoogd door alle nobreakgroepen over te schakelen op het niet uitgevallen net. In de normale situatie (twee netten aanwezig) zijn de no-breakgroepen verdeeld over beide netten. Gezien de beperkte standtijd van een no-breakvoeding zullen bij uitval van één net de daarop aangesloten no-breakgroepen na deze standtijd spanningsloos worden. Door de voeding over te schakelen op het nog in bedrijf zijnde net kunnen alle no-breakgroepen in bedrijf blijven ook indien één net is uitgevallen.

Voor toepassing in tunnelinstallaties komen twee nobreakvoedingssystemen in aanmerking:

- a. een (statische) accu nobreak (= statische omvormer-accubatterij combinatie).
- b. een (dynamische) diesel no-break (= snelstartende dieselmotor-vliegwiell/ inductiekoppeling--generator combinatie)

De onder de gegeven omstandigheden meest betrouwbare en economische oplossing heeft de voorkeur. Tot dusver wordt bij lage vermogens voorkeur gegeven aan toepassing van een statische accu nobreak.



### 7.2.5.2 Statische no-break

Een statische no-break kan geschakeld worden als

(1) seriële no-break (de no-breakinstallatie staat in serie met de afgaande voeding van het net naar de aangesloten no-break groepen, d.w.z. het op de no-break geschakelde vermogen gaat ook tijdens aanwezigheid van het net volledig via de no-break. Voordeel is dat de no-break altijd paraat is; storing is direct merkbaar. Nadeel is blind-stroom en warmteverlies)

(2) parallelle no-break (het op de no-break geschakelde vermogen wordt bij aanwezigheid van het net buiten de no-break om aan het net onttrokken. Pas bij uitvallen van het net wordt geschakeld op no-break en wordt het volledige no-breakvermogen aan de no-break onttrokken. Energetisch zijn parallelle no-breaks enigszins voordeliger t.o.v. serieele no-breaks gezien het -in de stand-by toestand geringere warmte en blindstroomverlies. Daartegenover staat de beperktere betrouwbaarheid (storingen worden niet direct opgemerkt).

Een statisch no-breakvoorziening omvat in hoofdzaak:

- een afgaand veld op de hoofdstroomverdeling, waarop aangesloten een 3-fase statische no-break en een no-break verdeelinrichting
- onderhoudsvrije accu's

Enige gebruikelijke standaard output specificaties:

- Normaal volbelast bedrijf: output 3 fase 400V + 1%
- Bij belastingvariatie van 0-100% : output 400V + 3%
- Frequentie 50 Hz + 1%
- Overbelasting 120% gedurende 90 sec.

Werking statische no-break:

- a. Onder normale bedrijfsomstandigheden wordt de no-breakinstallatie gevoed door het openbare net

Een gelijkrichter zet de ingangs-wisselspanning om in een constante gelijkspanning.

Bij seriële no-breaks wordt met deze gelijkspanning een statische omvormer gevoed. Deze statische omvormer levert een gestabiliseerde wisselspanning aan de kritische gebruikers. Indien zich netstoringen voordoen wordt de statische omvormer automatisch en zonder onderbreking door de accubatterij gevoed.

Bij parallelle no-breaks wordt met de gelijkspanning de batterij gevoed en op spanning gehouden; de hoofdvoeding gaat echter buiten de gelijkrichter om rechtstreeks naar de kritische gebruikers.

Bij netstoringen schakelt een statische schakelaar de hoofdvoeding naar de kritische gebruikers om naar batterijvoeding via een statische omvormer.

- b. Statisch by-pass bedrijf:

Indien een serieel geschakelde no-breakinstallatie wordt overbelast of indien er in de installatie een storing optreedt, moet een by-pass schakelaar de gebruikers automatisch en zonder onderbreking overschakelen naar netbedrijf.

- c. Onderhouds by-pass bedrijf:

Indien voor onderhoud of vervanging de gehele no-break installatie buiten werking moet worden gesteld, moet dmv. een onderhouds by-pass schakelaar de no-break krachtlichtverdeling direct op het net geschakeld kunnen worden, zonder stroomonderbreking tengevolge van het schakelen.



Bij een storing of buiten bedrijfstelling van de nobreakinstallatie, moeten -indien een NSA-installatie aanwezig is- bij wijze van voorzorg tenminste twee (i.v.m. faalkans) dieselaggregaten worden gestart, gesynchroniseerd en parallel aan het net worden geschakeld gedurende de tijd dat de no-break gestoord of buiten bedrijf is.

De stand-by verliezen van no-break-units komen vrij in de vorm van warmte. Aan de ventilatie en eventuele koeling van de ruimte waarin de accu's van de no-break zijn ondergebracht moet bijzondere extra aandacht worden geschonken, aangezien de levensduur van de accu's wordt beïnvloed door de temperatuur van de ruimte waarin zij staan opgesteld. Bij ruimtetemperaturen > 20°C neemt de levensduur van accu's sterk af.

In sommige gevallen is afzonderlijke afzuiging van kasten waarin no-breaks staan opgesteld aan te bevelen om de klimaatcondities van de ruimte waarin zij zijn opgesteld niet onnodig met de warmte uit de no-break units te belasten.

### **7.2.5.3 Dynamische no-break**

Een dynamische no-break vervult een twee-ledige functie: Het is in feite een diesel-noodstroomaggregaat dat een no-breakfunctie kan vervullen. Een dynamische no-break wordt dan ook op dezelfde wijze op het net geschakeld als een noodstroomaggregaat.

Werking dynamische no-break:

Tussen de diesel of gas-motor en de generator is een vliegwiel/inductiekoppeling geschakeld. In de normale situatie draait de generator continu, gevoed door netstroom, en drijft een inductiekoppeling aan. Na het wegvallen van de netstroom neemt de inductiekoppeling de energievoorziening naar het tunnelnet tijdelijk over gedurende de periode dat de diesel start en in bedrijf komt. De kinetische energie uit de inductiekoppeling is hiervoor voldoende. Frequentie naar het tunnelnet wordt elektronisch geregeld. Op het moment dat de diesel het nominale bedrijfstoerental bereikt (binnen 1,5 sec) koppelt de inductiekoppeling de dieselmotor aan de generator. Vervolgens functioneert de no-break als een gewoon noodstroomaggregaat.







## 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie

In verband met de vaak grote afstanden in een tunnel, is het rendabel om op meer plaatsen in de tunnel (bij tunnels tussen 500 -2500 m in beide landhoofden en in zeer lange tunnels > 2500 m één of meermalen tussen beide landhoofden) een voedingverdeling op te stellen. Er zijn een aantal distributiesystemen mogelijk:

- a. waarbij vanaf een afgaand veld in de hoofdverdeling een step-up trafo de voedingsspanning omhoog transformeert tot 10 kV. De 10 kV spanning wordt door de tunnel getransporteerd en waar nodig bij de onderverdeelinrichting(en) elders in de tunnel dmv. step-down transformatoren weer omlaag getransformeerd en aangesloten op de te voeden onderverdeelinrichting. Deze wijze van stroomvoorziening heeft als voordeel dat alle voedingsbronnen naar de hoofdverdeling (dus ook noodstroom en eventuele alternatieve energie) via de step-up/step down voorziening kunnen worden gedistribueerd over alle onderverdeelinrichtingen.
- b. Een middenspanningsvoedingkabel wordt door de gehele lengte van de tunnel geleid. De tunnel verdelen in voedingssecties. In elke sectie is een transformatorstation ondergebracht dat rechtstreeks gevoed wordt uit het middenspanningsdistributienet en dat de betreffende sectie van de tunnel van laagspanning 230/400 of 700 VAC voorziet. Elke trafo is aangesloten op een laagspanningsverdeelinrichting voor de laagspanningstroomverdeling in de betreffende tunnelsectie.
- c. Een middenspanningsvoeding door de gehele tunnel conform a., echter belangrijke stroomgebruikers voorzien van een middenspanningsmotor, of aparte middenspanningstrafo. Overigens voeden conform de beschrijving in a. Dit systeem is in Nederland nog nergens toegepast in tunnels.

Middenspanning vanaf de hoofdvoedingverdeling naar de andere voedingverdeling(en) transporteren via (10 kV) middenspanningskabels. Stepup en stepdown transformatoren moeten in een aparte ruimte worden opgesteld, ofwel door middel van stalen, gearde hekken van de overige installaties worden afgeschermd. Droge (niet olie gevuld) transformatoren genieten de voorkeur.

Voorzieningen moeten worden aangebracht voor het afvoeren van de door de transformatoren ontwikkelde warmte.

Het gebruik van SF6 is toelaatbaar.





### **7.2.7      Installaties 17 Alternatieve energie**

Geen toepassing in Nederlandse tunnels.





## **Inhoudsopgave 20 Verlichting**

- 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel
  - 7.3.1.1 Doel van tunnelverlichting
  - 7.3.1.2 Typen tunnelverlichting
  - 7.3.1.3 Regelen van het verlichtingsniveau
  - 7.3.1.4 Dimmen of schakelen
  - 7.3.1.5 Flikkereffect
  - 7.3.1.6 Configuratie van schakelstanden bij TL
  - 7.3.1.7 Voeding van verlichting
  - 7.3.1.8 Algemene eisen te stellen aan de constructie van verlichtingsarmaturen
  - 7.3.1.9 Daglichtroosters
  - 7.3.1.10 Algemeen mogelijkheden tot kostenreductie bij tunnelverlichting
- 7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg
  - 7.3.2.1 Verlichtingsniveau
  - 7.3.2.2 Noodverlichting
- 7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting
  - 7.3.3.1 Kleur en vormgeving
  - 7.3.3.2 Schakelen van openbare verlichting



---

Tunnel technische installaties



## 7.3 20 VERLICHTING

### 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel

Basisdocument voor het ontwerp en berekening van tunnelverlichting is de Aanbeveling: "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen", uitgegeven door de Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV) te Arnhem.

De Aanbeveling beschrijft typen tunnelverlichting, geeft berekeningsmethoden voor het ontwerp van tunnelverlichtingssystemen in korte en lange tunnels en verstrekt gegevens die daarbij noodzakelijk zijn.

Dit hoofdstuk 21 is bedoeld als toelichting en praktische wenken bij de Aanbeveling.

#### 7.3.1.1 Doel van tunnelverlichting

Tunnelverlichting wordt in eerste instantie gedimensioneerd op het veilig passeren van een tunnel.

Voor een weggebruiker spelen daarbij de volgende aspecten een rol:

1. De weggebruiker moet zijn positie kunnen bepalen binnen de tunnel.
2. Zichtbaarheid van medeweggebruikers en/of obstakels en oriëntatie op de omgeving:

Gebruikers van een tunnel moeten voortdurend voldoende informatie krijgen over hun omgeving en andere weggebruikers. De informatie moet voldoende zijn voor oriëntatie en om tijdig te kunnen anticiperen op gebeurtenissen vóór hen. Zonodig kunnen ze tijdig de snelheid aanpassen, uitwijken of op tijd stoppen. Het belangrijkste criterium is, dat andere voertuigen op een zodanige afstand kunnen worden waargenomen en de situatie kan worden herkend, dat tijdig stoppen nog mogelijk is.

Belangrijk aandachtspunt bij een verlichtingsontwerp is de overgang overdag, tussen een hoog daglichtniveau buiten de tunnel (>10.000lux) naar een veel lager lichtniveau binnen de tunnel (<500 lux). Vermeden moet worden dat een weggebruiker op enig moment onvoldoende informatie krijgt om tijdig te kunnen anticiperen op de situatie vóór hem. Een overgangsverlichting is noodzakelijk. Van buitenaf gezien kan de tunnelopening zich manifesteren als een donker gat. Dit "zwarte gat effect" kan sterk worden gereduceerd door het contrast tussen de tunnelopening en zijn directe omgeving te verminderen. Dit kan door de in de directe omgeving van de tunnelopening donkere kleuren te gebruiken.

3. visuele geleiding:

Visuele geleiding wordt bepaald door visuele aanwijzingen over het verloop van de weg. Dit aspect hangt slechts ten dele met tunnelverlichting samen, hoewel vooral in de tunnel het verloop van de weg kan worden afgeleid zowel uit de verlichtingsarmaturen als uit de aangestraalde constructie-elementen en wegdekbelijning.

4. beleving van de tunnel:

De tunnel moet zich van buitenaf gezien niet voordoen als een "zwart gat".

Binnen de tunnel moet voorkomen worden dat een weggebruiker zich opgesloten of onzeker voelt. Goede verlichting draagt bij aan oriëntatie en comfort.





5. vermijden van verblinding van voertuig bestuurders:

Algemeen moet getracht worden verblinding op enige plaats buiten of binnen de tunnel te vermijden. Ofwel vóór de tunnel moet zonodig de hemel door bouwkundige voorzieningen worden afgeschermd indien bij lage zonnestandens kans op verblinding ontstaat. Binnen de tunnel moeten armaturen zodanig zijn geplaatst dat automobilisten vanuit een normale waarnemingspositie niet rechtstreeks in de lamp kunnen kijken.

Bij het verlaten van de tunnel bestaat kans op verblinding als de automobilist vanuit de relatief donkere tunnelomgeving het heldere vlak van de tunneluitgang vóór zich ziet. Dit kan vooral optreden bij lange rechte hellingen waarbij gezien vanuit de tunnel, binnen de omlijsting van de tunneluitgang hoofdzakelijk hemel zichtbaar is. Bij hellingen die overwegend op het zuidelijk halfrond van de hemel gericht zijn kan bij lage zonnestandens en/of bij hoge hemelhelderheid verblinding ontstaan. Dit effect kan worden verminderd door lange, relatief donkere tunnels via een bocht in de buitenlucht te laten uitmonden waardoor pas aan het einde van de tunnelbuis de buitenlucht zichtbaar wordt, of aan het eind van de tunnel hemelafschermende maatregelen te nemen.

### 7.3.1.2 Typen tunnelverlichting

**Tegenstraal verlichting:** In het algemeen worden SON-lampen als lichtbron gebruikt.

Tegenstraalverlichting wordt gebruikt als overgangsverlichting. Tussen de overdag hoge luminanties buiten de tunnel en de relatief lage waarden binnen de tunnel bestaat een groot verschil. Deze licht-donkerovergang moet zodanig worden ingericht dat automobilisten voortdurend voldoende informatie krijgen over het voor hun rijdende verkeer. De informatie moet voldoende zijn om tijdig te kunnen anticiperen op gebeurtenissen vóór hen.

De mogelijkheid tot het kunnen waarnemen en herkennen van voertuigen en objecten op de weg hangt samen met het helderheidscontrast dat deze voorwerpen hebben ten opzichte van de weg en andere elementen binnen het blikveld.

Tegenstraalverlichting straalt het licht onder een bepaalde hoek (ongeveer 55°) tegen de verkeersrichting in en maakt hiervoor gebruik van speciale armaturen die schuin worden geplaatst en voorzien zijn van een asymmetrische spiegeloptiek. Doordat het licht tegen de verkeersrichting in wordt gestraald, wordt de min of meer verticale achterzijde van een voertuig niet direct aangestraald. Het horizontaal liggende wegdek wordt wél aangestraald. Een automobilist ziet daarom de achterkant van vóór hem rijden de voertuigen (of andere voorwerpen op de weg) relatief donker afsteken tegen het wegdek. Op deze wijze ontstaat dus een t.o.v. symmetrische verlichting verhoogd helderheidscontrast. Dit wordt al bereikt bij betrekkelijk lage verlichtingssterkten. Tegenstraalverlichting maakt aldus mogelijk met relatief weinig elektrisch vermogen een goede overgang te bewerkstelligen tussen hoge niveau's buiten en lage niveau's binnen de tunnel.

Bij symmetrische verlichting is de helderheid van de tunnelomgeving belangrijk omdat bij deze verlichting de waarneming van voorwerpen in hoofdzaak afhangt van het algemeen aanwezige verlichtingsniveau. Een heldere omgeving (wanden) draagt hieraan bij door reflectie van het op de wanden gestraalde licht.



Omdat bij tegenstraalverlichting de waarneming in hoofdzaak afhankelijk is van het helderheidscontrast, is bij deze verlichting de helderheid van tunnelwanden minder belangrijk. Blijft overigens wel een comfort aspect en daarmee het gevoel van welbevinden van de weggebruiker (schone, heldere wanden geven een comfortabeler indruk van de tunnel).

Hoewel...: De Westerscheldetunnel heeft zeer donkere wanden (donkergekleurde spuitmassa met een zeer grove structuur die niet gereinigd kan worden). Daarbij heeft deze tunnel een zeer laag verlichtingsniveau (Ehor.gem.plm.30 lux). Dit geeft geen aanleiding tot klachten van weggebruikers en wordt desgevraagd ook niet als oncomfortabel ervaren.

Tegenstraalverlichtingsarmaturen moeten bij voorkeur in het hart van de rijstroken worden opgehangen aan het plafond. Het tegenstraaleffect wordt minder naarmate de armaturen verder buiten de as van een rijstrook worden opgehangen (waardoor het verkeer dus meer zijdelings wordt aangestraald). Bij méérstrooks wegen waarbij het licht van een rij armaturen over meerder stroken moet worden verdeeld moet hiervoor een optimum worden gezocht. Het nadelig effect van zijdelingse plaatsing wordt minder naarmate het armatuur hoger kan worden opgehangen. Dit heeft uiteraard ook een gunstig effect op de ongelijkmatigheid (wordt gelijkmatiger)

#### **Symmetrische puntverlichting**

In het algemeen worden ook bij symmetrische verlichting SON-lampen als lichtbron gebruikt.

In het verlengde van een asymmetrische tegenstraalverlichting wordt meestal een symmetrische puntverlichting toegepast. Mits de helderheids-ongelijkmatigheid in lengterichting van de tunnel niet een bepaald maximum overschrijdt (zie de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen"), geeft deze verlichting een goed verlichtingsresultaat tegen een gunstige verhouding  $W/m^1$  tunnel of  $W/m^2$  wegdek.

Puntverlichtingen moeten zijn opgehangen parallel aan de weg-as, zodanig dat vanaf een afstand gezien alle puntbronnen op één lijn zijn geplaatst. Deze verlichtingslijn mag geen knik vertonen of zijdelings weglopen vanwege de passieve geleiding die de tunnelverlichting vormt voor het verkeer.

Puntverlichting moet eveneens bij voorkeur in het hart van een rijstrook worden opgehangen. Ophanging buiten het hart van een rijstrook heeft tot gevolg dat licht (van hoge intensiteit) van opzij het auto-interieur wordt binnengestraald. De door het auto-interieur glijdende schaduwen van raamstijlen etc. geven een onrustig beeld en kunnen storend werken. Bij plaatsing buiten het hart van een rijstrook, maar nog wel boven de rijstrook is dit effect gering; het neemt echter sterk toe naarmate het armatuur verder buiten het hart van de rijstrook wordt geplaatst en dieper het interieur van de auto kan binnenstralen. Bij meerstrooks tunnels met minder rijen armaturen aan het plafond dan rijstroken moet een optimale plaatsing worden gezocht. Ook hier vermindert het negatieve effect naarmate het armatuur hoger kan worden opgehangen.

**Doorgaande lijnverlichting:** In het algemeen wordt in doorgaande lijnverlichting TL toegepast

Vrijwel alle bestaande tunnelverlichtingen die aangebracht zijn vóór 1996 zijn voorzien van TLverlichting. Al deze tunnels hebben een lijnverlichting.



Evenals bij puntverlichting moeten de lichtlijnen parallel aan de weg-as lopen en mogen geen "knik" vertonen of naar opzij weglopen.

Plaatsing opzij van de rijbaan is bij een aaneengesloten lijnverlichting met TL (geen puntbronnen) geen bezwaar en maakt de armaturen gemakkelijker bereikbaar bij onderhoud in meerstrooks tunnelbuizen waarin tijdens onderhoudswerkzaamheden verkeer wordt toegelaten op (een deel van) de rijstroken.

### 7.3.1.3 Regelen van het verlichtingsniveau

- Verlichting schakelen of dimmen aan de hand van signalen afgegeven door lichtgevoelige cellen of een  $L_{20}$  meting buiten de tunnel.
- Eventuele vaste nachtstanden (bijv. 0.00-0.500) schakelen door middel van een schakelklok met vast ingestelde tijden.
- In korte onderdoorgangen waarin overdag geen verlichting noodzakelijk is of overdag een vast verlichtingsniveau is geschakeld, op nachtverlichting schakelen bijvoorbeeld d.m.v. een astronomische schakelklok of het signaal van, of een aansluiting op de lokale openbare verlichting, zodanig dat de tunnelverlichting in de nachtstand schakelt op het ogenblik dat de openbare verlichting wordt ingeschakeld.

In tunnels in drukke verkeerswegen kan bespaard worden op verlichting door de het verlichtingsniveau in de overgangszones verkeersafhankelijk te schakelen: Bij het ontwerp van een overgangsverlichting is meestal uitgegaan van een verkeerssnelheid van 100-120 km/uur. Dit resulteert in een vrij groot (kostbaar) verlichtingsvermogen bij helder weer overdag. Indien echter overdag de verkeerssnelheid tengevolge van stagnatie daalt tot v er onder de ontwerpsnelheid, is een hoog verlichtingsniveau in de overgangszones overbodig en zou de tunnelverlichting (mede) geregeld kunnen worden afhankelijk van de gemeten verkeerssnelheid.

### 7.3.1.4 Dimmen of schakelen

Aanpassing van de verlichtingsniveaus in de tunnel is mogelijk door het in/uitschakelen of dimmen van lampen. Bij TL dimmen d.m.v. fase-snijding, bij SON d.m.v. fase-snijding of een voorschakelweerstand.

*Voor en nadelen van schakelen en dimmen:*

#### a. Schakelen t.o.v dimmen

Nadelen:

- Inschakelen veroorzaakt stroompiek;
- Bij inschakelen is een opwarmtijd noodzakelijk voordat de lamp nominaal presteert. Dit kan afhankelijk van het lamptype enkele minuten duren. Bij continue regeling kunnen lampen op maximaal gedimd niveau stand-by worden gehouden, zodat er op het gewenste moment ingeschakeld kan worden en inschakelpieken worden vermeden.
- Schakelende lichtregeling is alleen in stappen mogelijk, ofwel de lamp geeft teveel licht als nog niet naar een volgende stap kan worden geschakeld. Het grootste deel van de ingeschakelde tijd wordt dus verlicht op een hoger (of eventueel lager) niveau dan noodzakelijk. Hierdoor zijn bij schakelende verlichting meer (onnodige) nominale branduren (of te laag niveau) waardoor een ongunstiger energiegebruik of niet aangepast lichtniveau ontstaat t.o.v. een continue geregelde verlichting.



- Bij een schakelende lichtregeling is altijd maximale lichtstroom per lamp, waardoor een kortere levensduur en snellere remplace noodzakelijk is;
- Vrij grote variatie lamptypen (sterkte) noodzakelijk om geleidelijke stappen te kunnen maken.

Voordelen:

- Een schakelende lichtinstallatie is technisch eenvoudig, en goedkoop in aanleg en onderhoud;

#### b. Dimmen t.o.v. schakelen

Nadelen

- continue regelbare installatie is relatief duur in aanschaf, heeft meer componenten en heeft daardoor een grotere storingskans;
- Alleen ongecompenseerde VSA's (voorschakelapparaten) kunnen worden toegepast waardoor een slechte  $\cos\phi$  ontstaat die in de onderverdeelinrichting moet worden gecompenseerd.
- Door eigen gebruik (verlies) van de regelaars grotere warmtedissipatie t.p.v. de regelaars;

Voordelen

- Elk gewenst lichtniveau < nominaal kan worden gerealiseerd;
- gemiddeld lagere bedrijfstemperatuur van de lampen;
- Overdimensionering kan worden weggeregeld;
- Depreciatie t.g.v. veroudering en vervuiling wordt gecorrigeerd d.m.v. regeling;
- Beperkt aantal armatuur en lamptypen volstaat voor alle niveaus;
- langere levensduur van de lampen.

### 7.3.1.5 Flikkereffect

Bij het bepalen van de tussenafstanden in een lijn van puntverlichtingsarmaturen, bij het uitschakelen of wegdimmen van tussenliggende armaturen in een lijnverlichting of een lijn van puntverlichtingsarmaturen, moet vermeden worden dat voor het verkeer hinderlijke wisselingen in verlichtingssterkte ontstaan (het zgn. flikkereffect). Het flikkereffect kan desoriëntatie van de weggebruiker veroorzaken ("zwevend gevoel"). Bepaalde frequenties in wisseling van de verlichtingssterkte moeten worden vermeden. Zie hiervoor de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen".

### 7.3.1.6 Configuratie van schakelstanden bij TL

Het lichtniveau in een tunnel met een TL-lijnverlichting kan als volgt worden geschakeld, er van uitgaande dat de lijnverlichting is samengesteld uit TL-armaturen met in elk armatuur twee TL-lampen (in elk armatuur moeten elke "TL" afzonderlijk kunnen worden geschakeld):

- alle lampen in de lijn ingeschakeld (niveau 100%)
- alle lampen aan één zijde van elk armatuur ingeschakeld (niveau 50%) (eventueel 1 op 2 armaturen ingeschakeld)
- een op drie armaturen ingeschakeld (niveau 33%)



- alle lampen aan een zijde van een op drie armaturen ingeschakeld (niveau 16%) (nachtstand)

### 7.3.1.7 Voeding van verlichting

Om een zo groot mogelijke bedrijfszekerheid te bereiken de voeding van de tunnelverlichting verdelen over de net-, nood en nobreak voorziening, zodanig dat bij elk verlichtingsniveau voldoende lampen blijven branden bij nobreakvoeding. Mogelijke configuraties om dit te bereiken:

- 1 op 3 armaturen aansluiten op nobreakvoeding
- tenminste alle lampen aan één zijde van (TL-) armaturen aansluiten op preferente voeding
- de lampen aan de andere zijde van (TL-) armaturen aansluiten op nietpreferente voeding.

Uitgaande van 100% bedrijf, zal in deze situatie bij spanningswegval 1/3 armaturen blijven branden op nobreakvoeding, totdat de noodstroomaggregaten het tunnelnet gaan voeden. Vanaf dat ogenblik wordt van alle overige (nietnobreak) armaturen de helft ingeschakeld; 2/3 van de tunnelverlichting is nu in bedrijf. Indien de vermogenssituatie het toelaat kan nu door de PLC de nietpreferente verlichting worden vrijgegeven.

Uiteraard kan ook gekozen worden om voldoende no-break of noodstroomvermogen te installeren voor 100% verlichtingsniveau.

Indien de tunnel niet voorzien is van een nood-voeding, maar aangesloten is op twee of meer van elkaar onafhankelijke netvoedingen, dan zo mogelijk de energievoorziening van de verlichting per buis verdelen over de verschillende netvoedingen.

### 7.3.1.8 Algemene eisen te stellen aan de constructie van verlichtingsarmaturen

- Alle armaturen moeten constructief volledig identiek zijn; armatuurhuizen en daarbij behorende onderdelen van volledig in de tunnelatmosfeer corrosiebestendig materiaal.  
Het is in jarenlange praktijk gebleken dat AlMgSi0,5 goed voldoet. Met RVS (type AISI316) is in Nederland geen praktisch ervaring.
- Metalen armaturen moeten zodanig zijn vormgegeven dat (agressief) stof niet kan verzamelen in holtten (tussen ribben) van de armatuuurbakken.  
Gewapende kunststoffen mogen niet worden toegepast in verkeerstunnels, gezien de corrosiegevoeligheid van dit materiaal in de tunnelatmosfeer.  
Met ongewapend, hooggevuld PUR is zeer goede ervaring. Door temperatuurwisselingen kan vervorming optreden, daarom moet bij de constructie van armaturen uit dit materiaal grote aandacht worden besteed aan vormvastheid en moeten afdichtingen zodanig worden uitgevoerd dat eventuele vervormingen van het armatuur hierop geen invloed kunnen hebben.
- Armaturen bestemd voor hoge druk gasontladingslampen zoals SON, voorzien van een hardglazen ruit dik 6mm en voldoen aan ten minste IP 65.
- Armatuurruiten mogen geen andere krachten opnemen dan die tengevolge van het eigen gewicht.
- Alle elektrische onderdelen moeten binnen in het armatuur ondergebracht worden. Alle metalen delen dienen geaard te worden.



- Stekerverbindingen alleen toepassen binnen het armatuur en met voorlopende aarde.
- Verlichtingsarmaturen moeten geopend kunnen worden zonder gebruik van gereedschap. Noodzakelijkerwijs losse onderdelen moeten onverliesbaar aan de armaturen zijn bevestigd.
- Binnen armaturen voor hoge druk gasontladingslampen zoals SON kunnen vrij grote temperatuurverschillen ontstaan t.o.v. de buitenlucht. Dit kan onderdruk binnen het armatuur veroorzaken waardoor het openen wordt belemmerd, maar ook kan via onbedoelde lekkages verontreinigde en vochtige tunnellucht worden aangezogen, hetgeen snelle vervuiling van het inwendige van het armatuur tot gevolg heeft. Daarom mogen verlichtingsarmaturen binnen een tunnel niet volledig gasdicht worden uitgevoerd, maar moeten worden voorzien van een ademend filter (labyrint en/of semi-permeabel membraan).

### 7.3.1.9 **Daglichtroosters**

Een daglichtrooster wordt geplaatst vóór de ingang van het overdekte gedeelte van een tunnel en is een constructieve voorziening die slechts een deel van het daglicht doorlaat, zodanig dat overdag een geleidelijke overgang wordt bewerkstelligd tussen de hoge lichtniveaus buiten de tunnel en de lage lichtsterkten binnen de tunnel. Dat wil zeggen: bij het binnenrijden van de tunnel neemt, tijdens de passage van het lichtrooster, de hoeveelheid licht geleidelijk af van het lichtniveau buiten de tunnel tot aan het niveau van de tunnel

Een daglichtrooster vervangt (een deel van) de overgangsverlichting.

De functie van een daglichtrooster is tweeledig:

1. Lichtovergang: het lichtniveau wordt via natuurlijke weg verminderd.
2. Hemelafscherming: de hemel binnen het blikveld van de weggebruiker wordt afgeschermd, waardoor de verstorende werking daarvan (verblinding in het perifere gezichtsveld) voor de weggebruiker wordt verminderd.

Een lichtrooster maakt een hoog, aan het buitenlicht aangepast verlichtingsniveau in de tunnelingang overbodig en is diensgevolg energiebesparend. Lichtroosters vragen echter een hoge investering voor bouwkundige kosten (veroorzaakt door zowel het lichtrooster, de civiele constructies als het ruimtebeslag) en een investering in energie en hoeven daarom niet kostenbesparend te zijn. Een berekening tegen kontante waarde over tenminste 25 jaar kan hierin inzicht geven.

Een lichtrooster met een gelijkmatige lichtdoorlaat, onder alle weersomstandigheden aangepast aan de buitenlichtomstandigheden, mag niet volledig zon-dicht zijn en mag niet zijn uitgevoerd in sterk reflecterend materiaal. Zie hiervoor de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen".

Daglichtroosters bij de uitgang zijn over het algemeen niet noodzakelijk, aangezien de oogadaptatie van licht naar donker veel sneller verloopt dan van donker naar licht. Alleen indien er verblinding optreedt bij het van binnen naar buiten rijden uit de tunnel is mogelijk hemelafscherming in de vorm van een rooster gewenst. Zie het hoofdstuk 21.1.bij (4) Voorkomen van verblinding. Bij een uitrooster ligt de nadruk niet zozeer op het bereiken van een geleidelijke overgang tussen binnen en buiten, maar op hemelafscherming t.b.v. het voorkomen van verblinding.

**7.3.1.10 Algemeen mogelijkheden tot kostenreductie bij tunnelverlichting**

- 's Nachts tot een minimum reduceren van het verlichtingsniveau d.m.v. een schakelklok met vaste tijden.
- Toepassen van tegenstraalverlichting in de overgangszones
- Gebruik van donkere kleuren in de zone rondom de tunnelinritten verminderd het "zwarte gat"-effect aanzienlijk, waardoor minder ingangsverlichting nodig is;
- Bij symmetrische verlichting verbeteren lichte kleuren binnen de tunnel het effect. Dit werkt in alle opzichten kostenbesparend.  
In dit verband kan regelmatig schoonmaken van de tunnelwanden en de verlichtingsarmaturen een (geringe) besparing opleveren in energiekosten voor de verlichting. Hierbij moet een optimum worden bepaald tussen schoonmaakkosten en energiekosten.
- Aanpassen van het verlichtingsniveau aan de verkeerssnelheid en het aantal auto's, ofwel het verlagen van het verlichtingsniveau in de tunnel gedurende perioden waarin met lage snelheid wordt gereden.



## **7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg**

### **7.3.2.1 Verlichtingsniveau**

De verlichting in een middengang of kabelkanaal moet, indien uitsluitend gebruikt als technische ruimte een gemiddeld niveau hebben van ten minste 75 lux op vloerniveau. Indien gebruikt als vluchtgang moet het niveau minimaal 100 lux zijn op vloerniveau (VRC) vanaf het moment dat het kanaal als vluchtgang is ingesteld

### **7.3.2.2 Noodverlichting**

Bij noodverlichting (d.w.z. als de reguliere verlichting geheel is uitgevallen ten gevolge van een algemene stroomstoring, moet het verlichtingsniveau op vloerniveau tenminste 1 lux bedragen.

*N.B. Indien de vluchtgangverlichting is aangesloten op een no-breakgroep, kan de gehele vluchtwegverlichting beschouwd worden als noodverlichting. Het noodverlichtingsniveau is in deze situaties dus tenminste 100 lux op vloerniveau.*







### **7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting**

#### **7.3.3.1 Kleur en vormgeving**

Kleur en vormgeving van de tunnelverlichting hoeft niet aangepast te worden aan de openbare verlichting ter plaatse of de openbare verlichting aan de tunnelverlichting. Aangezien de tunnel een discontinuïteit vormt in de doorgaande weg, is het toelaatbaar dat in de tunnel een van de webverlichting afwijkend lamptype, lichtkleur etc. wordt geïnstalleerd.

Wel kan het gewenst zijn om verlichting in de open toeritten naar de tunnel; mee te laten schakelen met de tunnelverlichting. Indien dit het geval is; verdient het aanbeveling deze verlichting aan te sluiten op de laagspanningsverdeling van de tunnel. Het is dan ook eenvoudig mogelijk om de toeritverlichting van noodstroom, eventueel no-breakstroom te voorzien.

#### **7.3.3.2 Schakelen van openbare verlichting**

Het is niet strikt noodzakelijk en soms ongewenst als verlichting in kleinere tunnels en onderdoorgangen mee-geschakeld wordt met de openbare verlichting ter plaatse. Het kan noodzakelijk, zijn dat de tunnelverlichting op een ander tijdstip wordt geschakeld dan de openbare verlichting. Dit is afhankelijk van de lichtomstandigheden ter plaatse en moet per geval worden beoordeeld. Indien meeschakelen met de openbare verlichting niet gewenst is moet de tunnel van een eigen schakel en lichtregel unit worden voorzien.





## **Inhoudsopgave 30 Drainagepomp installaties**

- 7.4.1 **Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties**
  - 7.4.1.1 Doel van drainagepompinstallaties
  - 7.4.1.2 Algemene beschrijving van drainagepompinstallaties
  - 7.4.1.3 Berekening af te voeren waterhoeveelheid, vertragingsfactoren, waterberging
  - 7.4.1.4 Niveauregeling
  - 7.4.1.5 Algemeen uitvoeringsdetails
  - 7.4.1.6 Mogelijkheden tot reductie van kosten bij pompinstallaties
- 7.4.2 **Installaties 31 Hoofdpompinstallaties**
- 7.4.3 **Installaties 32 Middenpompinstallaties**
  - 7.4.3.1 Middenpompinstallatie in relatie tot middenkanaal tevens vluchtgang
  - 7.4.3.2 Middenpompinstallatie in een geboorde tunnel
- 7.4.4 **Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders**
  - 7.4.4.1 Algemeen
  - 7.4.4.2 Principe
  - 7.4.4.3 Motivering
  - 7.4.4.4 Uitvoering hellingkelders
- 7.4.5 **Installaties 34 Bronpompinstallaties**
  - 7.4.5.1 Algemeen
  - 7.4.5.2 Principe
  - 7.4.5.3 Onttrekking grondwater
  - 7.4.5.4 Stilstand
  - 7.4.5.5 Onderhoud



---

Tunnel technische installaties



## 7.4 30 DRAINAGEPOMP INSTALLATIES

### 7.4.1 Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties

#### 7.4.1.1 Doel van drainagepompinstallaties

Alle tunnels die zijn gelegen beneden het omringende oppervlaktewaterniveau, moeten worden voorzien van één of meer drainagepompinstallaties. Deze hebben tot doel regen en lekwater van de tunnel en de open afritten te verzamelen en af te voeren. De algemene eisen voor drainagepompinstallaties staan in de VRC.

De drainagepompinstallaties kunnen worden onderscheiden in:

1. **Hoofdpompinstallaties**; ontworpen voor het verzamelen en afvoeren van regenwater dat is gevallen op de op de tunnel afvoerende verharde oppervlakken en aangrenzende bermen en taluds.  
*N.B. Voor het verzamelen en afvoeren van de eerste 4mm run-off water van de op de tunnel afvoerende weg-oppervlakken wordt vaak een aparte (vuilwater)-tussenkelder geëist. Deze vuilwater-tussenkelder moet beschouwd worden als onderdeel van de hoofdpompinstallaties.*
2. **Middenpompinstallaties**: ontworpen voor het afvoeren van lekwater, bluswater en andere vloeistoffen die binnen de overdekte tunnel kunnen vrijkomen (bij een calamiteit). De middenpompinstallatie voert af op de hoofdkelder of indien aanwezig beide hoofdkelders door middel van gescheiden of te scheiden afvoerleidingen.  
*N.B. Water dat vrijkomt bij schoonmaken van de tunnel moet altijd afzonderlijk worden afgevoerd door het schoonmaakbedrijf en komt dus niet ten last van de tunnelinstallatie.*  
Bij zeer korte tunnels wordt de middenpompkelder vrijwel altijd gecombineerd met de hoofdkelder; d.w.z. in deze situatie is de tunnel voorzien van één pompinstallatie waar de afritten voor en na de tunnel op afvoeren en waar tevens het interieur van de tunnel op loost. Dit soort pompinstallaties moeten behandeld worden als hoofdpompinstallatie.
3. **Hellingpompinstallaties of hellingkelders**: dit zijn pompinstallaties die het regenwater vanaf de bij de tunnelomgeving behorende vlakken en hellingen opvangen en afvoeren, voorzover dit niet langs natuurlijke weg mogelijk is
4. **Bronpompinstallaties**: In zeer uitzonderlijke gevallen moet onder het tunneltracé een permanente grondwaterstandverlagende bemaling worden aangebracht ter beheersing van de waterstand binnen een door damwanden of diepwanden omsloten gebied.  
*N.B. Een bronpompinstallatie is geen normale drainage-installatie en wordt hieronder dan ook niet als zodanig beschreven.*

#### 7.4.1.2 Algemene beschrijving van drainagepompinstallaties

Een drainagepompinstallatie bestaat uit:

- a. een waterkelder waarop de te draineren oppervlakte afwatert;
- b. drainagepompen: In principe zijn 2 uitvoeringen mogelijk:
  1. Uitvoering met dompelpompen binnen het waterreservoir: De pompen bevinden zich binnen het waterreservoir. Dit heeft als voordeel dat geen afzonderlijke droge ruimte naast het waterreservoir hoeft te worden aangelegd ten behoeven van de pompopstelling. Daarbij zijn dompelpompen direct uitwisselbaar. Onderhoud en opheffen van storingsen (verstopping) behoeft niet ter plaatse te worden uitgevoerd. Lekkages leiden niet tot wateroverlast. Dompelpompen moeten van bovenaf bereikbaar zijn.



2. Een droge pompopstelling: In geval het onmogelijk is om dompelpompen toe te passen moet een droge pompopstelling worden gebruikt. Dit heeft enkele kenmerkende nadelen: Hoge kosten vanwege de noodzaak een afzonderlijke droge ruimte naast de waterkelder (dus onder riolniveau) aan te leggen t.b.v. de pompopstelling; Droge pompen zijn niet direct uitwisselbaar zodat onderhoud en reparatie altijd ter plaatse moet worden uitgevoerd; Daarbij moet bij verstopping altijd de pomp gedemonteerd worden om het inwendige van de pomp te kunnen bereiken; Lekkages van de pompen of appendages leiden altijd tot wateroverlast in de droge ruimte.  
Een droge pompopstelling kan noodzakelijk zijn bij grote opvoerhoogten omdat in het algemeen dompelpompen geen hoge bedrijfsdruk kan opbrengen en in geval het onmogelijk is de pompinstallatie van bovenaf te bereiken.
- c. In elke waterkelder tenminste 2 (dompel)pompen, waarbij (uitgezonderd de middenpompinstallatie), de totaalcapaciteit van de pompinstallatie, verminderd met de capaciteit van 1 pomp moet voldoen aan de gewenste capaciteit. Mede bepalend voor de keus van het aantal pompen is de beschikbare kelderinhoud in verhouding tot de af te voeren hoeveelheid water, en pompbedrijfstijden.  
De capaciteit van de middenpompkelder mag bij uitvallen van één pomp minder zijn dan de geëiste hoeveelheid mits deze situatie tijdelijk is.
- d. Een droge ruimte (pompkamer) waarin de schakelkast en andere bedieningsapparatuur en appendages behorend bij de pompen staan opgesteld. In kleine installaties is een droge ruimte niet noodzakelijk en kan worden volstaan met een afsluitbare nis in de tunnelwand of een kast op het maaiveld.
- e. In zeer kleine installaties is plaatsing van een prefab pompput+pompunit mogelijk.

### **Afvoer**

Waar mogelijk, voeren de hoofdpompinstallaties af op het meest nabij gelegen, daarvoor geschikte oppervlaktewater. Waar dit niet toegestaan of onmogelijk is, zoals in een stedelijke omgeving, moet worden afgevoerd op het openbare riool. In de regel worden hierbij limieten gesteld aan de maximale hoeveelheid die per tijdseenheid op het riool mag worden geloosd. Dit betekent dat hoeveelheden groter dan deze limiet geborgen moeten kunnen worden in de waterkelder.

In voorkomende gevallen moet worden afgevoerd op een helofytenveld, bezinkingsvijver of moet worden voorzien in een eigen zuiveringsinstallatie.

Bij het ontwerp van drainagepompinstallaties moet erop gelet worden dat oppervlakten die niet behoeven af te wateren op de tunnelinstallaties, dit ook niet doen. Iedere overbodige belasting van de drainagepompinstallatie kost extra en overbodige pompcapaciteit en waterkelderinhoud.

Om te voorkomen dat bij onderhoudswerkzaamheden of door beschadiging de afvoerleiding volledig buiten gebruik wordt gesteld, deze bij belangrijke installaties redundant (dubbel) uitvoeren, dat wil zeggen de pompen verdelen over twee afvoerleidingen die volledig gescheiden het weggepompte water afvoeren tot aan het lozingspunt (eventueel wel volgens hetzelfde tracé).

### **Zuivering, slibafscheiding**



Ten gevolge van voorschriften van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) of eisen van de lokale waterbeheerder is het soms niet toegestaan om afvalwater uit de tunnel op open water in de omgeving te lozen. Het wordt dan noodzakelijk een scheiding uit te voeren tussen verontreinigd water uit de tunnel en van de weg (vuilwater), en niet verontreinigd regenwater van de omliggende terreinen (schoon water).

Een aantal mogelijkheden staan ter beschikking:

1. Het bouwen van een afzonderlijk wateropvangkelder (vuilwater-tussenkelder) voor de opvang van de eerste 4mm (run-off) regenwater die vanaf de verharde weg-oppervlakken wordt afgevoerd na aanvang van een regenbui. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de eerste 4mm run-off water van een wegdek na een droge periode veel sterker verontreinigd is dan het daarna volgende run-off water. Deze vuilwater-tussenkelders moeten zodanig worden uitgevoerd dat als de kelder vol is, de inhoud niet meer gemengd wordt met nadien aangevoerde hoeveelheden water.

De inhoud van de vuilwater-tussenkelders wordt d.m.v. een separate pompinstallatie op een vaste tijd 1x24uur afgevoerd naar b.v. een gemeentelijk riool of een zuiveringsinstallatie, en komt aldus niet ongezuiverd ten laste van het oppervlaktewater. Daarna is de kelder weer gereed voor de volgende 4mm run-off water

Er wordt vanuit gegaan dat onder normale omstandigheden binnen 24uur na binnenstromen van het eerste 4mm run-off water geen ernstige vervuiling van het wegdek meer optreedt.

Voor uitvoering van een vuilwater tussenkelder zie volgend voorbeeld:

2. Het aanbrengen van een bezinkvijver waarop de tunnelinstallatie afvoert. In de bezinkvijver kan slib uit de tunnel bezinken. Aangezien de meeste verontreinigingen aan slib gebonden zijn wordt middels slibverwijdering een voldoende zuivering vergekregen om lozing op open water mogelijk te maken. Een bezinkvijver kan eenvoudig gecombineerd worden met een helofytenveld
3. Aanbrengen van een helofytenveld. Hierbij doorstroomt het afvalwater een met helofyten begroeid gebied(je) waarin langs natuurlijke weg een diversiteit aan giftige stoffen uit het water wordt afgescheiden.
4. Voorts kan verplicht worden een olie-scheiding uit te voeren. Hoewel het aandeel olie en vet-achtige stoffen in het run-off water gering is vergt dit vrij uitgebreide installaties. Een mogelijk oplossing is een olieafscheiding in de waterkelder zelf uit te voeren. Om dit te bereiken moet het uitschakelpeil van de pompinstallatie zodanig worden ingesteld dat altijd minsten 10cm water (+ eventuele olielaag) in de kelder achterblijft. Een eventueel gevormde olielaag kan bij onderhoudsbeurten separaat worden afgezogen en afgevoerd.

In alle gevallen mag een zuivering gepasseerd worden tijdens een extreem wateraanbod (overloop/overstort).





---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties

**VOORBEELD****Schoon-vuilwaterscheiding van de eerste 4 mm run-off water van een wegdek****Algemeen**

Indien de eerste 4mm run-off water van een rijksweg niet ongezuiverd geloosd mag worden op open water, is het noodzakelijk een scheiding uit te voeren tussen dit eerste run-off water en het overige run-off water.

In algemeen wordt de eerste 4mm regenval binnen een bepaalde periode (bijv. 24 uur of 12 uur) als vuil water beschouwd en moet apart opgevangen en gescheiden afgevoerd worden.

Het overige, daaropvolgende water wordt als schoon water beschouwd en mag wel op open water geloosd worden.

Dit voorbeeld betreft een scheiding d.m.v. een overloop op twee niveau's.

**Overloopscheiding**

De overloop vanuit de zandvang naar de vuilwaterkelder ligt op een lager niveau dan de overloop naar de schoonwaterkelder. Pas op het moment dat de vuilwaterkelder volledig gevuld is stijgt het waterniveau verder en stroomt over naar de schoonwaterkelder. Zolang de vuilwaterkelder gevuld is, wordt alle uit het riool afkomstige water toegevoerd naar de schoonwaterkelder.

**Regeling vuilwaterkelder:**

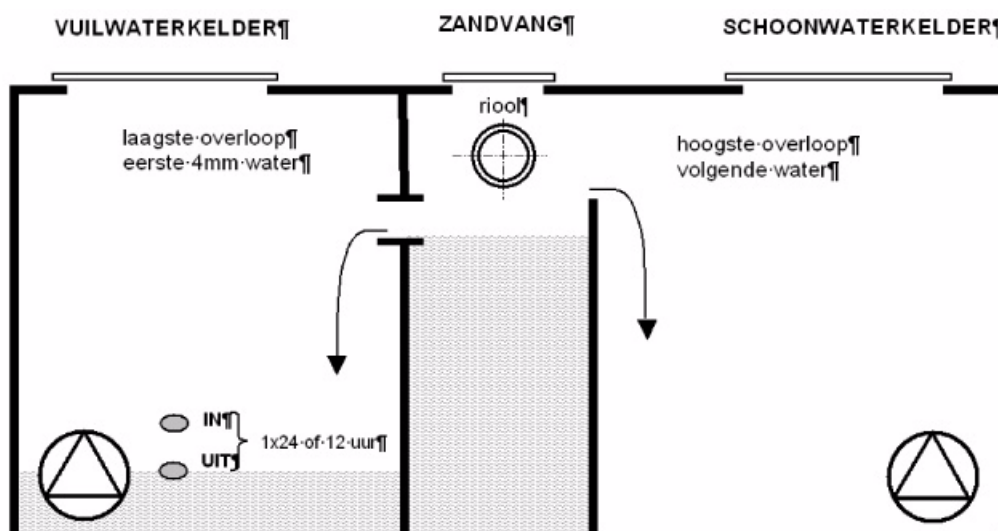
De vuilwaterpompinstallatie wordt in principe op dezelfde wijze geregeld als een normale pompinstallatie; d.w.z. bij een IN-niveau schakelt de pomp in. Bij een UIT-niveau schakelt de pomp uit. De pomp in de vuilwaterkelder wordt 1x24 uur of 1x12 uur (op een vast tijdstip naar keuze) vrijgegeven. Bij het bereiken van het UIT-niveau wordt de pompinstallatie opnieuw geblokkeerd. Indien op het moment van vrijgeven geen water in de kelder aanwezig is zal bij de eerste gelegenheid dat het IN-niveau wordt bereikt de pompinstallatie inschakelen en pas weer worden geblokkeerd op het moment dat daarna het UIT-niveau wordt bereikt.

De pomp (of pompen) moeten in staat zijn om de inhoud van de vuilwaterkelder binnen 12 uur af te voeren.

**Regeling schoonwaterkelder:**

Als een normale regenwaterkelder. Inhoud en capaciteit gebaseerd op regenwaterhoeveelheden. Bij berekening van de totaal benodigde nuttige berging bij regenbuien met een herhalingsstijd > 50 jaar de nuttige inhoud van de vuilwaterkelder niet meerekenen (vuilwaterkelder is vol, en niet beschikbaar).

Bij berekening van de totaal benodigde nuttige berging bij regenbuien met een herhalingsstijd < 50 jaar de nuttige inhoud van de vuilwaterkelder wel meerekenen (vuilwaterkelder is leeg en beschikbaar).





### 7.4.1.3 **Berekening af te voeren waterhoeveelheid, vertragsfactoren, waterberging**

#### **Waterhoeveelheid**

Voor de berekening van hellingpompinstallaties en hoofdpompinstallaties gebruik maken van statistische gegevens van het KNMI. (C.Braak, 1933, Het klimaat van Nederland, "Neerslag" en Buishand en Velds, 1980, "Neerslag en Verdamping")

- a. Bij tunnels in belangrijke verbindingen uitgaan van een extreme regenwaterhoeveelheid 1x 250 jaar. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de z.g.n. kromme van Braak, eventueel volgens de statistische gegevens van Buishand en Velds. De gegevens van Buishand en Velds gaan niet verder dan een herhalingstijd van 1x100 jaar. Braak 1x250jaar heeft daarom de voorkeur. Voor een uiteenzetting van de berekeningsmethode, zie de bijlage: "Het gebruik van de kromme van Braak". P.Fournier, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 30 maart 2004
- b. Bij tunnels in minder belangrijke verbindingswegen kan een lagere frequentie dan 1x250 jaar worden aangenomen, bijvoorbeeld 1 x 50 jaar.
- c. De berekening van de af te voeren hoeveelheid water bij tunnelafritten gelegen binnen een vliesconstructie, verschilt in principe niet van die bij afritten binnen damwanden of kanteldijken. De af te voeren hoeveelheden moeten echter worden verhoogd met de lekkagehoeveelheden van het vlies.

Bij pompkelders of hellingkelders waarbij neerslaghoeveelheden tijdelijk kunnen worden geborgen binnen een vlies of in bermsloten (telt mee als berging) is de berging soms zo groot dat bij toepassing extreme hoeveelheden schijnbaar volstaan kan worden met een zeer geringe afvoercapaciteit (en dus een lange afvoertijd).

Indien dit het geval moet bij de berekening van de pompinstallaties rekening worden gehouden met cumulatieve neerslaghoeveelheden binnen een aaneengesloten periode van een aantal dagen. Zie hiervoor de hoeveelheden die Buishand en Velds aangeven binnen een aaneengesloten periode van 10 dagen met een herhalingstijd van 100 jaar.

- d. De middenpompkelder moet minimaal waterleveringscapaciteit van de brandblusinstallatie kunnen afvoeren. Alle overige gedurende een langere periode te verwachten hoeveelheden ten last van deze kelder zijn geringer. Het is gebruikelijk middenpompen te kiezen met elk een minimumcapaciteit van 1,5 m<sup>3</sup>/min per stuk indien werkend op 1 afvoerleiding. Meestal kan in een middenpompinstallatie (die geen of een nauwelijks variërend aanbod heeft) worden volstaan met 2 pompen
- e. Voor de berekening van de afvoer naar vuilwater-tussenkelders uitgaan van een vaste hoeveelheid van 4mm/ha wegoppervlak. Hoeveelheden >4mm/ha mogen doorstromen/overlopen naar de hoofdwaterkelder. De vuilwaterkelders moeten 1x 24 uur worden leeggepompt naar een zuivering of een gemeentelijk riool. De max.af te pompen hoeveelheid per tijdseenheid wordt bepaald door de zuivering- c.q. rioolcapaciteit en de toegestane leveringslimiet.



Gezien de mogelijkheid dat een vuilwater-tussenkelder geheel gevuld is op het moment dat de maatgevende statistische bui moet worden afgevoerd, mag deze niet volledig worden meegerekend in de totale waterbergingscapaciteit van de hoofdkelder, doch kan een deel van de inhoud worden meegerekend aan de hand van de kans dat de tussenkelder geheel gevuld is.

Voor een voorbeeld van het gebruik van de kromme van Braak, zie bijlage 30-1

### **Vertragsingsfactoren (afvloeiingscoëfficiënten)**

Bij het berekenen van afvoerhoeveelheden (neerslag in mm x oppervlak in m<sup>2</sup>) wordt de afvoeroppervlakte geheel of gedeeltelijk in rekening gebracht afhankelijk van de mate van absorptie of vertraging die optreedt:

- Neerslag op verharde oppervlakken wordt per definitie direct afgevoerd naar het riool of de waterberging. De vertragsingsfactor is 1. Het in rekening te brengen netto oppervlak is 100%.
- Voor kortdurende buien is de absorptie en berging in dicht bebost en met struiken beplant terrein vrijwel 100%. De vertragsingsfactor is 0 (alle water wordt vastgehouden en opgenomen).
- Voor met gras begroeide terreinen zoals waarmee tunnelingangen en toeleidende wegen in het algemeen zijn omgeven moet bij de berekening van het netto afvoeroppervlak met de volgende vertragsingsfactoren rekening worden gehouden:
 

- verhard oppervlak	1
- onverhard horizontaal	0,1
- talud 1:5 tot 1:3	0,1
- talud 1:3 tot 1:1	0,2
- talud 1:5 tot 1:3 (met kleibekleding)	0,2
- talud 1:3 tot 1:1 (met kleibekleding)	0,3

### **Berging**

- a. De minimum bergingscapaciteit, van de hoofdkelders en middenpompkelders in tunnels waarin gevaarlijke stoffen worden toegelaten is aangegeven in de VRC. Overigens hangt de bergingscapaciteit van een pompinstallatie samen met de grootte en vorm van het oppervlak dat afvoert op de waterkelder, afvoeroppervlakte en de tijd die nodig is om de geborgen hoeveelheid af te voeren. De VRC-richtlijnen geven dus minimum vereiste inhouden.
- b. Onder nuttige bergingscapaciteit van een pompkelder wordt verstaan: de inhoud tussen het inschakelniveau van de pompen en het maximale niveau. Afgezien van de minimum VRC-eisen met betrekking tot de minimum inhouden en vloeistofoppervlak, voldoet een goede pompinstallatie aan de volgende eisen:
  - De bergingscapaciteit van de pompkelder in een hoofdpompinstallatie in een verkeerstunnel moet voldoende zijn om, indien alle pompen minus 1 in werking zijn, het volume regenwater dat niet direct door de pompinstallatie kan worden afgevoerd tijdens de bui 1 x 250 jaar, te bergen (kelder mag niet overstromen).
  - Indien alle pompen in werking zijn mag het in het kelder ingestelde hoogwaterniveau niet worden overschreden.



- De bergingscapaciteit van een middenpomp-waterkelder moet bij voorkeur zo groot zijn, dat een minimale draaitijd van + 7 min. van de middenpompen nodig is om het geborgen water weg te pompen (pomp mag niet pendelen).

*N.B. De nuttige bergingscapaciteit van een waterkelder kan aanzienlijk worden vergroot door de pompen te plaatsen in een verdiept gedeelte van de waterkelder, zodanig dat het uitschakelniveau van de pompinstallatie gelijk komt te liggen met het vloerniveau van de waterkelder. De volledige inhoud wordt nu nuttig voor berging. Indien de pompen niet verdiept worden geplaatst zal het uitschakelniveau altijd enige tientallen centimeters boven de vloer van de waterberging komen te liggen. De daardoor permanent aanwezige laag water is volledig verlies van nuttige bergingsruimte.*

*Indien bewust gekozen wordt voor een hoog inschakelpeil om de afvoer van op het water drijvende olie te verhinderen, moet dus de niet-afgevoerde vloeistof in mindering worden gebracht op het nuttige bergingsvolume van de pompkelder.*

#### 7.4.1.4 Niveauregeling

- a. De drainagepompinstallaties zijn autonoom werkend.

Dat wil zeggen: bij stijgend waterniveau in de waterkelder starten de pompen achtereenvolgend, totdat na daling van het waterniveau het minimumniveau bereikt is. Bij dit niveau stoppen alle pompen gelijktijdig.

Om een zo groot mogelijk bergingscapaciteit in de waterkelder bereiken, moeten de pompen kort na elkaar inschakelen op niveaus dicht boven de vloer van waterkelder, ongeveer 10-15cm boven elkaar. Het verschil tussen het eerste inschakelpeil en het uitschakelpeil moet voldoende zijn voor een draaitijd van ongeveer 7 minuten voor één pomp.

Het uitschakelpeil moet zo laag mogelijk worden gekozen als de pompen toelaten i.v.m. luchtaanzuigen en/of koeling.

- b. Indien tengevolge van een storing (of te klein berekende pompinstallatie) het waterniveau doorstijgt tot het hoogwaterniveau, krijgen alle pompen een startcommando en wordt een hoogwateralarm gegeven. Het startcommando blijft gehandhaafd totdat het hoogwateralarm wordt gereset.

*N.B. Een uitzonderingssituatie is de z.g.n. "calamiteitenregeling": In tunnels geschikt voor het vervoer van gevaarlijke stoffen worden bij een calamiteit de drainagepompen gestopt om te voorkomen dat bij de calamiteit vrijgekomen gevaarlijke, of sterk verontreinigde stoffen ongezuiverd worden weggepompt naar buiten de tunnel. Vlak voor het moment dat de kelder dreigt over te lopen moet een keus worden gemaakt tussen overlopen van de waterkelder in de tunnel, waarbij mogelijk een gevaarlijke stof in de tunnelbuis wordt verspreid, óf starten van de pompen waardoor de gevaarlijke stof uit de kelder wordt weggepompt en mogelijk wordt verspreid in het milieu.*

*In deze situatie is gekozen voor een niveauschakeling waarbij op het hoogst toelaatbare niveau in de kelder, boven de hoogwaterniveaumeting, een extra hooghoogwater meting wordt geïnstalleerd. Bij de hoogwatermelding wordt een alarm gegeven. Indien het water in de kelder doorstijgt worden op het hooghoogwaterniveau de pompen ingeschakeld en weer uitgeschakeld direct na het onderschrijden van het hooghoogwaterniveau. Aldus ontstaat een pendelende regeling waarbij de kelder maximaal vol blijft staan, niet overloopt, en de minimumhoeveelheid water/ gevaarlijke vloeistof wordt afgevoerd.*

*De calamiteitenregeling is van toepassing op alle pompinstallaties, dus ook op de middenpompinstallaties die afvoeren op hoofkelders.*

- c. Hooghoog en laagwaterbewakingen uitvoeren met afzonderlijke "harde" meting (niveauwippers) die direct de pompen aansturen, zo mogelijk zonder tussenkomst van de besturingsinstallatie.



### 7.4.1.5 Algemeen uitvoeringsdetails

- a. Ruimten direct grenzend aan de waterkelder, daar niet volledig luchttechnisch van afgesloten, ventileren met buitenlucht of lucht vanuit het kabelkanaal of middenkanaal onder handhaving van een geringe overdruk, zodanig dat eventuele verdampingsprodukten uit de waterkelder de aangrenzende ruimten niet kunnen binnendringen.

De waterkelder van de middenpompinstallatie mag om deze reden niet rechtstreeks toegankelijk zijn vanuit kabelkanalen- of dienstgangen, maar mag slechts via een afzonderlijke, afgescheiden ruimte naast- of boven de waterkelder kunnen worden betreden.

Uitsluitend indien een gasdichte afsluiting tussen de waterkelder en de aangrenzende kabelkanalen-of dienstgangen aanwezig is én de kabelkanalen-of dienstgangen voortdurend onder een geringe overdruk worden gehouden t.o.v. de waterkelder, kan een tussenruimte worden weggelaten.

- b. Afvoeren van eventuele in de waterkelders aanwezige gevaarlijke vloeistof naar een buiten de tunnel gelegen alternatief reservoir, tankwagen of tankschip mogelijk maken door middel van een permanente voorziening op de pompinstallatie, bij voorkeur d.m.v. een Storz aansluiting op de hoofdafvoerleiding van de pompinstallatie. Hierbij moet een aardingspunt voor het aarden van de tankwagen of tankschip aanwezig zijn.
- c. Alle in de tunnel uitstromende vloeistoffen verzamelen zich in de pompkelders. In tunnels waarin vervoer van gevaarlijke stoffen is toegelaten, is het noodzakelijk er rekening mee te houden dat explosiegevaarlijke stoffen de pompkelders kunnen binnenstromen. Dit impliceert dat de pompen en alle overige apparatuur binnen de waterkelder van de pompkelders explosieveilig moet zijn, geschikt voor toepassing in zone 1 conform NPR 7910:2000..
- Alle in de aangrenzende, niet volledig van de waterkelder afgesloten ruimten explosieveilig uitvoeren (Ex) G4 (zone 2 conform NPR 7910:2000).  
Gezien de hoge kosten van Ex-beschermde apparatuur, zo veel mogelijk apparatuur buiten de explosiegevaarlijke zones onderbrengen.
- d. Indien droog opgestelde drainagepompen moeten worden toegepast in tunnels waarin het vervoer van gevaarlijke stoffen is toegestaan, moet ofwel de ruimte inclusief de pomp geheel worden ingericht conform zone 2, ofwel moeten de pompen van een pakkingbus met spervloeistof worden voorzien, i.v.m. de vereiste geschiktheid voor het verpompen van gevaarlijke vloeistoffen
- e. Classificatie

Volgens de Europese classificatie van gevaarlijke ruimten worden Ex-zônes als volgt gedefinieerd:

zône 0: gebied waarin continu of gedurende het grootste deel van de tijd een explosieve atmosfeer aanwezig is

zône 1: gebied waar gedurende normaal gebruik een explosieve atmosfeer aanwezig kan zijn;

zône 2: gebied waar gedurende normaal gebruik geen explosieve atmosfeer aanwezig is, en indien de explosieve atmosfeer in deze ruimte ontstaat, is dit gedurende een korte periode;

- f. Dompelpompen zo mogelijk voorzien van 1 aansluitkabel. Indien nietv gasdicht hoeft te worden gewerkt, de pompaansluitkabel(s) via ruime sparingen



doorvoeren naar een droge ruimte en aldaar op een wandcontactdoos aansluiten door middel van een CEE contactstop, zodanig dat bij het verwijderen van de pomp, de elektrische aansluiting zonder demontagewerkzaamheden kan worden losgenomen.

Als dit niet mogelijk is een werkschakelaar per pomp aanbrengen

- g. Nabij de pompen een startstop bediening per pomp aanbrengen; indien een pomp met de drukknop "start" is ingeschakeld, moet deze bij het bereiken van het "uit" niveau automatisch uitschakelen, tenzij de drukknop "start" wordt vastgehouden.
- h. Pompinstallaties voorzien van een aftapmogelijkheid bij vorst, die eventueel permanent open kan blijven staan zonder de goede werking van de pompinstallatie te beïnvloeden, of een thermostaatgeschakelde afvoerleidingverwarming aanbrengen door middel van verwarmingsmanchetten.
- i. Een minimaalstroommeting per pomp aanbrengen ter controle op de goede werking. De pompen nooit uitschakelen n.a.v. een minimaalstroommeting, maar alleen melden, want een minimaal werkende pomp doet altijd nog meer dan een stilstaande pomp, en vrijwel alle pompinstallaties zijn geschikt voor "droogdraaien".
- j. Doorgaande afvoerleidingen op tegen een tunnelbrand beschermde plaatsen, mogen zijn uitgevoerd in HDPE (PE 100 of PE 80). Overig pijpwerk –in ieder geval pijpleidingenwerk en pijpleidingen binnen pompkamers, waterkelders en dienstgebouwen, uitvoeren in staal, thermisch verzinkt volgens NEN-EN-ISO 1461.
- k. Membraanafsluiters genieten de voorkeur bij toepassing in vuilwaterleidingen.
- l. Pompinstallaties zo mogelijk voorzien van een eigen, zelfstandige hijsvoorziening.
- m. Instroomopeningen naar pompkelders vanuit open water, afschermen dmv. een krooshek.

*N.B. Om over een langere periode een min of meer gelijk aantal draaiuren per pomp te bereiken moeten pompen cyclisch worden ingeschakeld; d.w.z. alle pompen binnen dezelfde waterkelder worden bij elke eerste start achtereenvolgend de eerst-inschakelende pomp*

*Bijvoorbeeld bij een installatie met 4 pompen worden bij doorstijgend niveau in de cyclus pomp 1234 IN alles UIT geschakeld en bij de volgende start vervolgens pomp 2341 IN alles UIT etc.*

*Indien over een langere periode een aanmerkelijke afwijking ontstaat in het aantal draaiuren van één pomp t.o.v. de overige pompen, is dit een indicatie dat deze pomp niet goed functioneert gezien de gemiddeld; d langere tijd die deze pomp nodig heeft om dezelfde prestatie te verrichten.*

#### **7.4.1.6 Mogelijkheden tot reductie van kosten bij pompinstallaties**

- Zoals reeds gesteld is het niet economisch om water dat langs natuurlijke weg kan worden geloosd af te voeren via een pompinstallatie.
- Voor een gegeven prestatie is een kleine pompinstallatie die veel draaiuren maakt economisch gunstiger dan een grote pompinstallatie die weinig uren maakt. E.e.a. staat in relatie tot de waterkelderinhoud. Bij een gegeven hoeveelheid af te voeren water moet de pompinstallatie groter zijn naarmate de kelderinhoud kleiner is.



- Een droog opgestelde installatie neemt meer ruimte in beslag en is veel duurder dan een natte, pompinstallatie. Reparaties en ontstoppen/schoonmaken van droog opgestelde pompen is veel arbeidsintensiever en werkzaamheden moeten ter plaatse worden verricht. Een pompinstallatie werkt daarom kostenbesparend op ontwerp en exploitatie.





---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## 7.4.2 Installaties 31 Hoofdpompinstallaties

### Aandachtspunten

- Omdat hoofdpompkelders hun water hoofdzakelijk ontvangen van buiten de tunnel gelegen oppervlakken, moeten de waterkelders zo dicht mogelijk bij de uitgang van de tunnel worden geplaatst, liefst juist buiten het overdekte gedeelte van de tunnel (buiten de hoofdconstructie van de tunnel).
- De zandvangen dienen vanaf de openbare weg gereinigd te kunnen worden. Ze moeten daarom bereikbaar te zijn d.m.v. een (zwaarverkeer) luik, geplaatst buiten de rijbaan buiten de kantstrepen. Het luik dient onverliesbaar (scharnierend) te zijn bevestigd aan de luikomranding, om te voorkomen dat een losgereden of losliggend luik door de tunnel gaat zwerven.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## **7.4.3 Installaties 32 Middenpompinstallaties**

### **7.4.3.1 Middenpompinstallatie in relatie tot middenkanaal tevens vluchtgang**

Middenpompkelders zijn altijd gesitueerd op het diepste punt van de tunnel. Op deze plaats is inherent ruimtegebrek en daarom is het moeilijk om te voldoen aan de VRC-eisen met betrekking tot minimale berging en scheiding tussen explosiebeveiligde ruimten en overige niet Ex.ruimten.

In zinktunnels met een middenkanaal worden in de meeste gevallen de middenpompen ondergebracht onder het middenkanaal. Indien mogelijk moet hierbij gestreefd worden naar een afzonderlijke, van het middenkanaal afgescheiden middenpompkamer. In gevallen dat gebruik van de middengang als doorgaande vluchtweg dit niet mogelijk maakt, moet in eerste instantie gezocht worden naar een middenpompkamer buiten de vluchtweg. Indien dit niet mogelijk is komt een oplossing in aanmerking waarbij de scheiding tussen waterkelder en vluchtweg tot stand wordt gebracht d.m.v. gasdichte luiken. Omdat de gasdichtheid van vloerluiken na herhaald openen en sluiten, schoonmaakwerkzaamheden ter plaatse, veroudering etc. niet meer zeker is, moet bij deze oplossing gekozen worden voor een permanent werkende overdrukinstallatie die de vluchtweg permanent op overdruk ventileert, zodanig dat gas/lucht lekkages van de waterkelder niet de vluchtweg kunnen binnendringen, en indien zij toch optreden, direct worden verdund en weg geventileerd.

### **7.4.3.2 Middenpompinstallatie in een geboorde tunnel**

In boortunnels in zachte boden zoals in Nederland gebruikelijk, is het niet mogelijk een middenpomp-waterkelder onder het diepste punt van de tunneldoorsnede aan te brengen.

- a. Dit impliceert dat de waterkelder binnen het (ronde) boorprofiel van de tunnel, onder het wegdek moet worden aangebracht.  
Bij gebruik van dompelpompen zijn in deze situatie pompluiken in de rijweg noodzakelijk. Dit beperkt de bereikbaarheid van de pompen aanzienlijk (een tunnelbuisafsluiting is vereist) en beperkt daardoor tevens de mogelijkheid snel in te grijpen bij storingen. Gezien het belang geen water op de weg te hebben en de tunnel permanent in bedrijf te houden moet in dit geval worden overwogen een droge ruimte naast de middenpomp-waterkelder aan te brengen, waarin in ieder geval direct bereikbare appendages en schakelapparatuur kunnen worden ondergebracht. Omdat pompluiken in de rijbaan zeer ongewenst zijn moet in deze situatie wellicht worden overgegaan op droog opgestelde drainagepompen, te plaatsen in de droge ruimte naast de middenpomp-waterkelder.
- b. De situatie van de waterkelder binnen het ronde profiel van de tunnel (dus hoger dan het diepste punt) impliceert tevens dat het allerdiepste punt van de tunnel niet langs natuurlijke weg kan worden gedraineerd naar de middenpomp-waterkelder. een afzonderlijke –kleine pompinstallatie is hiervoor noodzakelijk met voldoende capaciteit om lekwater van de tunnel te kunnen afpompen naar het enkele meters hoger gelegen niveau van de middenpomp waterkelder.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## **7.4.4 Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders**

### **7.4.4.1 Algemeen**

Hellingkelders of hellingpompinstallaties worden geplaatst bij tunneltoeritten tussen kanteldijken, waarbij een vrij groot gebied binnen de kanteldijken moet worden gedraineerd.

Hellingkelders onderscheiden zich in principe niet van een klein poldergemaal en zijn uitsluitend bedoeld om regen en drangwater over de kanteldijk te pompen naar open water daarbuiten. Berekening van de hoeveelheden d.m.v. de gegevens van Buishand en Velds, herhalingsstijd 1x100jaar.

### **7.4.4.2 Principe**

Een waterkelder is niet noodzakelijk. Als waterberging volstaat een sloot of vijver waarnaast een gemaaltje in de vorm van een betonnen bak waarin enkele pompen worden geplaatst.

Aandacht moet worden besteed aan filtering van het binnenstromend water (waterplanten, gras, drijvend afval). Een z.g.n. grove filtering d.m.v. een krooshek is meestal voldoende.

### **7.4.4.3 Motivering**

Indien het te draineren gebied niet al te groot is kan het voordeliger zijn af te wateren naar de tunnel. Het is echter veel duurder de op een lager niveau gelegen hoofdpompinstallatie van de tunnel te voorzien van extra waterkelderberging en extra pompcapaciteit te installeren dan een klein gemaal op maaiveldniveau. Bovendien is tijdelijk overstromen van het gebied binnen de kanteldijken geen probleem. Onderin de tunnel echter wel. Bij een hellingkelderinstallatie op maaiveldniveau is dus een lager risico en er kan dus met minder reserve in de pompinstallatie worden volstaan.

### **7.4.4.4 Uitvoering hellingkelders**

In het algemeen hoeven hellingkelders niet EX te worden uitgevoerd.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## **7.4.5 Installaties 34 Bronpompinstallaties**

### **7.4.5.1 Algemeen**

Bronpompinstallaties hebben in het algemeen een tijdelijk karakter en worden aangebracht voor de drainage van een diep gelegen bouwkuip.

In zeer uitzonderlijke gevallen, bij falen van de permanente voorzieningen (lekkende bodemafsluiting, lekkende diepwanden of damwanden rondom een tunneltoerit) is de grondwatertoeloop moet onder of naast het tunneltracé zodanig, dat een permanente grondwaterstandverlagende bemaling worden aangebracht.

Indien mogelijk moet deze situatie worden vermeden.

### **7.4.5.2 Principe**

Bij een bronpompinstallatie wordt gebruik gemaakt van tot onder de plaatselijke grondwaterstand geboorde bronbuizen waarin een bronpomp is opgehangen.

Bronbuizen zijn aan de onderzijde van een filter voorzien.

Het uit de bron opgepompte water is in de meeste gevallen niet verontreinigd, op sommige lokaties wél ijzerhoudend hetgeen uitvloeking van ijzeroxiden tot gevolg kan hebben op het moment dat het opgepompte water in contact komt met zuurstof in de lucht. Een aandachtspunt hieruitvolgend is dat het waterniveau in de bronbuis niet te diep verlaagd moet worden zodat het bronfilter onderin de buis droog komt te staan. Dit heeft neerslag van oxiden in het filter tot gevolg waardoor het dichtslibt. In het algemeen kan bronwater direct geloosd worden op open water.

### **7.4.5.3 Onttrekking grondwater**

Grondwateronttrekking is niet gratis. Afhankelijk van de afspraken met lokale autoriteiten moet betaald worden voor het opgepompte en geloosde grondwater. Hiervoor is een hoeveelheidsmeting en registratie noodzakelijk.

### **7.4.5.4 Stilstand**

Bronpompen zijn vrij kwetsbaar en mogen niet te lang achtereen stilstaan. Bij te verwachten langdurige stilstand moeten de pompen uit de bronbuis worden verwijderd

### **7.4.5.5 Onderhoud**

Bij langdurig gebruik kunnen bronbuizen dichtslibben. Bij teruglopende capaciteit kunnen zij door een gespecialiseerd bedrijf geregenereerd worden.







## Inhoudsopgave Ventilatiesysteem

- 7.5.1 Algemeen
- 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie
  - 7.5.2.1 Doel van tunnelventilatie
  - 7.5.2.2 Stratificatie
  - 7.5.2.3 Ventilatiesystemen
  - 7.5.2.4 Locatie langsventilatoren
  - 7.5.2.5 Ontwerpaspecten
  - 7.5.2.6 Enkele uitvoeringsaspecten van tunnelventilatoren; praktische wenken
  - 7.5.2.7 Schakelen van tunnelventilatie
- 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging
  - 7.5.3.1 Algemeen
  - 7.5.3.2 NO<sub>2</sub> - en zichtmeetapparatuur
  - 7.5.3.3 LEL-meting
- 7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers
  - 7.5.4.1 Algemeen
  - 7.5.4.2 Overdruk
  - 7.5.4.3 Ont-/beluchtungsleiding
  - 7.5.4.4 Gasdichtheid van luiken en springen
  - 7.5.4.5 Schakelen
- 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie
  - 7.5.5.1 Algemeen
  - 7.5.5.2 Ontwerpcriteria
  - 7.5.5.3 Berekeningsgegevens
  - 7.5.5.4 Schakelen



---

Tunnel technische installaties



## **7.5 35 VENTILATIESYSTEEM**

### **7.5.1 Algemeen**

Basisdocument voor het ontwerp en berekening van tunnelventilatie is de VRC.

Het onderdeel "Tunnelventilatie" uit de VRC is verder uitgewerkt in de "Aanbeveling Ventilatie van Verkeerstunnels" , uitgegeven door (nog onbekend)

Het Handboek Tunnelventilatie kan zelfstandig worden gebruikt voor ontwerp en berekening en geeft berekeningsmethoden voor het ontwerp en de berekening van tunnelventilatiesystemen en vermeldt maatgevende scenario's en waarden. Overigens is de VRC maatgevend.

Dit hoofdstuk 35 is bedoeld als toelichting en praktische wenken bij de Aanbeveling en de VRC





## 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie

### 7.5.2.1 Doel van tunnelventilatie

Tunnelventilatie dient:

- a. Voor het beheersen van de verontreinigingsgraad van de tunnellucht.
- b. Beheersen van temperatuur in de tunnel: In zeer lange tunnels kan temperatuurverhoging t.g.v. opwarming door het verkeer een ventilatiecriterium zijn.
- c. Voor het in een gewenste richting wegventileren van rook en gassen die bij een calamiteit kunnen vrijkomen.
- d. Voor het bewerkstelligen van een volledige verbranding ter plaatse van de brand. Onvolledige verbranding ter plaatse kan leiden tot her-ontsteking (explosie) van onverbrande verdampingsprodukten elders in de tunnel.

In korte tunnels hoeft geen kunstmatige ventilatie te worden aangebracht en kan onder alle omstandigheden worden volstaan met natuurlijke ventilatie. Vanaf een bepaalde lengte moet altijd kunstmatige ventilatie worden aangebracht. Zie hiervoor de beslismodellen en aanwijzingen in de VRC, hoofddocument hst.12.

### 7.5.2.2 Stratificatie

Bij een brand zullen rook en hete gassen naar het plafond van de tunnel stijgen en daarlangs naar de uitgangen stromen. Onder deze verontreinigde en hete laag is heldere en leefbare lucht aanwezig.

De stratificatie kan verbroken worden door afkoeling, turbulentie (bijvoorbeeld veroorzaakt door kunstmatige ventilatie) of overschrijding van de maximale rooklaagdikte. Tunnellengte is een belangrijke factor bij verbreken van de stratificatie ten gevolge van afkoeling. Boven een bepaalde lengte wordt installeren van kunstmatige ventilatie onontkoombaar. Zie hiervoor het Handboek Tunnelventilatie.

### 7.5.2.3 Ventilatiesystemen

Er bestaan in hoofdzaak de volgende methoden om tunnels te kunstmatig ventileren:

- a. **Langsventilatie:** Door de impulswerking van normaal rijdend verkeer wordt in de tunnelbuis een langsventilatiestroom opgewekt die in het algemeen voldoende is om de tunnel te ventileren.  
Bij stagnerend verkeer, ernstige verontreiniging en brand is deze ventilatiestroom niet meer toereikend of valt geheel weg. Bij het bereiken van deze situatie wordt d.m.v. kunstmatige langsventilatie in de normale rijrichting van het verkeer een langsventilatiestroom in de opgewekt, ondersteund of in stand gehouden, in voldoende mate om luchtverontreiniging af te voeren en rook en gassen uit de tunnelbuis weg te ventileren.  
Hierbij wordt ventilatielucht via de tunnelingang aangevoerd, door het gehele langsprofiel getransporteerd en via de tunneluitgang weer afgevoerd uit de tunnel. De tunnelbuis zelf is hierbij als het ware het ventilatiekanaal.  
Langsventilatie is het enige type ventilatie dat beheersing van gas- en rookstromen in de lengterichting van een tunnelbuis mogelijk maakt.



Voor het berekenen van de benodigde hoeveelheid lucht (luchtsnelheid) bij toepassing van langsventilatie is in het algemeen de brandsituatie bepalend. Maatgevend hierbij is het voorkómen van back-layering, d.w.z. het terugstromen van rook en gassen tegen de ventilatiestroom in.

Voor langsventilatie is een aanzienlijk geringer ruimtebeslag noodzakelijk en vergt ook overigens veel lagere investeringen dan andere typen kunstmatige ventilatie. Het is dus ook kostentechnisch aantrekkelijk om langsventilatie toe te passen. Toepassing als ventilatiesysteem om de concentratie van schadelijke gassen in de tunnellucht in de normale gebruikssituatie te beheersen wordt beperkt door de maximaal toelaatbare vervuiling van de lucht. Omdat alle ventilatielucht via de tunnelingang wordt aangezogen en pas bij de uitgang van de tunnelweer geloosd kan worden, wordt toepassing van langsventilatie in lange tunnels beperkt door de tegen het einde (afvoerszijde) van de tunnelbuis optredende concentratie schadelijke stoffen. De in wet of regelgeving maximaal toegelaten verontreiniging en de te verwachten verkeersintensiteit zijn aldus bepalend voor de tunnallengte waarbij nog langsventilatie kan worden toegepast.

In lange tunnels met een gemiddeld beperkt verkeersaanbod is het mogelijk dat bij een normaal te verwachten verkeersintensiteit gemakkelijk zou kunnen worden volstaan met langsventilatie.

De te verwachten verontreinigingsconcentratie in piek-situaties, zoals bij extreme drukte of langdurig fileverkeer kan het echter in dit soort tunnels noodzakelijk maken te kiezen voor een ander ventilatiesysteem.

In deze situatie zou wel een langsventilatiesysteem kunnen worden geïnstalleerd indien in extreme situaties het verkeer gedoseerd kan worden toegelaten tot de tunnel zodanig dat binnen de tunnel het verkeer altijd stromend blijft met een minimale snelheid. De file blijft buiten de tunnel en het verkeer wordt in zodanige aantallen in de tunnelbuis toegelaten dat hierin voldoende verkeerssnelheid kan worden gehaald om te grote verontreiniging van de tunnellucht te voorkomen. Deze verkeersdosering maakt ook in lange tunnels de toepassing van langsventilatie mogelijk en daarmee een aanzienlijke besparing op de tunnelventilatie (dus ook op het geïnstalleerde vermogen en het energieverbruik van de tunnel).

Overigens zijn er meer redenen om verkeersdosering toe te passen: ook om veiligheidsredenen is het gewenst zeer langzaam rijdend en/of stilstaand verkeer in de tunnel te voorkomen.

- b. **Dwarsventilatie:** Via ventilatiekanalen over de volle lengte van de tunnel wordt aan één zijde van het dwarsprofiel verse lucht toegevoerd, terwijl aan de andere zijde van het dwarsprofiel verontreinigde lucht wordt afgezogen. Bij dit type ventilatie is het niet mogelijk gas- en rookstroming in de lengterichting van de tunnel te beheersen. Daarom moet een dwarsventilatiesysteem worden aangevuld met een beperkte vorm van langsventilatie om het mogelijk te maken tijdens brand gas en rookstroming in de lengterichting van de tunnel te beheersen.
- c. **Semi-dwarsventilatie:** Is een combinatie van langsventilatie en dwarsventilatie, waarbij over de volle lengte van de tunnel lucht wordt toegevoerd. Lucht wordt



afgevoerd via de in- en uitgangen van de tunnelbuis. Ook bij dit type ventilatie is zonder aanvullende voorzieningen beheersing van de gas- en rookstroming en lengterichting van de tunnelbuis niet mogelijk.

#### 7.5.2.4 Locatie langsventilatoren

- a. Een langsventilatiesysteem kan worden opgebouwd door in het langsprofiel van de tunnel een of meer (groepen of clusters) aanjaagventilatoren aan het tunnelplafond te bevestigen.  
Plaatsing in clusters heeft als consequentie dat bij brand een volledige cluster verloren kan gaan. Bij berekening van het benodigd aantal ventilatoren tijdens brand moet met uitval door hoge temperatuur rekening worden gehouden. Indien plaatsing in clusters niet mogelijk of niet gewenst is, de ventilatoren ter zijde van de rijbaan aanbrengen.
- b. Om aanrijding van ventilatoren aan het plafond te beperken, deze altijd buiten bereik van het verkeer ophangen, d.w.z. bij voorkeur boven 4,70m boven het wegdek en boven linker rijstroken (waar geen of aanzienlijk minder vrachtverkeer rijdt).  
Bij plaatsing van ventilatoren ter zijde van de rijbaan deze altijd zoveel mogelijk uiterst links van de rijbaan in de tunnelbuis situeren, waar hoofdzakelijk (niet hoog) personenautoverkeer rijdt.  
Door de ventilatoren in (aerodynamisch gevormde) nissen in het plafond te plaatsen en is het niet noodzakelijk het gehele tunnelprofiel te verhogen ter wille van de ventilatoren.
- c. Individuele ventilatoren en clusters op regelmatige afstanden van elkaar verdelen over de langsdoorsnede. Voor zover mogelijk buiten elkaars invloed. Gestreefd moet worden naar een onderlinge afstand > 75 à 100m.  
Ventilatoren in een cluster dicht naast elkaar plaatsen gaat ten koste van het rendement van de opstelling.
- d. De geluidsproductie van een cluster ventilatoren is groter dan van één enkele ventilator. Hiermee moet bij de bepaling van de STI van de luidsprekerinstallatie en intercom rekening worden gehouden.

#### 7.5.2.5 Ontwerpaspecten

##### Ontwerpaspecten langsventilatie

- a. Afbuigshoepen: Het effect van een langsventilator kan worden verbeterd door het toepassen van afbuigshoepen, waardoor de uittredende luchtstraal onder een geringe hoek naar het centrum van de tunneldwarsdoorsnede wordt gericht. Het verlies dat optreedt in de afbuigshoep wordt ruimschoots gecompenseerd door het verbeterd effect.  
Afbuigshoepen hebben het nadeel dat eventuele stratificatie van rook tijdens brand t.g.v. de schuin naar het centrum van de tunnel gerichte luchtstraal wordt verbroken.
- b. Verlies bij brand: Bij een grote brand ontstaan hoge luchttemperaturen in het deel van de tunnel voorbij (stroomafwaarts) de brand. Om hun functie te kunnen blijven vervullen moeten de daar aanwezige tunnelventilatoren hier zo lang mogelijk tegen bestand zijn. Afhankelijk van de temperatuur waartegen de ventilatoren bestand zijn zal een deel uitvallen. Hiermee moet bij de berekening





van het aantal te installeren ventilatoren rekening worden gehouden door deze uitval te compenseren d.m.v. extra geïnstalleerde ventilatoren.

Tijdens brand mag de installatie t.g.v. uitval niet gaan presteren beneden de minimaal gestelde criteria.

Door ventilatoren te installeren en het systeem in de tunnel zodanig te ontwerpen dat het geheel bestand is tegen 400°C gedurende 1 uur kan de uitval tijdens brand worden beperkt tegen een optimale balans tussen kosten en resultaat.

- c. Ingangsv ventilatoren: Bij voorkeur moet een deel van de ventilatoren zodanig worden geplaatst dat zij gevrijwaard zijn van de invloed van brand, bijvoorbeeld door opstelling in een cluster boven, of juist binnen het ingangsportaal van de tunnel.

Deze z.g.n. **ingangsv ventilatoren** stuwen lucht onder een niet te steile hoek het tunnelprofiel binnen. Toepassing van ingangsv ventilatoren stelt eisen aan de vormgeving van het ingangsportaal van de tunnel i.v.m. plaatsing en aanstroombrofiel van de ventilatoren. Doordat boven het ingangsportaal meer plaats is dan binnen het tunnelprofiel kan op deze locatie van een grotere diameter en zwaarder type ventilatoren gebruik worden gemaakt.

Aan ingangsv ventilatoren worden in principe geen temperatuureisen gesteld aangezien zij feitelijk buiten de overdekte tunnel hangen.

- d. Plaats van de clusters in relatie tot de vluchtdeuren: Ventilatorclusters veroorzaken een vrij grote druksprong in de tunnelbuis. Dit heeft invloed op de eis dat de overdrukventilatie in een vluchtgang zodanig moet zijn dat bij geopende vluchtdeuren altijd een luchtstroom vanuit de vluchtgang richting tunnelbuis moet ontstaan. Het verdient daarom aanbeveling in de ontwerpfase hiermee rekening te houden en een ventilatiecluster zodanig te plaatsen dat het drukverschil over twee opeenvolgende vluchtdeuren minimaal is.

- e. Omkeerbaarheid:

1. Het kan noodzakelijk zijn om tijdens brand in de tunnelbuis de luchtstroom t.b.v. de brandbestrijding om te keren.

*N.B. Hierbij moet worden bedacht dat tengevolge van de omkering van de luchtstroom in de calamiteitenbuis, de situatie in deze buis radicaal zal wijzigen. Personen die zich in heldere schone lucht bevonden, kunnen na omkering van de ventilatiestroom geconfronteerd worden met rook en (hete) gasen van de brand.*

2. Voorts is het in de meeste tunnels met parallelle verkeersbuizen bij brand in één buis noodzakelijk een tegengesteld gerichte luchtstroom op te wekken in de buizen parallel aan de buis waarin de brand is (calamiteitenbuis), om te voorkomen dat rook en gasen die uit de uitgang van de uit de calamiteitenbuis stromen de parallelle buis worden binnengezogen door een toevallig aanwezige luchtstroming. Deze tegenventilatie is mogelijk door (een deel van) de tunnelventilatoren in de parallelle buis te starten in dezelfde richting als de ventilatoren in de calamiteitenbuis. Het is daarvoor wel noodzakelijk dat (een deel van) de tunnelventilatoren omkeerbaar is. Voor overige maatregelen om rondstromen van ventilatielucht te voorkomen zie de VRC en het Handboek Tunnelventilatie.

De tegenventilatie hoeft geen hoge snelheid op te kunnen wekken en is uitsluitend bedoeld om rondstromen van rook uit de calamiteitenbuis te voorkomen.

- f. Ingangsv ventilatoren zijn niet omkeerbaar. Daarom kan in tunnels waar de luchtstroom in de verkeersbuis omkeerbaar moet zijn i.v.m. de beheersbaarheid van rook tijdens brand of tegenventilatie, niet volstaan worden met uitsluitend



ingangventilatoren aan één zijde, maar moet ofwel een ondersteunende, omkeerbare ventilatie binnen de tunnelbuis worden aangebracht, ofwel moet aan de tegenovergestelde uitgang van de tunnel eveneens een ingangventilatie worden aangebracht.

In de normale, hoofd-ventilatie-richting moet de installatie volledig voldoen aan alle gestelde eisen in het Handboek Tunnelventilatie (alle ventilatoren ingeschakeld), echter in omgekeerde ventilatie-richting (uitsluitend ondersteunende ventilatie ingeschakeld tegen de normale ventilatie-richting in) kunnen de eisen lager worden gesteld gezien de zeer geringe kans dat de omgekeerde ventilatie-richting als hoofdventilatie zal worden gebruikt.

In tunnels waarin een langsgeventilerde buis in beide richtingen gebruikt kan worden

#### **Geluid**

Bij langsgeventilatie, waarbij de ventilatoren in de tunnelbuis zijn geplaatst, zijn de ventilatoren een belangrijke bron van storend geluid voor aanwezigen in de tunnel tijdens een calamiteit. Het ventilatorgeluid belemmert de verstaanbaarheid van gesproken woord. Bij het ontwerp van intercom en luidsprekerinstallatie moet daarmee rekening worden gehouden. Het is de taak van de ventilatorfabrikant het ventilatorgeluid zoveel mogelijk te dempen d.m.v. geluiddempers en andere voorzieningen aan de ventilatoren. Ontwerpers van intercom en luidsprekersystemen moeten de verstaanbaarheid van hun apparatuur afstemmen op de stoorfrequenties van de tunnelventilatoren, o.a. afhankelijk van het toerental en het aantal rotorbladen. Vroegtijdig overleg tussen de betrokken leveranciers is hiervoor noodzakelijk

#### **Ontwerpaspecten dwarsventilatie en semi-dwarsventilatie**

Dit type ventilatie wordt in Nederland vrijwel niet toegepast. Toch een paar aandachtspunten.

- dwarsventilatie en semidwarsventilatie vereist een aanzienlijke investering in ventilatiekanalen parallel aan de te ventileren tunnelbuizen en aanzuig- en uitblaasschachten tot boven maaiveldhoogte.
- Bij de berekening van dwarsventilatie er vanuit gaan dat in verband met verliezen in de ventilatiekanalen geen hogere luchtsnelheid mag optreden dan ongeveer 15m/sec.
- Het is vrijwel onmogelijk alle bij een grote brand geproduceerde rook via de normale openingen af te zuigen. Daarom moet bij brand:
  1. extra rook-afzuigkleppen worden aangebracht die per sectie (ter plaatse van de brand) openen bij inschakelen van het brandventilatieregime
  2. alle ventilatiecapaciteit op maximaal afzuigen worden ingeschakeld. Het is hiervoor noodzakelijk dat de ventilatoren omkeerbaar zijn.
- Om in geval van een calamiteit waarbij rook en/of gas vrijkomt, de ventilatiestroom in de lengterichting van de tunnelbuis te kunnen sturen en/of tegenventilatie mogelijk te maken is ook in tunnels met dwarsventilatie een aanvullende langsgeventilatie vereist



### 7.5.2.6 Enkele uitvoeringsaspecten van tunnelventilatoren; praktische wenken

- De minimum rendabele diameter van aanjaagventilatoren in tunnelbuizen is 750 mm. Kleinere diameters geven relatief hoge verliezen.
- Gewone spreidankers voor bevestiging aan beton blijken de neiging te hebben bij dynamische toepassingen los te trillen. Daarom voor de bevestiging van tunnelventilatoren gebruik maken van:
  - (VOORKEUR) achtersnijdingsankers (flexibele toepassing, niet plaats of ventilator-fabriekgebonden)
  - vooraf ingestorte verankeringen (nadeel = vroegtijdig ontwerp en planning noodzakelijk; maatfouten)
  - chemische ankers (nadeel = niet geschikt voor bevestiging van hittebestendige ventilatoren, aangezien chemische ankers al bij vrij lage temperaturen hun sterkte verliezen.
- Bij grote ventilatoren moet de ventilator bevestigd worden op trillingdempers, zodanig dat breuk van een trillingdemper niet het losraken van de verbinding tot gevolg heeft.
- De gehele ventilator inclusief eventuele afbuigschoepen, tussenframes en bevestigingsmiddelen moet zijn thermisch verzinkt, zijn vervaardigd van corrosiebestendige materialen en voorts zijn voorzien van een epoxycoating.
- De minimale beschermingsklasse van de ventilatormotor is IP55 volgens DIN 40050, voorzien van een speciaal kooianker en vochtigheidsisolatie en geschikt voor een netspanning van 700 V, frequentie 50 Hz, direct aanlopend. De motor voorzien van een condens-afvoeropening.
- Ventilatoren die moeten kunnen functioneren bij 400°C moeten worden getest volgens prEN 12101-3, waarbij de ventilator geheel binnen de oven moet worden geplaatst, inclusief de normaal aan de ventilator bevestigde kabel en werkschakelaar. De bedrijfsomstandigheden tijdens brand in een tunnel moeten zoveel mogelijk worden nagebootst: Zie hiervoor het Handboek Tunnelventilatie,
- Het geluidsvermogeniveau van ventilatoren moet worden bepaald door middel van een geluidsintensiteitsmeting
  - als omschreven in de "Draft international standard ISO/DIS 9614-1" (scanning methode), of d.m.v. de methode aangegeven in de AMCA 300-85 (reverberant room methode)
  - In afwijking van de ISO/DIS 9614-1, hoeven de bevestigingszijde (onderzijde) en de perszijde van de ventilator niet in de meting te worden betrokken, maar moeten de tegenoverliggende zijden twee keer worden gemeten.
- Het gebruik van werkschakelaars aan de ventilatoren in de tunnelbuizen moet worden vermeden. Beter is in de groepen-onderverdeelkast installatieautomaten te gebruiken die in uitgeschakelde stand vergrendelbaar zijn.

### 7.5.2.7 Schakelen van tunnelventilatie

Tunnelventilatie kan worden geschakeld aan de hand van de volgende criteria:

1. Hand-inschakelen en uitschakelen  
Omdat in vrijwel alle gevallen onvoldoende vermogen beschikbaar is om alle ventilatoren tegelijkertijd te laten aanlopen, moet het hand-schakelprogramma hiertegen beveiligd zijn.



Ook moet dit beveiligd zijn tegen plotseling omkeren van de draairichting van de ventilatoren tijdens handbedrijf of ten gevolge van het overgaan van hand op automatisch bedrijf of vice versa.

Het mag niet mogelijk zijn ventilatoren binnen één tunnelbuis in gelijktijdig verschillende ventilatierichtingen te schakelen.

2. Automatisch schakelen n.a.v. verontreiniging:

Thans wordt als maatgevende verontreiniging beschouwd NO<sub>2</sub> en zicht (roet en PM (Particle Matter)).

De CO emissie van het moderne verkeer is bijzonder laag en komt onder geen enkele omstandigheid boven de maximaal toegestane waarden.

De tunnelventilatie wordt geschakeld d.m.v. een zichtmeter (directe meting) waarmee tevens het NO<sub>2</sub> gehalte van de tunnellucht wordt bepaald (indirecte meting d.m.v. een veronderstelde correlatie zicht/NO<sub>2</sub>). Schakelwaarden volgens de VRC.

3. Automatisch schakelen n.a.v. temperatuur:

In zeer lange tunnels ontstaat een temperatuurverhoging ten gevolge van warmte afgestaan door het verkeer en de tunnelinstallaties. Dit resulteert in langsgeventileerde tunnels in een temperatuurverschil tussen de ingang en de uitgang van de tunnel.

Indien bij de uitgang van de tunnel een maximale waarde wordt overschreden wordt d.m.v. een temperatuurmeting de tunnelventilatie ingeschakeld.

4. Inschakelen bij activeren groepscommando calamiteitenknop):

Door het indrukken van de calamiteitenknop wordt altijd de tunnelventilatie in het calamiteitenregime ingeschakeld. Bij langsventilatie betekent dit ventileren in de verkeersrichting en bij (semi-)dwarsventilatie alle ventilatie vol vermogen afzuigen. Zie verder de VRC.

5. Schakeling aan de hand van verkeersparameters:

In lange verkeerstunnels kan zeer economisch geventileerd worden door d.m.v. logische programmatuur te anticiperen op een nog niet aanwezige verkeerssituatie.

Aan de hand van gemeten verkeersgegevens (aantal en typen voertuigen, gemiddelde doorrijtijd (verblijftijd), gemiddelde verkeerssnelheid), in combinatie met gelogde gegevens uit het verleden kan worden geanticipeerd op een komende verkeerssituatie waarbij ventilatie noodzakelijk zal zijn (de ventilatie wordt al geschakeld op het moment dat de maximum (vervuiling) condities nog niet aanwezig zijn). Dit levert besparing op van het aantal in te schakelen ventilatoren, en daarmee het aantal draaiuren en kosten.

Voorts is een anticiperende ventilatie onafhankelijk is van het soort verontreiniging. Er worden alleen verkeersaantallen en snelheid gemeten. De maximaal toelaatbare verontreiniging bepaalt het tijdstip en het aantal ventilatoren dat anticiperend wordt geschakeld.

Voor maximale grenswaarden blijft een NO<sub>2</sub>- en zicht-meting noodzakelijk.





## 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging

### 7.5.3.1 Algemeen

Voor het bewaken van de verontreinigingsgraad van de tunnelatmosfeer en het schakelen van de tunnelventilatie moet voortdurend de verontreiniging in de tunnelbuis worden gemonsterd en geanalyseerd.

Gezien de sterke vervuiling waaraan alle in de tunnelbuizen opgestelde apparatuur blootstaat, is slechts een beperkt assortiment detectieapparaten geschikt gebleken voor toepassing. Essentieel voor de goede werking is de (on)gevoeligheid voor vervuiling en de mogelijkheid de detectieapparatuur te onderhouden en in te stellen vanaf een plaats buiten de verkeerstunnel.

Aangezien thans de voor een veilige en leefbare tunnelatmosfeer,  $\text{NO}_2$ , zicht en soms temperatuur maatgevende verontreinigingen zijn, moeten deze continue worden. Bij overschrijding van gedefinieerde grenswaarden moeten deze gesignaleerd worden om schakelapparatuur aan te sturen:

- Voor iedere tunnelbuis moet onafhankelijk werkende detectieapparatuur worden geïnstalleerd.
- Detectieapparatuur in de tunnel moet langdurig zonder onderhoud of bijstellen binnen een gedefinieerde onnauwkeurigheid kunnen meten.
- De toelaatbare meetafwijking van een systeem moet zijn  $< 5\%$  van de ingestelde maximum meetwaarde
- Afwijkingen in de meetnauwkeurigheid  $> 10\%$ , binnen een onderhoudsloze periode van 6 maanden is niet toelaatbaar.

In elke tunnelbuis meerdere  $\text{NO}_2$  en zichtdetectiepunten plaatsen (in tunnels tot 500m tenminste 2 meetpunten per tunnelbuis, in tunnels 500 tot 1000m tenminste 3 meetpunten per tunnelbuis op representatieve plaatsen. In langere tunnels moet per object bepaald worden welk aantal en welke plaats van de detectiepunten een representatieve meting zal geven.

De analysetijd voor een luchtmonster mag niet groter zijn dan enkele minuten. Een volledige cyclustijd langer dan 5 minuten per tunnelbuis is ontoelaatbaar.

Temperatuurmeting (alleen in zeer lange tunnels) hoeft uitsluitend nabij de uitgang van de tunnel te worden geplaatst (waar de tunnellucht temperatuur het hoogst zal worden).

Voor een betrouwbare meting (eliminieren van een foute meting) verdient het aanbeveling 3 meetpunten op korte afstand van elkaar te plaatsen. De meting is juist indien op 2 meetpunten dezelfde temperatuur  $\pm 3^\circ\text{C}$  wordt gemeten.

Voor  $\text{NO}_2$  en zicht geldt: IN-schakelen tunnelventilatie indien op één meetpunt in de tunnelbuis de ingestelde schakelwaarde wordt gemeten. UIT-schakelen indien op alle meters de minimaal ingestelde schakelwaarde of lager wordt gemeten.

Alarm bij overschrijden van een maximumwaarde, waarna tijdelijk geen verder verkeer meer mag worden toegelaten (gevaarlijke situatie t.g.v. giftige atmosfeer of te weinig zicht).



Voor temperatuur geldt: een deel van de tunnelventilatie inschakelen indien de temperatuur een ingestelde maximum waarde overschrijdt (bijvoorbeeld 40°C). Na enige tijd meer ventilatie inschakelen indien deze temperatuur niet daalt, totdat de volledige ventilatie is ingeschakeld. Alarm bij een maximaal ingestelde waarde, waarna alle ventilatie (voor zover nog niet in bedrijf) moet worden ingeschakeld en bijvoorbeeld een verkeersdosering kan worden ingesteld of de tunnel tijdelijk wordt afgesloten (

### 7.5.3.2 **NO<sub>2</sub> - en zichtmeetapparatuur**

Het direct meten van NO<sub>2</sub> is (nog?) niet goed mogelijk: In tunnels worden zeer lage concentraties toegelaten. Er is thans geen meetapparatuur op de markt waarmee continu binnen acceptabele afwijkingen (zie 37.1.1) gemeten kan worden in de tunnelatmosfeer.

Er is echter correlatie tussen zicht en NO<sub>2</sub>, waardoor thans van een zichtmeting gebruik kan worden gemaakt voor het bepalen van het NO<sub>2</sub> gehalte van de tunnellucht. De verhouding zicht/NO<sub>2</sub> kan worden vastgesteld op 10/1,4 (zichtmeting k=10/km ∞ 1,4ppm NO<sub>2</sub>). De thans geldende schakelgrens voor NO<sub>2</sub> (ventilatie IN) is 1ppm (k=0,007/m). Zie de VRC.

### 7.5.3.3 **LEL-meting**

LEL= Lowest Explosion Level. Dit is de laagste concentratie waarbij een koolwaterstof verbinding in lucht tot explosieve verbranding kan komen (bij een lagere concentratie is het mengsel te arm om te kunnen exploderen

UEL=Upper Explosion Level. Dit is de hoogste concentratie waarbij een koolwaterstof verbinding in lucht tot explosieve verbranding kan komen (bij een hogere concentratie is het mengsel te rijk om te kunnen exploderen).

Maatgevend voor LEL en UEL is methaan (CH<sub>4</sub>) Dit wordt tevens als ijkgas voor deze apparatuur gebruikt).

Soms eist de brandweer een LEL-meting in elke tunnelbuis om bij een calamiteit waar een explosieve stof bij betrokken is, een inschatting te kunnen doen van het gevaar dat hulpdiensten lopen alvorens de tunnel binnen te gaan. Een 10% LEL-concentratie wordt over het algemeen als alarmniveau beschouwd.

De LEL-meting kan teven gebruikt worden om de tunnelventilatie te starten indien dat nog niet gebeurd is door andere inschakelcriteria.

LEL kan gemeten worden d.m.v. gasdetectieapparatuur geschikt voor het meten van koolwaterstofverbindingen.



## **7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers**

### **7.5.4.1 Algemeen**

Een overdrukinstallatie is in pompkamers (= droge ruimte waarin de schakelkast en andere bedieningsapparatuur en appendages behorend bij de pompen staan opgesteld) en alleen noodzakelijk indien deze grenst aan een waterkelder en daarvan niet volledig dampdicht gescheiden is.

Een overdrukinstallatie is eveneens noodzakelijk in alle ruimten die niet volledig dampdicht gescheiden zijn van een waterkelder, en waarin elektrisch gevoede apparatuur staat opgesteld.

Doel van de overdrukinstallatie is het aanbrengen en handhaven van een geringe lucht-overdruk in de betreffende ruimte, zodanig dat bij geringe lekkages (o.a. niet goed sluitende doorvoeren en afdichtingen) vanuit de aangrenzend waterkelder geen gassen of verdampingproducten kunnen doordringen in de pompkamer.

De op overdruk te ventileren ruimte wordt geventileerd met buitenlucht, of indien deze niet beschikbaar is met schone lucht die wordt onttrokken aan een andere ruimte (bijvoorbeeld een middenkanaal). Hierbij mag in deze ruimte (middenkanaal) geen onderdruk ontstaan zodanig dat deze ruimte kan worden verontreinigd met eventueel vervuilde lucht (uit de tunnel).

In tunnels ligt de pompkamer direct naast of boven de waterkelder en moet daarom worden vrijgehouden van gasmengsels uit de waterkelder. Omdat enige lekkage tussen de waterkelder en de pompkamer vrijwel altijd onvermijdelijk is, moet in ieder geval tijdens een calamiteit in de tunnelbuis, in de pompkamer een overdruk worden gecreëerd.

### **7.5.4.2 Overdruk**

- In de pompkamer een geringe overdruk van minimaal 10 Pa aanwezig is t.o.v. de tunnelbuizen (bij gesloten luiken en deur(en)). Hierbij mag de ruimte maximaal met een ventilatievoud van 1/h worden geventileerd.
- In de pompkamer een geringe overdruk aanwezig is t.o.v. de waterkelder (bij gesloten luiken en deur(en)) mag alleen maar lekkage naar de waterkelder kunnen optreden).
- De luchtdruk in de tunnelbuizen wordt in beide gevallen gesteld op 50 Pa hoger dan de buitenluchtdruk (rekenwaarde)

Bij wegvallen van de elektrische voedingsspanning, uitgeschakelde overdrukinstallatie of een storing aan de overdrukinstallatie zelf, moet het lucht-aanvoerkanal van de overdrukinstallatie naar de pompkamer automatisch worden afgesloten.

### **7.5.4.3 Ont-/beluchtingsleiding**

De ont-/beluchtingleiding vanuit de waterkelder moet indien mogelijk uitkomen in de buitenlucht; Indien dit niet mogelijk is, zo hoog mogelijk in de tunnelbuis.

De ont-/beluchtingsleiding moet worden voorzien van een vlamdover volgens de EN 12874.

De ont-/beluchtingsleiding dimensioneren op de maximale instroom van hemelwater t.g.v. de maatgevende regenbui.





#### **7.5.4.4 Gasdichtheid van luiken en sparingen**

De waterbergingen binnen dezelfde kelder moeten luchttechnisch één ruimte vormen.

De scheiding tussen pompkamer en waterkelder mag geen overbodige, open sparingen bevatten.

Gasdichtheid is in principe niet vereist en in de meeste gevallen ook niet mogelijk.

Goed sluitende luiken en scheidingen zonder kieren zijn voldoende.

Het verdient aanbeveling bij geopende deur van een onder overdruk geventileerde ruimte lokaal een akoestisch en optisch (attentie)signaal te genereren.

#### **7.5.4.5 Schakelen**

Bij een commando calamiteitenknop moet de overdrukventilatie worden ingeschakeld.

De overdrukventilatie fail-safe uitvoeren, d.w.z. bij storing of uitval van het besturingssysteem moet de overdrukventilatie inschakelen.



## 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie

### 7.5.5.1 Algemeen

Het doel van vluchtgangventilatie is het vrijhouden van de vluchtgang van rook en andere gassen uit de tunnelbuis tijdens een calamiteit.

De voor vluchtgangventilatie benodigde ventilatielucht moet worden aangezogen uit een rookvrije lokatie:

- Bij voorkeur uit de buitenlucht:  
*N.B. In tunnels met een middenkanaal is dit altijd mogelijk.*
- Indien het onmogelijk is om buitenlucht aan te trekken mag lucht worden aangezogen uit de aangrenzende niet-calamiteitenbuis.  
Deze situatie doet zich voor in boortunnels met dwarsverbindingen waarbij de dwarsverbinding gebruikt wordt als vluchtgang naar de niet-calamiteitenbuis.

### 7.5.5.2 Ontwerpcriteria

De installatie moet geschikt zijn om in de vluchtgang een overdruk t.o.v. de tunnelbuis te handhaven, zodanig dat bij (1) gesloten en (2) maximaal 3 willekeurig geopende vluchtdeuren geen rook en gassen uit de tunnelbuis de vluchtgang kan binnenstromen.

De maximale gemiddelde luchtsnelheid in een geheel geopende deuropening moet beperkt blijven tot 6 - 8 m/s.

#### Opmerkingen:

1. Tijdens een calamiteit moet alleen gevlucht worden uit de zone waar rook en gassen aanwezig zijn. Dit is in een langs-geventileerde tunnel het geval aan de stroom-afwaartse zijde van een brand. In deze zone moet dus tijdens een calamiteiten waarbij rook en gassen vrijkomen onder alle omstandigheden een luchtstroom vanuit de vluchtgang richting tunnelbuis ontstaan
2. Zoals reeds is opgemerkt bij Ontwerpaspecten tunnelventilatie wordt in tunnelbuizen waarin langsventilatoren zijn opgehangen de drukverdeling in de lengterichting van de tunnelbuis beïnvloed door deze ventilatoren. Bij ventilatorclusters kan een vrij groot drukverschil worden verwacht. Bij het bepalen van het drukverschil tussen de vluchtgang en de verkeersbuis moet hiermee rekening worden gehouden.  
Het verdient aanbeveling ventilatoren in de tunnelbuis zodanig te plaatsen dat bij werkende tunnelventilatie het drukverschil over tussen twee opeenvolgende vluchtdeuren minimaal is.

### 7.5.5.3 Berekeningsgegevens

Voor de berekening van de vluchtgangventilatie mag worden aangenomen dat de vluchtgang een gemiddeld maximaal lekoppervlak heeft van 8 cm<sup>2</sup> per meter vluchtganglengte, dit is inclusief alle leiding- en kabeldoorvoeren en exclusief de gesloten vluchtdeuren.

De gesloten vluchtdeuren in de vluchtgang hebben een maximale spleetbreedte van 2 mm rondom.

In verband met de functie (vluchtgang moet ook psychologisch als veilige plaats worden ervaren) moet aan het maximale geluidsniveau in de vluchtgang ten gevolge van ventilatie een eis worden gesteld. Een geluidsniveau > 60 dB(A) op enige plaats in de vluchtgang is niet toelaatbaar



#### **7.5.5.4 Schakelen**

Bij een calamiteit (calamiteitenknop) moet de vluchtgangventilatie worden ingeschakeld.

De vluchtgangventilatie fail-safe uitvoeren, d.w.z. bij storing of uitval van het besturingsysteem moet de vluchtgangventilatie inschakelen.



## **Inhoudsopgave 40 Verkeersinstallaties**

- 7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties
  - 7.6.1.1 Doel van de verkeersinstallaties
  - 7.6.1.2 Tot verkeersinstallaties wordt gerekend
  - 7.6.1.3 Inleidende maatregelen
- 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering
  - 7.6.2.1 Functie, uitvoering en typen
  - 7.6.2.2 Ophanging signaalgevers
  - 7.6.2.3 Globale opbouw en configuratie van een systeem
  - 7.6.2.4 Beeldbewaking
  - 7.6.2.5 Rijstrookscheiding bij tegen- en blokverkeer
  - 7.6.2.6 Beveiliging
  - 7.6.2.7 Uitvoering van de signaalgeverarmaturen
- 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)
  - 7.6.3.1 Algemeen
  - 7.6.3.2 Functie
  - 7.6.3.3 Dosereren van het verkeer:
  - 7.6.3.4 Aandachtspunten
- 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie
  - 7.6.4.1 43.1 Algemeen
  - 7.6.4.2 Detectiemiddelen
  - 7.6.4.3 Enkele uitvoeringsdetails en eisen
  - 7.6.4.4 Enkele uitvoeringsdetails en eisen
- 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem
  - 7.6.5.1 Algemeen
  - 7.6.5.2 Uitvoering
- 7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen
  - 7.6.6.1 Algemeen
  - 7.6.6.2 Voorwaarden
- 7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging
  - 7.6.7.1 Algemeen
  - 7.6.7.2 VeVa of CaDo
- 7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs
  - 7.6.8.1 DRIPs (Dynamische Route Informatie Panelen)
  - 7.6.8.2 Bijzondere borden



---

Tunnel technische installaties



## **7.6 40 VERKEERSINSTALLATIES**

### **7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties**

#### **7.6.1.1 Doel van de verkeersinstallaties**

- Stromend houden van het verkeer
- Faciliteren van onderhoudswerkzaamheden
- Verkeersmaatregelen te kunnen nemen bij incidenten (stremming, pech, ongeval, afgevallen lading etc.)

*N.B. Een tunnel is onderdeel is van een weg. Alle eisen aan beelden van de weg moeten ook gelden voor de tunnel met een aantal toegevoegde eisen. in de tunnel moet volledig zijn afgestemd op de signalering en beelden van de voorliggende en opvolgende wegvakken.*

Signaalgeving aan het verkeer wordt gerealiseerd door middel van (matrix)signaalgevers, DRIPs, verkeerslichten, verdwijnsignalen, en eventueel aan de plaatselijke situatie aangepaste (vaste) aanwijzingen.

Door middel van de verkeersinstallatie moet het mogelijk zijn:

- de tunnel af te sluiten
- rijstroken te blokkeren
- een snelheidsbeperking in te stellen
- tegenverkeer of blokverkeer in de tunnel te realiseren
- verkeersdosering toe te passen
- bij calamiteiten een omleidingsroute in te stellen

#### **7.6.1.2 Tot verkeersinstallaties wordt gerekend**

Alle apparatuur die noodzakelijk is voor verkeersgeleiding ten einde het onder 40.1 genoemde doel te bereiken. Tot deze apparatuur behoort:

- rijstrooksignalering
- verkeerslichten
- verkeersdetectie
- hoogtedetectie
- afsluitbomen voor de tunnel en op toeleidende wegen
- beweegbare middenbermbeveiliging (VeVa's en CaDo's)
- bijzondere borden
- DRIPs

Criteria voor het aanbrengen van een verkeersinstallatie kunnen worden ontleend aan de VRC

#### **7.6.1.3 Inleidende maatregelen**

Onderdeel van verkeersmaatregelen in een tunnel zijn de inleidende maatregelen zoals snelheidsbeperking en rijstrookwisselingen. Deze moeten om veiligheidsredenen buiten het overdekte gedeelte van de tunnel plaatsvinden.

Derhalve begint het verkeersgeleidingssysteem voor de tunnel enige honderden meters voor het overdekte gedeelte. De lengte waarover inleidende maatregelen worden genomen is afhankelijk van het aantal rijstroken, de ontwerpssnelheid en het benodigd aantal inleidende maatregelen.

Tunnelgebonden verkeersgeleidingssystemen moeten daarom kunnen corresponderen met open weggeleidingssystemen.





## 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering

### 7.6.2.1 Functie, uitvoering en typen

Rijstrooksignalering heeft als functie om per rijstrook

- een snelheidsbeperking in te stellen;
- verkeer van een rijstrook te verdrijven
- een rijstrookblokkering in te stellen (verdrijfpijl gevolgd door rood kruis)
- het vrijgeven van een rijstrook

*N.B. Rijstrookblokkering is niet geschikt voor het stoppen van het verkeer.*

Signaalgevers kunnen worden uitgevoerd:

1. met vaste beelden: Dit type signaalgever heeft meestal lampen of LEDs als lichtbron.
2. met variabele beelden: Met deze signaalgevers (matrixsignaalgevers) kunnen meerdere beelden worden getoond binnen hetzelfde beeldvlak. De lichtbron is meestal een halogeenlamp of LEDs.

*N.B. Het verdient aanbeveling alle in een tunnel toe te passen matrixsignaalgevers identiek uit te voeren en te voorzien van alle mogelijk te tonen signalen.*

Twee typen rijstrooksignalering kunnen worden onderscheiden:

1. Een rijstrooksignalering die uitsluitend bedoeld is voor gebruik tijdens onderhoudswerkzaamheden. Dit type rijstrooksignalering bestaat in het algemeen uit signaalgevers voorzien van een rood kruis en een vallende groene pijl. Snelheidsbeperking wordt gegeven d.m.v. vaste voorzieningen. Een dergelijk systeem is niet gekoppeld aan een verkeersdetectie, niet automatisch beïnvloedbaar maar wordt in vaste standen ingesteld, al of niet voorgeprogrammeerd. Dit soort handbediende verkeersgeleidingssystemen worden meestal bediend vanuit een kast langs de weg; ofwel per kast instelbaar, ofwel wordt een vooraf geprogrammeerde instelling dmv. een draagbare PC in het systeem ingebracht.
2. Een rijstrooksignalering gekoppeld aan een verkeersdetectiesysteem, waarmee zowel automatisch als handmatig het verkeer kan worden beïnvloed. De in bewaakte tunnels toegepaste verkeersgeleidingssystemen werken (half)automatisch; dat wil zeggen door middel van verkeersdetectie worden de verkeersbewegingen gedetecteerd, waardoor de (half)automatische apparatuur wordt geactiveerd. Een (half)automatische systeem komt in actie naar aanleiding van vooraf in het programma gedefinieerde onregelmatigheden in het verkeer. De systemen worden bediend vanuit een lokaal of centraal bedieningscentrum. Bij halfautomatisch werkende systemen krijgt de tunnelbediening in het controlecentrum een attentiesignaal en eventueel aanwijzingen omtrent de te voeren actie, ofwel de apparatuur neemt in eerste instantie zelf actie waarna de tunnelbediening verder bepaalt welke vervolgactie moet worden genomen.

Bij automatisch werkende systemen handelt de apparatuur autonoom volgens geprogrammeerde instructies zonder menselijk ingrijpen.

Bij alle systemen moet directe hand-bediening mogelijk zijn waarmee eventueel kan worden ingegrepen in het automatische programma. Ook tijdens handbediening moet de apparatuur de handelingen van de bedieningsman bewaken, om te voorkomen dat bedieningsfouten tot gevaarlijke situaties leiden.

### 7.6.2.2 Ophanging signaalgevers

Signaalgever worden binnen de tunnel aan het plafond van de tunnelbuis bevestigd en buiten de tunnel aan portalen en masten boven en langs het tunneltracé opgehangen.





- Ook binnen de tunnel worden naast elkaar opgehangen signaalgevers als "portaal" aangeduid. Signaalgevers bij voorkeur loodrecht boven het midden van een rijstrook plaatsen, meelopen met het alignement van de weg.
- In tunnels waarin tegenverkeer of blokverkeer moet kunnen worden ingesteld, moeten aan ieder portaal binnen de tunnel steeds twee tegengesteld gerichte signaalgevers boven een rijstrook worden opgehangen; één in de normale rijrichting mee en één tegen de normale rijrichting.
- Signaalgevers binnen de tunnel moeten op zodanige afstand van elkaar worden opgehangen dat de automobilist voortdurend tenminste 1 volgende signaalgever leesbaar binnen zijn gezichtsveld heeft.

### 7.6.2.3 Globale opbouw en configuratie van een systeem

- a. De rijstrooksignaalgevers kunnen de volgende beelden tonen:
  - een witte verdrijfpijl naar links;
  - een witte verdrijfpijl naar rechts
  - een rood kruis, voor een afgesloten rijstrook;
  - een groene vallende pijl OF een of meer snelheidsbeperkingen, voor een in gebruik zijnde doorgaande rijstrook.
  - einde alle verboden (RVV F08)
- b. De rijstrooksignaalgevers zijn aangesloten op portaalstations bevattende: netvoeding; schakelapparatuur; elektronica; een no-break batterijvoeding (alleen bij afwezigheid van een externe no-break voeding).

### 7.6.2.4 Beeldbewaking

De navolgende beelden of combinaties van beelden mogen in één rijrichting in geen geval boven de weg getoond worden:

- a. In het dwarsprofiel op één rijbaan mogen de volgende configuraties niet getoond worden:
    - een verdrijfpijl wijzend naar de berm, vluchtstrook of tunnelwand.
    - een verdrijfpijl wijzend naar een rood kruis.
    - twee verdrijfpijlen naar elkaar toewijzend (ook indien er één of meer vallende groene pijlen tussen geplaatst zijn).
    - twee van elkaar afwijzende verdrijfpijlen
    - meer dan 1 verdrijfpijl in dezelfde richting rode kruisen boven alle rijstroken.
    - een verdrijfpijl in het overdekte tunneldeel (behoudens in uitzonderlijke situaties, bijvoorbeeld indien bij een calamiteit binnen korte tijd een rijstrook over de volle lengte verkeersvrij moet worden gemaakt)
    - werkende rijstrooksignaalgevers naast een werkend verkeerslicht.
  - b. In het langsprofiel mogen niet getoond worden:
    - een rood kruis na een groene pijl.
    - een groene pijl na een verdrijfpijl.
    - twee verdrijfpijlen na elkaar, wijzend in tegengestelde richting
- Het laatst actieve portaal van een verkeersmaatregel moet groene pijlen of einde alle verboden vertonen, tenzij de maatregelen in de tunnel aansluiten op verkeersmaatregelen in het verlengde van de tunnel.



### 7.6.2.5 Rijstrookscheiding bij tegen- en blokverkeer

Bij tegenverkeer of blokverkeer in de tunnel mag een eenmaal ingestelde rijstrookscheiding niet meer worden veranderd tot aan het einde van het tunneltracé.

Blokverkeer moet per richting worden afgewikkeld over één rijstrook om het risico te elimineren dat een nieuw blok in tegengestelde richting geconfronteerd wordt met een laatkomer uit het voorgaande blok.

**Opmerking:**

Tegenverkeer is tweerichtingverkeer binnen één verkeersbuis.

Blokverkeer is tegenverkeer waarbij het verkeer per rijrichting afzonderlijk (in blokken) wordt toegelaten. Een volgend blok mag pas de tunnel binnenrijden op het moment dat het laatste voertuig van het voorgaande blok de tunnel heeft verlaten. Omdat het onmogelijk is om op welke wijze dan ook volledige zekerheid te krijgen dat er werkelijk geen voertuig meer in de tegengestelde rijrichting in de tunnel aanwezig is, moet blokverkeer op gescheiden rijstroken per richting worden afgewikkeld.

Verkeerswisseling moet bij voorkeur buiten de overdekte tunnel, buiten de open bak van de tunnel plaatsvinden, zo mogelijk op een horizontaal gelegen weggedeelte.

### 7.6.2.6 Beveiliging

Bij het niet meer functioneren van het besturingssysteem of delen daarvan die verantwoordelijk zijn voor de verkeersafhandeling, mogen bij terugkeer van de besturing de beelden boven de weg niet veranderen. Tevens mogen, zolang de beelden niet bekrachtigd zijn, eveneens bij bovengenoemde situatie, de beelden niet veranderen.

### 7.6.2.7 Uitvoering van de signaalgeverarmaturen

- Signaleringsarmaturen moeten geopend kunnen worden zonder gebruik van gereedschap. Noodzakelijkerwijs losse onderdelen moeten onverliesbaar aan de armaturen zijn bevestigd.
- Binnen armaturen kunnen vrij grote temperatuurverschillen ontstaan t.o.v. de buitenlucht. Dit kan onderdruk binnen het armatuur veroorzaken waardoor opening wordt belemmerd, maar ook kan via onbedoelde lekkages verontreinigde en vochtige tunnellucht worden aangezogen, hetgeen snelle vervuiling van het inwendige van het armatuur tot gevolg heeft. Daarom mogen armaturen binnen een tunnel niet volledig gasdicht worden uitgevoerd, maar moeten worden voorzien van een ademend filter (labyrint en/of semi-permeabel membraan).





## 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)

### 7.6.3.1 Algemeen

Verkeerslichten (VRI) zijn noodzakelijk voor het stoppen van het verkeer en voor verkeersdosering. De verkeerslichten staan enige honderden meters vóór de tunnel, bij voorkeur op een niet naar de tunnel hellend gedeelte van de weg.

### 7.6.3.2 Functie

1. Stoppen van het verkeer:

Voor stoppen van het verkeer worden de VRI ingeschakeld via oranje naar rood.

De tijden zijn als volgt:

- oranje knipper + voorwaarschuwing +  
snelheidsbeperking gedurende var.t= 5-10 sec
- vast oranje gedurende var.t= 5-10 sec
- rood + verkeer komt tot stilstand duurt ongeveer t= 2-10 sec

2. Vrijgeven van het verkeer door de VRI op groen te schakelen. Na enige tijd uitschakelen.

### 7.6.3.3 Dosereren van het verkeer:

File binnen de overdekte tunnel kan aanleiding geven tot onveilige situaties en moet worden vermeden/voorkomen. Met verkeersdosering kan de toestroom van verkeer naar de tunnel worden geregeld. Eén van de middelen om binnen de tunnel zeer langzaam rijdende of stilstaande file te voorkomen is verkeersdosering. Weliswaar ontstaat dan file buiten de tunnel, docht dit heeft om veiligheidsredenen voorkeur boven file binnen de tunnel.

Bij verkeersdosering wordt verkeer in blokken toegelaten tot de tunnel door de VRI te schakelen in een groen-oranje-rood regime. Door manipuleren van de groen-rood tijden kan de toestroom worden gedoseerd en kan het verkeer in de tunnel stromend worden gehouden. Eventueel kan een verkeersdosering automatisch gekoppeld worden aan de filedetectie.

### 7.6.3.4 Aandachtspunten

Verkeerslichten en rijstrooksignaalgevers aan eenzelfde portaal mogen niet gelijktijdig boven dezelfde rijstrook zijn ingeschakeld.





## 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie

### 7.6.4.1 Algemeen

Verkeersdetectie is noodzakelijk:

- in verkeerstunnels met automatische en halfautomatische verkeersgeleidingssystemen

- bij gebruik van een door verkeerssituaties aangestuurde CCTVinstallatie.

Verkeersdetectie moet in staat zijn om per rijstrook aanwezigheid van verkeer en afgefallen lading of voetgangers te detecteren, verkeersintensiteit, verkeerssnelheid (stilstanden en file) en rijrichting (tegen- of blok-verkeer en spookrijders).

Verkeersdetectie attendeert de operator<sup>1</sup> op incidenten en schakelt de CCTVinstallatie in, d.w.z. bij een incident wordt automatisch het beeld aan de tunneloperator aangeboden van de camera die de sectie bestrijkt waarbinnen het incident heeft plaatsgevonden.

### 7.6.4.2 Detectiemiddelen

Automatische verkeersdetectie is in Nederland gebruikelijk met gebruikmaking van:

- inductielussen in het wegdek of
- beeld processing technieken (Video Image Sensing), waarbij soms gebruik kan worden gemaakt van een (vaak in verband met andere eisen reeds aanwezig) CCTV-systeem.

*N.B. Directe (visuele) observatie zonder automatische detectie, al of niet d.m.v. CCTV speelt geen rol eer in de tunneltechniek en komt alleen nog incidenteel voor in korte tunnels, die een handbediend verkeersgeleidingssysteem hebben dat alleen bij werkzaamheden en calamiteiten wordt gebruikt.*

### 7.6.4.3 Enkele uitvoeringsdetails en eisen

Lusafstand: In een normaal bezette snelverkeerstunnel is voor automatische verkeersdetectie d.m.v. detectielussen een onderlinge afstand van 60m tussen de lussen voldoende (zie VRC hoofdstuk 10.3).

De nauwkeurigheid en de trefkans (kans dat een incident wordt gedetecteerd) nemen toe naarmate de lussen dicht op elkaar volgen.

Zichthoek CCTV-camera's ten behoeve van verkeersdetectie: Om snelheid en snelheidsverschillen optimaal te kunnen observeren moeten de detectiecamera's zodanig worden geplaatst dat de hoek tussen de as van de rijbaan en de zichtlijn van de CCTV-camera zo groot mogelijk is. Dit impliceert tevens een beperking van de onderlinge afstand tussen de detectiecamera's.

Snelheid moet op minimaal één positie per sectie en per rijstrook gemeten kunnen worden. De meetnauwkeurigheid moet minimaal 5 km/u zijn.

1. Bewaking en bediening van een verkeerstunnel wordt uitgevoerd door een **(tunnel)operator**. De operator richt zijn aandacht uitsluitend op de bewaking en bediening van één of meer tunnels, te onderscheiden in verkeersgerichte taken en techniekgerichte taken (zie verder hst.80). Binnen grote stedelijke regio's bestaan wegverkeersnetwerken die vanuit een verkeerscentrale worden bewaakt en bediend door **wegverkeersleiders**. De wegverkeersleider heeft een in hoofdzaak verkeersgerichte taak. Indien verkeerstunnels onderdeel zijn van bewaakte en bediende wegverkeersnetwerken, wordt de tunneloperator taak onderdeel van de wegverkeersleidertaak. In dit deel van SATO de wordt aanduiding (tunnel)operator ook gebruikt voor tunnelgerichte taken van wegverkeersleiders



#### 7.6.4.4 Enkele uitvoeringsdetails en eisen

- **Lusafstand:** In een normaal bezette snelverkeerstunnel is voor automatische verkeersdetectie d.m.v. detectielussen een onderlinge afstand van 60m tussen de lussen voldoende (zie VRC hoofdstuk 10.3).  
De nauwkeurigheid en de trefkans (kans dat een incident wordt gedetecteerd) nemen toe naarmate de lussen dichter op elkaar volgen.
- **Zichthoek CCTV-camera's ten behoeve van verkeersdetectie:** Om snelheid en snelheidsverschillen optimaal te kunnen observeren moeten de detectiecamera's zodanig worden geplaatst dat de hoek tussen de as van de rijbaan en de zichtlijn van de CCTV-camera zo groot mogelijk is. Dit impliceert tevens een beperking van de onderlinge afstand tussen de detectiecamera's.
- **Snelheid** moet op minimaal één positie per sectie en per rijstrook gemeten kunnen worden. De meetnauwkeurigheid moet minimaal 5 km/u zijn.
- **Afgevallen lading (en voetgangers):**
  1. Het detecteren van afgevallen lading (en eventueel voetgangers) is in principe mogelijk bij een detectiesysteem met lussen d.m.v. een algoritme dat d.m.v. lusbezetting detecteert op welke plaats op de rijbaan zich een vermoedelijk obstakel bevindt. De grootte van het object doet bij lusdetectie niet ter zake aangezien "indirect" wordt gedetecteerd doordat automobilisten om het afgevallen object heenrijden en aldus een afwijkend verkeerbeeld veroorzaken.
  2. Detectie van afgevallen lading (en voetgangers) d.m.v. CCTV-beeldprocessingtechnieken kan geschieden idem afwijkend verkeersgedrag, maar ook door directe waarneming. Afgevallen lading moet binnen het gehele "zichtgebied" van de detector en op iedere plaats op de rijbaan in de tunnelbuis gedetecteerd kunnen worden. Minimum eisen en voorwaarden voor voertuig/voorwerp detectie:
    - afstand tussen camera en voorwerp = 100m
    - afmetingen voorwerp 300x300x300mm
    - kleur van het voorwerp zwart
    - onder de gegeven lichtomstandigheden moet 9 op 10 voorwerpen conform deze eisen kunnen worden waargenomen en gedetecteerd.
- **Filedetectie** is mogelijk door combineren van detectiegegevens (zie voor definitie van file de VRC hoofdstuk 10.3)



## 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem

### 7.6.5.1 Algemeen

Meestal wordt uit kostenoverwegingen de ruimte tussen het minimaal toegelaten vrije profiel ten behoeve van het verkeer en de bouwkundige constructie, zo klein mogelijk gekozen. In deze ruimte moet apparatuur voor ondermeer verkeersgeleiding, verlichting en ventilatie worden opgehangen. Indien de tunnelbuizen worden voorzien van een vrij profiel met een doorrijhoogte t.b.v. het verkeer groter dan 4,70 wordt de kans op schade door aanrijding van installatiedelen door te hoge voertuigen zó gering geacht, dat een hoogtedetectiesysteem voor de tunnelingangen niet noodzakelijk is. Beneden een vrije doorrijhoogte van 4,70 wordt een hoogtedetectiesysteem sterk aanbevolen. Dit hoogtedetectiesysteem moet in staat zijn te hoge voertuigen of te hoog uitstekende delen van voertuigen of de lading daarvan te detecteren, waarna zij door middel van de verkeersinstallatie kunnen worden gestopt buiten de tunnel. Hoogtedetectie moet altijd gecombineerd worden met wegbouwkundige (een opstelplaats en een afleidingsroute (normaal afgesloten i.v.m. sluiptverkeer)) verkeerstechnische maatregelen (afsluitboom, VRI etc.) en intercom + toespreekmogelijkheden, om te hoge voertuigen gelegenheid te geven het tunneltracé vóór de tunnelingang te verlaten en via een alternatieve route de openbare weg weer te bereiken. De hoogtedetectie enige honderden meters voor de tunnelingang plaatsen, op voldoende afstand om veilig stoppen mogelijk te maken zonder het overige verkeer in gevaar te brengen. De hoogtedetectie bij voorkeur niet situeren op een dalende helling: Indien een voertuig over korte afstand tot stilstand moet worden gebracht wordt op een afdalende helling (in Nederland een ongebruikelijk situatie) de remweg onnodig lang.

### 7.6.5.2 Uitvoering

1. Hoogtedetectie kan worden uitgevoerd d.m.v. een (fysieke) draad of (niet fysieke) detectie d.m.v. optische straling, radar of beeldprocessing techniek (Video Image Sensing).

Bij de keus voor (een van) deze systemen moet worden afgewogen

- de kans dat een hoog uitstekend onderdeel van een voertuig of lading met geringe afmetingen, bij hoge snelheid niet wordt gedetecteerd  
(NB. een voorwerp met een diameter van 50mm vereist bij 100km/u een detectiesnelheid van 0,06sec. Dit impliceert dat optische detectie een hoge detectiesnelheid vereist.)
- de schade die een dergelijk voorwerp kan veroorzaken
- de kans op valse meldingen (vogels, sneeuw, trillingen van zender of ontvanger)
- niet fysieke detectie is op afstand resetbaar.

*NB. (1). Een draaddetectie werkt feilloos, doch is arbeidsintensief want niet automatisch resetbaar. Op locaties waar veelvuldig hoogtemeldingen worden verwacht is een draad weliswaar een goede, maar tevens dure voorziening. Het verdient aanbeveling een draaddetectie vooraf te laten gaan door een optisch detectie, radar of andersoortige, gemakkelijk resetbare detectie*

*NB.(2) In alle gevallen kan de kans op valse meldingen van een zacht systeem worden*





*verminderd door:*

- in het wegdek onder de hoogtedetectie een voertuigdetectielus aan te brengen, die aanspreken van de detectie in verband brengt met de aanwezigheid van een voertuig.  
Lusdetectie maakt tevens detectie per rijstrook mogelijk.
  - een zachte hoogte detectie die werkt d.m.v. straling dubbel uitvoeren (2 uit 2 is waar)
2. Een andere optie is het aanbrengen van een harde fysieke voorziening om te hoge voertuigen te beletten de tunnel binnen te rijden (poort, aanrijdingbalk). Een harde voorziening is zeer effectief, doch aanrijding met hoge snelheid kan aanzienlijke schade aan het te hoge voertuig en/of lading veroorzaken, met mogelijke gevolgschade aan het andere verkeer. Daarom zijn harde hoogtebeperkingen alleen toelaatbaar op wegen waarop met lage snelheden (<50km/u) wordt gereden, zoals op aanvoerroutes (toeritten) en op lokale wegen. Om ongewild aanrijden van fysieke hoogtebeperkingen te voorkomen moeten zij altijd aangegeven worden met waarschuwborden en attentiesignalen, eventueel voorafgegaan worden door een zachte hoogtedetectie.

Zachte, niet fysieke hoogtedetectie alleen toepassen in continu bewaakte (= geobserveerde) tunnels. Bij niet bewaakte tunnels is door het ontbreken van mogelijkheden om direct in te grijpen een zacht hoogtedetectiesysteem niet zinvol. De chauffeur van de te hoge wagen is zich meestal bewust van zijn hoogte en zal zich door een automatisch werkende hoogtemelding in het algemeen niet gemakkelijk laten tegenhouden nadat hij al de beslissing heeft genomen met zijn te hoge voertuig door de tunnel te rijden.

Op snelverkeerswegen wordt vóór belangrijke objecten die zijn voorzien van een hoogtedetectie, de detectie in het algemeen dubbel uitgevoerd: De hoogtedetectie vooraf laten gaan door een vaste waarschuwing. Bij genegeerde waarschuwing:

- a. Bij aanspreken van de eerste detectie krijgt de tunneloperator een voormelding door middel van een attentiesignaal en wordt het verkeer (automatisch) gewaarschuwd door inschakelen van signaalgevers (geven een adviessnelheid) en VRI oranje knipper + bijzondere borden en flashers.
- b. Wordt vervolgens daarna de volgende detectie aangesproken, dan wordt de betreffende rijbaan of rijstrook geblokkeerd (VRI via verkort oranje naar rood).

De CCTV-installatie moet door een hoogtemelding geactiveerd worden, zodanig dat op een monitor in de bedieningsruimte automatisch het beeld wordt getoond van de CCTV-camera die op de hoogtemelding is gericht eventueel vastgelegd op een beeldregistratiesysteem.

In onbewaakte tunnels kan een vereenvoudigd systeem worden geïnstalleerd om bij schade aan de tunnel door te hoge voertuigen de veroorzaker te achterhalen: Een zachte hoogtedetectie wordt gekoppeld aan een CCTV-camera en beeldregistratiesysteem. De detectie stopt niet het verkeer, doch registreert het te hoge voertuig.



## **7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen**

### **7.6.6.1 Algemeen**

Een afsluiting zonder afsluitbomen of andere fysieke versperringen is niet geconsolideerd en staat in principe open. Voor fysieke afsluiting van een tunnel zijn daarom afsluitbomen noodzakelijk. Nadat verkeer is gestopt d.m.v. rode VRI moet deze maatregel worden geconsolideerd d.m.v. afsluitbomen.

Eveneens zijn afsluitbomen noodzakelijk voor het afsluiten van speciale toe- en afleidingsroutes (onderhoud, te hoog verkeer en/of wrakken na ongeval) en bijzondere routes t.b.v. hulpdiensten (calamiteitenroutes)..

### **7.6.6.2 Voorwaarden**

- Afsluitbomen ter afsluiting van een rijbaan op een snelverkeersweg moeten zodanig zijn uitgevoerd, dat aanrijding geen ernstige gevolgen heeft voor de inzittenden van het aanrijdende voertuig. De afsluitboom moet dus van licht materiaal zijn vervaardigd en op een verbreekbare bevestiging zijn gemonteerd.
- Afsluitbomen op een hoofdrijbaan mogen alleen neergelaten worden nadat zeker is dat het verkeer tot stilstand is gekomen of geen verkeer op de betreffende weg aanwezig is. De vergrendeling: <<rode verkeerslichten-vrijgave neerlaten afsluitboom>> bij voorkeur "hard" uitvoeren ("wisselcontact": gelijktijdig schakelen is onmogelijk).
- Voorts mag een afsluitboom alleen maar neergelaten kunnen worden terwijl deze wordt geobserveerd, dus ofwel neerlaten handmatig ter plaatse, ofwel neerlaten terwijl de bedienende persoon de afsluitboom observeert (beeld van de camera bij de afsluitboom is zichtbaar op een monitor nabij de bedienplaats).
- Automatisch neerlaten is onder alle omstandigheden potentieel levensgevaarlijk, en is niet toegestaan.
- Als beveiliging tegen neerlaten terwijl zich een voertuig onder de boom bevindt moet een voertuigdetectie in het wegdek onder de afsluitbomen worden aangebracht.





## **7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging**

### **7.6.7.1 Algemeen**

Bij langdurige afsluiting van een verkeersbuis is bij sommige tunnels omleiding via een andere tunnelbuis noodzakelijk. De middenbermbeveiliging moet hiervoor geopend kunnen worden voor doorstekend verkeer. Hiervoor is een VeVa (= Verplaatsbare Vangrail) beschikbaar

Voor het doorlaten van hulpdiensten bij calamiteiten en het doorlaten van werkverkeer is het in voorkomende gevallen noodzakelijk dat kortdurend de middenbermbeveiliging wordt geopend. Hiervoor is een CaDo (= Calamiteiten Doorsteek) beschikbaar

Voor alle vormen van beweegbare middenbermbeveiligingen geldt dat zij zodanig moeten zijn geconstrueerd, dat zij in gesloten positie als normale middenbermbeveiliging functioneren, met alle eisen die daaraan worden gesteld; dus uitbuigstraal, stijfheid en kerende werking moeten zoveel mogelijk overeenkomen met die van de aansluitende vaste middenbermbeveiliging.

### **7.6.7.2 VeVa of CaDo**

1. Een VeVa vormt de afsluiting van een ongeveer 70m lange middenbermdoorsteek. Deze lengte is voldoende om het verkeer met een min of meer normale rijnsnelheid van de doorsteek gebruik te laten maken. De VeVa moet worden geplaatst aan iedere uitritzijde van de tunnel op een met beton of asfalt verhard gedeelte van de middenberm, aansluitend op het verlengde van de middenbermbeveiliging van de tunnelinrit; een betonnen overgangsdeel vanaf de vaste barri er naar de VeVa is noodzakelijk.

De VeVa is geschikt voor langdurige omleidingen van het verkeer door  en tunnelbuis, indien ten gevolge van een calamiteit of voor onderhoud de andere tunnelbuis is afgesloten. Een VeVa is niet geschikt voor kortdurende acties (bij voorbeeld: doorlaten van een enkel voertuig)

In gesloten toestand staat de VeVa op de grond en wordt aan beide uiteinden verankerd aan de vaste barri er zodanig dat de trekkracht tengevolge van aanrijding van de gesloten VeVa kan worden opgevangen in de verankering. De VeVa moet naar links en naar rechts kunnen draaien, scharnierzijde aan de tunnelzijde.

Bediening en beveiliging van VeVa's vindt plaats vanuit de centrale bediening van het verkeersgeleidingssysteem, of lokaal d.m.v. een paneel op de VeVa.

Om veiligheidsredenen moet openen en sluiten van de VeVa bij voorkeur begeleid worden door toezicht ter plaatse en begeleidende maatregelen door de wegbeheerder op de weg.

2. Een CaDo is een deel van de middenbermbeveiliging dat als een soort afsluitboom kan worden geopend, bedoeld voor doorlaten van  en of enkele voertuigen (tijdens onderhoud of calamiteit + eventueel afvoeren van een te hoog voertuig). De doorlaatbreedte van een CaDo is meestal omstreeks 6 tot 9m. Tijdens gebruik van de CaDo moet het verkeer aan beide zijden van de middenbermbeveiliging tijdelijk worden gestopt.



Bediening en beveiliging van de Ca Do vindt plaats vanuit de centrale bediening van het verkeersgeleidingssysteem. Lokale bediening is meestal niet mogelijk, aangezien het noodzakelijk is het verkeer aan beiden zijden van de middenberm tijdelijk te stoppen. Deze taak kan niet lokaal worden uitgevoerd omdat vóór opening stilleggen van het verkeer noodzakelijk is en deze taak eveneens niet lokaal kan worden uitgevoerd.



## **7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs**

### **7.6.8.1 DRIPs (Dynamische Route Informatie Panelen)**

- zijn bedoeld voor het geven van algemene aanwijzingen aan het verkeer, voor het doen van mededelingen en voor het aangeven van omleidingroutes etc.
- worden uitgevoerd als matrixsignaalgever
- DRIPs zijn in principe vrij programmeerbaar en kunnen elke gewenste boodschap weergeven
- kunnen onafhankelijk van MTM of andere verkeersgeleidingsystemen gebruikt en geprogrammeerd worden.

### **7.6.8.2 Bijzondere borden**

Met bijzondere borden wordt elk aanwijzingsbord bedoeld dat wordt ingeschakeld voor het geven van incidentele aanduidingen en aanwijzingen zoals (voorbeelden):

- Voorwaarschuwing verkeerslichten (RVV bord J32) (bij incidenteel inschakelbare verkeersinstallatie)
- Waarschuwing voor voetgangers op de weg (RVV bord J23) (in geval bij een calamiteit gevluht moet worden naar een aangrenzende verkeersbuis waarin op dat moment mogelijk nog verkeer aanwezig is)
- Aanwijzingen bij calamiteiten geven zoals "ALARM, verlaat uw auto zo spoedig mogelijk" (geen RVV).





## **Inhoudsopgave 50 Brandblusinstallaties**

- 7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels
  - 7.7.1.1 Algemeen
  - 7.7.1.2 Eisen en ontwerpuitgangspunten
  - 7.7.1.3 Capaciteit
  - 7.7.1.4 Watervoorziening
  - 7.7.1.5 Waterslag en cavitatie
  - 7.7.1.6 Warmloopbeveiliging
  - 7.7.1.7 Fail-safe uitvoering
  - 7.7.1.8 Redundantie
  - 7.7.1.9 Pijpleiding- en flensmaterialen
  - 7.7.1.10 Eisen aan schuimvormend middel
  - 7.7.1.11 Gebruik van de hulpposten
  - 7.7.1.12 Lekindicatie
- 7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels
  - 7.7.2.1 Algemeen
  - 7.7.2.2 Branddetectiesysteem in de verkeersruimte
  - 7.7.2.3 Branddetectiesysteem bij toepassing van sprinklers
  - 7.7.2.4 Branddetectiesysteem in kabeltracé's
- 7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten
- 7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming
  - 7.7.4.1 Vorstbescherming
  - 7.7.4.2 Automatisch aftappen





---

Tunnel technische installaties



## **7.7 50 BRANDBLUSINSTALLATIES**

### **7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels**

#### **7.7.1.1 Algemeen**

Brandblusmiddelen in de tunnel hebben tot doel:

- Beperken van de brand
- Beperken van slachtoffers
- Beperken van schade aan (of verlies van) de constructie.

Uitgangspunt bij het beschikbaar stellen van brandblusmiddelen voor gebruik door tunnelgebruikers is dat direct ingrijpen bij het begin van een brand het meeste resultaat heeft. Daarom worden in iedere tunnel voor het publiek toegankelijke en veilig te gebruiken blusmiddelen geplaatst.

De keus

- en/of een watervoerend blussysteem voor algemeen gebruik
- en/of een systeem voor gebruik door uitsluitend de brandweer
- en/of een sprinklersysteem te installeren

wordt uitgebreid behandeld en gemotiveerd in de VRC

Opmerking:

Verlies van de constructie betekent een aanzienlijk kapitaalverlies én heeft tot gevolg dat gedurende lange tijd niet van de betreffende verbinding gebruik kan worden gemaakt. Dit scheidt elders overbelasting en gevaarlijke situaties, m.n. doordat eventuele alternatieve routes buiten hoofdverbindingswegen in de regel niet berekend zijn op een groot verkeersaanbod en het gebruik van deze route door vracht-, bulk- en tankvervoer

De hierna volgende beschrijving betreft algemene aanwijzingen voor brandblussystemen in grote verkeerstunnels.

#### **7.7.1.2 Eisen en ontwerpuitgangspunten**

De brandblusmiddelen moeten zodanig uitgevoerd zijn dat effectief gebruik door ongeoeffenden mogelijk is. Handelingen zoals het openen van watertoevoer, starten van brandbluspompen etc. moeten daarom zoveel mogelijk automatisch plaatsvinden.

Noodzakelijkerwijs handmatige bediening moet logisch en vanzelfsprekend zijn.

De door de brandweer geëiste minimale waterleveringscapaciteit in grote verkeerstunnels is afhankelijk van de door hen gebruikte blusmiddelen.

Voorafgaand aan een tunnelontwerp dient hierover met de brandweer te worden overlegd. Als standaard gelden de richtlijnen volgens de VRC.

#### **7.7.1.3 Capaciteit**

In het algemeen worden aan het blussysteem de volgende eisen gesteld:

- 100 l/minuut per spuitmond op iedere willekeurige slanghaspel (worpafstand met een gebonden straal >14m bij een tegenwind van 3 Beaufort);
- De totale capaciteit van het systeem  $\approx$  2000 l/min bij gebruik van twee aangrenzende hulpposten



- De capaciteit van 2000 l/min moet gedurende tenminste 1 uur met eigen middelen kunnen worden geleverd. Deze periode geeft de brandweer voldoende gelegenheid om eventueel alternatieve blusmiddelen te installeren.
- De maximale druk in het systeem ter plaatse van een brandkraan in iedere willekeurige hulppost bij  $Q = 0 \text{ l/min} \leq 13,5 \text{ bar}$  (in overleg met lokale brandweer nader vast te stellen);
- De gebruiksdrukken in het systeem ter plaatse van een brandkraan in iedere willekeurige hulppost is minimaal 4 bar en max. 8 bar bij afname van 1550 l/min op de betreffende brandkraan terwijl gelijktijdig in een direct aangrenzende hulppost een hoeveelheid water wordt afgenomen van 450 l/min.

#### 7.7.1.4 Watervoorziening

De VRC stelt dat ten behoeve van de watervoorziening van de brandweer gekozen kan worden uit openbare waterleiding, een speciaal gebouwd reservoir binnen de tunnel, oppervlaktewater, een geslagen bron of eventueel een combinatie van deze mogelijkheden. In alle gevallen is er een relatie tussen het gekozen brandblussysteem en de daarvoor noodzakelijke minimale waterkwaliteit.

1. Openbare waterleiding heeft altijd voldoende waterkwaliteit en kan in elk systeem worden toegepast
2. Speciaal gebouwd reservoir: Deze oplossing is in vrijwel alle bestaande tunnel toegepast. Binnen of nabij de tunnel is een reservoir aanwezig met een nuttige inhoud voldoende voor 1 uur volle capaciteit blussen. Dit reservoir wordt gevuld en gevuld gehouden vanuit een (huis)aansluiting op de openbare waterleiding met een capaciteit van plm.  $10\text{m}^3/\text{uur}$ .
3. Oppervlaktewater: Het in Nederland beschikbare oppervlaktewater heeft in het algemeen een hoog slibgehalte en is daarom niet geschikt voor toepassing in systemen die gevoelig zijn voor slib, tenzij een intensieve filtering voorafgaat aan het gebruik. In brandblussystemen die daar in principe niet voor zijn ontworpen, mag alleen in bijzondere (nood)gevallen (grofgefilterd) oppervlaktewater worden binnengepompt; bijvoorbeeld indien bij falen van de reguliere watervoorziening de brandweer genoodzaakt is met eigen middelen water van buitenaf in het systeem te suppleren. Consequentie is dat na afloop van de blussing het gehele systeem intensief moet worden gereinigd.
4. Bronwater is van wisselende kwaliteit maar heeft een voldoende laag slibgehalte om in alle systemen te kunnen worden toegepast. Probleem kan zijn de uitvloeking en neerslag van ijzeroxiden.

*Aandachtspunten:*

- Water dat lange tijd is opgeslagen in een reservoir is ongeschikt als drinkwater.
- De wateraansluiting naar het reservoir moet zo mogelijk onderdeel zijn van een watervoorziening die regelmatig wordt gebruikt. Indien dit niet mogelijk is moeten maatregelen worden genomen om het gebruik van dit water als drinkwater te ontraden/voorkomen, tenzij na langdurig doorspoelen.

#### 7.7.1.5 Waterslag en cavitatie

Het brandblussysteem moet bestand zijn tegen eventueel optredende waterslag in het brandblussysteem en de maximaal toelaatbare cavitatie van de pompen. In lange tunnels is het noodzakelijk om als onderdeel van het ontwerp een waterslagberekening uit te voeren.

1. Waterslag treedt op bij snelle capaciteitsveranderingen, bijvoorbeeld bij sluiten van een klep of stoppen van een pomp. Snelle afremming van een watermassa



die het gevolg is van de plotselinge capaciteitsverandering heeft drukgolven ofwel waterslag tot gevolg

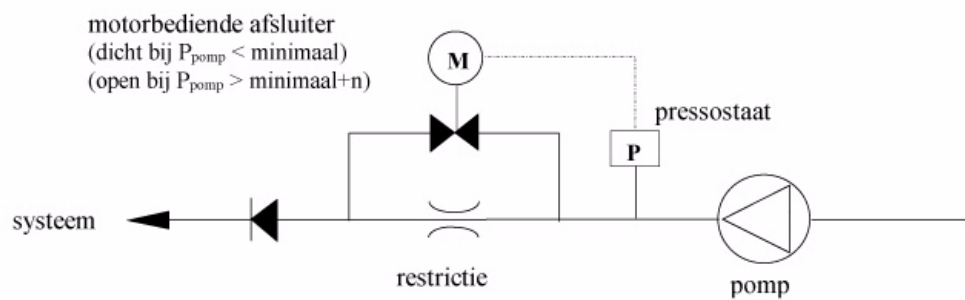
Voorzieningen ter voorkoming van waterslag zijn:

- Toepassing van brandkranen die niet snel kunnen worden dichtgedraaid (tenminste 10 seconden sluittijd);
  - Automatisch ontlueters toepassen met een geringe afvoercapaciteit.
  - Automatische ontlueters die binnen korte tijd grote hoeveelheden lucht kunnen afvoeren, mogen niet snel worden gesloten. In dit geval motorbediende ontlueters toepassen die binnen een bepaald tijdtraject trapsgewijs afsluiten.
  - Installeren van windketels of luchtbuffers op de hoofdleiding van het systeem
  - De hoofdbrandblusleiding uitvoeren in materiaal met lage E-modulus, bijv. PE100
2. Cavitatie kan optreden indien in het systeem de werkdruk veel lager wordt dan de minimale ontwerpdruk (pomp presteert v er benden de bedrijfsdruk). Bijvoorbeeld tijdens vullen van een lege leiding, of tijdens een veel grotere waterafname uit het systeem dan waarvoor het is ontworpen. Cavitatie gedurende een korte periode is niet direct schadelijk, doch op langere termijn kan schade aan de waaier ontstaan. Cavitatie kan worden voorkomen
- door onder alle omstandigheden voor voldoende systeemdruk (tegendruk) te zorgen door de maximale capaciteit van de pompen te begrenzen. Zie onderstaand voorbeeld.
  - Een pomp te selecteren met een werkgebied dat nooit de cavitatiedruk onderschrijdt.

**VOORBEELD Capaciteitsbegrenzing d.m.v. vaste restrictie met omloopleiding:**

- De pressostaat meet de pompdruk ( $P_{\text{pomp}}$ ) en stuurt de omloopafsluiter open bij  $P_{\text{pomp}} > \text{minimaal toelaatbare druk} + n$ .
- De pressostaat stuurt de omloopafsluiter dicht bij  $P_{\text{pomp}} = \text{minimaal}$
- De omloopleiding staat open bij normaal bedrijf (voldoende druk in het systeem =  $P_{\text{pomp}} = P_{\text{Systeem}}$ ).  
De pomp levert een normaal toegelaten capaciteit.
- Bij de minimum toelaatbare pompdruk sluit de omloopleiding. De restrictie beperkt de drukval aan de perszijde van de pomp zodat cavitatie niet optreedt.
- Als de pomp stopt, sluit de omloopleiding (er is geen druk)
- Als de pomp start, opent de omloopleiding (er is voldoende systeemdruk)
- Tijdens vullen van het systeem pendelt de omloopleiding tussen open en dicht (regelt de minimale druk).

NB. Storing van de motorafsluiter in gesloten stand heeft een geringe capaciteitsvermindering tijdens normaal bedrijf tot gevolg, maar bedreigt de goede werking van het brandblussysteem niet.  
(testcriterium: Bij proefstarten tegen een gesloten systeem moet de motorafsluiter helemaal open gaan)


**7.7.1.6 Warmloopbeveiliging**

De brandbluspompen starten naar aanleiding van gebruik van een slanghaspel, inschakelen door de brandweer (drukknop in de hulpposten), opstarten van het groepscommando calamiteitenknop, handbediend, bij uitvallen van de besturing (fail-safe mode), en stoppen handbediend. In alle gevallen is het mogelijk dat de pompen in bedrijf zijn zonder dat water uit het systeem wordt afgenomen. Dit heeft warmlopen van de pomp tot gevolg. Om dit te voorkomen moeten de pompen worden voorzien van een omloopleiding naar het blusreservoir voorzien van een doseerflens (vaste instelling) die juist voldoende water doorlaat om warmlopen te voorkomen.

Bij systemen met meerdere pompen op 1 persleiding moet iedere pomp zijn voorzien van een eigen, onafhankelijke warmloopbeveiliging om wederzijdse beïnvloeding te voorkomen.

De warmloopbeveiliging mag niet afsluitbaar zijn.

**WARMLOOPBEVEILIGING**

Voorbeeld  
Gegeven: Een pomp van 45kW bij  $Q_0$   $P_0=10\text{bar}$ , watertemperatuur  $20^\circ\text{C}$ .  
De maximaal toelaatbare watertemperatuur in de pomp is  $40^\circ\text{C}$ .  
Berekend: Om dit te bereiken moet de pomp worden voorzien van een restrictie van 4,7mm.  
De waterstroom door de restrictie is 30l/min.  
Deze hoeveelheid is voldoende om de pomp te koelen.

Opm. Het waterverlies door de omlooprestrictie is verwaarloosbaar t.o.v. de pompcapaciteit.

### 7.7.1.7 Fail-safe uitvoering

Voor optimale bedrijfszekerheid de schakeling van de brandbluspompen fail safe uitvoeren, d.w.z. bij storing van de besturing starten de pompen. Voorts het aantal automatisch schakelende beveiligingen in het elektrische circuit van de pompen, zoals thermische beveiliging en minimaalstroombeveiliging, niet aanbrengen of zoveel mogelijk beperken.

### 7.7.1.8 Redundantie

Een brandblussysteem met tenminste twee pompen uitvoeren. De pompen moet samen de vereiste capaciteit kunnen opbrengen. De pompen zijn niet redundant, d.w.z. als één pomp uitvalt neemt de capaciteit van het systeem af met het aandeel van die pomp.

#### Opmerking.

Bij uitvallen van één pomp neemt de systeemdruk af (het debiet neemt af waardoor de systeemweerstand lager wordt) waardoor de capaciteit van de nog draaiende pomp toeneemt. Uitvallen van één pomp heeft dus niet het halveren van de pompcapaciteit tot gevolg, maar een vermindering tussen 25-40%. Gezien de geringe faalkans van de pompen is dit toelaatbaar. De brand bestrijding, behoudens bij zeer grote branden, komt niet in gevaar.

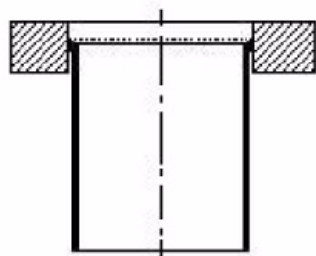
### 7.7.1.9 Pijpleiding- en flensmaterialen

De centrale brandblusleiding vervaardigen uit corrosievaste materialen, zoals roestvast staal (RVS AISI-316L), kunststof of thermisch verzinkt staal

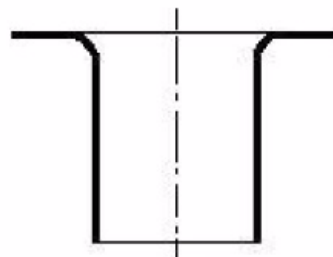
Opmerkingen bij de toepassing van roestvast stalen pijpleidingen.

- RVS leidingwerk prefabriceren en in het werk koppelen door middel van flensverbindingen
- In verband met corrosievormen die zullen optreden in stilstaand drinkwater (spleetcorrosie) moeten flenzen (kontakvlakken) in roestvaststalen leidingen zijn vervaardigd uit (RVS) werkstofnr. 1.4435 (Mo>2,5%). Doorgaande pijpen mogen zijn vervaardigd uit RVS AISI-316L
- RVS-RVS verbindingen uitvoeren dmv. overschuifflens-verbindingen, waarbij de overschuifflensen van andere kwaliteit RVS mogen zijn
- Doorgaande pijpenleidingen mogen in RVS AISI 316L worden uitgevoerd
- Pakkingen tussen RVS flenzen moeten van chloridevrij materiaal worden vervaardigd, zoals Frenzelit
- In verband met de grote kans op vervorming, en daardoor ontstaan van spleten (spleetcorrosie), is toepassing van zgn. **kraagbussen** NIET toegestaan. Zgn. **voorlasringen** zijn wel toegelaten.
- Leidingen en leidingdelen bij voorkeur niet instorten in beton.

In verband met mogelijke verwarring over de aanduiding "voorlasring" en "kraagbus" (ook wel "boordring" genoemd), hierbij enkele afbeeldingen:



voorlasring



kraagbus/boordring  
(niet toegelaten i.v.m. spleetcorrosie)

Opmerkingen bij de toepassing van kunststof pijpleidingen

In verband met de grotere kwetsbaarheid van GRE (Glasfiber Reinforced Epoxy) en geringere brandbestendigheid van kunststoffen in het algemeen, mogen kunststof pijpleidingen alleen buiten de verkeersbuis gebruikt worden op plaatsen waar de leiding tegen hoge temperatuur (CH-curve gedurende 2 uur) en mechanische beschadiging is afgeschermd.

- Normaal onder druk staande aftakkingen van drukvoerende leidingen, die niet zijn afgeschermd tegen de bij brand in de tunnelbuis optredende temperaturen, moeten temperatuurbestand zijn volgens de CH-curve (koolwaterstofcurve) gedurende 2 uur.  
*NB. Dit is een aandachtspunt bij de inrichting van hulpposten. Alle onderdelen van de brandblusinstallatie binnen een hulppost die normaal bij gesloten afsluiter naar de slanghaspel onder systeemdruk staan (dus bij niet uitgedraaide of uitgekantelde*



*slanghaspel), moeten bestand zijn conform de CH-curve. Dit geldt bijvoorbeeld voor flexibele aansluitingen binnen de hulppost.*

- Aftakkingen (T-stukken) van kunststof leidingen naar (de hulpposten in) de verkeersbuis moeten in ieder geval worden vervaardigd van RVS of thermisch verzinkt staal (i.v.m. het opvangen van mogelijke buigkrachten op de afgetakte pijp).
- Gezien de geringe slagvastheid mogen glasvezelgewapende kunststoffen (zoals GRE) alleen worden toegepast indien voorzien van een slagvaste buitenmantel.
- Ter plaatse van elke vaste aftakking moet een kunststof leiding zijn voorzien van een vast punt; dwz. een verzwaarde bevestigingsbeugel moet worden gebruikt, ter weerszijden waarvan fixatieschalen op de buis moeten worden gelijmd of gelast.
- Bijzondere aandacht moet worden besteed aan het opvangen van axiaal gerichte spatkrachten die bij bochten en aan de uiteinden van de pijpleidingen kunnen optreden.
- In verband met het Poisson effect mogen lengtecompensatoren in kunststof leidingen niet worden toegepast
- Aansluitingen vanaf een kunststof hoofdleiding op RVS-aftakkingen, koppelleidingen, hoofdaanvoerleidingen of op een appendage, moeten uitgevoerd worden als flensverbinding, waarbij de RVS pijp of de appendage moet zijn voorzien van een zgn. "flat-face" flens.
- Leidingen en leidingdelen bij voorkeur niet instorten in beton.
- Kunststof pijpleidingflenzen uitvoeren als overschuifflenzen
- Kunststof HDPE kan niet zonder meer van een leidingverwarming worden voorzien (geleidt geen warmte, dus plaatselijke oververhitting door de verwarmingskabel is mogelijk), maar moet eerst omwikkeld worden met aluminiumband (om de warmte te verspreiden) alvorens de verwarmingskabel kan worden aangebracht.
- Voor het verbinden van doorgaande leidingdelen van kunststof kan gebruik worden gemaakt van (trekvaste koppelingen), spiegellassen (PE), elektrolasmoffen (PE) en lijmverbindingen (PE en GRE). Spiegellassen en elektrolasmoffen geven zeer goede resultaten. Lijmverbindingen in hoge druk leidingen voldoen minder goed en benodigen een zekere hardingstijd na aanbrengen van de lijmverbinding dus niet toepassen i.v.m. verhoogd risico

#### **7.7.1.10 Eisen aan schuimvormend middel**

Eisen te stellen aan schuimvormende middelen voor toepassing in slanghaspels en sproeischuimblussers:

- geschikt voor brandklasse A en B
- biologisch afbreekbaar
- moet voldoen aan de prEN 1586
- vorstbestendig tot -15°C
- alcoholbestendig
- metaalvrij
- houdbaarheid in gemengde toestand minimaal 5 jaar.





### 7.7.1.11 Gebruik van de hulpposten

(zie ook de beschrijving in de VRC):

De hulpposten zijn ingericht voor gebruik door ondeskundige (tunnelgebruikers) en brandweer. De twee-deurs posten zijn voor beide gebruikers zijn ingericht:

1. Achter de éérst openende deur is een publiekscompartiment waarin zich uitsluitend hulpmiddelen voor de ondeskundige gebruiker bevinden.
2. Achter de als tweede openende deur bevinden zich blusmiddelen en apparatuur voor de brandweer

In deze hulpposten kunnen twee gebruikssituaties worden onderscheiden:

- a. (ondeskundig) gebruik door publiek:
  - de gebruiker opent de hulppost en neemt de spuitmond uit de houder
  - de slanghaspel draait of kantelt naar buiten; tevens worden hierdoor automatische de watertoevoer geopend en de brandbluspompen gestart
  - de gebruiker hoeft nu nog slechts de spuitmond te openen; hij heeft daarbij de keus uit een straal en een broes.
  - gedurende de eerste 25 min zal water voorzien van een schuimvormend middel (AFFF) beschikbaar zijn. De gebruiker heeft niet de mogelijkheid de AFFF toevoer te stoppen.
  - nadat al het AFFF is verbruikt, zal uitsluitend nog drinkwater ter beschikking zijn.
  - de spuitmond wordt in opgehangen positie verzegeld, om controle op het gebruik mogelijk te maken.
  - de verzegeling moet eenvoudig met handkracht verbreekbaar zijn
- b. (deskundig) gebruik door de brandweer of (RWS)personeel
  - voor zover van de brandslanghaspels gebruik wordt gemaakt is het gebruik conform de beschrijving in a.
  - bij gebruik van uitsluitend de Storz brandkranen kunnen de brandbluspompen worden gestart door bediening van de in elke hulppost aanwezige drukknop.
  - vanuit een hulppost kunnen de brandbluspompen alleen worden gestart, maar niet gestopt

De brandbluspompen kunnen alleen gestopt worden dmv. handbediening vanuit de centrale objectbediening, door daartoe bevoegd personeel. Om abusievelijk pompbedrijf te voorkomen moet een maximale draaitijdbewaking (alleen melding) naar de tunneloperator worden aangebracht.

### 7.7.1.12 Lekindicatie

Een permanent gevuld brandblussysteem moet zijn voorzien van een lek-indicatie.

1. In systemen die permanent onder druk worden gehouden door een jockeypomp (stand-by pomp) is het aantal starts van de jockeypomp een indicatie voor de lekkage van het systeem.
2. In systemen die normaal gevuld, maar niet permanent onder druk staan wordt een (geringe) statische druk op het brandblussysteem handhaafd vanuit een op het hoogste punt van het systeem aanwezig lek-indicatiereservoirtje. Niveaudaling van het water in het lek-indicatiereservoir is aanwijzing voor lekkage.

Een lek-indicatiereservoir wordt gevuld en gevuld gehouden d.m.v. een aansluiting op de waterleiding.

**Algemene aanbeveling:**

Brandblussystemen worden langdurig NIET gebruikt, maar moeten als het er op aan komt feilloos hun werk doen. De goede werking is sterk afhankelijk van onderhoudsdiscipline en regelmatig testen. Regelmatig (automatisch) starten en op druk brengen van het systeem is noodzakelijk, evenals regelmatig testen en inspecteren

Een brandblussysteem met een dubbele functie, zodanig dat het ook voor andere doeleinden noodzakelijk is en daarom regelmatig wordt gebruikt is in principe mogelijk, en geniet de voorkeur boven een systeem dat uitsluitend geschikt is om brand mee te blussen.

Het heeft daarom zin om te trachten het brandblussysteem meerdere functies te geven: het watervoerende systeem zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor het vullen van wandenwaswagens en overige schoonmaakwerkzaamheden, zoals doorspoelen van een riolering. In tunnels onder een brede rivier zou de hoofdleiding en pompsysteem gebruikt kunnen worden voor (drink)watertransport door de tunnel naar de andere oever.

Iedere dubbelfunctie heeft tot automatisch tot gevolg dat het systeem vaker of regelmatig wordt gebruikt en onderhouden, en dat storingen eerder of direct worden opgemerkt. Daarbij is bij regelmatig gebruikte systemen de motivatie tot snelle reparatie groter.

Bij het ontwerp van een brandblussysteem van welke aard dan ook heeft het tevens zin om in het (watervoerende én elektrische) circuit zo min mogelijk schakelende en sturende onderdelen aan te brengen die kunnen gaan vastzitten, weigeren en anderszins de goede werking zouden kunnen verstoren. Een ongecompliceerd systeem heeft is de grootste kans dat het zal werken op het moment dat het noodzakelijk is.

Het aanbrengen van onderdelen binnen de verkeersruimte zoveel mogelijk beperken.





## **7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels**

### **7.7.2.1 Algemeen**

De VRC (bijlagen hst.14) gaat vrij diep in op branddetectie en brandmelding. Branddetectiesystemen kunnen nuttig zijn op plaatsen waar onopgemerkt brand kan ontstaan, zoals in kabeltrace's of technische ruimten.

Door middel van apparatuur wordt een brand in een vroeg stadium gemeld, hetgeen bijdraagt aan een effectieve bestrijding.

### **7.7.2.2 Branddetectiesysteem in de verkeersruimte**

In Nederlandse verkeerstunnels wordt een branddetectiesysteem in de verkeersruimte overbodig geacht. De tunnels zijn alle bewaakt en bevinden zich zonder uitzondering in intensief gebruikte wegen. Een brand in de verkeersruimte zal worden gedetecteerd en gemeld door:

- de verkeers-(stilstands)detectie waardoor tevens de TV-camera die gericht staat op de betreffende tunnelsectie automatisch wordt ingeschakeld.
- de zichtmeting van het ventilatie systeem. Deze geeft een alarm indien het zicht in de tunnel beneden een minimum waarde daalt. Dit signaal is geschikt voor algemeen branddetectie.
- de tunnelgebruikers, die via intercom en andere communicatiemiddelen de brand melden
- Het openen van een hulppost of sproeischuimbluspost wordt gemeld in de controlekamer, waardoor tevens de TV-camera die gericht staat op de betreffende tunnelsectie automatisch wordt ingeschakeld.
- Het uitkantelen of draaien van een brandslanghaspel en het wegnemen van een sproeischuimblusser veroorzaakt tevens een (brand)melding.

De grote snelverkeerstunnels zijn alle continu bewaakt of zijn onderdeel van een continue bewaakte wegtracé. Op grond van deze overwegingen wordt het niet noodzakelijk geacht een afzonderlijk branddetectiesysteem in de verkeersruimte van bewaakte tunnels te installeren.

### **7.7.2.3 Branddetectiesysteem bij toepassing van sprinklers**

In tunnels met al of niet automatische sprinklersystemen moet een branddetectiesysteem worden geïnstalleerd dat in staat is de lokatie van de brand te bepalen, eventueel te volgen indien de brand zich verplaatst.

### **7.7.2.4 Branddetectiesysteem in kabeltracé's**

Het kan zinvol zijn een branddetectiesysteem te installeren in het kabeltracé. Weliswaar is de kans op brand gering, echter brand in het hoofd-kabeltracé kan ernstige gevolgen hebben. In de praktijk wordt een branddetectiesysteem in het kabeltracé zeer sporadisch toegepast.





### **7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten**

Het gebruik van de volgende onderdelen van of uit hulpposten wordt in het bedieningscentrum van de tunnel gemeld:

- openen hulppostdeur
- uitnemen handblusser
- uitnemen van de spuitmond of uitkomen van de brandslanghaspel (alleen in hulppost type A)
- bedienen brandweerdrukknop in hulppost (alleen in hulppost type A)
- gebruik van het in de hulpposten aanwezige intercomtoestel.

Bij één van de genoemde signalen uit een hulppost wordt een attentiesignaal gegeven en wordt automatisch het beeld van de een CCTV-camera die gericht staat op de betreffende hulppost zichtbaar gemaakt op een videodisplay in het bedieningscentrum van de tunnel.





## **7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming**

### **7.7.4.1 Vorstbescherming**

In belangrijke verkeerstunnels is het brandblussysteem normaal altijd met water gevuld. Dit impliceert dat alle watervoerende delen voor zover niet vorstvrij gesitueerd, moeten worden verwarmd en geïsoleerd.

Het watervoerend brandblussysteem moet beschermd worden tegen uitval door bevroeringsgevaar tot een omgevingstemperatuur van  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Hiertoe worden alle hulpposten verwarmd en worden de centrale brandblusleiding waar nodig voorzien van een tracing en een isolatie, eventueel (plaatselijk) verwarmingsmanchetten.

De tracing en isolatie kan over korte afstanden worden onderbroken zonder dat dit gevolgen heeft voor de vorstbescherming van de leiding, bijvoorbeeld ter plaatse van flensverbindingen en/of compensatoren. Dit verbetert bovendien de inspecteerbaarheid van een verbinding.

Leidingisolatie moet een zodanige hardheid hebben dat belopen door personen geen nadelige invloed heeft.

De verwarming van de centrale brandblusleiding wordt door middel van een buitentemperatuurvoeler geschakeld. (inschakelen bij een buitentemperatuur  $<2^{\circ}\text{C}$ ). (Mede) om verwarming van alle leidingdelen mogelijk te maken moeten deze bij voorkeur niet worden ingestort.

### **7.7.4.2 Automatisch aftappen**

(Normaal) droge leidingsystemen komen in grote verkeerstunnel vrijwel niet voor. Sommige spoortunnels zijn voorzien van een hoofdleiding met aftakkingen (geen hulpposten). Hier wordt gekozen voor (automatisch) aftappen van de leiding bij vorstgevaar. Bij de eerstvolgende (proef)start van de brandbluspompen wordt de leiding weer gevuld (en indien er nog steeds vorstgevaar aanwezig is, direct na de (proef)start weer afgetapt, zo niet, dan bij het eerstvolgende vorstgevaar weer afgetapt).







## **Inhoudsopgave 60 Communicatie**

- 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie
  - 7.8.1.1 Algemeen
  - 7.8.1.2 Eisen en standaarden
  - 7.8.1.3 Schakelen videodisplay
  - 7.8.1.4 Enkele uitvoeringsdetails
- 7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)
  - 7.8.2.1 Algemeen
  - 7.8.2.2 Opbouw
  - 7.8.2.3 Enige uitvoeringsdetails
- 7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie
  - 7.8.3.1 Algemeen
  - 7.8.3.2 Enkele technische details
  - 7.8.3.3 Registratie van intercomverkeer
- 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie
  - 7.8.4.1 Algemeen
  - 7.8.4.2 Enkele technische details
- 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie
  - 7.8.5.1 Algemeen
  - 7.8.5.2 Enkele technische details
  - 7.8.5.3 Registratie van telefoonverkeer



---

Tunnel technische installaties



## 7.8 60 COMMUNICATIE

### 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie

#### 7.8.1.1 Algemeen

##### 1. Camera's

Voor de observatie van het verkeer en van incidenten in de tunnel zijn langs het gehele tunneltracé per rijrichting CCTV-camera's geplaatst op zodanige afstand van elkaar dat de camerabeelden elkaar juist overlappen. Het systeem voorziet in videobeelden voor de tunneloperator.

*N.B. In de praktijk wordt aan deze eis voldaan bij een onderlinge camera afstand van maximaal h.o.h. 100m.*

Camera's desgewenst voorzien van een pan-tilt en zoom voorziening. Indien deze voorzienig is aangebracht moet de camera d.m.v. één commando naar een vast ingestelde standaard positie en instelling kunnen worden teruggesteld (preset of set-point).

In de standaardpositie kijken CCTV-camera's binnen een tunnel en langs een tunneltracé altijd met de normale rijrichting van het verkeer mee, uitgezonderd overzichtcamera's buiten de tunnel of camera's die voor observatie van een bepaald object zijn opgesteld (bijvoorbeeld een hoogtedetectie of afsluitboom). Iedere camera kan afzonderlijk worden gemanipuleerd vanaf een bedieningsinterface

##### 2. Videodisplay:

Het beeld van de camera's wordt zichtbaar gemaakt op een monitor, monitorpaneel, videowall of andere wijze van videodisplay.

Voor nadere observatie kunnen camerabeelden worden geselecteerd op een detailmonitor.

N.B. Bij de opstelling en indeling van een monitorpaneel, c.q. videodisplay moet bij voorkeur de geografische beeldpresentie overeenkomen met het geografische beeld in het hoofd van de observator. Dus bij voorkeur noorden boven en zuiden onder. En als de operator naar buiten zou kunnen kijken moeten bij voorkeur de rijrichtingen gezien vanuit zijn werkpositie gelijk aan die op zijn beeldscherm.

Bijvoorbeeld: Indien vanuit zijn normale werkpositie de operator naar het westen kijkt, moet op het beeldscherm de westbaan boven en de oostbaan onder worden afgebeeld (verkeer op de W-baan = N-Z verkeer rijdt van rechts naar links) Kijkt daarentegen de operator vanuit zijn normale werkpositie naar het oosten, dan moet de westbaan onder en de oostbaan boven worden afgebeeld (N-Z verkeer rijdt van links naar rechts)

Deze regel kan worden overruled indien de bedienplek geen enkele geografische relatie heeft met het te bedienen object.

Binnen een verkeerscentrale is het raadzaam de presentatie van te observeren objecten uniform te maken, dus bijvoorbeeld altijd op alle video schermen dezelfde windstreek boven.

##### 3. Videoregistratie en afspeelvoorzieningen

Indien daar behoefte aan is kan worden besloten een mogelijkheid aan te brengen tot het vastleggen van camerabeelden. Twee opties zijn mogelijk:



- Registratie op verzoek of na een incident: De operator besluit het beeld van één geselecteerde camera vast te leggen (druk op de knop). Op een videorecorder of rewritable geheugen wordt de afhandeling van het incident geregistreerd. Deze actie kan eventueel geautomatiseerd worden geactiveerd door de verkeersdetectie of andere signalen vanuit de tunnel (openen hulppost). Bij hand-ingeschakelde videoregistratie wordt het beeld van de detailmonitor geregistreerd tenzij deze bezet is voor opname van een eerder ingeschakelde presentatie (in verband met de mogelijkheid dat op dat ogenblik een videoregistratie wordt gemaakt van een incident)
- Voortdurende registratie: Van elke CCTV-camera wordt voortdurend het beeld vastgelegd tot een bepaalde limiet of het moment dat de operator besluit het betreffende camerabeeld te overschrijven, danwel te bewaren. Bij deze toepassing is het mogelijk om de voorgeschiedenis van een incident terug te lezen.  
Voor het reconstrueren van een incident is het voldoende om van elke camera op regelmatige tijdsintervallen een beeld vast te leggen.  
Bij voortdurende beeldregistratie worden bij het overschrijven van een bepaalde opslagcapaciteit de oudste beelden automatisch overschreven. Door het geven van een handmatig, of automatisch commando kan het overschrijven worden geblokkeerd en hervat nadat deze blokkering is opgeheven.  
Tevens moet een afspeelvoorziening voor de geregistreerde gegevens aanwezig zijn.
- Opgeslagen CCTV-beelden moeten beveiligd zijn tegen bewerking achteraf, moeten zichtbaar de identificatiecode van de betreffende camera dragen en de tijd en datum van opname.

### 7.8.1.2 Eisen en standaarden

Een CCTV-systeem t.b.v. observatie van het verkeer in tunnels moeten minimaal voldoen aan de volgende eisen en standaarden:

Camerabeelden

- Beeldveld: Over de gehele tunnallengte een gebied waarnemen met een breedte van tenminste de volledige wegbreedte inclusief eventuele vluchtstroken, en met een hoogte tot tenminste 1,5m boven het wegdek.
- Kijkrichting: Binnen de tunnel waarnemen d.m.v. vast opgestelde camera's, kijkend in de rijrichting. Het verkeer wordt dus altijd op de rug gezien, conform het beeld dat een verkeersdeelnemer van het verkeer heeft.
- Overlap: Camerabeelden moeten elkaar zover overlappen dat aan de eisen t.a.v. het beeldveld wordt voldaan. D.w.z. vanaf het moment dat (de onderste 1,5m van) een voertuig uit het beeld van de ene camera verdwijnt, moet ditzelfde (deel van het) voertuig zichtbaar worden in het beeld van de volgende camera, zodanig dat beide camerabeelden tezamen een volledig beeld geven van het betreffende voertuig(deel).
- Onderscheidend vermogen: voor het tunnelbedrijf relevante incidenten en details daarvan moeten ook achterin het beeld van een camera herkenbaar zijn.

Plaats van de camera's

Camera's zodanig plaatsen dat de kans op afdekken van het beeld door een stilstaande voertuig minimaal is.



De kans op afdekking door een vrachtwagen is het grootst en derhalve bepalend. De kans op afdekking wordt beïnvloed door

- de hoogte waarop de camera is geplaatst (plaats t.o.v. horizontale as van de tunnel):  
Een hoog standpunt geeft minder kans op afdekking.
- de onderlinge afstand tussen de camera's: Een korte tussenafstand geeft minder kans op afdekking.
- de plaats van de camera t.o.v. de verticale as van de tunnel. Plaatsing aan uiterste linkerkant van de rijbaan geeft minder kans op afdekking dan plaatsing aan rechterkant van de rijbaan (waar zich het vrachtverkeer in hoofdzaak bevindt).

Aantal monitors/videodisplay

(Onder monitor wordt verstaan: het apparaat waarop een camerabeeld zichtbaar wordt gemaakt)

Op observatiemonitors of op het videodisplay is het niet noodzakelijk voor iedere camera een afzonderlijke beeldpresentatie weer te geven.

Voor observatie van het verkeer in tunnels met een overdekte lengte tot 1000m zijn 3 monitors per tunnelbuis voldoende. In tunnels >1000m zijn 6 monitors voldoende. In iedere installatie moet tenminste één detailmonitor per rijrichting aanwezig zijn waarop ieder willekeurig camerabeeld kan worden vertoond.

### 7.8.1.3 Schakelen videodisplay

1. Normaal staat de gehele CCTV-installatie stand-by, maar de videodisplay is niet actief. Bij incidenten zoals verkeersdetectie (snelheidsoverschrijding), openen van een hulppost, of gebruik van de luidsprekerinstallatie worden de camera's in het betreffende gebied geactiveerd en het beeld op de videodisplay zichtbaar gemaakt.
2. De videodisplay bij automatische inschakeling n.a.v. een incident in de tunnel of hoogtedetectie zodanig schakelen dat het beeld van 3 opeenvolgende camera's in de betreffende tunnelbuis wordt getoond, waarbij het beeld van de middelste camera op het incident gericht staat. Ter weerszijden daarvan de beelden van de voorgaande en de volgende camera.

Het incidentbeeld wordt tevens automatisch geschakeld op de detailmonitor.

*N.B. indien tijdens een automatisch ingestelde presentatie als bovenomschreven een tweede signaal wordt gegeven t.g.v. een verkeersdetectie of openen van een hulppostdeur, blijft de eerst ingeschakelde presentatie staan; inschakelen van het tweede camerabeeld wordt gevraagd door middel van een attentiesignaal op de bedieningsplaats; de operator heeft nu de keus tussen inschakelen van het gevraagde camerabeeld, of laten staan van het reeds aanwezige eerst ingeschakelde beeld. Indien binnen 5 minuten niet op de inschakelvraag wordt gereageerd, vervalt deze. Deze handelwijze wordt gemotiveerd door de overweging dat de eerst ingeschakelde presentatie de belangrijkste informatie geeft, zodat deze prevaleert boven andere informatie.*

3. De tunnelbediening moet in staat iedere al of niet automatisch ingestelde camerabeeldpresentatie op ieder ogenblik te overrulen.  
*N.B. Schakeltechnisch onderscheidt een zelf gekozen beeldpresentatie zich niet van een automatisch ingestelde presentatie; ook hierbij kan de automatiek de handinstelling niet overrulen, maar wordt een attentiesignaal gegeven.*
4. Toespreken van een luidsprekersectie geschiedt door eerst op de detailmonitor het beeld van de CCTV-camera in de toe te spreken luidsprekersectie in te schakelen.  
Indien daarna de luidsprekerinstallatie wordt ingeschakeld wordt de betreffende sectie toegesproken. Toespreken van niet geobserveerde secties is niet mogelijk.



### 7.8.1.4 Enkele uitvoeringsdetails

#### Algemeen

- De videosignalen moeten kunnen worden gecontroleerd zonder dat het videosignaal hiervoor behoeft te worden onderbroken.
- De status van de CCTV-bediening moet vanaf de bedieningsplaats direct afleesbaar te zijn.

#### Camera's

- Camera's dienen geschikt te zijn voor een aansluitspanning van 230V, 50 Hz  $\pm 10\%$ ;
- De aansluiting tussen de aansluitkast en de camera moet via een zgn multicorekabel tot stand gebracht worden, zodat via deze kabel alle signalen worden overgebracht; In lange tunnels kan van glasvezeltechnieken gebruik worden gemaakt.
- De automatische lichtaanpassing dient instelbaar te zijn tussen topwaarde en gemiddelde waarde; regelbereik in gesloten tunnel = 1-500 cd/m<sup>2</sup> (bij  $E_h = 10-5000$  lux)  
regelbereik in het overgangsgebied binnen-buiten = 1-10.000 cd/m<sup>2</sup> (bij  $E_h = 10-100.000$  lux) (opname element minimaal CCD H756 x V 582 pixels, resolutie >560 lijnen)
- camera's voorzien van een automatische contrast en helderheidsregeling. De camera regeling moet in staat zijn de verblinding te corrigeren, die ontstaat wanneer een camera op een heldere dag van binnen naar buiten de overdekte tunnel kijkt (laatste camera bij de tunneluitgang)
- Elke camera dient van een aparte voeding te worden voorzien;
- Temperatuurbereik -25°C tot +55°C omgevingstemperatuur tijdens bedrijf;
- Het binnenwerk van de camera moet uitgewisseld kunnen worden zonder dat de stand van de camerabehuizing hiervoor gewijzigd moet worden.

#### Behuizing van camera's

- De camerabehuizing dient volledig geïsoleerd te zijn ten opzichte van het binnenwerk en moet zijn vervaardigd van zeewaterbestendig aluminium, eventueel ongewapend kunststof
- In de camerabehuizing dient een verwarming te zijn aangebracht van voldoende vermogen om condens, sneeuw en ijzel op de ruit te voorkomen;
- De aardschroef van de camerabehuizing dient aan de buitenzijde van het huis aangebracht te zijn; Alle bevestigingsmiddelen, zoals bouten, moeren en sluitringen van RVS, type AISI 316 te zijn, waarbij de verbinding "verlies vrij" moet worden uitgevoerd;
- Alle camera's in de tunnelbuis tegen opwaaiende dekzeilen beschermen door middel van een de camera omhullende kooiconstructie;
- Camerabehuizing voorzien van zonnekap en ruitafscherming;
- De opstelling moet windsnelheden van 150 km/u kunnen weerstaan;
- Trillingen die het gevolg zijn van de wind of het verkeer op de constructie waarop de camera is bevestigd, mogen de goede werking van de camera niet beïnvloeden.

Voor camera's op masten >5m betekent dit dat de horizontale uitslag van de camera niet groter mag zijn dan 10cm bij windkracht 10.



## **7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)**

### **7.8.2.1 Algemeen**

Hulpverlenende instanties zoals brandweer en politie hebben eigen radioverbindingen, die echter niet zonder speciale voorzieningen binnen de tunnel kunnen worden gebruikt.

Het HF-systeem:

- maakt mogelijk radioverkeer te onderhouden vanuit de tunnel naar buiten en vice versa (voor hulpdiensten bij incidenten en voor mobilfoonverkeer bij onderhoud en werkzaamheden);
- maakt mogelijk radioverkeer te onderhouden tussen de tunnelbuizen onderling
- verzorgt her-uitzending binnen de gesloten tunnel van openbare radiofrequenties
- maakt inspreken op openbare radiofrequenties binnen de gesloten tunnel mogelijk

### **7.8.2.2 Opbouw**

Een HF-systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- a. Een HF-antennesysteem opgebouwd uit:
  - een antenne-installatie buiten de tunnel: Alle antennes voor het totale HF-systeem worden samengebracht op een antennemast die buiten de tunnel op een hoog punt boven het maaiveld (dak technisch gebouw) is aangebracht.
  - een antenne (stralende Coax) over de volle lengte van de tunnelbuis en indien nodig in aangrenzende ruimten.  
De coax antenne vanaf beide einden en/of in secties voeden, zodanig dat de kabel blijft functioneren indien hij tengevolge van een calamiteit (brand) plaatselijk wordt vernield (de installatie binnen de tunnelbuis moet zodanig zijn geconstrueerd, dat een plaatselijke temperatuur van 1000°C gedurende 1 uur geen uitval van het uitgezonden signaal tot gevolg heeft).
  - In iedere tunnelbuis (rijrichting) moet een onafhankelijk van de andere tunnelbuizen (rijrichtingen) werkend deel van de HF-installatie aanwezig zijn.
- b. overdrachtsapparatuur in apparatenkasten in een van de technische gebouwen van de tunnel
- c. aanstuurapparatuur: Voor iedere tunnelbuis (rijrichting) moet een onafhankelijk werkende installatie worden aangebracht die kan worden aangestuurd vanuit het controlecentrum van de tunnel.

### **7.8.2.3 Enige uitvoeringsdetails**

- bij de signaaloverdracht mogen de radiofrequenties van de oorspronkelijke uitzending niet worden gewijzigd
- vanuit het contrôlecentrum van de tunnel moet meeluisteren op de afzonderlijke radiokanalen mogelijk zijn
- inspreken op de openbare radiokanalen moet mogelijk zijn
- het systeem moet geschikt zijn voor RDS-signaaloverdracht
- het systeem moet alle signalen van FM-radioontvangst, portofoon etc. gelijktijdig kunnen verwerken





- het systeem moet alle willekeurige kanalen binnen het bereik van 60 MHz tot 900 MHz kunnen bestrijken. In overleg met (vertegenwoordigers van) de tunnelgebruikers en beheerders moet uiteindelijk bepaald worden welke frequenties noodzakelijk zijn voor de communicatieverbindingen (C2000)
- het zendvermogen in de tunnel mag minimaal 1 W en maximaal 15 W zijn



## **7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie**

### **7.8.3.1 Algemeen**

De intercominstallatie voorziet in een spreek-luisterverbinding tussen hulpposten en operator, onafhankelijk van het openbaar telefoonnet.

Het intercomsysteem is in de eerste plaats bedoeld voor tunnelgebruikers in geval van pech of calamiteiten.

Binnen de overdekte tunnel zijn toestellen geplaatst in hulpposten, buiten de tunnel op praatpalen.

Op de verkeerslessenaar in de centrale bedieningsruimte van de tunnel bevindt zich de ontvangst- en bedieningsapparatuur.

Per rijrichting moet de intercominstallatie functioneel van de andere rijrichtingen gescheiden zijn. D.w.z. per rijrichting/tunnelbuis kunnen de intercominstallaties gescheiden worden gebruikt. Verloren gaan van de installaties in 1 rijrichting heeft geen invloed op de installaties in de andere rijrichting.

### **7.8.3.2 Enkele technische details**

- Het gebruik van de installatie voor zover het de tunnelgebruiker betreft moet zoveel mogelijk overeenkomen met een gewoon telefoontoestel.
- Het geluidsniveau van alle intercomtoestellen moet automatisch dynamisch aanpassen aan het omgevingsgeluid. Bij zowel normaal rijdend verkeer, fileverkeer en ingeschakelde ventilatie. De geluidsdruk van het omgevingslawaai van een in gebruik zijnde tunnel is bij normaal verkeer ongeveer 100 dB(A).
- De spraakverstaanbaarheidsfaktor (STI-waarde) moet aantoonbaar en in elke gebruikssituatie 0,60 zijn. Het ontwerp van de intercominstallatie moet tenminste voldoen aan de STI-richtlijnen welke zijn vastgelegd in IEC60268 en ISO3382.
- De installatie heeft op de bedieningslessenaar een wachtstandvoorziening voor het afhandelen van meerdere oproepen (minimaal 3 direct zichtbaar en de overige intern in de wachtstand).

Oproepen worden in principe afgehandeld in volgorde van binnenkomst. Indien het bedieningstoestel in gesprek is met een voorgaande oproep, worden volgende oproepen in een wachtstand geplaatst, die evenals bij de normale procedure een wektoon krijgen. Op de terugmelding moet dan te zien zijn welke posten zich in de wachtstand bevinden.
- Op het centrale toestel moet worden weergegeven vanuit welke hulppost of andere lokatie een intercomtoestel verbinding vraagt, er moet na het opnemen van de hoorn direct met elkaar gesproken kunnen worden.
- De intercominstallatie moet verschillende paralleloproepen kunnen verwerken.
- Het systeem moet zijn voorzien van een lijn- en toestelbewaking, onafhankelijk van de overige besturingssystemen
- Haakcontacten van intercomtoestellen uitvoeren zonder mechanisch bewegingsmechanisme
- Intercomtoestellen moeten waterdicht zijn uitgevoerd in slagvast kunststof. Dichtingsgraad tenminste IP55
- In tunnels zonder no-breakvoorziening, moet de intercominstallatie zijn voorzien van een eigen noodstroomvoeding met een capaciteit voldoende voor 1 uur volledig bedrijf.



### **7.8.3.3 Registratie van intercomverkeer**

Alle inkomende en uitgaande intercomgesprekken vanaf de verkeerslessenaar kunnen worden vastgelegd op een gesprekken recorder. De gesprekken recorder heeft voldoende capaciteit voor het volledig automatisch vastleggen van alle te verwachten intercom gesprekken gedurende een etmaal (24uur).

Naast de 24-uurs geluidsrecorder is een tweede recorder geïnstalleerd waarop indien gewenst gesprekken vanaf de 24-uurs recorder kunnen worden gekopieerd en gearchiveerd. De geluidsdrager van deze recorder is uitwisselbaar en kan worden bewaard gedurende een ongelimiteerde periode.

Tevens moet een afspeel voorziening voor de geregistreeerde gegevens aanwezig zijn.



## 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie

### 7.8.4.1 Algemeen

Luidsprekerinstallaties moeten per rijrichting functioneel gescheiden zijn uitgevoerd, elke rijrichting met een eigen microfoon op de bedieningslessenaar.

De luidsprekers worden binnen de tunnel bevestigd aan het tunnelplafond; buiten de tunnel aan masten en voorzover mogelijk aan reeds langs het tracé aanwezige masten en portalen.

De luidsprekerinstallatie is verdeeld in onafhankelijk werkende secties, die corresponderen met de CCTV-secties.

De luidsprekers worden geschakeld per sectie. De sectie selecteren via de besturing van de CCTV-installatie, zodanig dat de op het videodisplay geobserveerde CCTV-sectie wordt besproken als de luidsprekerinstallatie wordt ingeschakeld.

Selectieve bediening is mogelijk via de CCTV-detailmonitor (zie verder het hoofdstuk CCTV-installatie). Indien geen CCTV-detailmonitor wordt geplaatst, moet op andere wijze "hand"selectie van de te bespreken luidsprekersectie mogelijk zijn.

### 7.8.4.2 Enkele technische details

- De luidsprekers tegen de rijrichting van het verkeer in richten.
- De geluidsproductie moet zodanig zijn dat een persoon in of buiten een voertuig tijdens file-verkeer, een gesproken boodschap duidelijk kan verstaan boven de geluidsproductie van file-verkeer (+ 95 dB(A)) en/of de in bedrijf zijnde tunnelventilatie uit.  
Hiertoe moet het geluidsniveau automatisch regelbaar zijn.
- Binnen de gesloten tunnel moet de Speech Transmission Index (STI) tenminste voldoen aan de eisen gesteld in de VRC hoofdstuk 13.2.

**Opmerking:**

1. Het is aan te bevelen (indien mogelijk) een verkennende STI-meting uit te voeren alvorens een definitief ontwerp van een luidsprekersysteem in de tunnelbuizen te maken.
2. Een belangrijke geluidsbron binnen de overdekte tunnel wordt gevormd door de tunnelventilatoren. Beperking van de geluidsproductie van tunnelventilatoren draagt derhalve bij aan het verbeteren van de verstaanbaarheid van de luidsprekerinstallatie.  
Daarbij is het geluidsspectrum van tunnelventilatoren niet uniform. Bepaalde frequenties, o.a. afhankelijk van het toerental en het aantal rotorbladen zijn overheersend en het is weinig effectief de verstaanbaarheid van een luidsprekerinstallatie te verbeteren door te trachten deze frequentiegebieden te overstemmen. Om tot een optimaal resultaat te komen bij het ontwerp van een goede STI is het daarom zinvol in overleg met de ventilatorenfabrikant te treden om rekening te kunnen houden met het geluidsspectrum van de tunnelventilatoren.

- de dynamiek van de spraak comprimeren; korte pieken die de bovengrens van het dynamische bereik met meer dan 3 dB overschrijden, afsnijden (peak-clipping);



- het luidsprekersignaal automatisch aanpassen aan het stoorniveau van het verkeer in de tunnel. Hiertoe op een representatieve plaats in de tunnel een meetmicrofoon plaatsen die continu het geluidsniveau in de tunnel meet. Bij inschakelen van de geluidsinstallatie het laatst gemeten geluidsniveau gebruiken als stuursignaal voor het instellen van het aan de luidsprekers af te geven spraaksignaal.
- Boodschappen in de tunnelbuis vooraf laten gaan door een attentiesignaal (ding-dong).
- Luidsprekers binnen de tunnelbuis tegen opwaaiende dekzeilen beschermen door middel van een de luidspreker omhullende kooiconstructie.



## 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie

### 7.8.5.1 Algemeen

In grotere objecten is zowel voor interne als externe verbindingen een normale telefooninstallatie aanwezig met aansluiting op het openbare net.

Voor intern een normale huisinstallatie die via een telefooncentrale kan worden doorverbonden op het openbare net.

Bij bewaakte tunnels worden directe (kies)lijnen gereserveerd naar hulpverlenende instanties, zoals brandweer of politie voor gebruik tijdens calamiteiten.

Bij uitgebreide objecten wordt soms buiten de dienstgebouwen een aansluiting op het openbaar net geëist voor gebruik door de brandweer en hulpdiensten. Deze aansluiting bestaat uit een kontaktdoor in een afsluitbare kast nabij de opstelplaats voor een commandowagen van de brandweer.

In de gebouwen (inclusief technische ruimten), onderstations en op regelmatige afstanden in het kabelkanaal, een telefoontoestel aanbrengen.

### 7.8.5.2 Enkele technische details

- Toestellen in dienstruimten die verontreinigd kunnen worden met tunnellucht, moeten hierop zijn aangepast.
- In ruimten waarin explosiegevaar mogelijk is, zijn geen telefoontoestellen of uitsluitend Ex-geclassificeerde aangepaste toestellen aangebracht.
- De telefooncentrale dient te zijn uitgerust met een telefoon-identificatie van de inkomende gesprekken, waarbij het nummer van de 'beller' zichtbaar wordt en eventueel kan worden vastgelegd. De telefooncentrale is tevens voorzien van de mogelijkheid om aan een bepaald inkomend nummer een functie of naamsaanduiding te koppelen.

### 7.8.5.3 Registratie van telefoonverkeer

Alle inkomende en uitgaande telefoongesprekken vanaf de verkeerslessenaar kunnen worden vastgelegd op een gesprekken recorder. De gesprekkenrecorder heeft voldoende capaciteit voor het volledig automatisch vastleggen van alle te verwachten gesprekken gedurende een etmaal (24uur).

Naast de 24-uurs geluidsrecorder is een tweede recorder geïnstalleerd waarop indien gewenst gesprekken vanaf de 24-uurs recorder kunnen worden gekopieerd en gearchiveerd. De geluidsdrager van deze recorder is uitwisselbaar en kan worden bewaard gedurende een ongelimiteerde periode.

#### **Mobiele telefoonverbindingen**

In vrijwel alle tunnels zijn door de telefoon provider voorzieningen aangebracht om mobiel telefoonverkeer vanuit de tunnel mogelijk te maken. Hierdoor ontstaat ook de mogelijkheid om zonder gebruik van intercom (dus zonder tussenkomst van de tunneloperator) een incident te melden en/of hulp te vragen. Het aanduiden van de juiste locatie kan hierbij een probleem zijn. De tunnelgebruiker weet niet in welk deel van de tunnel hij zich bevindt (buis, hectometrering) en soms zelfs niet in welke tunnel hij zich bevindt, hetgeen een handicap kan zijn voor de opgeroepen hulpverlener. Daarbij komt de hulpvraag niet binnen bij de verkeerscentrale maar rechtstreeks bij de hulpverlenende instantie (wegewacht of 112). Bij ernstige twijfel is een mogelijke oplossing de tunnelgebruiker te verwijzen naar de dichtstbijzijnde hulppost alwaar de tunnelgebruiker zich opnieuw kan melden met gebruikmaking van het daarin aanwezige intercomtoestel.





## **Inhoudsopgave 70 Gebouwinstallaties**

- 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen
  - 7.9.1.1 Algemeen
  - 7.9.1.2 Overdrukinstallatie
  - 7.9.1.3 Koeling en verwarming
  - 7.9.1.4 Geluidscriteria
- 7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen
  - 7.9.2.1 Algemeen
  - 7.9.2.2 Te nemen maatregelen voor beveiliging
- 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen
  - 7.9.3.1 Verlichting van ruimten
  - 7.9.3.2 Noodverlichting
  - 7.9.3.3 Verlichtingniveaus
  - 7.9.3.4 Kracht
- 7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen
- 7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen





---

Tunnel technische installaties



## 7.9 70 GEBOUWINSTALLATIES

### 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen

#### 7.9.1.1 Algemeen

Dienst ruimten van onbewaakte tunnels behoeven niet te worden voorzien van een klimaatinstallatie. Hier kan worden volstaan met het vorstvrij houden van de apparatuur door middel van kastverwarming of een ruimteverwarming.

In grote technische gebouwen waar vitale apparatuur staat opgesteld, is een klimaatinstallatie noodzakelijk om:

- vervuiling van het gebouw door verontreinigde tunnellucht te voorkomen
- het gebouw te verwarmen, indien nodig plaatselijk te koelen.

#### 7.9.1.2 Overdrukinstallatie

Vervuiling van het gebouw door tunnellucht moet worden voorkomen door een ventilatiesysteem te installeren, waarbij gefilterde of anderszins gereinigde buitenlucht in het gebouw wordt geblazen, zodanig dat in het gebouw een minimale overdruk kan worden gehandhaafd van 30 Pascal.

Ramen, deuren doorvoeringen en andere sparingen naar buiten moeten zo goed mogelijk worden afgedicht:

- de kierafdichting van te openen ramen heeft een C-waarde van  $0,15 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>-s.m.Pa. 2/3);
- de kierafdichting van de entreedeur heeft een C-waarde van  $0,30 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>-s.m.Pa. 2/3), volgens de VMR 1986.

*N.B. Het overdruksysteem kan worden gecombineerd met de klimaatinstallatie voor het betreffende gebouw, door middel van een luchtverwarmingssysteem.*

*Een luchtverwarmingssysteem leent zich uitstekend voor toepassing van recirculatie en terugwinning van apparatuurwarmte, zoals de afvalwarmte van noodstroomaggregaten, no-breakapparatuur en besturingsapparatuur.*

#### 7.9.1.3 Koeling en verwarming

Plaatselijke koeling is alleen noodzakelijk in de bedieningsruimte, eventueel in de kantoorruimten en in de ruimten waar logische apparatuur staat opgesteld.

Koeling door middel van een koudwater- (uit een bron) of gekoeld watersysteem geniet de voorkeur.

Als aanvullende verwarmingsbron gebruik maken van een (eventueel olie gestookte) c.v.-ketel.

Restwarmte en afvallucht uit het technische gebouw kan nuttig worden gebruikt voor verwarming van technische ruimten of het middenkanaal cq. vluchtgang van de verkeerstunnel. Bij brand in het gebouw moet deze luchtafvoer vanuit het gebouw naar ruimten elders branddicht kunnen worden afgesloten.

#### 7.9.1.4 Geluidscriteria

Het geluidsdrukniveau ten gevolge van de werktuigkundige installaties binnen het dienstgebouw dient te voldoen voor:

- de bedieningsruimte: 35 dB(A)
- overige verblijfsruimten: 40 dB(A)



- bij een in werking zijnde noodstroom-installatie mag het geluidsdruk niveau in de bedieningsruimte met niet meer dan 5 dB(A) toenemen, conform NEN 5077.



## **7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen**

### **7.9.2.1 Algemeen**

Gebouwen en bedieningsruimten waarin zich voor het tunnelbedrijf belangrijke apparatuur bevindt, moeten worden beveiligd en bewaakt tegen:

- a. binnendringen van ongewenste personen
- b. verwonding resp. beschadiging van zich in het gebouw bevindende personen en apparatuur door molest van buitenaf;
- c. de gevolgen van brand.

### **7.9.2.2 Te nemen maatregelen voor beveiliging**

Tot de te nemen maatregelen voor beveiliging van gebouwen behoren:

- Installeren van een afzonderlijk CCTV-circuit ter observatie van de gebouwtoegang, eventueel aangevuld met observatie van gebouwgevel(s) of parkeerterrein. In de centrale bedieningsruimte worden voor dit doel een of meer monitoren geïnstalleerd;
- Indien ten behoeve van de tunnelbewaking en bediening zich slechts 1 persoon in het gebouw bevindt, moet worden voorzien in een afwezigheidsdetectie naar elders; bijvoorbeeld een attentiesignaal van de apparatuur dat niet binnen een instelbare tijd wordt beantwoord, wordt doorgegeven naar elders waar aldus de afwezigheid van de tunnelbediening wordt gesignaleerd; Overigens moet worden vermeden dat slechts één persoon zich in het gebouw bevindt.
- Vitale apparatuur mag niet vanaf de openbare weg zichtbaar worden opgesteld.
- Evenzo mag bediening niet plaatsvinden vanuit een vanaf de openbare weg zichtbare ruimte.
- Eventueel moeten voorzieningen worden getroffen in de vorm van inbraakvrij en/of kogelwerend glas. Buitendeuren en ramen moeten van een zodanige kwaliteit zijn, dat inbraakpogingen met normaal handgereedschap geen effect zullen hebben, in ieder geval aanzienlijk worden vertraagd.
- In onbemande technische gebouwen dient een inbraakdetectieinstallatie te worden aangebracht volgens de richtlijnen van het TBBS (klasse 3), uitgerust met een sabotage-alarm, benevens de nodige bewegingsmelders in de diverse ruimten en een codetableau voor IN/UIT schakeling van de installatie; akoestisch binnenalarm;
- flitser/zwaailicht tegen de gevel.
- magneetcontacten op de entreedeuren met vertraagde doormelding in verband met bediening codetableau. Alarmmelding naar de centrale bedieningsruimte. Indien dit alarm niet binnen (5 min.) wordt beantwoord, doormelding naar elders via de telefoonmelder van de afwezigheidsdetectie.
- De toegang van bemande gebouwen voorzien van een toegangssluis, dwz. het gebouw is toegankelijk via achtereenvolgende, op afstand afzonderlijk te bedienen deuren.





## 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen

### 7.9.3.1 Verlichting van ruimten

Alle (dienst)ruimten moeten worden voorzien van een aan hun functie aangepaste lichtinstallatie bestaande uit:

- geschakelde werkverlichting;
- permanent ingeschakelde oriëntatieverlichting (vluchtweg);
- wandcontactdozen.

### 7.9.3.2 Noodverlichting

In technische gebouwen moet een onderbrekingsvrije noodverlichting aanwezig zijn. Indien mogelijk (een deel van) de verlichting aansluiten op de no-breakgroep of een gebouw-UPS (centrale noodverlichting), danwel elke ruimte een aantal armaturen aanbrengen met inwendige noodstroomvoorziening (decentrale noodverlichting). Alle verlichting direct voeden vanaf de laagspanningshoofdverdeelinrichtingen; bij netspanningswegval moet de voeding overgenomen worden door de noodstroomvoorziening. Voor overbrugging van de stroomloze periode tussen netspanningswegval en starten van de noodstroomaggregaten is permanent brandende verlichting noodzakelijk.

### 7.9.3.3 Verlichtingniveaus

Het verlichtingniveau afhankelijk van het gebruik van een ruimte moet voldoen aan de volgende gemiddelde niveau's:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| • verblijfsruimten             | 400lux basisverlichting                 |
| • lokale bedieningsruimte      | 400 lux                                 |
| • sanitaire ruimten            | 200 lux                                 |
| • technische ruimten           | 400 lux                                 |
| • traforuimten                 | 150 lux                                 |
| • opslagruimten                | 200 lux                                 |
| • gangen en trappenhuizen      | 200 lux                                 |
| • schachten                    | 150 lux                                 |
| • vluchtwegen en dienstgangen  | 100 lux                                 |
| • (decentrale noodverlichting) | minimaal 1 lux<br>(volgens NEN-EN 1838) |

Bij de berekening van verlichting de volgende factoren in acht nemen:

- reflectiefactoren
 

plafond = 0,5
wanden = 0,3
werkvlak = 0,1
- Depreciatiefactor: 0,8 (geringe vervuiling na een gebruikperiode van 2 jaar).
- Werkvlak op 0,80 m boven de vloer.
- De absolute gelijkmatigheid van de horizontale verlichtingssterkte op het loopvlak moert tenminste 0,6 zijn.

### 7.9.3.4 Kracht

In de nabijheid van eventuele hijsopeningen en in ruimten waarin zware apparatuur staat opgesteld een krachtwandkontaktdoos installeren voor de voeding van een eventuele elektrische takel.





### **7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen**

1. In daarvoor in aanmerking komende dienstruimten en technische ruimten van tunnels een automatisch werkend brandmeldsysteem installeren door middel van bijvoorbeeld ionisatie rookmelders, thermodifferentiaalmelders, UVR-melders of eventueel handmelders, aangesloten op een sensor control unit.
2. De brandmelders moeten zijn geadresseerd per ruimte en/of lokatie
3. In dag en nacht bewaakte gebouwen moet automatische doormelding naar de brandweer in overleg met de plaatselijke OHD worden afgestemd.
4. Voor toepassing in langgerekte ruimten zoals kabelkanalen is toepassing van een lineaire (kabel) detectie geschikter. Overigens is de kans op brand in kabelkanalen van tunnels zo gering dat het nut van een branddetectie aldaar discutabel is.
5. Na branddetectie in een dienstengebouw moet(en):
  - een op elke lokatie in het dienstengebouw, hoorbare alarmering worden ingeschakeld;
  - een op een centrale lokatie in het dienstengebouw gemonteerde optische alarmering worden ingeschakeld;
  - een aan de buitengevel van het dienstengebouw gemonteerde optische alarmering worden ingeschakeld;
  - in ruimten waar moet worden gewerkt met gehoorbescherming moet een optische alarmering worden ingeschakeld;
  - alle deuren in het betreffende dienstengebouw welke zijn voorzien van een elektronische vergrendeling, automatisch ontgrendeld;
  - alle ventilatiesystemen worden ingeschakeld;
  - slagbomen en hekken, toeganggevend tot het terrein van het dienstengebouw, worden geopend;
  - een verzamelmelding worden gedaan aan de lokale bediening;
  - een verzamelmelding worden gedaan aan de centrale bediening;
  - een melding worden gedaan op de plaatselijke brandmeldcentrale
6. Signalering  
Visuele signalering moet plaatsvinden op een brandmeldcentrale of nevenpaneel nabij de hoofdtoegangsdeur van elk dienstengebouw.







### **7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen**

Indien in gebouwen plaatsing van brandblusmiddelen noodzakelijk wordt geacht:

- De betreffende ruimte voorzien van een daartoe geschikte blusinstallatie. Bijvoorbeeld in PLC-ruimten een blussysteem met CO<sub>2</sub> of een vervangende Halon, zoals FE-25. De blusinstallatie en het blusmiddel moet voldoen aan de richtlijnen van het ministerie van VROM. Halon 1301 en 1211 zijn niet toegestaan.
- Mistsystemen voldoen eveneens voor blussing en beheersing van brand in ruimten met elektronica
- Voor handblussing voldoen sproeischuimblussers





## **Inhoudsopgave 80 Besturing, bediening en bewaking**

- 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening
  - 7.10.1.1 Algemeen
  - 7.10.1.2 Besturingssysteem
  - 7.10.1.3 Bewaking en bediening
  - 7.10.1.4 Functies en eisen bewaking en bediening
  - 7.10.1.5 Uitvoering bedieningsmiddelen en presentatie



---

Tunnel technische installaties



## 7.10 80 BESTURING, BEDIENING EN BEWAKING

### N.B.

*In tegenstelling tot de overige hoofdstukken in dit deel van SATO is de beschrijving van de besturing en de daaraan ten grondslag liggende regels en filosofie niet gerangschikt volgens de installatienummering. Hiervoor is gekozen omdat dit hoofdstuk een totaalbeeld wil beschrijven van de installaties voor besturing, bediening en bewaking van een verkeerstunnel.*

*Bij verdere detaillering (ontwerpbeschrijving, detailbeschrijving en installatiebeschrijving) is het gewenst dat de in hoofdstuk ALGEMEEN weergegeven standaard installatienummering gevolgd wordt.*

Kort overzicht van de indeling van besturing, bediening en bewakingsinstallaties		
81	centrale bediening en bewaking	= bediening op de locatie, nabij de installatie
82	lokale bediening en bewaking	= bediening centraal vanuit een verkeerscentrale elders
83	noodbediening en bewaking	= <i>meestal summiere bedieningsmogelijkheid die uitsluitend gebruikt wordt (mag worden) indien de normale bediening is uitgevallen</i> N.B. deze bediening is in de normale situatie niet of moeilijk toegankelijk
84	bediening en bewaking voor derden	= summiere bediening en bewaking t.b.v. derden (bijv. een observatie en bedienpost van functies die door brandweer en hulpdiensten kunnen worden bediend). Bij een object dat centraal bediend wordt is deze post in principe ondergeschikt aan de centrale bediening
85	besturingssysteem	= systeem dat de functies van alle tunnelinstallatie faciliteert (sturing, storing, logging)
86	transmissiesystemen	= systemen voor overdracht van (besturings) signalen



### **Basisfilosofie**

Om een operator in staat te stellen effectief te kunnen optreden moet worden vastgesteld op welke wijze signalen aan de operator ter verwerking moeten worden aangeboden, welke scenario's automatisch kunnen worden afgehandeld en hoe de interactie tussen de apparatuur en de operator dient te verlopen. De uitgebreidheid en complexiteit van tunnelinstallaties staat in directe relatie tot de tunnallengte. Hoe langer de tunnel, hoe groter het aantal (gelijksoortige) installaties in de tunnelbuis, dus hoe groter het aantal signalen. In bijzondere situaties zoals calamiteiten, zal vanwege het grotere aantal voertuigen en het grotere aantal automobilisten dat in de tunnel aanwezig is het gelijktijdig aantal signalen (bijvoorbeeld stilstandsdetecties) en meldingen (bijvoorbeeld intercomberichten, openen hulpposten etc.) toenemen naarmate de tunnel langer is. Enkele aanwijzingen:

1. Van een operator mag niet gevergd worden altijd op ieder moment de juiste beslissing te nemen. Zeker niet op het moment dat zich een complexe situatie (bijvoorbeeld een calamiteit) aandient. Daarbij mag de verantwoording voor cruciale beslissingen in feite niet bij een operator worden gelegd. Over belangrijke basisbesluiten moet van tevoren zijn nagedacht en zij moeten -voor zover mogelijk- zijn vastgelegd in standaardscenario's. Op het moment dat een complexe situatie zich aandient en direct (en onder stress) handelen vereist is, moet de operator gebruik kunnen maken van deze standaardscenario's. Deze noodzaak is temeer daar in de normale werksituatie het verkeer in de tunnel weinig aandacht vergt en in de installaties weinig zichtbaar gebeurt. Een complexe situatie ontstaat in het algemeen plotseling, en genereert in korte tijd vanuit een toestand van relatieve rust een groot aantal signalen. Een dergelijke situatie vereist in het algemeen direct en zo effectief mogelijk ingrijpen. De plotselinge overgang tussen rust en hoogspanning verhoogt de kans op fouten. De apparatuur dient daarom voor zover mogelijk vooraf doordachte, gedefinieerde en eenduidige keuzes aan de operator aan te kunnen bieden, bij voorkeur in menu-vorm.
2. Complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's zoals bij standaardprocedures, moeten voor zover mogelijk gegroepeerd worden tot een groepscommando dat d.m.v. één "druk op de knop" kan worden ingesteld.
3. De operator moet beschermd worden tegen het maken van fouten. Ofwel indien de operator een mogelijk foutieve beslissing neemt die tot ernstige incidenten aanleiding zou kunnen geven (voorbeeld: afsluitbomen neerlaten zonder de verkeerslichten op rood te zetten; of een rijstrookblokkering opheffen waarop een stilstaand voertuig staat) dan mag uitvoering van dit commando in principe niet mogelijk zijn (de operator moet daarop worden geattendeerd). Een soortgelijke situatie ontstaat indien de operator een beslissing neemt die op termijn tot problemen kan leiden (uitschakelen ventilatoren tijdens automatisch bedrijf, uitschakelen brandbluspompen tijdens automatisch ingeschakeld bedrijf) dan moet de apparatuur om een bevestiging vragen alvorens dit commando kan worden uitgevoerd.
4. Verkeerstechnische en tunneltechnische signalen moeten gescheiden worden aangeboden; de verkeerstechnische signalen aan de operator, de tunneltechnische signalen aan de onderhoudsbeheerder. Voor de bewaking en bediening van het verkeer is het ongewenst dat de operator wordt geattendeerd op signalen vanuit de techniek, die geen enkele betrekking hebben met de verkeersafhandeling. Dit zijn bijvoorbeeld (storings)meldingen vanuit gebouw-



installaties, (stand)meldingen van normaal functionerende apparatuur, etc. Pas op het moment dat een melding direct of indirect in relatie staat tot de verkeersafhandeling, is het noodzakelijk dat deze onder de aandacht van de operator te brengen. Dit betreft bijvoorbeeld een hoogwatermelding (c.q. ernstige storing in de drainagepompinstallatie), een belangrijke energiestoring, falen van (een deel van) de tunnelverlichting of (een deel van) de verkeersinstallaties.

5. Signalen die logischerwijs het gevolg zijn van een bepaalde situatie maar geen hernieuwd ingrijpen noodzakelijk maken (vervolgsignalen) moeten worden onderdrukt. Bijvoorbeeld een stilstandsdetectie zal in een aantal gevallen door nieuwe stilstandsdetecties gevolgd worden (achter het tot stilstand gekomen voertuig komen andere voertuigen tot stilstand). Deze vervolgsignalen moeten worden onderdrukt, echter gelijktijdig optredende detecties in een ander deel/sectie van de tunnel mogen niet worden onderdrukt. Ook zal bij een calamiteit de melding daarvan zich niet beperken tot één intercom-melding, maar gevolgd worden door een serie gelijksoortige meldingen. De bedieningsfilosofie moet voorzien in een logisch afhandelsysteem zonder dat de operator en/of de bedieningsapparatuur van de tunnel op dat moment volledig wordt bezet met de afhandeling van deze meldingen.





## 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening

### 7.10.1.1 Algemeen

Het tunnelbesturing, bewaking en bedieningsysteem heeft in hoofdzaak de volgende taken:

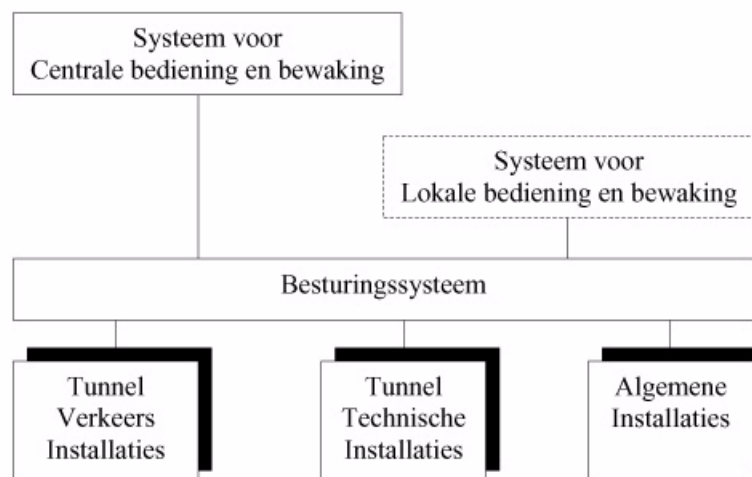
- Energieverdeling bewaken;
- Tunneltechnische installaties sturen en bewaken;
- Alle onderdelen van de technische installaties sturen en bewaken op afstand;
- Communicatie verzorgen tussen de operator en de tunneltechnische installaties en tussen de tunneltechnische installaties onderling;
- De operator ondersteunen en adviseren bij zijn taken.

De systemen faciliteren de tunnelverkeers-, tunneltechnische- en algemene installaties zodanig dat deze voldoen aan de gestelde (functionele) eisen.

Bewaking en bediening van de verkeerstunnels in het hoofdwegennet vindt op een enkele uitzondering na gecentraliseerd plaats vanuit een vijftal regionale verkeerscentrales. Afhankelijk van de transmissievoorzieningen dient volgens de VRC (al dan niet lokaal bij de tunnel) te worden voorzien in een sobere bewakings- en bedieningsmogelijkheid.

Bij de volgende beschrijvingen is van deze situatie uitgegaan

De gehele keten van systemen en installaties is schematisch weergegeven in onderstaande figuur:



*Afbeelding 7.10.1, Schematische weergave systemen en installaties*

Het besturings- bedienings, bewakings en systeem is in hoofdzaak opgebouwd uit:

- programmeerbare besturings en bewakingsapparatuur;
- een communicatie en transmissie-netwerken;
- Bediening en interfacepresentatie in de bedieningsruimte;
- een (hardware) noodbedieningssysteem voor preferente functies.



### 7.10.1.2 Besturingssysteem

Algemeen

Voor alle in de VRC onderscheiden typen tunnels gelden de volgende functies en eisen:

#### 1. Functies

Het besturingssysteem dient de tunnelverkeers-, tunneltechnische- en algemene installaties zodanig te faciliteren dat:

- alle reguliere regel- en besturingstaken die een eenduidige actie behoeven automatisch worden afgehandeld;
- de verkeersafwikkeling wordt gecontroleerd en automatisch wordt gereageerd op situatiewijzigingen en afwijkingen;
- het functioneren van de tunnel- en gebouwinstallaties wordt gecontroleerd en automatisch wordt gereageerd op afwijkingen;
- de functionaliteit zoals beschreven bij de specificatie van de overige deelinstallaties wordt gerealiseerd
- opslag (tijdelijk) van de meest relevante gegevens (alarmen, NO<sub>2</sub>/zicht- en temperatuurmetingen, verkeersstellingen etc.) wordt gerealiseerd

#### 2. Naast deze besturingsfuncties dient de besturingsinstallatie voor de bewaking en bediening de volgende functies te realiseren:

- Alle situatiewijzigingen en afwijkingen in de verkeersafwikkeling en het functioneren van de installaties en alle bedrijfsgegevens (bedrijfsuren van machines en inschakeltijden van tunnelverlichting), verwerken tot logging gegevens welke worden doorgegeven aan het systeem voor bewaking (en bediening)
- Er voor zorg te dragen dat alle vervolgmeldingen van een spanningsuitval of storing aan een bepaald installatieonderdeel worden onderdrukt. Alleen de signalering van het hoofdonderdeel (veroorzaker) mag worden doorgemeld.
- Commando's afkomstig van het systeem voor bewakings- en bediening te verwerken tot sturingen naar de betreffende deelinstallatie overeenkomstig de functionaliteit zoals beschreven bij de specificatie van de overige deelinstallaties;
- Complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's te groeperen tot een groepscommando (Deze functie wordt over het algemeen gerealiseerd in samenhang met het systeem voor bewaking en bediening).

**Groepscommando's:**

Een van de eisen aan de besturingsinstallatie is dat complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's gegroepeerd moeten worden tot een groepscommando dat d.m.v. één bediening kan worden ingesteld. Het belangrijkste groepscommando is de calamiteitenschakeling. Per rijrichting is een groepscommando "calamiteiten" aangebracht waarmee bij calamiteiten met één "druk op de knop" gelijktijdig een reeks van bij een calamiteit relevante commando's wordt uitgevoerd (zie VRC hst.9)

Genoemde commando's worden in een tijd-geoptimaliseerde volgorde uitgevoerd. De commando's kunnen indien nodig, per stuk op de reguliere wijze worden uitgeschakeld. Het is daarom noodzakelijk de ingeschakelde commando's in een afzonderlijke dialoogbox met bedienfunctie op het beeldscherm weer te geven. Dit vergemakkelijkt voor de operator het overzicht over de situatie en geeft ook gelegenheid om achteraf overbodige commando's weer terug te nemen indien de calamiteit van een andere orde was dan zich aanvankelijk deed aanzien.

De besturingsinstallatie dient te voldoen aan de volgende eisen:

- De performance en beschikbaarheid van onderdelen en het besturingsstelsel in zijn geheel dient minimaal voldoende te zijn om de eisen die gesteld worden aan de bestuurd de installaties, en indien van toepassing het stelsel voor bewaking en bediening, te kunnen realiseren;
- Het besturingsstelsel moeten zodanig zijn uitgevoerd dat bij uitval van een besturingseenheid en bij onderhoud en inspectie in niet meer dan 1 tunnelbuis functieverlies plaatsvindt;
- Bij uitval van een besturingseenheid moeten de uitgangen naar een gedefinieerde toestand schakelen, zodanig dat in samenhang met de schakel- en verdeelinrichtingen een veilige (fails-safe) toestand wordt gerealiseerd. Enkele voorbeelden:
  - De tunnelverlichting gaat bij uitval van de besturing naar een optimaal niveau;
  - De schakeling van de vuilwaterpompen wordt overgenomen door hardware uitgevoerde hoogwaterdetectie;
  - De brandbluspompen worden ingeschakeld;
  - Eventueel vergrendelde vluchtdeuren worden ontgrendeld.

Bij het realiseren van functionele eisen, ontwerp, en uitvoering moet aan de volgende punten aandacht worden besteed:

- Beschikbaarheid (1) in relatie met eisen aan overige installaties; (2) beperking van de gevolgen van uitval van onderdelen
- Performance voldoet aan eisen overige installaties en verkeerscentrale
- Architectuur: voorkomen van single points of failure
- Beheer: testen en doorvoeren wijzigingen tijdens bedrijf
- Gegevensuitwisseling met de systemen voor bewaking en bediening
- Voldoende uitwerking naar groepscommando's

**7.10.1.3 Bewaking en bediening**

Algemeen

Bewaking en bediening is afhankelijk van de uitvoering mogelijk op de volgende locaties:



1. Op een verkeerscentrale (Centrale (Regionale) Bediening)
2. Op of nabij de tunnel:
  - Lokale Bediening
  - Plaatselijke bediening (bij de installatie)
    - Op het netwerk van het besturingssysteem, door inpluggen van een portable PC met dezelfde functionaliteit als een beeldschermstelsel van het centraal-lokale bedieningssysteem
    - Op de schakel-, verdeel-of systeemkasten van de betreffende installaties {door middel van schakelaars en (druk)knoppen
    - Bij de apparatuur (werkschakelaars, testdrukknoppen e.d.)

#### Het bedieningsproces

Systemen voor het kenbaar maken van de door de besturingsinstallatie geïnitieerde signalen kunnen variëren van zeer eenvoudig (een of meer signaallampen met eventueel een akoestisch attentie signaal) tot een geavanceerde beeldschermpresentatie.

Daar alle tunnels in het hoofdwegennet bewaakt en bediend worden is hierna alleen ingegaan op de (geavanceerde) bewaking en bediening.

Op verkeerscentrales en bij tunnels in het hoofdwegennet is de operator het grootste deel van zijn tijd belast met het bewakingsproces en het managen van verkeersstromen. Gebeurtenissen (in de tunnel) die aanleiding geven tot handelen zullen voornamelijk een afwijking betreffen van het normale verkeersbeeld (stilstands-melding, hulpbehoefte verkeersdeelnemers, aanspreken hoogtedetectie, e.d.). Het bedieningsproces spitst zich hoofdzakelijk toe op het faciliteren bij bijzondere situaties en omstandigheden (procesverstoringen). Dit proces wordt dan ook gekenmerkt door relatief korte intensieve, interacties tussen de operator en het visualisatie- en bedieningssysteem van de tunnel.

Om de taakbelasting van de operator te beperken is het noodzakelijk de afhandeling van verkeers- en technische informatie te scheiden.

De operator dient te kunnen kiezen voor een **taakgerichte** benadering van gegevens of een **systeemgerichte** benadering:

1. Bij een taakgerichte benadering krijgt de operator de mogelijkheid om te kiezen uit de aanwezige maatregelen. Na het selecteren van de maatregel verschijnt het maatregelspecifieke venster waarop alle benodigde informatie voor het kunnen initiëren, bewaken en voortijdig gecontroleerd beëindigen van de maatregel. Dit venster kan op basis van bepaalde gebeurtenissen direct over alle aanwezige vensters gelegd worden. De gebruiker is dan verplicht eerst de onderliggende oorzaak af te handelen door bijvoorbeeld het nemen van een maatregel, voordat met voorgaande werkzaamheden verder gegaan kan worden. Maatregelen met meerdere stappen worden in de vorm van een PFD (Proces Flow Diagram) gepresenteerd. De primair te selecteren maatregelen komen overeen met maatregelen uit de Taakanalyse. Met behulp van een dialoog- of detailvenster wordt de operator geleid door de relevante mogelijkheden die vanuit de context van de maatregel aangeboden worden
2. Bij een **systeemgerichte** benadering moet de operator een keuze maken uit de aanwezige deelsystemen, zoals energievoorziening, verlichting, pompen. Na de keuze, wordt de actuele toestand van de gekozen installatie gepresenteerd in de vorm van een PID's (Proces Instrumentation Diagram) met daarin opgenomen de relevante installatie-onderdelen.

#### Uniformering:

1. Centrale bediening (Verkeerscentrales)



In de regionale verkeerscentrales vindt de bewaking en bediening plaats met een landelijk uniform systeem, VANESSA (Verkeerscentrale Algemeen Nieuw Eenvoudig Sturings Systeem Aanpassing). Het besturingssysteem en/of systeem voor centraal lokale bewaking en bediening dient hierop aan te sluiten.

2. Lokale bediening  
De lokale bediening is bij tunnels die zijn aangesloten op een centrale bediening sober ingericht en alleen bedoeld voor onderhoudsdoeleinden en voor uitwijk bij uitval van de centrale bediening. De minimale uitvoering is vastgelegd in de VRC.
3. Noodbediening voor preferente functies moet zodanig zijn uitgevoerd dat deze niet verward kan worden met de normale reguliere bediening  
*(bijvoorbeeld een in de normale situatie afgesloten, weggeklapt, ingeschoven of anderszins weggeborgen hardware paneel)*

#### **7.10.1.4 Functies en eisen bewaking en bediening**

- a. Voor het bewakings en bedieningssysteem moet onderscheid gemaakt worden tussen:
  - verkeersregulatie
  - verkeersbeïnvloedende gebeurtenissen
  - technische tunnelprocessen en
  - visuele observatie van het verkeer in de tunnel.
- b. Er moet een duidelijke scheiding van taken en verantwoordelijkheden zijn naar:
  - Verkeersbeïnvloedende taken
  - Taken in relatie tot technische installaties
  - Bewakingstaken.
- c. De bediening moet zowel taakgeoriënteerd als systeemgeoriënteerd zijn; niet alleen gegevens tonen van pompen of verlichting maar ook informatie tonen die voor het uitvoeren van een bepaalde taak van belang is. Een taak is bijvoorbeeld het nemen van een verkeersmaatregel of het opheffen van een storingsalarm.
- d. Het systeem moet menselijke fouten zoveel mogelijk voorkomen zoals:
  - skill-based fouten (b.v. het niet opmerken van signalen, communicatiefouten)
  - rule-based fouten (overtreden voorschriften)
  - knowledge-based fouten (b.v. verkeerde foutdiagnose)Hiervoor gebruik maken van een BOS (Beslissings Ondersteunend Systeem)
- e. De operator moet een goed beeld hebben van wat er in werkelijkheid gebeurt. Dit stelt o.a. eisen aan het gebruik van grafische voorstellingen, kleuren en animaties.
- f. De opbouw van de Mens Machine Interface (MMI) is gebaseerd op een abstracte presentatie van de beide tunnelbuizen en toeritten van de tunnel, waarbij echter voorzover mogelijk de geografische weergave min of meer moet overeenkomen met de werkelijkheid
- g. Deelsystemen moeten worden weergegeven in de vorm van inzichtelijke processchema's (PID's) c.q. procesdisplays op het MMI-systeem waaruit zowel de werking van het proces blijkt als de status waarin dit proces verkeert.
- h. Een taak moet vanuit één venster kunnen worden uitgevoerd. Alle voor die taak benodigde gegevens moeten worden gepresenteerd. Indien het noodzakelijk is informatie ten behoeve van het uitvoeren van een taak, gelijktijdig te presenteren terwijl deze informatie redelijkerwijs niet meer op één beeldscherm past, moeten meerdere beeldschermen worden toegepast.



- i. Het MMI moet in staat zijn om informatie betreffende eventueel aanwezige kruisverbanden tussen deelinstallaties binnen één venster zichtbaar te maken. De gebruiker moet in staat worden gesteld deze informatie snel en eenvoudig op te vragen.
- j. De presentatie van de bedrijfstoestand van de tunnel en tunnelinstallaties moet zodanig zijn vormgegeven en ingevuld dat continu de status van alle systemen in één oogopslag duidelijk is. Afwijkingen van de normale toestand en/of bijzondere situaties en gebeurtenissen moeten expliciet zichtbaar gemaakt worden.
- k. Informatie moet te scheiden zijn in categorieën zoals verkeer, techniek en gebouw/beveiliging.
- l. Informatie moet binnen de categorie, in volgorde van urgentie worden onderverdeeld.

De volgende typen informatie kunnen worden onderscheiden:

- Melding/annunciatie (= informatie die interessant is voor de operator doch geen directe aandacht behoeft, bijvoorbeeld (1) vastlegging van de bedrijfstoestand van een deelinstallatie, over het algemeen voortkomend uit een handmatige instelling); (2) toestandsveranderingen (= operationele meldingen uit het normaal bedrijf van de deelinstallatie, over het algemeen t.g.v. een autonome, automatische actie);
  - Storing (= melding van de deelinstallatie die aangeeft dat de functionaliteit van de betreffende deelinstallatie technisch of functioneel gezien niet langer gewaarborgd is)
  - Alert (vraagt direct aandacht van de operator voor een abnormale situatie)
  - Alarm (= melding van een mogelijk gevaarlijke situatie of aanleiding tot substantiële schade waarbij directe aandacht en eventueel actie van de operator is vereist)
- m. Foutboodschappen moeten bij voorkeur worden gemeld samen met een eventuele oorzaak van de fout en eventueel onder vermelding van de inhoud van de foutboodschap indien dit bijdraagt aan het cognitieve proces en de interactie tussen systeem en operator.
  - n. De reactietijden waaraan het systeem moet voldoen zijn onderverdeeld in vier categorieën en gebaseerd op praktijkervaring bij RWS-tunnels in het hoofdwegennet:
    - circa 0,1 seconde voor directe acties (camerabediening, noodstop etc.);
    - circa 1 seconde voor situaties waarbij de operator voldoende snel gewaarschuwd moet worden om een juist verloop te garanderen (snelheidsonderschrijdings-detecties, hoogtedetectie, etc.);
    - circa 3 seconden voor meldingen van situaties die al automatisch een vervolg hebben verkregen maar waarbij de operator moet beslissen of er aanvullende actie's genomen moeten worden;
    - circa 5 seconden voor normale meldingen die de operator behoort te weten maar waarop geen actie behoeft te worden ondernomen.

### 7.10.1.5 Uitvoering bedieningsmiddelen en presentatie

Uitvoering en opstelling van de bedieningsmiddelen:

Ten aanzien van de uitvoering en opstelling van de bedieningsmiddelen (antropometrie) kunnen de volgende basiseisen worden gesteld:



- De MMI (Mens Machine Interface) moet zodanig ontworpen en ingericht zijn dat integratie en bediening van het volledige tunnelproces door één operator mogelijk is.
- De werkplek van de operator moet ingericht zijn met het doel de operator vanuit één gezichtspunt een optimaal overzicht c.q. inzicht te verschaffen van alle beschikbare informatie vanuit beide tunnelbuizen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met gezichtshoeken en afstanden van monitoren t.o.v. de operator. Maar ook de verwachte lichtinval en de positie's van ramen.
- De informatie die voortdurend moet kunnen worden gevolgd (informatie die voor veilige bedrijfsvoering voortdurend voor de operator beschikbaar moet zijn), dient zich binnen het gezichtsveld van de operator te bevinden zonder dat deze hoeft rond te draaien op zijn stoel.

**Opmerking:**

Het is belangrijk dat de aandacht van een operator in principe op de presentatie (beeldscherm, videodisplay van CCTV-camera's) van het te observeren object is gericht.

In 24-uur bemande verkeerscentrale bestaat de behoefte belangrijke gebeurtenissen te kunnen volgen die via de openbare media worden uitgezonden. Indien de vaste werkplek hiervoor geen voorziening heeft, zal gebruik gemaakt gaan worden van eigen meegebrachte videoapparatuur, die dan meestal buiten de normale kijkrichting van de operator wordt opgesteld.

Om te voorkomen dat een operator bij het kijken naar eigen videoapparatuur wordt afgeleid buiten de normale kijkrichting (en dus niet alert is op gebeurtenissen binnen het te bewaken object), verdient het aanbeveling binnen de normale kijkrichting een videodisplay aan te brengen die geschikt is voor het volgen van de openbare TV-uitzendingen (bijvoorbeeld een extra monitor in de videodisplay) en eveneens binnen bereik van operator bediening van deze TV apparatuur aan te brengen.

**Uitvoering presentatie**

Verreweg het belangrijkste aspect van het bewakingsproces is de wijze waarop de informatie aan de operator wordt gepresenteerd. Deze moet zo worden gekozen dat de kans op het nemen van een verkeerde interpretatie zo klein mogelijk is.

Om dit te realiseren dient de informatie naar aard en type te worden gescheiden en verdeeld in de categorieën; verkeer, techniek en gebouw/beveiliging, welke weer zijn onderverdeeld volgens volgorde van urgentie:

urgent:

**alarm/alert:** indiceert een mogelijk gevaarlijke verkeer gerelateerde situatie of aanleiding tot substantiële schade waarbij directe aandacht van de operator is vereist.



**storingen; meldingen** van de deelinstallatie welke aangeven dat de functionaliteit van de betreffende deelinstallatie technisch of functioneel gezien niet langer gewaarborgd is.

niet urgent:

**melding/annunciatie:** informatie welke interessant is voor de operator doch geen directe aandacht behoeft, zoals vastlegging van een bedrijfstoestand of toestandsverandering t.g.v. een autonome actie





Om de mate van ernst aan te geven dient per type onderscheid te worden gemaakt in minimaal de 4 urgentieniveaus, zoals aangegeven in onderstaand overzicht:

urgentieniveau	Omschrijving
1	Ernstige, kritieke situatie: kan direct (levens)bedreigend zijn. Hoogste urgentie, de operator moet direct handelen.
2	Serieuze situatie: kan op korte termijn (bijv. < 1 uur) (levens)bedreigend zijn of ernstige schade veroorzaken.
3	Waarschuwing: De operator moet op de hoogte zijn maar hoeft niet op korte termijn maatregelen te nemen.
4	Informatief.

Signaleringen worden in een drietal verschijningsvormen onderscheiden:

- akoestisch  
om direct de aandacht van de operator te trekken wordt gebruik gemaakt van een doordringend akoestisch signaal. Om een verdere gradatie in urgentie aan te geven kan het akoestisch signaal in toon en vorm worden aangepast.
  - visueel met/zonder bevestiging  
Een visuele melding is een melding op het beeldscherm door middel van een pop-up window met een tekstuele verklaring van de signalering of een knipperend icoon. Hierdoor wordt de aandacht van de operator op een minder dringende wijze getrokken dan bij een akoestische signalering. De operator zal het signaal alleen ontvangen indien hij/zij naar het bedieningssysteem kijkt. Signalen kunnen eventueel worden gekoppeld aan een bevestiging van ontvangst door de operator;
  - logging  
Tenslotte zijn er gebeurtenissen die wel geregistreerd moeten worden maar waarvan de operator niet direct op de hoogte moet worden gesteld. Logging is dan een goede methode. Hierbij worden alle gebeurtenissen chronologisch vastgelegd door middel van registratie-apparatuur. Hiermee kunnen gebeurtenissen achteraf worden gereconstrueerd en geanalyseerd. Wanneer de operator de gevolgen van een bepaalde gebeurtenis wil analyseren kan de actuele toestand van het subsysteem worden geraadpleegd. Het element raadplegen wordt verder uitgewerkt tijdens de analyse van de bediening.
- Onderstaand overzicht geeft de onderlinge relaties tussen signaalgroepen, urgentie, en de wijze van presentatie aan de operator



Type signalen	Urgentieniveau				Wijze van presentatie
	1	2	3	4	
Melding/annunciatie	1	2	3	4	
Storingen	1	2	3	4	
Alarmen/Alerts	1	2			
	+	-	-	-	Akoestisch
	+	+	+	-	Visueel
	+	+	+	+	Logging





## **Inhoudsopgave 90 Diverse installaties**

- 7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling
- 7.11.2 Installaties 92 Kabeltrace's, kabelgoten en ladders
- 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen
- 7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding
- 7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters
  - 7.11.5.1 Algemeen
  - 7.11.5.2 Eigenschappen
  - 7.11.5.3 Constructieve details



---

Tunnel technische installaties



## **7.11 90 DIVERSE INSTALLATIES**

### **7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling**

Centrale deurontgrendeling wordt toegepast om deuren die normaal zijn vergrendeld, te kunnen openen vanaf een centraal punt (bijvoorbeeld vanuit een bewakings- en bedieningsruimte). Een dergelijke situatie doet zich voor bij het openstellen van een in de normale situatie afgesloten vluchtweg.

- Een dergelijke deurontgrendeling moet fail-safe zijn, d.w.z. bij uitvallen van de elektrische voeding moet de ontgrendeling vrijkomen.
- De deurontgrendeling moet zodanig zijn uitgevoerd dat een geopende deur bij bekrachtigde vergrendeling automatisch in de vergrendeling valt en daarna vergrendeld blijft.
- Elke centraal vergrendelde deur moet van binnenuit geopend kunnen worden door lokaal met de hand de grendel te lichten of lokaal tijdelijk de bekrachtiging van de grendel te verbreken.





## 7.11.2 Installaties 92 Kabeltracé's, kabelgoten en ladders

In de VRC wordt in het hoofdstuk "Kabels en Leidingen" al vrij uitgebreid ingegaan op kabeltracés, kabelgoten en ladders. Een paar hoofdzaken:

- Kabeltracé's moeten voor zover mogelijk buiten de verkeersbuizen worden aangebracht, of tenminste in een zeer goed tegen brand of andere calamiteiten van de verkeersbuizen afgeschermd kabelgoot.
- Indien het noodzakelijk is om kabels binnen de tunnelbuizen aan te brengen voor voeding of sturing van apparatuur in de tunnelbuizen, deze bij voorkeur aanbrengen in ingestorte buizen, of indien dit niet mogelijk is in ieder geval afschermen tegen mechanische beschadiging.
- Voedingskabels vanuit het centrale kabeltracé naar apparatuur in de verkeersbuizen per apparaat of sectie apparaten, zodanig dat door beschadiging van een voedingskabel de stroomvoorziening en/of goede werking van slechts één apparaat of sectie wordt beïnvloed.  
Daarbij mag in ieder geval mag een storing of verlies van kabels en/of apparatuur bij een incident in één buis niet de energievoorziening of besturing en bewaking van apparatuur en systemen in de andere tunnelbuis of buizen kunnen beïnvloeden
- Kabel- en apparaatverbindingen binnen de verkeersruimte d.m.v. stekers, zijn zeer storingsgevoelig en moeten voorzover mogelijk worden vermeden.
- Kabels bij voorkeur Halogeenvrij.

### **Toepassing van halogeenvrije kabels:**

Kabels zijn bij brand een belangrijke bron van giftige en agressieve rook. Halogeenvrije kabels produceren bij brand minder giftige verbrandingsproducten dan "gewone" kabels.

In ruimten waarin personen aanwezig zijn en waarin (veel) kabels aanwezig zijn wordt aldus het directe levensgevaar verminderd en de periode waarbinnen mensen kunnen vluchten verlengd.

### **De situatie in verkeerstunnels:**

In alle Nederlandse verkeerstunnels die gebouwd zijn conform de eisen en richtlijnen van de VRC en de SATO bevindt zich het kabeltracé buiten de verkeersbuis, daarvan gescheiden door een brandwerende (2 uur RWS-curve) betonnen wand. Binnen de verkeersbuis bevinden zich zeer weinig kabels. Alle kabels in de verkeersruimte zijn aftakkingen vanaf het hoofdkabel tracé dat zich in de van de verkeersbuis gescheiden kabelkoker bevindt.

Dezelfde koker waarin zich het kabeltracé bevindt wordt in een groot aantal gevallen tevens gebruikt als vluchtweg.



**Situatie bij brand in de verkeersbuizen:**

In de verkeersbuis is een reële kans aanwezig op brand. Deze brand ontstaat bij een verkeersongeval en zal altijd brand in combinatie zijn met de aanwezigheid van personen. De rook en andere gassen die bij deze brand worden geproduceerd zijn altijd vrijwel volledig afkomstig van kunststoffen, rubbers, brandstof (koolwaterstoffen) en lading van het brandende voertuig of voorwerp. Gedacht moet worden aan hoeveelheden rook en gassen variërend van 50-300 m<sup>3</sup> /sec, afhankelijk van de aard en de hoeveelheid gelijktijdig brandend materiaal. De hoeveelheid rook die door eventueel gelijktijdig meebrandende kabels van de apparatuur binnen de tunnelbuis wordt geproduceerd, is gezien de in verhouding geringe hoeveelheid brandend kabelmateriaal verwaarloosbaar.

In getallen: per m<sup>1</sup> tunnallengte is maximaal enkele kilo's brandbaar materiaal in de vorm van kabels aanwezig. Een moderne middenklasse personenauto bevat exclusief de lading ongeveer 80-100kg brandbare kunststoffen en rubbers. Bij vrachtwagens is dit afhankelijk van de situatie vele tientallen kilogrammen méér en daarbij is de lading meestal het belangrijkste brandbare bestanddeel.

**Vluchtgang:**

In de meeste tunnels is in de ruimte die als vluchtgang wordt gebruikt ook het kabeltracé aanwezig. In het kabeltracé is een -zeer geringe- kans op brand. Oorzaak van deze brand zou kortsluiting of anderszins oververhitting van installatieonderdelen moeten zijn. De kans dat een brand zich vanuit de verkeersbuis voorplant naar het kabeltracé is gezien de strenge bouwkundige scheiding vrijwel uitgesloten. Zelfs indien tijdens een hevige brand de vluchtdeur kortstondig zou worden geopend ter plaatse van de brand. Ofwel brand in het kabeltracé is een op zichzelf staand fenomeen dat niet zal samenvallen met een incident in de verkeerstunnelbuis. Dit betekent dat de functie vluchten tijdens een incident in de tunnelbuis niet samenvalt met brand in het kabelkanaal.

**Conclusies toepassing van halogeenvrije kabels:**

In de tunnelbuis verblijvende personen hebben bij brand geen voordeel van de toepassing van halogeenvrije kabels in de tunnelinstallatie;  
Het is niet zinvol in de kabelgang halogeenvrije kabels toe te passen.

**ECHTER:**

**Het prijsverschil tussen halogeenvrije kabels en de gebruikelijke Moeilijk Brandbaar kabels wordt steeds geringer. Ondanks het feit dat halogeenvrije kabels geen aanmerkelijke bijdrage leveren aan de veiligheid in tunnels is er dus geen enkele reden om dit type kabels niet te gebruiken.**



### 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen

In tunnels waar door fietsers en voetgangers een groot niveauverschil moet worden overbrugd, zonder dat voldoende ruimte aanwezig is om een oprit met een aanvaardbare steilheid ( $\pm 2,5\%$ ) aan te leggen, worden soms liften of roltrappen aangelegd.

Naast deze voorziening moet altijd een alternatief aanwezig blijven in de vorm van een oprit of een vaste trap.

Bij deze voorzieningen moet veel aandacht worden geschonken aan bewaking en beveiliging, zonder dat hierdoor de kwetsbaarheid voor vandalisme toeneemt.

Het is gewenst roltrappen tegen weersinvloeden te beschermen. Liften en roltrappen voor publiek gebruik moeten zodanig zijn uitgevoerd dat ruw gebruik niet tot storingen leidt. Liftdeuren moeten enig geweld kunnen doorstaan. Overigens uitvoeren conform de wettelijke regels en voorschriften.

Enige aantal aandachtspunten:

- Bij wegvallen van elektrische voeding moeten liften automatisch zakken naar een eindstand waarna automatisch de deuren worden geopend. Daarbij moet kenbaar worden gemaakt dat de lift niet meer betreden mag worden. In het algemeen is dit een standaard voorziening bij hydraulische liften.
- Roltrappen bij voorkeur niet laten gebruiken door fietsers die de fiets aan de hand meenemen. Het is bij diverse projecten gebleken dat een vrij grote categorie mensen hiervoor onvoldoende vaardigheid bezitten.
- Indien desondanks roltrappen geschikt moeten zijn voor gebruik door fietsers die hun voertuig aan de hand meenemen, dan moet de omwentelingsnelheid van de roltrappen op dit gebruik zijn afgestemd, en bij stroomuitval moet de roltrap nog tenminste twee volledige omwentelingen kunnen voltooien op een UPS-stroombron. Gedurende deze periode moet duidelijk kenbaar worden gemaakt dat de roltrap niet meer opnieuw betreden mag worden.
- Liften behoeven niet van een noodstopvoorziening te worden uitgerust.
- Roltrappen moeten wel van een noodstopvoorziening worden voorzien.

De noodstop van een roltrap mag vlg.s.NEN-EN 115; Roltrap/Rolpadnorm art.14.2.4.1:op afstand worden gereset onder de volgende voorwaarde:

*"Na het stoppen door een noodstopinrichting mag het opnieuw aanzetten mogelijk zijn zonder bediening van de aanzetschakelaar, indien op een andere wijze is gewaarborgd dat er niemand op de treden, paletten of band is...etc."*

Art. 14.2.1. voegt hieraan toe

*"De persoon die de schakelaars bedient, moet de roltrap geheel kunnen overzien, of zich ervan kunnen vergewissen, dat niemand de roltrap gebruikt wanneer wordt ingeschakeld."*

Ofwel: indien de roltrappen d.m.v. CCTV over de volle lengte geobserveerd kunnen worden, mag de roltrap na bediening van de noodstop op afstand worden gereset.





### **7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding**

In de VRC wordt uitgebreid ingegaan op de inrichting en de voorzieningen voor de vluchtweg en op de uitvoering van de vluchtwegaanduidingen.

Bij installatienummer 39 in dit deel van de SATO wordt de vluchtgang-overdrukventilatie beschreven en bij installatienummer 91 de eventuele deurvergrendeling.

Een aantal belangrijke aandachtspunten m.b.t. de installaties in en ten behoeve van de vluchtweg zijn:

- De vluchtweg moet automatisch naar een veilige(r) locatie leiden. Vluchtenden mogen niet voor keuzes worden gesteld en mogen niet onbedoeld in aan de vluchtweg grenzende technische ruimten of andere niet tot de vluchtweg behorende locaties terecht kunnen komen. Dit betekent onder andere dat alle deuren en toegangsopeningen vanuit de vluchtweg die naar dit soort locaties leiden automatisch moeten worden gesloten en vergrendeld zodra de vluchtweg gebruiksgereed wordt gemaakt. D.w.z. in het ontgrendelplan moet tevens de vergrendeling van onbedoelde alternatieven, zoals toegangen tot technische ruimten, worden opgenomen.
- Geluiden en geluidsproductie door technische apparatuur binnen de vluchtweg moet vermeden en indien onvermijdbaar, beperkt worden tot in ieder geval een niveau dat normale spraakoverdracht mogelijk maakt.
- De uitvoering van vluchtdeuren moet zodanig zijn dat zij ook gemakkelijk geopend kunnen worden indien een luchtdrukverschil over de deur bestaat tengevolge van de werking van de overdrukventilatie en de tunnelventilatie. Een openingskracht van maximaal 60N is acceptabel.





## **7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters**

Zie voor een beschrijving van de werking en kenmerken van een lichtrooster de Aanbeveling:

"Verlichting van tunnels en onderdoorgangen" van de NSVV

### **7.11.5.1 Algemeen**

Het lichtniveau onder het lichtrooster wordt bepaald door de lichtdoorlatende eigenschappen van het rooster. In de ideale situatie bewerkstelligt het tunnelrooster onder alle daglichtomstandigheden een constante verhouding tussen het lichtniveau onder het rooster en het lichtniveau boven het rooster.

In de praktijk is dit niet het geval en wordt door middel van slim construeren getracht dit ideaal te benaderen. Hierbij mag niet worden uitgegaan van reflecterende of spiegelende materialen omdat het niet mogelijk, in ieder geval problematisch is om deze eigenschappen over en lange termijn te handhaven (o.a. vanwege de locatie boven een snelverkeersweg). Door vervuiling en oxidatie zullen reflecterende eigenschappen van de meeste materialen op den duur geheel verdwijnen waardoor de aanvankelijke lichtdoorlatende eigenschappen van een rooster geheel verloren gaan.

Daarom moet bij het ontwerp van een lichtrooster uitgegaan worden van de lichttechnische eigenschappen zoals die zouden zijn bij een volkomen vervuild rooster. In ieder geval moet de benadering van het ideale rooster zodanig worden uitgevoerd dat de lichtdoorlaat niet afhankelijk is van de interne reflectie van het rooster

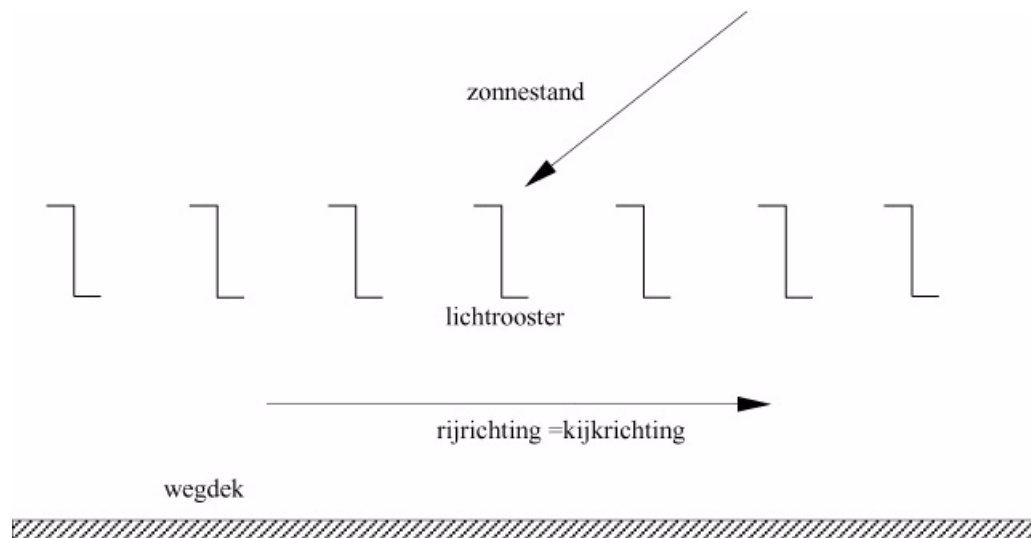
### **7.11.5.2 Eigenschappen**

Om onafhankelijk te zijn van de interne reflectie van het rooster is directe doorlaat van een deel van het zonlicht noodzakelijk (zie de Aanbeveling: "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen" van de NSVV). Daarbij moet ontwerp uitgangspunt zijn:

- Door de zon beschenen vlakken van de inritconstructie moeten zoveel mogelijk buiten het wegdekgebied vallen. Indien doervallend zonlicht het wegdek bereikt mag dit niet aanleiding geven tot hinderlijke flikkereffecten.
- Een weggebruiker mag niet direct in de zon kunnen kijken;
- De lichtdoorlaat van het rooster moet constant, en min of meer evenredig zijn met de lichthoeveelheid in het vrije veld, onafhankelijk van de zonnestand en onafhankelijk van het jaargetijde.

### **7.11.5.3 Constructieve details**

- De tot heden meest effectief gebleken lichtroosterconstructie is opgebouwd uit Z-vormige lamellen, afmeting plm. 65x200x65mm. Het 200mm deel wordt verticaal geplaatst, waarbij de boven en onderflenzen (65mm) evenwijdig aan de weg worden geplaatst. Het staande deel van de lamel voorkomt dat een weggebruiker vanuit zijn gezichtshoek rechtstreeks in de zon kan kijken (jaloezie-werking), terwijl de horizontaleflenzen de hemel afschermen en daarmee tevens een deel van de doorlaat bepalen (zie figuur).



- Door de afstand tussen de lamellen te variëren kan de lichtdoorlaat worden gevarieerd.
- Verhoging van de dragende zijwanden tot boven het rooster voorkomt zijdelingse doorstraling tot op het wegdek
- Belangrijk nevenaspect van een lichtroosterconstructie is het voorkomen van aanhechting van sneeuw en ijzel op de constructie.
- Lichtroosters, voor zover in Nederland toegepast, zijn ongeveer 100 m lang en worden verdeeld in drie zones. Een eerste zone van + 30 m lang waarin de jaloezielamellen op een onderlinge afstand van h.o.h. 50 cm zijn geplaatst, een tweede zone van 30m lang met lamellen h.o.h. 40 cm en een derde zone van 40 m lang met lamellen h.o.h. 30 cm. Zowel zonelengtes als lamelafstanden kunnen per tunnel worden gevarieerd.
- De lichtdoorlatende eigenschappen van een lichtrooster moeten onafhankelijk zijn van reflecterende eigenschappen van de lichtroosterlamellen. Daarom moeten deze in een (mat)zwarte kleur worden uitgevoerd.



---

## Inhoudsopgave

- 8. SAATU
  - 8.1 Voorbereiding
    - 8.1.1 Intro
    - 8.1.2 Voorontwerp tunnel
    - 8.1.3 Definitief ontwerp benodigde voorzieningen
    - 8.1.4 Draaiboek
  - 8.2 Opdrijven
    - 8.2.1 Intro
    - 8.2.2 Voorbereiding
    - 8.2.3 Inunderen
    - 8.2.4 Opdrijven
    - 8.2.5 Documenten
  - 8.3 Transport
    - 8.3.1 Intro
    - 8.3.2 Transport gereedmaken
    - 8.3.3 Transport
    - 8.3.4 Afmeren
  - 8.4 Afzinken
    - 8.4.1 Intro
    - 8.4.2 Voorbereiding
    - 8.4.3 Afzink gereedmaken
    - 8.4.4 Afzinken
    - 8.4.5 Positioneren
    - 8.4.6 Afronden
  - 8.5 Opleggen
    - 8.5.1 Intro
    - 8.5.2 Voorbereiding
    - 8.5.3 Methodes
    - 8.5.4 Onderstromen
    - 8.5.5 Grindbed
    - 8.5.6 Palen
  - 8.6 Afbouw
    - 8.6.1 Intro
    - 8.6.2 Zettingsverloop
    - 8.6.3 Verticaal evenwicht
    - 8.6.4 Dubbele waterkering
    - 8.6.5 Planning en afstemming



SAATU

---

- 8.6.6 Civiel technisch
- 8.6.7 E/M
- 8.7 Beheer en onderhoud
  - 8.7.1 Intro
  - 8.7.2 Processtappen
  - 8.7.3 Inspectie
  - 8.7.4 Onderhoud
  - 8.7.5 Garantstellingen
- 8.8 Benodigde voorzieningen
  - 8.8.1 Kopschotten
  - 8.8.2 Positie bepaling
  - 8.8.3 Toegangschacht
  - 8.8.4 Tijdelijke oplegging
  - 8.8.5 Tijdelijke waterkering
  - 8.8.6 Definitieve waterkering
  - 8.8.7 Waterballastsysteem
  - 8.8.8 Verplaatsing en transport
  - 8.8.9 Diverse
- 8.9 Checklijsten
  - 8.9.1 Intro
  - 8.9.2 Voorbereiding
  - 8.9.3 Opdrijven
  - 8.9.4 Transport
  - 8.9.5 Afzinken
  - 8.9.6 Fundatie
  - 8.9.7 Afbouw
  - 8.9.8 Beheer en onderhoud
  - 8.9.9 Benodigde voorzieningen
- 8.10 Bijlage
  - 8.10.1 10.2.A
  - 8.10.2 10.2.B
  - 8.10.3 10.2.C
  - 8.10.4 10.3.A
  - 8.10.5 10.3.B
  - 8.10.6 10.4.A
  - 8.10.7 10.4.B
  - 8.10.8 10.4.C



---

SAATU

8.10.9 10.4.D

8.10.10 10.5.A

8.10.11 10.6.A

8.10.12 10.6.B



---

SAATU



SAATU

## Inhoudsopgave Voorbereiding

- 8.1.1 Intro
- 8.1.2 Voorontwerp tunnel
  - 8.1.2.1 Specifieke aspecten met betrekking tot het OTAO-proces
  - 8.1.2.2 Waterdichtheid
  - 8.1.2.3 Verticaal evenwicht
  - 8.1.2.4 Mootlengte
  - 8.1.2.5 Lengte tunnelelement (horizontaal in rechte lijn gemeten)
  - 8.1.2.6 Bouwcyclus
  - 8.1.2.7 Risico-inventarisatie
  - 8.1.2.8 Standaard randvoorwaarden, uitgangspunten en definities
  - 8.1.2.9 Projectspecificatie
  - 8.1.2.10 Fasering
  - 8.1.2.11 Bouw tunnelelement, uitvoeringsfase 21
  - 8.1.2.12 Overige uitvoeringsfase 2 t/m 9
  - 8.1.2.13 Maatvoerings-aspecten
  - 8.1.2.14 Transportaspecten
  - 8.1.2.15 Belastingen bij tijdelijk funderen op oplegpunten
  - 8.1.2.16 Onderstromen
  - 8.1.2.17 Belastinggevallen
  - 8.1.2.18 Afzinkstelsel
  - 8.1.2.19 Specifieke aspecten
- 8.1.3 Definitief ontwerp benodigde voorzieningen
  - 8.1.3.1 Algemeen
  - 8.1.3.2 Kopschotten
  - 8.1.3.3 Waterballaststelsel
  - 8.1.3.4 Toegangsschacht
  - 8.1.3.5 Tijdelijke opleggingen bij onderstromen
  - 8.1.3.6 Tijdelijke en definitieve waterkering
  - 8.1.3.7 Verhaal-, transport- en afzinkvoorzieningen
- 8.1.4 Draaiboek
  - 8.1.4.1 Draaiboeken



---

SAATU



## 8.1 VOORBEREIDING

### 8.1.1 Intro

De voorbereiding van het proces van **O**pdrijven, **T**ransportereren, **A**fzinken en **O**nderstromen **O**pleggen - het zogenoemde OTAO-proces - is bedoeld om, vanaf het prille stadium van het ontwerpen van een af te zinken tunnel tot aan de start van het opdrijven van het laatste tunnelelement, een zo'n beheerst mogelijk proces te realiseren. Hierbij is nadrukkelijk de interactie tussen de bouwmethode en de constructie van grote invloed. De voorbereiding van het OTAO-proces start eigenlijk op het moment dat overwogen wordt een tunnel te realiseren met de bouwmethode "afzinken". De voorbereiding wordt per tunnelelement als belîndigd beschouwd bij "start opdrijven".

De totale voorbereiding wordt in dit handboek in drie processtappen onderverdeeld.

**De invulling van de stappen en wie deze uitvoert is afhankelijk van de contractvorm (standaard RAW of design & construct).**

#### Stap 1

De voorbereiding begint in deze stap in het prille stadium van het voorontwerp en eindigt met het afronden van de projectspecificatie (het bestek). In deze stap wordt met name gekeken naar de invloed die het OTAO-proces op het tunnelelement heeft en andersom.

Tevens worden in deze periode zo nodig verkennende studies uitgevoerd, naar bij voorbeeld stroomkrachten, invloed van de scheepvaart en mogelijke bijzondere omstandigheden in de transportroute.

Het in kaart brengen en zo nodig actie ondernemen ten aanzien van het grote aantal betrokken personen en instanties, mede gezien de complexiteit van de regelgeving en de benodigde vergunningen, is van groot belang.

Door middel van de "lijst met kritieke onderdelen" (LKO) en de "lijst met kritieke elementeneigenschappen" (LKE) brengt de ontwerper van de tunnel in kaart waar de bouwer aannemer van de tunnel met name op moet letten.

Ook worden in de projectspecificatie de randvoorwaarden en (operationele) uitgangspunten vastgelegd die de basis vormen voor de door de opdrachtnemer aannemer uit te voeren detailengineering van de benodigde voorzieningen ten behoeve van het OTAO-proces. Al deze aspecten (tijdelijke) benodigde voorzieningen worden uiteindelijk door de bouwer aannemer definitief ingevuld. Tijdens het voorontwerp moet van deze aspectenhiervan echter wel een duidelijk beeld bestaan. Anders zou het kunnen zijn dat een aan te besteden tunnel technisch niet uitvoerbaar is. Na deze stap wordt het werk gegund en is de bouwer aannemer bekend.



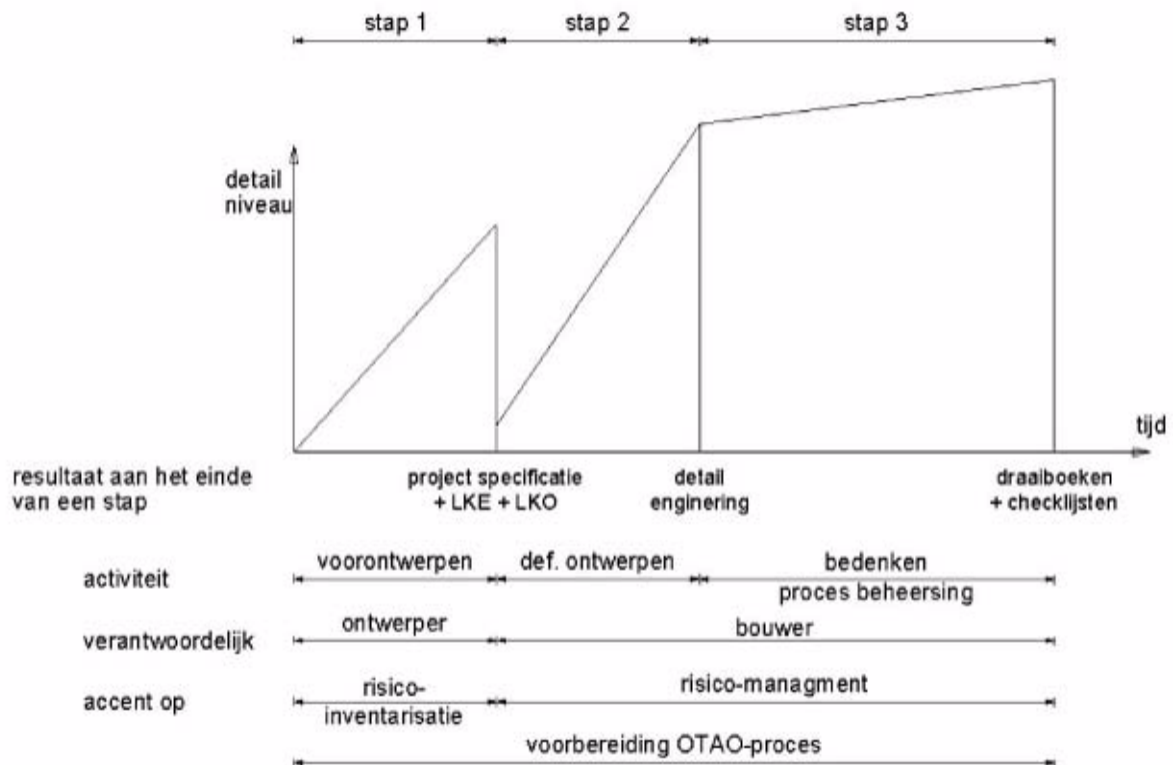
### Stap 2

Op basis van de gegevens van de eerste stap (projectspecificatie, LKO, LKE) en de door de bouwer aannemer zelf verder uit te werken bouwmethode wordt in deze stap het definitief ontwerp en de detaillering van de benodigde voorzieningen voor het OTA0-proces gemaakt. In deze stap is frequent en gestructureerd overleg noodzakelijk tussen de ontwerper en de bouweraannemer. De te onderscheiden risico's, de kans van optreden, de gevolgen die ze kunnen hebben en de mogelijke (beheers)maatregelen worden eveneens in deze fase in kaart gebracht. De activiteiten in deze stap moeten geheel zijn afgerond voorafgaand aan het bestellen van en vervolgens verwerken van de in te storten onderdelen ten behoeve van de benodigde voorzieningen (ankers, extra wapening, voorspankanalen).

### Stap 3

Na het definitief ontwerpen (van de benodigde voorzieningen) wordt ten behoeve van de operationele processen elk onderdeel apart en in samenhang met elkaar (voor zover nog nodig) verder in detail berekend en getekend. Hierna worden de benodigde draaiboeken en checklijsten (verder) uitgewerkt en vervolmaakt. De in stap twee reeds ingezette activiteiten met betrekking tot het risico-management worden verder uitgewerkt. Het zorgen voor een adequate communicatie met alle direct en indirect betrokken partijen ten aanzien van de OTA0-processen is van doorslaggevend belang voor het kunnen slagen van de operaties.

Van groot belang bij alle stappen is het helder houden van de taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden. Hierover mogen tijdens het proces geen onduidelijkheden (gaan) bestaan. De drie stappen en mate van detaillering zijn op een tijdsschaal in Afbeelding 8.1.1 nog eens schematisch aangegeven. In het verdere verloop van het handboek wordt aan het feitelijke ontwerp geen aandacht meer besteed, omdat de nadruk ligt op de processen (bij voorbeeld, er wordt niet uitgelegd hoe je een bolder berekend, alleen waar die voor dient).



Afbeelding 8.1.1, Schematisering van drie stappen.

#### De term OTAO.

Als fundatie van een tunnel werd tot 2000 alleen gebruik gemaakt van de onderstroommethode of onderspoelmethode. De 2e Beneluxtunnel is voor Nederland de eerste tunnel die gefundeerd is op een grindbed. Vanuit dit verleden is ook de term OTAO ontstaan, waarbij de afzonderlijke letters staan voor een specifieke fase in het totale afzink proces, namelijk:

Opdrijven  
Transport  
Afzinken  
Onderstromen (Onderspoelen).

Als gewerkt wordt met een grindbed, zou het de afkorting OTGA moeten worden. Echter om de bestaande afkorting OTAO te kunnen behouden is de O van Onderstromen ook uit te leggen als Opleggen, zodat de nieuwe betekenis van OTAO wordt:

Opdrijven  
Transport  
Afzinken  
Opleggen.







## 8.1.2 Voorontwerp tunnel

### 8.1.2.1 Specifieke aspecten met betrekking tot het OTA0-proces

Bij het voorontwerpen van de tunnel spelen naast het ruimtelijk alignement, het vereiste profiel van vrije ruimte en de constructieve aspecten de volgende specifieke aspecten met betrekking tot de bouwmethode een rol:

- Waterdichtheid tijdens alle stappen in het OTA0-processtappen.
- Verticaal evenwicht in elke fase.
- Mootlengte.
- Lengte van het tunnelement.
- In te storten dan wel aan te brengen benodigde voorzieningen voor het OTA0-proces in en op het tunnelement (ook door bouwer aannemer te bepalen).
- Voldoende ruimte in dwarsprofiel voor het theoretisch maximaal benodigde hoeveelheid ballastbeton.

### 8.1.2.2 Waterdichtheid

Denk hierbij aan (zonder volledigheid na te willen streven):

- De betonconstructie zelf (tunnel filosofie, zie SATO delen).
- Dilatatievoegen tussen de moten van het tunnelement.
- De detaillering van de zink-voegen en sluitvoegen.
- Mogelijkheden om vooraf dan wel achteraf op kritische plaatsen te kunnen injecteren.

### 8.1.2.3 Verticaal evenwicht

Van het begin tot aan het einde van het proces zal van grof naar fijn steeds aandacht moeten worden geschonken aan het verticale evenwicht.

Eenzijds bepaalt de uitwendige vorm van het tunnelement (kromming) en de mate van onderdompeling in combinatie met de volumieke massa van het water de opwaartse kracht (wet van Archimedes). Anderzijds wordt de massa van het tunnelement bepaald door de afmetingen van de betonconstructie zelf, in combinatie met de volumieke massa is van de toegepaste materialen en de aanwezige overige belastingen in en op het element. (denk aan een a-symmetrische tunnelindeling [kantelmoment]).

De neerwaartse kracht treedt op als grootte onder invloed van de aantrekkingskracht van de aarde.

Tevens spelen de aangrijpingspunten van deze krachten een grote rol bij de totale stabiliteit in de fasen van het opdrijven, transporteren en afzinken (hierbij moet gelet worden op de excentriciteit van de krachten in verband met dwarsligging tunnelement).

Met het in 1991 ontwikkelde computerprogramma AFTEL (**AF**zinken **TunnelE**lementen, zie SATO-deel 4) kan in de verschillende fasen het verticaal evenwicht worden gecontroleerd. Dit programma is onlangs verbeterd en beschikbaar onder de naam AFTEL 2000.



#### **8.1.2.4 Mootlengte**

Om in de uiteindelijke situatie ongelijkmatige zettingen zonder problemen te kunnen opnemen, worden de moten meestal niet langer ontworpen dan twintig meter. Ook vanuit betontechnologisch uitvoeringstechnisch oogpunt ligt hier ongeveer de maximale lengte van de moten, denk hierbij aan de bouwcyclus en de scheurvorming in de vloer.

Vanuit het oogpunt van om het aantal mootvoegen te beperken, uitvoering en kosten zou een grotere lengte van de moten echter wenselijk zijn.

#### **8.1.2.5 Lengte tunnelement (horizontaal in rechte lijn gemeten)**

De lengte wordt met name bepaald door de afmetingen van een bouwdok, de transportroute en manoeuvreerruimte in de diverse processtappen.

#### **8.1.2.6 Bouwcyclus**

Een cyclus heeft een doorlooptijd van meestal één week en bestaat uit de vloer, wanden en een dak. Elk onderdeel heeft een werkcyclus die bestaat uit het bekisten, vlechten en storten. Voor een stort van 1000 m<sup>3</sup> heeft men gauw 13 uur nodig.

#### **8.1.2.7 Risico-inventarisatie**

Zoals vermeld, worden de van belang zijnde aspecten uit de risico-inventarisatie vastgelegd in de LKO en LKE. Ten aanzien van het OTAOProces zijn dit bijvoorbeeld risico's ten aanzien van:

- Oude funderingen.
- Transportrisico's en -beperkingen.
- Archeologische vindplaatsen.
- Explosieven etc.
- Wrakken.

Vervolgens worden op basis van deze punten een afweging gemaakt ten aanzien van het risico zijnde het product van kans en gevolg.

De kansen kunnen worden onderverdeeld in een aantal categorieën zoals:

- Groot.
- Aanzienlijk.
- Klein.
- Zeer klein.

De gevolgen kunnen worden onderverdeeld in de bovenstaande categorieën en tevens in aspecten zoals:

- Geld.
- Tijd.
- (Persoonlijke) Veiligheid.



Daarnaast wordt onderzocht welke beheersmaatregelen kunnen worden genomen om de kans dan wel de gevolgen te beperken. De risicomatrix, zie figuur Afbeelding 8.1.2, geeft een voorbeeld van een schematische weergave van de kansen en de mogelijke gevolgen van optreden van de risicopunten. In het schematisch overzicht staan de cirkels met een punt in het midden voor de beoordeelde risicopunten. Daarnaast is aangegeven met een cirkel waar een cijfer in staat welke prioriteit wordt toegekend aan een aantal gebieden. In dit voorbeeld worden drie prioriteitengebieden onderscheiden:

- 1e prioriteit. De hoogste prioriteit in beheersing en afhandeling van mogelijke maatregelen.
- 2e prioriteit. Een lagere prioriteit in beheersing en afhandeling van mogelijke maatregelen.
- 3e prioriteit. De laagste prioriteit in beheersing en afhandeling van mogelijke maatregelen.

Een lagere prioriteit wil niet zeggen dat deze kan worden verwaarloosd. De rangschikking is enkel en alleen voor het afhandelen c.q. beheersen.

Daar waar het product van de kans  $X$  gevolg boven de dubbele lijn in de matrix ligt wordt het risico geaccepteerd, zonder dat aanvullende maatregelen worden voorzien.



Risicopunten uitgezet in matrix van kans x gevolg

				zk
	⊙9 ⊙7 ⊙6 ⊙2			k
	⊙1 ⊙8	⊙13 ⊙26 ⊙24	⊙18 ⊙16 ⊙4 ⊙17 ⊙23 ⊙25 ⊙19 ⊙20 ⊙21 ⊙27 ⊙22	a
⊙5 ⊙3 ⊙12	⊙10 ⊙14 ⊙11 ⊙15			g
zk Kans →	k	a	g	↑ gevolg

- zk = Zeer klein
- k = Klein
- a = Aanzienlijk
- g = Groot

Afbeelding 8.1.2, Risicomatrix.

**8.1.2.8 Standaard randvoorwaarden, uitgangspunten en definities**

In de voorontwerp-fase van de tunnel en de tunnelementen worden vooraf en tijdens het ontwerpen randvoorwaarden, uitgangspunten en definities vastgelegd. Bij de verdere uitwerking kan dan worden getoetst of deze uitgangspunten en randvoorwaarden nog kloppen en kunnen zo nodig worden bijgesteld. Enkele voorbeelden hiervan zijn (in willekeurige volgorde):



- De lengte van een tunnelement wordt gedefinieerd als de afstand van hart voeg tot hart voeg in afgezonken toestand (ingedrukte GINA-profiel = 100 mm).
- Voor de zwaartekrachtsversnelling wordt uitgegaan van  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ .
- Vastgelegd wordt welke waterstanden bij het voorontwerpen van de tunnel worden gehanteerd. Denk hierbij aan maximale waterstanden, minimale waterstanden en gemiddelde waterstanden in de diverse fasen voor de hooste zinkvoeg en de doorvaardiepte.
- Waarden worden aangenomen en vastgelegd van de soortelijke gewichten van het water in het een bouwdok, het water op de afzinklocatie (= rivier en de zinksleur) en het water in de ballasttanks.
- De minimaal te realiseren funderingsdrukken in de verschillende fasen.
- Bij de gewichtsbepaling in het voorontwerp wordt rekening gehouden met:
  - De theoretische afmetingen + toleranties van de vloer, de wanden en het dak van het tunnelement.
  - De werkelijke minimale en maximale waarde voor de volumieke massa van het beton (vloer en wanden), zoals die bij reeds eerdere tunnels is behaald.
  - Het gewicht van alle overige verwerkte materialen.
  - Alle tijdelijke en definitieve voorzieningen ter bepaling van het gewicht in alle fasen.
- Het minimaal vereiste vrijboord (afhankelijk van o.a. transport in zoet of zout water) wordt vastgesteld. Bedenk dat het vrijboord over de lengte van het tunnelement kan variëren.
- Ten behoeve van de maatvoering dienen er toleranties te worden opgegeven die enerzijds het verticale evenwicht kunnen waarborgen en anderzijds het de aannemer niet onmogelijk maken de tunnelementen te realiseren binnen de normaal gangbare praktijk.
- Een regelmatig toegepaste systematiek is om over de lengte van de stortmoot een gemiddelde dikten te bepalen en ten opzichte hiervan de theoretische maattoleranties vast te leggen.
- De uiteindelijk in het werk gerealiseerde maattoleranties en soortelijke gewichten worden met de theoretische waarden vergeleken en in een verbeterde gewichtsberekening verwerkt (t.b.v. controle verticaal evenwicht).
- Bij het berekenen van de volumieke massa's wordt normaal gesproken de invloed van wateropzuiging door de buitenste betonschil niet meegenomen. De gewichtstoename t.g.v. wateropname (circa 40 ton) heeft weinig invloed op het totale gewicht cq het vrijboord.
- De hoeveelheid wapening wordt per tunnelement beschreven in de projectspecificatie en de werkelijke hoeveelheid kan hieraan worden getoetst en zo nodig in de verbeterde berekeningen van het verticaal evenwicht worden verwerkt. De verwerkte hoeveelheden worden in de definitieve berekeningen en in de draaiboeken meegenomen.
- Bekijken van verticaal evenwicht en excentriciteit (kromming tunnelement en/of niet symmetrische dwarsdoorsnede) van op- en neerwaartse belasting. Bovenstaande afwegingen kunnen zowel in het voorontwerp als door de aannemer gemaakt worden.



### 8.1.2.9 Projectspecificatie

Omdat het vaststellen van de benodigde voorzieningen en de operationele aspecten van het OTAOProces als primaire taak van de aannemer wordt gezien, bevat de projectspecificatie een opsomming van de door de aannemer te berekenen en te tekenen voorzieningen. Tevens worden in de projectspecificatie opgegeven welke beheersplannen en draaiboeken door de aannemer moeten worden opgesteld. Wel worden door de ontwerper tijdens het voorontwerpen van een tunnel toetsingscriteria vastgesteld, die worden gebruikt bij het beoordelen van de door de aannemer te leveren tekeningen, berekeningen en draaiboeken.

### 8.1.2.10 Fasering

De volgende uitvoeringsfasering van de tunnelbouw wordt meestal aangehouden:

1. Keuze bouwdok / bouwplaats (scheepsdok of bouwdok Barendrecht of bouwput).
2. Bouw tunnelementen.
3. Opdrijven + wachtplaats.
4. Transporteren + wachtplaats
5. Maken zinksleuf.
6. Afzinken (eventueel op grindbed).
7. Verwijderen van uitwendige afzinkuitrusting.
8. Onderstromen en aflaten op onderstroomzand (bij gebruik maken van tijdelijke opleggingen).
9. Aanbrengen sluitvoegbekisting.
10. Verwijderen inwendige afzinkuitrusting / ballastuitwisseling.
11. Aanvullen zinksleuf.
12. Afwerken tunnelementen (zinkvoeg / sluitvoeg).

### 8.1.2.11 Bouw tunnelement, uitvoeringsfase 21

Deze fase heeft invloed op het OTAOProces omdat de in te storten voorzieningen in deze fase moeten worden aangebracht. Daarnaast is er nog beïnvloeding van het OTAOProces m.b.t. het later aan te brengen ballastbeton waaraan in deze fase reeds aandacht wordt geschonken door middel van het meten van de verschillende betondiktes, het vastleggen van de geometrie en het doen van kernboringen. Tevens vinden diverse controles en testen plaats die het goede verloop van het OTAOProces moeten garanderen. Te denken valt aan:

- Controle lekkages ballastleidingsysteemonderstroomleidingsysteem.
- Controle werking vijzelpennen.

Het inlopen van cementwater in deze voorzieningen kan een goede werking later blokkeren.

De verschillende controles vinden plaats aan de hand van checklijsten, voordat er werkelijk kan worden begonnen met de eerste fase van het OTAOProces, vindt er nog een "final-check" plaatsvinden.

### 8.1.2.12 Overige uitvoeringsfase 2 t/m 9

Deze fasen zijn zelf onderdeel van het OTAOProces en worden in de navolgende hoofdstukken uitvoerig besproken.



### 8.1.2.13 Maatvoerings-aspecten

Maatvoering en toleranties zijn in algemene zin van belang. Echter met betrekking tot het OTA-proces moet tevens worden gedacht aan specifieke aspecten zoals:

- De afmetingen van de sluitvoeg. Met betrekking tot de afmetingen van de sluitvoeg moet voldoende speling worden ingebouwd om het laatste tunnelement nog praktisch uitvoerbaar te kunnen afzinken (minimale maat is 1200 mm).
- De definitieve geometrie van de tunnelementen in relatie tot het verticaal evenwicht.
- De positie van een reeds afgezonken tunnelement t.o.v. het volgende af te zinken tunnelement in x, y en z-richting. Met name de positie van de pen- en vangconstructie en de zinkvoegomranding ten opzichte van het hierop aan te sluiten GINA-profiel zijn van groot belang (vooral een uitvoeringsaspect).

Enkele aspecten waaraan tevens aandacht moet worden besteed zijn:

- Langshelling van het tunnelement in combinatie met een horizontale kromming. Tijdens de bouw van de tunnelementen moet hierdoor de vloer scheluw worden uitgevoerd. Dit heeft geen invloed op berekeningen. Aandacht tijdens het voorontwerp is niet noodzakelijk, de scheluwte wordt wel opgenomen in het bestek.
- Als een tunnelement is afgezonken zijn alle voegen te lood, dit heeft als gevolg dat tijdens de bouwfase de voegen niet te lood zijn.
- De kromming van de aarde.
- Verschalingsfactor ten behoeve van de afstanden toepassen in verband met de RD-coördinaten (kaartprojectie op aardoppervlak). Dit kan afhankelijk van de locatie zowel positief als negatief zijn, hier moet vooral in de uitvoering aandacht aan besteed worden. Bij het uitzetten van de eerste RD-coördinaten, al bij het uitzetten van de (eventuele) bouwkuip, dient met rekening te houden met de aardkromming (dit is eigenlijk al het vastleggen van de zinkvoegen).
- Tijdens het afzinken voldoende ruimte kunnen houden tussen het GINA-profiel van het af te zinken tunnelement en de uitstekende delen van het reeds afgezonken tunnelement (beton neus).
- De mogelijke ligging van de elementen in een bouwdok wordt mede bepaald door eventuele aanwezige obstakels (denk aan stempels). Ook tijdens het afzinken kunnen obstakels (zoals het onder water aanwezig zijn van tijdelijke damwanden) de uitvoering hiervan bemoeilijken.
- De uitvaaropening en de overige manoeuvreerruimte.

### 8.1.2.14 Transportaspecten

Het transporteren van de tunnelementen veroorzaakt enerzijds belastingen op het tunnelement en anderzijds kan de transportroute randvoorwaarden stellen aan de geometrie van het tunnelement. In de voorontwerpfase zal naar dit soort aspecten verkennend onderzoek moeten worden uitgevoerd. Denk aan aspecten als:

- Diepgang van de waterwegen (mogelijk in combinatie met getijdenbewegingen), en te passeren obstakels, zoals bruggen, en sluizen e.d. in de (mogelijke) transportroute(s).
- Stroomsnelheden.





- Nautische en scheepvaart aspecten, (zoals een van keelclearance van 1000 mm (het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam hanteert 10 % van de hoogte van het tunnelelement volgens Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam).
- De direct en indirect betrokken partijen en instanties mede in het kader van vergunningen e.d.

#### 8.1.2.15 Belastingen bij tijdelijk funderen op oplegpunten

Bij onderstromen wordt gewerkt met vijzelpennen, waarbij **als indicatie** moet worden gedacht aan belastingen in de orde van grootte van (als er meer vijzelpennen worden gebruikt zal de totaalwaarde van de vijzelpennen anders worden):

- Minimale oplegreactie van de secundaire oplegging: 1000 kN per vijzelpen en 4000 kN totaal (som van beide vijzelpennen). Tevens is 4000 kN nodig om te allen tijde voldoende oplegreactie te hebben om voldoende wrijvingskracht tussen de vijzelpennen en de oplegtegels te realiseren, zodat de horizontale belasting uit overvarende schepen kan worden opgenomen. Hierbij is uitgegaan van een wrijvingscoëfficiënt tussen vijzelpen en oplegtegel van minimaal 0,2 (rekenwaarde).
- Minimale oplegreactie van de primaire oplegging is min 1000 kN. Deze negatieve oplegreactie is gekozen om te voorkomen dat de max. (positieve) reactie zo groot wordt dat de betonconsoles niet meer binnen redelijke afmetingen kunnen worden gemaakt. Hierbij moet wel de kin- en neusconstructie onderling worden geborgd met behulp van voorspanstaven.

#### 8.1.2.16 Onderstromen

In het voorontwerp is bij het eventueel toepassen van onderstroomleiding met name de grootte en de plaats van de onderstroomleidingen van belang. Tevens bepaalt de plaats van de onderstroompunten mede de krachtsverdeling in het element. Op basis van het afwegen van risico's (waterdichtheid) worden de aansluitpunten op de onderstroomleidingen altijd aan de buitenzijde aangebracht.

#### 8.1.2.17 Belastinggevallen

Het OTA0-proces heeft invloed op de belastinggevallen die beschouwd moeten worden bij het voorontwerp van de tunnel. Denk hierbij aan:

- **Eigen gewicht van het tunnelelement en de hulpsconstructies.** Alle in te storten onderdelen en sparringen dienen in rekening te worden gebracht bij de berekening van het eigen gewicht. Ook tijdelijke voorzieningen als de kopschotten en de ballasttanks moeten worden meegenomen.
- **Ballast.** De toegepaste hoeveelheid ballastbeton in de diverse fasen. Ook de belasting door gevulde ballasttanks (in combinatie met de positie) veroorzaken belastingen op het tunnelelement.
- **Verticale belasting voor kopschot.** Omdat de lengte van het tunnelelement is gedefinieerd van hart voeg tot hart voeg, moet rekening worden gehouden met het water dat in de verschillende fasen in de ruimte tussen het kopschot en hart voeg aanwezig kan zijn.



- **Opwaartse waterdruk.** De opwaartse waterdruk is primair afhankelijk van de toestand waarin het tunnelement zich bevindt (drijven of onder water). Secundair is een variërende opwaartse druk over de lengte van het tunnelement ten gevolge van eventuele variatie van de geometrie. Een voorbeeld hiervan is de plaatselijke bult ten behoeve van de ventilatoren indien deze in een cluster worden aangebracht. Daarnaast is de opwaartse druk uiteraard afhankelijk van de volumieke massa van het water.
- **Tijdelijke opleggingen.** Indien gebruik wordt gemaakt van tijdelijke opleggingen moet de belasting op deze opleggingen, mede in combinatie met de belastingen op de hijspunten, worden beschouwd.
- **Moment door water op de kop van het element.** Het moment op de kop van het element, ten gevolge van het verschil van het aangrijpingspunt van de resultante van de waterdruk en de zwaartelij van de geometrie van het tunnelement is eveneens mede afhankelijk van de toestand (drijvend of onder water op een bepaalde diepte) waarin het tunnelement zich bevindt.
- **Reactie GINA-profiel.** Het GINA-profiel wordt na het leegpompen direct na het afzinken gelijkmatig op druk belast. Het zwaartepunt van deze kracht ligt ongeveer in het midden van de doorsnede. Het zwaartepunt van de constructie kan hiervan afwijken en daarom moet rekening worden gehouden met het optreden van een moment. Dit kan nog niet bij het voorontwerp, maar als de "echte" betonberekeningen worden gemaakt.
- **Scheepvaart over het afgezonken element.** Na het afzinken en voor het onderstromen van het tunnelement en het aanvullen van de zinksleuf wordt de scheepvaartroute - al dan niet met een snelheidsbeperking - weer vrijgegeven. De overvarende schepen veroorzaken horizontale, opwaartse en neerwaartse belasting alsmede een moment op het tunnelement. Deze krachten kunnen aanzienlijk zijn en bepalend voor het oplegsysteem (vijzelpennen vergroten of grindbed toepassen).
- **Onderstromen.** Ook het onderstromen veroorzaakt belastingen waar rekening mee moet worden gehouden. Het patroon en de volgorde van het onderstromen zijn gebaseerd op een aantal vooraf vastgelegde uitgangspunten en randvoorwaarden. Dit kan nog niet bij het voorontwerp, maar als de 1echte betonberekeningen worden gemaakt. Deze worden in het hoofdstuk onderstromen verder toegelicht.
- **Sleepbelasting.** De in te storten bolders en ankers dienen te zijn berekend op de tijdens de verschillende fasen optredende sleepbelasting, wordt door de aannemer verzorgd.
- **Zinkvoeg en sluitvoeg.** De opwaartse belasting als gevolg van de zinkvoeg en sluitvoeg.

### 8.1.2.18 Afzinksysteem

Het afzinken heeft met name invloed op het ontwerpproces ten aanzien van de in deze fase optredende belasting. De mogelijkheid van funderen van de tunnel aan de hand van de aanwezige bodemgesteldheid is uiteraard van groot belang. Enkele mogelijkheden zijn:

- Funderen op staal (onderstromen of grindbed).
- Funderen op palen.



Aandachtspunten bij onderstromen:

- Tijdelijk funderen op oplegpunten, waarbij met name de fundatie en het definitief ontwerp van de oplegtegel van belang is.

De mogelijke variatie van de volumieke massa van het water over de diepte van de zinksleuf is een belangrijke randvoorwaarde in het voorontwerp.

Aandachtspunten.

Bij de Hemspoortunnel is de bouwkuip aan de Amsterdamse zijde met 145 mm verschoven, zodanig dat de tunnelelementen er "normaal tussen pasten".

Bij de 2e Beneluxtunnel had een zelfde actie kunnen plaatsvinden aan de zuidoever. Een verschuiving van 64 mm was voldoende om geen afwijkingen te veroorzaken in de tunnelelementen. Nu moest de sluitvoeg met 64 mm worden vergroot, los van de afwijkingen in de sluitvoeg ten gevolge van het afzinken.

### 8.1.2.19 Specifieke aspecten

Specifieke aspecten met betrekking tot de voorbereiding zijn onder andere het aanvragen van vergunningen, het regelen van verzekeringen, de en acceptatie van het definitief ontwerpen, draaiboeken, plannings en diverse aanvragen.

Aandachtspunten.

Met betrekking tot de sleepbelasten op de bolders het volgende, de verankering van de bolders moet zodanig zijn dat bij overschrijding van de krachten niet de beton het begeeft, maar de verankering. Veelal heeft de aannemer daar bezwaar tegen. Een bijkomend probleem is dat er ter plaatse van de bolders vaak niet de mogelijkheid is om extra wapening te plaatsen.



## **8.1.3 Definitief ontwerp benodigde voorzieningen**

### **8.1.3.1 Algemeen**

Het definitief ontwerp van de benodigde voorzieningen voor het OTA-proces wordt door de bouwer aannemer van de elementen verzorgd, overigens in goed overleg met de ontwerper van de tunnel. Bedacht moet worden dat wijzigingen in de randvoorwaarden en uitgangspunten in het voorontwerp van de tunnel ten aanzien van de benodigde voorzieningen van invloed kunnen zijn op de constructie van de tunnelementen.

Hierna zijn de belangrijkste voorzieningen beschreven die in deze fase moeten worden ontworpen en gedetailleerd en welke relatie deze hebben met de tunnelconstructie.

### **8.1.3.2 Kopschotten**

De opstorting op de vloer van het tunnelement ten behoeve van de aanslag van het kopschot dient zo te zijn ontworpen dat er een minimale mate van hinder tijdens het OTA-proces van wordt ondervonden en dat de krachtsoverdracht van waterdruk > kopschot > HE standers kan worden opgevangen. Rekening moet worden gehouden met het gegeven dat de opstorting een deel is van de constructieve zinkvoeg.

Een uitvoeringstechnische aandachtspunt is het feit dat de tunnelbekisting uit de tunnel gereden moet kunnen worden (dus sparing opstorting ter plaatsen van de wanden).

In het voorontwerp dient rekening gehouden te worden met het slopen, vaak moet de wapening worden afgebrand. Het zou beter zijn om met busankers te werken. Tevens moeten in het dak voorzieningen worden ingestort ten behoeve van de boven aanslag van het kopschot.

In het kader van verzekeraarbaarheid en risicobeheersing kan er voor gekozen worden om de kopschotten dubbel uit te voeren (Piet Hein tunnel, Amsterdam).

### **8.1.3.3 Waterballaststelsel**

De bepaling van de positie, afmetingen en mogelijke vulhoogte van de waterballasttanks heeft een directe en belangrijke relatie met: de tunnelgeometrie, variatie van de volumieke massa's, beheersing van de maatvoering e.d. en in te nemen waterhoeveelheid bij afzinken.

### **8.1.3.4 Toegangsschacht**

De positie, diameter en belastingen vanuit de schacht die via de in te storten voorzieningen op de tunnelconstructie worden afgedragen, hebben een directe relatie met het voorontwerp van het tunnelement zelf.



### **8.1.3.5 Tijdelijke opleggingen bij onderstromen**

De belastingen vanuit de tijdelijke opleggingen op het tunnelement zijn van directe invloed op het tunnelement. Duidelijk zal zijn dat bij het toepassen van een neus- en kinconstructie en de hierop aan te brengen pen- en vangconstructie goede afstemming vereist is. Ook de positie en wijze van doorvoeringen door de vloer en het eventueel aanbrengen van inkassing in de wanden ten behoeve van de vizelpennen alsmede de lokale belasting van de constructie door de vizels zijn van directe invloed op de tijdelijke opleggingen.

Aanpassingen en veranderingen in de uitvoeringsfase hebben dus een grote gevolgen voor het ontwerp.

### **8.1.3.6 Tijdelijke en definitieve waterkering**

Het De in het voorontwerp engekozen detaillering als mede de wijze van aanbrengen en instorten van onderdelen voor de GINA- en OMEGA constructie moet goed worden afgestemd met de detaillering van de constructie van het tunnelement. Zie ook de SATO delen.

### **8.1.3.7 Verhaal-, transport- en afzinkvoorzieningen**

Bij de dimensies en positie van bolders, hijspunten, beschermconstructie e.d. zijn de hiervoor in te storten voorzieningen (zoals ankers) van directe invloed op de constructie van de tunnelementen. Uitgangspunt is dat bij overschrijding van de krachten, niet de beton, maar het anker zich begeeft.

Aandachtspunt.

Bij nieuwe locaties, het Waterloopkundig Lab vragen om studies terplaatse uit te voeren. Het rapport vervolgens als bijlage toevoegen aan het voorontwerp. Daarna de hoofditens (dit zijn de optredende krachten) apart opnemen in deel 3. Dan zijn er geen foute interpretaties meer mogelijk.

Geef in het voorontwerp of bestek aan dat de aannemer rekening moet houden met een horizontaal kracht van X kN, ten gevolge van overvarende schepen. Het getal X kan dan gehaald worden uit het rapport van het Waterloopkundig Lab.



## **8.1.4 Draaiboek**

### **8.1.4.1 Draaiboeken**

In het kader van de verschillende draaiboeken die worden gemaakt tijdens de voorbereiding wordt verwezen naar de hoofdstukken:

- Opdrijven.
- Transport.
- Afzinken.
- FundatieOpleggen.
- Onderstromen (indien niet met tijdelijke ondersteuning wordt gewerkt).
- Grindbed (als er geen gebruik gemaakt wordt van een tijdelijke ondersteuning).

Deze hoofdstukken besteden uitvoerig aandacht aan de specifiek OTAO invloeden van elk van deze processen.





SAATU

## Inhoudsopgave Opdrijven

- 8.2.1 Intro
- 8.2.2 Voorbereiding
  - 8.2.2.1 Voorbereidende werkzaamheden
  - 8.2.2.2 Grindbed in bouwdok
  - 8.2.2.3 Instrueren duikers
  - 8.2.2.4 Tunnelement gereed-maken voor inundatie
  - 8.2.2.5 Bouwdok inundatie gereedmaken
  - 8.2.2.6 Opruimen bouwdok
  - 8.2.2.7 Vrijgraven grindbed rondom tunnelementen
  - 8.2.2.8 Aanbrengen taludbekleding
  - 8.2.2.9 Bepalen benodigde ballast
  - 8.2.2.10 Vullen van de ballasttanks
- 8.2.3 Inunderen
  - 8.2.3.1 Inundatie voorzieningen/ materialen/materieel
  - 8.2.3.2 Inunderen
  - 8.2.3.3 Werkzaamheden na inundatie
  - 8.2.3.4 Injecteren
  - 8.2.3.5 Doorbaggeren uitvaaropening
  - 8.2.3.6 Droog ontgraven
  - 8.2.3.7 Nat ontgraven
  - 8.2.3.8 Doorsteken rivier
- 8.2.4 Opdrijven
  - 8.2.4.1 Opdrijfplan
  - 8.2.4.2 Meetplan
  - 8.2.4.3 Testen afzinkpontons
  - 8.2.4.4 Beslismomenten
  - 8.2.4.5 Methode van opdrijven
  - 8.2.4.6 Opdrijfvenster
  - 8.2.4.7 Leegpompen ballasttanks/verlagen waterstand in ballasttanks
  - 8.2.4.8 Positionering element
  - 8.2.4.9 Afspraken met derden
  - 8.2.4.10 Nazorg
  - 8.2.4.11 Voorbereiding uitlieren
  - 8.2.4.12 Uitlieren en verhalen
  - 8.2.4.13 Afmeren
  - 8.2.4.14 Borden
- 8.2.5 Documenten
  - 8.2.5.1 Draaiboeken
  - 8.2.5.2 Testen/controle-activiteiten
  - 8.2.5.3 Communicatie matrix
  - 8.2.5.4 Checklijsten
  - 8.2.5.5 Werkvenster
  - 8.2.5.6 Risico inventarisatie





---

SAATU



## 8.2 OPDRIJVEN

### 8.2.1 Intro

#### Omschrijving

Het opdrijven is het geheel van activiteiten gerekend vanaf het gereedmaken van het een bouwdok en de tunnelelementen ten behoeve van inundatie van het bouwdok tot en met het afmeren van het tunnelelement aan de tijdelijke afbouwkade.

Voordat met het inunderen kan worden begonnen, moet eerst de uitgangssituatie worden zeker gesteld. Dit houdt in dat alle bouwactiviteiten aan de buitenzijde van de tunnelelementen moeten zijn afgerond en nog slechts kleine werkzaamheden in de tunnelelementen behoeven te worden verricht (gezien de beperkte toegankelijkheid) via waterdichte deuren in de kopschotten.

Processtappen zijn:

- Tunnelelement gereedmaken voor opdrijven.
- Bouwdok gereedmaken voor inundatie.
- Inunderen bouwdok + doorbaggeren dijk of openen dokdeur.
- Opdrijven tunnelelementen.
- Uitleieren en verhalen tunnelelementen.
- Afmeren aan de afbouwkade.

#### Opmerkingen:

- Het maken een bouwdok alsmede de keuze tussen boudok, bouwkuip of scheepsdok wordt niet beschreven. Het creëren van een bouwkuip is niet specifiek voor de tunnelbouw. Wel worden de aspecten toegelicht, die specifiek zijn voor het OTA0-proces.
- Tevens wordt het maken van de tunnelelementen zelf ook niet beschreven, omdat dit algemeen betonbouw betreft en verondersteld wordt, ten aanzien van de specifieke aspecten, dat dit voldoende wordt onderbouwd in de SATO-delen en het in ontwikkeling zijnde "uitvoering OTA0" handboek.





## **8.2.2 Voorbereiding**

### **8.2.2.1 Voorbereidende werkzaamheden**

Voor aanvang van het inunderen:

- Gereedmaken bouwdok, o.a. het weghalen van het grind rondom de tunnelementen (vrijmaken zijkanten grindbed).
- Tunnelementen gereedmaken voor OTAOP proces (o.a. foto's maken van onderstroomleidingen).
- Duikers instrueren.
- Ballasten (waterballasttanks vol).
- Bouwdok inundatie gereedmaken.

Voor aanvang van het opdrijven:

- Definitieve draaiboeken en werkplannen.
- Openen uitvaaropening.
- Aanbrengen verankerings- en verhaalpunten.

#### **Opmerkingen**

Reeds in het voortraject zijn draaiboeken en werkplannen opgesteld voor deze fase.

### **8.2.2.2 Grindbed in bouwdok**

- Om voldoende opwaartse waterdruk onder het tunnelement te krijgen (voorkomen van vastzuigen), worden de tunnelementen op een grindbed circa 30 cm dik gebouwd, zie Afbeelding 8.2.1
- Grind toepassen met een nominale korrelgrootte van 50 mm.
- Indien drainageleidingen in het grindbed worden opgenomen, kan bij problemen indien noodzakelijk het toestromen van water onder het tunnelement worden bevorderd.

#### **Opmerkingen**

- Met de korrelafmeting van 50 mm is de toestroming van water onder het element goed mogelijk.
- Drainageleidingen in het grindbed zijn tot nu toe nog niet toegepast.
- Het toepassen van drainage heeft een relatie met het vrijgraven van het grindbed naast de tunnelementen voor het inunderen.



Afbeelding 8.2.1, Grindbed in een bouwdok.

### 8.2.2.3 Instrueren duikers

Duikers de gelegenheid geven zich vooraf in den droge te kunnen oriënteren ten behoeve van hun latere werkzaamheden onder water.

#### Opmerkingen

- In het stadium van voorbereiding reeds met de duikers overleg plegen in verband met de vorm en de afmetingen van verklikkers.
- Duikers dienen het brevet Civiele Onderwaterbouw van Stichting Nationaal Duikcentrum (NDC) te hebben.-Belangrijke onderdelen en details vastleggen in een fotoboek.

### 8.2.2.4 Tunnelement gereed-maken voor inundatie

- Alle bouwactiviteiten aan de buitenzijde van de elementen afronden.
- Alle tijdelijke voorzieningen aanbrengen en indien nodig testen, zoals:
  - Ballasttanks met vulleidingen en pompen.
  - Kopschotten.
  - Stroomvoorziening.
  - Verlichting.
  - Bakens op de hoeken van de tunnelementen.
  - Toegangsschacht.
  - Bolders voor ankerdraden.
  - Bescherming GINA-profiel (t.p.v. dak t/m zijkant).



- Langs onderstroomleiding op tunnelement.
- De neus- en kinkconstructie.
- Aanbrengen voorspanning.
- Aanbrengen ballastbeton, indien noodzakelijk na vergelijking van de controle berekening met de gerealiseerde wapeningshoeveelheden, het gemeten betongewicht en het gemeten volume van het tunnel-element (kan voor - en na opdrijven).

**Opmerkingen**

- In verband met beperkte toegankelijkheid na inundatie de nog te verrichten werkzaamheden in de tunnelementen beperken.
- Bij de grootte van de ballasttanks dient enige reserve te worden ingebouwd.
- Checklijsten gebruiken om werkzaamheden te kunnen turven, voordat een tunnelement kan worden vrijgegeven.

**8.2.2.5 Bouwdok inundatie gereedmaken**

- Opruimen bouwdok.
- Vrijgraven grindbed rondom tunnelementen.
- Indien nodig aanbrengen taludbekleding op de laagwater / hoogwater lijn.
- Aanbrengen voorzieningen voor het latere opdrijven van het tunnelement.
- Hoepunten tunnelement markeren met bakken of boei (let op eventueel getij).
- Stortbed maken voor uitlaatpijp ten behoeve van het inunderen. Dit om uitspoelen grond te voorkomen.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.2.2



*Afbeelding 8.2.2, Bouwdok inundatie gereed.*

#### **8.2.2.6 Opruimen bouwdok**

- Verwijderen vuil.
- Denk aan voorwerpen, die onbedoeld kunnen gaan drijven.

#### **8.2.2.7 Vrijgraven grindbed rondom tunnelelementen**

Dit wordt gedaan om een goede toestroming water onder element mogelijk maken.

#### **8.2.2.8 Aanbrengen taludbekleding**

Indien nodig overal Taludbekleding aanbrengen op laagwater / hoogwater lijn en op instroomopening water, behalve op de plaats waar, na inundatie, de uitvaaropening wordt gebaggerd.



Leermoment met betrekking tot vrij water in combinaties met ballasttanks, zoals dit is toegepast bij de Noordtunnel.

Door het grote drijvend vermogen en het geringe gewicht van de tunnelelementen (in het daken zaten sparingen) werd bij het inunderen van het bouwdok het tunnelelement aan de grond gehouden door een combinatie van vrij water en met water gevulde ballasttanks. Het vrije water per buis was door compartimenteringsschotten in secties verdeeld. Tevens werd het middentunnelkanaal als extra ballasttank gebruikt.

Het opdrijven geschiedde door zoveel mogelijk vrij water uit het element te pompen en door een klein hoogteverschil in de ballasttanks aan de primaire en secundaire zijde aan te houden. Op deze wijze zou één uiteinde van het tunnelelement eerst omhoog komen, waarna met gecontroleerd pompen de rest van het tunnelelement boven water zou worden gebracht.

Theoretisch klopte dit verhaal, maar door het opdrijven ontstond een verval in het vrije water in het tunnelelement en van het water in de sparingen op het dak. Dit leidde tot een onverwacht gedrag van het tunnelelement tijdens het opdrijven. De compartimenteringsschotten bleken onvoldoende waterdicht en werkten slechts als vertragingsschot waardoor het vrije water naar het diepste punt bleef lopen. Hierop waren de pompstelling en aansluitingen niet ingesteld. Bij het 1e element leidde dit tot veel gesjouw met pompen en langer wachten voordat het element in zijn geheel boven was.

De conclusie is:

Probeer zodanig te ontwerpen, dat binnen de gestelde randvoorwaarden volstaan kan worden met ballasttanks. Indien dit niet mogelijk is en toch vrij water moet worden toegepast om te ballasten, zorg dan voor waterdichte compartimenten.

Toelichting waarom sparingen in het dak werden gebruikt.

De sparingen in het dak waren noodzakelijk, puur voor de transportfase, omdat anders het tunnelelement niet over de Noord te transporteren was (in verband met de diepgang). De sparingen zijn voor het afzinken met beton gevuld. De capaciteit van de ballasttanks waren gebaseerd op het afzinken, waardoor ze onvoldoende capaciteit hadden in de opdrijfphase. Dit gebrek aan gewicht werd gecompenseerd door gebruik te maken van vrij water.

### 8.2.2.9 Bepalen benodigde ballast

- Bepaling drijfvermogen (theoretisch/gerealiseerd).-
- Gewichten afzinkpontons (indien aanwezig) en klein afzinkmaterieel.
- Benodigde funderingsdruk in bouwdok is  $2 \text{ kN/m}^2$ .
- Ballast bestaat uit het vullen van de ballasttanks met water, eventueel aangevuld met ballastbeton.
- Trachten zoveel mogelijk het ballastbeton voor het opdrijvenaf aan te brengen. Na het opdrijven bepaling vrijboor en horizontale ligging en dan met ballastbeton verder uittrimmen om tunnelelement zo horizontaal mogelijk te krijgen.
- Rekening houden met de dichtheid van het water (soortelijke massa).

Ballastbeton:





1<sup>e</sup> fase - de gemiddelde soortelijke massa van het beton per tunnelelement is bekend aan de hand van boringen c.q. kubussen. Afhankelijk van het aantal steekproeven moet hier nog rekening worden gehouden met een bepaalde bandbreedte. In ieder geval kan het door:

$Sh_{\max}$  ontwerp -  $Sh_{\max}$  gemeten steekproefgecompenseerd worden in het geval van maatafwijkingen etc.

2<sup>e</sup> fase - Het inmeten van het vrijboord is de ultieme meting (gewicht). Aan de hand van deze meting kan worden bepaald:

- Hoeveel extra ballastbeton (schilbeton) nodig is om direct na de afzinkfase te voldoen aan de minimum oplegreacties van het tunnelelement ( $5 \text{ kN/m}^2$ ).
- Tevens kan door middel van de verdeling van een laag beton het tunnelelement (in langsrichting) worden uitgetrimd.

Ballastwater:

Uitgaande van de gemiddelde soortelijke massa uit de gemiddelde steekproef moet zoveel ballastwater worden aangebracht dat het tunnelelement met een minimale overwaarde van  $1 - 2 \text{ kN/m}^2$  in het bouwdok ligt.

#### **Opmerkingen**

- Vrijboord.
- Metacentrum en drukpunt van de opwaartse belasting.
- Om de minimale waterstand in de ballasttanks te bepalen, wordt bij vullen van het bouw-dok met respectievelijk zoet en zout water, meestal uitgegaan van een benodigde funderings-druk van respectievelijk  $2 \text{ kN/m}^2$  en  $1 \text{ kN/m}^2$ . Bij deze bepaling wordt uitgegaan van de onder-grens van het betongewicht. Dit om onverwachts opdrijven te voorkomen.
- Kromming tunnelelementen.
- Controle berekeningen gereali-seerde wapeningshoeveelhe-den / betongewicht / volume.
- Hangt nauw samen met de uit-gangspunten vanuit het ont-werp.
- Holle ruimtes in vloeren t.p.v. ballasttanks (b.v. pompkelders) bij voorkeur niet vullen met zand. Indien toch met zand wordt gewerkt, voorzieningen treffen dat het zand als het nat wordt, niet kan wegvloeien.
- Let op, dit (2e fase) kan verwarring geven, doordat schilbeton als ballast kan worden toegepast, terwijl dit qua lengteprofiel niet kan.

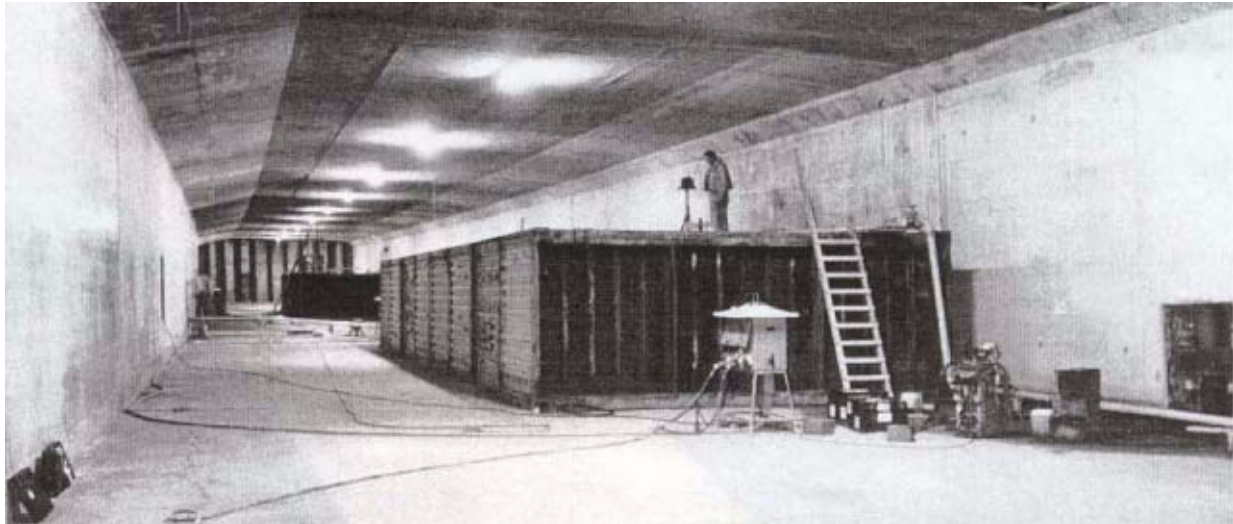
#### **8.2.2.10 Vullen van de ballasttanks**

- Het geheel aan vulleringen, pompen en ballasttanks wordt voor de eigenlijke operatie getest en afgewerkt, zie Afbeelding 8.2.3.
- Vullen met rivierwater. Dit wordt schoon genoeg geacht om problemen met schimmelvorming en stank te voorkomen, zie Afbeelding 8.2.4.

#### **Opmerkingen**

- De voorkeur voor het vullen is om dit zo gelijkmatig mogelijk te doen of van binnen naar buiten.

- Zuurstofrijk water gebruiken anders gaat de zuurstof uit de lucht in het water (aandachts-punt bij vullen met rivierwater).
- Fasering/meetplan/registratie.
- Het water in de tanks blijft voor langere tijd aanwezig, waardoor stankvorming kan ontstaan. Om dit te voorkomen kan ventilatie noodzakelijk zijn (dit is alleen mogelijk via de toegangschacht).



*Afbeelding 8.2.3, Ballasttank in tunnelbuis.*



*Afbeelding 8.2.4, Vullen ballasttank*

## 8.2.3 Inunderen

### 8.2.3.1 Inundatie voorzieningen/ materialen/materieel

- Hevelleiding, zie Afbeelding 8.2.5 en Afbeelding 8.2.6.
- Pompen.
- Uitstroomopening met uitspoelbeveiliging.
- Verklidders aangebracht ten behoeve van terugwinning.

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.2.7.



*Afbeelding 8.2.5, Heuvelleidingen bouwdok zijde*



*Afbeelding 8.2.6, Heuvelleidingen rivier zijde*



Afbeelding 8.2.7, Bouwdok

### 8.2.3.2 Inunderen

- Het vol laten lopen/pompen van het bouwdok duurt ongeveer twee weken (10 werkdagen).
- Bij het inunderen rekening houden met de gevolgen ten aanzien van de hydrologische eigenschappen van de ondergrond en de dijken in verband met de stabiliteit hiervan.
- De waterstand in de dijken met een hoogteverschil van 1,0 tot 2,0 meter mee laten stijgen met de waterstand in het bouwdok (waterstand bouwdok hoger).
- Gefaseerd afbouwen bouwdokbemaling.
- Inundatie methode (m.b.v. hevel en/of pompen).
- De waterstand met behulp van peilbuizen monitoren.
- Uitschakelen retourbemaling als deze aanwezig is.
- Inspectie tunnelelementen op (grote) lekkages.

#### Opmerkingen

- Diverse noodvoorzieningen aanwezig.
- Inundatie gereed bij een waterstand in het dok ongeveer 0,5 m hoger dan gemiddeld hoogwater van het buitenwater.



- Reparatievoorzieningen voor eventuele lekkages in de tunnelementen.

### **8.2.3.3 Werkzaamheden na inundatie**

De voorspankanalen moeten geïnjecteerd worden bij een maximale funderingsdruk van 21 kN/m<sup>2</sup>. Als injectie plaatsvindt in den droge, bij een hogere funderingsdruk, dan is de kans zeer groot dat de voorspanning bezwijkt ten gevolge van de bij de voegen geconcentreerde vervormingen en daarbij gepaard gaande spanningen. Bij een funderingsdruk van minder dan 21 kN/m<sup>2</sup> kan het tunnelement voldoende verkorten en buigen ten gevolge van de voorspanning en de optredende zettingen. Als de druk op de ondergrond bij het opdrijven minder wordt, worden de voegen verder dichtgedrukt.

#### **Opmerkingen**

Na inundatie kan de bronbemaling van het bouwdok worden opgeruimd (afhankelijk van het tijdelijk dan wel permanent zijn van het bouwdok).

### **8.2.3.4 Injecteren**

Het injecteren van de voorspanning vindt plaats na inunderen van het bouwdok, bij een funderingsdruk van minder dan 1 kN/m<sup>2</sup>, of als het tunnelement is afgemeerd aan de afbouwkade.

#### **Opmerkingen**

Als injectie plaatsvindt in den droge, bij een hogere funderingsdruk, dan is de kans zeer groot dat de voorspanning bezwijkt ten gevolge van de bij de voegen geconcentreerde vervormingen en daarbij gepaard gaande spanningen.

### **8.2.3.5 Doorbaggeren uitvaaropening**

Methode vaststellen:

- Droog ontgraven.
- Nat ontgraven.

### **8.2.3.6 Droog ontgraven**

- Inzet materieel afhankelijk van lokale omstandigheden.
- Taludbekleding verwijderen.
- Verontreinigingen verwijderen.

#### **Opmerkingen**

- Aangeven wat met de vrijkomende materialen moet gebeuren.
- Dijkvreemde onderdelen verwijderen.

### **8.2.3.7 Nat ontgraven**

- Tijdstip van het starten van het nat ontgraven vaststellen.
- Maatvoering/toleranties vastleggen in het meetplan.
- Inzet materieel afhankelijk van lokale omstandigheden.
- Verwijderen kraagstukken.

**Opmerkingen**

- Aangeven wat met de vrijkomende materialen moet gebeuren, denk aan mogelijke verontreinigde grond.
- Afval en slib moeten worden afgevoerd. Het bouwdok Barendrecht heeft een eigen depot.

Zie Afbeelding 8.2.8.



*Afbeelding 8.2.8, Verwijderen dijk tussen bouwdok en rivier.*

**8.2.3.8 Doorsteken rivier**

- Trekken damwand (indien aanwezig) of verwijderen dokdeur.
- Het aan te houden verschil tussen de waterstand binnen en buiten het bouwdok vooraf vaststellen.
- Bij hoogwater contact maken tussen het water binnen en buiten het bouwdok.
- Aanbrengen oeverbescherming uitvaaropening.
- Zorgen, dat bij het contact maken, de waterstand binnen circa 0,5 m hoger is dan de gemiddelde hoogwaterstand buiten in om te voorkomen dat slib in het bouwdok stroomt (i.v.m. vervuiling van het grindbed).
- Met afgaand water flinke bres maken en door een hoog werktempo ervoor zorgen dat bij opkomend water reeds een aanzienlijke doorstroomopening aanwezig is, zodat er geen slib transport naar binnen plaats vindt.
- Beperkingen scheepvaart.



**Opmerkingen**

- Peilen van uitvaaropening, voorhaven en vaargeul richting Oude Maas en toetsen aan vooraf vastgelegde eisen.
- Rekening houden met uitspoeling van de grond.
- Na het doorsteken tot aan het moment dat alle elementen weg zijn moet het bouwdok en de elementen worden bewaakt tegen al te nieuwsgierige personen (waaronder watersporters).
- De beperkingen voor de scheepvaart worden aangegeven door middel van borden.









SAATU

Opdrijven

Stap	Tankstand		Opmerkingen	Tankinhoud		
	Prim.	Sec.		Prim.	Sec.	
1	Van:	-	4.00 m	In beide tanks evenveel water Woensdag 25 april	744 m <sup>3</sup>	832 m <sup>3</sup>
	Naar:	-	3.57 m		744 m <sup>3</sup>	744 m <sup>3</sup>
2	Van:	4.00 m	3.57 m	Eindstap 2: Gronddruk > 2 kN/m <sup>3</sup> zout water Woensdag 25 april	744 m <sup>3</sup>	744 m <sup>3</sup>
	Naar:	3.32 m	2.97 m		621 m <sup>3</sup>	621 m <sup>3</sup>
3	Van:	3.32 m	2.97 m	Eindstap 3: Gronddruk > 1 kN/m <sup>3</sup> zoetwater Donderdag 26 april	621 m <sup>3</sup>	621 m <sup>3</sup>
	Naar:	2.16 m	1.93 m		402 m <sup>3</sup>	401 m <sup>3</sup>
4	Van:	2.16 m	1.93 m	Eindstap 4: Gronddruk > 0.5 kN/m <sup>3</sup>		
	Naar:	1.95 m	1.74 m			
5	Van:	1.95 m	1.74 m	Eindstap 5: Begin opdrijfvenster zout water Tunnelement kan gaan opdrijven	402 m <sup>3</sup>	401 m <sup>3</sup>
	Naar:	1.75 m	1.56 m		325 m <sup>3</sup>	324 m <sup>3</sup>
6	Van:	1.75 m	1.56 m		325 m <sup>3</sup>	324 m <sup>3</sup>
	Naar:	1.47 m	1.31 m		273 m <sup>3</sup>	272 m <sup>3</sup>
7	Van:	1.47 m	1.31 m		273 m <sup>3</sup>	272 m <sup>3</sup>
	Naar:	1.19 m	1.06 m		221 m <sup>3</sup>	220 m <sup>3</sup>
8	Van:	1.19 m	1.06 m	Eindstap 8: tunnelement moet zijn opgedreven Indien dat niet is gebeurd dan een uur wachten tot dat het element komt.	221 m <sup>3</sup>	220 m <sup>3</sup>
	Naar:	0.91 m	0.81 m		169 m <sup>3</sup>	168 m <sup>3</sup>
9	Van:	0.91 m	0.81 m		169 m <sup>3</sup>	168 m <sup>3</sup>
	Naar:	0.45 m	0.40 m		84 m <sup>3</sup>	83 m <sup>3</sup>
10	Van:	0.45 m	0.40 m		84 m <sup>3</sup>	83 m <sup>3</sup>
	Naar:	0 m	0 m		0 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>

Tabel 8.2.1

### 8.2.4.2 Meetplan

Aangeven op welke wijze de bewegingen van het tunnelement worden gevolgd en geregistreerd bij het opdrijven en aan welke eisen moet worden voldaan.



### 8.2.4.3 Testen afzinkpontons

Voor het opdrijven bestaat de gelegenheid om de afzinkpontons en hijspunten op het tunnelelement voor te belasten. De afzinkpontons worden hiermee tevens in de juiste positie gebracht ten behoeve van de latere afzinkfase (alleen als de afzinkpontons bij het transport op het dak staan).

#### Opmerkingen

De voorbelasting ligt in de orde van grootte van 500 kN/hijspunt. Het in de juiste positie brengen heeft uiteraard alleen nut als de afzinkpontons in deze fase op de elementen worden geplaatst en meegaan op het transport.

### 8.2.4.4 Beslismomenten

- Op het moment, dat besloten wordt de activiteiten te starten om het element te laten opdrijven, is er - zonder grote risico's geen weg meer terug. De kans, dat het element niet goed meer kan worden neergezet (door de kromming van het tunnelelement), is te groot.
- De direct betrokkenen bij het opdrijven, het verhalen en het uitlieren (vanuit de aannemer en de opdrachtgever) hebben allemaal een vetorecht bij de beslissing of een operatie mag worden gestart. De betrokkenen vanuit de verzekering en de nautische beheerder hebben een adviserende stem.

#### Opmerkingen

De tunnelementen worden zolang mogelijk op het grindbed van het bouwdok gehouden. Dit is de minst risicovolle situatie.

### 8.2.4.5 Methode van opdrijven

- Tunnelelement voor tunnelelement of allemaal tegelijk (b.v. een opdrijven, afbouwen en afzinken of één voor één opdrijven en daarna één voor één afbouwen en één voor één afzinken).
- Vierkant opdrijven. Hierbij komen alle hoeken van het element gelijktijdig omhoog. Het nadeel hiervan is, dat het tunnelelement kan gaan dwarrelen.
- Eenzijdig opdrijven (b.v. eerst de primaire zijde). Hierbij worden in eerste instantie alle ballasttanks gelijktijdig leeggepompt, totdat de funderingsdruk voldoende verlaagd is. Daarna worden alleen de ballasttanks verder leeggepompt die aan de kant staan waar het element omhoog moet komen. Trachten dit moment te bereiken bij de start van opkomend water. Hierna worden de overige ballasttanks leeggepompt.

Zie Afbeelding 8.2.10 en Afbeelding 8.2.11.

#### Opmerkingen

- Het moment van opdrijven is een "point of no return". Bij vertraging kan het tunnelelement namelijk weer aan de grond komen t.g.v. afgaand tij, wellicht op een vervormd grindbed.
- Bij het vierkant opdrijven komt het tunnelelement vrijwel nooit vierkant omhoog. Verder heeft deze methode weinig invloed op de voorspanning.

- Voordeel van het eenzijdig opdrijven is, dat men een gelijkmatige toestroming van water krijgt onder de tunnelementen. Verder heeft deze methode invloed op de momenten en op de voorspanning.
- Denk aan de toegankelijkheid en de bereikbaarheid van de tunnelementen.

In dit gehele document wordt er van uitgegaan dat OTAO plaats vindt in een getijde gebied met hoogwater / laagwater stroming. Er moet zo mogelijk een onderscheid worden gemaakt in:

- Getijde gebied.
- Kanaal e.d.



*Afbeelding 8.2.10, Enkelzijdig opdrijven*



*Afbeelding 8.2.11, Opdrijven tunnelelement*

#### **8.2.4.6 Opdrijfvenster**

- Het tijdsvenster waarbinnen opgedreven (en getransporteerd wordt naar dieper afgelegen afbouwsteiger is belangrijk voor de planning van het opdrijven en het uitlieren. Zie hiervoor het "werkvensters" (bij onderdeel documenten en 10.2.C).
- Na het opdrijven en nadat de ballasttanks geheel gelegeerd zijn het vrijboord meten en vergelijken met de uitgangspunten.
- In verband met het beheersbaar kunnen meten en regelen, gebeurt het opdrijven bij daglicht.

#### **Opmerkingen**

Als de tunnelelementen binnen het volumieke massa venster (tijdstippen waarop bij minimaal en maximale volumieke massa punt van opdrijven wordt bereikt) boven komen dan wil dat zeggen, dat de berekening van het gewicht klopte en dat er geen kleef heeft plaatsgevonden.

#### **8.2.4.7 Leegpompen ballasttanks/verlagen waterstand in ballasttanks**

- Bij afgaand water (dit is afhankelijk van de noodzaak of er rekening moet worden gehouden met eb en vloed), starten met verlagen funderingsdruk. Het exacte tijdstip van starten wordt bepaald door de relatie tussen minimaal en maximaal gewicht van het tunnelelement, de kleef, het pompdebiet en de getijkromme.
- Ankerdraden aanspannen.
- Relatie opdrijven/waterstand in het bouwdok.



- Voorzieningen dienen aanwezig te zijn om bij het kapot gaan van pompen en/of leidingen één en ander te kunnen repareren.
- De ballasttanks geheel leegpompen.
- De capaciteit van het ballastleidingen-systeem moet groot genoeg zijn om diverse acties (met name bij het afzinken) niet te lang op te houden.

Zie Tabel 8.2.1.

#### **Opmerkingen**

- Het is een voordeel als het tunnelement omstreeks laag water gaat opdrijven. Dit omdat het opkomend tij extra opdrijvend vermogen en daarmee extra liftkracht geeft. Om dit mogelijk te laten zijn moet in ieder geval voldaan worden aan de eis dat bij laagwater het tunnelement vrijboord heeft. Normaal is dit het geval, maar is niet persé noodzakelijk. Een tweede voordeel is dat het verhalen naar de dieper gelegen afbouwsteiger bij voorkeur plaatsvindt bij hoogwater.
- De capaciteit van het leegpompen van de ballasttanks en het moment van pompen ten opzichte van het getij, dient zodanig te zijn, dat het element niet meer aan de grond kan geraken.
- In het pompsysteem kunnen voorzieningen (zoals terugslagkleppen) in de leidingen worden aangebracht om het terugstromen van water door welke oorzaak dan ook te voorkomen.
- Na het opdrijven worden de meetbakens verwijderd.
- Ofschoon het belangrijk is om te allen tijde voldoende stroom te hebben, wordt meestal niet voorzien in noodstroomvoorzieningen. Indirect is wel iets te improviseren met de Multicatdrijvende kraan en andere boten.

#### **8.2.4.8 Positionering element**

- De verankering zodanig uitvoeren dat tijdens en na het opdrijven de tunnelementen elkaar niet kunnen raken.
- De verankering dient zodanig te zijn dat een tunnelement niet kan gaan rijden (horizontale bewegingen) door scheepvaartgolven, waterspiegeldaling/rijzing en of getij.
- De draden dienen qua lengte ongeveer gelijk te zijn vanwege de optredende rek in de draden. Korte draden trekken anders grote trekkrachten naar zich toe, waardoor de kans op breuk bestaat. Daarom bij korte draden een rekker toepassen.

#### **Opmerkingen**

- Het positie(meet)systeem bij het opdrijven en transport naar de afbouwsteiger dient overzichtelijk, betrouwbaar en beheersbaar te zijn. Bij geen zicht ten gevolge van mist geen actie uitvoeren, indien dit wordt toegelaten door het Go-No Go point of no return besluit, waarbij het tunnelement binnen het getijdevenster naar de afbouwsteiger wordt vervoerd.
- Plaatsbepalingssysteem tijdens opdrijven. De verticale positie wordt bepaald met behulp van 4 bakken op de hoekpunten en 2 theodolieten op de oevers.
- Nadat het tunnelement boven water is gekomen, wordt de commandant op het tunnelement gezet. Vanaf deze positie regelt hij het verdere proces aan de hand van het draaiboek.



### **8.2.4.9 Afspraken met derden**

Tijdens het opdrijven afspraken maken met de vaarwegbeheerder over het instellen van een snelheidsbeperking en het bewaken ervan (beperking golven in het bouwdok).

### **8.2.4.10 Nazorg**

Als het element boven water is gekomen, wordt het dek, indien nodig, schoon gespoten.

### **8.2.4.11 Voorbereiding uitlieren**

- Het uitlier- en verhaalplan uitwerken, inclusief alle benodigde kabels, lieren en andere voorzieningen, zie bijlage 10.2.A.
- Zorgen voor voldoende aan- en afvoercapaciteit van de kabels op de lieren.
- De draden en de kabels kunnen aan het tunnelelement zelf worden bevestigd maar ook aan de op het element aanwezige afzinkpontons.
- Omzetten stroomvoorziening van aansluiting op het openbare net naar de generator op het element.
- Duikinspectie afmeerpalen, zo nodig repareren.
- Dodebedden maken/verplaatsen.
- Monteren rollenkluisen.
- Plaatsen verhaal-, afmeerlieren, elektra.
- Transportvoorzieningen op de tunnelelementen zetten en/of aanbrengen.
- Gekozen kan worden om de lieren op het land dan wel op pontons te bevestigen.
- Draden van gelijke lengte of rekkers tussen voegen.

#### **Opmerkingen**

- Reeds bij het opstellen van het uitlier- en verhaalplan de personen betrekken, die het uitlieren en verhalen daadwerkelijk moeten uitvoeren. Bij de Wijkertunnel is de situatie op een tafel nagebootst en door middel van modellen en touwtjes door de mensen, die later de lieren moesten bedienen, de gevolgen van de acties bekeken.
- Het uitlier- en verhaalplan wordt (meestal) opgesteld in de vorm van een draaiboek.
- Het personeel van de aannemer dient aantoonbare bekendheid te hebben met het omgaan met lieren.
- Er dient ook communicatie aanwezig te zijn en verlichting (zo nodig).





Leermomenten met betrekking tot het lieren.

Het uitlieren van de tunnelementen bij de Wijkertunnel is vooraf uitvoerig besproken met alle betrokkenen, en aan de hand van een simulatie op schaal. Hierdoor waren alle betrokkenen goed op de hoogte van de geplande acties en is het uitlieren van alle elementen vrijwel probleemloos verlopen. Alleen bij tunnelement 1 is een lier beschadigd en een kabelkluis bezwaken, omdat deze lier niet voldoende snel zijn draad kon vieren, waardoor teveel spanning op de kabelkluis kwam te staan. Deze werd daarop van zijn fundering getrokken en de kabel heeft de lier beschadigd.

De conclusie is, dat niet mag worden verwacht, dat in de simulatie elk aspect kan worden getoetst.

Bij de Vlaketunnel is ook gebruik gemaakt van een simulatie. De simulatie verliep goed. Echter in werkelijkheid bleken er teveel draden te zijn, waardoor er geen beheersbare manier van uitlieren was. Met als gevolg dat het tunnelement botsten tegen een nog liggend tunnelement, met als gevolg grote schade aan het GINA profiel.

Conclusie: De simulatie m.b.t. het uitlieren heeft ten doel het krachterspel van draden en handelingen van draden te onderkennen. Teveel draden leidt niet tot een beheersbaar "bewegen" cq. verplaatsen van een tunnelement.

#### 8.2.4.12 **Uitlieren en verhalen**

- Afspraken met derden maken (zie communicatie matrix bijlage 10.2.B).
- Beperken scheepvaart.
- Rekening houden met de werkvensters.
- Bij de bepaling van het kabelverloop en -plan wordt rekening gehouden met voorzieningen, zoals toegangsschachten, die op het tunnelement zijn aangebracht. Deze zouden in de weg kunnen zitten.
- Bij voorkeur met opkomend water starten met het uitlieren.
- Door middel van klapschijven wordt voorkomen, dat kabels scherpe hoeken maken.
- Tunnelement door de uitvaaropen-ing verhalen.
- Vrijboord meten.
- Eventueel ballasten (beton/water).

#### **Opmerkingen**

- Liersysteem moet een controlebaar en beheersbaar systeem zijn, bij voorbeeld met "constant tension" hoewel dit een duur systeem is.
- Het uitlieren en verhalen wordt alleen in daglicht uitgevoerd.
- Indien voor doorgang van hulpdiensten moet worden gezorgd, kan dit simpel en zonder al te veel moeilijkheden gebeuren door de gespannen kabels successievelijk "slack" (slap) te gooien.
- De positie van de draden en de kabels kunnen met behulp van boeien worden gemarkeerd.

Zie Afbeelding 8.2.13 en Afbeelding 8.2.12.



*Afbeelding 8.2.12, Lier.*



*Afbeelding 8.2.13, Uitlieren van een tunnelement.*

#### **8.2.4.13 Afmeren**

- Afmeerplan. Hierin is aangegeven met welke kabels en ankers het tunnelement aan de afbouwkade wordt afgemeerd, rekening houdend met stroming, langsvarende schepen en het getij.
- Toegankelijkheid van het tunnelement aan de afbouwkade.

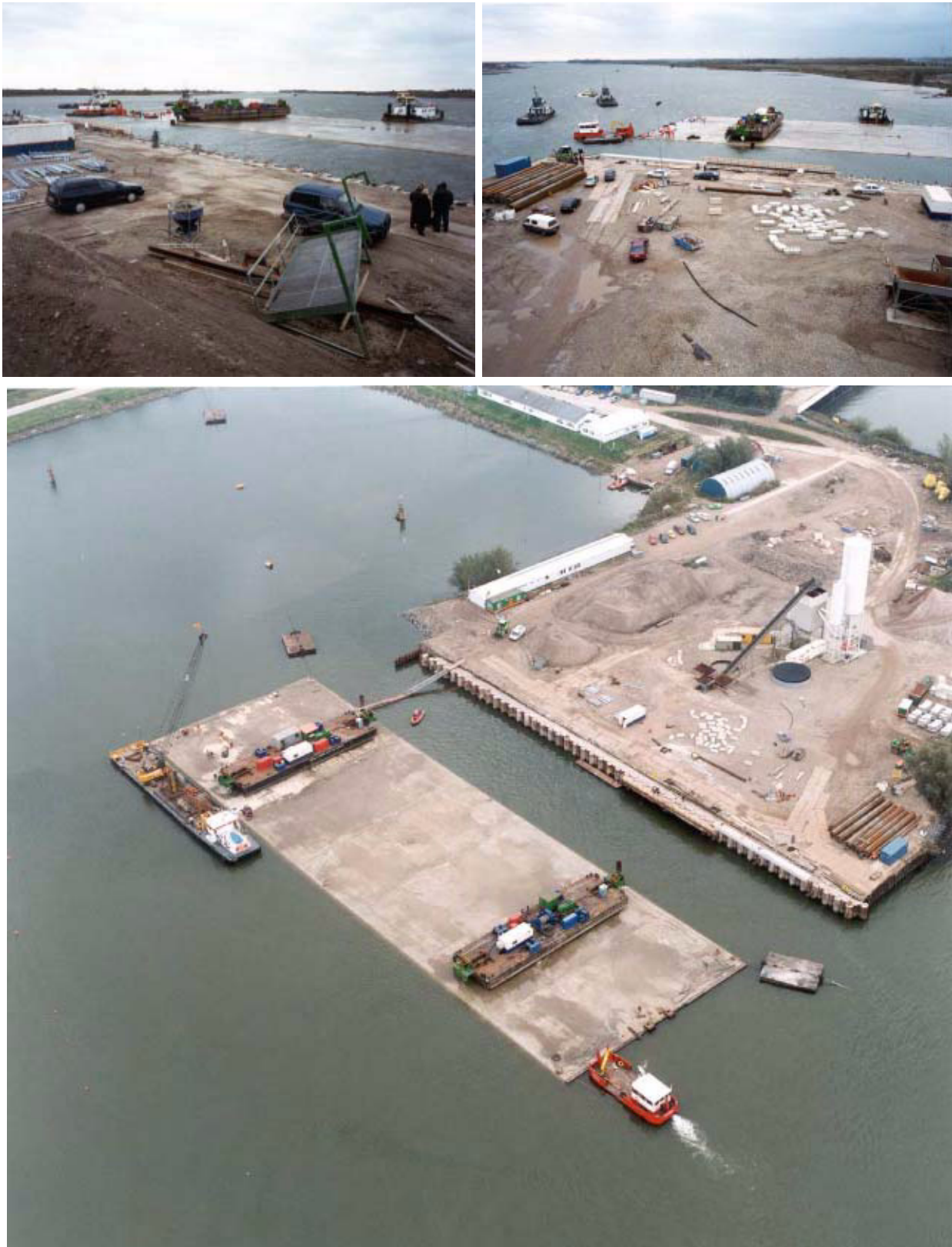


- Schoonmaken tunnelement.
- Het tunnelement kan aan de afbouwkade worden afgetrimd (dat wil zeggen het tunnelement door middel van ballast onder de juiste helling gelegd) tot het vereiste vrijboord.
- Aftrimmen het liefst met ballastbeton. Er zijn drie momenten wanneer je ballastbeton kan storten, te weten:
  - In het bouwdok als je met het ballaststelsel niet uitkomt.
  - Als het tunnelement aan de afbouwkade is afgemeerd. Ballastbeton in het tunnelement Dit is lastig en moet zoveel mogelijk worden voorkomen, vanwege de lange afstand waarover het beton verpompt dient te worden. Ballastbeton op het dak kan dan een oplossing zijn.
  - Na het afzinken.
- Scheepvaartbeperkingen tijdens het uitlieren en afmeren van de tunnelementen. Dit wordt aangegeven door middel van bebording en bewaakt door patrouilleboten.
- De vizelpennen, de taats en het GINA-profiel moeten worden gecontroleerd door duikers.

#### **Opmerkingen**

- Loopbrug, elektra e.d. aanbrengen.
- Controleren op de werkelijk aanwezige bodemdiepte bij de afbouwsteiger.
- Het verankeringssysteem van het tunnelement aan meerpalen moet zijn berekend op stroming- en golfkrachten ten gevolge van passerende schepen.
- Bewakingssysteem regelen zolang de tunnelementen aan de afbouwsteiger liggen.
- Aan de afbouwsteiger moeten de geconstateerde lekkages worden gedicht, bij voorbeeld door te injecteren.
- Het afmeersysteem van het tunnelement bestaat uit de meerpalen, een anker (rivier), twee korte draden (loswal) en een lange draad (bouwdok). Voor de zekerheid kunnen korte stroppen over de meerpalen en de dichtbij gelegen bolders hangen.

Zie Afbeelding 8.2.14.



*Afbeelding 8.2.14, Tunnelement aan de afbouwkade*



#### **8.2.4.14 Borden**

Diverse borden aanbrengen en handhaven gedurende de gehele periode dat het sluitgat open is, totdat alle tunnelementen weg zijn.

##### **Opmerkingen**

Het aantal en de aard van de borden in overleg met de vaarwegbeheerder bepalen.





## **8.2.5 Documenten**

### **8.2.5.1 Draaiboeken**

Voorstel hoofdstukindeling:

#### ALGEMEEN

- 1.1 Telefoonlijst
- 1.2 Organisatieschema
- 1.3 Communicatieschema
- 1.4 Beslisprocedure
  - 1.4.1 Beslisgroep
  - 1.4.2 Beslisoverleg
  - 1.4.3 Agenda bij beslissing
  - 1.4.4 Contacten
- 1.5 Randvoorwaarden
- 1.6 Relaties met andere documenten
  - 1.6.1 Draaiboeken en werkplannen
  - 1.6.2 Tekeningenlijst
- 1.7 Planning
  - 1.7.1 Planning voorbereidend werk bouwdok OTAO
  - 1.7.2 Planning opdrijven t/m transportgereed
- 1.8 Arbo en veiligheid

### **8.2.5.2 Testen/controle-activiteiten**

Voorstel tekst

Agenda punten

- a. Checklist.
- b. Weersgesteldheid (wind, zicht en temperatuur).
- c. Vaarwegstremming/scheepvaart-begeleiding.
- d. Detailplanning en opdrijfdata Peilingen uitvaaropening en waterstanden zoutmeting (soortelijk gewicht van het water).

### **8.2.5.3 Communicatie matrix**

Zie voor voorbeelden van communicatie matrices bijlage 10.2.B.

### **8.2.5.4 Checklijsten**

De volgende checklijsten worden gebruikt:

- Lekwatersysteem.
- Controle kopschotdeur.
- Elektra en verlichting.
- Transport- en sleepvoorzieningen.
- Afsluiting tunnelement en markering uitvaargeul.
- Opdrijfgereed (Specifieke voorzieningen).
- Tunnelgereed voor OTAO (algemene voorzieningen).

### **8.2.5.5 Werkvenster**

Zie voor voorbeelden van een werkvenster bijlage 10.2.C.



**8.2.5.6 Risico inventarisatie**

Een document opstellen, waarin alle mogelijke risico's worden geïnventariseerd, per risico aangegeven wat de oorzaak is en wat de maatregelen zijn. Een mogelijke indeling is:

- a. Bouw tunnelement t/m opdrijven.
- b. Uitlieren, afmeren en transport gereedmaken tunnelement.
- c. Transport.
- d. Afzink gereedmaken ter plaatse van of in de nabijheid van de zinksleuf.
- e. Afzinken.
- f. Opleggen (onderstromen of grindbed).



SAATU

## Inhoudsopgave Transport

- 8.3.1 Intro
- 8.3.2 Transport gereedmaken
  - 8.3.2.1 Drijfvermogen tunnelement voor het transport
  - 8.3.2.2 Transportgereed
  - 8.3.2.3 Beslisvergaderingen
  - 8.3.2.4 Voorzieningen op of in het tunnelement om het te kunnen transporteren
  - 8.3.2.5 Voorzieningen om een tunnelement te ontmeren, transporteren en af te meren
  - 8.3.2.6 Transportmaterieel
  - 8.3.2.7 Pompsysteem
  - 8.3.2.8 Duikerscontrole
  - 8.3.2.9 Vrijboord
  - 8.3.2.10 Trimmen
- 8.3.3 Transport
  - 8.3.3.1 Start transport
  - 8.3.3.2 Transportplan
  - 8.3.3.3 Beslismomenten
  - 8.3.3.4 Werkvensters
  - 8.3.3.5 Transportroute
  - 8.3.3.6 Mogelijke transportroute
  - 8.3.3.7 Bruggen
  - 8.3.3.8 Sluizen
  - 8.3.3.9 Risico's tijdens transport
  - 8.3.3.10 Personen op het transport
  - 8.3.3.11 Duw- en sleepboten
  - 8.3.3.12 Sleepvoorzieningen
  - 8.3.3.13 Verantwoordelijke tijdens transport
  - 8.3.3.14 Nautisch beheerders
  - 8.3.3.15 Vaarwegbeheerder
  - 8.3.3.16 Loods
  - 8.3.3.17 Transport over zee
  - 8.3.3.18 Modelonderzoek
  - 8.3.3.19 Drijvende stabiliteit tijdens transport
- 8.3.4 Afmeren
  - 8.3.4.1 Afmeerlocatie
  - 8.3.4.2 Afmeerstoelen
  - 8.3.4.3 Afmeersysteem
  - 8.3.4.4 Afmeren
  - 8.3.4.5 Fendering
  - 8.3.4.6 Krachten op draden bij afmeerlocatie
  - 8.3.4.7 Opspannen van het afgemeerde tunnelement
  - 8.3.4.8 Afzink gereedmaken op of aan het element



---

SAATU

## 8.3 TRANSPORT

### 8.3.1 Intro

#### Omschrijving

Het geheel van activiteiten, gerekend vanaf het afmeren aan de afbouwkade na het uitlieren van het tunnelement tot en met het afmeren van het tunnelement aan een tijdelijke afmeerlocatie of de start van het afzink gereedmaken van het tunnelement.

De processtappen zijn:

- Het transport gereedmaken, dit beschrijft de activiteiten die moeten gebeuren aan de afbouwkade en de achtergronden hiervan.
- Het transporteren, dit beschrijft enerzijds de aandachtspunten voor het transporteren zelf maar geeft ook inzicht in activiteiten, die in het voortraject worden verricht om te kunnen komen tot het daadwerkelijk varen met de tunnelementen naar de afzinklocatie.
- Het afmeren van het tunnelement, dit beschrijft de achtergronden en de werkzaamheden die volgen op het varen en voorbereid zijn op het afzinkproces.



*Afbeelding 8.3.1, Transport van een tunnelement.*





## **8.3.2 Transport gereedmaken**

### **8.3.2.1 Drijfvermogen tunnelelement voor het transport**

De tunnelelementen, die in het handboek worden beschreven, hebben dusdanige afmetingen, dat deze uit zichzelf drijven. Ten behoeve van het transport, met behulp van sleep- en/of duwboten, wordt hiervan dankbaar gebruik gemaakt.

#### **Opmerkingen**

Bij kleinere elementen zou het ook mogelijk zijn om deze te transporteren op of tussen pontons, dan wel met behulp van een drijvende bok of een speciaal ontworpen transportvaartuig (zoals op de Afbeelding 8.3.2 te zien is, het transporteren van de metrotunnel Spijkenisse m.b.v. catamarans).



*Afbeelding 8.3.2, Transport van een tunnelement m.b.v. pontons.*



### 8.3.2.2 Transportgereed

Een tunnelement is transportgereed als:

- Het dak van het tunnelement is vrijgemaakt van overbodig materiaal en materieel (beloopbaarheid).
- De tijdelijke voorzieningen ten behoeve van het transport zijn aangebracht en gecontroleerd en indien nodig getest. Denk hierbij naast de echte transportvoorzieningen aan de verlichting, het schakelsysteem, de generatoren en de lekwaterpompen.
- Het tunnelement zodanig aan de afbouwkade is geballast en getrimd dat het horizontaal ligt en veilig kan worden getransporteerd.
- Vrijboord voldoet aan de eis (meestal meer is dan circa 150 mm).

#### Opmerkingen

- De ballasttanks hebben in principe voor de transportfase geen functie. Het kan in uiterste gevallen benut worden om te helpen bij het trimmen (in de dwarsrichting) van het element.
- Vanuit veiligheidsoverwegingen wordt gestreefd om zonder (vrij) water te varen.
- Checklijsten moeten worden gebruikt om alle werkzaamheden te turven voordat de elementen kunnen worden vrijgegeven voor transport. Deze checklijsten worden toegepast bij:
  - Lekwatersysteem.
  - Elektra en verlichting.
  - Transport- en sleepvoorzieningen.
  - Afsluiting tunnelement.
  - Markering uitvaargeul.

### 8.3.2.3 Beslisvergaderingen

- Voor belangrijke beslissingen, zoals de beslissingen om te gaan varen, worden beslisvergaderingen belegd. Vaak wordt afgesproken om 48 uur, 24 uur en 3 uur van te voren bij elkaar te komen.
- Meestal worden er voor deze vergaderingen beslispunten (zie voorbeeld bijlage 10.3.A) geagendeerd, de besluiten worden vastgelegd en geparafeerd door de betrokken verantwoordelijken.

#### Opmerkingen

De beslisvergaderingen worden uiteraard in overleg vastgesteld. Bij de 2<sup>e</sup> Benelux was dit zoals hiernaast is beschreven. Bij andere tunnels zijn deze wellicht anders.

### 8.3.2.4 Voorzieningen op of in het tunnelement om het te kunnen transporteren

- Sleepvoorzieningen en duwbootframe.
- Elektriciteitsvoorziening door middel van generatoren, incl. noodvoorzieningen (op tunnelement).
- Verplichte scheepvaartverlichting zoals rood, groen en een heklicht.
- Verlichting van het element zelf door middel van bouwlampen op het generatorplatform.
- Seinbakens op tunnelement.
- Radarmerk volgens de scheepvaartvoorschriften.





- Afhankelijk van de transportroute en transportlengte worden de korte toegangsschachten al dan niet verwijderd.
- Tijdens het transport is in het tunnelement materiaal en materieel aanwezig om (nood)reparaties te kunnen uitvoeren.
- Reserve-onderdelen, zoals generator, (lekwater) pompen, lampen op batterijen, kabels om elektra van de sleepboten te halen.

**Opmerkingen**

- Tijdens het transport wordt, alleen indien daar aanleiding toe bestaat, de toegangsschachten gebruikt om in het element te komen ten behoeve van inspecties. Vanuit veiligheidsoverwegingen moet dit zoveel mogelijk worden vermeden.
- De voorzieningen welke geen functie hebben tijdens het afzinken worden direct na het transport weer verwijderd.

**8.3.2.5 Voorzieningen om een tunnelement te ontmeren, transporteren en af te meren**

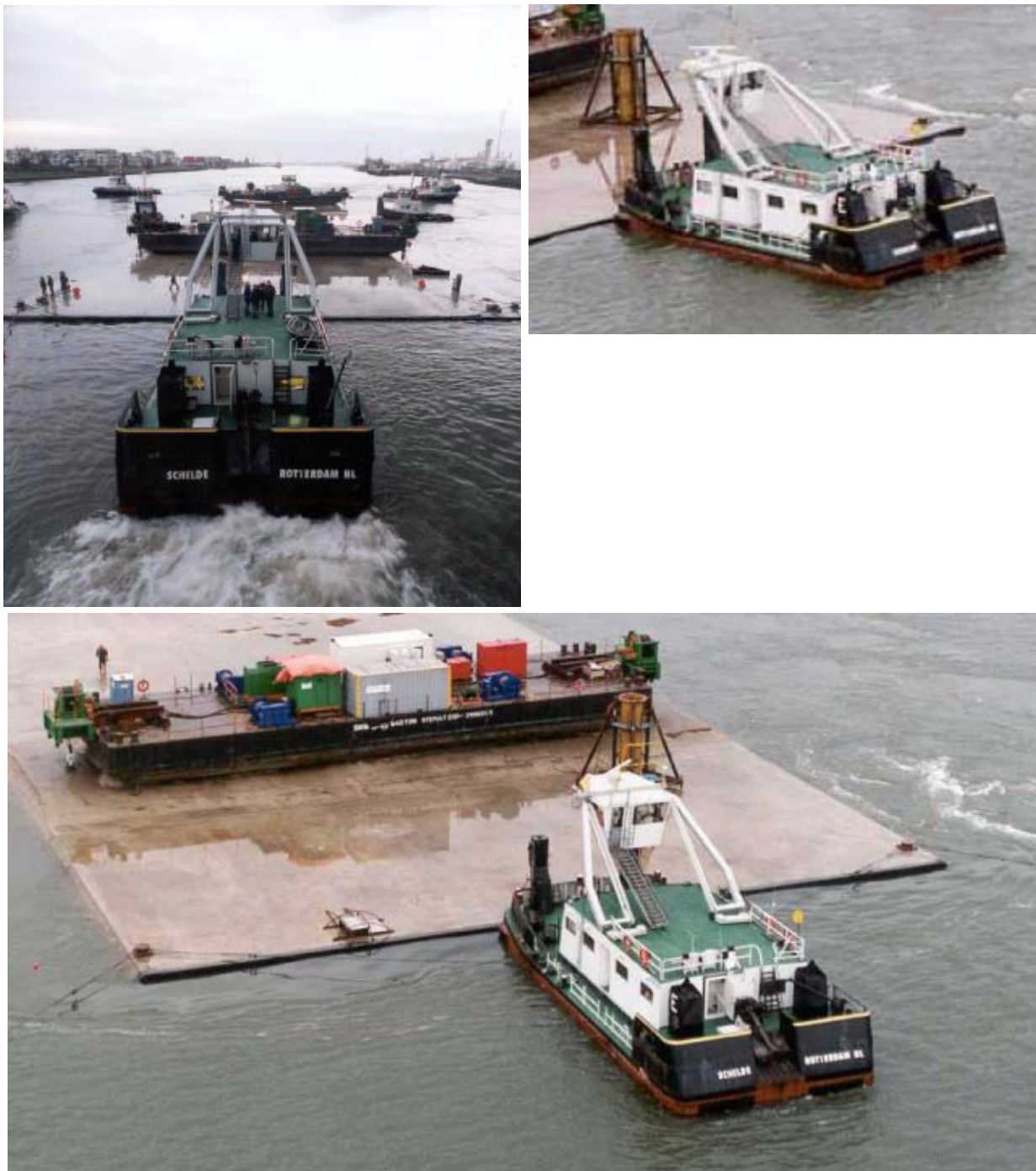
- Transportmaterieel en -materiaal.
- Verhaallieren.
- Draden.
- Drijvers.
- Ankerpalen.
- Klapschijven.
- Dodebedden (ten behoeve van het ontmeren).
- Bebording transportroute, afmeerlocatie.
- Diepgang parkeer locatie.

**8.3.2.6 Transportmaterieel**

- Sleepboten, zie Afbeelding 8.3.3.
- Duwboten, zie Afbeelding 8.3.4.
- Begeleidingsvaartuig.
- Bergingsvaartuig.
- Ankerbehandelingsvaartuig
- Pontons.
- Stromingsmeetvaartuig



*Afbeelding 8.3.3, Sleepboot.*



Afbeelding 8.3.4, Duwboot.

### 8.3.2.7 Pompsysteem

- Het pompsysteem bestaat uit verschillende pompen, die op plaatsen worden opgesteld waar zich water kan verzamelen, zoals in de hoeken van de tunnelbuizen bij de kopschotten.
- Het pompsysteem moet zodanig uitgevoerd worden dat de pompen continu kunnen draaien en dus bestand zijn tegen droogdraaien.

**Opmerkingen**

Door toepassing van een speciale waaier en een luchtklep in het motorhuis, koelt de waaier van de pomp het motorhuis met lucht in plaats van water.

**8.3.2.8 Duikerscontrole**

Aan de afbouwkade worden door duikers verschillende controles en werkzaamheden uitgevoerd, zoals:

- Rommel en/of vuil op de pen- en vangconstructie verwijderen.
- Controleren of het GINA-profiel alsmede de beschermconstructie tijdens het uitlieren en verhalen uit het bouwdok beschadigd zijn.
- Indien er een langsleding ten behoeve van het onderstromen wordt toegepast, dan wordt deze eveneens geïnspecteerd.
- Controle aanhangend grind of losse houten bodemplaten onder tunnelement.

**8.3.2.9 Vrijboord**

- De gemiddelde hoogte van het tunnelement boven de waterlijn.
- Een vrijboord is van belang voor het veilig kunnen transporteren van een tunnelement.
- Op rivier water wordt uitgegaan van circa 150 mm.
- Na het opdrijven en afmeren aan de afbouwkade wordt van het tunnelement het daadwerkelijk aanwezige vrijboord gemeten en zonodig met ballastbeton gecorrigeerd.

**Opmerkingen**

- Het waterdoorsnijdend oppervlak bij holle tunnelementen dient een bepaalde oppervlakte te hebben om beheerst te kunnen varen.
- Het controleren van het daadwerkelijke vrijboord levert informatie ten behoeve van het ballasten, trimmen en voor de latere processtappen afzinken en afbouwen.

**8.3.2.10 Trimmen**

- Het corrigeren van het eventueel niet horizontaal liggen van het tunnelement, hetgeen nodig is om veilig te kunnen varen, gebeurt door het aanbrengen van ballastbeton in het element. Nadeel is slechts het gedeeltelijk gebruikmaken van het betongewicht (opdrijvend vermogen van de schil). Dit proces heet trimmen (het horizontaal leggen van het tunnelement).
- Een andere mogelijkheid is om het element te trimmen door middel van het aanbrengen van de beschermlaag op het dak, een bijkomend voordeel is dat men hiervoor niet de tunnel in hoeft.

**Opmerkingen**

- Het ballastbeton, dat wordt aangebracht om het element horizontaal te leggen, wordt ook wel trimbeton genoemd.
- Om het element in de dwarsrichting te kunnen trimmen, kan het, in het uiterste geval, noodzakelijk zijn om de aanwezige ballasttanks gedeeltelijk met water te vullen. Vanuit risicobeheersing moet worden getracht dit zoveel mogelijk te voorkomen.



### 8.3.3 Transport

#### 8.3.3.1 Start transport

Voordat het startsein voor het daadwerkelijke transporteren van het element wordt gegeven is:

- Het tunnelement transportgereed gemaakt (zie vorige paragraaf).
- Het transportplan definitief vastgesteld en goedgekeurd.
- Het noodzakelijke overleg en informeren van de betrokken instanties gebeurd.
- De transportvergunning aanwezig.
- Stroom snelheid rivier kleiner dan 0.3 m / seconden ter plaatsen van uitvaar opening

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.3.5.



Afbeelding 8.3.5, Tunnelement transport gereed.



### 8.3.3.2 Transportplan

In het transportplan is opgenomen:

- Algemene aspecten.
- De benodigde middelen voor het transport.
- De route en de planning.
- Het vaarplan.
- De noodprocedures.

#### Opmerkingen

Algemene aspecten zijn:

- Een overzicht van de betrokkenen.
- De organisatie (in de vorm van een organigram).
- De communicatievormen en lijnen.
- De transport randvoorwaarden (vaarvensters).
- De beslisprocedures.

### 8.3.3.3 Beslismomenten

Voordat met een operatie kan worden gestart, dienen er beslismomenten te worden ingebouwd. Afhankelijk van het type operatie en de daaraan verbonden risico's en consequenties zijn een of meerdere beslismomenten noodzakelijk. Voor transport van de tunnelelementen is een cyclus (zie vorige paragraaf) van beslismomenten en dito vergaderingen benodigd. Hierbij spelen het grote aantal betrokken partijen en de bijbehorende informatievoorziening een belangrijke rol.

#### Opmerkingen

- Gedacht moet worden aan een cyclus voorafgaand aan elk transport van: 72 uur, 48 uur, 24 uur en 3 uur voor het feitelijke transport. Met name de 72 en 48 uren tevoren zijn wezenlijk voor de feitelijke beslissing tot het laten doorgaan van een transport. Deze tijdstippen zijn gebaseerd op de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel. Wellicht dat deze tijdstippen bij andere tunnels anders zijn.
- Bij transporten over een grotere afstand wordt bekeken hoe de tendensen zijn en in hoeverre doorgedaan kan worden.

### 8.3.3.4 Werkvensters

- Om een transport veilig te kunnen uitvoeren worden werkvensters bepaald.
- De totale transportlengte wordt onderverdeeld in duidelijk van elkaar te onderscheiden stukken. Per stuk wordt een vaarvenster vastgesteld.

#### Opmerkingen

- In de aanloop naar, net voor en tijdens het transport wordt het vaarvenster getoetst.
- Voor de beoordeling van de toetsingsresultaten met betrekking tot de belangrijkste aspecten worden beslismomenten ingebouwd. Zie voor een voorbeeld bijlage 10.3.B.



### 8.3.3.5 Transportroute

Reeds in het voorontwerp is een principebesluit genomen met betrekking tot de plaats waar de tunnelementen worden gemaakt. In combinatie met de definitieve locatie van de tunnel wordt gekeken welke transportroutes mogelijk zijn. Bij meer dan één mogelijkheid zal een afweging plaats-vinden op basis van een van de criteria: kosten, mogelijkheden en risico's ten aanzien van het transport.

#### Opmerkingen

- Een principebesluit is nodig om de engineering van de tunnelementen mogelijk te maken. Tevens moet kunnen worden getoetst of de bestekoplossing technisch haalbaar is.
- De definitieve bouwplaats van de elementen wordt echter door de aannemer bepaald, uiteraard alleen indien er een alternatieve bouwplaats is. Door hem zal opnieuw een afweging plaatsvinden om de meest optimale transportroute vast te stellen.

### 8.3.3.6 Mogelijke transportroute

Om mogelijkheden van een bepaalde transportroute te beoordelen wordt gekeken naar aspecten zoals:

- Diepgang.
- Breedte vaargeulen.
- Obstakels (bruggen, sluizen, vernauwingen, rivierdrempels).
- Kruispunten (dwarsstromen).
- Stroomsnelheden/locatie stroomsnelheden.
- Bochtigheid.
- Getijbewegingen.
- Scheepvaart verkeer.

### 8.3.3.7 Bruggen

Op basis van de benodigde breedte, vaardiepte en benodigde doorvaarhoogte wordt beoordeeld op welke wijze de in de transportroute aanwezige bruggen het beste kunnen worden gepasseerd, zie Afbeelding 8.3.6 en Afbeelding 8.3.7.

#### Opmerkingen

- De benodigde breedte en vaardiepte wordt in principe bepaald door de breedte en diepgang van het tunnelement en de benodigde hoogte door de sleep- en duwbotten en de op het tunnelement aanwezige hulpmiddelen.
- Let op de breedte van het element onderwater, in relatie tot de breedte van de brugpijlers onder water.





*Afbeelding 8.3.6, Transport tunnelement bij passage van een brug.*



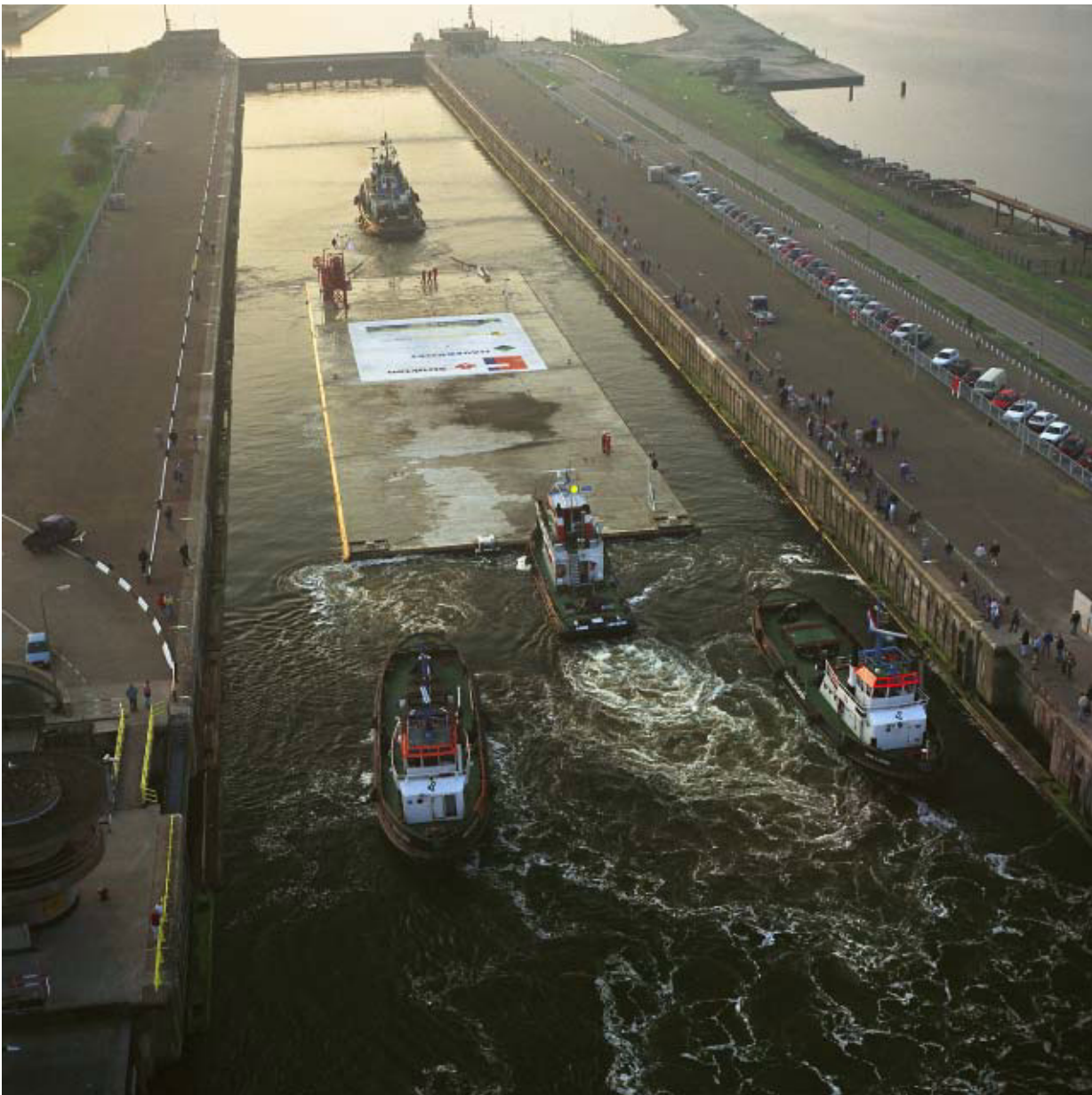
*Afbeelding 8.3.7, Transport tunnelement bij passage van een brug.*

### 8.3.3.8 Sluizen

- Bij sluizen spelen naast de diepgang en breedte ook de sluislengte een rol.
- Bij zeesluizen heeft de zoet-zout wateruitwisseling een grote invloed op bewegingen van het element, maatregelen om deze invloed te beperken zijn:
  - Het tunnelement dichtbij de sluisdeur aan de zeezijde afmeren.
  - De voorste sleepboten meer kabellengte geven, waardoor minder schroefwater direct tegen het tunnelement stuwt.

#### **Opmerkingen**

Een zogenoemde zouttong heeft tijdens het transport geen noemenswaardige invloed behalve dat het element een iets andere diepteligging krijgt. Zie Afbeelding 8.3.8.



*Afbeelding 8.3.8, Passage tunnelement bij een sluis.*

### **8.3.3.9 Risico's tijdens transport**

- Lekkage tunnelement.
- Bezwijken kopschot, door o.a. te hard varen en te weinig vrijboord.
- Tunnelement loopt aan de grond.
- Aanvaring obstakels (bruggen, sluisen e.d.).
- Aanvaring door scheepvaart of botsen met drijvende obstakels (b.v. een afgevalen container)
- Tunnelement uit balans.
- Tunnelement loopt tegen een krib tijdens varen.
- Overbelasting van de voorspanning van het tunnelement.
- Te laat arriveren op plaats van bestemming en tussenpunten.
- Onvoorziene weersverslechtering (storm).



- Uitvallen sleper.
- Draadbreek.
- Uitval elektra.
- Personen op het tunnelement tijdens het transport (zeker niet erin).

**Opmerkingen**

- Voor het beheersen van de risico's tijdens het transport kunnen diverse preventieve maatregelen worden genomen, zoals het regelmatig controleren van het tunnelement op lekkage.
- In het draaiboek wordt ook aangegeven op welke wijze corrigerende maatregelen kunnen worden genomen.
- Voor de noodsituatie "zinken" zijn in het draaiboek ook de criteria en de te nemen stappen omschreven.

**8.3.3.10 Personen op het transport**

- Tijdens het transport zijn alleen op vooraf overeengekomen tijdstippen personen op het element voor het uitvoeren van controles.
- Tijdens transportomstandigheden met grote risico's, zoals bij het varen over zee, wordt alleen bij calamiteiten overwogen of er mensen op het element mogen komen.

**Opmerkingen**

De arbeidsomstandigheden en veiligheidseisen zijn hierbij van groot belang en zijn vooraf omschreven.

Er mogen zeker geen personen in het tunnelement.

**8.3.3.11 Duw- en sleepboten**

- Het benodigde vermogen van de duw- en sleepboten is afhankelijk van:
  - Afmetingen en gewicht element.
  - Stroomkrachten op het element.
  - Benodigde manoeuvreermogelijkheden.
  - Veiligheidsmarge op bovenstaande punten.
- Functie van sleepboten tijdens transport:
  - De voorste boten zorgen voor de sturing.
  - De achterste boten zorgen voor de koers en kunnen het element afstoppen.
  - De overige boten houden de dwarsscheepse bewegingen en het gieren onder controle.
- Functie van de duwboot tijdens transport is primair de voortstuwing en sturing.

**Opmerkingen**

- Vaak is uit ervaring de sleepbootconfiguratie bekend.
- Onder gieren wordt in de scheepvaart verstaan het heen en weer wenden van een schip.

Zie Afbeelding 8.3.9.



Afbeelding 8.3.9, Sleepboot configuratie.

### 8.3.3.12 Sleepvoorzieningen

- Bolders.
- Fairleads (sleepkabelgeleider).
- Sleepdraden.
- Sleepkettingen.
- Diverse benodigde sluitingen (harp- en D-sluitingen).

#### Opmerkingen

Bij transport over zee kunnen andere sleepvoorzieningen nodig zijn.

### 8.3.3.13 Verantwoordelijke tijdens transport

- **Transportleider.**

Tijdens het eigenlijke transport is de transportleider de eindverantwoordelijke. Hij neemt de beslissingen, waarbij de veiligheid centraal staat van achtereenvolgens personeel, sleepboten en tunnelement.

- **Waarnemers.**

Tijdens het transport zijn waarnemers aanwezig van de aannemer en de directie. Tevens zijn als adviseurs ook betrokkenen vanuit de vaarwegbeheerder en loodswezen aanwezig. De transportleider zal bij afwijking van de geplande route of draaiboek of sleepconfiguratie altijd zoveel als mogelijk is met hen overleggen.



- **Gemachtigden.**

De gemachtigden en plaatsvervangend gemachtigden van de aannemer en directie moeten, voorzover zij niet zélf als waarnemer op het transport aanwezig zijn, permanent telefonisch bereikbaar blijven, zodat hun waarnemers op het transport eventueel per radiotelefoon met hen contact kunnen opnemen.

**Opmerkingen**

- Ofschoon de aannemer uiteindelijk verantwoordelijk is voor het transport is de transportleider meestal iemand van het door de aannemer ingeschakelde transportbedrijf.
- Reeds in de voorbereiding worden de diverse taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden van de partijen die bij het transport zijn betrokken vastgelegd in organigrammen en draaiboeken.

**8.3.3.14 Nautisch beheerders**

Deze hebben het beheer over de scheepvaartbewegingen in een bepaald deel van de vaarwegen. Met deze dienst wordt overleg gepleegd met betrekking tot de nautische aspecten van het transport.

De daaruit volgende benodigde scheepvaartbeperkingen en stremmingen worden in het transportplan vastgelegd en tevens wordt hierin aangegeven op welke wijze de beheerders ingeschakeld worden in de diverse stadia van het OTAO-proces.

**Opmerkingen**

Bij de nautische aspecten van het transport moet worden gedacht aan:

- De invloed van eventuele lengteverschillen van de verschillende tunnelelementen.
- De maximaal toelaatbare vaarsnelheden.
- De op verschillende tijdstippen verwachte stroomsnelheden (langs en dwars).
- De verwachte getijwerking.-Invloed van mogelijke knelpunten in de vaarweg.

**8.3.3.15 Vaarwegbeheerder**

- Dit is een van de natte dienstkringen van Rijkswaterstaat. Deze hebben tot taak de rivier te onderhouden, waaronder het bewaken van de diepgang en het op peil houden hiervan.
- Meestal worden er op druk bevaren routes driemaandelijkse peilingen verricht.
- Bij de vaarwegbeheerder moet de transportvergunning worden aangevraagd.
- De vaarwegbeheerder kan tevens de randvoorwaarden vanuit de vaarweg aangeven.

**Opmerkingen**

Een natte dienstkring van Rijkswaterstaat kan tevens de nautisch beheerder zijn.

**8.3.3.16 Loods**

De nautische beheerder kan eisen dat er een loods aanwezig is tijdens het transport.

**8.3.3.17 Transport over zee**

- Voor de stabiliteit van de tunnelelementen worden specifieke aanvullende eisen gesteld.
- Bepalen op welke golfbelastingen het element moet worden gedimensioneerd.

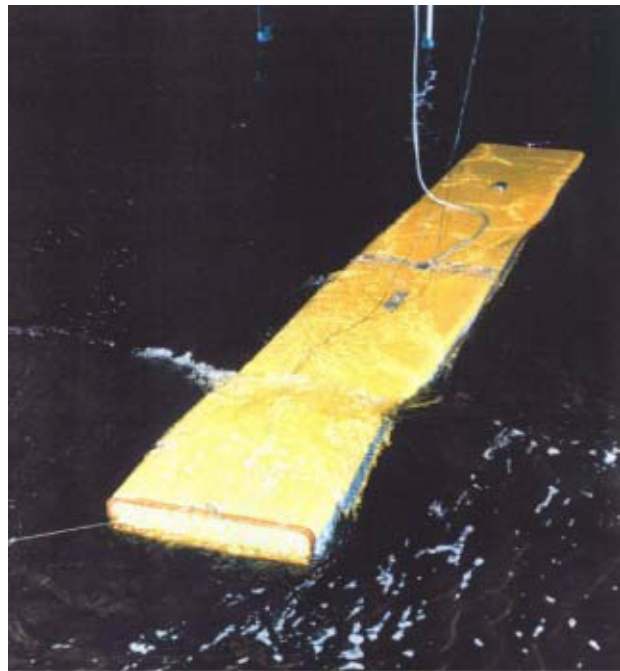
- Modelonderzoek uitvoeren (optioneel), zie Afbeelding 8.3.11.
- Alleen in de maanden april tot en met september.

**Opmerkingen**

Door de opdrachtgever kunnen diverse van de hier genoemde aspecten in het bestek worden gepreciseerd. Zie Afbeelding 8.3.10.



*Afbeelding 8.3.10, Transport over zee.*



*Afbeelding 8.3.11, Modelonderzoek zeetransport.*

**8.3.3.18 Modelonderzoek**

- Voor het bepalen van de momenten en dwarskrachten bij de verschillende golfbelastingen, sleepbelasting, stromingbelasting.
- Voor het bepalen van de invloed van van de golfhoogte, de golfperiode, de golfrichting en de sleepsnelheid.
- Onderzoek naar de invloed van stroming, sleepkrachten, beperkt vaarwater op de beheersbaarheid van het transport.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.3.12.



Afbeelding 8.3.12, Modelonderzoek.

### 8.3.3.19 Drijvende stabiliteit tijdens transport

De drijvende stabiliteit van de tunnelelementen worden bepaald aan de hand van onderstaande voorschriften voor de scheepsbouw:

- Det Norske Veritas.
- Nederlandse Scheepvaart Inspectie.

#### Opmerkingen

Eisen gesteld door Det Norske Veritas:

- Het metacentrum dient minimaal 1 meter boven het drukpunt van de opwaartse kracht te liggen.
- Tot een hellingshoek van 30 graden moet een stabiliserend moment aanwezig zijn (deze hoek wordt liever groter aangenomen).
- Een eis met betrekking tot windsnelheden.

Ten aanzien van de eisen gesteld door de Nederlandse Scheepvaart Inspectie, wanneer wind geen invloed heeft op het voorwerp, gelden de volgende eisen:

- Voor het oppervlak onder de hellingshoek-arm grafiek gelden de volgende eisen:
  - Tot een hoek van 30 graden moet het oppervlak minimaal 0.055 mrad zijn.
  - Tot een hoek van 40 graden moet het oppervlak minimaal 0.09 mrad zijn.
  - Tussen 30 graden en 40 graden moet het oppervlak minimaal 0.03 mrad zijn.
- Tot een hoek van 30 graden moet er een minimale stabilisatie-arm aanwezig zijn van 0.20 meter.
- Het zwaartepunt van de constructie moet onder het drukpunt liggen, wanneer het tunnelelement zich nog onder de waterspiegel bevindt.





### 8.3.4 Afmeren

#### 8.3.4.1 Afmeerlocatie

Locatie waar tunnelementen tijdelijk worden afgemeerd om de transportvoorzieningen te kunnen demonteren en om het element afzinkgereed te kunnen maken, zie Afbeelding 8.3.13.

Aanwezige voorzieningen:

- Afmeerstoelen met verankeringvoorzieningen.
- Stroomvoorziening, door middel van een aggregaat op de wal, voor pompen en verlichting in het tunnelement.
- Varend materieel, zoals een werkschip en een ponton.
- Aanlegsteiger voor afmeren varend materieel.
- Loopbrug.
- Bewaking.

#### Opmerkingen

Indien nodig snelheidsbeperkingen aanvragen bij de nautische beheerder.



*Afbeelding 8.3.13, Afmeerlocatie bij Zeeburgertunnel, tunnelement is net uitgelierd uit bouwkuip en op weg naar de afmeerlocatie.*

#### 8.3.4.2 Afmeerstoelen

Afmeerstoelen voorzien van:

- Afmeersysteem.
- Fenderingconstructie aan de zijde van het af te meren tunnelement.



### 8.3.4.3 Afmeersysteem

Het afmeersysteem bestaat in hoofdzaak uit de volgende onderdelen:

- Stroppen.
- Fenders.
- Staalkabels.
- D- en H-sluitingen.
- Rekkers.
- Pontons.
- Schijfsblokken.
- Klapschijven.
- Handlieren.
- Kettingtakels.

#### Opmerkingen

De genoemde onderdelen zijn gebruikt bij de Wijker- en de Noordtunnel.

### 8.3.4.4 Afmeren

Rekening houden met:

- Stroming.
- Langsvarende schepen.
- Getij.

### 8.3.4.5 Fendering

Om beschadigingen aan de tunnelementen en de afmeerstoelen te voorkomen wordt een fendering toegepast. Dit kan in de vorm van draglineschotten.

### 8.3.4.6 Krachten op draden bij afmeerlocatie

Ter bepaling van de werkelijk optredende krachten in de draden, ten gevolge van scheepvaartbewegingen langs het tunnelement, kunnen trekkrachtmeters worden geplaatst.

### 8.3.4.7 Opspannen van het afgemeerde tunnelement

Om een veilige toestand te creëren. Door het opspannen wordt voorkomen dat het tunnelement te veel kan bewegen ten gevolge van stroming, scheepvaart, golven en wind.

#### Opmerkingen

Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van gekoppelde uniflote pontons, waarop 2 schijfsblokken zijn gemonteerd, met daartussen een span voorziening.

### 8.3.4.8 Afzink gereedmaken op of aan het element

Tunnelement afzink gereedmaken door:

- Plaatsing toegangschacht.
- Plaatsing meetoren met reflectoren, daarna inmeten.
- Verwijderen Gina-bescherming.
- Verwijderen transportvoorzieningen.
- Controle GINA-profiel.
- Controle neusconstructie primair.



- Aanbrengen of controle vijzels ten behoeve van vijzelpen constructie, inclusief hydroset.
- Controle op afmeersysteem, noodzakelijk door scheepvaartgolven en getij waardoor het tunnelement altijd in beweging is.





SAATU

## Inhoudsopgave Afzinken

- 8.4.1 Intro
- 8.4.2 Voorbereiding
  - 8.4.2.1 Baggeren zinksleuf
  - 8.4.2.2 Baggeren tegelputten
  - 8.4.2.3 Baggermaterieel
  - 8.4.2.4 Scheepvaartbeperking
  - 8.4.2.5 Toleranties baggerwerk
  - 8.4.2.6 Erosie ten gevolge van het baggeren
  - 8.4.2.7 Vrijkomend bodemmateriaal bij het baggeren
  - 8.4.2.8 Plaatsing tegelscirca 5 m x 5 m x 1 m
  - 8.4.2.9 Sluitvoegwiggen
  - 8.4.2.10 Sluitvoegbodemschot
  - 8.4.2.11 Afmeerlocatie (optioneel)
  - 8.4.2.12 Verankeringsvoorzieningen anders dan op het element
  - 8.4.2.13 Opschonen zinksleuf
  - 8.4.2.14 Slib
- 8.4.3 Afzink gereedmaken
  - 8.4.3.1 Transportvoorzieningen verwijderen
  - 8.4.3.2 Afzinkvoorzieningen
  - 8.4.3.3 Werkzaamheden op het tunnelement
  - 8.4.3.4 De inrichting van de tunnelementen binnen
  - 8.4.3.5 Afzink gereedmaken van de omgeving
  - 8.4.3.6 Het benodigde varend materieel en bijbehorend materiaal beschikbaar
  - 8.4.3.7 Verankeren van het element
- 8.4.4 Afzinken
  - 8.4.4.1 Controles
  - 8.4.4.2 Vullen van de ballasttanks
  - 8.4.4.3 Lieren halen en vieren
  - 8.4.4.4 Meting Dx, Dy en Dz aan de primaire zijde
  - 8.4.4.5 Knelpunten
  - 8.4.4.6 Lekken ballasttanks
  - 8.4.4.7 Vijzels
  - 8.4.4.8 Aandrukken GINA profiel
  - 8.4.4.9 Leegpompen zinkvoeg
- 8.4.5 Positioneren
  - 8.4.5.1 Positioneringapparatuur
  - 8.4.5.2 Primaire zijde (voorzijde tunnelement)
  - 8.4.5.3 Secundaire zijde (achterzijde tunnelement)
  - 8.4.5.4 Kopdraden, bedienen op de oever
  - 8.4.5.5 Dwarsdraden oftewel zijdraden, bedienen op pontons
  - 8.4.5.6 Kruisdraden
- 8.4.6 Afronden
  - 8.4.6.1 Fundatie
  - 8.4.6.2 Ballasttanks vullen
  - 8.4.6.3 Vijzelen
  - 8.4.6.4 Leidingsysteem
  - 8.4.6.5 Afzinkvoorzieningen op het element verwijderen (afruimen tunnelement)
  - 8.4.6.6 Verwijderen toegangsschacht



---

SAATU



## 8.4 AFZINKEN

### 8.4.1 Intro

#### Omschrijving

Het afzinken begint als het tunnelelement na het transporteren afgemeerd ligt aan een (tijdelijke) afmeerkade. Het startpunt kan ook het moment zijn, waarop het tunnelelement op de rivier wordt overgepakt van de transportboten (sleep- en duwboten). Het afzinkproces is klaar als het tunnelelement in de juiste positie op de bodem van de zinksleuf (zie stappenplan op bijlage 10.4.B) op de tijdelijke opleggingen dan wel op het grindbed ligt.

Processtappen zijn:

- Gereedmaken omgeving (zinksleuf en verhaalsysteem).
- Transportvoorzieningen verwijderen (duwbootframe + bolders).
- Afzink gereedmaken ( meettoren + toegangschacht plaatsen, GINA bescherming verwijderen, ballasttanks vullen en plaatsen potons of vastmaken aan drijvende bok).
- Tunnelelement in positie brengen boven de zinksleuf.
- Met kleine verticale en horizontale verplaatsingen (trapsgewijs) afzinken en tegen een aanslagpunt manoeuvreren.
- In de juiste positie neerzetten op de vizelpennen en pen- en vangconstructie, eventueel kwispelvijzels gebruiken om het secundaire einde te corrigeren in dwarsrichting van het tunnelelement. Bij het afzinken op een grindbed is geen vizelconstructie nodig.
- Het aantrekken van het GINA profiel tegen de stalen omranding van het voorgaande tunnelelement.
- Het leegpompen van de zinkvoeg.





*Afbeelding 8.4.1, Tunnelement afzink gereed maken.*



## 8.4.2 Voorbereiding

### 8.4.2.1 Baggeren zinksleuf

- In de bodem van de rivier wordt op de locatie van de toekomstige tunnel een sleuf gebaggerd.
- In deze sleuf worden indien van toepassing ten behoeve van de tegels extra putten gebaggerd.
- De zinksleuf wordt reeds lang (vanwege de grote hoeveelheid en benodigde nauwkeurigheid) voordat het afzinken moet beginnen, gebaggerd.
- Extra put t.b.v. het bodemschot voor de sluitvoeg

#### Opmerkingen

Indicatieve afmetingen van deze zinksleuf zijn de breedte van het tunnelement plus aan weerszijde 4 m. De diepte is minimaal de uitwendige tunnelhoogte plus aan de onderzijde ongeveer 0,6 m. De taluds onder water moeten afhankelijk van de bodemgesteldheid en de stroomsnelheid relatief flauw (in de orde van 1:5) zijn, tenzij de taluds tegen erosie worden verdedigd.

### 8.4.2.2 Baggeren tegelputten

- Als de fundatie van de tunnel gerealiseerd wordt middels onderstromen, worden tegelputten gebaggerd.
- Meestal wordt per tegel een aparte put gebaggerd.
- Om een juiste plaatsing van de tegels mogelijk te maken kunnen de putten dieper worden gebaggerd dan strikt noodzakelijk is. Daarna kunnen zij eventueel, afhankelijk van de gerealiseerde baggertolerantie, met grind worden aangevuld tot de juiste hoogte.

#### Opmerkingen

Voor detailinformatie met betrekking tot de tegels, zie SATO.

### 8.4.2.3 Baggermaterieel

Geëigend materieel. De beschrijving hiervan valt buiten de context van dit handboek. Zie Afbeelding 8.4.2.

#### Opmerkingen

De baggerwerkzaamheden mogen de grote scheepvaart niet hinderen. Daartoe afspraken maken met de vaarwegbeheerder.



Afbeelding 8.4.2, Baggermaterieel.

#### 8.4.2.4 **Scheepvaartbeperking**

- Tijdens het baggeren en daarna wordt voor de scheepvaart een snelheidsbeperking ingesteld.
- De positie van de baggerschepen wordt continu bewaakt. Wijzigingen worden direct gemeld aan de betrokken partijen.

#### **Opmerkingen**

- De vaarwegbeheerder kan verlangen dat de snelheidsbeperking wordt bewaakt met een patrouilleboot.
- Op aanwijzing van de vaarwegbeheerder wordt zo nodig het baggermaterieel tijdelijk verhaald.

#### 8.4.2.5 **Toleranties baggerwerk**

- Voordat met het baggeren wordt begonnen, wordt van de bodem een nulmeting gemaakt.
- Scan maken van de bodem op eventuele obstakels (b.v. oude palen of grote stenen).
- De toleranties van het baggerwerk lagen bij respectievelijk de Wijker-tunnel en de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel in de orde van grootte van respectievelijk -100/+100 en -300/0 mm.
- Na het gereedkomen van de zinksleuf wordt nog een controlemeting uitgevoerd.

**Opmerkingen**

- De breedte, die in de nulmeting wordt betrokken, bedraagt ongeveer 100 m aan weerszijde van de zinksleuf.
- De meetgegevens worden overzichtelijk bijgehouden.
- Met betrekking tot de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de controlemeting worden vooraf meetgegevens overeengekomen en geijkt.
- Verrekeningswijze opnemen in het bestek. Let daarbij ook op de eventuele vervuilde grond.

**8.4.2.6 Erosie ten gevolge van het baggeren**

- Tijdens het baggeren kan erosie aan het talud en de bodem ontstaan.
- Vooraf wordt geregeld hoe met de (financiële) gevolgen van deze erosie wordt omgegaan.

**Opmerkingen**

Afspraak kan zijn dat de aannemer het door erosie opgehoopte bodemmateriaal tot 100 m aan weerszijde van de zinksleuf voor zijn rekening verwijdert.

**8.4.2.7 Vrijkomend bodemmateriaal bij het baggeren**

- Vooraf worden afspraken gemaakt over het te gebruiken depot voor de vrijkomende grond.
- Vooraf worden afspraken gemaakt met vergunningverlenende instanties en vaarwegbeheerder wat te doen met het te verwijderen slib vlak voor afzinken.
- Onderzoeken of slib milieu- technisch vervuild is.
- In geval van verontreinigde grond worden de noodzakelijke veiligheidseisen aangehouden.
- Hoeveelheid aanslibbing vooraf proefondervindelijk vaststellen.
- Laagdikte mors of geroerde grond vaststellen, e.e.a. is ook afhankelijk van ontgravingsmethode.

**Opmerkingen**

Door de mogelijke verontreinigingen en de huidige milieuwetgeving kan het afvoeren van de grond problematisch zijn.

Bij verontreinigingen een depot laten aanwijzen door RWS.

**8.4.2.8 Plaatsing tegelscirca 5 m x 5 m x 1 m**

- In de gemaakte tegelputten worden de tegels met behulp van een drijvende bok aangebracht met een tolerantie van +/- 100 mm.
- Na het plaatsen wordt de positie door duikers gecontroleerd.

**Opmerkingen**

Voor het meten van de positie van de tegel is een goed uitgewerkt meetsysteem vereist en wordt een beroep gedaan op het vakmanschap van de bemanning van het bok.

**8.4.2.9 Sluitvoegwigen**

- Vooraf wordt bekisting en wapening gemaakt.
- Zodra het laatste element op zijn plaats ligt wordt een en ander ingemeten door duikers met een meetlat en gefabriceerd.



#### **8.4.2.10 Sluitvoegbodemschot**

Plaatsen voor afzinken laatste tunnelelement.

#### **8.4.2.11 Afmeerlocatie (optioneel)**

- Het komt voor dat een tunnelelement na het transport tijdelijk wordt afgemeerd op een afmeerlocatie, zodat het afzinkgereed kan worden gemaakt.
- Het afmeersysteem bestaat dan uit ankerpalen met de nodige fenderingen, langs- en dwarsdraden, stropen, sluitingen, rekkers, schijven en dergelijke.
- De afmeerlocatie wordt zo dicht mogelijk bij de zinksleuf gekozen om te voorkomen dat het tunnelelement opnieuw "getransporteerd" moet worden.

##### **Opmerkingen**

- Per tunnelelement wordt vooraf een gedetailleerde lay-out gemaakt van de situatie na transport en voor afzinken.
- Het kan voorkomen dat bepaalde afzinkvoorzieningen elders moeten worden geassembleerd in verband met de beperkte mogelijkheden van een afmeerlocatie.

#### **8.4.2.12 Verankeringsvoorzieningen anders dan op het element**

- Om het tunnelelement in de juiste positie te brengen en beheerst af te kunnen zinken wordt het verankerd.
- Op de wal en in de rivier moeten daartoe een aantal voorzieningen worden aangebracht, zoals:
  - Dodebedden.
  - Ankerpalen.
  - Lieren.
  - Klapschijven.
  - Schijvenboegbakken.
  - Ankers.
  - Ankertonnen.
  - Boeien en drijvers.

#### **8.4.2.13 Opschonen zinksleuf**

- Kort voordat met het afzinkproces wordt begonnen wordt de zinksleuf gecontroleerd op aanzanding, erosie, slib en soortelijk gewicht water.
- Indien noodzakelijk wordt met een dustpanzuiger de overhoogte en het slib verwijderd.

##### **Opmerkingen**

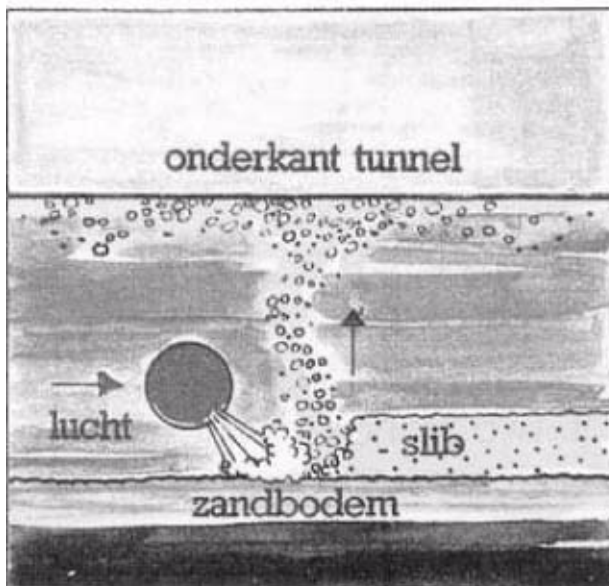
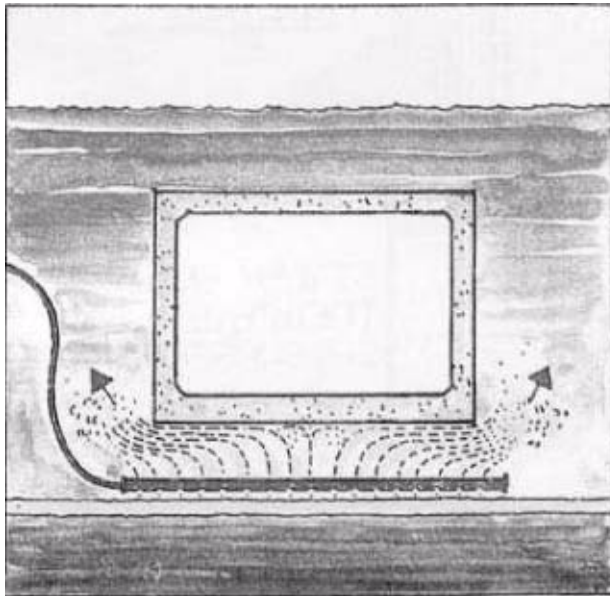
- Maatregelen nemen om te voorkomen dat bij het opschonen niet te veel materiaal wordt weggehaald.
- Voor deze werkzaamheden geldt ten aanzien van de scheepvaart en informatieuitwisseling hetzelfde als bij het baggeren.

### 8.4.2.14 Slib

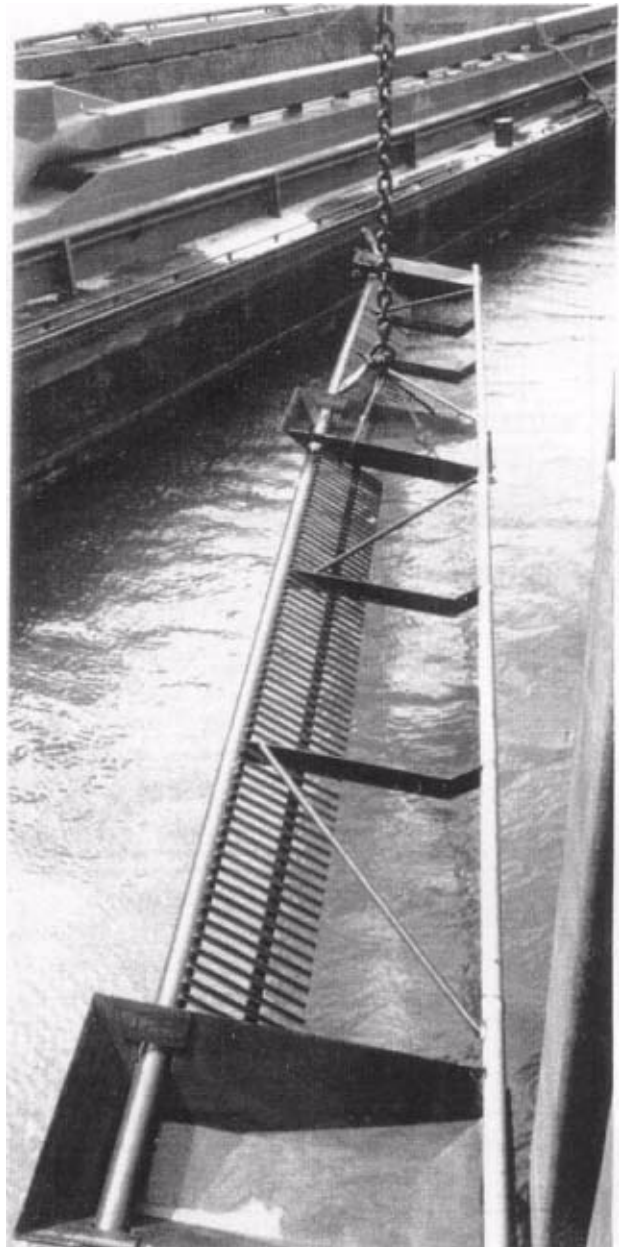
Indien er aan de hand van de peilingen slib in de zinksleuf aangetroffen is, dan moet dit worden verwijderd. Slib kan worden verwijderd met behulp van een luchtbellensysteem (airjetten), zie Afbeelding 8.4.3. Het kan ook met behulp van een dustpan, zie Afbeelding 8.4.4.

#### Opmerkingen

Let op milieueisen.



Afbeelding 8.4.3, Slib verwijderen m.b.v. een luchtbelsysteem



Afbeelding 8.4.4, Dustpan.



### 8.4.3 Afzink gereedmaken

#### 8.4.3.1 Transportvoorzieningen verwijderen

Ten behoeve van het transport aanwezige voorzieningen, die niet meer gebruikt worden in de latere processtappen, worden verwijderd. Dit zijn onder meer:

- Gina bescherming.
- Duwbootframe.
- Sommige bolders.
- Fairleads.
- Scheepvaartverlichting.
- Generator platform.
- Generator.

Te vervangen (indien in ontwerp gekozen voor vervangen pompen):

- Pompen (Grindex Major N) en/of andere toegepaste pompen.

#### **Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.4.5.



*Afbeelding 8.4.5, Tunnelement afzinkgereed maken. Zeeburgertunnel, element afgemeerd bij bouwkuip.*





### 8.4.3.2 Afzinkvoorzieningen

Ten behoeve van het afzinken moeten voorzieningen worden aangebracht:

- Op het tunnelelement.
- In het tunnelelement.
- Op de oevers/landhoofden.
- In de rivier.

#### Opmerkingen

Bedacht moet worden, dat het vrijboord kan afnemen ten gevolge van de op en in het tunnelelement aan te brengen voorzieningen.

### 8.4.3.3 Werkzaamheden op het tunnelelement

- Monteren lange toegangsschacht.
- Aanbrengen meetmasten en inmeten van de referentiepunten van het tunnelelement ten opzichte van deze meetmasten.
- Afzinkpontons (al dan niet aanwezig op het element) in positie brengen en gereedmaken voor het afzinkproces.
- Bolders aanbrengen.
- Hijspunten aanbrengen.
- Afhankelijk van de te kiezen wijze om, na het positioneren van het element in de eindpositie, de initiële indrukking van het GINA-profiel te realiseren, kan het noodzakelijk zijn een aantrekvijsel aan te brengen.

#### Opmerkingen

- De toegangsschacht wordt soms voorzien van een deur aan de onderzijde. Deze is, voordat met het eigenlijke afzinken wordt begonnen, bijzonder nuttig. Uiteraard kan deze niet meer worden gebruikt zodra het element onder water verdwijnt.
- De meetmasten kunnen worden opgebouwd uit torenkraanonderdelen.
- De afzinkpontons kunnen zijn opgebouwd uit koppelcontainers.
- Op de afzinkpontons zijn aanwezig: verhaallieren en afzinklieren (kruisdraden en lineaire lieren).

### 8.4.3.4 De inrichting van de tunnelementen binnen

- Waterballaststelsel in gereedheid brengen.
- Elektrische voeding.
- Electra aanbrengen en testen kwispelinstallatie, inclusief hulpmateriaal en -materiaal, en in het tunnelelement leggen voor het geval dat er moet worden gekwispeld. (altijd ter plaatse van de buitenwanden).
- Sluitvoeglineaal gereedleggen.
- Kist met materialen en klein materieel in het tunnelelement zetten.
- Loopplank ten behoeve van overbrugging zinkvoeg in tunnelelement leggen.
- Doorkoppelstuk ballastleiding gereedleggen.
- Lasgereedschap in gereedheid brengen.
- Materiaal voor primaire oplegging.
- Vijzelpennen en neus-/ kinconstructie aanwezig.
- Vijzels ten behoeve van vijzelpennen.
- Vijzels ten behoeve van de neus- / kinconstructie.



- Communicatie in het tunnelement en tussen het tunnelement en de buitencommandopost.
- Pompen ten behoeve van het leegpompen van de zinkvoeg.
- Controle meetpunten onder de toegangschacht.
- Controle dwarshelling van de meetpunten.

**Opmerkingen**

In de kist met materiaal en klein materieel moet wordt gedacht aan:

- Divers klein gereedschap.
- Zaklantaarns.
- Klokpomp ten behoeve van leegpompen restant zink-voeg.
- EHBO-doos.

Mocht het na het afzinken noodzakelijk zijn om het element te laten kwispelen dan gebeurt dit door de kwispelvizels bij de buitenwanden of in de vloer van de zinkvoeg nabij de buitenwand aan te brengen.

Alle voorzieningen dienen in een zo vroeg mogelijk stadium te worden aangebracht zodat er zo weinig mogelijk voorzieningen door de toegangschacht hoeven.

**8.4.3.5 Afzink gereedmaken van de omgeving**

- Lieren in positie.
- Boeien met klapschijven in positie.
- Landhoofden gereedmaken ten behoeve van het afzinkproces.
- Positioneringapparatuur opstellen (meeteabinus op de wal).
- Ankerpalen in de rivier aanbrengen + ankersysteem.
- Ankers een voorbelasting geven.
- Scheepvaart stremming totaal.

**8.4.3.6 Het benodigde varend materieel en bijbehorend materiaal beschikbaar**

- Drijvend bok (indien van toepassing).
- Afzinkpontons.
- Multifunctioneel ondersteuningsvaartuig.
- Bergingsvaartuig.
- Sleep-/duwboten.
- Kraanschip.
- Lierpontons.

**Opmerkingen**

Scheepvaartbeperking (stremming) geregeld en ingevoerd.  
Zie Afbeelding 8.4.6.



*Afbeelding 8.4.6, Varend materieel.*

#### **8.4.3.7 Verankeren van het element**

Kabels en draden aanbrengen aan zowel de voorzieningen op de wal, de verankeringpunten in de rivier, de boten, drijvende bok (indien van toepassing), pontons, als aan het tunnelement zelf.

**Opmerkingen**  
Zie Afbeelding 8.4.7.



*Afbeelding 8.4.7, Verankering van het element.*





## 8.4.4 Afzinken

### 8.4.4.1 Controles

- Periodiek wordt in de zinksleuf de slibdikte en zoutwatervertikaal gemeten.
- Welke andere controles tijdens het afzinken nog nodig zijn, wordt vooraf vastgesteld en vastgelegd in het draaiboek (o.a. stroomsnelheid, deze moet kleiner zijn dan 0.3 m/sec.).

### 8.4.4.2 Vullen van de ballasttanks

- Het tunnelement wordt zo geballast, door middel van het vullen van de ballasttanks, dat het element gaat hangen aan de afzinkvoorzieningen.
- Het negatieve gewicht (negative buoyance) bedraagt in orde van grootte 2000 kN. Bij het werken met, normaal gesproken, vier kabels is dit gemiddeld 500 kN per ophangpunt.
- Dit duurt lang, circa 2 tot 3 uur (afhankelijke van capaciteit leidingen en de aantallen).

#### Opmerkingen

Per project en per tunnelement wordt uitgezocht welke configuratie van de afzinkvoorzieningen het beste is. De mogelijkheden zijn:

- Aan beide zijden werken met afzinkpontons.
- Aan een primaire zijde werken met afzinkpontons en aan de secundaire zijde met een drijvende bok.
- Aan een primaire zijde werken met een drijvende bok en aan de secundaire zijde werken met afzinkpontons.

Bij de Wijkertunnel was het afzinkgewicht max. 3000 kN en dus per ophangpunt 750 kN. Minimaal was het 600 kN, dus 150 kN per ophangpunt.

### 8.4.4.3 Lieren halen en vieren

- Als het tunnelement in de kabels hangt (verticaal) worden de lieren op de afzinkpontons / drijvende bok stapje voor stapje gevierd.  
Zie Afbeelding 8.4.8 en Afbeelding 8.4.9.
- De stappen zijn conform de van te voren vastgestelde afzinklijn (zie bijlage 10.4.A):
  - Onder helling brengen van het tunnelement, zie Afbeelding 8.4.10.
  - Afzinken (in het begin van het afzinkproces worden stappen in de orde van grootte van horizontaal 3 meter en verticaal 0.5 m genomen).
  - Verhalen (de zij- en eventuele kopdraden worden gehaald dan wel gevierd).

#### Opmerkingen

Het element wordt trapsgewijs afgezonken volgens de afzinklijn (zie 10.4.A.). De denkbeeldige treden worden echter, naarmate het proces vordert, steeds kleiner.

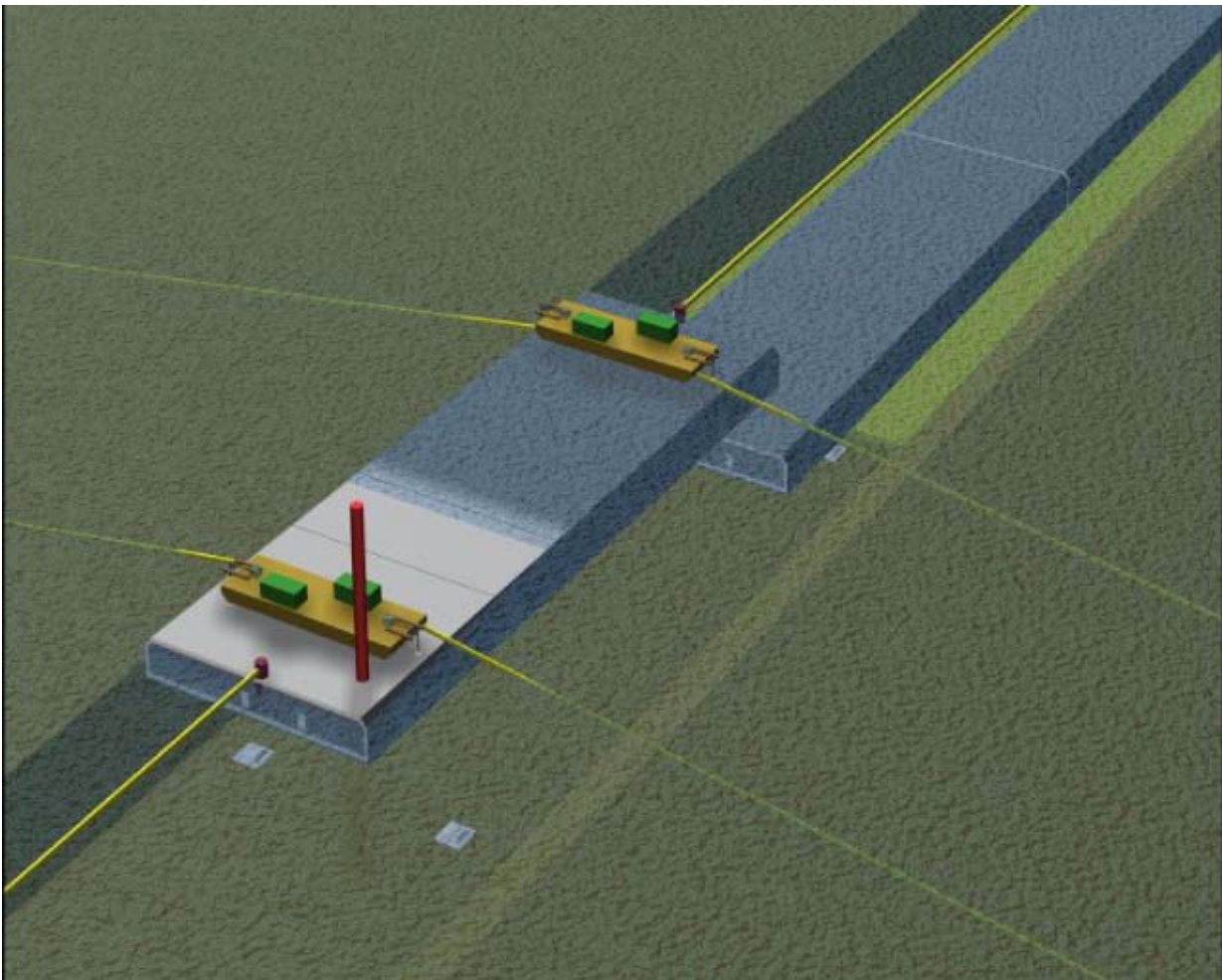


*Afbeelding 8.4.8, Afzinken met drijvende bok.*

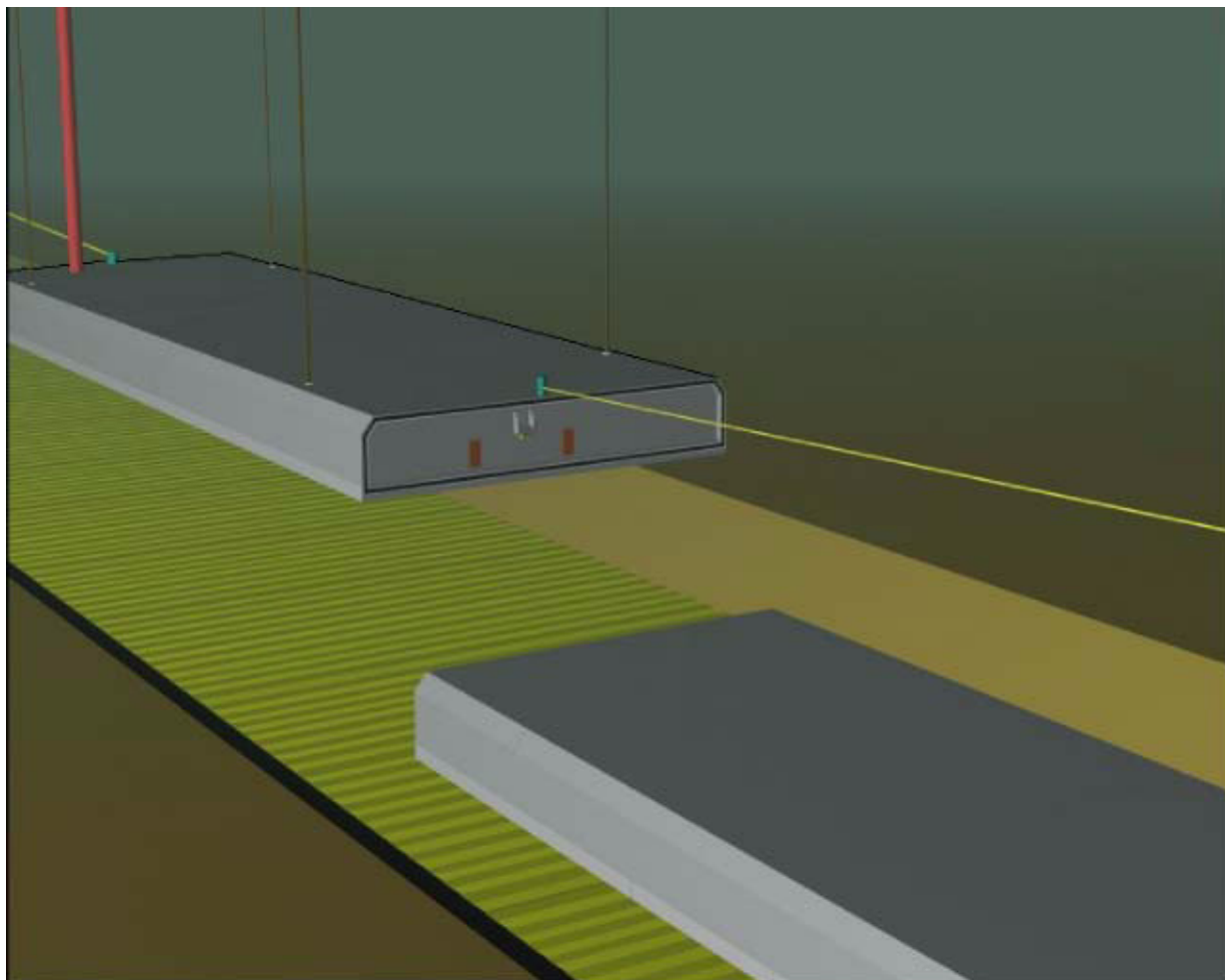


*Afbeelding 8.4.9, Afzinken met potons.*





*Afbeelding 8.4.10, Onder een helling brengen van tunnelement en dan afzinken (Onderstromen).*



*Afbeelding 8.4.11, Afzinken door verticaal te zakken en horizontaal te verplaatsen (Grindbed).*

#### **8.4.4.4 Meting Dx, Dy en Dz aan de primaire zijde**

Na elke stap wordt de positie van het element ingemeten ten opzichte van de positie van het element dat reeds in positie ligt (dan wel het landhoofd). Het meetpunt is de taats aan de primaire zijde.

##### **Opmerkingen**

Dx lengterichting.

Dy dwarsrichting.

Dz vertikaal.

Zie bijlage 10.4.C.

#### **8.4.4.5 Knelpunten**

- Lekken ballasttanks.
- Draadbreek.
- Slib onder tunnelement.
- Tunnelement niet op diepte.
- Secundaire Dy buiten de tolerantie van 30 mm.

**Opmerkingen**

Om adequaat te kunnen reageren voor het geval dat een van deze knelpunten optreedt, worden vooraf noodprocedures opgesteld.

**8.4.4.6 Lekken ballasttanks**

Bij een lekkage van een ballasttank tijdens het afzinkproces is er weinig gelegenheid om de ballasttank weer leeg te pompen, het lek op te sporen en vervolgens het lek te maken. De maatregel ten aanzien van een lekkage van een ballasttank moet daarom ook worden gezocht in een maatregel die ervoor zorgt, dat het lekwater zo snel mogelijk kan worden ingedamd, waarna het weer in de ballasttank terug kan worden gepompt. Ballasttanks in het bouwdok testen.

**Opmerkingen**

- Bij een lekkage van een ballasttank vloeit het lekwater naar het laagste punt van het tunnelelement. Van daaruit kan het water met een lekwaterpomp weer worden teruggepompt in de ballasttank.
- Bij lekkage van een 'hooggelegen' ballasttank moet worden voorkomen, dat dit water helemaal naar het 'laaggelegen' kopschot stroomt. Hiervoor kunnen op de vloer van de tunnelelementen, naast de ballastbetonvakken, houten schotten (ca. 3 x 0.4 m) worden aangebracht. Deze schotten worden dan aan de onderzijde en aan de zijkanten voorzien van een waterdichte plakstrip of de schotten worden rondom afgekit.

**8.4.4.7 Vijzels**

Het tunnelelement loodrecht op de lengteas met behulp van vijzels laten "kwispelen", als secundaire Dy buiten de tolerantie van 30 mm valt (theoretische maat). Kwispelen kan ook met lieren.

**8.4.4.8 Aandrukken GINA profiel**

Na een aantal verticale en horizontale stappen komt het af te zinken tunnelelement op een kleine afstand van het vorige tunnelelement. Nu wordt stapje voor stapje het element tegen het vorige aangezet, waarbij het de bedoeling is dat het GINA-profiel overal net aanligt. Indien dit zo is wordt het element tegen het vorige aangetrokken m.b.v. een kopdraadlier (plusminus 5000 kN) waarbij het GINA-profiel een indrukking krijgt, waardoor de zinkvoeg waterdicht wordt afgesloten.

**8.4.4.9 Leegpompen zinkvoeg**

- Nadat het GINA profiel de initiële indrukking heeft ondergaan kan de zinkvoeg vanzelf leeglopen. Dit gebeurt door de dopmoer ontluchting in het kopschot te verwijderen en de afsluiters te openen. De natuur zorgt door middel van de waterdruk dat het tunnelelement tegen het vorige wordt aangedrukt. Het laatste restje water wordt eruit gepompt.
- Nadat de zinkvoeg zo goed als mogelijk is leeggepompt, wordt de deuren in de kopschotten geopend en een loopplank neergelegd.
- Gewaakt moet worden dat geen kabel, leidingen e.d. door de opening van de deuren worden gelegd (voor de elektra zijn aparte doorvoeringen in het kopschot aanwezig). In geval van een calamiteit moeten de deuren zonder problemen weer snel kunnen worden gesloten.

**Opmerkingen**

Mocht blijken dat het waterniveau in de zinkvoeg tijdens het pompen niet zakt, wordt door duikers gecontroleerd waar het GINA profiel niet aansluit. Het zou kunnen zijn dat een obstakel tussen het GINA profiel en de zinkvoegomranding is gaan zitten.

Mogelijke oplossing is dan om het element weer te lossen en het obstakel te verwijderen.

De ballasttank waar het water naar toe gaat (dichtstbijzijnde) is deels al leeg gemaakt (circa  $30 \times 8 \times 1 = 240 \text{ m}^3$ ) om het water te kunnen opvangen.



## 8.4.5 Positioneren

### 8.4.5.1 Positioneringapparatuur

Zowel op het tunnelement als daarbuiten, zie Afbeelding 8.4.12.



*Afbeelding 8.4.12, Positiebepaling tunnelement tijdens het afzinken.*

### 8.4.5.2 Primaire zijde (voorzijde tunnelement)

Dit is de zijde van het laatst afgezonken element waar:

- Het GINA-profiel zich bevindt.
- De zijde waar de zinkvoeg zich bevindt, na afzinken.
- De zijde waar de penconstructie op de vangconstructie van het vorige element dan wel voorziening aan het landhoofd komt te rusten.



- De vangconstructie (bovenstoel) en de penconstructie (taats of onderstoel) zijn zo ontworpen, dat ze zonder problemen bij de optredende drukken over elkaar heen glijden.

**Opmerkingen**

Op positie aangekomen steunt het element aan de primaire zijde op de penconstructie op de vangconstructie van het vorige element of het landhoofd. De belasting op deze constructie wordt bepaald door de afmetingen van de tunnel en het soort water waarin gewerkt wordt (zoet/zout).

Zie bijlage 10.4.D

**8.4.5.3 Secundaire zijde (achterzijde tunnelelement)**

Dit is de zijde waar:

- De vijzelpennen (indien toegepast) op de tegels worden neergelaten.
- De zijde waar de vangconstructie zich bevindt.
- De zijde waar het vrije uiteinde zich bevindt na afzinken.

**Opmerkingen**

De vijzelpennen zorgen voor de fijn afstelling van de langs- en dwarshelling van het tunnelelement.

**8.4.5.4 Kopdraden, bedienen op de oever**

- Deze zorgen voor de beweging van het af te zinken tunnelelement in de lengterichting (x-richting) van de (toekomstige) tunnel.
- Afhankelijk van het gekozen systeem wordt door middel van deze draden het afgezonken tunnelelement tegen het vorige tunnelelement, dan wel landhoofd, aangetrokken.

**Opmerkingen**

De langsdraden lopen dwars over de rivier. Om deze reden is er dus geen scheepvaart op de rivier mogelijk. Bij calamiteiten moet het mogelijk zijn deze draden slack te gooien.

**8.4.5.5 Dwarsdraden oftewel zijdraden, bedienen op pontons**

Afhankelijk van de gekozen wijze van dwarsverplaatsing zullen dwarsdraden gebruikt worden voor de mogelijke verplaatsing van de af te zinken tunnel in dwarsrichting (y-richting).

**Opmerkingen**

Bij weinig stroming in de rivier kan de dwarsbeweging ook worden beheerst door alleen gebruik te maken van de pontons en de (eventuele) drijvende bok.

**8.4.5.6 Kruisdraden**

Met deze draden, die lopen vanaf het afzinkponton aan de ene zijde van het tunnelelement naar de hijspunten aan de andere zijde van het tunnelelement, kan een dwarsverplaatsing worden gerealiseerd.

**Opmerkingen**

Dit wordt toegepast indien tunnelelement niet rechtstreeks wordt vastgehouden.



## **8.4.6 Afronden**

### **8.4.6.1 Fundatie**

Het positioneren van het element is mede afhankelijk van de methode van fundatie die wordt toegepast. Zo zal bij het onderstromen gebruik gemaakt worden van vijzels, terwijl deze bij het grindbed niet van toepassing zijn.

### **8.4.6.2 Ballasttanks vullen**

Nadat het tunnelement op de tijdelijke ondersteuning dan wel grindbed staat en de zinkvoeg leeg is leeggepompt, worden de ballasttanks, afhankelijk van het afzinkgewicht, met water gevuld.

#### **Opmerking**

Omdat het tunnelement schuin staat in de lengterichting kunnen de ballasttanks alleen aan de laagste zijde tot aan de rand worden gevuld.

### **8.4.6.3 Vijzelpen**

De zwaarte van de vijzelpen en de bijbehorende constructies zijn afhankelijk van:

- Vereiste minimale oplegreacties.
- Scheepvaartbelastingen.
- Zoutfluctuaties.
- (Onder)stroomkrachten.
- Oplegreacties van volgend tunnelement.

Aandachtspunten:

- Let op voor dwarskracht als gevolg van horizontale belasting (t.g.v. scheepvaartbelasting).
- Manchet waterdicht te maken en kunnen worden geïnjecteerd.
- Let op borgingsmogelijkheid.

#### **Opmerking**

De scheepvaartbelasting is meestal af te leiden uit het rapport van het Waterloopkundig Lab (aangegeven in deel 3 van het bestek).

### **8.4.6.4 Leidingsysteem**

Na het afzinken moeten de langsledingen van het waterballaststelsel kunnen worden doorgesloten in de zinkvoeg dan wel sluitvoeg.

### **8.4.6.5 Afzinkvoorzieningen op het element verwijderen (afruimen tunnelement)**

- Een aantal voorzieningen, zoals de meettoeren en de toegangsschacht, worden onder water door duikers losgekoppeld en met behulp van een kraanschip of een drijvende bok opgehesen.
- De duikers verwijderen ook de kleinere afzinkvoorzieningen op het element, zoals hijsogen.
- Verwijderen toegangsschacht en meettoeren.





#### **8.4.6.6 Verwijderen toegangsschacht**

De sparing in de betonconstructie ter plaatse van de toegangschacht wordt gevuld met grind en dan met een stalen luik waterdicht gesloten. Daarna wordt de toegangsschacht verwijderd. Later wordt dit van binnen uit zorgvuldig (waterdicht) afgewerkt.

##### **Opmerkingen**

De werkwijze en volgorde hierbij is meestal vanuit de toegangschacht:

- 1<sup>e</sup> stalen plaat erin laten zakken.
- Stalen plaat rondom (waterdicht) vastlassen aan stalen ring in het beton.
- Stekken aanbrengen.
- Van bovenaf in de sparing grind storten.
- Kabeldoorvoeringen waterdicht afdoppen.
- Dekfels rondom (waterdicht) knevelen.
- Het grindpakket met een grout injecteren (gebeurd later vanuit de binnenzijde).
- Als de deksel gekneveld is, water in de toegangschacht pompen en daarna de toegangschacht verwijderen.



## Inhoudsopgave Opleggen

- 8.5.1 Intro
- 8.5.2 Voorbereiding
  - 8.5.2.1 Positieve effecten van het toepassen van een grindbed t.o.v. onderstromen
  - 8.5.2.2 Bestekseisen
  - 8.5.2.3 Bagger en onderhoudswerkzaamheden
  - 8.5.2.4 Hoeveelheid onderstroomzand
  - 8.5.2.5 Hinder scheepvaart bij onderstromen
  - 8.5.2.6 Onderstroomsysteem
  - 8.5.2.7 Werkvolgorde en planning voor het leggen van het grindbed
  - 8.5.2.8 Referentieniveau bij het grindbed
  - 8.5.2.9 Randvoorwaarden voor het plaatsen tunnelement in relatie tot het grindbed
  - 8.5.2.10 Eisen aan het grind
- 8.5.3 Methoden
  - 8.5.3.1 Grindbed
  - 8.5.3.2 Onderspoelmethode
  - 8.5.3.3 Onderstroommethode
  - 8.5.3.4 Onderstromen buiten langs
  - 8.5.3.5 Onderstromen binnen door
- 8.5.4 Onderstromen
  - 8.5.4.1 Onderstroompatroon en de persstraat
  - 8.5.4.2 De afstand tussen de onderstroompunten
  - 8.5.4.3 Positie van de onderstroompunten
  - 8.5.4.4 De concentratie
  - 8.5.4.5 Stroomsnelheid
  - 8.5.4.6 Zand
  - 8.5.4.7 Aanvoer van het zand- watermengsel
  - 8.5.4.8 Per onderstroompunt (puntvulling).
  - 8.5.4.9 Met behulp van een langsleding
  - 8.5.4.10 Per tunnelement
  - 8.5.4.11 Gehele tunnel
  - 8.5.4.12 Onderstroomponten
  - 8.5.4.13 Ankersysteem
  - 8.5.4.14 Begeleidingsvaartuig
  - 8.5.4.15 Duikers/duikteam (ARBO)
  - 8.5.4.16 Controle-unit
  - 8.5.4.17 Communicatie
  - 8.5.4.18 Registratie onderstroom gegevens
  - 8.5.4.19 Oplegreacties
  - 8.5.4.20 Opwaartse krachten
  - 8.5.4.21 Afsluiters
  - 8.5.4.22 PVC buizen
  - 8.5.4.23 Nummers
  - 8.5.4.24 Plaatsbepaling
  - 8.5.4.25 Stoppen met onderstromen
  - 8.5.4.26 Afpersen onderstroompunt
  - 8.5.4.27 Aflaten (neerzetten tunnelement op zandbed)
  - 8.5.4.28 Verwijderen vijzels
  - 8.5.4.29 Ballasttanks
  - 8.5.4.30 Sluitvoeg

SAATU

---

- 8.5.4.31 Zettingsmetingen
- 8.5.4.32 Noodstop
- 8.5.4.33 Noodstop procedure
- 8.5.5 Grindbed
  - 8.5.5.1 Maken grindbed
  - 8.5.5.2 Lay-out van het grindbed
  - 8.5.5.3 Aantal lagen
  - 8.5.5.4 De verdeling van de grindruggen in de lengterichting
  - 8.5.5.5 De sluitvoeg
  - 8.5.5.6 Contramallen
  - 8.5.5.7 Erosie van het grindbed
  - 8.5.5.8 Sedimentatie
  - 8.5.5.9 Grindmigratie
  - 8.5.5.10 Ophoping grind ter plaatse van de keerpunten van de grindruggen
  - 8.5.5.11 Stabiliteit
  - 8.5.5.12 Meetsysteem
  - 8.5.5.13 Meetinstrumenten
  - 8.5.5.14 Meetprotocol en meetnauwkeurigheid
  - 8.5.5.15 Kalibreren meetsysteem
  - 8.5.5.16 Meetgegevens
  - 8.5.5.17 Werkvenster
  - 8.5.5.18 Beslisplanning
  - 8.5.5.19 Afzinkprocedure
- 8.5.6 Palen
  - 8.5.6.1 Toepassing
  - 8.5.6.2 Grondverbetering
  - 8.5.6.3 Plaatsingstolerantie palen
  - 8.5.6.4 Plaatsing tunnelelement op palen
  - 8.5.6.5 Grip tussen paal en tunnelelement
  - 8.5.6.6 Algemeen



## 8.5 OPLEGGEN

### 8.5.1 Intro

#### Omschrijving

De fundatie van het tunnelelement in de eindfase kan op drie manieren gebeuren, namelijk:

- Op staal middels onderstromen of onderspoelen. Hierbij wordt tevens gebruik gemaakt van een tijdelijke ondersteuning.
- Op staal middels een grindbed.
- Op palen, zie Afbeelding 8.5.1.

Het toepassen van een grindbed als directe en definitieve ondersteuning als alternatief van tijdelijke ondersteuning door vijzelpennen en kin- en neusconstructie in combinatie met het onderstromen, is een afweging tussen risico's enerzijds en financiën anderzijds. Eén van de risico's bij het onderstromen is de mogelijke verplaatsing van een tunnelelement op de tijdelijke opleggingen, als gevolg van te grootte horizontale krachten op het tunnelelement door overvarende schepen. Wel kan bij het toepassen van tijdelijke opleggingen een betere positionering worden gehaald, gezien het feit dat er met de vijzels (kwispelen) een correctie mogelijkheid is voor de hoogteligging en dwarshelling. Met het toepassen van een grindbed is een betere opname van horizontale belastingen ten gevolge van overvarende schepen.

#### Onderstromen / onderspoelen.

Na het afzinken wordt het tunnelelement tijdelijk ondersteund door vijzels. Het onderstromen of het onderspoelen dient zo spoedig mogelijk na het afzinken per tunnelelement te gebeuren, zie Afbeelding 8.5.1. Hiermee wordt voorkomen dat zich onder de tunnelementen slib gaat ophopen. De aannemer is verantwoordelijk voor het toe te passen onderstroomstelsel. Het onderstromen wordt gestopt voor de laatste rij te maken zandpannenkoek per tunnelelement. Het onderstromen dient achterelkaar en continue te worden uitgevoerd.

#### Grindbed.

Het afzinken op een grindbed begint bij het maken van het grindbed op de bodem van de zinksleuf voor het eerste tunnelelement tot aan het volledig dragen van het laatste tunnelelement op het grindbed, zie Afbeelding 8.5.1.

Een combinatie van de twee wijze van funderen bij een tunnel wordt afgeraden. Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel is het echter door omstandigheden toch noodzakelijk geweest de combinatie toe te passen.

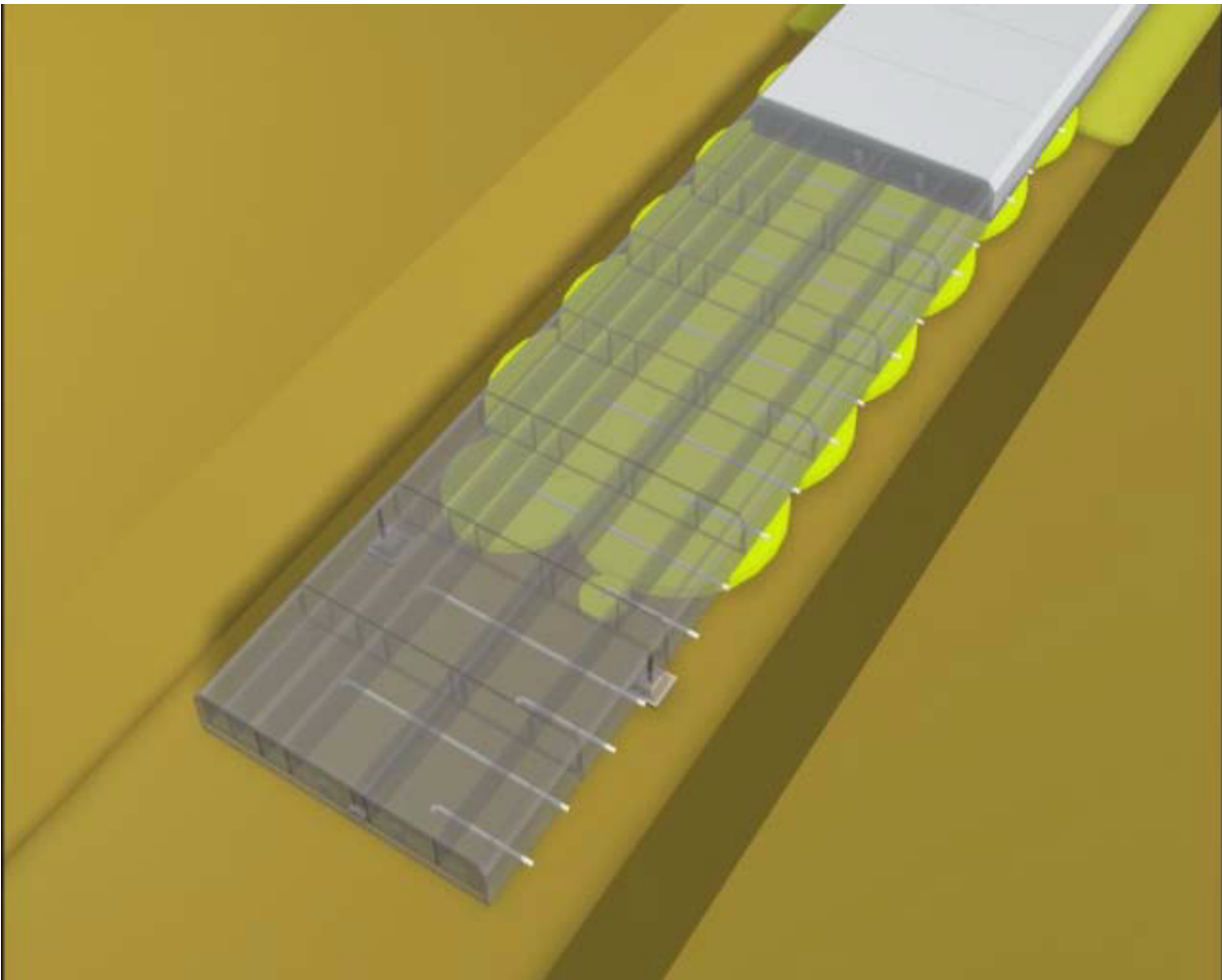
Processtappen bij onderstromen zijn:

- Positioneren en verankeren van het onderstroomponton (zandoverslag).
- Onderstromen.
- Duikers naar beneden voor controle (zandhoogte, slib, kranen open en dicht).
- Stoppen met onderstromen en neerzetten tunnelelement nadat het volgende tunnelelement tot de vijzelpennen is onderstroomd.
- Herhaling van de bovenstaande processtappen tot men bij de sluitvoeg is.
- Sluitvoeg bekisting aanbrengen.

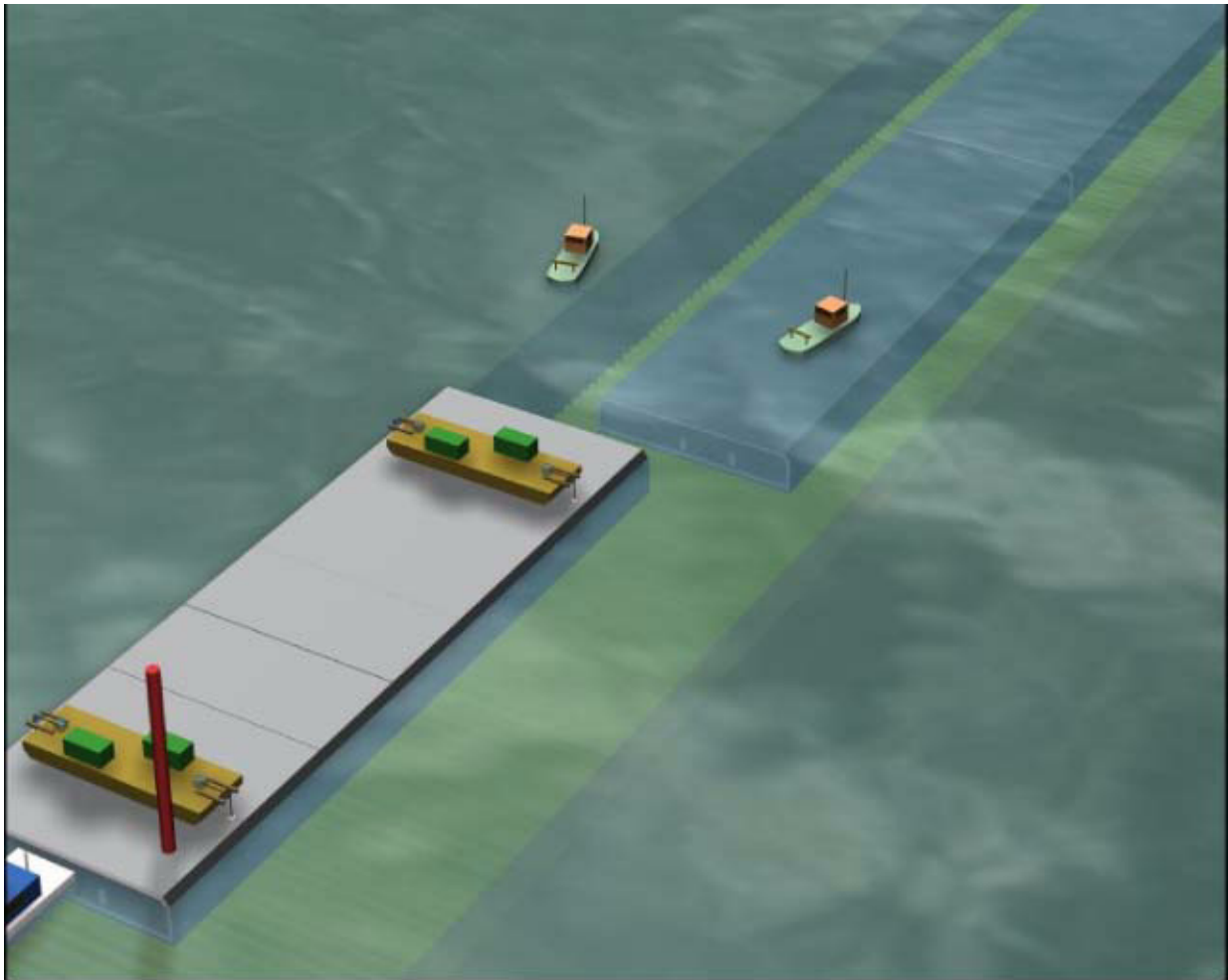
- Onderstromen sluitvoeg.

Processtappen bij het grindbed zijn:

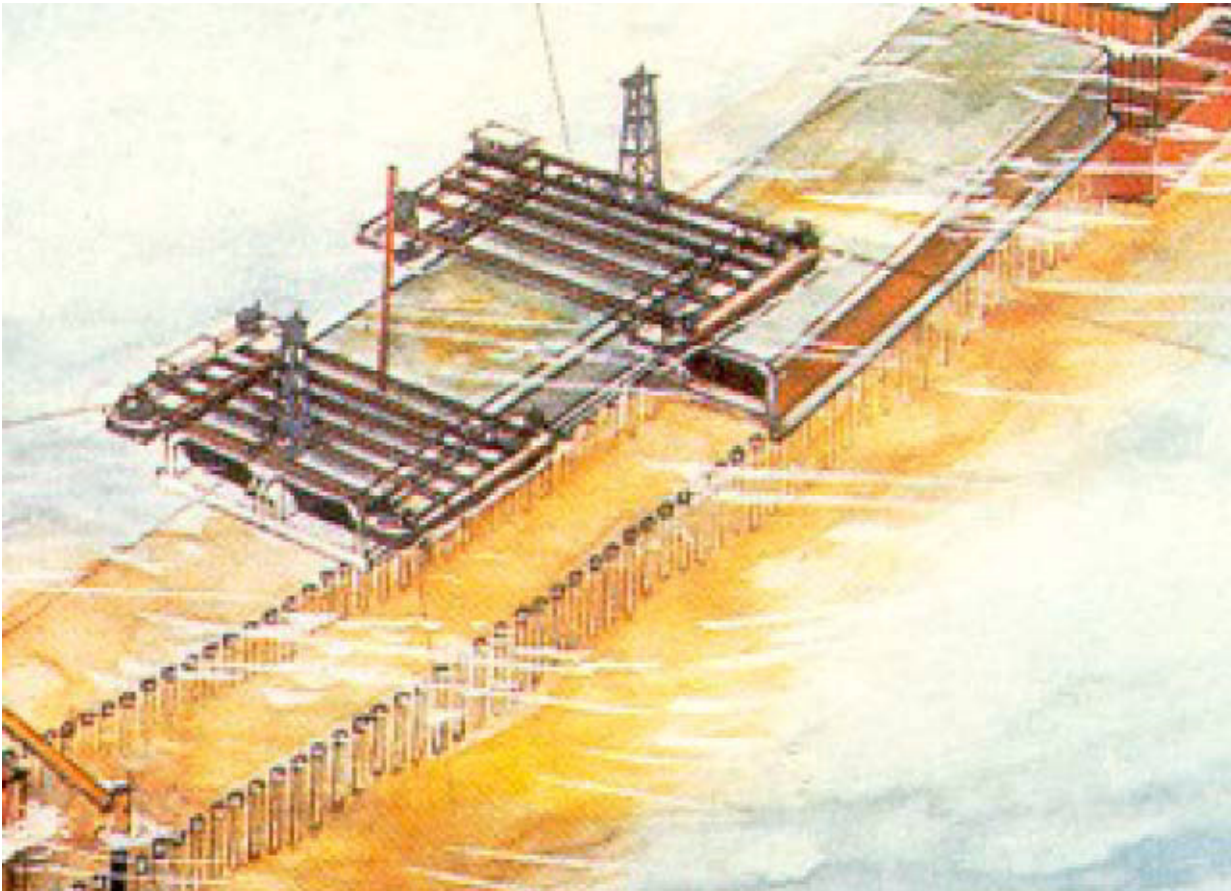
- Inmeten gereedmaken en opschonen zinksleuf.
- Positionering van de grindbedlegger (GBL).
- Het leggen en inmeten van het grindbed en het toetsen van de metingen aan de criteria en het zo nodig aanpassen van het grindbed.
- Het controleren van het grindbed op sedimentatie (zoals zand en slib) kort voor het afzinken van een tunnelement.
- Het afzinken van het tunnelement op het grindbed.



*Afbeelding 8.5.1, Onderstromen tunnelement na afzinken.*



*Afbeelding 8.5.2, Grindbed gereed voor afzinken tunnelement.*



*Afbeelding 8.5.3, Oplegging op palen (Zeeburgertunnel).*



## 8.5.2 Voorbereiding

### 8.5.2.1 Positieve effecten van het toepassen van een grindbed t.o.v. onderstromen

- Het wegspoeling van het materiaal komt niet voor.
- Het grindbed kan meer wrijving opnemen t.g.v. horizontale krachten die worden veroorzaakt door de scheepvaart.
- Belastingwisselingen tijdens afzinkfase veel beperkter tijdens afzinken.
- Minder handelingen onder water door duikers.

#### Opmerkingen

- Het totale proces kost voor onderstromen en het toepassen van een grindbed ongeveer evenveel tijd.
- Nadeel, het grindbed is kritisch in de planning, i.v.m. de kans op slib / sedimentatie op het grindbed.

### 8.5.2.2 Bestekseisen

In principe is de aannemer vrij om zelf de onderstroommethode te bepalen. Indien er methoden zijn die de aannemer niet mag toepassen dan moet dit in het bestek zijn aangegeven.

#### Opmerkingen

De methoden moet bekend zijn, voordat wordt begonnen met de eerste vloer.

### 8.5.2.3 Bagger en onderhoudswerkzaamheden

Tijdens het maken van het grindbed, het afzinken van een tunnelelement en onderstromen van een tunnelelement mogen er stroomopwaarts geen bagger of onderhoudswerkzaamheden (oevers) binnen een afstand van 800 meter worden uitgevoerd.

### 8.5.2.4 Hoeveelheid onderstroomzand

Voordat een tunnelelement wordt afgezonken, wordt aan de hand van de laatste peilingen in de zinksleuf de verwachte hoeveelheid onderstroomzand per onderstroompunt bepaald voor het beheersen van het onderstroomproces.

### 8.5.2.5 Hinder scheepvaart bij onderstromen

- Gedurende de periode, waarin de elementen worden onderstroomd, moet de snelheid van de scheepvaart worden beperkt. Het doel hiervan is voorkomen, dat de tunnelelementen zich verplaatsen of dat er transport van slib en zand optreedt.
- Ook moet de veiligheid van de duikers onder water worden gegarandeerd.
- Er moet naar gestreefd worden om de vaargeul bevaarbaar te houden tijdens de onderstroomwerkzaamheden.

#### Opmerkingen

- De scheepvaart dient zo min mogelijk hinder te ondervinden tijdens het onderstromen.
- De drijvende leiding tussen het onderstroomponton en het duikschip moet goed zichtbaar zijn. Zowel de grote als de kleine scheepvaart zal buiten het duikschip om moeten varen.





### **8.5.2.6 Onderstroomsysteem**

Om het niet functioneren van de kleppen van het onderstroomsysteem te voorkomen, dient het onderstroomsysteem in het bouwdok te worden getest.

### **8.5.2.7 Werkvolgorde en planning voor het leggen van het grindbed**

- Schoonmaken zinksleuf van sedimentatie (zoals slib en zand) en vrijmaken van obstakels.
- Aanbrengen grindbermen (de breedte van de berm aan de bovenzijde is gelijk aan de breedte van de stortpijp).
- Gladstrijken van de grindbermen (tijdens het aanbrengen van de grindbermen).

#### **Opmerkingen**

Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel was de stortpijp 1,65 m. breed.

De stortpijp is continu gevuld met grind waardoor er een overdruk ontstaat in de stortpijp.

Denk bij de planning aan het noodzakelijke (voor)overleg met diverse partijen. Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel waren dit onder andere het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) en de Dienst Scheepvaart Verkeersleiding (DSV).

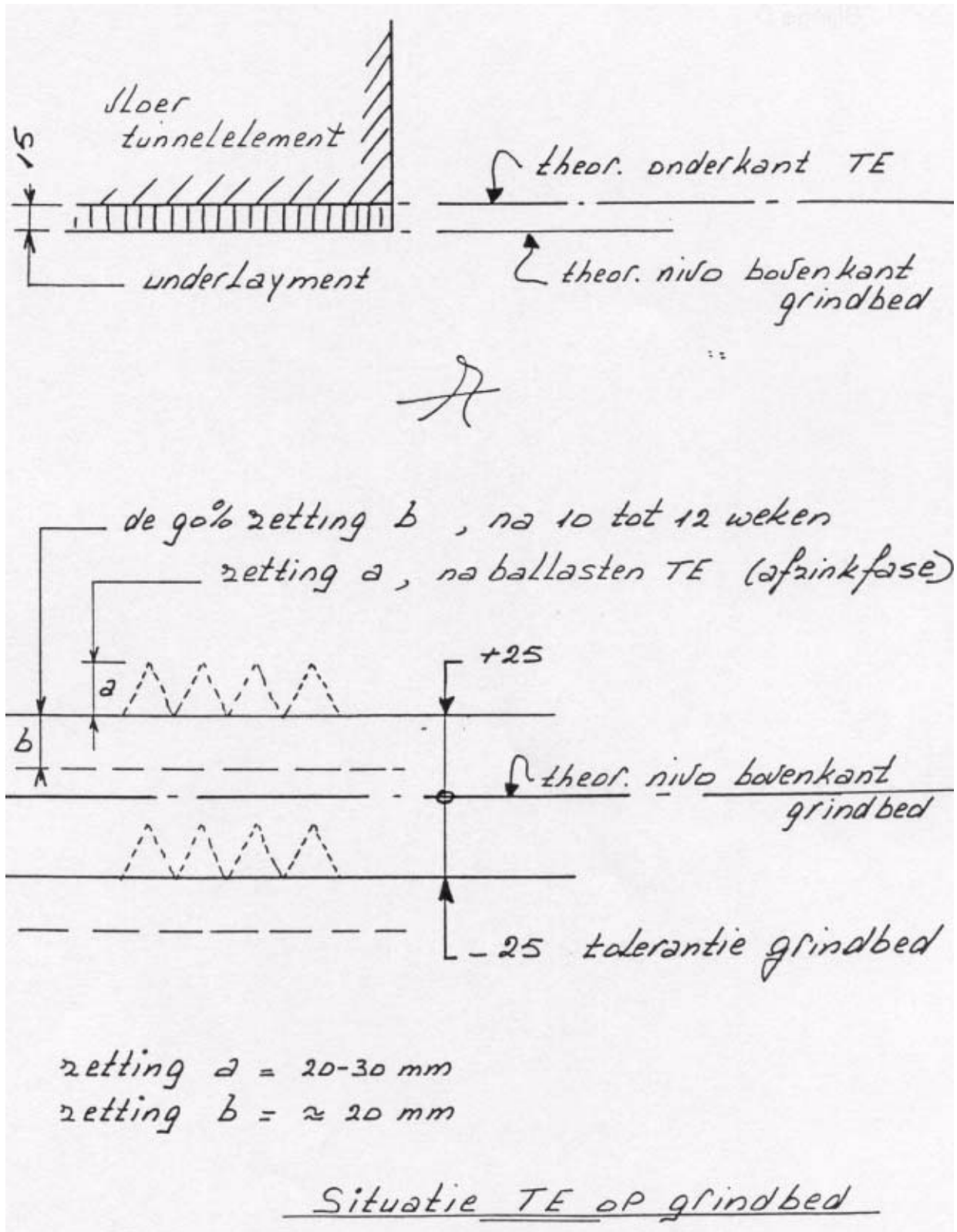
### **8.5.2.8 Referentieniveau bij het grindbed**

- Onderscheid wordt gemaakt in het theoretisch, het gewenste en het gerealiseerde afzinkniveau.
- Aanlegniveau grind (incl. eventuele overhoogte).
- Bij het bepalen worden de initiële zettingen en de zettingen op langere termijn mede in beschouwing genomen.

#### **Opmerkingen**

De zettingen van het grindbed direct na het plaatsen en de uiteindelijke definitieve zetting liggen naar verwachting in de zelfde orde van grootte als bij het onderstromen.

Zie Afbeelding 8.5.4.



Afbeelding 8.5.4, Referentieniveau bij het grindbed.



### **8.5.2.9 Randvoorwaarden voor het plaatsen tunnelement in relatie tot het grindbed**

- Wat is de aanleghoogte in verband met de constructiehoogte van het tunnelement.
- Welke tolerantie is er in verband met de gebruikers, danwel de aan te brengen constructies (o.a. zinkvoeg e.d.) in de tunneldoorsnede.
- Wat is de tolerantie in de plaatsing in breedteligging van de tunnel.

#### **Opmerkingen**

In verband met breedteligging, kwispelen is (bijna) niet mogelijk.

### **8.5.2.10 Eisen aan het grind**

Grofweg kunnen drie soorten grind worden toegepast, te weten:

- Breuksteen.
- Riviergrind.
- Zeegrind.

Het grind dient van een uniforme gradatie te zijn. De gradatie van het grind speelt op twee wijzen een rol:

- De afmetingen moeten zo groot zijn dat zij door de stroming niet worden meegenomen.
- Daarnaast moeten de afmetingen niet zo groot worden dat de grindruggen niet binnen de gewenste tolerantie kunnen worden gelegd.

#### **Opmerkingen**

Breuksteen heeft, in verband met de hoekigheid, hierbij een lichte voorkeur (vanwege de stabiliteit van de grindruggen).

Voor de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel is gebruik gemaakt van breuksteen in de gradatie van 30-65 mm.

Er bestaat geen gevaar voor de beschadiging van de oppervlaktehuid van de beton (onderkant vloer bestaat uit bekistingsplaten). Dus een grotere dekking wordt niet nodig geacht.

### 8.5.3 Methoden

#### 8.5.3.1 Grindbed

Het werken met een grindbed is een nieuwe methode, die in Nederland bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel voor het eerst is toegepast.

##### Opmerkingen

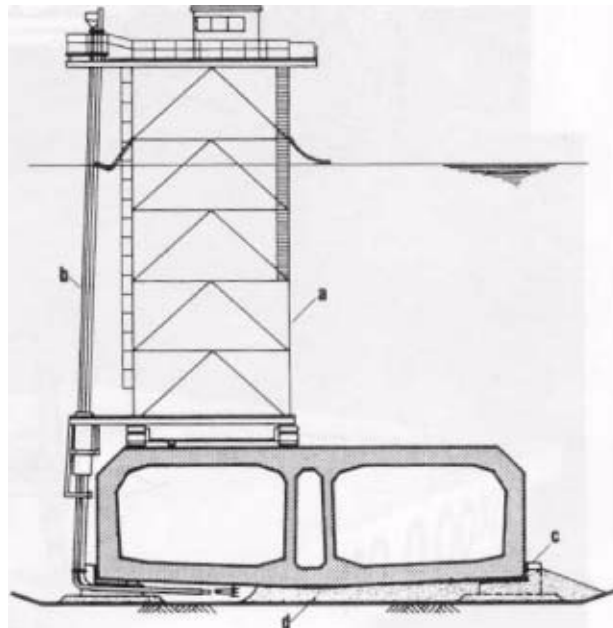
Ervaring afkomstig uit Orégundtunnel (Denemarken).

#### 8.5.3.2 Onderspoelmethode

- Het onderspoelmaterieel vormt een beperkte periode een belemmering voor de scheepvaart.
- De methode vereist een vrij grove en daardoor dure zandsort.

##### Opmerkingen

De onderspoelmethode wordt niet meer toegepast, zie Afbeelding 8.5.5.



Afbeelding 8.5.5, Onderspoelmethode.

#### 8.5.3.3 Onderstroommethode

Voor het aanvoeren van het onderstroomzand kan men kiezen uit:

- Langs de buitenzijde van de tunnel met behulp van een langsleding of puntvulling.
- Door de tunnel heen aan de binnenzijde.

##### Opmerkingen

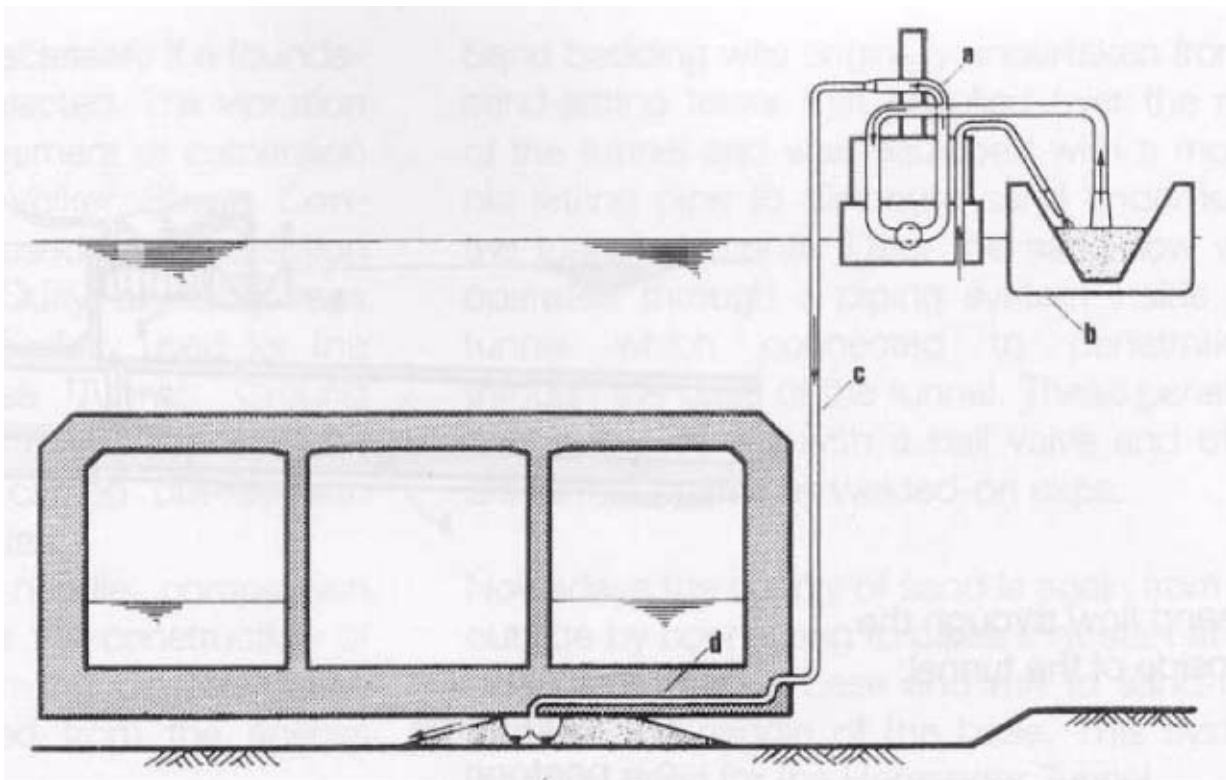
De toe te passen onderstroommethode dient zodanig te worden uitgevoerd dat minimale inzet van duikers vereist is.

### 8.5.3.4 Onderstromen buiten langs

- Het onderstromen kan gebeuren vanaf een schip of vanaf de oever via buiten langs in de tunnelwand opgenomen aansluitpunten en in de vloer opgenomen buizenstelsel, welke uitmondt onder de tunnelvloer. Deze buizen kunnen eenvoudig worden uitgevoerd en hoeven na het onderstromen niet te worden afgesloten, omdat er geen doorgaande verbinding is tussen het inwendige en uitwendige van de tunnel.
- Bij deze methode kan men per onderstroompunt of met behulp van een langleiding onderstromen (zie aanvoer zand-/watermengsel).

#### Opmerkingen

Deze methode, zie Afbeelding 8.5.6, heeft de voorkeur omdat er dan geen kans op lekkage in de tunnelelementen via slecht afgedichte doorvoerbuizen is. Daarbij komt dat de constructie relatief eenvoudig en goedkoop is.



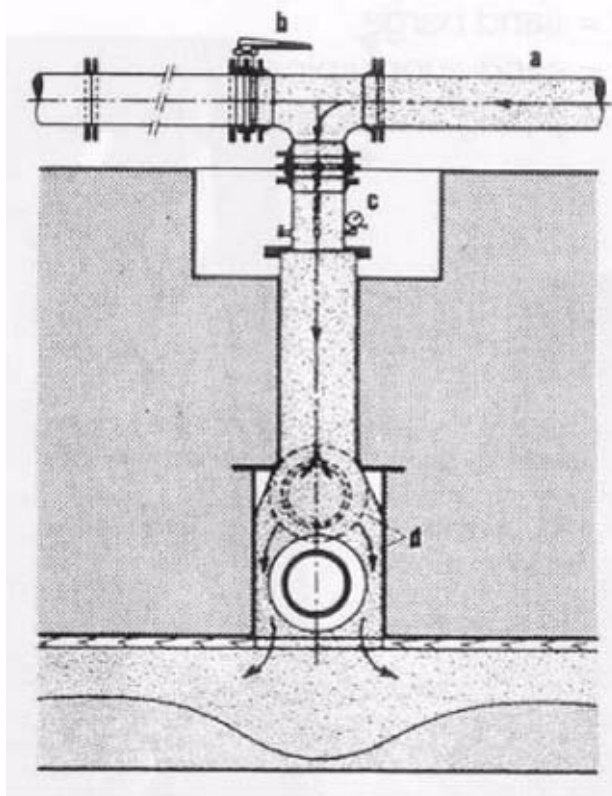
Afbeelding 8.5.6, Onderstromen buiten langs.

### 8.5.3.5 Onderstromen binnen door

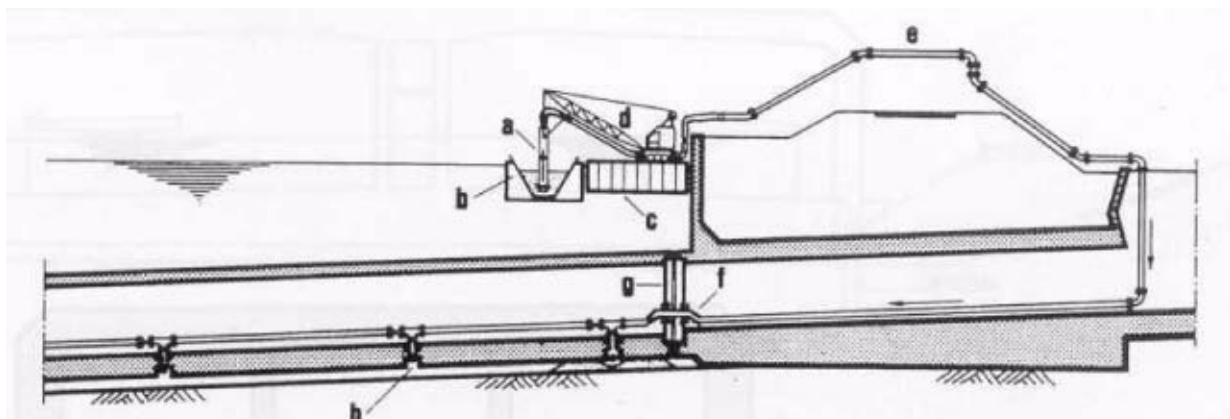
Het onderstromen binnen door gebeurt via een buizenstelsel vanaf de toerit door de tunnel, zie Afbeelding 8.5.8. Bij dit systeem is het noodzakelijk om doorvoerbuizen in de vloer op te nemen, zie Afbeelding 8.5.7. De doorvoerbuizen zijn uitgerust met een injectieopening met terugslagklep (balafsluiter). De doorvoerbuizen worden na het onderstromen dichtgelast en geïnjecteerd. Voordeel is wel dat er geen beperking van de scheepvaart is.

**Opmerkingen**

- Deze constructie is relatief duur en bij een onjuiste uitvoering kan via de buizen toch nog lekkage optreden.
- Een andere nadeel is, dat men bij dit systeem een lang leidingsysteem nodig heeft.
- Deze methode wordt niet meer toegepast.



Afbeelding 8.5.7, Doorvoerbuis t.p.v. tunnelvloer.



Afbeelding 8.5.8, Onderstroommethode binnen door.





## **8.5.4 Onderstromen**

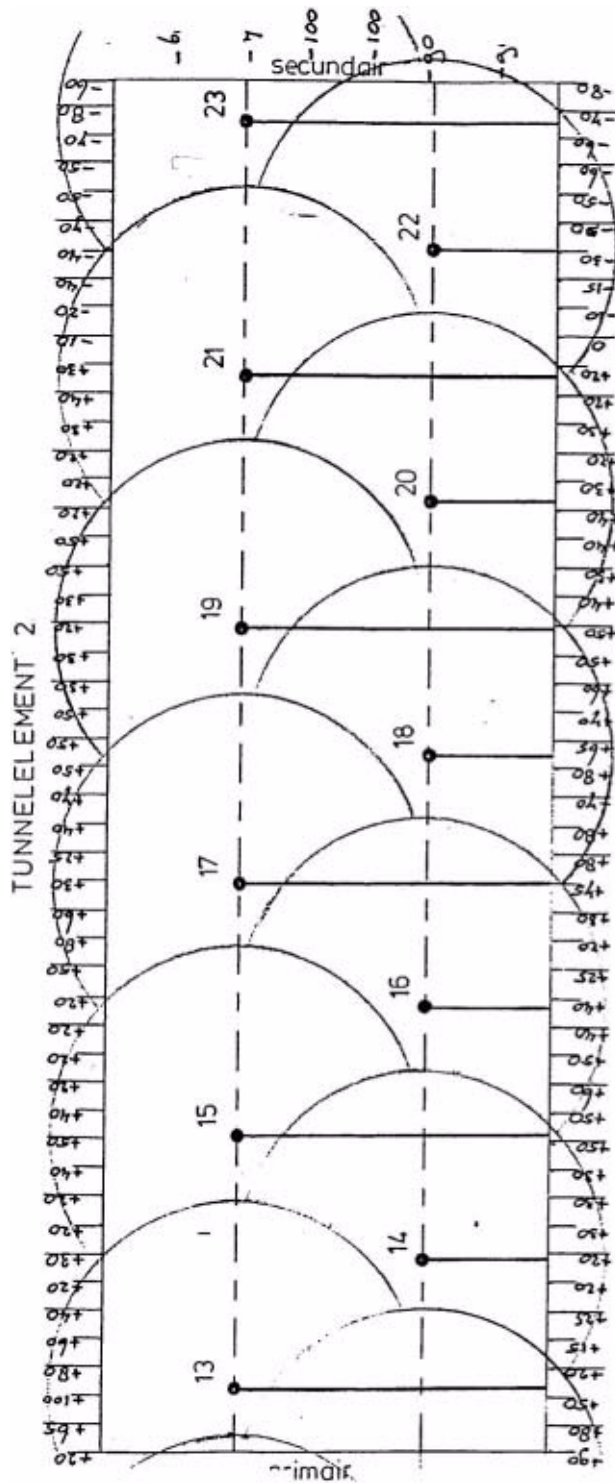
### **8.5.4.1 Onderstroompatroon en de persstraal**

- Het onderstroompatroon en de persstraal zijn afhankelijk van de pompdruk, debiet en de concentratie van het zand-/watermengsel.
- Het onderstroompatroon en de persstraal moet zo gekozen worden, dat aan weerszijden van de tunnelementen een één meter hoge steunrug (boven onderkant vloer) kan worden gevormd.
- Het onderstroompatroon moet passen in de totale lengte van de tunnel, waarbij rekening moet worden gehouden met de aansluiting bij de landhoofden.

#### **Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.5.9.





Afbeelding 8.5.9, Referentieniveau bij het grindbed.



#### 8.5.4.2 De afstand tussen de onderstroompunten

- De afstand tussen de onderstroompunten moet zo gedimensioneerd zijn, dat er altijd een overlapping ontstaat, waardoor, bij eventueel voortijdig afbreken van het onderstromen, op één punt het onderstromen door omliggende punten kan worden gecompenseerd. Deze overlapping voorkomt tevens dat tussen de zandpannenkoeken ingesloten ruimtes ontstaan.
- De onderstroompunten liggen bij voorkeur in 2 lijnen. De onderlinge afstand moet zodanig gekozen worden, dat de gehele tunnelbodem bereikbaar is waarbij de persstraal voor alle punten ongeveer gelijk is.

#### 8.5.4.3 Positie van de onderstroompunten

Bij de keuze van de plaats van de onderstroompunten moet rekening worden gehouden met de constructie en segmentering (dilatatievoeg) van de tunnelementen.

#### 8.5.4.4 De concentratie

De concentratie wordt weergegeven in tonnen per kubieke meters "t/m<sup>3</sup>" ter verduidelijking:

- Bij 100 % water en 0 % zand in het mengsel wil dit zeggen 1,0 t/m<sup>3</sup>.
- Een mengsel van 40 % zand en 60 % wil zeggen dat (uitgaande van de soortelijke massa van massief zand 2,64 t/m<sup>3</sup>) dit  $0,4 \cdot 2,64 + 0,6 \cdot 1,0 = 1,65$  t/m<sup>3</sup> is.

Met andere woorden des te meer zand in het mengsel des te hoger de waarde.

#### 8.5.4.5 Stroomsnelheid

Er is een minimale en een maximale stroomsnelheid van het zand-watermengsel. Hiertussen zit een gewenste stroomsnelheid.

##### Opmerkingen

Bij de Wijkertunnel zijn de volgende stroomsnelheden toegepast.

- De minimale stroomsnelheid was 2,5 m/s met een bijbehorend minimaal debiet van 280 m<sup>3</sup>/h.
- De gewenste stroomsnelheid van het zand-watermengsel was 4,0 m/s met een bijbehorend debiet van 452 m<sup>3</sup>/h.

#### 8.5.4.6 Zand

- Het zand moet rond zijn.
- Het zand dient een D50 (uniforme gradatie) te hebben tussen de 170 µm en 230 µm. Tevens mag het zand niet meer dan 2% fijnere delen bevatten kleiner dan 65 µm.
- Ten behoeve van de controle van het zand dient regelmatig een zandmonster genomen te worden om vervolgens te zeven.

##### Opmerkingen

Volgende zaken moeten worden geregistreerd:

- Scheepsnaam.
- Grootte van de lading.
- D50 van de lading volgens zeefanalyse (steile zeefkromme).

- Bij welk element is het zand verwerkt.
- Bij welke onderstroompunt "OP", is het zand verwerkt.
- Tijdsduur per onderstroompunt.
- Onderstroomde hoeveelheid volgens teller per onderstroompunt.
- Cumulatieve hoeveelheid verwerkt onderstroomzand.

#### 8.5.4.7 Aanvoer van het zand- watermengsel

- Per onderstroompunt.
- Met behulp van een langsleiding.

#### 8.5.4.8 Per onderstroompunt (puntvulling).

- De onderstroomleiding wordt boven het element, op het duikschip, gesplitst met behulp van een verdeelstuk met drie afsluiters, in een tweetal onderstroomleidingen en een nooduitgang. De nooduitgang kan worden gebruikt bij een noodstop of bij het schoondraaien van het leidingsysteem.
- De onderstroomleidingen kunnen ieder apart op een onderstroompunt worden aangesloten. Hierdoor is geen kwetsbare langsleiding meer nodig. De twee leidingen worden afwisselend op een volgend onderstroompunt vastgezet. Door één leiding wordt onderstroomd terwijl de andere overgezet wordt naar een volgend punt.

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.5.10.



Afbeelding 8.5.10, Puntenonderstroom methode.

**Leermoment met betrekking tot onderstromen**

Bij de Wijkertunnel is bij tunnelement 3 één keer een verkeerd onderstroompunt aangesloten, waardoor een onderstroompunt werd overgeslagen. De duiker, welke moest controleren of zand onder de teen van het element uitkomt, dus aan de zijde van het aangesloten onderstroompunt, merkte nog steeds niets op het moment dat de operator reeds een grote hoeveelheid extra zand, ten opzichte van de geschatte hoeveelheid, kwijt was. Vervolgens is een inspectie aan de andere zijde uitgevoerd waaruit bleek dat de onderstroomleiding volledig onder het zand zat.

Conclusie: Als men een extra grote hoeveelheid zand verwerkt bij een onderstroompunt, dan is het verstandig om een duiker de andere zijde van de tunnel te laten controleren.

**8.5.4.9 Met behulp van een langsleiding**

Voor het onderstromen met behulp van een langsleiding heeft men twee methoden tot de beschikking, namelijk:

- Per tunnelement.
- Gehele tunnel.

**Opmerkingen**

Voorkeur gaat uit naar de traditionele methode met de langsleidingen, vooral ter plaatse van de scheepvaart route. Dit bekort de duikhandelingen en het aansluiten van vulleidingen. Duikers moeten toch naar beneden voor openen / sluiten van de afsluiters.

Door kortere duiktijden / werktijden is de inzet ten gevolge van de duikdiepte nauwelijks beperkt.

**8.5.4.10 Per tunnelement**

De langsleiding wordt op de aanwezige leiding van het tunnelement aangesloten, zie Afbeelding 8.5.11.

Door middel van afsluiters wordt het te onderstromen punt gekozen, zie Afbeelding 8.5.12. Deze methode kan toegepast worden voor tunnelementen, welke zich in de vaargeul bevinden. Hierdoor is minder hinder voor de scheepvaart gedurende het onderstromen.



*Afbeelding 8.5.11, Tijdelijke langsliding op oor tunnelement, ten behoeve van aansluiting op onderstroomleiding in de vloer.*



*Afbeelding 8.5.12, Afsluiter (bijzondere situatie m.b.t. het grindbed).*

#### **8.5.4.11 Gehele tunnel**

De langsliding van het laatst afgezonken tunnelement wordt gekoppeld met de langsliding van het laatste onderstroomde tunnelement. Het voordeel van dit systeem is, dat men de leiding niet hoeft te verplaatsen, maar er zijn wel meer leidingen nodig.

#### **8.5.4.12 Onderstroomponton**

Belangrijke punten waar een onderstroomponton aan moet voldoen:

- Ponton moet uitgerust zijn met een ankersysteem.
- Er moet voldoende ruimte aanwezig zijn om twee onderstroomkoppelingen te plaatsen op de juiste plaatsen.
- Ruimte voor een pompunit.
- Ruimte voor benodigde leidingsystemen.
- Aanlegmogelijkheden voor zandschepen.
- Controle unit voor het regelen en controleren van het gehele proces.

#### 8.5.4.13 Ankersysteem

- Het ponton wordt naar de juiste ligplaats gevaren en met behulp van de spudpalen aan de bodem verankerd. De positie van het ponton wordt zo gekozen dat de scheepvaart niet gehinderd wordt en dat de zandschepen langs zij kunnen afmeren. Ligt het zandschip langs zij dan kan het onderstroomproces beginnen.
- Het onderstroomponton kan ook met behulp van 4 draden worden verankerd. Dit gebeurt met de lieren die op de ponton zijn geplaatst, zie Afbeelding 8.5.13. Het verankeringsysteem laat soms een beperkte doorvaart van het scheepvaartverkeer toe. Dit gebeurt dan door enkele ankerdraden te laten vieren. Gezien het systeem van verankeren is het raadzaam om de zandschepen niet aan te leggen tijdens het onderstromen. Een verkeerde afmeermanoeuvre zou de ponton teveel doen bewegen en wellicht schade aanbrengen aan de onderstroomkoppeling.

#### Opmerking

Indien het niet mogelijk is om aan de landhoofdzijde ankers in het water te zetten, dan kan gebruik worden gemaakt van dodebedden. Ermee rekening houden dat de ankers zo ver en zo gespreid mogelijk ten opzichte van de tunnelas uitgebracht worden. Tevens moet men ervoor zorgen dat men een symmetrisch ankerpatroon heeft. Dit in verband met het makkelijker kunnen verhalen van de onderstroompontons.



Afbeelding 8.5.13, Lier op pontons.

#### 8.5.4.14 Begeleidingsvaartuig

- Als uitvalsbasis ten behoeve van de duikers ligt het begeleidingsvaartuig boven het element verankerd, met daarop de decompressieruimte en het verdeelstuk met de drie afsluiters. Het begeleidingsvaartuig is uitgerust met een hydraulische kraan die bij alle mogelijke werkzaamheden assistentie kan verlenen. Het begeleidingsvaartuig wordt met behulp van vier verhaallieren verankerd aan het te onderstromen element. Deze kabels worden vastgemaakt aan bolders, die op het tunneldek aanwezig zijn.



- Het begeleidingsvaartuig voor de duikers heeft twee belangrijke functies:
- Controle-unit duikers en decompressie ruimte.
- Verdeelstuk met drie afsluiters.

**Opmerkingen**

- Controle-unit duikers en decompressieruimte. Tijdens duikwerkzaamheden zijn er altijd meerdere duikers (duikploeg bestaat uit 3 man) op het schip aanwezig die radiotelegrafisch contact hebben met de duiker die onder water aan het werk is.
- Op het begeleidingsvaartuig is permanent een arbeider aanwezig om de afsluiters te bedienen. Tijdens het onderstromen is op het begeleidingsvaartuig een hydraulische kraan aanwezig die de duiker kan assisteren bij het omstellen van de puntvulleiding.

**8.5.4.15 Duikers/duikteam (ARBO)**

Tijdens het onderstromen moeten de duikers continu paraat zijn voor de reguliere werkzaamheden, zoals:

- Het aansluiten van de vulleiding op de onderstroompunten en het bedienen van de afsluiters.
- Controles van de vorming van de zandrug (1 meter boven onderkant vloer) aan de zijkanen van het tunnelement.
- Controles slib onder het tunnelement.

**Opmerkingen**

- Aan de duikerploegen wordt vooraf, in den droge (bouwdok), de situatie uitgelegd en geïnstrueerd.
- De duikers kunnen zich onder water oriënteren aan de hand van de leidingen en de tastbare belettering (huisnummers in reliëf), zie Afbeelding 8.5.12.
- Gewerkt wordt volgens wetgeving "arbeid onder overdruk."
- Duikers dienen het COB brevet te hebben.

**8.5.4.16 Controle-unit**

- Vanuit de controle-unit wordt het gehele onderstroomproces gecoördineerd en gecontroleerd. De coördinatie van het proces geschiedt in hoofdlijnen met behulp van radiotelegrafische communicatie, zoals wordt beschreven bij onderwerp communicatie.
- Vanuit de controle-unit zijn de volgende apparaten te bedienen:
- Bediening van de schuif onderaan de doseertrechter.
- Jetpomp.
- Toerental van de zandpomp/ powerpack.

**Opmerkingen**

Daarnaast kan er ook door middel van handpeilingen de zandrug worden gecontroleerd. Deze peilingen kunnen bij voorbeeld worden gedaan ter plaatse van de zinksleuf ter hoogte van de landgedeeltes.

### 8.5.4.17 Communicatie

Tijdens het onderstromen is het noodzakelijk dat er een goede communicatie is tussen de controle-unit, duikers, ontvangbak, surveyor, vaarweg beheerders en directie. Dit is alleen realiseerbaar door middel van een gesloten circuit, zodat storingen van buitenaf (interventie) uitgesloten zijn. Deze storingen kunnen leiden tot vertragingen en fouten. In de controle-unit is altijd een telefoon, portofoon en marifoon aanwezig. Voordat men gaat onderstromen moet men afspreken welke kanalen men gebruikt voor het onderstromen en tussen de scheepvaart.

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.5.14.



Afbeelding 8.5.14, Communicatie.

### 8.5.4.18 Registratie onderstroom gegevens

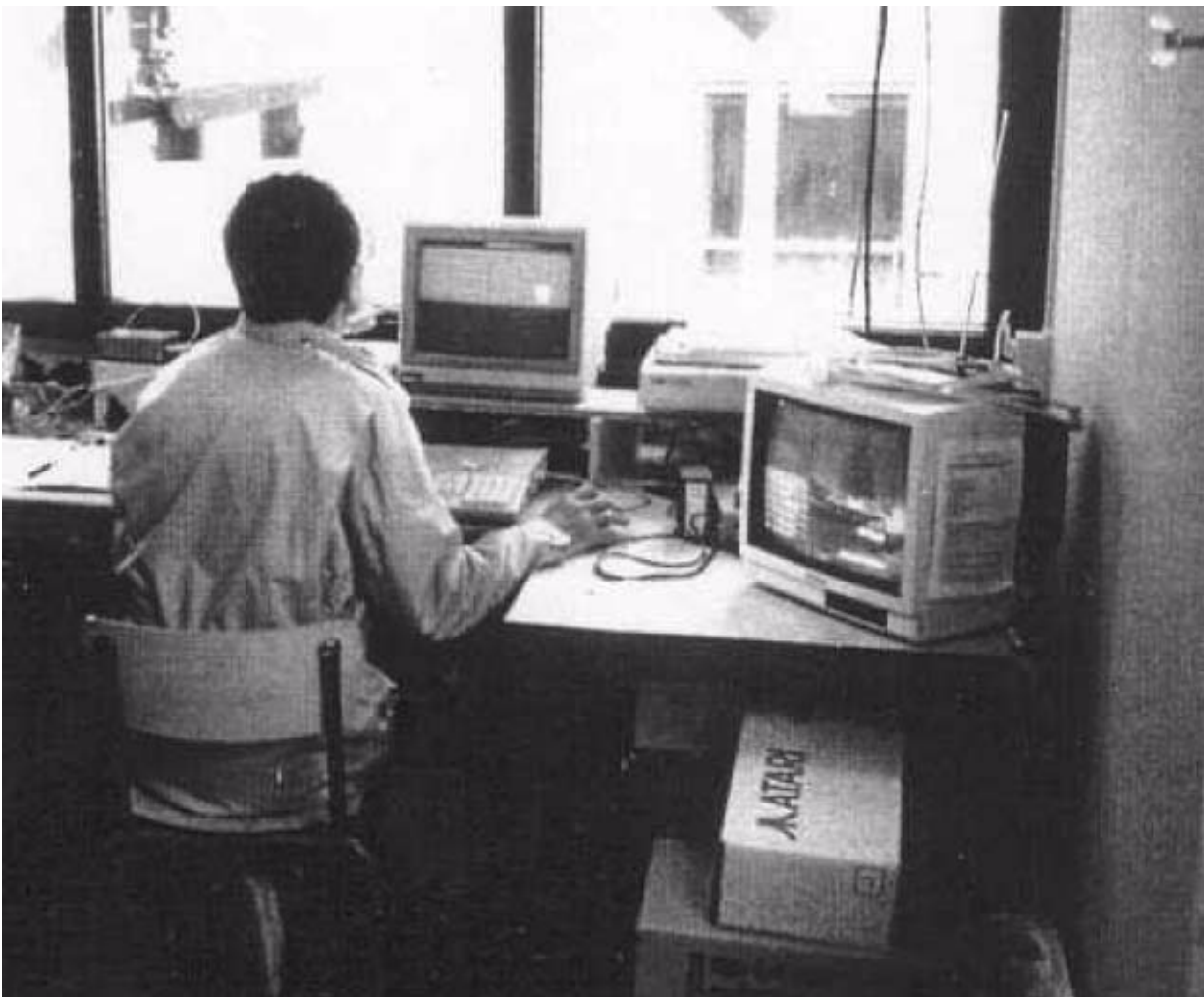
Door de onderstroomoperator wordt per tunnelelement het verloop van het onderstroomproces geregistreerd in een logboek, zie Afbeelding 8.5.15. Hierin is beschreven wat en op welk tijdstip er heeft plaatsgevonden, ook de bevindingen van de duikers zijn hierin opgenomen. De registraties met betrekking tot de procescontrole en de procesaansturing zijn vastgelegd op een datalogger. De uitdraaiën daarvan zijn per tunnelelement uitgewerkt in een evaluatierapport onderstromen.

#### Opmerkingen

- Maatgevende meetgegevens zijn:
- De vizeldrukken (oplegreacties).
- De gegevens omtrent het persproces (snelheid, concentratie).
- Gegevens omtrent de bereikte persstraal.



- Registratie. De controle van het onderstroomproces wordt met behulp van de volgende apparaten uitgevoerd en gestuurd.
- Vijzeldrukken.
- Concentratie en de snelheid van het mengsel.
- Druk en toerental van de zandpomp.
- Registratie m<sup>3</sup> zand.
- Uitdraai van de vijzeldrukken in combinatie met concentratie/ snelheid van het mengsel.
- Tevens wordt er regelmatig een evaluatieformulier voor het onderstromen ingevuld.



*Afbeelding 8.5.15, Registratie onderstroom gegevens.*

#### **8.5.4.19 Oplegreacties**

Gegevens met betrekking tot de oplegreacties zijn:

- De twee vijzeldrukken aan de secundaire zijde.
- Minimale oplegreacties zonder scheepvaart tijdens het onderstromen.
- Minimale oplegreacties met scheepvaart tijdens het onderstromen.

**Opmerkingen**

Indien in de ontwerpfase rekening is gehouden met negatieve oplegreacties dan kan dit worden oplost door gebruik te maken van trekvijsels.

**Leermoment met betrekking tot het telemetrie-systeem**

Het telemetrie-systeem, dat gebruikt werd bij de Wijkertunnel om de registratie van de vijseldrukken over te brengen naar het onderstroomponton is regelmatig aan storingen onderhevig geweest. Om deze storingen te verhelpen moest het onderstroomproces stil worden gelegd. Hierdoor trad er een vertraging op. Het nadeel hiervan is dat sommige registraties niet geheel betrouwbaar waren.

Door de ervaring van de operators op het onderstroomponton en een snelle service van de aannemer, inzake reparaties van het telemetrie-systeem, is het onderstroomproces niet te lang opgehouden. Omdat het onderstroomproces gestuurd werd door middel van een constante leidingdruk en stroomsnelheid van het zand-watermengsel, met een variatie in de concentratie, kon in geval van het uitvallen van het telemetrie-systeem alleen water worden gedraaid. Hierdoor verzandde de leiding niet en kon het element ook niet opgetild worden.

Conclusie: Gebruik een bekend en uitgetest telemetrie-systeem.

**8.5.4.20 Opwaartse krachten**

De belasting wordt bepaald door de opwaartse kracht tijdens het onderstromen en is afhankelijk van onder andere het debiet, de concentratie en vooral de persstraal. De persstraal zo klein mogelijk houden in verband met de opwaartse kracht die door het onderstromen veroorzaakt wordt, waardoor er rekening wordt gehouden met de belastingen op de voorspanning.

**Opmerkingen**

- Bij berekening van de voorspanning wordt rekening gehouden met de onderstroombelasting.
- Indien nodig kan men nog corrigeren met de ballasttanks.

**8.5.4.21 Afsluiters**

- Aan de stalen frames aan de buitenzijde van de vloer worden, vooraf gaand aan de inundatie van het bouwdok, (al dan niet stalen) leidingen met afsluiters aangebracht.
- Afsluiters die door de duikers bediend worden, mogen niet, om welke reden dan ook, uit zichzelf open of dicht gaan. Om dit te voorkomen moet men gebruik maken van een vergrendeling met borg op de afsluiters. Tevens moet direct zichtbaar en voelbaar zijn in welke stand de afsluiter zich bevindt.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.5.12.

**8.5.4.22 PVC buizen**

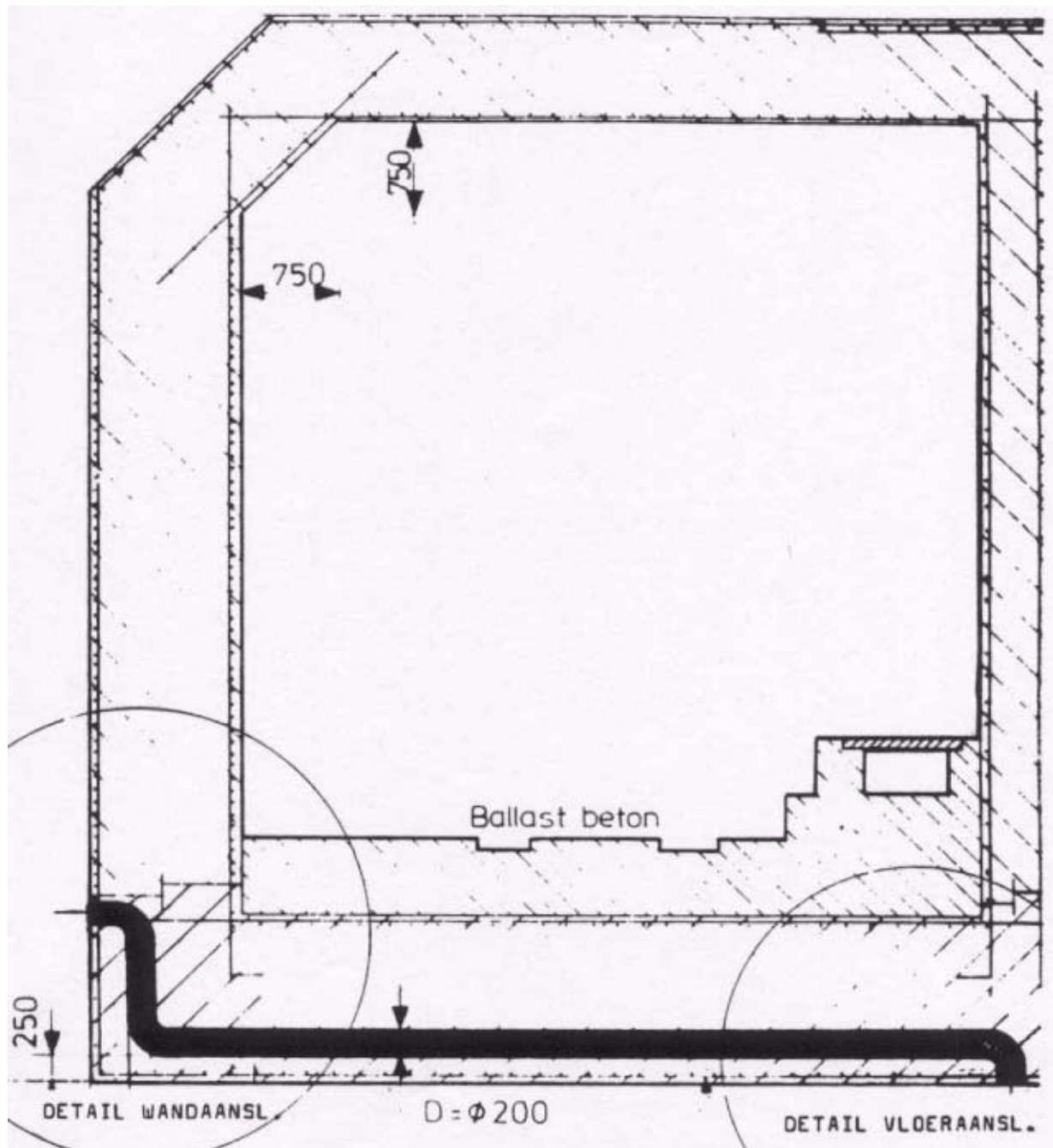
- Ten behoeve van het onderstromen met zand onder een afgezonken tunnelelement worden PVC buizen in de vloer ingestort, zie Afbeelding 8.5.16.



- Het begin van de buis komt uit aan één zijkant van de tunnelvloer in een stalen frame, waarop later de aansluitingen en/of afsluiters van de zandvulleidingen worden aangesloten.
- Het andere uiteinde van de PVC buis komt uit in de houten bodembeplating van de tunnel. De PVC buizen moeten lekdicht zijn ter plaatse van de buisnaden en de aansluiting van de buis op de houten werkvloer. Er mag geen beton in de buis lopen en in het onderliggende grindpakket. De buizen moeten gefixeerd zijn tegen opdrijven tijdens het beton storten.

**Opmerkingen**

- Buisdiameter is meestal in de orde van 200 mm.



*Afbeelding 8.5.16, Doorsnede tunnelement t.p.v. onderstroomregeling.*

#### 8.5.4.23 Nummers

Op de betonwanden wordt een tastbare belettering aangebracht voor de plaatsbepaling van duikers bij welke afsluiter zij zich bevinden om te openen of te sluiten, zie Afbeelding 8.5.12. Aan de duikerploegen wordt vooraf, in den droge, de situatie uitgelegd en geïnstrueerd.

#### Opmerkingen

- Bij het plaatsen van de nummers moeten de (on)even nummers aan dezelfde zijde van het tunnelement zitten.



- De nummers worden ook wel huisnummers genoemd, omdat men voor de nummering dezelfde soort gebakken tegels gebruikt die men bij woningen toepast.

#### **8.5.4.24 Plaatsbepaling**

Om het onderstromen vlot te laten verlopen, is een nauwkeurige plaatsbepaling nodig. Deze positiebepaling kan gerealiseerd worden door:

- Vanaf de wal een laserstraal te richten op de as van de tunnel.
- Met behulp van een afstandsmeter, die aan boord van de ponton is opgesteld, is het mogelijk de onderstroomopeningen snel te vinden.

Voor de duikers en het bedieningspersoneel kan het volgende worden toegepast:

- Namelijk door een dunne kabel te spannen tussen de twee buitenste oogbouten van opeenvolgende onderstroomopeningen, welke zich aan dezelfde kant van de tunnel bevinden. Aan deze kabel wordt een boei bevestigd, zodat als de kabel bij het onderstroomde punt wordt losgemaakt, de boei recht boven het volgende te onderspoelen punt komt. De kabel wordt tevens een goede geleiding voor de duiker bij het terugvinden van het onderstroompunt ten behoeve van de koppelprocedure. Tevens kunnen de boeien eenvoudig voorzien worden van nummers, overeenkomstig de nummering van de te onderstromen punten.



Leermoment met betrekking tot verbruikte hoeveelheden onderstroom zand.

Bij de Wijkertunnel is bij de elementen 1 tot en met 4 een verklaarbare hoeveelheid onderstroomzand verwerkt. De verwerkte hoeveelheid is systematisch hoger dan de geschatte. Dit komt voort uit het feit dat voor de schatting is uitgegaan van een helling van 1:4, voor het onderstroomzand aan de buitenzijde van het element. In werkelijkheid is deze ongeveer 1:10 gebleken, dat het extra verbruik aan zand verklaard.

Bij de Wijkertunnel is bij element 5 duidelijk meer verwerkt. Deze overschrijding is te verklaren doordat tijdens het opschonen een fout gemaakt is. Hierdoor is er, in plaats van alleen wat aanslibbing te verwijderen, over een deel van element 5 extra zand weggebaggerd. Bij element 6 is de extra hoeveelheid te verklaren doordat bij het baggeren van de tegelgaten geen onderscheid is gemaakt tussen de afzonderlijke tegelgaten. In plaats van twee afzonderlijke tegelgaten is één grote diepte ontstaan over de breedte van de zinksleuf. Ook een overmatige diepte ter plaatse van de verdieping, benodigd voor de sluitvoegkist, is oorzaak van een grotere hoeveelheid onderstroomzand dan geschat.

Conclusie: Het is duidelijk dat het baggerwerk veel aandacht vereist om de dikte van de onderstroomlaag zo goed mogelijk binnen de gestelde eisen te houden. De zettingen zouden hierdoor ongunstig beïnvloed kunnen worden. Een niet zorgvuldig aangebrachte onderstroomlaag, in combinatie met de grote dikte ervan, zou de zettingen, zowel in grootte als in tijdsduur, ongunstig kunnen beïnvloeden en een zware wissel trekken op de geplande afbouw van de tunnel. In dit geval zijn de zettingen van de tunnelelementen binnen de perken gebleven, zowel qua grootte als tijdsduur waarin deze optraden. De zettingen zijn ongeveer tussen de 25 en 30 mm geweest en na het aanvullen van het element zijn deze in relatief korte tijd, 80 % in ongeveer 10 dagen, opgetreden. In dit verband is het goed en tijdig schoonmaken van de zinksleuf van slib uitermate belangrijk. Slibinsluitingen ondermijnen het draagvermogen en vergroten dus de zettingen. Dit probleem moet niet worden onderschat.

#### **8.5.4.25 Stoppen met onderstromen**

- Er wordt gestopt met onderstromen wanneer over een behoorlijke lengte, minimaal de lengte van de theoretisch te maken zandpannenkoek, zand onder de rand van het element uitkomt en tegen de teen of wand omhoog staat. De eis is 1 meter boven onderkant vloer.
- Met behulp van een duiker zal de kopse kant van het element worden gecontroleerd op uitstroming van zand. Mocht dit het geval zijn aan de secundaire zijde dan zal dit zand moeten worden verwijderd in verband met het afzinken van het volgende tunnelelement.

#### **Opmerkingen**

Een duiker controleert dit door langs het element te lopen en op een aantal punten de afstand tussen het zand en de bovenzijde van de teen of leiding door te geven. Hierdoor krijgt de operator inzicht in de stand van het onderstromen en kan er besloten worden te stoppen of door te draaien.



Leermoment ten aanzien van de zettingen.

Bij de Wijkertunnel zijn de zettingen aan de secundaire zijde over het algemeen iets aan de hoge kant, ongeveer 10 mm. Dit zou kunnen worden verklaard uit het feit dat, tijdens het onderstromen van de elementen, de onderstroompunten niet tot de laatste zandkorrel afgeperst zijn. Het afpersen is gebeurd door, bij gelijkblijvende leidingdruk en stroomsnelheid van het zand-watermengsel, de concentratie van het mengsel te verminderen. Daarna is het onderstromen gestopt, zonder de druk en stroomsnelheid van het zand-watermengsel te verminderen. Dit houdt in dat de laatste watervoerende gootjes niet vol gezet zijn, maar dat, nadat gestopt is met onderstromen, een wateroverspanning is gebleven. Deze wateroverspanning wordt met het aflaten van de vijzels snel genivelleerd en daardoor zal het element een kleine zetting ondergaan, voordat deze daadwerkelijk op het onderstroomzand begint te dragen. Gezien het risico van het opdrukken van een element tijdens het onderstromen is de gehanteerde methode van afpersen en stoppen met onderstromen noodzakelijk. Het element wordt op wateroverspanning opgedrukt en kan niet op zand komen te liggen. Het verschil in zettingen tussen de primaire en secundaire zijde kan verklaard worden door het verschil in gewicht van de primaire en secundaire zijde. Een eventueel verschil in langshelling is in dit stadium nog niet verontrustend omdat het grootste deel van de zettingen nog dient op te treden.

Conclusie: tijdens uitvoering is alles goed verlopen. De verwachtingen waren alleen te hoog.

#### 8.5.4.26 **Afpersen onderstroompunt**

De operator op het onderstroompunt volgt en stuurt het onderstroomproces. Als de oplegdrukken of de leidingdruk toeneemt / afneemt of als de van te voren geschatte hoeveelheid bereikt wordt, dan wordt er een duiker te water gelaten om te controleren of het zand aan de zijkant onder het element vandaan komt. Zo ja, dan moet er gestart worden met het afpersen van een punt. Anders wordt er doorgegaan met het onderstromen van datzelfde punt met een frequentere controle door duikers.

##### **Opmerkingen**

- Indien met afpersen gestart kan worden dan moet men de volgende stappen aanhouden:
- Druk handhaven.
- Debiet terug.
- Zand-/watermengsel verschralen.
- Let op met verstopping "verzanding".

#### 8.5.4.27 **Aflaten (neerzetten tunnelement op zandbed)**

- Het aflaten van tunnelementen geschiedt als het volgende element is afgezonken en het betreffende element volledig is onderstroomd.
- Voordat de vijzels aan de secundaire zijde kunnen worden afgelaten wordt er eerst een kringwaterpassing van het element gemaakt en aan de hand daarvan wordt de hoogteligging bepaald. Hierna kunnen de vijzels aan de secundaire zijde worden afgelaten.



- Soms worden de tunnelementen met behulp van vier vijzels, dus geen toepassing van een neus- en kinconstructie opgelegd.

**Opmerkingen**

- Het aflaten geschiedt in stappen van 50 bar (of weergegeven in vijzelkracht) waarbij na elke stap de verplaatsing van het element wordt gemeten. Dit wordt gedaan op basis van een handmeting ter plaatse van het vijzel m.b.v. duimstok / rolmaat.
- De oliedruk in het vijzel is een afgeleide van de vijzelkracht en is afhankelijk van de diameter van de zuiger.
- De druk aan de perszijde van de pomp moet voldoende en nauwkeurig geregeld kunnen worden, omdat dit direct invloed heeft op de vijzeldrukken.

**8.5.4.28 Verwijderen vijzels**

Zodra de vijzels afgelaten zijn, kunnen deze worden ingetrokken. Daarna afbranden en rondom waterdicht aflassen. Na verwijderen vijzels kunnen de sparingen van wapening worden voorzien en worden dichtgestort.

**8.5.4.29 Ballasttanks**

Zodra de vijzels zijn afgelaten kunnen de ballasttanks worden gevuld tot de vereiste oplegdruk wordt bereikt.

**Opmerkingen**

Dit is mogelijk, omdat het tunnelement niet meer op de vijzels rust maar op het onderstroomzand. Tevens wordt hiermee het tunnelement maximaal geballast, zodat voldoende veiligheid tegen opdrijven is gegarandeerd en het element een maximale funderingsdruk heeft waarmee de eerste zettingen van de onderstroomlaag worden geïnitieerd.

**8.5.4.30 Sluitvoeg**

Nadat de sluitvoegbekisting geplaatst is, wordt de sluitvoeg als laatste onderstroomd.

**8.5.4.31 Zettingsmetingen**

Na het gereedkomen van het onderstromen en het afzetten van de elementen op het zandbed moeten er regelmatig zettingsmetingen worden uitgevoerd. Dit geschiedt door het inmeten van diverse in de wanden aangebrachte hoogtebouten.

**8.5.4.32 Noodstop**

Het registreren van de oplegdrukken dient primair als besliscriterium voor noodstops en niet voor het feitelijk sturen van het onderstroomproces.

**8.5.4.33 Noodstop procedure**

De noodstop wordt alleen toegepast wanneer er een noodsituatie is. Hieronder wordt verstaan:

- Een plotselinge overschrijding van de vijzeldrukken.
- Afnemen of nul worden van de oplegreacties.
- Afnemen van de oplegreacties door overvarende schepen.





- Een leidingbreuk.

Bij een noodsituatie moeten de volgende handelingen worden verricht:

- Zandpomp uitzetten.
- Regelbare schuif onder de doseertrechter acuut sluiten.

#### **Opmerkingen**

Zodra de zandpomp uitgezet wordt stopt de stroming in de leiding en is het onderspoelen acuut gestopt. Om te voorkomen dat de gehele leiding verzand, moeten de volgende handelingen met spoed worden verricht:

- Afsluiter nooduitgang opendraaien en de afsluiters van de onderstroomleidingen dichtdraaien.
- Zandpomp weer opstarten en de leidingen met water schoondraaien. Het mengsel zal bij het schoondraaien overboord worden gespoten.
- Indien de pannenkoek na schoondraaien nog niet voldoende gevormd is, de afsluiter van de nooduitgang dichtdraaien en de onderstroomleidingen voorzichtig opendraaien en opnieuw opstarten.

## 8.5.5 Grindbed

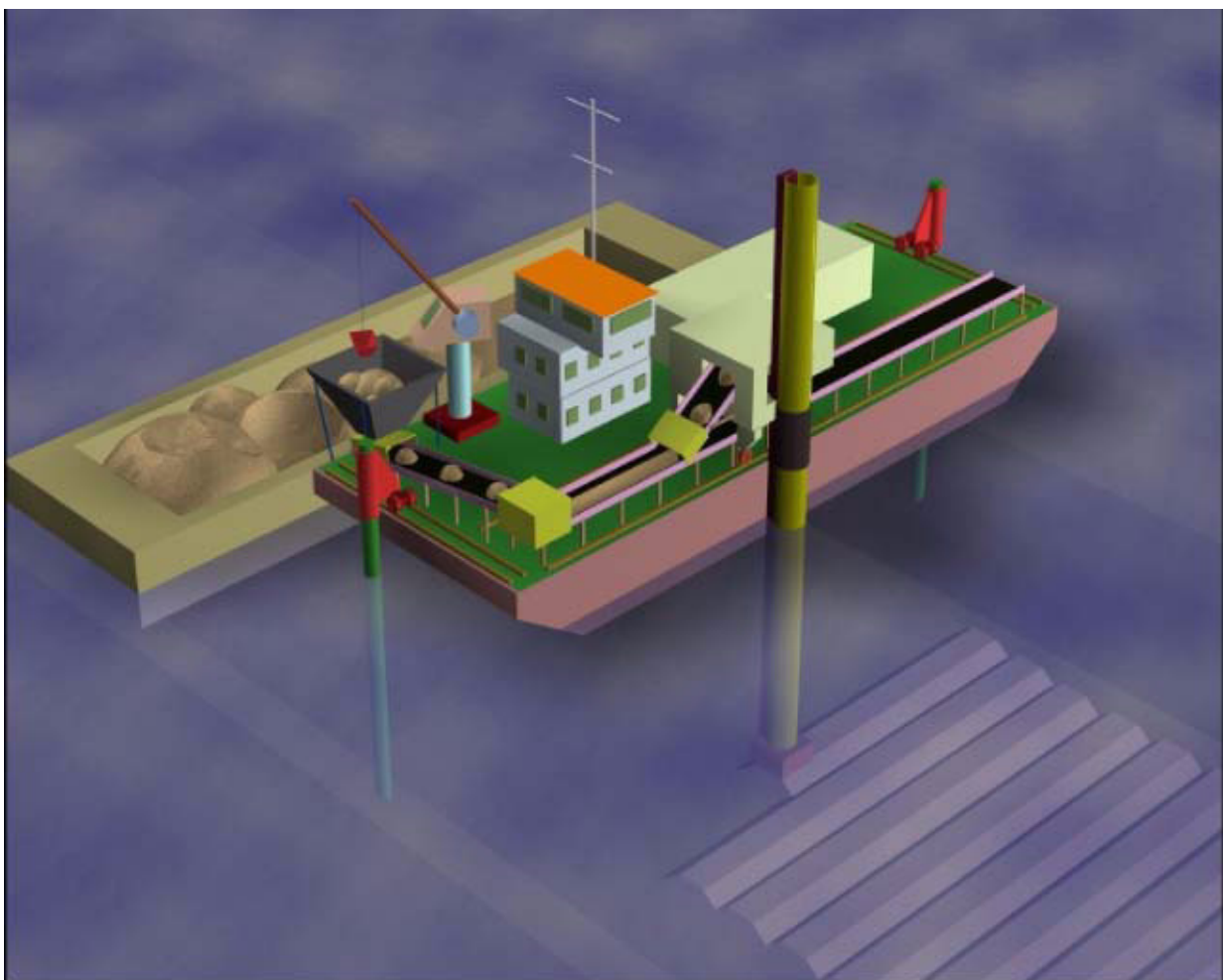
### 8.5.5.1 Maken grindbed

- Het grindbed wordt gemaakt met de grindbedlegger (GBL).
- Bij de planning dient met name rekening te worden gehouden met de benodigde tijd voor mobilisatie en demobilisatie van de GBL.

#### Opmerkingen

Denk aan de benodigde middelen (zoals spudpalen en ankers) en tijd voor het positioneren, verankeren en verplaatsen van de GBL.

Zie Afbeelding 8.5.17.



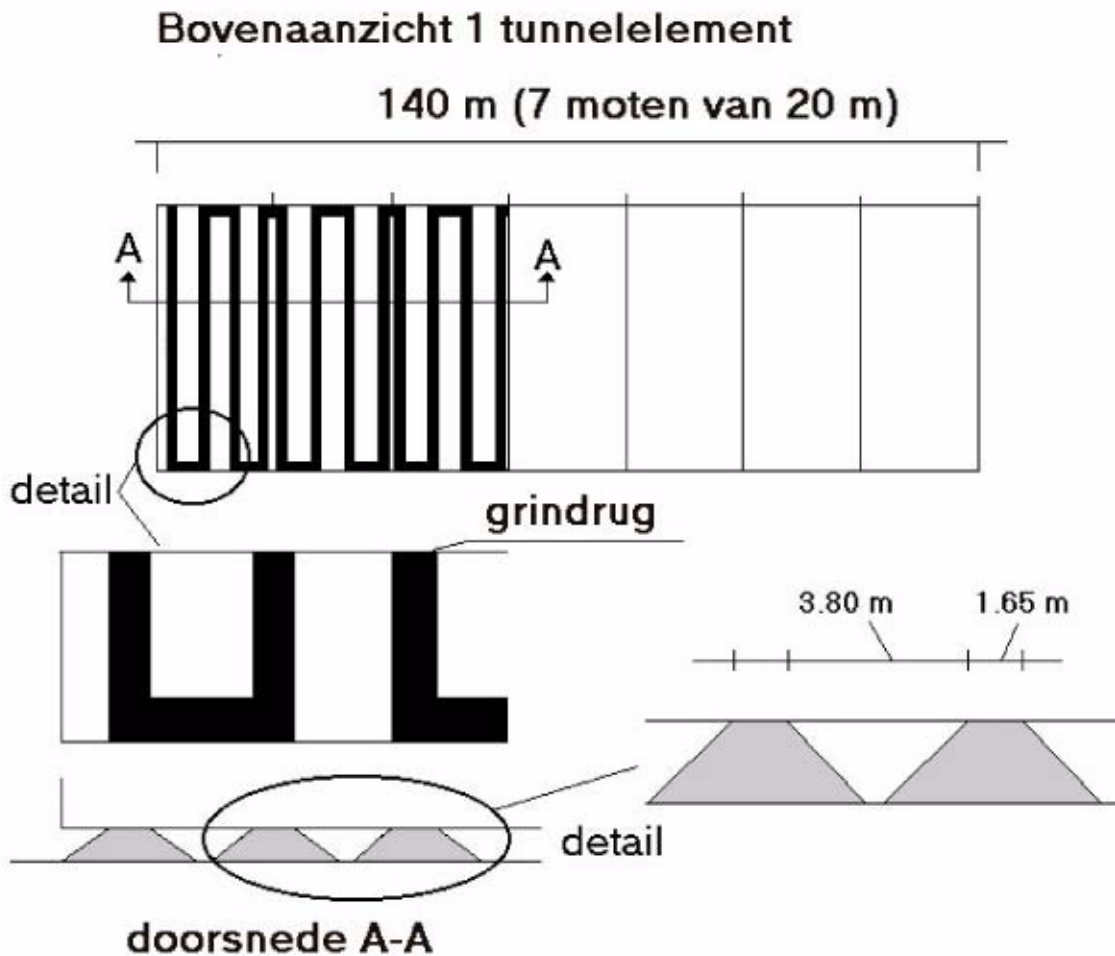
Afbeelding 8.5.17, Grindbedlegger.

### 8.5.5.2 Lay-out van het grindbed

De lay-out van het grindbed wordt bepaald door de relatie tussen het ontwerp van de tunnelelementen en de omgevingsfactoren.

#### Opmerkingen

Een aandachtspunt bij de uitvoering is de extra erosie voor en achter het grindbed. Zie Afbeelding 8.5.18.



*Afbeelding 8.5.18, Layout van het grindbed.*

### 8.5.5.3 Aantal lagen

Het aanbrengen van het grindbed in één laag of meerdere lagen is een afweging die wordt bepaald door het toe te passen systeem en de vereiste toleranties.

#### Opmerkingen

Bij de 2<sup>e</sup> Beneluxtunnel is het grindbed met een dikte van ongeveer 500 mm in een laag aangebracht.

### 8.5.5.4 De verdeling van de grindruggen in de lengterichting

De verdeling van de grindruggen in de lengterichting in relatie met het ontwerp van de tunnel (krachtwerking) vergt met name bij de voegen extra aandacht.

#### Opmerkingen

Er dient rekening te worden gehouden met de dilatatievoegen (moot-voegen), de zinkvoegen en de sluitvoeg.

**8.5.5.5 De sluitvoeg**

De sluitvoeg wordt bij de fasering van het aanbrengen van het grindbed apart beschouwd.

**Opmerkingen**

De sluitvoeg wordt niet ondersteund door het grindbed.

**8.5.5.6 Contramallen**

De vorm van het grindbed moet worden gecontramald ten opzichte van de onderzijde van het tunnelelement.

**Opmerkingen**

Van de onderzijde van de tunnelementen worden in het bouwdok d.m.v. hoogtelijnenkaarten "as-built" tekeningen gemaakt die als input dienen bij het maken van het grindbed.

**8.5.5.7 Erosie van het grindbed**

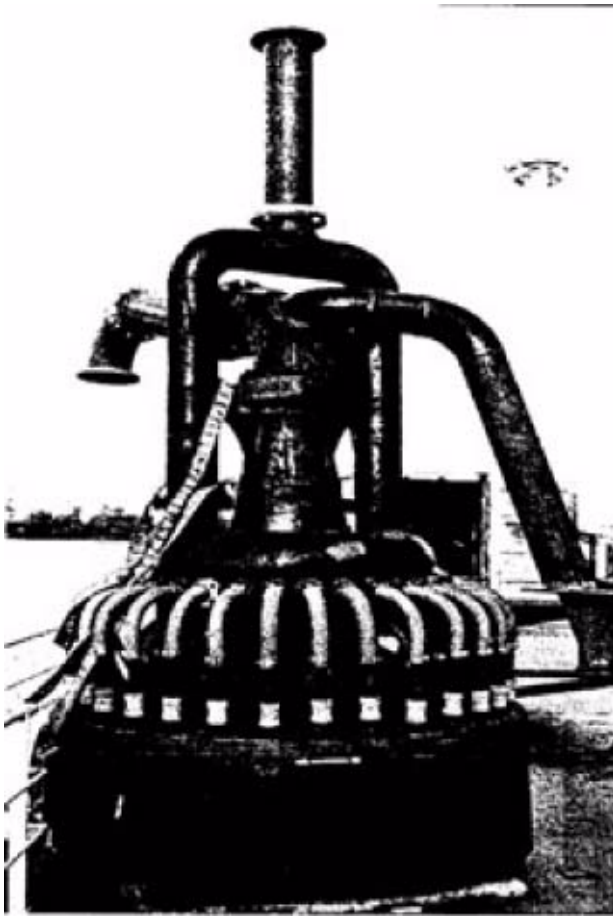
- Erosie van, voor en achter het grindbed.
- Erosie van het zinksleuftalud door het "wandelen" van de spudpalen van de GBL.

**8.5.5.8 Sedimentatie**

Sedimentatie speelt een grote rol bij het op de juiste hoogte kunnen afzinken van het tunnelelement. Om de kans op sedimentatie zo klein mogelijk te maken wordt de tijd tussen het leggen van het grindbed en het afzinken zo klein mogelijk gehouden.

**Opmerkingen**

Het grindbed kan gereinigd worden van sedimentatie door middel van een zogenoemde "jetprop" of "airlift", zie Afbeelding 8.5.19. Ook kan de stortpijp worden omgebouwd tot "stofzuiger", dit neemt echter veel tijd in beslag.



*Afbeelding 8.5.19, Pomp*

#### **8.5.5.9 Grindmigratie**

Beoordeeld wordt of het wegdrukken van het grind in de ondergrond binnen aanvaardbare grenzen blijft.

#### **8.5.5.10 Ophoping grind ter plaatse van de keerpunten van de grindruggen**

Om het risico van mogelijke ophoping van het grind aan de zijkant van het grindbed in de bochten te elimineren, kan het grindbed breder worden gemaakt dan de breedte van de tunnel. Een ophoping is mede afhankelijk van negatieve overlap.

#### **8.5.5.11 Stabiliteit**

Indien van toepassing wordt de stabiliteit van de grindrug met behulp van berekeningen beoordeeld in de diverse stadia. De stabiliteit is mede afhankelijk van de geometrie van het grindbed.

#### **Opmerkingen**

Hierbij moet worden gekeken naar de fase tussen het aanwezig zijn en het afzinken van het tunnelelement en tijdens het laten dragen van het tunnelelement.



### **8.5.5.12 Meetsysteem**

- Het bepalen van de wijze van meten geschied in relatie met de wijze van leggen van de grindbermen.
- Redundantie meetsysteem.
- Voorzieningen op het tunnelelement (waaronder de referentieplaat).
- Meetapparatuur op de wal (lasertoren).

#### **Opmerkingen**

Bij het bepalen van het toe te passen meetsysteem worden onder meer de volgende aspecten bekeken:

- Toleranties.
- Meetfrequentie.
- Onderbrekingen/storingen.
- Opstelling apparatuur (voldoen-de vrij zicht).

### **8.5.5.13 Meetinstrumenten**

- Roterende laser en laser monitor (voor verticale metingen).
- Referentiestation en DGPS (voor horizontale positionering).
- Echolood t.b.v. controle na het leggen van het grindbed op obstakels en sedimentatie.

#### **Opmerkingen**

Voor positionering in het horizontale vlak wordt gebruik gemaakt van Differential Global Positioning System (DGPS)

### **8.5.5.14 Meetprotocol en meetnauwkeurigheid**

- Het kunnen meten en de wijze waarop is afhankelijk van de weersomstandigheden (niet mogelijk bij mist/zware regen/sneeuw etc.) en van de omstandigheden onder water.
- Alleen de toppen van de grindruggen worden gemeten.
- Rekening houden met de onnauwkeurigheid van de meetinstrumenten (laser).
- Controlemeting is mogelijk door een tweede meting met een onafhankelijk signaal.

#### **Opmerkingen**

- Het controleren met behulp van een R.O.V. (Remote Operated Vehicle) was bij de 2<sup>e</sup> Benelux niet mogelijk in verband met het beperkte zicht onder water.
- Een kleine hoekverdraaiing van het laservlak kan een behoorlijke invloed hebben op de hoogteligging van het grindbed.

### **8.5.5.15 Kalibreren meetsysteem**

Geschied door gebruik te maken van twee op verschillende hoogten aangebrachte referentieplaten op de secundaire zijde van een reeds afgezonken tunnelelement. De stortpijp wordt recht daarboven neergelaten en gekalibreerd.

#### **Opmerkingen**

Het kalibreren neemt veel tijd in beslag (enkele uren).

**8.5.5.16 Meetgegevens**

Alle meetgegevens dienen conform de gestelde acceptatiecriteria gepresenteerd te worden.

**Opmerkingen**

Voor een voorbeeld van acceptatiecriteria zie de bijlage 10.5.A.

**8.5.5.17 Werkvenster**

Elementen in het werkvenster zijn:

- Zicht.
- Stroming.
- Wind.
- Waterstand (variatie en golven).
- Passerende schepen.
- Mogelijke stagnatie bij aanvoer grind.
- Sedimentatie.

**Opmerkingen**

- Ten behoeve van de scheepvaart worden corridors ingesteld.
- Het werkvenster van het grindbed is gekoppeld aan het werkvenster van het afzinken.

**8.5.5.18 Beslisplanning**

- Deze is gekoppeld aan de beslisplanning voor het afzinken.
- Indien besloten is dat de grindbedlegger uit de zinksleuf weg kan, is er geen terugkeer meer mogelijk.

**Opmerkingen**

Als de GBL uit de zinksleuf weg gaat, wordt namelijk ook het hele meetsysteem ontmanteld.

**8.5.5.19 Afzinkprocedure**

- Het tunnelement wordt op een zo'n kort mogelijke afstand van het vorige tunnelement op het grindbed neergezet.
- Daarna worden de lieren gevierd totdat wordt gevoeld dat het tunnelement het grindbed raakt. Hierbij wordt altijd gezorgd dat er kleine spanning in de draden aanwezig blijft.
- Vervolgens wordt het tunnelement weer iets opgetrokken.
- Het tunnelement wordt nu naar voren tegen de GINA aangetrokken en de afsluiter van de zinkvoeg opengezet waardoor het tunnelement tegen het vorige tunnelement wordt gedrukt. Zodra blijkt dat de GINA volledig tegen de zinkvoegomranding ligt wordt het water in de zinkvoeg verwijderd en kan het tunnelement volledig op het grindbed rusten.

**Opmerkingen**

- Het water uit de zinkvoeg wordt in de ballasttanks van het laatst afgezonken tunnelement gepompt.
- Ten behoeve van het naar voren trekken van het tunnelement tegen de GINA aan moet een voldoende krachtige lier worden ingezet.



## **8.5.6 Palen**

### **8.5.6.1 Toepassing**

- Specifiek toepassen van tunnelfundatie toegespitst op de situatie dat de tunnel afgezonken moet worden in een omgeving met hele dikke lagen van zeer slappe grondslag (veen).
- Wanneer een combinatie van grondverbetering en onderstromen / grindbed niet meer mogelijk is (kosten).

#### **Opmerking**

Dit is een permanente fundatie op palen (in tegenstelling tot de tijdelijke bij het toepassen van vijzels).

### **8.5.6.2 Grondverbetering**

Het verwijderen van de slappe lagen tot een draagkrachtige laag en weer opvullen met een coherent materiaal (bij voorkeur een steenachtig materiaal) om zettingen te voorkomen.

#### **Opmerkingen**

- Steenachtig materiaal, bij voorbeeld gebroken steen met een gradatie van 30 - 80 mm.
- Gebroken materiaal is juist geschikt omdat het niet verdicht hoeft te worden.

### **8.5.6.3 Plaatsingstolerantie palen**

Palen dienen zeer nauwkeurig aangebracht te worden.

#### **Opmerkingen**

Vanwege grote diepte en werken onderwater is dit niet altijd even eenvoudig.

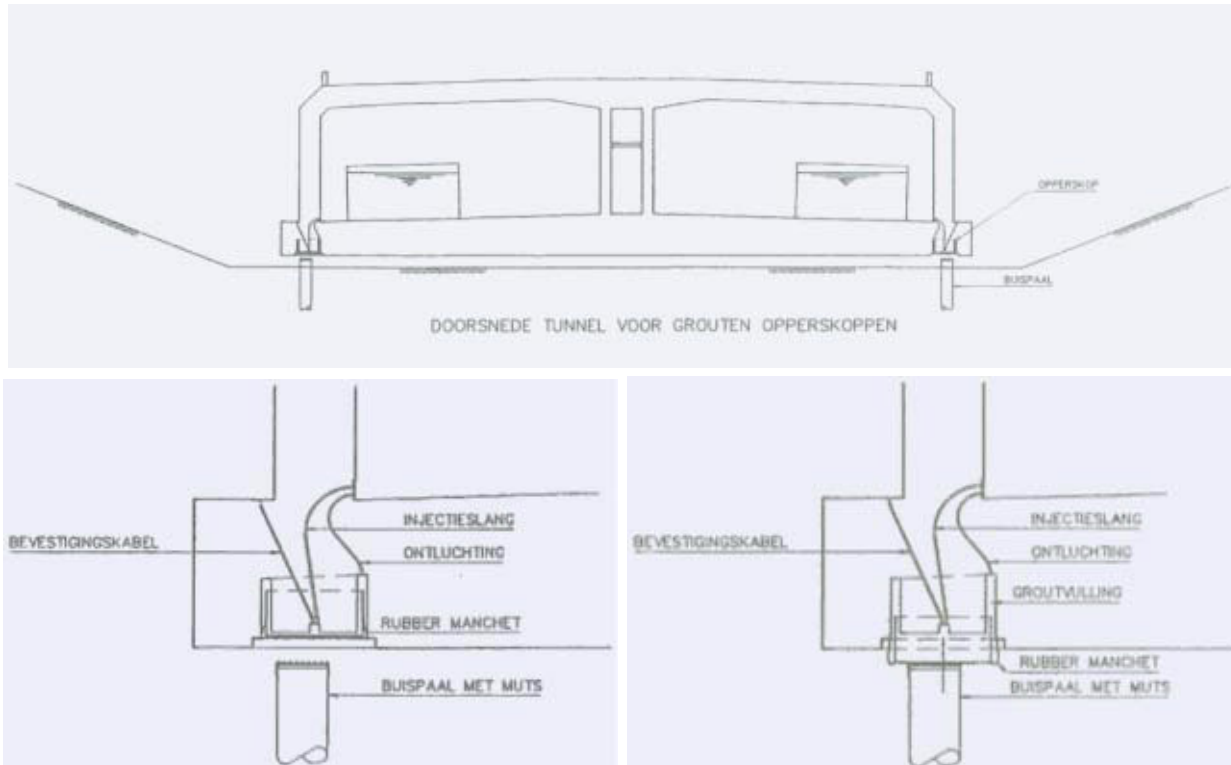
### **8.5.6.4 Plaatsing tunnelement op palen**

Om het tunnelement op de palen te plaatsen, zijn speciale grout opperskoppen ontwikkeld. Deze kunnen een geringe positie afwijking van zowel het tunnelement als de paalkop opvangen.

#### **Opmerking**

Zie Afbeelding 8.5.20 en Afbeelding 8.5.21.





*Afbeelding 8.5.20,doorsnede tunnel t.p.v. buispalen + opperskop.*



*Afbeelding 8.5.21, links opperskop (voor plaatsing in tunnelement), rechts muts voor paalkop.*

#### **8.5.6.5 Grip tussen paal en tunnelement**

Om te voorkomen dat het tunnelement gaat schuiven over de palen zijn zowel op de paalkop als op de opperskop ribbels aanwezig

##### **Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.5.21.

#### **8.5.6.6 Algemeen**

- Veel duik werk.
- Arbeidsintensief.





## Inhoudsopgave Afbouw

- 8.6.1 Intro
- 8.6.2 Zettingsverloop
  - 8.6.2.1 Algemeen
  - 8.6.2.2 Nulmeting
  - 8.6.2.3 Meting na aflaten
  - 8.6.2.4 Opstellen zettingsgrafiek
  - 8.6.2.5 Bereiken van 90 % van de eindzetting
  - 8.6.2.6 Zettingsverschillen
- 8.6.3 Verticaal evenwicht
  - 8.6.3.1 Algemeen
  - 8.6.3.2 Aanvullen zinksleuf
  - 8.6.3.3 Ballastuitwisseling in de tunnel
- 8.6.4 Dubbele waterkering
  - 8.6.4.1 Algemeen
  - 8.6.4.2 Mogelijkheden
- 8.6.5 Planning en afstemming
  - 8.6.5.1 Algemeen
  - 8.6.5.2 Discipline gebonden
  - 8.6.5.3 Interdisciplinair
- 8.6.6 Civiel technisch
  - 8.6.6.1 Algemeen
  - 8.6.6.2 ARBO-aspecten
  - 8.6.6.3 Afbouwwerkzaamheden
  - 8.6.6.4 Werkvolgorde afbouwwerkzaamheden
  - 8.6.6.5 Aanbrengen sluitvoegbekisting
  - 8.6.6.6 Aanvullen zinksleuf
  - 8.6.6.7 Sloop kopschot en de neus- en kinconstructie
  - 8.6.6.8 Aanbrengen en testen OMEGA-profiel
  - 8.6.6.9 Legen en verwijderen ballasttanks en verwijderen van de leidingen
  - 8.6.6.10 Ballastbeton
  - 8.6.6.11 Stortgrootte ballastbeton
  - 8.6.6.12 Aantal stortlagen van het ballastbeton
  - 8.6.6.13 Beheersen van scheurvorming in het ballastbeton
  - 8.6.6.14 Afbouwen van de zinkvoeg
  - 8.6.6.15 Afbouwen van de sluitvoeg
  - 8.6.6.16 Afwerken van de binnenwanden
  - 8.6.6.17 Injecteren
  - 8.6.6.18 Afwerken sparing voor vijzelpen
- 8.6.7 E/M
  - 8.6.7.1 Aanbrengen elektro-mechanische installaties



---

SAATU



## **8.6 AFBOUW**

### **8.6.1 Intro**

De afbouw begint op het moment dat het onderstroomproces is voltooid en het tunnelelement wordt afgelaten. Dat wil zeggen dat de tijdelijke opleggingen (vijzelpennen en neusconstructie) worden ontlast. Het tunnelelement gaat hierdoor op het onderstroomzand dragen. Indien wordt afgezonken op een grindbed start de afbouw op het moment dat het tunnelelement hierop draagt.

Het afbouwproces is feitelijk pas klaar op het moment dat de tunnel wordt opgeleverd.

De afbouw van het gesloten deel van de tunnel kan worden onderverdeeld in:

- a. Civieltechnische werkzaamheden buiten de tunnel.
- b. Civieltechnische werkzaamheden in de tunnel.
- c. E/M werkzaamheden in de tunnel.
- d. Bouwkundige werkzaamheden.
- e. Asfalteringswerkzaamheden.

De nadruk in dit hoofdstuk ligt op de eerste twee items.

Door heel het afbouwproces loopt een aantal rode draden, die tevens in relatie met elkaar staan, te weten:

- De zettingen van de tunnelelementen en het verschil van de zettingen tussen aansluitende tunnelelementen.
- Zekerheid met betrekking tot de waterdichtheid met als belangrijkste onderdeel: het op elk moment verzekerd zijn van een dubbele waterkering.
- Het hebben van verticaal evenwicht met voldoende marge.
- Het plannen en afstemmen van de werkzaamheden per discipline en tussen de disciplines onderling.

Om het afbouwproces beheerst te laten verlopen, wordt elke activiteit verricht op basis van werkplannen, waarin naast;

- de planning,
- werkmethode en -volgorde,
- inzet mensen, materieel en materiaal,
- controlemogelijkheden,
- wijze van registreren,

aandacht is voor de mogelijke maatregelen voor het geval dat afwijkingen worden geconstateerd.

Bij de te behandelen werkzaamheden is getracht een logische volgorde aan te houden op basis van een "standaard" tunnel. Vanzelfsprekend zal dit per tunnel moeten worden beoordeeld. Eerst worden werkzaamheden beschreven die normaal gesproken op een bepaald tijdstip dan wel in een bepaalde volgorde moeten gebeuren. Aan het einde worden nog werkzaamheden beschreven die normaal gesproken op een vrij willekeurige moment kunnen worden uitgevoerd.





## 8.6.2 Zettingsverloop

### 8.6.2.1 Algemeen

- Een tunnelement wordt bij de aansluiting aan de landhoofden circa 50 mm overhoogten gegeven, dit in verband met nazakking ten opzichten van de landhoofden. Dit wordt gedaan voor het behoud van het profiel van vrije ruimte.
- Als de bovenbelasting op het tunnelement groot is (door grondaanvulling), worden er berekeningen gemaakt om de te verwachten extra zettingen te bepalen.
- Door de vele externe en interne variabelen en spreiding in (grond)eigenschappen is het nauwelijks mogelijk om vooraf op basis van berekeningen het exacte verloop en de eindwaarde van de zetting nauwkeurig te voorspellen. Echter van eerdere afzinktunnels zijn ervaringscijfers beschikbaar waardoor wel een kwalitatieve vergelijking mogelijk is.
- Het verloop en de eindwaarde worden per tunnelement daarom bepaald door het registreren en in een grafiek uitzetten van zettingsmetingen.

### 8.6.2.2 Nulmeting

- De start van de metingen van de zettingen, de zogenoemde nulmeting, gebeurt op het moment dat een tunnelement is afgezonken, net voor het aflaten, maar nog wel op de tijdelijke ondersteuning staat.
- De nulmeting moet altijd van een vaste hoogte geschieden en niet van een naastgelegen tunnelement gezien het feit dat deze een extra belasting heeft verkregen t.g.v. opleggen laatst afgezonken element op secundaire zijde voorgaande tunnelement.

#### Opmerkingen

De eerste meting wordt meestal door de geopende kopschotdeuren heen verricht vanuit de naastgelegen tunnelement(en).

### 8.6.2.3 Meting na aflaten

Direct na het aflaten vindt opnieuw een meting plaats. De gevonden meetwaarde geeft een indicatie van de kwaliteit van het onderstroomproces.

#### Opmerkingen

Bij het op hoogte stellen van de tegels voor de vijzelpennen is reeds rekening gehouden met de te verwachten zettingen (zo'n 10 a 30 mm) gebaseerd op ervaringsgegevens.

### 8.6.2.4 Opstellen zettingsgrafiek

- Na het aflaten worden gedurende de eerste weken geregeld de zettingen gemeten (b.v. 3 maal per week).
- Aan de hand van de metingen wordt per tunnelement een zettingsgrafiek gemaakt. Na enkele weken meten kan op basis van de vorm en ontwikkeling van de grafiek worden bepaald welke eindzetting mag worden verwacht.



**Opmerkingen**

- Afhankelijk van de ontwikkeling van de zetting kan worden bekeken met welke frequentie moet worden doorgedaan met meten en wanneer kan worden gestopt.
- In de grafiek moeten verder de belangrijkste werkzaamheden c.q. belastingen in en op een tunnelement worden vastgesteld.

**8.6.2.5 Bereiken van 90 % van de eindzetting**

Op basis van de zettingsgrafiek kan het moment van het bereiken van de 90 % van de eindzetting worden beredeneerd.

**Opmerkingen**

De 90 % grens wordt in het bestek vaak opgegeven als tijdstip waarop met bepaalde werkzaamheden mag worden begonnen. De 100 % eindzetting is net aan te geven (wanneer wordt deze bereikt?).

**8.6.2.6 Zettingsverschillen**

- Het verloop van de zettingsverschillen tussen twee tunnelementen ter plaatse van de zinkvoeg (of de sluitvoeg) dan wel tussen een landhoofd en het aansluitende tunnelement bepaalt eveneens de mogelijke start van bepaalde werkzaamheden.
- Omdat het zettingsverschil tussen het landhoofd en het aansluitende tunnelement groter is dan tussen twee onderling aansluitende tunnelementen, wordt meestal getracht de sluitvoeg tussen twee tunnelementen te maken (tevens is dan ook de werkruimte om de sluitvoeg te maken groter).

**Opmerkingen**

De eis is meestal dat het zettingsverschil nagenoeg nul moet zijn. Hierbij spelen met name de volgende twee aspecten een rol:

- Het optreden van enig zettingsverschil nadat de sluit- dan wel zinkvoegconstructie is gerealiseerd, zou tot ontoelaatbare dwarskrachten (en dus scheurvorming) kunnen leiden.
- Indien na het storten van de bovenste laag van het ballastbeton en daarmee het vastleggen van het definitieve verticaal alignement nog enig zettingsverschil optreedt, zou dit kunnen leiden tot hinderlijke knikken in het verticaal alignement.



### **8.6.3 Verticaal evenwicht**

#### **8.6.3.1 Algemeen**

In elke fase van het afbouwproces en bij alle (relevante) activiteiten zal steeds aandacht moeten zijn voor het verticaal evenwicht. De veiligheid tegen opdrijven is hierbij primair.

##### **Opmerkingen**

De in de diverse fasen van de afbouw aanwezige funderingsdruk is echter ook van belang voor de ontwikkeling van de zettingen.

#### **8.6.3.2 Aanvullen zinksleuf**

- Zodra het mogelijk is, wordt begonnen met het aanvullen van de zinksleuf naast de tunnel en boven de tunnel.
- Zolang de zinksleuf nog niet is aangevuld, moet rekening worden gehouden met belastingen ten gevolge van overvarende schepen en mogelijk andere door de "waterweg" veroorzaakte belastingen.

##### **Opmerkingen**

Naast het belang voor het verticale evenwicht is het zekerstellen van de tunnel tegen horizontale verplaatsing en het beschermen tegen invloeden van buitenaf zeker zo belangrijk. Om het aanvullen beheerst te laten verlopen, kan gebruik worden gemaakt van een zogenoemd sproeiponton. De aanvulling van de zinksleuf moet aan weerszijde gelijkmatig worden opgebouwd met een maximaal verschil in hoogte van 1 meter.

#### **8.6.3.3 Ballastuitwisseling in de tunnel**

Van geval tot geval moet worden beoordeeld of compensatie noodzakelijk is voor te verwijderen onderdelen en zo ja op welke wijze en in welke volgorde. Zie verder bij "Civiel Technisch".





## **8.6.4 Dubbele waterkering**

### **8.6.4.1 Algemeen**

Uit veiligheidsoogpunt is vereist dat altijd een dubbele waterkering in elk stadium van het afbouwproces aanwezig moet zijn.

#### **Opmerkingen**

ARBO nagaan.

### **8.6.4.2 Mogelijkheden**

Een dubbele waterkering is:

1<sup>e</sup>: Een GINA-profiel en een Omega-profiel

of

2<sup>e</sup>: Een GINA-profiel en een actief kerend kopschot.

#### **Opmerkingen**

Door de volgorde van de werkzaamheden tijdens de afbouw leidt dit normaal gesproken niet tot problemen. Tussen het moment dat het OMEGA-profiel kan worden gemonteerd en getest (te maken met het zettingsverschil) en het kunnen slopen van de kopschotten op de betreffende zink- of sluitvoeg (ballastuitwisseling heeft plaatsgevonden) is voldoende tijd beschikbaar, zodat deze eis in de praktijk geen probleem veroorzaakt voor het kritieke pad van de planning.





## **8.6.5 Planning en afstemming**

### **8.6.5.1 Algemeen**

Het tijdstip waarop bepaalde werkzaamheden en de volgorde waarin deze plaats moeten vinden, worden bepaald door de randvoorwaarden gesteld vanuit de zettingseisen, het verticaal evenwicht of de dubbele waterkering.

#### **Opmerkingen**

Alle werkzaamheden worden in een planning vastgelegd. Tevens wordt hierin de onderlinge relatie en afhankelijkheid aangegeven.

### **8.6.5.2 Discipline gebonden**

Per deelactiviteit kan het noodzakelijk zijn een bepaalde volgorde van werken aan te houden. Hiermee zal in de planning rekening moeten worden gehouden.

#### **Opmerkingen**

In de volgende paragrafen zullen een aantal deelactiviteiten en de relatie tot elkaar worden behandeld.

### **8.6.5.3 Interdisciplinair**

Bij het plannen van de werkzaamheden van de verschillende disciplines moet rekening worden gehouden met een (mogelijke) onderlinge afhankelijkheid van activiteiten. Er moet worden gewaakt voor de aanwezigheid van te veel materieel, materiaal en personeel, zodat de uitvoeringsactiviteiten beheersbaar en veilig blijven.

#### **Opmerkingen**

Bij voorbeeld het gebruiken van dezelfde (smalle) transportroutes, zoals noodbruggetjes, door meerdere partijen kan tot slecht beheersbare en zelfs gevaarlijke situaties leiden. Het vroegtijdig betrekken bij de planning van de civiel technische afbouwwerkzaamheden van met name de E/M installateur is aan te bevelen.





## **8.6.6 Civiel technisch**

### **8.6.6.1 Algemeen**

In deze paragraaf zullen eerst de civieltechnische werkzaamheden worden beschreven buiten de tunnel en op het grensvlak van de tunnel. Daarna volgen de civiel technische werkzaamheden binnen het gesloten deel van de tunnel. In de kolom met de opmerkingen worden, naast de opmerkingen zelf, indien van toepassing, de meest relevante relaties met de randvoorwaarden, dan wel andere werkzaamheden aangegeven.

#### **Opmerkingen**

Aandachtspunt bij de afbouw is het lassen aan thermisch verzinkte onderdelen. Door het lassen aan deze onderdelen gaat het thermisch verzinkte verloren en deze is moeilijk te repareren. Daarnaast komen bij deze werkzaamheden giftige dampen vrij die schadelijk zijn voor de gezondheid. Derhalve mogen deze werkzaamheden niet in een afgesloten ruimte worden uitgevoerd.

### **8.6.6.2 ARBO-aspecten**

Specifieke ARBO-aspecten bij de afbouw zijn:

- Goede verlichting.
- Verse lucht.

### **8.6.6.3 Afbouwwerkzaamheden**

Buiten de tunnel en op het grensvlak:

- Aanbrengen wiggen en sluitvoegbekisting.
- Aanvullen zinksleuf.

Binnen de tunnel:

- Aanbrengen en testen OMEGA-profiel.
- Doorslijpen voorspanning na neerzetten tunnelelement op onderstroombed.
- Sloop kopschot en de neus- en kinconstructie.
- Afwerken dilatatievoegen.
- Ballastbeton (meestal 2 lagen).
- Legen en verwijderen ballasttanks en verwijderen van de leidingen.
- Afbouwen van de zinkvoegen.
- Afbouwen van de sluitvoeg.
- Afwerken van de binnenwanden.
- Injecteren (lekkages algemeen).
- Afwerken sparing voor vizelpen.
- Afwerken middentunnelkanaal in verband met voortgang aanbrengen E/M.
- Injecteren doorvoer toegangsschacht-

#### **Opmerkingen**

- De in te storten onderdelen dienen minimaal thermisch verzinkt of van RVS te zijn. Bij thermisch verzinken kunnen er, zonder aanvullende maatregelen, geen laswerkzaamheden meer plaatsvinden.
- Verder dient er ook aandacht te zijn voor de tijdelijk ingestorte onderdelen, zoals ankerplaten, kopschotstijlen en kraanrailprofielen.



- Het toepassen van epoxy-mortel voor het uitvoeren van reparaties (b.v. afwerken injectiepijpjes W9U-I profiel) dient te worden vermeden. Wel toepassen van cement gebonden mortel.
- Voor de verdere afbouw van de zinkvoegen dient grenen of vurenhout gebruikt te worden.

#### **8.6.6.4 Werkvolgorde afbouwwerkzaamheden**

Denk hierbij aan het:

- Doorslijpen voorspanning (gelijktijdig of parallel aan storten ballastbeton).
- Aanbrengen van de riolering (gelijktijdig of parallel aan storten ballastbeton).
- Aanbrengen van de geleide- barrier.
- Asfalteren.

#### **Opmerkingen**

- Indien voor de werkzaamheden in de constructie moet worden geboord (volgens boorplan), moet worden gewaakt dat kritische onderdelen worden beschadigd.
- Een mogelijkheid is het instorten van de rioleringsbuizen in het ballastbeton.

#### **8.6.6.5 Aanbrengen sluitvoegbekisting**

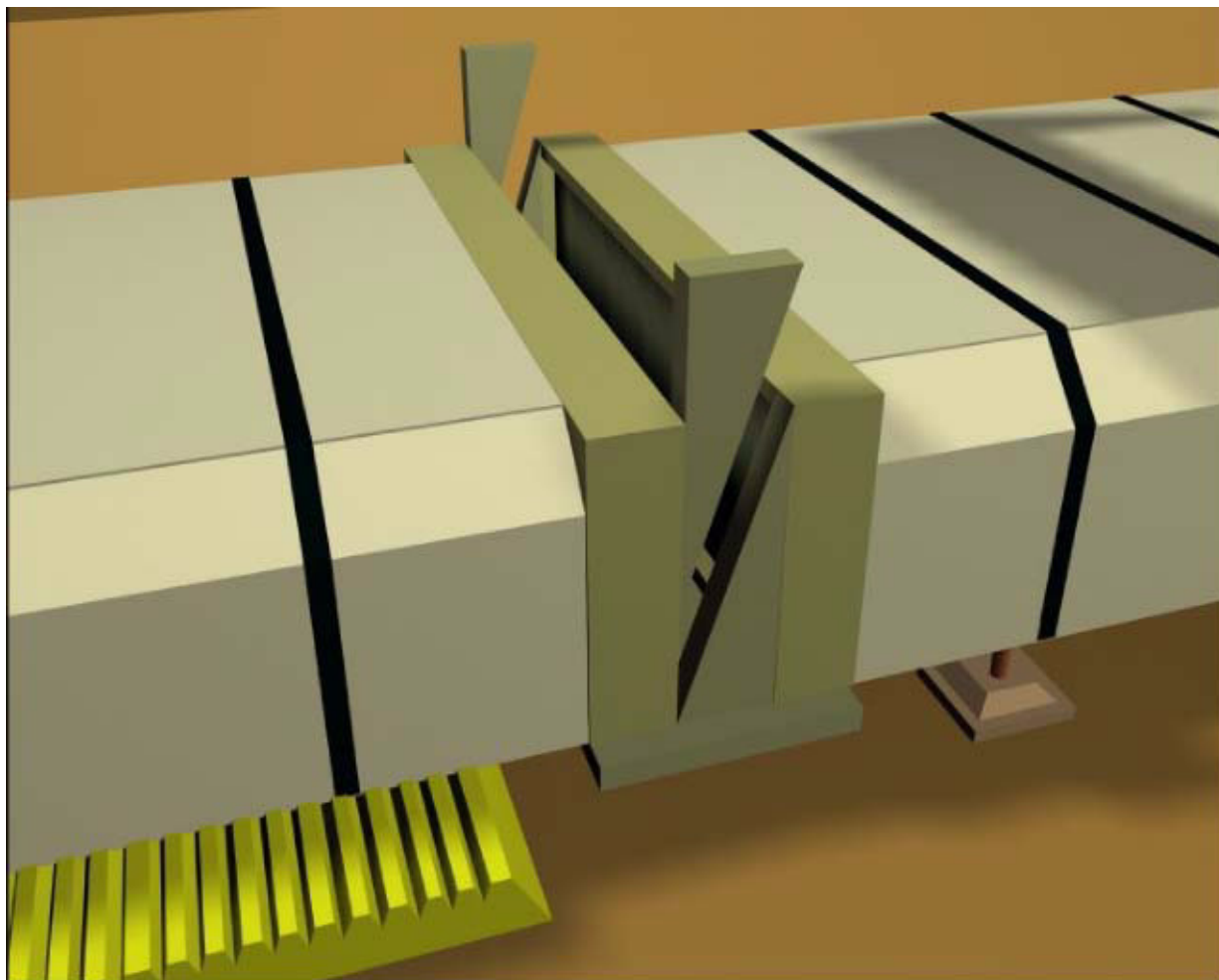
- Deze speciale constructie moet waterafsluitend worden aangebracht. Afhankelijk van de werkmethode is dit een verloren kist.
- De wigconstructie wordt na bevestiging van het bodemschot aangebracht, zie Afbeelding 8.6.2.

#### **Opmerkingen**

Indien de "dakbekisting" wordt verwijderd, moet dit uiteraard gebeuren nadat het beton is aangebracht en voordat de zinksleuf is aangevuld. Zijbekisting blijft zitten. Zie Afbeelding 8.6.1 en bijlage 10.6.B.



*Afbeelding 8.6.1, Sluitvoeg.*



Afbeelding 8.6.2, Wigconstructie van de sluitvoeg.

#### 8.6.6.6 Aanvullen zinksleuf

- Om horizontale verplaatsing van de tunnel te voorkomen, moet bij het aanvullen van de zinksleuf naast de tunnel met aanvulzand ervoor worden gewaakt dat er te grote hoogteverschillen ontstaan aan weerszijde van de tunnel.
- Nadat de zijkanten zijn opgevuld wordt bovenop de tunnel nog een laag aanvulzand, met daarop een bodembescherming, aangebracht.

#### Opmerkingen

- Meestal wordt de eerste laag 1 meter aan een zijde en dan om en om 2 meter opgehoogd. Een hoogteverschil van 1 meter wordt toelaatbaar geacht. De gronddekking op de tunnel is meestal ter plaatse van de kim het minst (minimaal 1 meter).
- De gronddekking geeft tevens extra reserve voor het verticaal evenwicht. Deze laag zorgt onder meer voor bescherming tegen invloeden van buitenaf, zoals vallende en krabbende ankers.



### 8.6.6.7 Sloop kopschot en de neus- en kinconstructie

Bij het slopen van het kopschot en de kin- en neusconstructie moet worden gezorgd dat vitale onderdelen, zoals het OMEGA-profiel, goed worden beschermd (b.v. met zand of met bielzen in het vloergedeelte) en niet kunnen worden beschadigd.

#### Opmerkingen

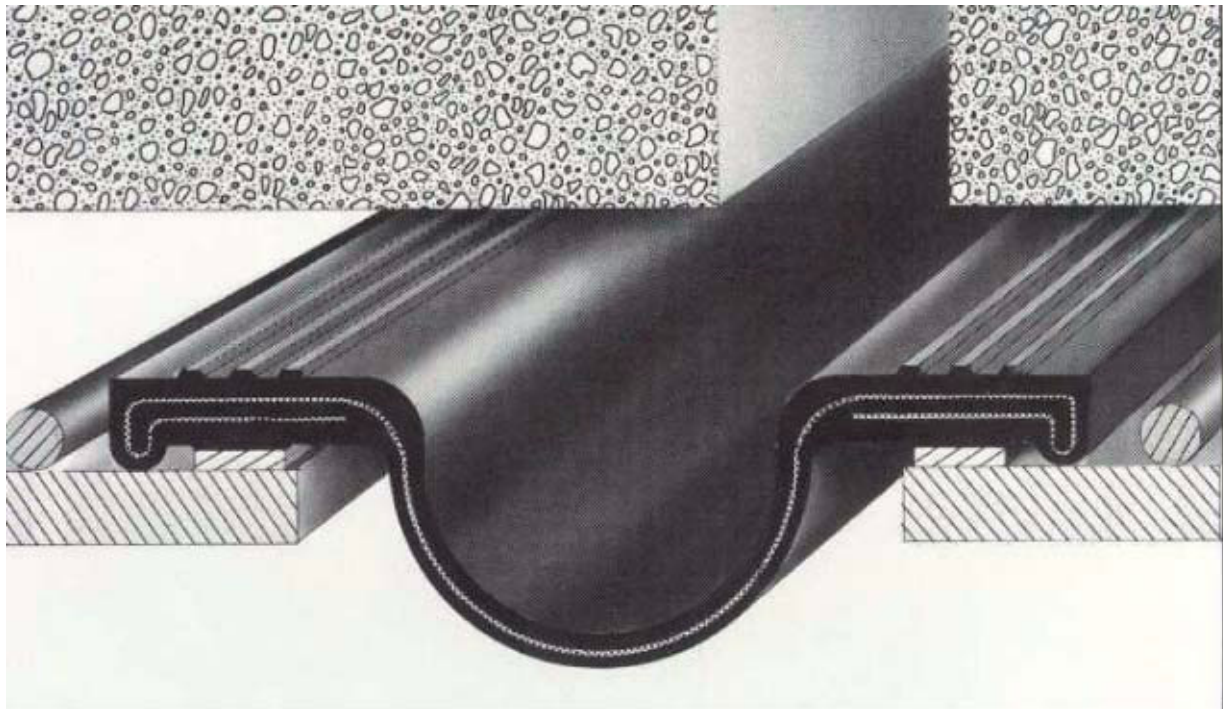
- Het tijdstip van kunnen slopen hangt samen met het voldoen aan eisen van de dubbele waterkering en het verticaal evenwicht.
- De neus- en kinconstructie worden gesloopt om geen aftekening van deze constructie in het tegelwerk te krijgen.

### 8.6.6.8 Aanbrengen en testen OMEGA-profiel

- Gestart wordt met het controleren van de waterdichtheid van op de aansluitingen bij de zinkvoegomranding.
- Daarna wordt het OMEGA-profiel d.m.v. een klemconstructie op de zinkvoegomranding vastgezet. De bouten worden hierbij met een momentsleutel dan wel geijkte pneumatische moeraanzetter op spanning gebracht om verzekerd te zijn van voldoende klemkracht.
- Vervolgens wordt de OMEGA-constructie getest op waterdichtheid door middel van afpersen (meestal met water) gedurende 24 uur.

#### Opmerkingen

- Controle van de klemkracht kan door middel van een momentsleutel of een holle vijzel.
- De nog te verwachten zettingsverschillen tussen de betreffende tunnelelementen moeten kleiner zijn dan 30 mm voordat met het aanbrengen mag worden begonnen.
- In betonwerk stalenomranding opnemen. Zie Afbeelding 8.6.3 en bijlage 10.6.A.



Afbeelding 8.6.3, OMEGA-profiel.

#### 8.6.6.9 **Legen en verwijderen ballasttanks en verwijderen van de leidingen**

In samenhang met het aanbrengen van ballast op- en in de tunnel worden op een gecontroleerde wijze de ballasttanks leeggepompt en verwijderd. Meestal wordt het langsledingsysteem niet direct verwijderd. Deze kan bij latere werkzaamheden van nut zijn om eventueel afvalwater af te voeren.

##### **Opmerkingen**

Het tijdstip wordt bepaald door de eisen ten aanzien van het verticaal evenwicht. Denk hierbij aan bij voorbeeld het legen en verwijderen van de ballasttanks en het slopen van de kopschotten. De meest voor de hand liggende compensatie maatregel is het aanbrengen van (de eerste laag) ballastbeton in de nabijheid van de te legen en te verwijderen ballasttank of te slopen kopschotten. De langsledingen hebben dus in feite een dubbele functie.

#### 8.6.6.10 **Ballastbeton**

Bij de keuze voor de wijze van aanbrengen van het ballastbeton spelen verschillende aspecten een rol, onder meer:

- De stortgrootte.
- Het aantal stortlagen.
- Scheurvorming door krimpverkorting.

##### **Opmerkingen**

Het tijdstip en volgorde van aanbrengen wordt bepaald door de eisen ten aanzien van het verticaal evenwicht en daarmee ook van de ballastuitwisseling met de te verwijderen ballasttanks.



#### **8.6.6.11 Stortgrootte ballastbeton**

Hiervoor zijn grofweg twee mogelijkheden / principes:

- Storten per moot van dilatatievoeg naar dilatatievoeg. Hierbij wordt op de voeg een bekisting aangebracht.
- Storten per tunnelement van zinkvoeg naar zinkvoeg. Hierbij wordt na circa 2 dagen ter plaatse van de dilatatievoegen een zaagsnede aangebracht.

De naden in het ballastbeton worden opgevuld om vuilophoping in deze naden te voorkomen.

##### **Opmerkingen**

Bij het zagen voorkomen dat de onderliggende constructies worden beschadigd.

#### **8.6.6.12 Aantal stortlagen van het ballastbeton**

Het ballastbeton wordt in twee lagen gestort. De afweging hiervan heeft enerzijds te maken met de ontwikkeling van de zettingen in relatie met het definitieve verticale alignement en anderzijds met de beheersbaarheid van scheurvorming. Indien het zettingsgedrag van het tunnelement dit toelaat, zou de ballastlaag in een keer op de juiste hoogte kunnen worden afgewerkt. Meestal wordt echter het ballastbeton in twee lagen aangebracht, zodat met de 2<sup>e</sup> laag het juiste wegprofiel kan worden aangebracht (ten behoeven van het asfalt). Bij het in twee lagen storten moet ervoor worden gezorgd dat de tweede laag voldoende hecht aan de eerste laag en voldoende samenhang heeft om losliggende schollen beton te voorkomen. De bovenzijde van de eerste laag moet schoon en enigszins ruw zijn om een goede aanhechting te krijgen. Om voldoende samenhang te hebben wordt voor de tweede laag meestal een minimale laagdikte van 150 mm aangehouden.

#### **8.6.6.13 Beheersen van scheurvorming in het ballastbeton**

Om de scheurvorming van met name het bovenste gedeelte van het ballastbeton te beheersen, kan - naast betontechnologische en uitvoeringstechnische maatregelen - worden gekozen om de laag te versterken.

##### **Opmerkingen**

Als versterking kunnen onder meer worden genoemd:

- Het aanbrengen van wapeningsstaal in de vorm van bouwstaalnetten.
- Het toevoegen van (staal / kunststof) vezels aan de betonspecie.

Elke methode heeft zijn eigen voor- en nadelen.

#### **8.6.6.14 Afbouwen van de zinkvoeg**

- Om het OMEGA-profiel wordt een beschermconstructie aangebracht. Daarna wordt de wapening en eventuele andere in te storten voorzieningen, zoals afvoerbuisjes voor eventueel lekwater, aangebracht. Vervolgens wordt afhankelijk van de situatie de betonspecie aangebracht door middel van storten of spuiten.
- Als laatste wordt de resterende hittewerende bekleding aangebracht.

##### **Opmerkingen**

De zinkvoeg kan pas worden afgebouwd als het OMEGA-profiel is aangebracht en getest. Daarnaast moeten ook de betreffende kopschotten en kin- en neusconstructie zijn verwijderd.



Zie bijlage 10.6.A.

#### **8.6.6.15 Afbouwen van de sluitvoeg**

- In tegenstelling tot de zinkvoeg wordt ten behoeve van de tweede waterkering niet gewerkt met een OMEGA-profiel maar gebruik gemaakt van W9U-I profielen.
- De verdere afbouw is gelijk aan de zinkvoeg.

##### **Opmerkingen**

De kopschotten ter plaatse van de sluitvoeg kunnen pas worden verwijderd als de betonconstructie met de W9U-I is aangebracht. De betonconstructie wordt ook wel in 3 lagen gemaakt. Kopschotten slopen als het betondicht is.

Zie bijlage 10.6.B.

#### **8.6.6.16 Afwerken van de binnenwanden**

Het afwerken van de binnenzijde van wanden van de tunnelbuis bestaat uit het betegelen hiervan. Ter plaatse van de dilatatievoegen wordt flexibele voegvulling (acmé) toegepast.

#### **8.6.6.17 Injecteren**

Ondanks alle voorzorgen en maatregelen moet in de afbouwfase rekening worden gehouden met het optreden van lekkages.

##### **Opmerkingen**

Een veel toegepaste reparatietechniek hiervoor is injecteren. Per type lekkage en plaats zal beoordeeld moeten worden wat de mogelijke oorzaak is, welke werkmethode, soort injectievloeistof, wijze van registreren en controleren het beste is.

#### **8.6.6.18 Afwerken sparing voor vijzelpen**

Nadat het tunnelelement is afgelaten op het onderstroomzand, wordt de vijzelpen opgevijzeld zodat deze binnen is, en hierna rondom waterdicht vastgelast. Daarna wordt wapening aangebracht en de sparing volgestort met beton.

##### **Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.6.4.



*Afbeelding 8.6.4, Sparing ter plaatsen van vijzelpen.*

**8.6.7 E/M****8.6.7.1 Aanbrengen elektro-mechanische installaties**

De werkzaamheden in het middenkanaal en de tunnelbuizen op het gebied van E/M installaties vergt een gedegen afstemming met de civiel technische en bouwkundige werkzaamheden. Met sommige onderdelen kan de E/M installateur direct na het afzinken starten, hierbij kan worden gedacht aan:

- Het aanbrengen van kabelgoten in het middenkanaal tussen de sluitvoegen in.
- Het aanbrengen van (tijdelijke/nood) verlichting.

**Opmerkingen**

Bij het eventueel moeten boren in de constructie ten behoeve van de bevestiging van E/M-installaties moet ervoor worden gewaakt dat kritische onderdelen worden beschadigd. Het is derhalve noodzakelijk dat bij aanvang van het boren het boorplan is goedgekeurd. De oplevering van de E/M installaties, in met name het middenkanaal, kan als één van de meest kritische onderdelen worden beschouwd. In de ontwerpfase c.q. uitvoeringsfase moeten reeds voorzieningen voor de bevestiging van de E/M installaties worden meegenomen. Voor een overzicht van de E/M installaties wordt verwezen naar SATO deel 7.







## Inhoudsopgave Beheer en onderhoud

- 8.7.1 Intro
- 8.7.2 Processtappen
  - 8.7.2.1 Startfase
  - 8.7.2.2 Inventarisatiefase
  - 8.7.2.3 Inspectie- en onderhoudsfase
  - 8.7.2.4 Adviesfrequentie fase
  - 8.7.2.5 Gegevensopslag fase
- 8.7.3 Inspectie
  - 8.7.3.1 Vormen van inspectie
  - 8.7.3.2 0-inspectie
  - 8.7.3.3 Functionele inspectie
  - 8.7.3.4 Technische inspectie
  - 8.7.3.5 Kwaliteitsinspectie
  - 8.7.3.6 Speciale inspecties
  - 8.7.3.7 Meetmethoden bij inspecties
  - 8.7.3.8 Inspectie Civiel en Bouwkundig
  - 8.7.3.9 Inspectierapport
- 8.7.4 Onderhoud
  - 8.7.4.1 Vormen van onderhoud
  - 8.7.4.2 Storing Afhankelijk Onderhoud (SAO)
  - 8.7.4.3 Gebruik Afhankelijk Onderhoud (GAO)
  - 8.7.4.4 Toestand Afhankelijk Onderhoud (TAO)
  - 8.7.4.5 Onderhoudsproces
  - 8.7.4.6 Beheersproces
  - 8.7.4.7 Onderhoudsstrategie
  - 8.7.4.8 Onderhoudseisen
  - 8.7.4.9 Onderhoudshandleiding
  - 8.7.4.10 EM-gedeelte
  - 8.7.4.11 Onderhoudsadvies Civiel gedeelte
  - 8.7.4.12 Instandhouding
- 8.7.5 Garantstellingen
  - 8.7.5.1 Civiele constructies
  - 8.7.5.2 Bouwkundige gedeelte
  - 8.7.5.3 EM-gedeelte



---

SAATU



## 8.7 BEHEER EN ONDERHOUD

### 8.7.1 Intro

#### Omschrijving

Dit hoofdstuk is nogal aan wijzigingen onderhevig. De tekst dient dan ook als TER INFORMATIE bekeken te worden.

Getracht moet worden van de voorgaande processen risico's en knelpunten te inventariseren en te evalueren die van invloed zijn op het civieltechnisch beheer en onderhoud van de tunnel. Na deze inventarisatie en evaluatie kunnen beheersmaatregelen worden genomen om het beheer en onderhoud te optimaliseren ten einde tot een juiste verhouding tussen kosten en kwaliteit te komen.

Het doel van beheer en onderhoud is om te voorkomen dat zich ernstige calamiteiten voordoen en dat er een onnodig snelle achteruitgang in waarde en levensduur van de tunnel plaats vindt. Daarvoor dienen er regelmatig onderdelen te worden geïnspecteerd en te worden onderhouden. Om dit te realiseren wordt er een onderhoudshandboek opgesteld.

Het proces van beheer en onderhoud moet zijn gebaseerd op een terugkerend patroon. Dit terugkerend patroon moet periodiek zijn. Er moet als het ware een continue "loop" worden doorlopen. De periode waarover dit gebeurt, hangt af van de te beheren en onderhouden constructie. Binnen het terugkerende patroon onderscheiden we de volgende fasen:

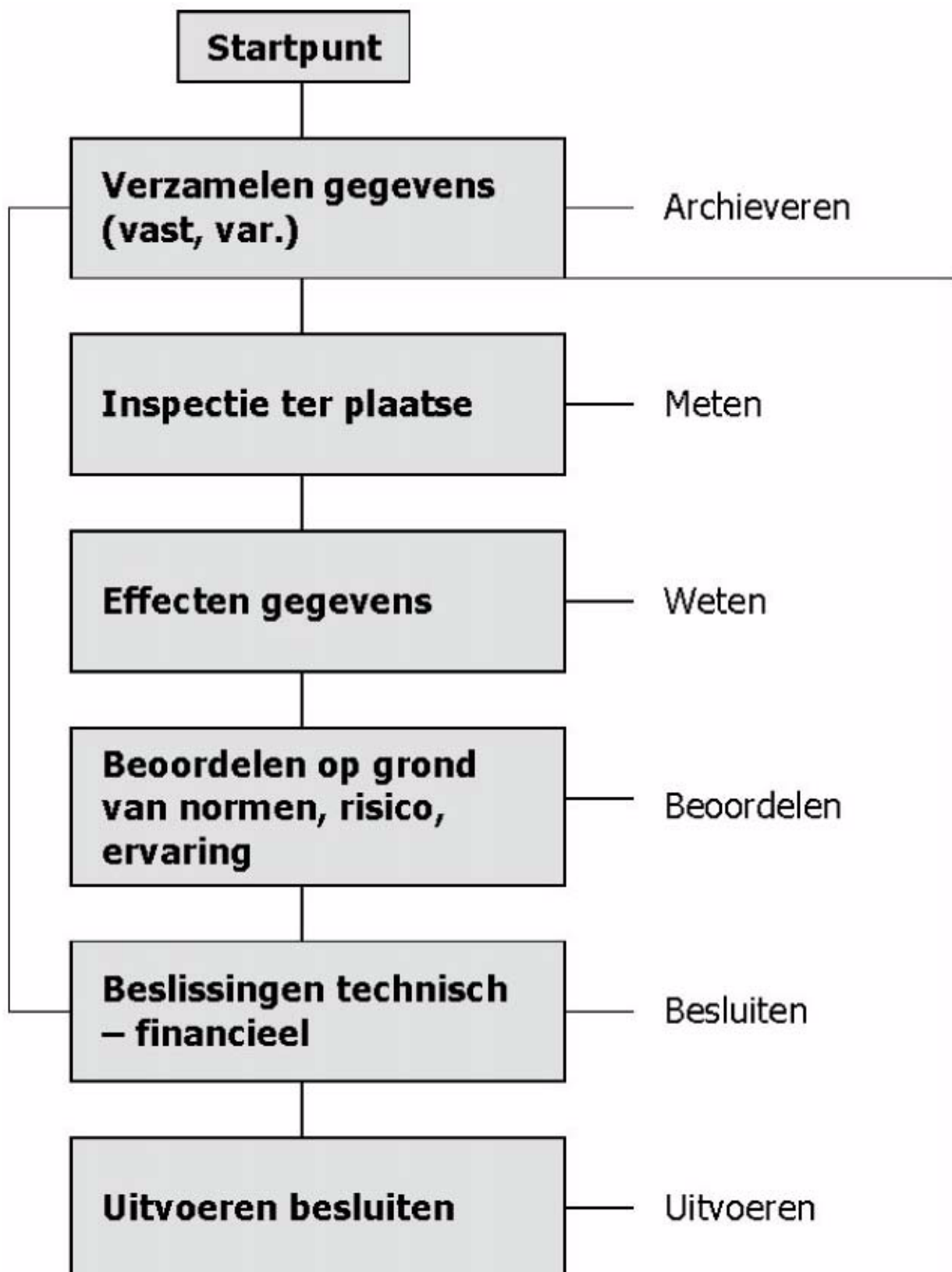
- Start (geaccepteerde product).
- Inventarisatie.
- Inspectie en onderhoud.
- Adviesfrequentie.
- Gegevensopslag.

Bij beheer en onderhoud worden een aantal begrippen gedefinieerd worden, namelijk:

- **Beheer**  
Onder het beheer van civiel technische constructies wordt verstaan: het geheel van activiteiten, op korte, middellange en lange termijn, die er op gericht zijn om de functies van een constructie gedurende de levensduur te laten vervullen.
- **Onderhoud**  
Onder het begrip onderhoud wordt verstaan: alle technische activiteiten, die nodig zijn om functievervulling van de constructie gedurende de levensduur mogelijk te maken. Deze activiteiten omvatten onder andere schoonmaakwerkzaamheden en herstelmaatregelen.



- **Inspectie**  
Onder inspectie wordt verstaan: het inwinnen, verwerken en interpreteren van informatie (aan de hand van normen) met het doel de conditie van het kunstwerk vast te stellen en eventuele schades op te sporen. Voor de beoordeling van de inspectieresultaten is het van belang om ook de schadeoorzaken op te sporen, ten einde een uitspraak te kunnen doen over de restlevensduur van de constructie en/of de effectiviteit van mogelijk te nemen maatregelen. Inspectie vormt het hart van de beheersstrategie.
- **Gebruiksfase**  
Onder gebruiksfase wordt verstaan: het gebruiken en onderhouden van het projectresultaat en het zorgen voor de continuïteit van dit resultaat.
- **Veilig**  
Een toestand waarin het product van de kans op lichamelijke gevolgen voor personen en de constructie op zich en de omvang van die gevolgen, onder een aanvaardbaar niveau ligt.
- **Veiligheid**  
Het bewust nemen van aanvaarde risico's. Veiligheid wordt zichtbaar gemaakt door het risico voor onveiligheid te kwantificeren in relatie tot een aanvaardbaar niveau: de mate waarin het product van de kans op lichamelijke gevolgen voor personen en de constructie op zich, en de omvang van die gevolgen, afwijkt van een gedefinieerd aanvaardbaar niveau.
- **Storingsgevoeligheid**  
Het aantal storingen, met of zonder directe invloed op de beschikbaarheid, per tijdseenheid.
- **Betrouwbaarheid**  
De component van storingsgevoeligheid en de mate waarin sterktetechisch de veiligheidsmarge afneemt.
- **Beschikbaarheid**  
De tijdsduur per tijdseenheid dat de installatie gebruikt wordt dan wel voor gebruik gereed is.
- **Kwaliteit**  
De mate waarin het object geschikt is om aan z'n functie, voortvloeiend uit de eisen en verwachtingen die de gebruiker eraan stelt, te voldoen.
- **Duurzaamheid**  
Geprognotiseerde levensduur. Wordt uitgedrukt in het complement, zijnde effecten (schades) die de levensduur nadelig beïnvloeden.







## 8.7.2 Processtappen

### 8.7.2.1 Startfase

De beginkwaliteit van het te onderhouden kunstwerk moet vastgelegd zijn in de nulinspectie en nulmeting.

#### Opmerkingen

De resultaten hiervan worden vastgelegd in het **Data Informatie Systeem Kunstwerken kortweg DISK** genoemd.

### 8.7.2.2 Inventarisatiefase

Na de startfase wordt begonnen met het inventariseren van de verschillende bouwonderdelen. Disk geeft aan welke bouwonderdelen waar voorkomen. Bij het inventariseren moet worden bekeken waaruit de bouwonderdelen zijn opgebouwd.

### 8.7.2.3 Inspectie- en onderhoudsfase

In deze fase moet worden gedefinieerd welke maatregelen moeten worden genomen bij afwijkingen die boven de vooraf overeengekomen waarden liggen.

#### Opmerkingen

Bij afwijkingen die boven de vooraf overeengekomen waarden liggen, moet op een door de beherende Dienstkring te leveren standaardlijst afgelezen kunnen worden welke maatregelen moeten worden genomen.

### 8.7.2.4 Adviesfrequentie fase

In deze fase worden aan de hand van de inspecties aangegeven wat de frequentie van het onderhoud per onderdeel moet zijn, de termijn waarop technische- en de functionele inspectie gehouden moet worden. Verder wordt ook aangegeven op welke termijn onderdelen vervangen zouden moeten worden. Men kan stellen dat de adviesfrequentie wordt bepaald door een vorm van risicomangement. Daarnaast is deze afhankelijk van de inspecties.

#### Opmerkingen

Als voorbeeld, bij de Wijkertunnel wordt in principe uitgegaan van de volgende frequenties:

- Wegbouwkundige constructies:
  - Beton, 1 x per 5 jaar.
  - Staal, 1x per 3 jaar.
- Waterbouwkundige constructies:
  - 1 x 2 jaar.
- Verkeerskundige constructies:
  - Gemiddeld 1 x per 5 jaar.

De adviesfrequentie wordt naarmate de functieduur van het kunstwerk vordert korter.





### **8.7.2.5 Gegevensopslag fase**

Ten behoeve van de inspecties zijn de volgende zaken door principaal c.q. beheerder opgeslagen:

- Bouwtekeningen.
- Garantieverklaringen (civiel en bouwkundig).
- Nul(deformatie)meting.
- Vorige rapporten van inspectie en DISK.
- Onderhoudsadviezen.

#### **Opmerkingen**

De opslag van gegevens dienen voor het overdragen van het beeld dat de inspecteur heeft van de staat van het kunstwerk aan de beheerder.



## **8.7.3 Inspectie**

### **8.7.3.1 Vormen van inspectie**

We onderscheiden vijf soorten:

- 0-inspectie.
- Functionele inspectie.
- Technische inspectie.
- Kwaliteitsinspectie.
- Speciale inspecties.

#### **Opmerkingen**

- Het moment van inspecteren moet zijn afgestemd op een interval waarbinnen schade, vormen kan aannemen die de veiligheid of de kwaliteit nadelig beïnvloedt.
- Er mogen na het lezen van het inspectierapport geen vragen meer zijn met betrekking tot de staat van het kunstwerk en eventueel te ondernemen acties. Ook de vorm van het inspectierapport is hierbij van groot belang.
- Het vereiste niveau voor inspecteurs ligt op MBO-plus niveau. De markt voorziet voornamelijk in cursussen die een deelaspect van de volledige inspectie behandelen.
- Inspectie genereert onderhoudswerk.

### **8.7.3.2 0-inspectie**

De 0-inspectie of overdrachtsinspectie vindt slechts eenmaal gedurende de levensduur van het kunstwerk plaats. De 0-inspectie stelt de kwaliteit vast van het op te leveren werk en dient ter toetscriterium voor later optredende gebreken.

#### **Opmerkingen**

Zie bijlage B voor een voorbeeld van een overzicht van uit te voeren instandhoudingsinspecties en deformatiemetingen.

### **8.7.3.3 Functionele inspectie**

- De functionele inspectie is een systematische inspectie die zich richt op het opsporen van gebreken en schades die op korte termijn de goede en veilige werking van de constructie negatief kunnen beïnvloeden. Daarnaast is deze vorm van inspectie ook gericht op het controleren van de uitvoering van periodiek onderhoud.
- Bij calamiteiten en of bijzondere gebeurtenissen moet een gedeeltelijke inspectie ingelast worden. Een werkdossier met de rapportages van de inspecties dient te worden aangelegd.
- De functionele inspectie is gericht op zichtbare of hoorbare afwijkingen van de oorspronkelijke situatie die direct of op korte termijn de functionaliteit nadelig beïnvloeden.

#### **Opmerkingen**

- De functionele inspectie is een directe taak van de dienstkring waarbinnen zich de constructie bevindt. Deze dienstkring dient te inspecteren op functionaliteit en veiligheid van de constructie.



- Het civiele onderhoud is gedefinieerd en vastgelegd in Disk. Hiertoe is de constructie onderverdeeld in BCO's (Bouw Constructie Onderdelen).
- Er dienen regelmatig en afhankelijk van de omstandigheden functionele inspecties gehouden te worden door de uitvoerende beheerder, op basis van het type constructie en de door hem vastgestelde risicoklasse. Zie Bijlage A voor een voorbeeld van een aandachtspuntenlijst van een functionele inspectie.

#### **8.7.3.4 Technische inspectie**

- De technische inspectie is een systematische inspectie die inzicht geven in de kwalitatieve staat waarin het kunstwerk verkeert. Hierbij worden alle onderdelen van het kunstwerk geïnspecteerd.
- De inspectie is diepgaand en richt zich op de werking, het gedrag en de toestand van ieder onderdeel van de constructie. Kenmerkend voor de technische inspecties is het noodzakelijke gebruik van hulpmiddelen in de vorm van gereedschappen en speciale apparatuur.

##### **Opmerkingen**

- De civiel technische inspecties vallen onder de verantwoording van de Bouwdienst Rijkswaterstaat. De Regionale directies zijn verantwoordelijk voor de technische inspectie van het EM-gedeelte.
- De inspecties worden in overleg met de beheerder van het kunstwerk gepland en gehouden.
- Zoals verwoord in "Uniform inspectiebeleid voor de WED's d.d. 25 april 1995".
- Kritische onderdelen vergen betere en uitvoerigere inspectie dan minder vitale onderdelen.

#### **8.7.3.5 Kwaliteitsinspectie**

Kwaliteitsinspecties zijn in principe vergelijkbaar met technische inspecties. De diepgang, noodzakelijke kennis en hulpmiddelen zijn identiek. De onderzoeksfrequentie behoeft niet hoog te zijn.

#### **8.7.3.6 Speciale inspecties**

Speciale inspecties omvatten alle soorten van tele-monitoring en inspecties als gevolg van calamiteiten. Deze vorm van inspectie is iets afwijkend van de traditionele inspecties.

#### **8.7.3.7 Meetmethoden bij inspecties**

Enkele meetmethodes zijn:

- Zintuiglijke.
- Akoestisch.
- Ultrasoon.
- Mechanisch-elastisch.
- Micro-seismiek.
- Magnetische inductie.
- Thermografisch.
- Elektrochemisch.
- Mechanisch.
- Fysisch.



- Petrografisch.
- Chemisch.
- Röntgenopnamen.
- Radar.

### **8.7.3.8 Inspectie Civiel en Bouwkundig**

Om inspecties zo efficiënt mogelijk uit te voeren, moeten deze aan de volgende eisen te voldoen:

- De opnamemethodiek moet "visueel" zijn opgezet.
- De functionele inspectie dient zoveel mogelijk "tegelijk" met andere werkzaamheden te worden meegenomen.
- De functionele inspectieresultaten moeten worden vastgelegd op rapportagestaten.
- Inspecteurs moeten over duidelijke inspectieformulieren beschikken.
- De technische inspectieresultaten (civiel) moeten zodanig worden vastgelegd dat verwerking van de gegevens in DISK mogelijk is.

### **8.7.3.9 Inspectierapport**

Hulpmiddelen voor een goede inspectierapportage zijn:

- Ondubbelzinnigheid in tekst: vermijd het gebruik van abstracte begrippen als "een aantal", "veel" of "enkele". Een bijdrage aan ondeubbelzinnigheid is het normeren van diverse schades, eventueel oplopend in omvang/ernst in een schadecatalogus.
- Maak afspraken over plaatsaanduidingen: bijvoorbeeld mootnummering en wat is links en wat is rechts.
- Leg alleen gebreken vast. Geen commentaar betekent geen schade.
- Rapporteer gebreken overzichtelijk aan de hand van aard, omvang (m1, m2, %) en plaats. In een toelichting kan nadere informatie gegeven worden.
- Maak afspraken tot welk schadeniveau wordt gerapporteerd. Niet elke losse steen is interessant.
- Foto's kunnen de tekst verduidelijken, maar ook het omgekeerde is waar. Een klein gebrek van dichtbij gefotografeerd, doet een immense schade vermoeden. Een foto moet de schade relatief weergeven. Dit betekent dat de omvang van de schade op de foto in relatie moet zijn weergegeven tot bekende afmetingen, bijvoorbeeld een schaalverdeling of een potlood.
- Voorzie rapporten van overzichtfoto's.



## 8.7.4 Onderhoud

### 8.7.4.1 Vormen van onderhoud

- Storing Afhankelijk Onderhoud (SAO).
- Gebruik Afhankelijk Onderhoud (GAO).
- Toestand Afhankelijk Onderhoud (TAO).

Zie Afbeelding 8.7.1.

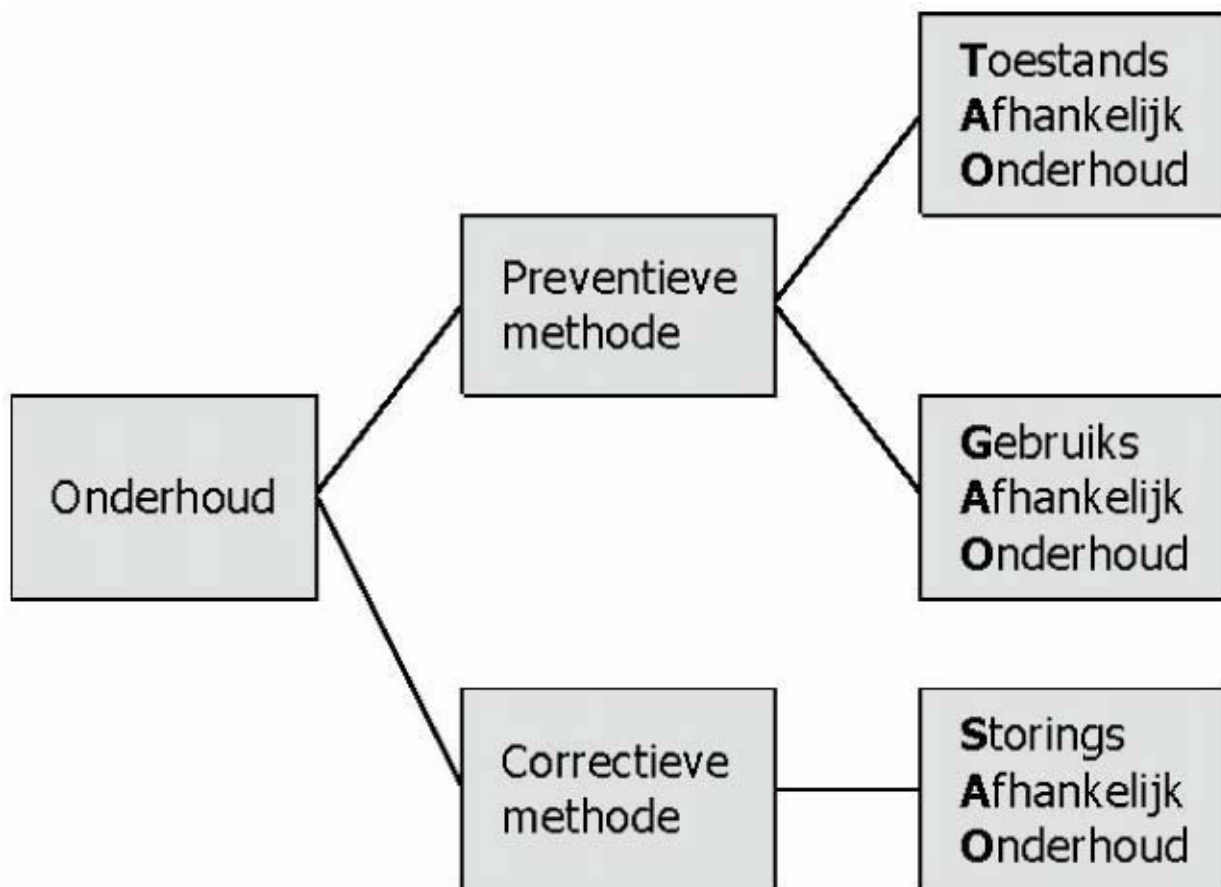
#### Opmerkingen

De instandhouding van kunstwerken krijgt een steeds bredere aandacht, mede door de volgende oorzaken:

- Mobiliteitsbehoefte.
- Complexiteit.
- Rol van gebruiker.
- Kosten.

Het onderhoud richt zich steeds meer op het behoud van de functie die het kunstwerk vervult, daar waar het eerder gericht was op het behoud van het fysieke object tegen zo laag mogelijke kosten.

Onderhoud kan zowel preventief als correctief worden uitgevoerd.



Afbeelding 8.7.1, Vormen van onderhoud.



#### **8.7.4.2 Storing Afhankelijk Onderhoud (SAO)**

Het kenmerkende van SAO is dat herstelmaatregelen pas worden getroffen, nadat functieverlies (storing of falen) van een onderdeel is opgetreden. Dit is dus correctief onderhoud. Deze vorm van onderhoud wordt gekozen wanneer het risico van falen klein is ten opzichte van de kosten van inspectie en onderhoud of wanneer alternatieven binnen handbereik vallen. Er wordt dus gewacht op functieverlies.

#### **8.7.4.3 Gebruik Afhankelijk Onderhoud (GAO)**

Na vooraf vastgestelde gebruikseenheden (b.v. levensduur, draaiuren, bedrijfsuren en dergelijke) wordt overgegaan tot herstel of vervanging van het onderdeel. Afhankelijk van het gekozen hersteltijdstip, leidt deze vorm doorgaans tot preventief onderhoud. Wanneer het risico van falen relatief groot is ten opzichte van de kosten van inspectie en onderhoud, en het tijdstip van functieverlies is goed voorspelbaar, wordt er gekozen voor GAO. Afhankelijk van de gebruikintensiteit wordt dus tijdig preventief onderhoud gepleegd.

#### **8.7.4.4 Toestand Afhankelijk Onderhoud (TAO)**

De toestand van een constructiedeel wordt na een zeker tijdsinterval door middel van een inspectie vastgesteld. Tot het treffen van herstelmaatregelen wordt besloten wanneer vooraf vastgestelde grenzen (o.g.v. ervaring of norm) wordt overschreden. Meestal leidt deze vorm tot preventief onderhoud, d.w.z. voordat functieverlies is opgetreden. Wanneer aan de voorwaarden voor SAO en GAO niet wordt voldaan, maar de constructie is goed inspecteerbaar, ofwel de toestand van de constructie is goed meetbaar, dan wordt gekozen voor TAO, dus tijdig preventief onderhoud wanneer inspecties hier aanleiding toe geven.

#### **8.7.4.5 Onderhoudsproces**

Tot het onderhoudsproces behoren de volgende activiteiten:

- Plannen.
- Calculeren.
- Aanbesteden.
- Herstellen van storingen.
- Uitvoeren.

#### **8.7.4.6 Beheersproces**

Het beheersproces werkt sturend voor operationele processen. In dit proces worden voorwaarden opgesteld en strategische keuzes gemaakt.

#### **8.7.4.7 Onderhoudsstrategie**

Het bepalen en optimaliseren van de onderhoudsstrategie begint bij de oplevering van het kunstwerk en eindigt nooit. Het is een doorgaand proces, een cyclus van kiezen, uitvoeren, controleren en bijstellen. De volgende stappen kunnen worden onderscheiden:

- Stel de functie-eisen vast.
- Inventariseer en analyseer de risico's.
- Inventariseer de onderhoudsopties.

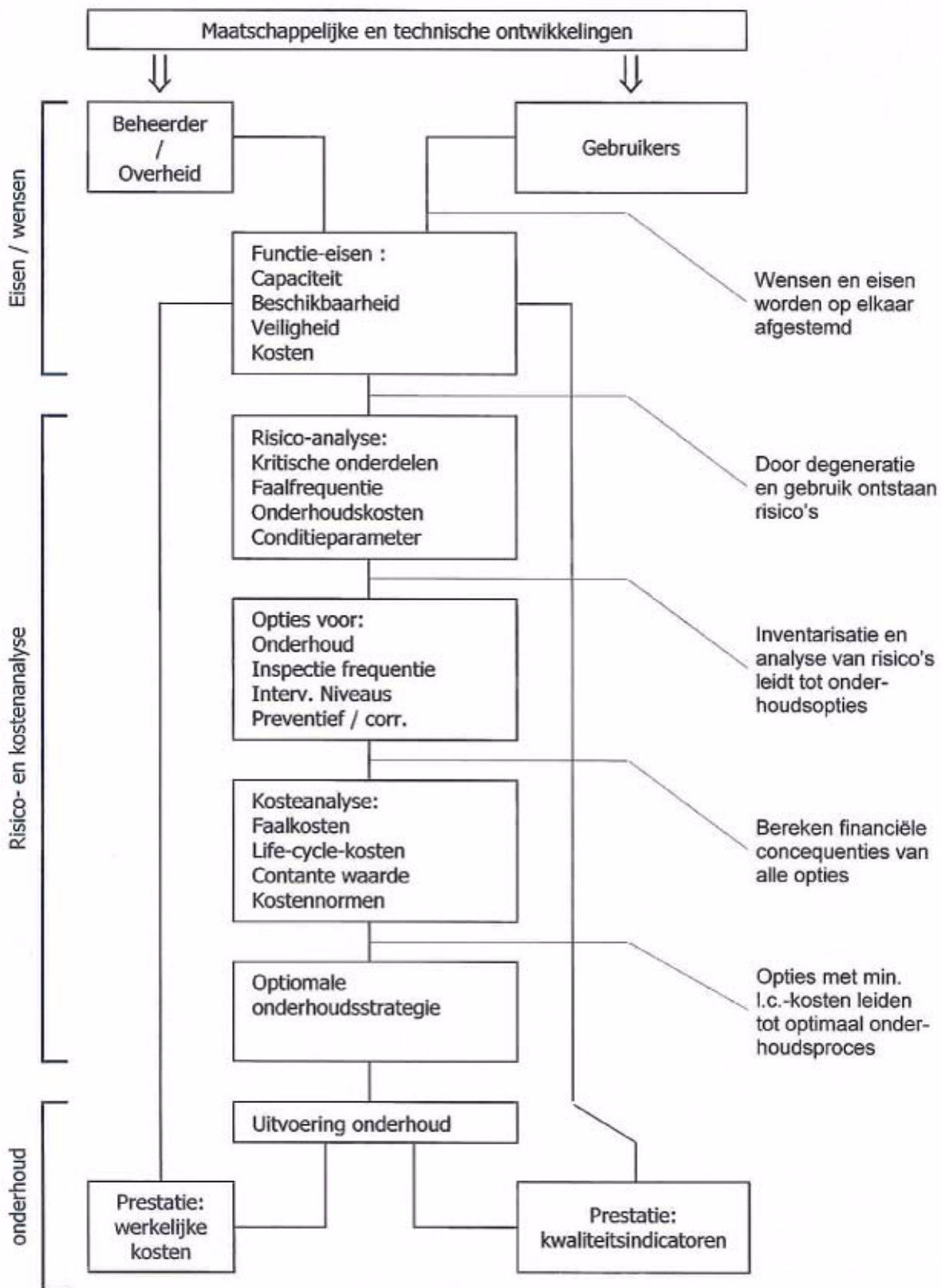


- Bepaal de financiële consequentie voor elke optie, waarin het risico ook een kostenpost is.
- Bepaal financiële consequenties wanneer alternatieven voor handen zijn.
- Bepaal bij welke optie het economisch optimum ligt.
- Controleer of de bij dat optimum behorende prestaties passen binnen de functie-eisen.
- Stel zo nodig bij, wat inhoudt dat de kosten stijgen, maar wel voldaan wordt aan de gewenste kwaliteit.
- Pas zo nodig de strategie aan.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.7.2.





Afbeelding 8.7.2, Bepalingen onderhoudsstrategie.



### 8.7.4.8 Onderhoudseisen

- Alle vitale constructieve onderdelen dienen goed bereikbaar en vervangbaar te zijn.
- Er dient een onderhoudsplan met een nulmeting, nulinspectie en DISK gemaakt te worden.
- De riolering moet voldoen aan de vigerende WUT-eisen.
- De tunnelwanden van de weg- en fietsverkeerskoker voorzien van een harde, brandbestendige bekleding.
- Aanwezigheid van een onderhoudshandleiding.
- Toegankelijkheid onderhoudshandleidingen.

#### Opmerkingen

Bestaande keuringsnormen:

- ISO 4628: Paints and varnishes Evaluation of degradation of paint coatings Designation of intensity, quantity and size of common types of defect.

Bestaande veiligheidsnormen:

- Binnenvaart Politie Reglement.
- Arbowet.
- Hinderwet (i.v.m. milieu).

### 8.7.4.9 Onderhoudshandleiding

Het overbrengen van een onderhoudsvisie naar het onderhoudspersoneel is van groot belang. Met goede onderhoudshandleidingen kan daar op worden ingespeeld. Dergelijke handleidingen zijn een belangrijk onderhoudsgereedschap en zal dus veelal mede door aannemers en of leveranciers worden gemaakt.

De onderhoudshandleidingen dienen aan de volgende eisen te voldoen:

- Beschikbaar.
- Duidelijk en begrijpbaar.
- Accuraat.
- Volledig.

#### Opmerkingen

De handleiding is geen (bindend) voorschrift, maar moet gezien worden als richtlijn.

### 8.7.4.10 EM-gedeelte

Met betrekking tot het onderhoudsadvies voor het EM-gedeelte wordt het proces van startfase tot gegevensopslagfase doorlopen. Hiertoe worden bij de inventarisatiefase de verschillende plekken waar de EM-installaties zich bevinden, geïnventariseerd. Daarna worden deze installaties onderverdeeld in verschillende hoofdgroepen en worden deze beschreven.

#### Opmerkingen

Zie ook SATO-deel 7.

### 8.7.4.11 Onderhoudsadvies Civiel gedeelte

Idem aan EM-gedeelte alleen worden de civiele constructie onderverdeeld in onderdelen (moten etc.).

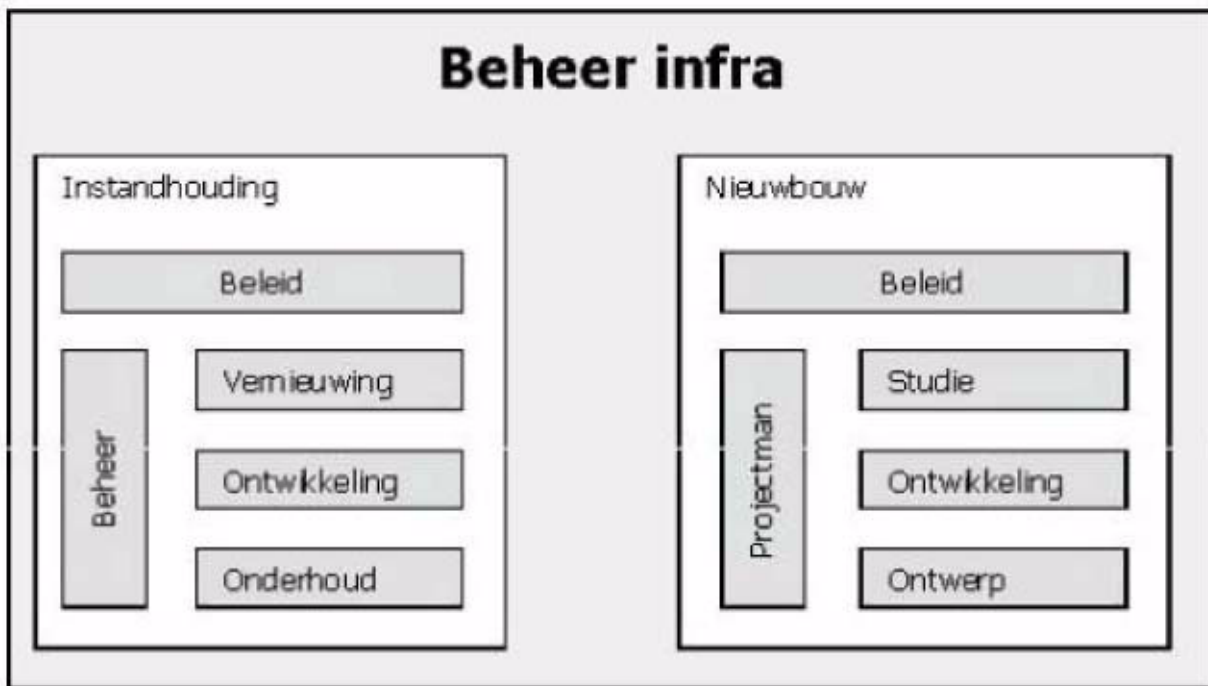


### 8.7.4.12 Instandhouding

Instandhouding omvat hetzelfde als het begrip beheer. Voor overheden of instanties belast met het beheer van infrastructuur kunnen twee verschillende aspecten voor beheer worden onderscheiden. Namelijk instandhouding en nieuwbouw.

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.7.3.



Afbeelding 8.7.3, Procesindeling instandhouding.



## **8.7.5 Garantstellingen**

### **8.7.5.1 Civiele constructies**

- Als onderdeel van het beheer en onderhoud moeten de verschillende aspecten van de tunnelementen en de daarbij behorende garanties beschreven worden. Zowel ten aanzien van bedrijven en vertegenwoordigers hiervan als ten aanzien van materiaal en materieel.
- De garantieverklaringen dienen te worden opgenomen in het onderhoudshandboek. De verklaringen moeten beschrijven wie de garantie verleent en aan wie deze wordt verleend (beherende instantie). Verder moet het product dat gegarandeerd wordt, worden omschreven met een ondubbelzinnige vernoeming van de staat van het product en eventuele afwijkingen hierop. De wijze waarop een product verwerkt, opgeslagen dan wel vervoerd moet worden kan ter afvang van onduidelijkheden worden omschreven. De periode waarover de garantie geldt, moet ook zijn opgenomen.
- De garantiestellingen van het civiele gedeelte hebben voornamelijk betrekking op de staat van de gebruikte materialen.
- De garantiestellingen hebben ook betrekking op geconstateerde tekortkomingen en eventuele aanvullingen hierop.
- De garantiestelling kan in dit geval dienen als zowel constatering als acceptatie door opdrachtgever.

#### **Opmerkingen**

- Er kan een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen civiele garantiestellingen, bouwkundige garantiestellingen en elektromechanische-installatie garantiestellingen.
- Het is raadzaam om de garantiestellingen te bundelen en bij het onderhoudsplan te voegen.

### **8.7.5.2 Bouwkundige gedeelte**

- Als onderdeel van het beheer en onderhoud moeten de verschillende aspecten van de tunnelementen en de daarbij behorende garanties beschreven worden. Zowel ten aanzien van bedrijven en vertegenwoordigers hiervan als ten aanzien van materiaal en materieel.
- De garantieverklaringen dienen te worden opgenomen in het onderhoudshandboek. De verklaringen moeten beschrijven wie de garantie verleent en aan wie deze wordt verleend. Verder moet het product dat gegarandeerd wordt, worden omschreven met een eenduidige vernoeming van de staat van het product en eventuele afwijkingen hierop. De wijze waarop een product verwerkt, opgeslagen dan wel vervoerd moet worden kan ter afvang van onduidelijkheden worden omschreven.
- De periode waarover de garantie geldt, moet ook worden beschreven.
- De garantiestellingen van het bouwkundige gedeelte hebben voornamelijk betrekking op de zaken niet direct civiel zijnde (denk aan coatings, deuren etc.). De garantiestellingen dienen voornamelijk als beschrijving van het te garanderen product met betrekking tot de te halen eis of norm.

**Opmerkingen**

Als bouwkundig gedeelte worden ook de dienstengebouwen gezien.

**8.7.5.3 EM-gedeelte**

- Als onderdeel van het beheer en onderhoud moeten de verschillende aspecten van de tunnelementen en de daarbij behorende garanties beschreven worden. Zowel ten aanzien van bedrijven en vertegenwoordigers hiervan als ten aanzien van materiaal en materieel.
- De garantieverklaringen dienen te worden opgenomen in het onderhoudshandboek. De verklaringen moeten beschrijven wie de garantie verleent en aan wie deze wordt verleend. Verder moet het product dat gegarandeerd wordt, worden omschreven met een ondubbelzinnige vernoeming van de staat van het product en eventuele afwijkingen hierop. De wijze waarop een product verwerkt, opgeslagen dan wel vervoerd moet worden, kan ter afvang van onduidelijkheden worden omschreven.
- De periode waarover de garantie geldt, moet ook zijn opgenomen.
- De garantiestellingen van het elektromechanische gedeelte hebben voornamelijk betrekking op de te garanderen technische prestaties alsmede de technische specificaties van de gebruikte elektromechanische onderdelen.

**Opmerkingen**

Het elektromechanische gedeelte bevat onder meer de tunnelventilatoren, armaturen en verlichting en de systeemprogrammatuur.



SAATU

## Inhoudsopgave Benodigde voorzieningen

- 8.8.1 Kopschotten
  - 8.8.1.1 Intro
  - 8.8.1.2 Fasering
  - 8.8.1.3 Detaillering
  - 8.8.1.4 In te storten onderdelen
- 8.8.2 Positie bepaling
  - 8.8.2.1 Intro
  - 8.8.2.2 Onderdelen
- 8.8.3 Toegangschacht
  - 8.8.3.1 Intro
  - 8.8.3.2 Fasering
- 8.8.4 Tijdelijke oplegging
  - 8.8.4.1 Intro
  - 8.8.4.2 Fasering
  - 8.8.4.3 Detaillering
- 8.8.5 Tijdelijke waterkering
  - 8.8.5.1 Intro
  - 8.8.5.2 Fasering
  - 8.8.5.3 Detaillering
- 8.8.6 Definitieve waterkering
  - 8.8.6.1 Intro
  - 8.8.6.2 Fasering
- 8.8.7 Waterballaststelsel
  - 8.8.7.1 Intro
  - 8.8.7.2 Fasering
  - 8.8.7.3 Detaillering
- 8.8.8 Verplaatsing en transport
  - 8.8.8.1 Intro
  - 8.8.8.2 Onderdelen
- 8.8.9 Diverse
  - 8.8.9.1 Onderdelen



---

SAATU



## **8.8 BENODIGDE VOORZIENINGEN**

### **8.8.1 Kopschotten**

#### **8.8.1.1 Intro**

##### **Omschrijving**

Een essentieel (tijdelijk) onderdeel van een tunnelement in het OTAO-proces zijn de kopschotten. De kopschotten zorgen ervoor, dat het tunnelement tijdelijk een waterdichte doosconstructie wordt, waarmee kan worden gevaren. Omdat de kopschotten een hulpconstructie zijn in het totale bouwproces van de tunnel, is de aannemer de eindverantwoordelijke voor het ontwerp hiervan.

Niet alleen bij de tunnelementen worden kopschotten toegepast. Ook bij de landhoofden, waar de tunnelementen op aansluiten, worden kopschotten toegepast. Specifieke aspecten met betrekking tot het ontwerp en uitvoering van deze kopschotten worden hier niet beschreven, maar komen in grote lijnen overeen met de kopschotten van de tunnelementen. De kopschotten worden gemaakt in aansluiting op de bouw van het tunnelement zelf.

Tijdens de fasen opdrijven, transporteren, afzinken en onderstromen vervullen zij de functie waarvoor ze zijn ontworpen. In de loop van het proces van het onderstromen verliezen de kopschotten hun betekenis. In de afbouwfase worden de kopschotten gesloopt. Voor een gedetailleerdere beschrijving wordt verwezen naar de desbetreffende hoofdstukken.

##### **Wetenswaardigheden.**

- Ten gevolge van het onderkende risico-item bij transport over de Noordzee van de Piet Heintunnel zijn als extra maatregel dubbele kopschotten toegepast.
- Bij een toenemend aantal tunnelementen, hetgeen het geval kan zijn bij zeer lange tunnels, kan een stalen kopschot vanuit het repetitie-effect (meerdere malen gebruiken) economisch aantrekkelijk worden (bij voorbeeld de Øresund tunnel).

#### **8.8.1.2 Fasering**

##### **Ontwerp-fase**

Het ontwerp van het kopschot zelf (sterkte, stijfheid en waterdichtheid) is een verantwoordelijkheid voor de aannemer. Omdat het kopschot krachten uitoefent op het tunnelement komt het ontwerp in nauwe samenspraak met de ontwerpers hiervan tot stand. Met name de opleggingen en aansluitingen zijn hierbij van belang. De grootste belasting uit de waterdruk komt op het kopschot tijdens het afzinken. Specifieke transportomstandigheden, bij voorbeeld bij het transport over zee, kunnen extra ontwerp-eisen met zich meebrengen.

##### **Opmerkingen**

Voor gedetailleerdere ontwerp-aspecten, met name voor de aanslagen in de vloer en het dak, wordt verwezen naar SATO, Stempeling m.b.v. buisprofielen (5.7.3.1).



**Bouwfase**

De aanslagen voor de kopschotstijlen worden meegenomen in de bouw van het tunnelelement zelf. Het bouwen van het kopschot gebeurt als het tunnelelement zelf klaar is, zie Afbeelding 8.8.1.



*Afbeelding 8.8.1, Kopschot.*

**Opdrijf fase**

Voordat met het opdrijven wordt begonnen is de waterdichtheid van de kopschotten een van de te controleren en te bewaken functionaliteiten.

**Transportfase**

Afhankelijk van de transportroute en de mogelijke omstandigheden worden voor deze fase specifieke inspecties voorgeschreven.

**Afzinkfase**

De waterdruk op de kopschotten is in deze fase het grootst. Voordat met het afzinken wordt begonnen worden de essentiële onderdelen van het kopschot nog gecheckt.

**Opmerkingen**

In de risico-analyse van de aannemer behoort het "bezwijken kopschot" een van de risicopunten te zijn. Hiervoor dient dan ook een noodprocedure te worden opgesteld.

**Onderstroom fase**

- Zolang het kopschot in deze fase onderdeel uitmaakt van de actieve waterkering moet hiernaar ook worden gehandeld.
- Onder een actieve waterkering wordt verstaan het aanwezig en actief zijn van het GINA in combinatie met het OMEGA-profiel of een kopschot.

**Opmerkingen**

Door de deuren van het kopschot mogen dan ook geen leidingen of kabels worden doorgevoerd, waardoor in het geval van een calamiteit de deur niet snel kan worden gesloten. Zo moet er ook voor worden gezorgd dat de aanwezige loopplank makkelijk kan worden weggehaald.

**Afbouw fase**

In deze fase worden de kopschotten gesloopt en de uitkomende materialen afgevoerd, zie Afbeelding 8.8.2.



Afbeelding 8.8.2, Sloop van een kopschot.

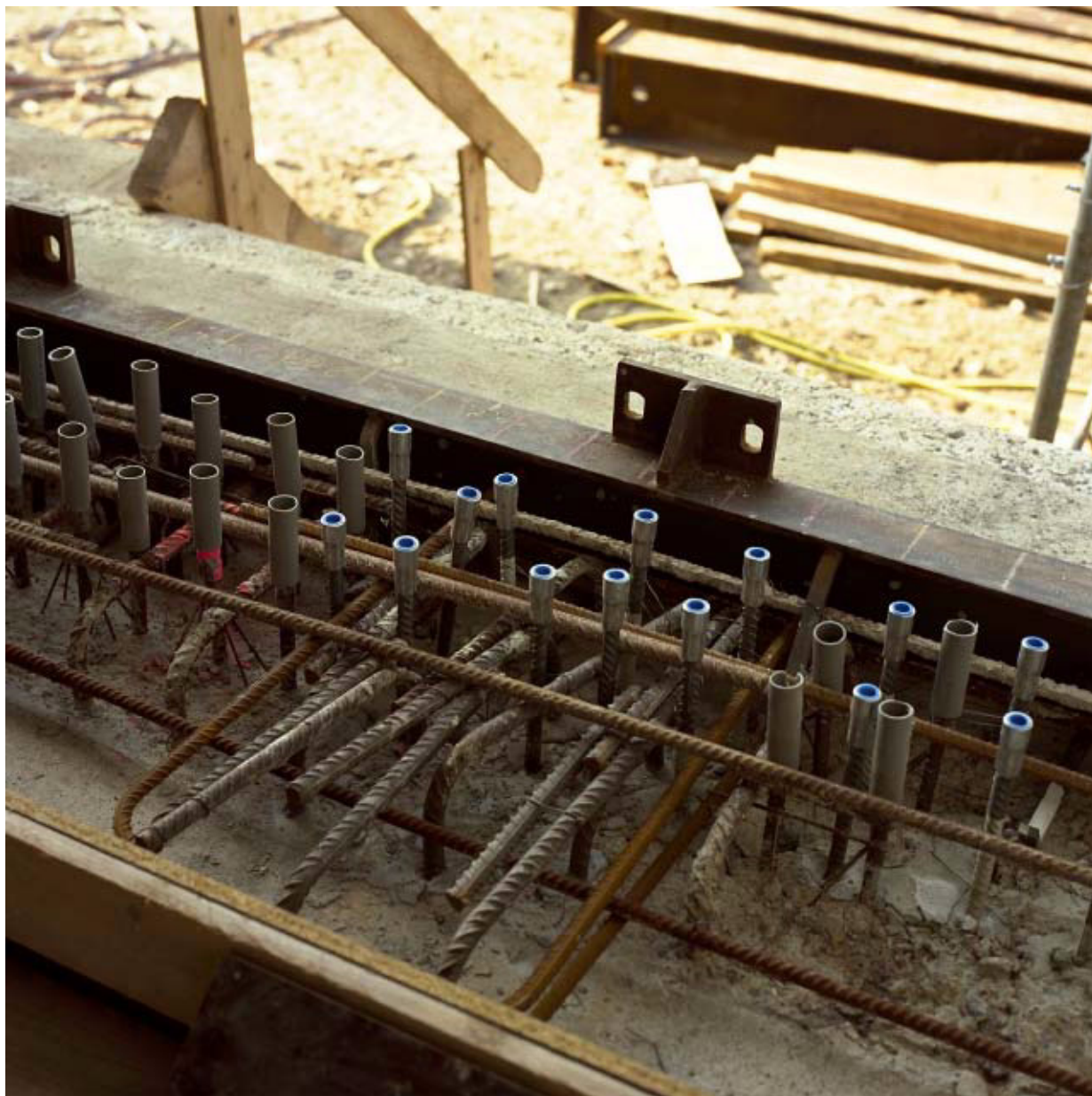
### 8.8.1.3 Detaillering

#### Detailbeschrijving

De hier beschreven constructie van het kopschot bestaat uit:

- Aanslagen in de vloer en het dak voor de kopschotstijlen, zie Afbeelding 8.8.3 en Afbeelding 8.8.4.
- Stalen kopschotstijlen, Afbeelding 8.8.5.
- In het werk gestorte betonnen kopschotwand.

Ook andere constructies zijn denkbaar. Echter in het verleden is bij het beoordelen van alternatieven vaak gebleken dat een geheel stalen constructie duurder was en prefab beton een te groot risico met betrekking tot de waterdichtheid gaf.



*Afbeelding 8.8.3, Aanslag voor het kopschot op de vloer.*



Afbeelding 8.8.4, Aanslag voor het kopschot in het dak.



Afbeelding 8.8.5, Stalen kopschotstijlen.

#### **Aanslagen in de vloer en het dak**

- Aan de bovenzijde, dus in het dak van het tunnelelement, worden ankers ingestort waartegen stalen aanslagen worden gemonteerd.
- Aan de onderzijde wordt meestal een doorgaande, betonnen aanslagnok gestort.

#### **Opmerkingen**

In verband met het kunnen uitrijden van de tunnelkist worden plaatselijke onderbrekingen in de aanslagnok aangebracht. De kopschotstijlen dragen via deze aanslagen hun belasting af aan de tunnelconstructie en het is dus wezenlijk dat de plaatselijke onderbrekingen tijdig worden aangeheeld.

#### **Kopschotstijlen**

Hiervoor worden meestal staalprofielen toegepast. Op deze profielen worden vaak deuvels gelast om een goede aansluiting en samenwerking met de kopschotwand te verkrijgen.

#### **Kopschotwand**

De kopschotwand wordt als een in het werk gestorte gewapend beton constructie uitgevoerd. Ondanks dat het kopschot vrij hoog en breed is, blijft de wanddikte meestal beperkt tot 250 mm. Ten behoeve van de activiteiten in de verschillende procesfasen worden in de kopschotwand onderdelen opgenomen. Welke onderdelen worden ingestort hangt af van aan welke zijde van het tunnelelement (primaire of secundaire zijde) het kopschot zich bevindt.

**Opmerkingen**

Om binnen deze randvoorwaarden toch een goede stort en verdichting van het beton te bereiken, wordt vaak gekozen voor een maximale nominale korrelgrootte van het grind van 16 mm. Aanbevolen wordt om halverwege de hoogte van het kopschot stortluiken toe te passen. In het verleden werden, om lekkage via de stortnaden te voorkomen, deze vaak uit voorzorg afgeplakt met een met bitumen versterkt weefsel. Met name bij de bovenaansluiting konden problemen ontstaan. Dit vanwege het gegeven dat hier geen overdruk van gestorte beton is en ook enkele krimp van de beton kan optreden. Indien gebruik werd gemaakt van doorgaande centerpennen voor de wandbekisting, werden ook de conusgaten hiervan aan de buitenzijde van het kopschot met een bitumenweefsel afgeplakt. Vanwege de verbeterde betoneigenschappen, waardoor de kans op lekkage zo goed als uitgesloten is, wordt het afplakken nauwelijks (of alleen naden afplakken bij aansluiting op vloer/wanden en dak) meer toegepast.



Afbeelding 8.8.6, Aanzicht kopschot.

#### 8.8.1.4 In te storten onderdelen

##### Deur

Om in de bouwfase en na het afzinken in het tunnelement te komen wordt in het kopschot een waterdichte deur aangebracht. De rubber shore afdichting van de deur controleren. De deuren moeten 180 graden kunnen draaien en tegenover elkaar op dezelfde hoogte zitten.

##### Opmerkingen

Omdat de deur naar de zinkvoeg toe opengaat moet de breedte van de deur minder zijn dan de breedte van de zinkvoeg. Hierbij rekening houdend met enige tolerantie. Zie Afbeelding 8.8.7.



*Afbeelding 8.8.7, Toegangsdeur in kopschot.*

#### **Doorvoeren**

Ten behoeve van het ballastleidingsysteem, de tasterpen en elektrakabels worden waterdichte doorvoeren ingestort. Zie Afbeelding 8.8.8.

#### **Opmerkingen**

De doorvoer van de tasterpen bevindt zich aan de primaire zijde van het tunnelelement maar kan ook aan de secundaire zijde van het voorgaande tunnelelement zitten als wordt gekozen om geen mensen in het af te zinken tunnelelement toe te laten.





*Afbeelding 8.8.8, Doorvoer tot ballastleidingssysteem.*

### **Injectieslangen**

Injectieslangen kunnen op de stortnaden worden ingestort om preventief met een flexibele injectiehars te injecteren. Bij met name risicovolle transportomstandigheden kan dit een goed alternatief zijn voor het afplakken.

### **Opmerkingen**

Het injecteren moet preventief onder droge omstandigheden worden gedaan. Bij de Velsertunnel zijn destijds problemen geweest omdat met een andere injectievloeistof dan de flexibele injectiehars is gewerkt.

### **Tasterplaten**

- De tasterplaten bevinden zich op dezelfde positie als de tasterpendoorvoer van het voorgaande afgezonken tunnelelement.



- Met de combinatie tasterpen en tasterplaat is het tijdens het afzinken mogelijk de afstand tussen de twee tunnelementen in langsrichting te bepalen.

**Opmerkingen**

De tasterplaat bevindt zich aan de primaire zijde van het tunnelement. De maatvoering van zowel de tasterpendoorvoer als tasterplaat vereist een grote zorgvuldigheid.

**Ontluchtingspijpje**

Door het instorten van het ontluchtingspijpje kan, nadat twee aansluitende tunnelementen zijn afgezonken en er even wordt gestopt met leegpompen van de zinkvoeg, de zinkvoeg worden gelegeerd door de afsluiter (op het ballastleidingsysteem) aan de onderzijde en het ontluchtingspijpje aan de bovenzijde van het kopschot open te zetten.

**Opmerkingen**

In eerste instantie komt uit het ontluchtingspijpje water, later lucht. Indien er continu water door het ontluchtingspijpje blijft komen, is dit een indicatie dat het GINA-profiel ergens niet goed afsluit.



---

SAATU

Benodigde voorzieningen



## 8.8.2 Positie bepaling

### 8.8.2.1 Intro

#### Omschrijving

Teneinde het tunnelement op de juiste plaats te kunnen manoeuvreren, zijn hulpmiddelen noodzakelijk om op ieder moment de juiste positie van de elementen te kunnen bepalen.

- Ten behoeve van het inmeten van het tunnelement tijdens het afzinken (plaatsbepaling onder water) wordt het tunnelement vooraf in den droge ingemeten op van te voren bepaalde meetpunten. Dit zijn bij tunnels standaardpunten in vloeren, wanden, dak, neus- en vizelpenopleggingen, etc.

Specifiek positie bepalingshulpmiddelen:

- Meettorens/meetmasten.
- Radarmerk.
- Peilschalen.
- Overige hulpmiddelen.

### 8.8.2.2 Onderdelen

#### Meettorens

- De meettoeren dient stabiel te zijn i.v.m. waterstroming en hoogte meettoeren (maximaal ca. 20 m hoog!).
- De toegangsschacht wordt ook als meettoeren gebruikt.
- De plaats van de meettoeren op het dak is vooraf bepaald in verband met de meetopstelling op de wal en de zichtbaarheid van de meettoeren met reflectors in alle afzinkfasen.
- Tijdelijke constructie, waarop aan de bovenzijde een meetpunt met reflector is aangebracht, zodat in combinatie met een meetpunt op de toegangsschacht en een aantal hellingmeters in het tunnelement, de positie van een tunnelement onder water bekend is. De meettoeren dient zodanig op sterkte berekend te worden dat ten gevolge van de belastingen, zoals waterstromingen, wind en afmerende vlet, de uitbuiging aan de bovenzijde niet meer is dan 20 mm ten opzichte van de nulstand.

#### Opmerkingen

- Op het dak worden meetpunten gemaakt, die gekoppeld worden aan de vormbepaling van het tunnelement aan de meetpunten voor het afzinken. Van alle gemeten punten zijn de coördinaten in x.y.z bekend per tunnelement.
- Voor het afzinken van ieder element zijn er op de toegangsschacht en de meettoeren prisma's aangebracht en ingemeten. Deze prisma's worden gekoppeld aan de meetpunten op en in het element waardoor tijdens het afzinken via deze prisma's het element gevolgd kan worden.



- Na het plaatsen van de meettoren op het dak van het tunnelelement, voorafgaand aan het afzinken, wordt een meetkundige koppeling gemaakt tussen de meettoren en de meetpunten op het dak van het tunnelelement. Dit gebeurt zowel door de aannemer als door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat. Uit de meetgegevens is de positie van de neusoplegging primaire zijde van een tunnelelement en de vizelpennen secundaire zijde tunnelelement bekend en de coördinaten worden tijdens het afzinken on-line op een beeldscherm gepresenteerd.

**Radarmerk**

- Volgens de scheepsvaartvoorschriften.
- Op een aantal hoekpunten een radarreflector (prisma c.q. spiegel).

**Peilschalen**

- Om de waterstand in de tunnelementen af te lezen.
- Om de draadkrachten in de hijslieren te kunnen bepalen, wordt de inzinking van de pontons gemeten of afgelezen op lastmeters op de afzinklieren. Hiervoor zijn peilschalen op de pontons aanwezig.
- Aanbrengen in het diepe gedeelte van het tunnelelement.

**Opmerkingen**

Peilschalen in het diepe gedeelte van het tunnelelement aanbrengen teneinde aflezen foutieve waterstand te voorkomen.

**Overige hulpmiddelen**

- Seinbakens.
- Theodoliet.
- Waterpas.
- GPS.
- Navigatiemast.



### **8.8.3 Toegangschacht**

#### **8.8.3.1 Intro**

##### **Omschrijving**

Om de toegang van de afgezonken tunnelelementen te waarborgen, worden per element toegangsschachten gebruikt. De toegangsschacht bestaat uit een stalen toegangsbuis met/zonder deur boven op het tunnelelement ten behoeve van de toegang voor personeel en klein materieel, na inundatie en tijdens het afzinkproces. We onderscheiden in hoofdlijnen twee verschillende toegangsschachten:

- Korte toegangsschacht (tijdelijke toegangsschacht). Deze dient om na inundatie de tunnelelementen toegankelijk te houden voor inspectie en nog andere uit te voeren werkzaamheden, zoals het injecteren van de voorspanning in de vloer en in het dak. Na het opdrijven wordt deze afhankelijk van de situatie (lengte van de af te leggen vaarroute en aanwezig obstakels in deze route) al dan niet verwijderd, zie Afbeelding 8.8.9.
- Lange toegangsschacht (afzinktoegangsschacht). Deze wordt, met behulp van een kraan of een drijvende bok, op de afzinklocatie geplaatst. Deze schacht zorgt voor de toegankelijkheid van het tunnelelement tijdens het afzinken. Overigens wordt zoveel mogelijk vermeden dat tijdens afzinken mensen in het tunnelelement aanwezig zijn.



*Afbeelding 8.8.9, Korte toegangsschacht.*

### 8.8.3.2 Fasering

#### **Ontwerpfase**

Bij het ontwerpen van de toegangsschachten zijn de volgende aspecten van belang:

- Waterdichtheid.
- Toegankelijkheid.

#### **Opmerkingen**

Ervaringsgegevens:

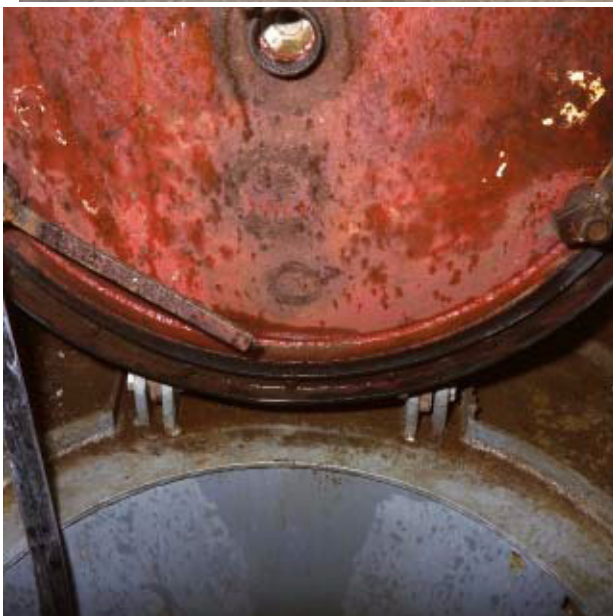
- Bij de Wijkertunnel heeft de lange toegangsschacht niet gelekt, terwijl de deur onderin de schacht bijzonder prettig is gebleken tijdens het afzinkgereed maken en het afzinken.



**Bouwfase**

De bevestiging van de toegangschacht vindt plaats met behulp van moeren aan het stalen ingestorte deel (mangaf) van het dak, zie Afbeelding 8.8.10.





*Afbeelding 8.8.10, Toegangschacht in bouwfase.*

**Opdrijffase**

De toegangsschacht heeft in de opdrijffase geen specifieke functie anders dan het verzorgen van toegang indien noodzakelijk.

**Transportfase**

De toegangsschacht heeft in de transportfase geen specifieke functie anders dan het verzorgen van toegang indien noodzakelijk.

**Opmerkingen**

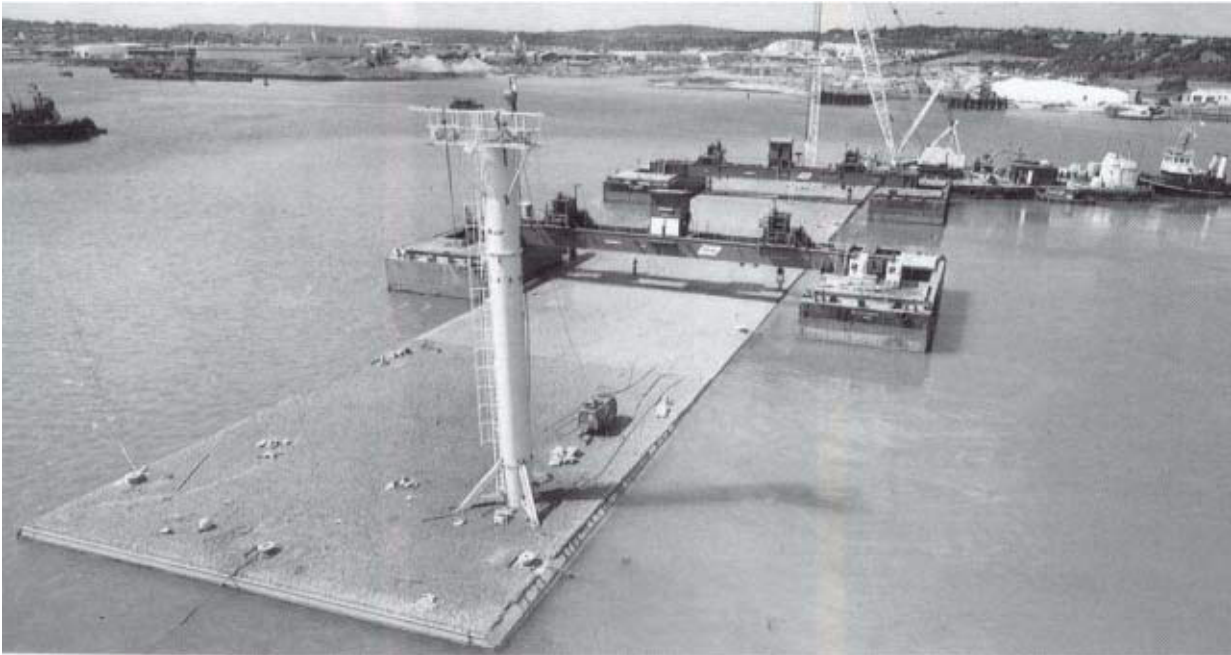
De korte toegangsschacht, welke tijdens en na het inunderen de toegang tot de elementen verzorgde, bleef tijdens het transport staan en was via een bordes met het generatorplatform verbonden. Eventueel kon tijdens het transport, in geval van nood en zwaar weer, iemand met behulp van een helikopter op het element geplaatst worden.

**Afzinkfase**

- De toegangsschacht heeft in principe in de afzinkfase geen specifieke functie anders dan het verzorgen van toegang indien noodzakelijk.
- In sommige gevallen doet de toegangsschacht dienst als commandopost of meetmast. Voor het afzinken van ieder element zijn er op de toegangsschacht en de meetmast prisma's aangebracht en ingemeten. Deze prisma's worden "gekoppeld" aan de meetpunten op en in het element waardoor tijdens het afzinken via deze spiegeltjes het element gevolgd kan worden.
- De toegangsschacht wordt tegenwoordig als tweede meettoeren toegepast, waarop uithouders met reflectoren zijn geplaatst. In het ontwerp rekening houden met stabiliteit en sterkte van de schacht, omdat er vaartuigen tegen de toegangsschachten worden afgemeerd om personeel te kunnen afzetten c.q. ophalen.

**Opmerkingen**

Een belangrijk aandachtspunt is, dat als er zich ooit een situatie voordoet waarin het tunnelement zinkt, de toegangsschacht gebruikt moet kunnen worden voor het leegpompen van het element. Zie Afbeelding 8.8.11.



*Afbeelding 8.8.11, Tunnelement in afzinkfase.*

#### **Einde afzinkfase**

De toegangschacht wordt na het afzinken verwijderd. Voordat de toegangschacht wordt verwijderd, wordt eerst een staalplaat in het mangat gelast en wordt de sparing van het toegangsluik in het dak volgestort met grind. Het grind wordt later van binnen uit geïnjecteerd met grout. Hiervoor is het van belang dat de benodigde injectie- en ontluchttingsbuizen op de juiste plaats zitten. Als laatste worden de moeren door duikers losgemaakt waarna de toegangschacht voor een volgend af te zinken tunnelement wordt gebruikt.



## **8.8.4 Tijdelijke oplegging**

### **8.8.4.1 Intro**

#### **Omschrijving**

Nadat het element is afgezonken, ligt het op een drietal steunpunten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de primaire en secundaire oplegging.

- De primaire oplegging bestaat uit uitkragende oplegnok aan de primaire zijde en twee uitkragende oplegnokken aan de secundaire zijde, de zogenoemde driepuntsoplegging. Op deze neus- en kinconstructie wordt een stalen pen- en vangconstructie aangebracht, zie Afbeelding 8.8.12.
- De secundaire oplegging wordt gevormd door een tweetal vijzelpennen. Hiermee wordt het element op van te voren geplaatste oplegtegels op de bodem van de zinksleuf gelegd.



*Afbeelding 8.8.12, Neus- en kinconstructie met stalen pen- en vangconstructie.*

### 8.8.4.2 Fasering

#### Ontwerpfase

De primaire oplegging bestaat uit:

- Een betonnen neus- en kinconstructie.
- Een stalen pen- en vangconstructie die op de neus- en kinconstructie wordt bevestigd. Deze constructie zorgt voor het centreren en stellen van de elementen tijdens het afzinkproces, zie Afbeelding 8.8.13.
- De totale constructie wordt meestal aangebracht op de twee tussenwanden van het middenkanaal.
- Bij toepassing van een grindbed, dient de pen- en vangconstructie aangepast te worden (alleen zoeker functie).

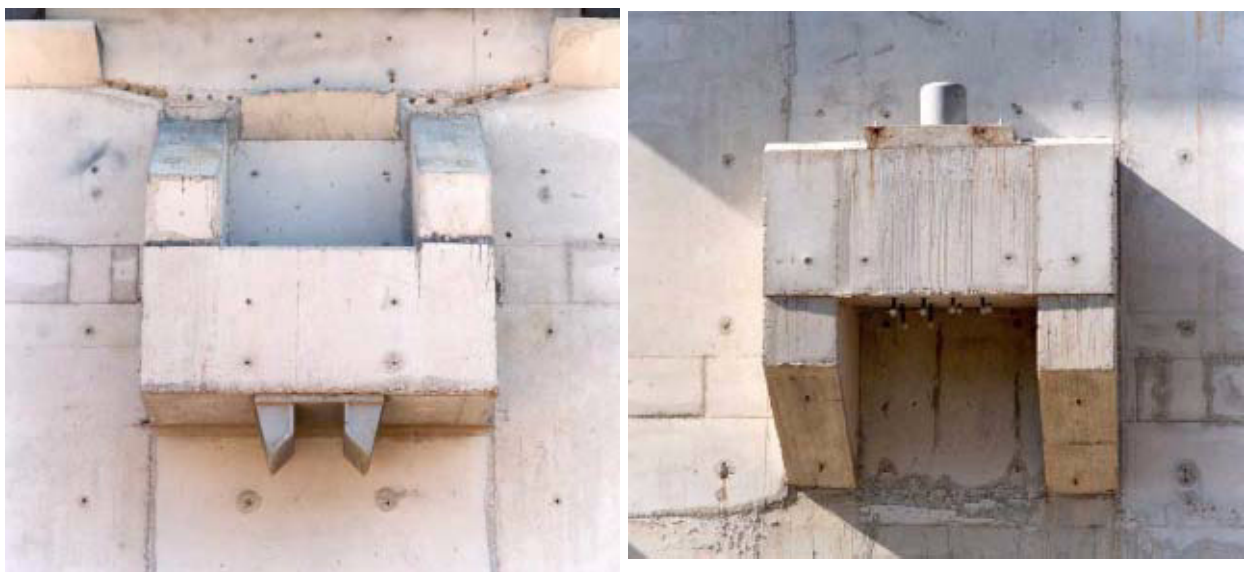
De secundaire oplegging bestaat uit:

- Vijzelpennen, die na het afzinken worden neergelaten op de van te voren op de bodem van de zinksleuf geplaatste grote betontegels. De vijzels (Afbeelding 8.8.14) en vijzelpennen (Afbeelding 8.8.15), aangebracht in het inwendige van het element, worden toegepast voor het opleggen en stellen van de elementen tijdens het afzinken.
- In principe bestaat de secundaire oplegging uit 2 vijzelpennen. Bij uitzonderlijk grote tunnelementen kan het noodzakelijk zijn om meerdere vijzelpennen toe te passen.

#### Opmerkingen

Als indicatie geldt dat meestal wordt gestreefd om de belasting op de neusoplegging minimaal vertikaal 500 kN te laten bedragen. Horizontale belasting maximaal 500 kN op neus.

Hierdoor is er bij de buitenwanden voldoende ruimte om eventueel kwispelvijzels te plaatsen.



Afbeelding 8.8.13, Pen- en vangconstructie.



*Afbeelding 8.8.14, Vijfels in sparing tunnelwand.*



*Afbeelding 8.8.15, Vijzelpen tijdens bouwfase.*



**Bouwfase**

- Omdat de betonnen neus- en kinconstructie een grote hoeveelheid wapening vereist die in de wanden van de tunnel moet worden opgenomen, dient dit tijdens de bouw extra zorg ten aanzien van de verdichting van het beton.
- De stalen pen- en vangconstructies worden na inmeten door middel van in te storten ankers dan wel in te lijmen (gietkunsthars - epoxy's) aan de neus- en kinconstructie verankerd.

**Opmerkingen**

Aandachtspunt tijdens de bouwfase betreft het inmeten van de pen- en vangconstructie. Deze moeten tijdens het monteren diverse keren gemeten worden om de verschuivingen in de lokale Y-richting tijdens het afzinken te beperken. Hoe beter de pen/vang op elkaar zijn afgestemd des te minder sprongen er in de Y-richting in de zinkvoegen, na het afzinken, optreden.

**Opdrijffase**

In deze fase hebben de tijdelijke opleggingen geen functie.

**Opmerkingen**

Aandachtspunt is het borgen van de ingetrokken vijzelpennen.

**Transportfase**

In deze fase hebben de tijdelijke opleggingen geen functie.

**Afzinkfase**

- De primaire oplegging vereist een vrij grote plaatsnauwkeurigheid. Dit in verband met het zeker zijn van het rondom aanliggen van het GINA-profiel in de laatste fase van het afzinken.
- De secundaire oplegging behoeft in eerste instantie minder plaatsnauwkeurigheid. Het element wordt met de vijzelpennen op de betonnen tegels geplaatst en kan door het intrekken of uitduwen van de vijzelpennen in hoogte worden gecorrigeerd.
- Vijzels moeten in afgezonken toestand verticaal staan, i.v.m. het neerzetten van het tunnelelement op de tegels.

**Onderstroomfase**

Tijdens het onderstromen worden de opleggingen gevormd door de tijdelijke opleggingen. De belastingen tijdens deze fase worden continu afgelezen.

**Afbouwfase**

Op het moment dat het element volledig op zijn definitieve oplegging staat, worden de tijdelijke opleggingen verwijderd.

**Opmerkingen**

De vijzelpennen worden ingetrokken en verankerd, de stalen pen- en vangconstructie wordt gedemonteerd en de kin en neusconstructie wordt gesloopt.



### **8.8.4.3 Detaillering**

#### **Kwispelen**

Om het element aan de secundaire zijde, nadat het GINA-profiel overal aansluit, in dwarsrichting te verplaatsen, kan gebruik worden gemaakt van vijzels. Deze worden op de kapse kanten van de buiten wanden in de zinkvoeg geplaatst of in de vloer van de zinkvoeg. Door aan een zijde dan te duwen "kwispelt" het element.

#### **Opmerkingen**

Ingeval dy secundaire zijde groter is dan 35 mm (tolerantie).

#### **Opwippen (borging taats)**

Indien uit de berekening blijkt dat het element aan de primaire zijde niet in alle situaties een neerwaartse belasting heeft, kan om opwippen te voorkomen de pen en vangconstructie door middel van voorspanstaven aan elkaar worden verbonden.



---

SAATU

Benodigde voorzieningen

## 8.8.5 Tijdelijke waterkering

### 8.8.5.1 Intro

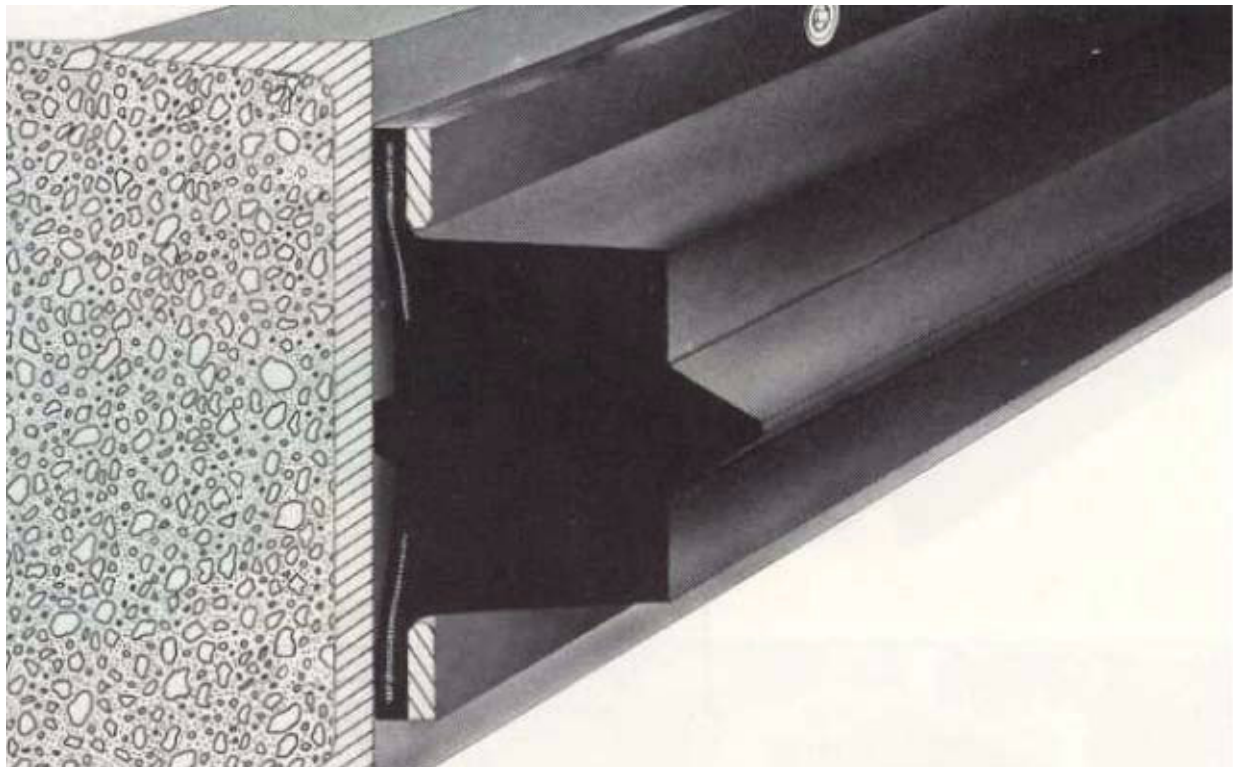
#### Omschrijving

De tijdelijke waterkering in de zinkvoeg tussen twee tunnelelementen wordt na het afzinken verzorgd door het zogenoemde GINA-profiel. In principe zou de tijdelijke waterkering ook op een andere wijze kunnen worden gerealiseerd. De uiteindelijke verantwoordelijkheid ligt bij de aannemer. Echter bij de tot nu toe gerealiseerde tunnels in Nederland is, uit het oogpunt van betrouwbaarheid, steeds gekozen voor deze oplossing, zie Afbeelding 8.8.16 en Afbeelding 8.8.17. Zie SATO voor exacte details.

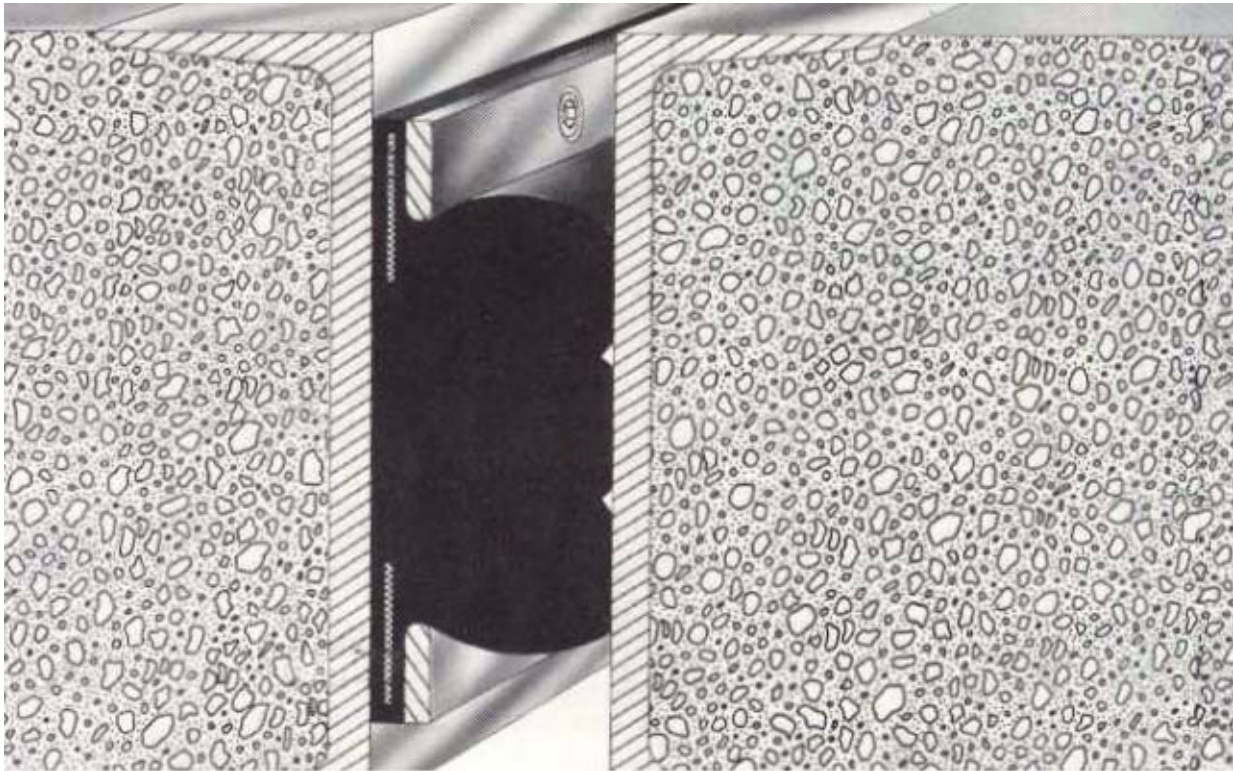
Het GINA-profiel, speciaal ontwikkeld voor de tunnelbouw, is een massief rubberprofiel, opgebouwd uit rubber. Afhankelijk van het gekozen type kan het neusje van het profiel zachter zijn dan de kern. Van de rubberkarakteristieken is met name de shore hardheid van belang.

Afhankelijk van de produktiewijze van de fabrikant/leverancier zijn twee typen te onderscheiden. Een profiel vervaardigd met een matrijs (Vredestein) en een geextrudeerde variant (Bakker-Rubber/Trelleborg). Het belangrijkste verschil is de maatvastheid. Deze is groter bij een met een matrijs gemaakt profiel. Voor gedetailleerdere informatie wordt verwezen naar de productbeschrijvingen van de leveranciers, als voorbeeld zie Afbeelding 8.8.18.

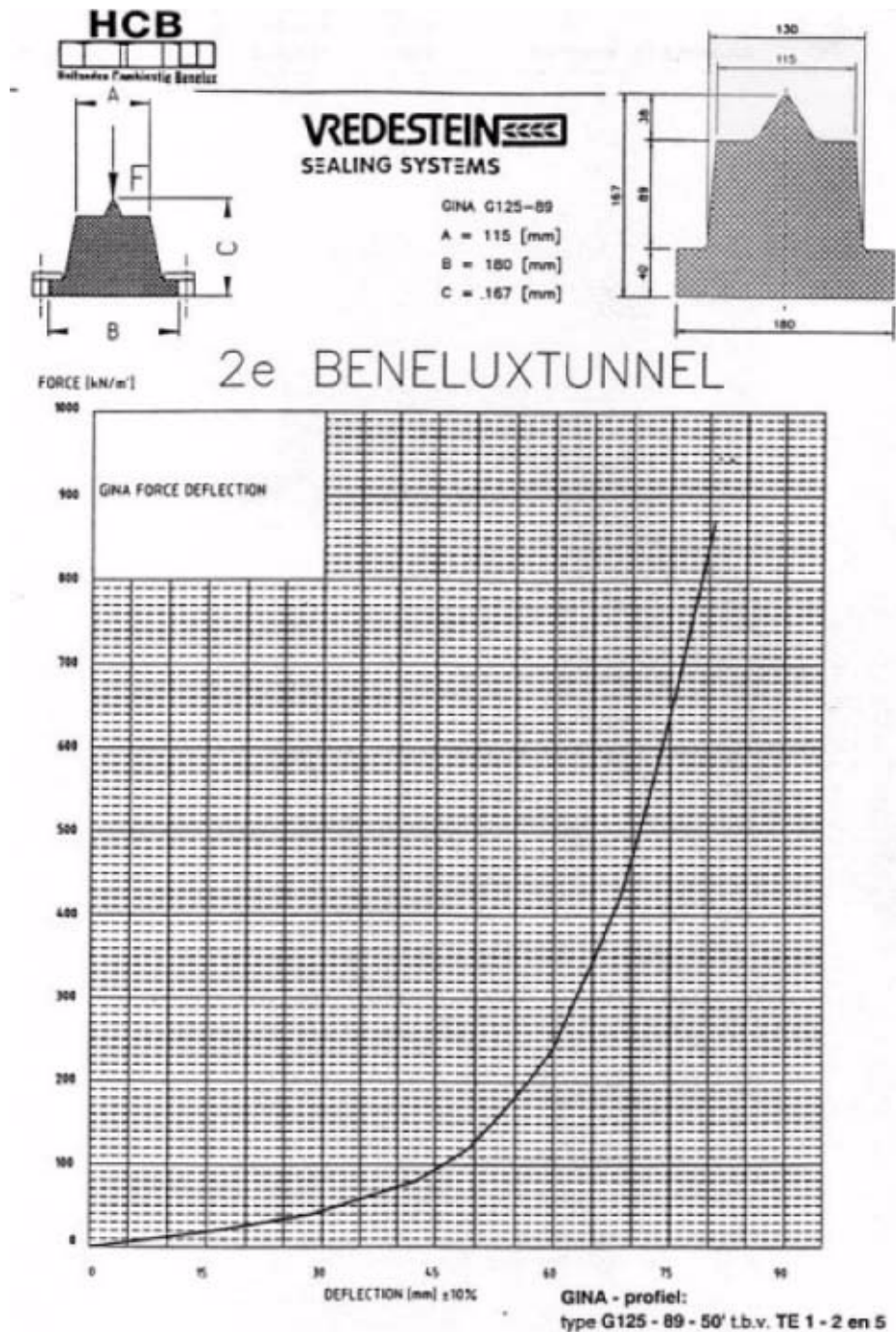
Voor speciale toepassingen (zie Ørosund tunnel) is een speciaal GINA profiel ontwikkeld met twee verschillende shore hardheden.



Afbeelding 8.8.16, GINA-profiel.



*Afbeelding 8.8.17, Ingedrukt GINA-profiel.*



Afbeelding 8.8.18, Productinformatie van een GINA-profiel.

### 8.8.5.2 Fasering

#### Ontwerpfase

- De te eisen nauwkeurigheid en vervormingseigenschappen van het GINA-profiel worden in de ontwerpfase bepaald. Ondanks dat bij het ontwerpen van een tunnel ervan wordt uitgegaan dat het GINA-profiel de waterkering alleen tijdelijk hoeft te verzorgen - vanaf het afzinken totdat het OMEGA-profiel is aangebracht en getest - blijkt uit ervaring dat het profiel na vele jaren nog steeds functioneert.



- De combinatie GINA-profiel en primaire-neus/kinoplegging dient zodanig te worden ontworpen en uitgevoerd dat deze vanaf het moment van afzinken en op elkaar aansluiten van de tunnelementen tot het moment dat de tunnelementen op de definitieve fundatie ligt, horizontale krachten op het tunnelement kunnen opnemen. Deze krachten kunnen onder meer worden veroorzaakt door overvarende schepen. Dit resulteert in een bepaalde minimale wrijvingsweerstand tussen GINA-profiel en staal, daarbij is de druk op het GINA-profiel afhankelijk van de waterdiepte. Als indicatie is dit meestal in de orde van grootte van 60 kN/m.

### **Bouwfase**

- In de bouwfase is op de koppen van de tunnelementen aan de primaire zijde een zinkvoegomranding aangebracht waarop het GINA-profiel kan worden gemonteerd, zie Afbeelding 8.8.19. Aan de secundaire zijde is eveneens een zinkvoegomranding aangebracht, maar deze heeft als doel de aanslag voor het GINA-profiel in het afzinkproces te zijn, zie Afbeelding 8.8.20.
- Aan de zijde waar het GINA-profiel moet worden gemonteerd, zijn in de stalen platen op de positie van de bevestigingspunten gaten geboord. Aan de binnenzijde zijn moeren gelast waar later de bevestigingsbouten van het GINA-profiel in passen. Vervolgens wordt de ruimte tussen het stalen profiel en de platen gevuld met grout. Hierbij is het van belang dat de schroefdraad van de moeren niet kan vollopen.
- Het GINA-profiel wordt met behulp van klemstrippen tegen de stalen zinkvoegomranding gemonteerd.
- De gaafheid van het neusje en de nauwkeurigheid van het GINA-profiel zijn van groot belang voor het kunnen realiseren van de tijdelijke waterdichtheid in de afzinkfase en moet daarom ook in deze fase worden gecontroleerd.
- Bij levering van het GINA-profiel is het omwikkeld met jute doek om beschadigingen en aantasting door UV-straling te voorkomen. Bij de opslag en het transport op de bouwplaats moeten maatregelen worden genomen om beschadigingen aan het GINA-profiel te voorkomen.

### **Opmerkingen**

De zinkvoegomrandingen zijn opgebouwd uit stalen profielen, meestal een IPE 500, die bij de bouw van de tunnelementen is meegenomen. Deze profielen worden geconserveerd met behulp van een epoxy coating. Aan de binnenzijde van de stalen profielen kunnen injectiesponsjes worden opgenomen om eventuele ruimte tussen staal en beton te injecteren. Nadat de secundaire en de primaire zijde van de te beschouwen tunnelementen zijn ingemeten, worden op de juiste maat en met grote nauwkeurigheid stalen platen in het stalen profiel gelast. Om de levensduur van de zinkvoegomranding zeker te stellen, wordt na het lassen en slijpen alle beschadigde plekken behandeld met een zinkcompound. Het is van belang om voor zowel de stalen profielen als de platen te zorgen voor rechte en vlakke profielen (niet getordeerd).



*Afbeelding 8.8.19, Primaire zijde tunnelelement.*





Afbeelding 8.8.20, Sluitvoeg.

**Opdrijffase**

Om beschadigingen van het GINA-profiel te voorkomen wordt een beschermconstructie tot circa 1,5 m vanaf de bovenzijde van het tunnelement aangebracht.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.8.21.



*Afbeelding 8.8.21, Beschermconstructie GINA-profiel.*

#### **Transportfase**

De beschermconstructie blijft in deze fase aanwezig en wordt afhankelijk van het transportsysteem nog gecombineerd met een duwbootframe.

#### **Afzinkfase**

In deze fase wordt de beschermconstructie verwijderd en het GINA-profiel opnieuw rondom gecontroleerd op beschadigingen. Als het GINA-profiel van het tunnelelement, dat wordt afgezonken, met het neusje tegen het vorige element of het landhoofd aanligt, wordt een initiële vervorming van het GINA-profiel gerealiseerd. Dit kan met behulp van de lieren dan wel met een aparte constructie, daarna zal op natuurlijke wijze met behulp van de waterdruk het tunnelelement tegen het vorige tunnelelement aangedrukt worden.

**Onderstroomfase**

Tijdens deze fase moet de tijdelijk waterkering functioneren.

**Afbouwfase**

De waterkerende functie wordt in deze fase overgenomen door de definitieve waterkering (Omega-profiel).

**8.8.5.3 Detaillering****Zinkvoegomranding**

De primaire en secundaire zijden van de betreffende tunnelelementen worden gecontramald. Bij het inlassen van de platen kunnen kleine aanpassingen worden gedaan ten opzichte van de theoretische maat.

**Opmerkingen**

Om te voorkomen, dat tijdens het afzinken de flenzen van de zinkvoegomranding elkaar zouden raken worden op plaatsen, waar deze meer dan 25 mm buiten de in te lassen plaat steken, weggebrand.

**Stellen**

Na het inmeten van de stalen zinkvoegomrandingen, aan zowel de primaire als de secundaire zijde, is het stellen van deze omrandingen tijdens het vlechten en het storten van de moten geen eenvoudige opgave.

**Opmerkingen**

Rechte vlakke profielen gebruiken (niet getordeerd). Verplaatsingen van de kopkist in de gaten houden.

**Sluitvoegwiggen**

Het uitzakken en verschuiven van de sluitvoegwiggen ten opzichte van elkaar voorkomen door middel van een ondersteuning op de sluitvoegomranding.

**Opmerkingen**

Deze aspecten spelen alleen bij de sluitvoeg.

Zie bijlage 10.6.B. Zie Afbeelding 8.8.20 voor omranding, Afbeelding 8.6.1 voor wiggen en ondersteuning

**Injectiesponsjes**

Aan de binnenzijde van de stalen zinkvoegomranding kunnen injectiesponsjes worden opgenomen om de eventuele ruimte tussen de stalen omranding en het beton te injecteren.

**Opmerkingen**

Indien er toch nog lekkage optreedt na het afzinken dan kan deze worden verholpen door in de zinkvoegomrandingen te boren en deze na te injecteren.

**Afwerken (conservering)**

Om de levensduur van de omranding en de ingelaste platen, na het laswerk en/of wegbranden, te verbeteren moeten alle beschadigde plekken worden bijgewerkt met een zinkcompound.



## **8.8.6 Definitieve waterkering**

### **8.8.6.1 Intro**

#### **Omschrijving**

De definitieve waterkering in de zinkvoeg tussen twee tunnelelementen wordt verzorgd door het zogenoemde OMEGA-profiel. De waterkering van de stortnaden tussen de moten van de tunnelelementen wordt gegarandeerd door het W9U-I profiel.

De definitieve waterkering zou ook op een andere wijze kunnen worden ontworpen en uitgevoerd. Bij de huidige tunnels is echter door de tunnelontwerpers, op basis van gebleken betrouwbaarheid, steeds gekozen voor het OMEGA-profiel en W9U-I profiel.

### **8.8.6.2 Fasering**

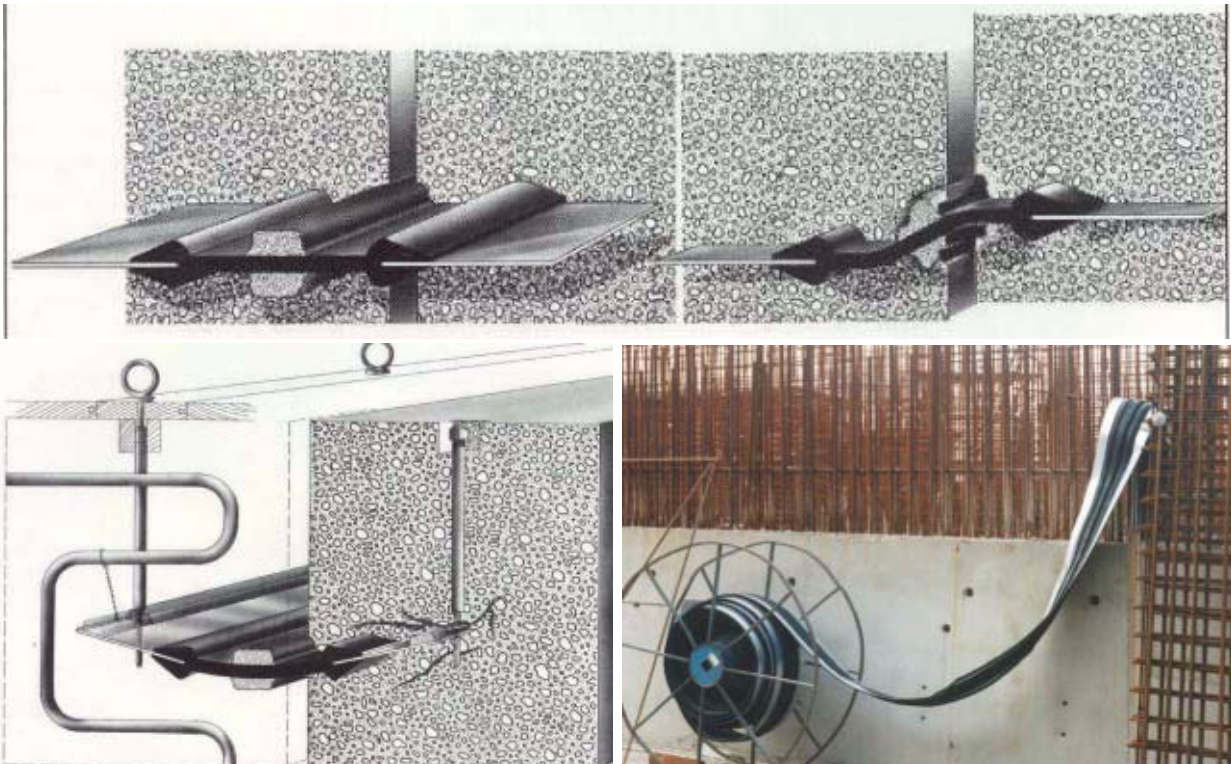
#### **Ontwerp-fase**

In de ontwerp-fase zal met name aandacht moeten worden besteed aan de maatvoering en mogelijke bevestiging van het OMEGA-profiel en de detaillering van de wapening rondom het W9U-I-profiel. Het W9U-I-profiel is een injecteerbare dilatatievoegstrook die speciaal is ontwikkeld voor de tunnelbouw. Specifiek zijn de injecteerbare sponsprofielen die op de dilatatievoegstrook zijn aangebracht. Voor verdere productinformatie wordt verwezen naar de folder van de fabrikant/leverancier.

#### **Opmerkingen**

Sponsprofiel van W9U-I insmeren met vaseline voor monteren in constructie, zodat er geen hechting op zal treden tussen sponsprofiel en beton (dus niet alleen als het langer dan een jaar duurt voordat men injecteert). Zie voor injectiedrukken documentatie van de leverancier en ontwerp-uitgangspunten wapening rond W9U-I profiel.

Zie Afbeelding 8.8.22.



Afbeelding 8.8.22, W9U-I-profiel

### **Bouwfase**

Specifieke uitvoeringsaspecten voor het W9U-I-profiel zijn te onderscheiden ten aanzien van:

- De montage.
- De stortprocedure.
- Het injecteren.
- De voorzieningen ten behoeve van het injecteren.
- De injectievloeistof.

De aannemer, die verantwoordelijk is voor een goede uitvoering van het totale traject, vanaf monteren tot en met het injecteren, zal om de vereiste kwaliteit te kunnen garanderen, moeten werken met werkplannen, werkinstructies, checklijsten en registratie van de verrichte werkzaamheden.

### **Montage**

Het W9U-I-profiel moet zo worden geplaatst dat het injecteerbare sponsprofiel naar de buitenzijde van de constructie gericht is. De injectie openingen van de injectiepijpjes komen uit aan de binnenzijde van het tunnelelement. De montage van de slab zelf en de vormgeving van de wapening om de dilatatievoegstrook te fixeren is niet anders dan bij standaard betonwerk.

### **Stortprocedure**

Tijdens het storten moet grote zorgvuldigheid worden betracht ten aanzien van het voorkomen van luchtinsluitingen rondom de dilatatievoegstrook. Tevens moet ervoor worden gezorgd dat de injectiepijpjes niet vol kunnen lopen met cementwater.

**Injecteren**

- Het injecteren gebeurt door in een vastgestelde volgorde de om de 3,0 á 3,5 m aangebrachte injectiepijpjes op een vooraf vastgestelde druk te vullen met injectievloeistof. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een handpomp met een geijkte manometer. Het injecteren gebeurt voordat het bouwdok wordt geïnuundeerd. Door de leverancier wordt aanbevolen te injecteren nadat de voorspanning is aangebracht. Dit staat op gespannen voet met de wens om de voorspanning aan te brengen als de funderingsdruk zo minimaal mogelijk is.
- Het injecteren van het W9U-I-profiel dient zorgvuldig te geschieden. De injecteerder dient op de hoogte te zijn van de gevoeligheden en accuraat kunnen inspelen op afwijkingen. Op het moment van injecteren kan een verschil tussen de geregistreerde hoeveelheid injectievloeistof ten opzichte van de verwachte hoeveelheid zo'n afwijking zijn.

**Injectievloeistof**

Als injectievloeistof komt in aanmerking een oplosmiddelvrije epoxyhars.

**W9UI**

Het W9UI profiel wordt ook toegepast in de sluitvoeg, dat betekent, dat bij transport, afzinken en onderstromen hier aandacht voor moet zijn.

**Opdrijffase**

In deze fase moet worden gecontroleerd of de waterdichtheid van de stortnaden is gerealiseerd.

**Transportfase**

Geen aandachtspunten.

**Afzinkfase**

Geen aandachtspunten.

**Onderstroomfase**

Geen aandachtspunten.

**Afbouwfase**

In de afbouwfase wordt het OMEGA-profiel gemonteerd en met een montageglas aaneengesloten. Daarna wordt het profiel met behulp van een klemconstructie op de zinkvoegomranding gemonteerd. De moeren van de klemconstructie moeten met een minimum voorspanning worden aangedraaid, waarbij er rekening mee moet worden gehouden dat de ingestelde voorspankracht door kruip van het rubber en het aandraaien van naastliggende moeren wordt verminderd. De moeren dienen met een vooraf geijkte en ingestelde slagmoersleutel of pneumatische moeraanzetter worden aangedraaid in tenminste twee ronden om de minimaal benodigde aandrukkraft rubber/metalen omranding te verkrijgen. Door gebruik van een hol vijzel kan de verkregen trekkracht in een boutverbinding steekproefsgewijs worden gecontroleerd. Na het monteren van het OMEGA-profiel wordt om de waterdichtheid te controleren de ruimte tussen het GINA- en OMEGA-profiel tenminste 24 uur op druk afgeperst, waarbij geen drukverlies mag optreden. In een sparing in de middenwand komt een buis ten behoeve van het afpersen, welke na de controle op de waterdichtheid wordt afgedopt.

**Opmerkingen**

Bij de Noordtunnel is het afpersen van het OMEGA-profiel niet volledig gelukt, omdat de opgebouwde waterdruk te snel ontsnapte tussen de speciaal hiervoor aangebrachte afsluitende rubberen ring en het OMEGA-profiel.

Zie Afbeelding 8.8.23, Afbeelding 8.8.24 en bijlage 10.6.A.



*Afbeelding 8.8.23, OMEGA-profiel.*



*Afbeelding 8.8.24, Aanbrengen OMEGA-profiel.*





---

SAATU

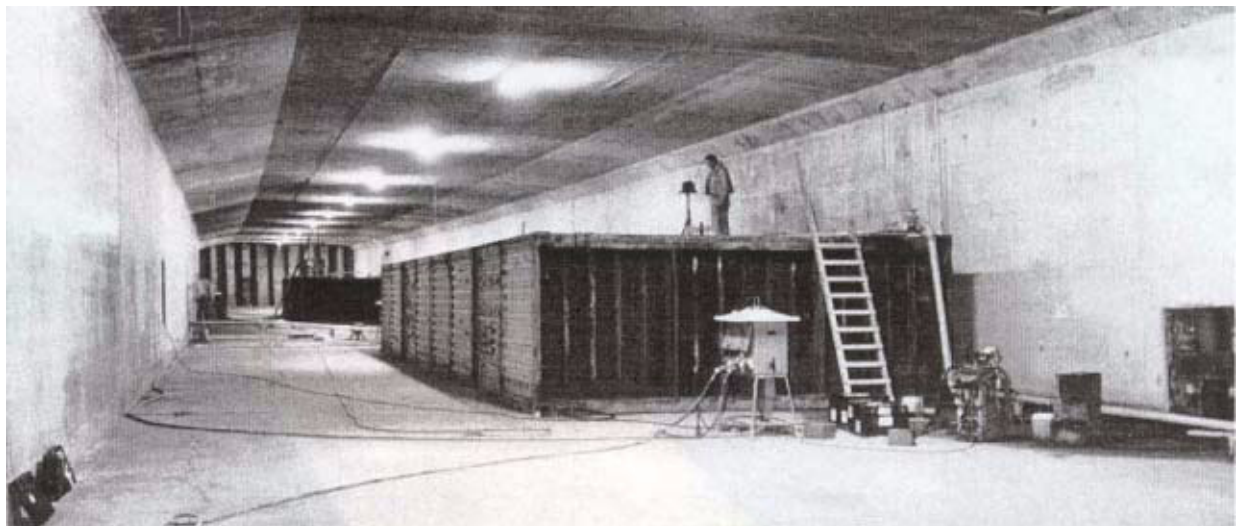
Benodigde voorzieningen

## 8.8.7 Waterballastsysteem

### 8.8.7.1 Intro

#### Omschrijving

Tijdens heel het OTAO proces speelt het waterballastsysteem een belangrijke rol. Het systeem zorgt ervoor, dat de tunnelementen tijdens het inunderen van het bouwdok aan de grond blijven en daarna beheerst kunnen worden opgedreven. Voor het transporteren van de tunnelementen speelt het waterballastsysteem eigenlijk alleen een rol in de noodprocedures. Voor het afzinken van de tunnelementen tot aan het uitwisselen met ballastbeton, in de afbouw, is beheersing van het waterballastsysteem weer van groot belang. Het waterballastsysteem is een hulpconstructie en valt dus onder de verantwoordelijkheid van de aannemer. Het waterballastsysteem wordt voor zover mogelijk tijdens de bouw van de tunnelementen meegenomen. De laatste delen van het systeem worden pas in de afbouwfase van de tunnel verwijderd, zie Afbeelding 8.8.25.



Afbeelding 8.8.25, Waterballastsysteem.

### 8.8.7.2 Fasering

#### Ontwerpfase

Het ontwerpen van de verschillende componenten van het waterballastsysteem is een taak van de aannemer. De volgende componenten worden onderscheiden:

- Waterballasttanks.
- Leidingen en afsluiters.
- Pompen.
- Slingerschotten (indien van toepassing)

Waterballasttanks:

De bepaling van de positie, afmeting en mogelijke vulhoogte van de waterballasttanks heeft een directe en belangrijke relatie met:

- De geometrie van de tunnel.
- De variatie van volumegewicht van het te maken beton.



- De beheersing van de maatvoering van het tunnelement.
- De transportvoorwaarden.
- De variatie van de waterdichtheid in het bouwdok en op de afzinklocatie.
- De minimaal vereiste funderingsdruk van het tunnelement in het bouwdok en de zinksleuf.
- De schuinite van de langshelling van het tunnelement in met name de eindfase.
- De gewichten van aanwezig hulpmateriaal en -materieel in de diverse fasen.

**Opmerkingen**

Het zal duidelijk zijn dat het ontwerp en de uitvoering van het waterballastsysteem in nauwe samenhang moet geschieden met het ontwerp en detaillering en met het tunnelement zelf. Het in het bestek voorschrijven van een bepaald soort ballastsysteem is niet aan te raden, want de aannemer moet de vrijheid hebben het ballastsysteem aan te kunnen passen aan zijn operaties en ruimtebehoefte in het element. In bepaalde situaties kan het nuttig zijn om toch enkele specifieke eisen in het bestek op te nemen, zoals:

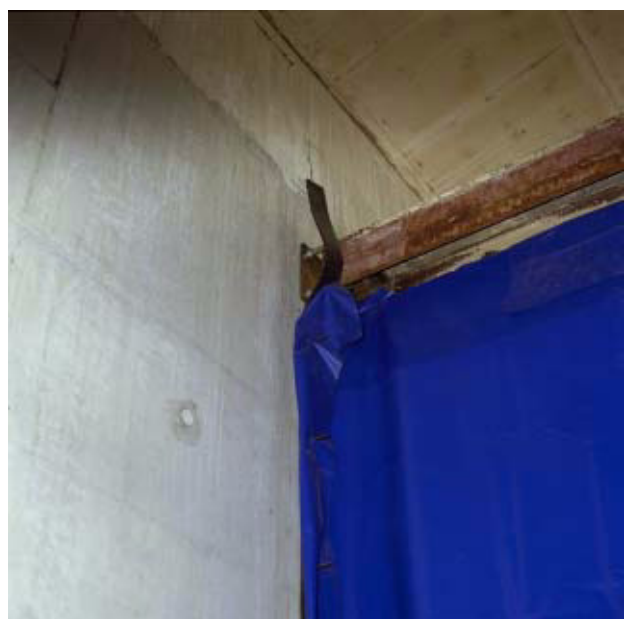
- Het niet toestaan van bepaalde materialen.
- Minimale diameters van leidingen.
- Indien folie wordt toegepast, moet worden gezorgd dat deze "ruim" past.

**Bouwfase**

- Het waterballastsysteem wordt, voor zover als dat mogelijk is, in deze fase geïnstalleerd.
- Alle waterballasttanks worden vooraf, in het nog droge bouwdok, gevuld en gecontroleerd op lekkage.

**Opmerkingen**

Zie Afbeelding 8.8.26.



*Afbeelding 8.8.26, Ballasttanks in bouwfase.*

**Opdrijffase**

Als uitgangspunt voor de hoeveelheid in te nemen ballastwater wordt meestal aangehouden, dat bij het vullen van het bouwdok met zout dan wel met brak water de minimale funderingsdruk  $1\text{ kN/m}^2$  bedraagt en bij het vullen van het bouwdok met zoet water de minimale funderingsdruk  $2\text{ kN/m}^2$  bedraagt. Uiteraard zijn dit funderingsdrukken voor de situatie dat het element geheel onder gedompeld is. (Een en ander is gebaseerd op de fluctuatie van het soort water dat bij het inlaten het Bouwdok Barendrecht kan binnenstromen. Dit kan zowel zoet als zout water zijn afhankelijk van het getij).

**Opmerkingen**

Voor inundatie worden de waterballasttanks gevuld. Voor het vullen wordt zo schoon mogelijk oppervlaktewater gebruikt.

**Transportfase**

In principe heeft het waterballaststelsel in deze fase geen functie. In diverse noodprocedures speelt het waterballaststelsel echter wel een rol.

**Afzinkfase**

- Tijdens het afzinkproces worden de ballasttanks gefaseerd gevuld om ervoor te zorgen, dat het tunnelement gecontroleerd (in de zin van de hijskracht) naar de gewenste positie zinkt. Het vullen van de waterballasttanks wordt op aanwijzing van de commandopost op het tunnelement uitgevoerd. Vandaar dat een simpel en goed werkend telefoonnet tussen de commandopost en de mensen in het tunnelement, voor de bediening van afsluiters en controle van waterhoogten in de ballasttanks, noodzakelijk is. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het betreffende hoofdstuk.
- Bij een lekkage van een ballasttank tijdens het afzinken is er weinig gelegenheid om de ballasttank weer leeg te pompen, het lek op te sporen en vervolgens het lek te dichten. De maatregel ten aanzien van een lekkage van een waterballasttank moet daarom ook worden gezocht in een beheersmaatregel, welke ervoor zorgt dat het gelekte water zo snel mogelijk kan worden ingedamd, waarna het weer in de waterballasttank terug kan worden gepompt.
- Bij een lekkage van een 'laaggelegen' waterballasttank vloeit het lekwater naar het naastgelegen kopschot, het laagste punt van het tunnelement. Van daaruit kan het water met een lekwaterpomp weer worden terug gepompt in de waterballasttank.
- Bij de lekkage van een 'hooggelegen' waterballasttank moet worden voorkomen dat dit water helemaal naar het 'laaggelegen' kopschot stroomt. Een mogelijke oplossing is om op de vloer van de tunnelementen, naast de vakken waar het ballastbeton moet komen, houten slingerschotten (ca.  $3 \times 0.4\text{ m}$ ) aan te brengen. Deze schotten moeten dan aan de onderzijde en aan de zijkanten worden voorzien van een waterdichte plakstrip of de schotten moeten rondom worden afgekit.

**Opmerkingen**

De waterballasttanks worden ook benut om het water op te vangen dat uit de zinkvoegen en de sluitvoeg komt.

**Onderstroomfase**

In deze fase wordt het waterballaststelsel benut om de vereiste funderingsdruk te behouden.

**Afbouwfase**

Na onderstromen van het tunnelelement en het aanvullen van de zinksleuf wordt het ballastwater gefaseerd vervangen door ballastbeton. Daarna kunnen de onderdelen van het waterballaststelsel successievelijk worden verwijderd.

**8.8.7.3 Detaillering****Waterballasttanks**

De bekendste ontwerp-varianten voor de waterballasttanks zijn:

1. Een constructie van stalen balken met houten beplating in combinatie met een folie.
2. Een of meerdere gedeelten van de tunnelbuizen hiervoor benutten.
3. Losse waterdichte containers.

Bij de waterballasttanks ervoor zorgen dat de horizontale belasting op de wanden of op de vloer kan worden afgedragen naar de tunnelvloer, tenzij binnen het systeem zelf voor horizontaal evenwicht wordt gezorgd.

Tevens zorgen voor bereikbaarheid ten behoeve van controle tijdens het vullen en legen van de waterballasttanks

**Opmerkingen**

ad 1

Deze constructie wordt vanuit het oogpunt van het demontabel zijn en mogelijkheid van hergebruik meestal verkozen. Bij het toepassen van folies zijn de hoekoplossingen en de aansluitingen met de houten beplating kritische punten.

ad 2

De waterindringing en kans op mindere beheersbaarheid met betrekking tot het verplaatsen van het water in onverwachte situaties spelen in de te kiezen variant een belangrijke rol. De waterballasttanks worden gemaakt door een waterdichte constructie tussen twee wanden te maken. De betonwanden dienen als waterkerende wand en hiervoor worden geen voorzieningen getroffen, zoals folie of iets dergelijks, omdat de waterindringing in het beton van de wanden slechts enkele mm bedraagt.

**Peilschalen**

Ten behoeve van het kunnen meten van de gerealiseerde vulhoogte zijn in de waterballasttanks peilschalen.

**Nummering**

Op de waterballasttanks wordt een nummering aangebracht.

**Leidingen**

- De leidingen kunnen zowel van staal als van HDPE zijn. Indien HDPE leidingen worden toegepast, kan worden geëist, dat tijdens het OTA-proces, reparatiesets voor HDPE leidingen aanwezig zijn. Om ervoor te zorgen, dat de leidingen niet in de weg zitten, wordt aanbevolen deze hoog op te hangen. Bij het ontwerp van de diameter van de leidingen rekening houden met de vultijd van de waterballasttanks, met name in de afzinkfase. In het kopschot zijn afsluiters opgenomen om de leidingen te kunnen doorkoppelen.
- In het leidingstelsel zijn op kritische plaatsen terugslagkleppen opgenomen om ervoor te zorgen, dat het water niet kan terugstromen, ook kan er voor snelkoppelleidingen worden gekozen.

**Pompen**

In de verschillende fasen kunnen randvoorwaarden voorkomen die verschillende typen pompen vereisen. Zo zal bij het vullen van de tanks de opvoerhoogte niet echt relevant zijn, terwijl de opvoerhoogte in de afzinkfase ten behoeve van het legen aanzienlijk kan zijn. Ook spelen het energieverbruik en het gewenste debiet een rol.



## 8.8.8 Verplaatsing en transport

### 8.8.8.1 Intro

#### Omschrijving

De als waterdichte doos uitgevoerde constructie moet vanuit het bouwdok naar de uiteindelijke afzinkplaats worden getransporteerd. Hiertoe worden tal van hulpmiddelen gebruikt.

- Op en aan het element worden diverse hulpmiddelen gemonteerd, welke tot doel hebben het element te kunnen verplaatsen c.q. te kunnen transporteren naar de plaats van bestemming.

Specifieke hulpmiddelen:

- Bolders.
- Duwbootframe.
- Lieren.
- Klapschijven.
- Fenders/fenderconstructie/geleidingsconstructie.
- Sleep/duwboten.
- Pontons.
- Drijvende bok.
- Verlichting in het element.
- Borden voor de scheepvaart.

### 8.8.8.2 Onderdelen

#### Bolders

- Bolders zijn een tijdelijke bevestiging voor:
- De ankerdraden bij opdrijven en afmeren.
- De sleepdraden bij het transport van elementen.
- De ankerdraden bij het afmeren op afzinklocatie.
- De ankerdraden voor het verhalen en afzinken van het tunnelement.
- Bolders worden speciaal voor de tunnel ontworpen, deze worden niet bij andere tunnels gebruikt. Uitvoeringsaspecten zie [SATO deel 5, hfdst. 7].
- Bolders worden op het tunnelement geplaatst in het bouwdok en verwijderd na het afzinken door de duikers.

#### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.8.27.





Afbeelding 8.8.27, Bolders

#### Duwbootframe

- Ten behoeve van de krachtsoverdracht van duwboot naar tunnelelement (dit kan zowel de primaire als de secundaire zijde van een tunnelelement zijn).
- Een stalen constructie (ontwerp aannemer) om beschadigingen van beton en de stalen omranding IPE tijdens of gedurende OTAO proces te voorkomen. Gina-bescherming kan soms geïntegreerd worden in dit frame.
- Deze wordt door middel van ankers en bouten aan het tunnelelement bevestigd. Bij ongewenste belastingen moet dit frame de krachten absorberen en anders moeten de bouten, waarmee dit frame aan de tunnelelement is vastgezet, altijd bezwijken.

Leermoment met betrekking tot beheerst varen.

Bij de Wijkertunnel was één van de twee duwbootframes kapot gevaren. De constructie bleek gewerkt te hebben. De bouten waren op afschuiving bezweken, terwijl de beton- en staalconstructie geen schade hebben opgelopen. Aan de duwbootkapitein werd gevraagd om in het vervolg de elementen iets rustiger te naderen.

#### Lieren

- Voor het uitlieren van een element uit het bouwdok.
- Na het afzinken van een tunnelelement moet het neusje van het GINA-profiel worden ingedrukt om de eerste afdichting voor de afsluiting zinkvoeg te realiseren. Dit gebeurt door middel van het aantrekken met een lier met ca. 50 ton van het tunnelelement tegen het voorgaande, waardoor het neusje iets wordt ingedrukt. Het aangrijpingspunt ligt dicht bij de primaire voeg op het dak van het

af te zinken tunnelement. De lieropstelling is op de wal of op lierpontons of in de landhoofdconstructie, waarvoor een sparing met een draadkluis wordt gemaakt. Afhankelijk van de situatie, breedte vaarweg en locatie van het tunnelement ten opzichte van de wal kan ook een andere oplossing worden gekozen met verankerde lierpontons.

- Personeel moet de benodigde kennis en papieren bezitten om hiermee overweg te kunnen gaan.
- Altijd een lierplan maken.
- Lierplan op schaal uitproberen.

### Opmerkingen

Zie Afbeelding 8.8.28



Afbeelding 8.8.28, Lieren

### Klapschijven

De lierposities liggen vast.

### Fenders/fenderconstructie/geleidingsconstructie

- Beschermings-/geleidingsconstructie van een tunnelement. Om beschadigingen aan de tunnelementen en de afmeerstoelen te voorkomen.
- Een energievernietiger (absorbeert). Hiervoor worden meestal rubberen blokken gebruikt, soms een draglineschot.
- Uitvoeringsaspecten zie [SATO deel 5, hfdst. 7].
- De fenderconstructie wordt aan de afmeerzijde met behulp van kettingen of staakabels aan het bulbijzer op de afmeerstoelen van het tunnelement aangebracht.

### Sleep/duwboten

Bij het afzinken wordt het tunnelement op positie gebracht door de sleepboten.

### Pontons

- Kunnen gebruikt worden tijdens het uitlieren uit het dok.



- In Nederland wordt meestal afgezonken met behulp van afzinkpontons, zie Afbeelding 8.8.29.
- Bij het onderstromen is gebruik gemaakt van twee vaartuigen. Het onderstroomponton waarop een kraan, een menginstallatie, een mengselpomp en een controle-unit aanwezig waren en een duikersvaartuig waarop het verdeelstuk aanwezig was en vanaf waarvan het duikwerk werd verzorgd.
- Bij laag water "landt" het afzinkponton op de stoppingen boven op het dak van het tunnelement. Soms is het afzinkponton opgebouwd uit koppelcontainers.



*Afbeelding 8.8.29, Potons voor gebruik tijdens het afzinken.*

**Drijvende bok**

- Capaciteit ca. 300 ton.
- Kan soms als duwboot fungeren.
- Plaatsen tegels, wiggen en sluitvoegbekisting.

**Verlichting in het element**

- In de buizen van het af te zinken tunnelelement zijn lampen aanwezig.
- In de toegangskoker naar het tunnelelement is aan de bovenzijde een lamp aanwezig.
- Als noodverlichting zijn schijnwerpers aanwezig.
- Personeel heeft altijd een zaklamp in bezit.

**Borden voor de scheepvaart**

Borden in scotchlite uitgevoerd.

**Overige hulpmiddelen**

- Diversen veiligheidsvoorzieningen (reddingsvesten, -boeien e.d.).
- Ankerbehandelingsvaartuigen.
- Patrouilleboot t.b.v. scheepvaartregulering (stremming).
- Roeiboot met buitenboordmotor.
- Personeelsboot.
- Kraanponton (zelfvarend) t.b.v. plaatsen/afruimen schacht/meettoren.
- Haspelmachine voor aanbrengen zware ankerdraden.
- Multicat.
- Begeleidingsvaartuig voor de duikers.

**Leermoment van de Wijkertunnel.**

Tijdens het transport van het eerste element werd er een stroomstoring in het tunnelelement geconstateerd. Deze werd pas bemerkt bij een inspectie gedurende een tijstop op de Oude Maas. De storing zat in een schakelkast in het element. De storing was niet opgevallen, omdat de lampen op het element bleven branden en doordat de generator liep. Na telefonisch overleg met de elektriciens, welke het systeem had aangelegd, was het euvel snel verholpen. Er waren geen corrigerende maatregelen nodig. Het nut van de tussentijdse inspecties was wel meteen bewezen.



## 8.8.9 Diverse

### 8.8.9.1 Onderdelen

#### **Lekwaterpompen pompsysteem**

Pompsysteem bestaande uit vier pompen, in elke hoek van het element achter het kopschot één. Het pompsysteem was dusdanig uitgevoerd dat de pompen continu kunnen draaien, dus ook droog draaien. Door toepassing van een speciale waaier en een luchtklep in het motorhuis koelde de waaier van de pomp het motorhuis met lucht in plaats van water.

#### **Lekwater signaleringssysteem**

- Dit zijn watercontactsensoren die stroom doorlaten als ze met water in contact komen, waardoor er zwaailichten gaan branden op het generatorplatform. De stroombron (accu) van het signaleringssysteem is onafhankelijk van de stroombron van de pompen.
- De zwaailichten hebben de volgende betekenis:
  - Oranje: er is een hoeveelheid water aanwezig in een van de hoeken van het element.
  - Rood: gevaar voor de stabiliteit van het element.
- Een akoestisch signaal kan soms beter werken, omdat een lamp bij daglicht niet opvalt.

#### **Aggregaat/generator**

- Stroomvoorziening voor de pompen en verlichting in het tunnelement.
- Aanwezig aan wal of op een generatorplatform.
- Aan wal aanwezig bij het opdrijven en afzinken.
- Generatorplatform wordt toegepast tijdens het transport, deze wordt op de afzinklocatie verwijderd en ingezet voor de andere elementen. Stroomvoorziening wordt dan verzorgd vanaf de wal.
- Regelmatig aanvullen met brandstof.
- Zorgen dat er een rubberen kabel aanwezig is in het tunnelement. Deze kabel wordt vanuit de toegangschacht door het water naar de aanlegsteiger gevoerd en daar aangesloten op een zwerfkast. Deze wordt vervolgens aangesloten op de generator aan wal.
- Tijdens zeetransport wordt de electriciteitsvoorziening verzorgd door twee spatwaterdichte generatoren. Deze zijn zo geschakeld dat bij uitval van de primaire generator de standby-generator (back-up) direct moet opstarten. Gewoonlijk draait de onderste generator en als deze uitvalt start automatisch de bovenste generator ("bemaalings"schakeling).

#### **Generatorplatform**

- Generatorplatform wordt toegepast tijdens het transport, deze wordt op de afzinklocatie verwijderd en ingezet voor de andere elementen. Stroomvoorziening wordt dan verzorgd vanaf wal.
- De generatorplatform moet zo geplaatst zijn dat overslaande golven de generator niet kan raken.

**Communicatie-voorzieningen**

Het waterballast wordt op aanwijzing vanuit de commandopost op het tunnelelement uitgevoerd. Vandaar dat een simpel en goed werkend telefoonnet tussen de commandopost en de mensen in het tunnelelement voor de bediening van afsluiters en controle van waterhoogten in de ballasttanks noodzakelijk is.

**Verlichting op het element**

- Verplichte scheepsvaartverlichting zoals rood, groen en een heklicht.
- De verlichting van het element zelf gebeurt met behulp van bouwlampen op het generatorplatform.
- Op een aantal hoekpunten.

**Overige**

- Afmeerstoelen.
- Afzinkpontons.
- Ankerbehandeling vaartuigen.
- Ankerpalen.
- Baggerschepen/materieel.
- Begeleidingsvaartuigen.
- Beschermingsconstructie GINA-profiel.
- Bolders.
- Brandblusser.
- D- en H- sluitingen.
- Delta-flipper met ketting (anker).
- Dodebedden.
- Draden rechtstreeks op tunnelelement.
- Drijvende bok.
- Drijvers.
- Duwbootframe.
- Fairleads (kabelgeleider).
- Fenders/Geleidingsconstructies.
- Geleidingsconstructie primaire zijde.
- GPS.
- Graafmachines.
- Grommer.
- Hevels.
- Hijsogen/hijspunten, zie Afbeelding 8.8.30.
- Kabels om electra van sleepboten te halen.
- Kabels/draden.
- Klapschijven.
- Koppelboegbak.
- Kwispelvijzels.
- Lekwater signaleringssysteem.
- Lekwaterpompen .
- Lieren.
- Meetbaken.
- Multicat.
- Neuringsdraden.
- Onderstopping.



## SAATU

## Benodigde voorzieningen

- Onderstroom vaartuigen.
- Pompen (vacuum).
- Pontons.
- Radarmerk.
- Rekkers.
- Roeiboot/rubberboot.
- Rollenkluisen.
- Schijfboegbakken.
- Schijven en schijvenblokken.
- Seinbakens.
- Sleep-/duwboten.
- Slibverwijderingsmateriaal.
- Sliphaak.
- Sloepen.
- Stootbalken.
- Stroppen.
- Takels en katrollen.
- Tegels ten behoeve van vijzelpennen.
- Theodeliet en waterpas.
- Totalstation.
- Trekstangen.
- Verbandtrommel.
- Verticaal geleidingsconstructie.
- Vijzels.
- Voorlopers.
- Wrijfhout.





*Afbeelding 8.8.30, Hijsogen*



SAATU

## Inhoudsopgave Checklijsten

- 8.9.1 Intro
- 8.9.2 Voorbereiding
  - 8.9.2.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.2.2 Geometrie
  - 8.9.2.3 Uitgangspunten en bestekseisen voor ontwerp
  - 8.9.2.4 Maatvoeringsaspecten in ontwerp
  - 8.9.2.5 Belastinggevallen in ontwerp
  - 8.9.2.6 Transportaspecten in ontwerp
  - 8.9.2.7 Ontwerp afzinkstelsel
  - 8.9.2.8 Ontwerp tijdelijk oplegstelsel
  - 8.9.2.9 Ontwerp ballaststelsel
  - 8.9.2.10 Ontwerp onderstroomstelsel
  - 8.9.2.11 Scheepvaart in ontwerp
  - 8.9.2.12 Ontwerp bemalingsstelsel
  - 8.9.2.13 Sleepvoorzieningen
- 8.9.3 Opdrijven
  - 8.9.3.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.3.2 Voorbereidende werkzaamheden
  - 8.9.3.3 Aanbrengen grindbed van het bouwdok voorbereiden
  - 8.9.3.4 Tunnelementen voorbereiden voor OTAO
  - 8.9.3.5 Instrueren duikers
  - 8.9.3.6 Benodigde ballast
  - 8.9.3.7 Vullen ballasttanks
  - 8.9.3.8 Vrijwater
  - 8.9.3.9 Voorzieningen ter inundatie
  - 8.9.3.10 Inunderen
  - 8.9.3.11 Werkzaamheden na inundatie
  - 8.9.3.12 Uitvaartopening bij inunderen
  - 8.9.3.13 Doorsteken bij inunderen
  - 8.9.3.14 Opdrijfplan
  - 8.9.3.15 Meetplan bij het opdrijven
  - 8.9.3.16 Beslismomenten voor opdrijven
  - 8.9.3.17 Opdrijfvenster
  - 8.9.3.18 Positionering element tijdens opdrijven
  - 8.9.3.19 Afspraken met derden tijdens opdrijven
  - 8.9.3.20 Nazorg bij opdrijven
  - 8.9.3.21 Uittieren (verhalen tunnelement)
  - 8.9.3.22 Afmeren na opdrijven
  - 8.9.3.23 Borden bij het opdrijven
  - 8.9.3.24 Documenten
- 8.9.4 Transport
  - 8.9.4.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.4.2 Drijfvermogen bij het transport gereedmaken
  - 8.9.4.3 Transportgereed
  - 8.9.4.4 Beslisvergaderingen bij het transport gereed maken
  - 8.9.4.5 Transportvoorzieningen bij transport gereedmaken tunnelement
  - 8.9.4.6 Materieel bij het transport
  - 8.9.4.7 Pompsysteem
  - 8.9.4.8 Controle door duikers voor transport
  - 8.9.4.9 Vrijboord



## SAATU

- 8.9.4.10 Aanvang/start transport
- 8.9.4.11 Werkvensters bij transport
- 8.9.4.12 Transportroute
- 8.9.4.13 Personen op het transport
- 8.9.4.14 Sleepvoorzieningen
- 8.9.4.15 Verantwoordelijke tijdens transport
- 8.9.4.16 Nautische beheerders
- 8.9.4.17 Transport over zee
- 8.9.4.18 Stabiliteit bij transport over zee
- 8.9.4.19 Afmeren
- 8.9.4.20 Afmeerlocatie
- 8.9.4.21 Fendering
- 8.9.4.22 Krachten op draden
- 8.9.4.23 Opspannen van afgemeerde element
- 8.9.5 Afzinken
  - 8.9.5.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.5.2 Baggeren ter voorbereiding afzinken
  - 8.9.5.3 Plaatsing tegels
  - 8.9.5.4 Afzinkgereed maken
  - 8.9.5.5 Afmeersysteem
  - 8.9.5.6 Inspannen bij afzinken
  - 8.9.5.7 Opschonen zinksleuf
  - 8.9.5.8 Sluitvoegschotten
  - 8.9.5.9 Transportvoorzieningen
  - 8.9.5.10 Afzinkvoorzieningen
  - 8.9.5.11 Tunnelement afzinkgereed maken
  - 8.9.5.12 Afzinkgereed maken omgeving
  - 8.9.5.13 Drijvend materieel en bijbehorend materiaal
  - 8.9.5.14 Controles voor het afzinken
  - 8.9.5.15 Vullen van de ballasttanks bij afzinken
  - 8.9.5.16 Lieren halen en vieren volgens afzinklijn
  - 8.9.5.17 Meting
  - 8.9.5.18 Knelpunten bij afzinken
  - 8.9.5.19 Noodprocedures
  - 8.9.5.20 GINA-profiel
  - 8.9.5.21 Zinkvoeg leegpompen
  - 8.9.5.22 Vijzelpen
  - 8.9.5.23 Leidingsysteem
- 8.9.6 Fundatie
  - 8.9.6.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.6.2 Bagger en onderhoudswerkzaamheden
  - 8.9.6.3 Zinksleuf en het onderstromen
  - 8.9.6.4 Hinder scheepvaart
  - 8.9.6.5 Onderstroommethode
  - 8.9.6.6 Onderstroompatroon
  - 8.9.6.7 Onderstroompunten
  - 8.9.6.8 Stroomsnelheid
  - 8.9.6.9 Zand
  - 8.9.6.10 Duikers
  - 8.9.6.11 Controle-unit
  - 8.9.6.12 Communicatie
  - 8.9.6.13 Registratie gegevens



SAATU

## Inhoudsopgave Checklijsten

- 8.9.6.14 Opwaartse krachten
- 8.9.6.15 Telemetrie-systeem
- 8.9.6.16 Afsluiters
- 8.9.6.17 PVC-buizen
- 8.9.6.18 Nummers
- 8.9.6.19 Plaatsbepaling
- 8.9.6.20 Stoppen met onderstromen
- 8.9.6.21 Afpersen onderstroompunt
- 8.9.6.22 Aflaten na onderstromen
- 8.9.6.23 Ballasttanks
- 8.9.6.24 Sluitvoeg
- 8.9.6.25 Zettingen
- 8.9.6.26 Noodstop
- 8.9.7 Afbouw
  - 8.9.7.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.7.2 Zettingen
  - 8.9.7.3 Sluitvoeg
  - 8.9.7.4 Verticaal evenwicht
  - 8.9.7.5 Dubbele waterkering
  - 8.9.7.6 Planning en afstemming
  - 8.9.7.7 Civiel technisch
  - 8.9.7.8 Elektro-mechanisch
- 8.9.8 Beheer en onderhoud
  - 8.9.8.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.8.2 Nulinspectie
  - 8.9.8.3 Inventarisatie
  - 8.9.8.4 Inspectie en onderhoud
  - 8.9.8.5 Adviesfrequenties
  - 8.9.8.6 Gegevensopslag
  - 8.9.8.7 Inspectie
  - 8.9.8.8 Meetmethoden bij inspecties
  - 8.9.8.9 Inspectie civiel en bouwkundig
  - 8.9.8.10 Inspectierapport
  - 8.9.8.11 Onderhoudseisen
- 8.9.9 Benodigde voorzieningen
  - 8.9.9.1 Algemene aandachtspunten
  - 8.9.9.2 Kopschotten
  - 8.9.9.3 Waterballaststelsel
  - 8.9.9.4 Toegangschacht
  - 8.9.9.5 Tijdelijke opleggingen
  - 8.9.9.6 Neus- en kinconstructie
  - 8.9.9.7 Tijdelijke waterkering (GINA-profiel)
  - 8.9.9.8 Sluitvoeg
  - 8.9.9.9 Definitieve waterkering
  - 8.9.9.10 Onderstroom-voorzieningen
  - 8.9.9.11 Positiebepalingen
  - 8.9.9.12 Verplaatsing en transport
  - 8.9.9.13 Diverse andere hulpmiddelen



---

SAATU



## **8.9 CHECKLIJSTEN**

### **8.9.1 Intro**

#### **Omschrijving**

Het hoofdstuk Checklijsten is opgehangen aan de voorgaande hoofdstukken. Per hoofdstuk is een onderverdeling gemaakt naar benoemde paragrafen. Per paragraaf is weer een onderwerp gedefinieerd en ieder onderwerp kent een aantal aspecten. Deze aspecten kunnen worden onderverdeeld in het hoofdstuk checklijsten als zijnde aandachtspunten dan wel checkpunten.

In dit hoofdstuk wordt de structuur van ieder hoofdstuk aangegeven. Verder wordt in het hoofdstuk zelf aangegeven bij welk soort van punt ieder aspect kan worden ingedeeld (Aandachtspunt of Checkpunt). De Indeling wordt aangegeven door middel van een tweetal kolommen waarin de van toepassing zijnde indeling kan worden aangekruist. In deze twee kolommen wordt aangegeven tot welke categorie het aspect in het hoofdstuk checklijsten behoort. De mogelijkheden zijn:

- Aandachtspunt (wordt weergegeven in de eerste kolom en heeft als afkorting ADP).
- Checkpunt (wordt weergegeven in de tweede kolom en heeft als afkorting CP).





## 8.9.2 Voorbereiding

### 8.9.2.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Vastleggen van randvoorwaarden en (operationele) uitgangspunten voor ontwerp	X	
• Invloeden van OTA0-proces		X
• Opnemen LKO's en LKE's	X	
• Plaats van voorbereiding binnen fasering	X	
• Vergunningen / Verzekeringen / Planningen	X	

### 8.9.2.2 Geometrie

	ADP	CP
• Keuze wordt gemaakt in ontwerp	X	
• Afwegen kansen en gevolgen	X	
• Eisen in projectspecificatie	X	
• Toetsfactoren		X
• Betontechnologische beperkingen	X	
• Beperking aantal benodigde voorzieningen	X	

### 8.9.2.3 Uitgangspunten en bestekseisen voor ontwerp

	ADP	CP
• Ontwerpnota aannemer gebaseerd op projectspecificatie	X	

### 8.9.2.4 Maatvoeringsaspecten in ontwerp

	ADP	CP
• Drijfvermogen	X	
• Ligging elementen	X	
• Sluitvoegconstructie	X	
• Obstakels in bouwdok		X

### 8.9.2.5 Belastinggevallen in ontwerp

	ADP	CP
• Eigen gewich	X	
• Ballastbeton	X	
• Verticale belasting voor kopschot		X
• Opwaartse waterdruk		X
• Moment door water op kop van het element		X
• Reactie GINA-profiel		X
• Scheepvaart over het afgezonken element	X	
• Onderstromen	X	
• Sleepbelasting		X

### 8.9.2.6 Transportaspecten in ontwerp

	ADP	CP
• Draaiboek	X	
• Calamiteitenplan	X	





SAATU

Checklijsten

**8.9.2.7 Ontwerp afzinkstelsel**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Mate van gereedheid voor afzinken	X	
• Zinksleuf	X	
• Vijzeltegels		X
• Methode van afzinken	X	
• Afzinklocatie	X	
• Meetpunten	X	
• Benodigde bolders en hijspunten		X

**8.9.2.8 Ontwerp tijdelijk oplegstelsel**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Oplegkracht		X
• Randvoorwaarden secundaire en primaire opleggingen	X	
• Variatie in soortelijke massa van het water		X

**8.9.2.9 Ontwerp ballaststelsel**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Realiseerbaarheid vrijboord	X	
• Positie ballastbeton t.o.v. waterballasttanks		X
• Later in te storten voorzieningen	X	

**8.9.2.10 Ontwerp onderstroomstelsel**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• In te storten onderstroomleidingen		X
• Diameter van de persleidingen		X
• Geometrie tunnel	X	

**8.9.2.11 Scheepvaart in ontwerp**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Scheepvaartbelasting	X	

**8.9.2.12 Ontwerp bemalingsstelsel**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Ondercapaciteit aanwezige HWA		X

**8.9.2.13 Sleepvoorzieningen**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Samenstelling sleepconfiguratie		X
• Verantwoordelijkheid		X



### 8.9.3 Opdrijven

#### 8.9.3.1 Algemene aandachtspunten

- |                                  | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|----------------------------------|------------|-----------|
| • Zeker stellen uitgangssituatie | X          |           |

#### 8.9.3.2 Voorbereidende werkzaamheden

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Gereed maken voor aanvang inunderen         |            | X         |
| • Gereed maken voor aanvang van het opdrijven |            | X         |

#### 8.9.3.3 Aanbrengen grindbed van het bouwdok voorbereiden

- |                          | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--------------------------|------------|-----------|
| • Opwaartse druk         |            | X         |
| • Nominale korrelgrootte |            | X         |
| • Drainageleidingen      | X          |           |

#### 8.9.3.4 Tunnelementen voorbereiden voor OTAO

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Bouwactiviteiten buitenzijde afronden                 | X          |           |
| • Tijdelijke voorzieningen aanbrengen en testen         | X          |           |
| • Aanbrengen voorspanning                               |            | X         |
| • Aanbrengen ballastbeton                               |            | X         |
| • Checklijsten voordat tunnelementen worden vrijgegeven |            | X         |

#### 8.9.3.5 Instrueren duikers

- |  | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--|------------|-----------|
| • Gelegenheid tot oriëntatie van de duikers        |            | X         |
| • Vorm en afmetingen van verklikkers               | X          |           |
| • Brevet Civiele Onderwaterbouw (NDC) voor duikers |            | X         |

#### 8.9.3.6 Benodigde ballast

- |  | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--|------------|-----------|
| • Drijfvermogen                                    |            | X         |
| • Gewichten afzinkpontons en klein afzinkmaterieel |            | X         |
| • Funderingsdruk                                   |            | X         |
| • Samenstelling ballast (water / beton)            |            | X         |
| • Tijdstip van aanbrengen ballastbeton             |            | X         |
| • Dichtheid van water                              |            | X         |

#### 8.9.3.7 Vullen ballasttanks

- |  | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--|------------|-----------|
| • Rivierwater  | X          |           |
| • Testen en afpersen vulleidingen, ballasttanks en pompen voor de operatie |            | X         |



SAATU

Checklijsten

	ADP	CP
<b>8.9.3.8 Vrijwater</b>		
• In ontwerp uitgaan van het toepassen van enkel en alleen water in ballasttanks	X	
<b>8.9.3.9 Voorzieningen ter inundatie</b>		
• Hevelleiding		X
• Pompen	X	
• Uitstroomopening met uitspoelbeveiliging	X	
• Verklikkers		X
<b>8.9.3.10 Inunderen</b>		
• Tijdsduur inunderen	X	
• Stabiliteit dijken en ondergrond	X	
• Waterstand in de dijken	X	
• Afbouwen bouwdokbemaling	X	
• Monitoren waterstand		X
• Retourbemaling uitschakelen		X
• Inspectie op lekkages tunnelelementen		X
<b>8.9.3.11 Werkzaamheden na inundatie</b>		
• Funderingsdruk bij injecteren voorspankanalen		X
• Opruimen bronbemaling	X	
<b>8.9.3.12 Uitvaartopening bij inunderen</b>		
• Doorbaggeren in de natte of in den droge	X	
• Inzet materieel	X	
• Taludbekleding	X	
• Verontreinigingen	X	
• Maatvoering en toleranties	X	
<b>8.9.3.13 Doorsteken bij inunderen</b>		
• Trekken damwand	X	
• Verschil waterstand binnen en buiten		X
• Oeverbescherming bij uitvaartopening	X	
• Voorkomen slibinstroom in bouwdok	X	
• Scheepvaartbeperkingen	X	
<b>8.9.3.14 Opdrijfplan</b>		
• Methode van opdrijven	X	
• Volgorde van verlagen van de waterstanden in de ballasttanks	X	
• Relatie waterstand bouwdok en opdrijven	X	



SAATU			Checklijsten
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lijst met risico's en maatregelen voor personeel</li> </ul>		X
<b>8.9.3.15</b>	<b>Meetplan bij het opdrijven</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wijze van volgen van verplaatsingen van tunnelelementen</li> <li>Eisen aan verplaatsingen</li> </ul>	X X	
<b>8.9.3.16</b>	<b>Beslismomenten voor opdrijven</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vetorecht betrokkenen en adviesrecht betrokkenen</li> <li>Point-of-no-return</li> </ul>	X X	
<b>8.9.3.17</b>	<b>Opdrijfvenster</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metten vrijboord na opdrijven en legen ballasttanks</li> <li>Opdrijven bij daglicht</li> </ul>	X X	
<b>8.9.3.18</b>	<b>Positionering element tijdens opdrijven</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verankering</li> <li>Uniformiteit van de draden</li> </ul>	X X	
<b>8.9.3.19</b>	<b>Afspraken met derden tijdens opdrijven</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afspraken met vaarwegbeheerder</li> </ul>	X	
<b>8.9.3.20</b>	<b>Nazorg bij opdrijven</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schoonspuiten dek</li> </ul>		X
<b>8.9.3.21</b>	<b>Uitlieren (verhalen tunnelelement)</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oefenen</li> <li>Uitlierplan</li> <li>Aan- en afvoercapaciteit van de kabels</li> <li>Bevestiging kabels</li> <li>Omzetten stroomvoorziening</li> <li>Duikinspectie afmeerpalen</li> <li>Dodebedden</li> <li>Rollenkluisen</li> <li>Plaatsen diverse lieren</li> <li>Transportvoorzieningen plaatsen / aanbrengen</li> <li>Positie van de lieren (land of water)</li> <li>Metten vrijboord</li> <li>Beperken scheepvaart</li> <li>Beperking van kabelverloop door voorzieningen</li> </ul>	X  X X X X X X X X X X X X X X	        X



SAATU

Checklijsten

**8.9.3.22 Afmeren na opdrijven**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Afmeerplan		X
• Toegankelijkheid van het tunnelement	X	
• Schoonmaken van het tunnelement	X	
• Aftrimmen	X	
• Scheepvaartbeperkingen	X	
• Controle van de taats en vizelpennen		X

**8.9.3.23 Borden bij het opdrijven**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Plaatsen bebording scheepvaart		X

**8.9.3.24 Documenten**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Communicatie matrix		X
• Checklijsten		X
• Werkvenster	X	
• Risico inventarisatie	X	



SAATU

Checklijsten

## 8.9.4 Transport

### 8.9.4.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Transport gereedmaken	X	
• Transporteren	X	
• Afmeren	X	

### 8.9.4.2 Drijfvermogen bij het transport gereedmaken

	ADP	CP
• Eigen drijfvermogen	X	

### 8.9.4.3 Transportgereed

	ADP	CP
• Aanbrengen tijdelijke transportvoorzieningen	X	
• Ballasten en trimmen tunnelement	X	

### 8.9.4.4 Beslisvergaderingen bij het transport gereed maken

	ADP	CP
• Tijdstippen van vergaderen	X	
• Agenderen beslispunten en paraferen	X	

### 8.9.4.5 Transportvoorzieningen bij transport gereedmaken tunnelement

	ADP	CP
• Sleepvoorzieningen en duwbootframes	X	
• Elektriciteitsvoorzieningen	X	
• Scheepvaartverlichting	X	
• Verlichting van het element	X	
• Seinbakens		X
• Radarmerk		X
• Toegangsschachten	X	
• Materiaal en materieel voor noodreparaties	X	
• Reserve-onderdelen	X	
• Voorzieningen om te ontmeren en afmeren	X	

### 8.9.4.6 Materieel bij het transport

	ADP	CP
• Sleepboten	X	
• Duwboten	X	
• Begeleidingsvaartuig	X	
• Bergingsvaartuig	X	
• Ankerbehandelingsvaartuig	X	
• Pontons	X	

### 8.9.4.7 Pompsysteem

	ADP	CP
• Droogdraaien	X	
• Opstelplaats	X	

**8.9.4.8 Controle door duikers voor transport**

- Pen- en vangconstructie
- Beschadigingen GINA-profiel en beschermconstructie
- Langsleiding

ADP	CP
	X
	X
	X

**8.9.4.9 Vrijboord**

- Hoogte van vrijboord
- Afhankelijk van transportroute

ADP	CP
	X
	X

**8.9.4.10 Aanvang/start transport**

- Element transportgereed
- Transportplan goedgekeurd
- Overleg en betrokken instanties
- Transportvergunningen

ADP	CP
	X
	X
X	
	X

**8.9.4.11 Werkvensters bij transport**

- Vaarvenster

ADP	CP
X	

**8.9.4.12 Transportroute**

- Plaats van fabricage van elementen
- Mogelijke transportroutes
- Mogelijke obstakels
- Afweging van risico's

ADP	CP
X	
X	
X	
X	

**8.9.4.13 Personen op het transport**

- Tijdens transport op of in element

ADP	CP
X	

**8.9.4.14 Sleepvoorzieningen**

- Bolders
- Fairleads
- Sleepdraden
- Sleepkettingen
- Diverse benodigde sluitingen (harp- en D-sluitingen)

ADP	CP
	X
	X
	X
	X
X	

**8.9.4.15 Verantwoordelijke tijdens transport**

- Transportleider
- Waarnemers
- Gemachtigden

ADP	CP
	X
	X
	X



SAATU

Checklijsten

**8.9.4.16 Nautische beheerders**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Overleg	X	
• Inschakelen bij OTA0-proces	X	
• Vaarwegbeheerder		X
• Loods		X

**8.9.4.17 Transport over zee**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Stabiliteit en aanvullende eisen	X	
• Golfbelastingen		X
• Modelonderzoek		X
• Welke maanden zijn geschikt voor transport over zee	X	

**8.9.4.18 Stabiliteit bij transport over zee**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Voorschriften (Det Norske Veritas / Nederlandse Scheepvaart Inspectie)	X	

**8.9.4.19 Afmeren**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Stroming	X	
• Langsvarende schepen	X	
• Getij	X	

**8.9.4.20 Afmeerlocatie**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Afmeerstoelen		X
• Stroomvoorziening		X
• Varend materieel		X
• Aanlegsteiger		X
• Loopbrug		X
• Bewaking		X

**8.9.4.21 Fendering**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Voorkomen beschadiging	X	

**8.9.4.22 Krachten op draden**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Krachtopnemers		X

**8.9.4.23 Opspannen van afgemeerde element**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Voorkomen beweging van element ten gevolge van stroming, scheepvaart, golven en wind	X	







## 8.9.5 Afzinken

### 8.9.5.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Gereedmaken omgeving	X	
• Transportvoorzieningen	X	
• Afzinkgereed maken	X	
• In positie brengen boven de zinksleuf	X	
• Trapsgewijs afzinken tegen aanslagpunt	X	
• Positioneren en "fijn" positioneren	X	
• Leegpompen zinkvoeg	X	

### 8.9.5.2 Baggeren ter voorbereiding afzinken

	ADP	CP
• Zinksleuf	X	
• Tegelpotten	X	
• Materieel	X	
• Scheepvaartbeperkingen	X	
• Toleranties	X	
• Erosie	X	
• Vrijkomend bodemmateriaal	X	

### 8.9.5.3 Plaatsing tegels

	ADP	CP
• Tolerantie plaatsing	X	
• Controle positie door duikers		X

### 8.9.5.4 Afzinkgereed maken

	ADP	CP
• Plaatsen toegangsschacht, rubberring en boutverbinding		X
• Plaatsen meetoren en inmeten		X
• Verwijderen GINA-bescherming		X

### 8.9.5.5 Afmeersysteem

	ADP	CP
• Tijdelijk afmeren	X	
• Locatie afmeersysteem	X	

### 8.9.5.6 Inspannen bij afzinken

	ADP	CP
• Inspanvoorzieningen	X	

### 8.9.5.7 Opschonen zinksleuf

	ADP	CP
• Aanzanding, erosie en slib		X



SAATU

Checklijsten

**8.9.5.8 Sluitvoegschotten**

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Van te voren gemaakte bekisting en wapening | X          |           |

**8.9.5.9 Transportvoorzieningen**

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Verwijderen (GINA-bescherming, duwbootframe, bolders, fairlaids, scheepvaartverlichting, generator en platform) | X          |           |
| • Vervangen (Pompen)  | X          |           |

**8.9.5.10 Afzinkvoorzieningen**

- |  | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--|------------|-----------|
| • Aanbrengen op het tunnelement                  |            | X         |
| • Aanbrengen in het tunnelement                  |            | X         |
| • Aanbrengen op de oevers /landhoofden           |            | X         |
| • Aanbrengen in de rivier                        |            | X         |
| • Afzinkvoorzieningen op het element verwijderen |            | X         |

**8.9.5.11 Tunnelement afzinkgereed maken**

- |                                 | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---------------------------------|------------|-----------|
| • Werkzaamheden bovenop element | X          |           |
| • Inrichting binnenin           | X          |           |

**8.9.5.12 Afzinkgereed maken omgeving**

- |                                      | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|--------------------------------------|------------|-----------|
| • Lieren in positie                  | X          |           |
| • Boeien met klapschijven in positie | X          |           |
| • Landhoofden gereed maken           | X          |           |
| • Positioneringsapparatuur           | X          |           |
| • Ankerpalen in de rivier            | X          |           |

**8.9.5.13 Drijvend materieel en bijbehorend materiaal**

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Drijvend bok                            | X          |           |
| • Afzinkpontons                           | X          |           |
| • Multifunctioneel ondersteuningsvaartuig | X          |           |
| • Bergingsvaartuig                        | X          |           |
| • Sleep- / duwboten                       | X          |           |
| • Kraanschip                              | X          |           |

**8.9.5.14 Controles voor het afzinken**

- |                                   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|-----------------------------------|------------|-----------|
| • Slibdikte en zoutwaterverticaal |            | X         |
| • Stroomsnelheden                 | X          |           |
| • Planning                        | X          |           |



<b>8.9.5.15</b>	<b>Vullen van de ballasttanks bij afzinken</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanks vullen zodat element in afzinkpontons en drijvend bok hangt en tijdens afzinken.</li> </ul>	X	
<b>8.9.5.16</b>	<b>Lieren halen en vieren volgens afzinklijn</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stapje voor stapje vieren</li> <li>• Dwarsdraden worden gehaald dan wel gevierd</li> <li>• Stappen in de orde van 3 meter horizontaal en 0,5 meter verticaal</li> </ul>	X X X	
<b>8.9.5.17</b>	<b>Meting</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positie van het element ten opzichte van het reeds in positie zijnde element</li> </ul>	X	
<b>8.9.5.18</b>	<b>Knelpunten bij afzinken</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lekken ballasttanks</li> <li>• Draadbreek</li> <li>• Weer omhoog</li> <li>• Kwispelen</li> <li>• Stroomsnelheden</li> <li>• Planning</li> </ul>	X X X X X X	
<b>8.9.5.19</b>	<b>Noodprocedures</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indammen lekwater bij lekken van ballasttanks</li> <li>• Loodrecht op de lengteas m.b.v. vijzels "kwispelen"</li> </ul>	X X	
<b>8.9.5.20</b>	<b>GINA-profiel</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Als GINA-profiel aanligt aantrekken van tunnelelement</li> <li>• Controle afstand GINA-profiel tot aanslag door duikers</li> </ul>		X X
<b>8.9.5.21</b>	<b>Zinkvoeg leegpompen</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indrukking GINA-profiel door waterdruk</li> <li>• Geen kabels door opening van deuren ter hoogte van zinkvoeg</li> </ul>	X	X
<b>8.9.5.22</b>	<b>Vijzelpen</b>	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwaarte is afhankelijk van vereiste oplegreacties</li> <li>• Scheepvaartbelasting</li> <li>• Zoutfluctuaties</li> <li>• (Onder)stroomkrachten</li> <li>• Oplegreacties van volgend element</li> </ul>	X X X X X	



## SAATU

## Checklijsten

- Let op dwarskracht X
- Manchet waterdicht en injecteerbaar X
- Borgingsmogelijkheden X

**8.9.5.23 Leidingsysteem**

- Langsleidingen waterballaststelsel doorkoppelbaar

**ADP**    **CP**  
X



## 8.9.6 Fundatie

### 8.9.6.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Zo spoedig mogelijk na afzinken plaats laten vinden	X	
• Opeenhoping slib		X
• Verantwoording voor toe te passen onderstroomsysteem	X	
• Testen onderstroomsysteem	X	

### 8.9.6.2 Bagger en onderhoudswerkzaamheden

	ADP	CP
• Niet in nabijheid tijdens afzinken en onderstromen (straal van 800 meter)		X

### 8.9.6.3 Zinksleuf en het onderstromen

	ADP	CP
• Per onderstroompunt d.m.v. peilingen verwachte hoeveelheid zand aangeven	X	

### 8.9.6.4 Hinder scheepvaart

	ADP	CP
• Beperking snelheid van de scheepvaart	X	
• Veiligheid duikers		X
• Bevaarbaar houden vaargeul	X	

### 8.9.6.5 Onderstroommethode

	ADP	CP
• Van binnenuit of van buiten langs	X	

### 8.9.6.6 Onderstroompatroon

	ADP	CP
• Concentratie zand / watermengsel		X
• Pompdruk		X
• Debiet		X

### 8.9.6.7 Onderstroompunten

	ADP	CP
• Overlapping pannenkoeken		X
• Positionering t.o.v. segmentering	X	
• Controle op overslaan van onderstroompunten tijdens onderstromen	X	

### 8.9.6.8 Stroomsnelheid

	ADP	CP
• Maximale en minimale snelheid in de leiding	X	



SAATU

Checklijsten

		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
<b>8.9.6.9</b>	<b>Zand</b>		
	• Vorm van het zand	X	
	• Gradatie van het zand		X
	• Zandmonsters		X
<b>8.9.6.10</b>	<b>Duikers</b>		
	• Duikers schip		X
	• Decompressieruimte		X
	• ARBO	X	
<b>8.9.6.11</b>	<b>Controle-unit</b>		
	• Coördinatie en controle onderstroomproces	X	
	• Bediening apparaten	X	
<b>8.9.6.12</b>	<b>Communicatie</b>		
	• Ingesloten circuit	X	
	• Welke kanalen worden gebruikt	X	
<b>8.9.6.13</b>	<b>Registratie gegevens</b>		
	• Logboek		X
	• Bevindingen duikers		X
	• Datalogger		X
	• Evaluatierapport onderstromen		X
<b>8.9.6.14</b>	<b>Opwaartse krachten</b>		
	• Onderstroomkrachten	X	
<b>8.9.6.15</b>	<b>Telemetrie-systeem</b>		
	• Gebruik een bekend en uitgetest telemetrie-systeem	X	
<b>8.9.6.16</b>	<b>Afsluiters</b>		
	• Vergrendeling met borg van de afsluiters		X
<b>8.9.6.17</b>	<b>PVC-buizen</b>		
	• In de vloer ingestort	X	
	• Fixeren en lekdicht plaatsen	X	



SAATU

Checklijsten

<b>8.9.6.18</b>	<b>Nummers</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tastbare belettering</li> <li>• Instrueren duikploeg in den droge</li> </ul>			X X
<b>8.9.6.19</b>	<b>Plaatsbepaling</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vanaf de wal</li> <li>• Vanaf het ponton</li> <li>• Door middel van het spannen van een kabel van onderstroompunt met een boei zodat boei ook nummering aangeeft</li> </ul>		X X	X
<b>8.9.6.20</b>	<b>Stoppen met onderstromen</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerealiseerde onderstroming</li> <li>• Controle door duikers</li> </ul>		X X	
<b>8.9.6.21</b>	<b>Afpersen onderstroompunt</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afpersen na controle door duiker op voldoende onderstroming</li> <li>• Methode van afpersen (vermindering concentratie mengsel met zelfde mengselsnelheid en leidingdruk)</li> </ul>		X X	
<b>8.9.6.22</b>	<b>Aflaten na onderstromen</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas als element voldoende is onderstroomd voorgaand element aflaten</li> </ul>		X	
<b>8.9.6.23</b>	<b>Ballasttanks</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vullen ballasttanks tegen opdrijven</li> <li>• Funderingsdruk</li> </ul>		X	X
<b>8.9.6.24</b>	<b>Sluitvoeg</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderstromen na plaatsing sluitvoegbekisting</li> </ul>		X	
<b>8.9.6.25</b>	<b>Zettingen</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zettingsmetingen</li> <li>• Zettingen als gevolg van methode van afpersen van onderstroompunten</li> </ul>		X	X
<b>8.9.6.26</b>	<b>Noodstop</b>		<b>ADP</b>	<b>CP</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedure</li> </ul>		X	





---

SAATU

Checklijsten

- Handelingen X
- Niet sturend voor onderstroomproces maar beslismoment X



## 8.9.7 Afbouw

### 8.9.7.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Begin bij ontlasten tijdelijke opleggingen en eind bij oplevering	X	
• Onderverdeling afbouwwerkzaamheden	X	
• Zettingen en onderlinge zettingen van elementen	X	
• Waterdichtheid		X
• Verticaal evenwicht		X
• Afstemming werkzaamheden per discipline en onderling tussen de disciplines	X	
• Werkplannen	X	
• Afwijkingen	X	

### 8.9.7.2 Zettingen

	ADP	CP
• Nulmetingen	X	
• Meting na aflaten	X	
• Opstellen zettingsgrafiek		X
• Relatie start werkzaamheden tot procenten van de eindzetting	X	

### 8.9.7.3 Sluitvoeg

	ADP	CP
• Plaatsing tussen tunnelelement en landhoofd of tussen twee tunnelelementen	X	

### 8.9.7.4 Verticaal evenwicht

	ADP	CP
• Veiligheid tegen opdrijven	X	
• Aanvullen zinksleuf	X	
• Belastingen t.g.v. scheepvaart	X	
• Te verwijderen onderdelen en ballastcompensatie (b.v. kopschotten)	X	

### 8.9.7.5 Dubbele waterkering

	ADP	CP
• Gedurende gehele proces realiseren van dubbele waterkering	X	
• Mogelijke vormen van dubbele waterkering	X	

### 8.9.7.6 Planning en afstemming

	ADP	CP
• Randvoorwaarden vanuit zettingseisen, verticaal evenwicht en dubbele waterkering	X	
• Werkvolgorde	X	
• Afhankelijkheid van de disciplines	X	
• Inzet materiaal en materieel (beheersbaar houden)	X	



### 8.9.7.7 Civiel technisch

	ADP	CP
• ARBO-aspecten	X	
• Onderlinge afhankelijkheid	X	
• Werkzaamheden buiten de tunnel en op het grensvlak	X	
• Toegangschacht (waterdicht afwerken sparing)		X
• Sluitvoegbekisting (waterafsluitend / verloren kist)		X
• Aanvullen zinksleuf (hoogteverschillen weerszijden tunnelement)		X
• Werkzaamheden binnen de tunnel	X	
• Aanbrengen en testen OMEGA-profiel (waterdichtheid / klemkracht)		X
• Sloop kopschotten (bescherming vitale onderdelen)		X
• Sloop neus- en kinconstructie (bescherming vitale onderdelen)		X
• Verwijderen ballasttanks (gecontroleerd verwijderen)		X
• Verwijderen leidingen (gecontroleerd verwijderen)		X
• Aanbrengen ballastbeton (stortgrootte / aantal stortlagen / scheurvorming)		X
• Afbouwen zinkvoeg (beschermen OMEGA-profiel / hittewerende bekleding)		X
• Afbouwen sluitvoeg (W9U-I profiel / verwijderen of niet verwijderen)		X
• Afwerken binnenwanden (betegelen / dilatatievoegen)		X
• Injecteren van lekkages		X
• Afwerken sparing vijzelpen (waterdicht vastlassen / beton storten)		X
• Overige afbouwwerkzaamheden (doorslijpen voorspanning / afwerken sondeergeleidingsbuizen / aanbrengen riolering / aanbrengen geleidebarrier / asfalteren)		X

### 8.9.7.8 Elektro-mechanisch

	ADP	CP
• Afstemming met civiel technische en werktuigbouwkundige werkzaamheden	X	
• SATO deel 7	X	
• Onderdelen die direct na afzinken kunnen worden gestart	X	



## 8.9.8 Beheer en onderhoud

### 8.9.8.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Inventariseren risico's en knelpunten	X	
• Opstellen onderhoudshandboek	X	
• Houden van regelmatige inspecties	X	
• Beheer en onderhoud moet continu proces zijn	X	
• Start beheer en onderhoud	X	
• Definiëren van begrippen	X	
• PBOK	X	

### 8.9.8.2 Nulinspectie

	ADP	CP
• Beginkwaliteit van te onderhouden kunstwerk	X	

### 8.9.8.3 Inventarisatie

	ADP	CP
• Verschillende bouwonderdelen	X	
• DISK	X	

### 8.9.8.4 Inspectie en onderhoud

	ADP	CP
• Definiëren van maatregelen bij afwijkingen van overeengekomen waarden	X	

### 8.9.8.5 Adviesfrequenties

	ADP	CP
• Afhankelijk van inspecties	X	

### 8.9.8.6 Gegevensopslag

	ADP	CP
• Door principaal	X	
• Bouwtekeningen		X
• Garantieverklaringen		X
• Nul(deformatie)meting		X
• Vorige rapporten van inspectie en DISK		X
• Onderhoudsadviezen		X

### 8.9.8.7 Inspectie

	ADP	CP
• Vormen van inspectie en frequentie	X	

### 8.9.8.8 Meetmethoden bij inspecties

	ADP	CP
• Voorbeelden		
• Zintuiglijke	X	
• Akoestisch	X	



## SAATU

## Checklijsten

• Ultrasoon	X
• Mechanisch-elastisch	X
• Micro-seismiek	X
• Magnetische inductie	X
• Thermografisch	X
• Elektrochemisch	X
• Reflectometrisch	X
• Mechanisch	X
• Fysisch	X
• Petrografisch	X
• Chemisch	X
• Röntgenopnamen	X
• Radar	X

**8.9.8.9 Inspectie civiel en bouwkundig**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Opnamemethodiek	X	
• Andere werkzaamheden tegelijkertijd met inspectie	X	
• Rapportagestaten		X
• Inspectieformulieren		X
• Verwerken in DISK	X	

**8.9.8.10 Inspectierapport**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Ondubbelzinnig in tekst		X
• Definiëren gebruikte termen		X
• Alleen gebreken vastleggen		X
• Niveau tot waar gerapporteerd wordt		X
• Overzichtelijke rapportage		X
• Verhoudingen bij gebruik beeldmateriaal duidelijk maken		X
• Overzichtfoto's		X

**8.9.8.11 Onderhoudseisen**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Bereikbaarheid en vervangbaarheid vitale constructieve onderdelen		X
• Onderhoudsplan met nulmeting, nulinspectie en DISK	X	
• Riolering en de WUT-eisen (Werkgroep Uitrusting Tunnels)	X	
• Bekleding van de tunnelwanden	X	
• Handleiding bij het onderhoud		X
• Toegankelijkheid van de onderhoudshandleidingen	X	



## 8.9.9 Benodigde voorzieningen

### 8.9.9.1 Algemene aandachtspunten

	ADP	CP
• Kopschotten	X	
• Waterballastsysteem	X	
• Toegangsschacht	X	
• Tijdelijke opleggingen	X	
• Neusconstructie	X	
• Geleidingsconstructie primaire zijde	X	
• Tijdelijke waterkering (GINA-profiel)	X	
• Sluitvoeg	X	
• Definitieve waterkering (OMEGA-profiel en W9U-I)	X	
• Injecteerbare dilatatievoeg W9U-I	X	
• Onderstroomvoorzieningen	X	
• Positiebepaling	X	
• Verplaatsing en transport	X	
• Diverse andere hulpmiddelen	X	

### 8.9.9.2 Kopschotten

	ADP	CP
• Verantwoordelijkheid voor ontwerp		X
• Waterdichtheid		X
• Noodprocedure bij bezwijken		X
• Doorvoer leidingen en kabels door kopschotdeuren		X
• Slopen		X

### 8.9.9.3 Waterballastsysteem

	ADP	CP
• Verantwoordelijkheid voor ontwerp		X
• Lekkages		X
• Minimale funderingsdruk		X
• Afbreken na vervanging door ballastbeton		X
• Ontwerp-varianten voor waterballastsysteem		X
• Aanbrengen peilschalen		X
• Materiaal waaruit leidingen bestaan		X
• Bevestiging van de leidingen (hoog / laag)		X
• Type pompen en specifieke eisen		X

### 8.9.9.4 Toegangschacht

	ADP	CP
• Korte / lange toegangschacht		X
• Waterdichtheid		X
• Toegankelijkheid		X
• Wijze van bevestiging aan element		X
• Obstakels tijdens transport		X
• Werkzaam als meettoeren / commandopost		X
• Plaats van ontluichtingsbuizen en injectiebuizen		X

**8.9.9.5 Tijdelijke opleggingen**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Type primaire opleggingen en type secundaire opleggingen		X
• In te storten voorzieningen voor de tijdelijke opleggingen		X
• Bescherming tijdens transport		X
• Oplegnauwkeurigheid		X
• Moment van verwijderen		X
• Kwispelen (verplaatsen in dwarsrichting)		X
• Tegengaan van opwippen (d.m.v. dywidag-ankerstaven)		X

**8.9.9.6 Neus- en kinconstructie**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• In te storten voorzieningen		X
• Meting tijdens monteren		X

**8.9.9.7 Tijdelijke waterkering (GINA-profiel)**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Maatvastheid (i.v.m. productiemethode)		X
• Vervormingseigenschappen		X
• Opname horizontale krachten		X
• Zinkvoegomranding		X
• Vollopen schroefdraad bevestigingsbouten		X
• Controle waterdichtheid		X
• Aantasting door UV-straling		X
• Bescherming		X

**8.9.9.8 Sluitvoeg**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• Wigconstructie		X
• Sluitvoegschotten		X
• vloer		X
• wanden		X
• dak		X
• Belasting door temperatuurverschillen		
• Meetmal		
• Controle door duikers		
• Bescherming OMEGA		

**8.9.9.9 Definitieve waterkering**

	<b>ADP</b>	<b>CP</b>
• W9U-I profiel en OMEGA-profiel		X
• Maatvoering en definitieve bevestiging		X
• Plaats van opening injectiebuizen (binnenkant tunnel)		X
• Voorkomen luchtinsluitingen tijdens storten en inloop cementwater in injectiebuizen		X
• Zorgvuldig injecteren		X
• Geschikte injectievloeistof		X
• Waterdichtheid van de stornaden		X

**8.9.9.10 Onderstroom-voorzieningen**

- |               | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---------------|------------|-----------|
| • Sonderingen |            | X         |

**8.9.9.11 Positiebepalingen**

- |                                       | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---------------------------------------|------------|-----------|
| • Inmeten in den droge                |            | X         |
| • Meetpunten                          |            | X         |
| • Specifieke positiebepaling-methoden |            | X         |
| • Meettorens                          |            | X         |
| • Radarmerk                           |            | X         |
| • Peilschalen                         |            | X         |
| • Seinbakens                          |            | X         |
| • Theodoliet                          |            | X         |
| • Waterpas                            |            | X         |
| • GPS                                 |            | X         |
| • Navigatiemast                       |            | X         |

**8.9.9.12 Verplaatsing en transport**

- |   | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|---|------------|-----------|
| • Te monteren hulpmiddelen:                           |            |           |
| • Bolders   |            | X         |
| • Duwbootframe  |            | X         |
| • Lieren  |            | X         |
| • Klapschijven  |            | X         |
| • Fenders / Fenderconstructie / Geleidingsconstructie |            |           |
| • Transportmaterieel:                                 |            |           |
| • Sleep- en duwboten                                  |            | X         |
| • Pontons   |            | X         |
| • Drijvende bok                                       |            | X         |
| • Overige middelen:                                   |            |           |
| • Verlichting in het element                          |            | X         |
| • Borden voor de scheepvaart                          |            | X         |
| • Diverse hulpmiddelen                                |            | X         |

**8.9.9.13 Diverse andere hulpmiddelen**

- |                                    | <b>ADP</b> | <b>CP</b> |
|------------------------------------|------------|-----------|
| • Lekwaterpompen / pompsysteem     | X          |           |
| • Lekwater signaleringssysteem     | X          |           |
| • Generatorplatform                | X          |           |
| • Aggregaat / Generator            | X          |           |
| • Communicatievoorzieningen        | X          |           |
| • Verlichting in en op het element | X          |           |







SAATU

## Inhoudsopgave Bijlage

- 8.10.1 10.2.A
  - 8.10.1.1 Stap 1 bij het uitlieren van tunnelelement 1.
  - 8.10.1.2 Stap 3 bij het uitlieren van tunnelelement 1.
  - 8.10.1.3 Stap 9 bij het uitlieren van tunnelelement 1.
  - 8.10.1.4 Stap 14 bij het uitlieren van tunnelelement 1.
- 8.10.2 10.2.B
  - 8.10.2.1 Communicatie-schema tijdens opdrijven, verhalen en transportgereedmaken.
  - 8.10.2.2 Communicatie-schema afzinkgereedmaken tunnelelement.
  - 8.10.2.3 Communicatie-schema afzinken.
- 8.10.3 10.2.C
  - 8.10.3.1 Werkvenster opdrijven.
- 8.10.4 10.3.A
  - 8.10.4.1 Beslisformulier transport tunnelelement.
- 8.10.5 10.3.B
  - 8.10.5.1 Beslisprocedure.
  - 8.10.5.2 Beslisprocedure.
  - 8.10.5.3 Beslisprocedure.
  - 8.10.5.4 Beslisprocedure.
- 8.10.6 10.4.A
  - 8.10.6.1 Afzink tunnelelement.
- 8.10.7 10.4.B
  - 8.10.7.1 Stappenplan-afzinken.
- 8.10.8 10.4.C
  - 8.10.8.1 Verplaatsing tunnelelement tijdens het afzinken.
  - 8.10.8.2 Verplaatsing tunnelelement tijdens het afzinken.
  - 8.10.8.3 Metingen tijdens afzinken.
- 8.10.9 10.4.D
  - 8.10.9.1 Onderstoel en bovenstoel.
  - 8.10.9.2 Onderstoel en bovenstoel.
- 8.10.10 10.5.A
  - 8.10.10.1 Memo Grindbed.
  - 8.10.10.2 Memo Grindbed.
- 8.10.11 10.6.A
  - 8.10.11.1 Zinkvoeg detail dak en vloer t.p.v. overgang toerit - tunnelelement 1.
  - 8.10.11.2 Zinkvoeg detail dak en vloer t.p.v. de tunnelementen onderling.
  - 8.10.11.3 Zinkvoeg detail wanden t.p.v. overgang toerit - tunnelelement 1 en tunnelementen onderling.
- 8.10.12 10.6.B
  - 8.10.12.1 Sluitvoeg detail t.p.v. het dak.
  - 8.10.12.2 Sluitvoeg detail t.p.v. de vloer.
  - 8.10.12.3 Sluitvoeg detail t.p.v. de wanden.



---

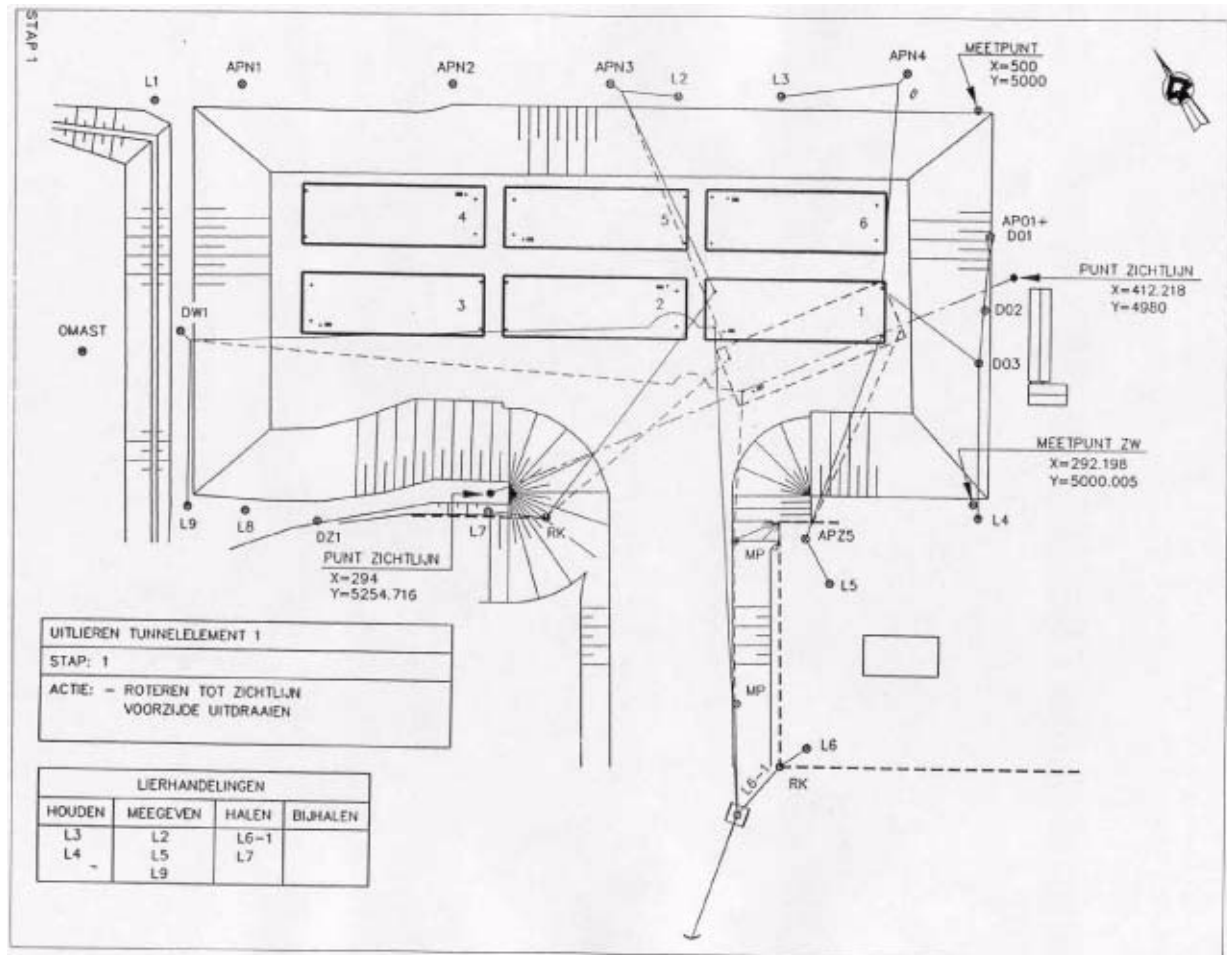
SAATU



## 8.10 BIJLAGE

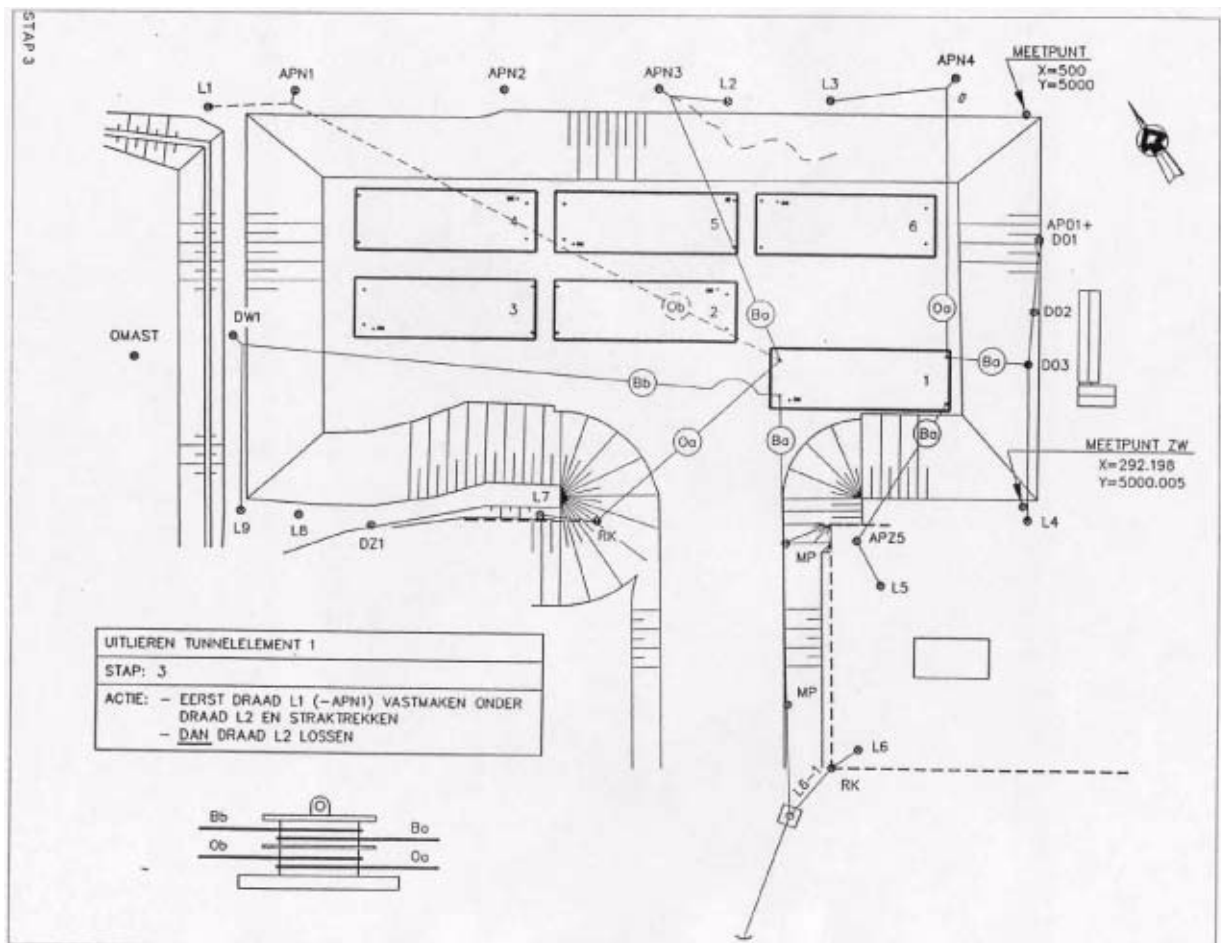
### 8.10.1 10.2.A

#### 8.10.1.1 Stap 1 bij het uitlieren van tunnelelement 1.



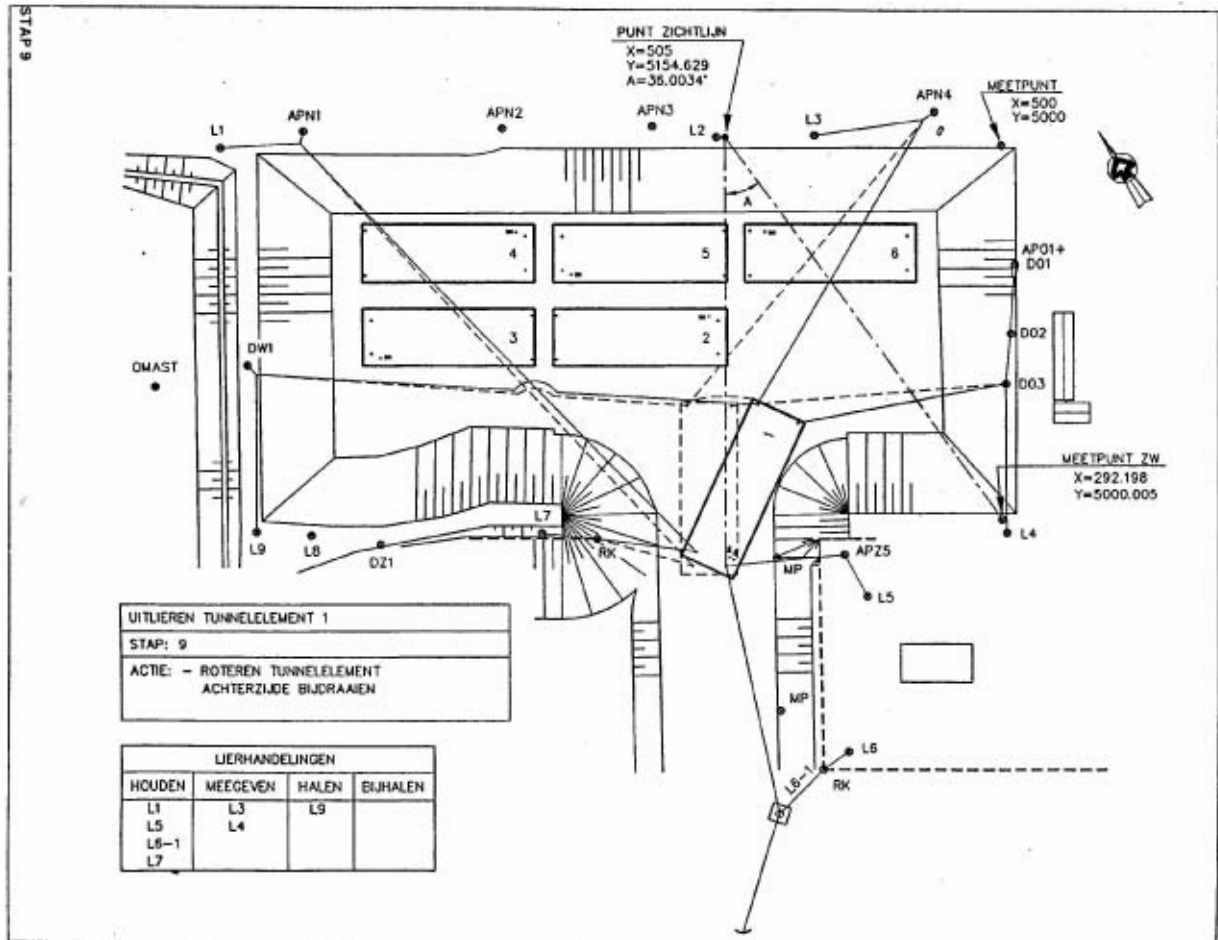


**8.10.1.2 Stap 3 bij het uitlieren van tunnelelement 1.**



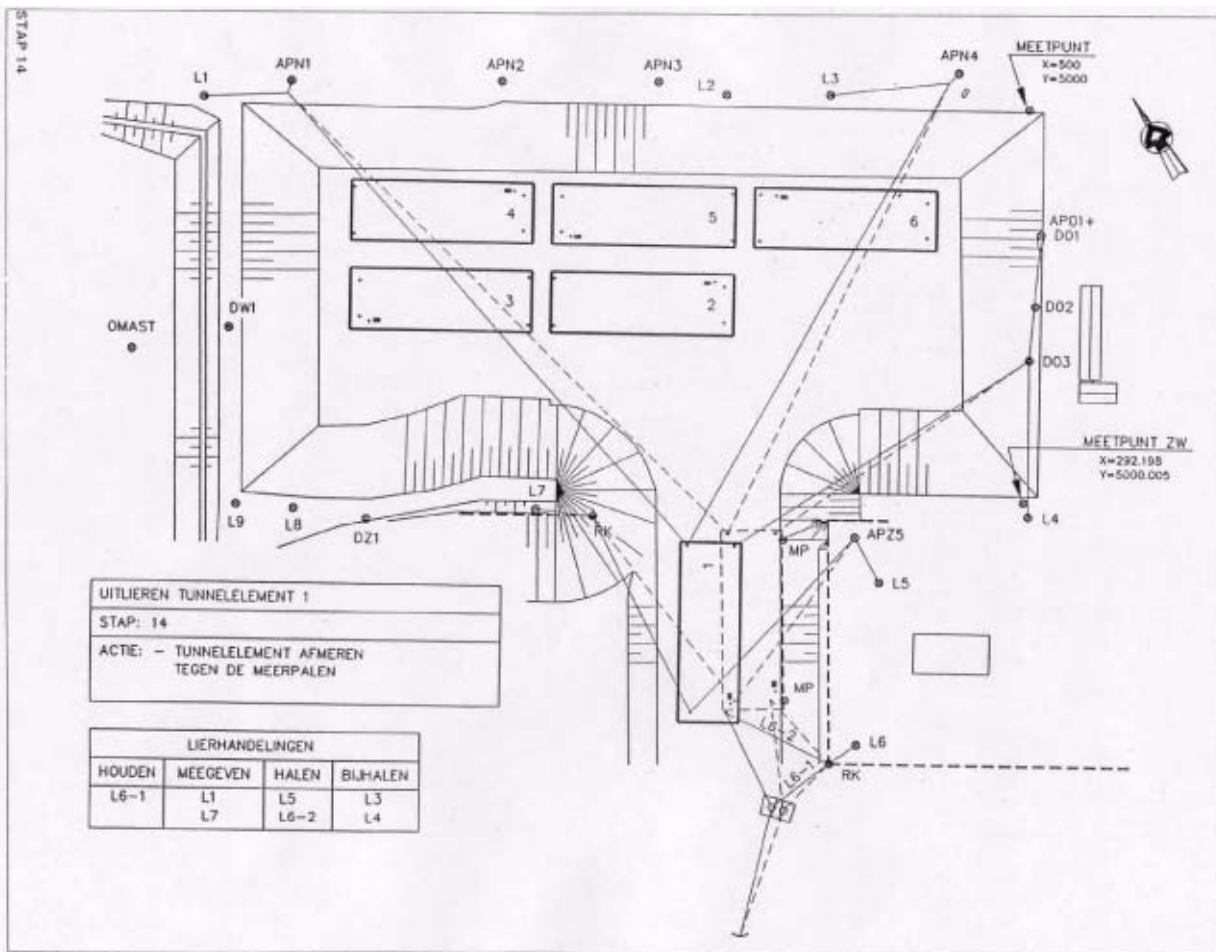


**8.10.1.3      Stap 9 bij het uitlieren van tunnelelement 1.**





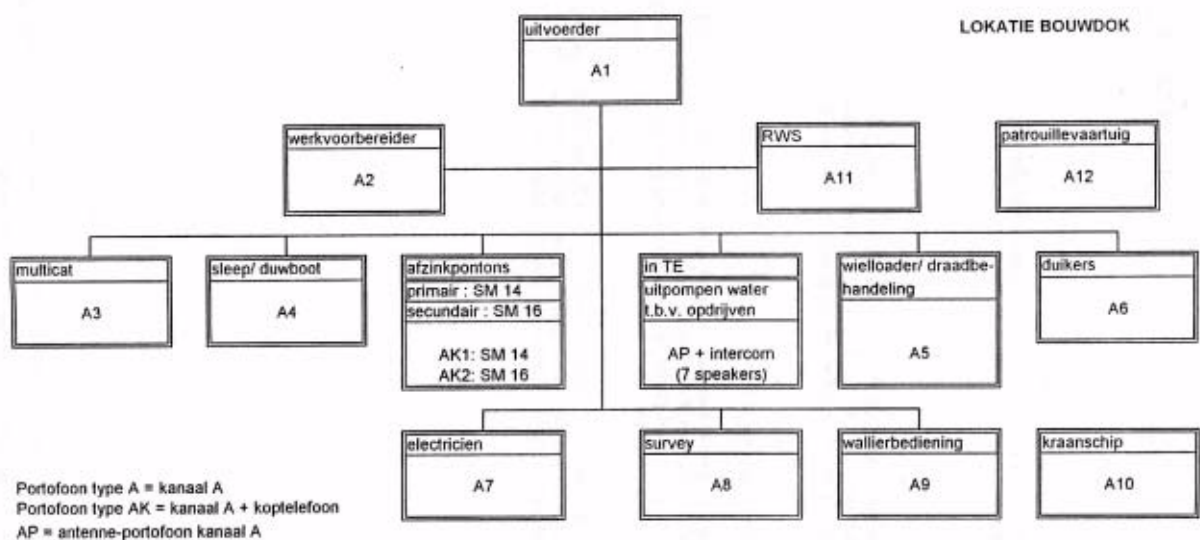
**8.10.1.4 Stap 14 bij het uitlieren van tunnelelement 1.**





## 8.10.2 10.2.B

### 8.10.2.1 Communicatie-schema tijdens opdrijven, verhalen en transportgereedmaken.

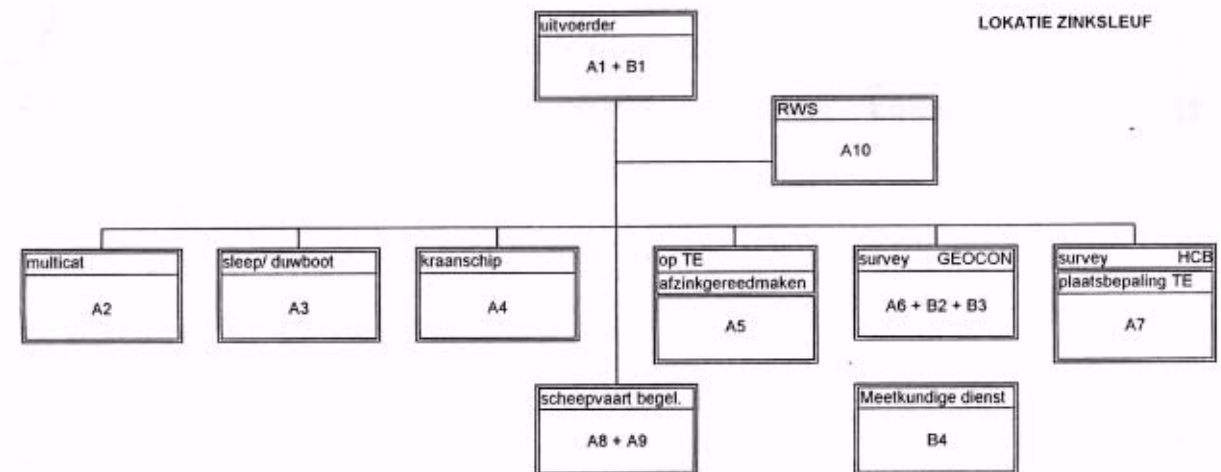


Communicatie-schema tijdens opdrijven, verhalen en transportgereedmaken





### 8.10.2.2 Communicatie-schema afzinkgereedmaken tunnelelement.



Communicatie-schema afzinkgereedmaken tunnelementen (t.p.v. zinksleuf)

**Fase 1: Portofon A**

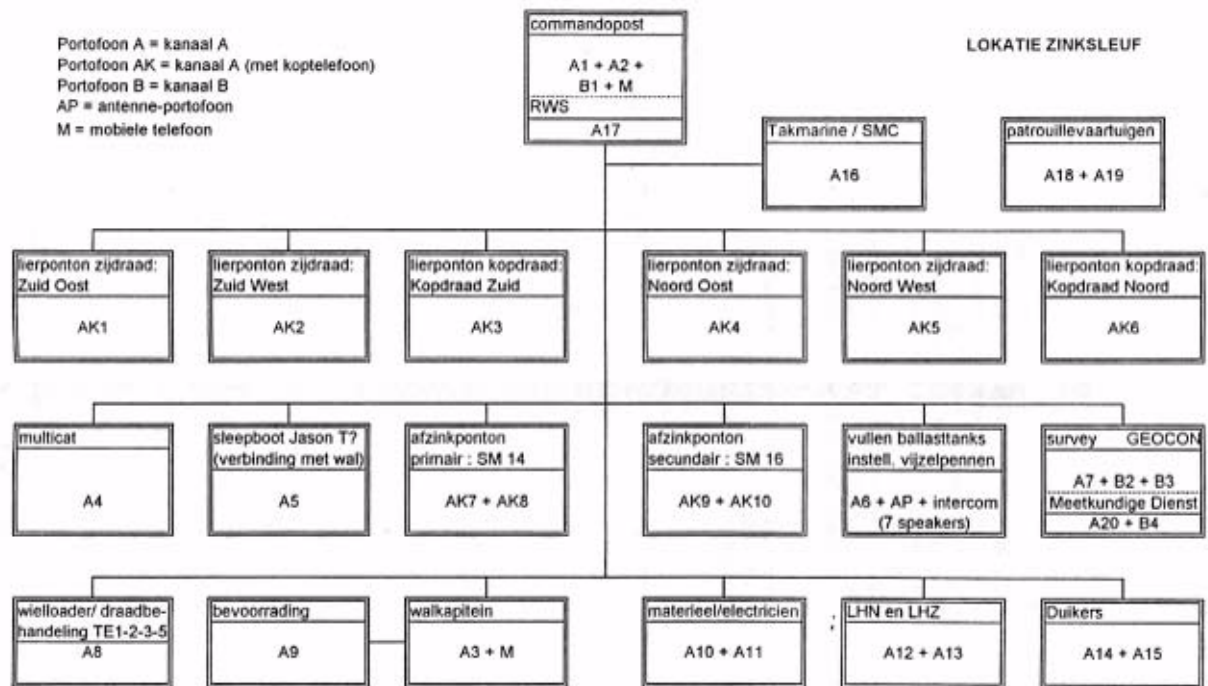
Vorbereidende werkzaamheden in zinksleuf, alleen frequentie A actief

**Fase 2: Portofon A en B**

Werkzaamheden na aankomst T.E., zowel frequentie A als B actief



**8.10.2.3 Communicatie-schema afzinken.**

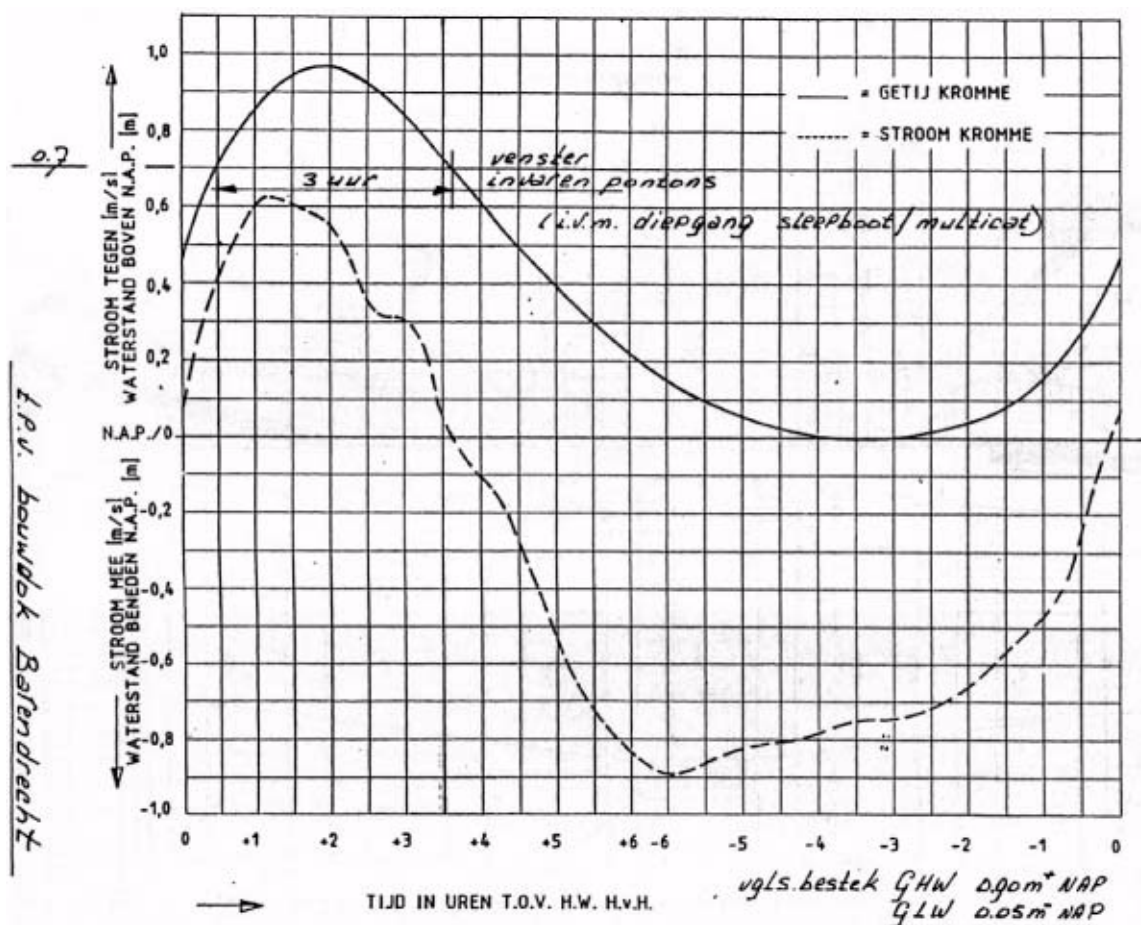






**8.10.3 10.2.C**

**8.10.3.1 Werkvenster opdrijven.**








## 8.10.4 10.3.A

### 8.10.4.1 Beslisformulier transport tunnelement.

 <b>Strukton</b> Betonbouw		Projectteam: Wijkertunnel	doc.nr. 181-13-2.3	Biz:
document Draaisboek transport versie				
<b>Beslisformulier transport tunnelementen Wijkertunnel</b>				
Tunnelement nummer:	1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6			
Gepland vertrek (uur 0):				
Datum:				
Tijd:				
Deze beslisvergadering:				
Datum:				
Tijd:				
Tijd t.o.v. vertrek:	40 / 12 / 2 hr vóór / 12 hr na			
Besluit:	Actie doorgaan			
Datum:	Vertrek verplaatsen naar:			
Tijd:				
	Actie stoppen uitwijken naar:			
Volgende beslisvergadering:				
Datum:				
Tijd:				
Plaats:				
<b>Ondertekening:</b>				
	Naam	Handtekening		
TEC				
TCH				
SNC				
AVS Dordrecht				



**8.10.5 10.3.B****8.10.5.1 Beslisprocedure.****8.5 BESLIJPROCEDURE TRANSPORT EN AFZINKEN TE**


datum:

**A - Beslisgroep**

partij in beslisoverleg	gemachtigde	plaatsvervangend gemachtigde
Bouwdienst RWS	R. Hoeboer	M. Wilschut
HCB	W. Boonstoppel	F. van Rooijen
GHR	G. Piepenbroek	D. van Weelden
SMC	P. Sinke	H. Rijnders
Scheepvaartzaken ( AVS )	A. van Zanten	J. Avontuur

informereren: LSA, hr. T. Wilson 010 - 4260122 ( verzekering )

**B - Vergaderschema**

Uur U = Gepland tijdstip vertrek bouwdok Barendrecht

Locatie vergadering: bouwdok Barendrecht

1. 36 uur voor uur U
2. 12 uur voor uur U
3. 3 uur voor uur U

**C - Agenda**

1. Voortgangscntrole:
  - 1.1 Samenstelling beslisgroep - iedereen aanwezig ja/nee
  - 1.2 Controlelijst transportgereedmaken TE: par. 4 - akkoord ja/nee
  - 1.3 Controlelijst afzinkgereedmaken TE: par. 10 - akkoord ja/nee
  - 1.4 Controlelijst sleepmiddelen ( SMC ) - akkoord ja/nee
  - 1.5 Randvoorwaarden transport: par. 8.4 - akkoord ja/nee
  - 1.6 Randvoorwaarden afzinken: par. 11.9 - akkoord ja/nee
  - 1.7 Randvoorwaarden transport ( SMC ) - akkoord ja/nee
  - 1.8 Zinksleuf 2e Beneluxtunnel ( incl. grindbed )
    - A. Stand van zaken zinksleuf/ grindbed
    - B. Controle peiling sleuf t.b.v. aanslibbing - akkoord ja/nee
    - C. Controle grindbed op basis van acceptatie criteria - akkoord ja/nee
    - D. Controle grindbed op aanwezigheid obstakels - akkoord ja/nee
  - 1.9 Controle:
    - A. Stroomvoorspelling ja/nee
    - B. Weersverwachting ja/nee
    - C. Benodigde bodemdieptes ja/nee
    - D. Transportbegeleiding ja/nee





### 8.10.5.2 Beslisprocedure.

1.10 Parkeerlocatie Wilton Fijenoord - gereed	ja/nee
1.11 Transportvergunning - aanwezig	ja/nee
1.12 Communicatie - aanwezig	ja/nee

#### D - DE BESLISSING TOT DOORGAAN WORDT EENSTEMMIG GENOMEN

#### E - Contacten

- Stroomvoorspelling: RWS Directie Zuid Holland, dhr. J. de Neef  
telefoon 010 - 4026365
- Weersverwachting: Holland Weer Service  
telefoon 035 - 6039003

#### F - Schema voor informatie inwinning

1. 3 dagen voor uur U telefonisch contact opnemen met H. W. S. voor de weersverwachting en RWS Directie Zuid Holland voor de stroomvoorspelling ( lange termijnvoorspelling, indicatief )
2. 36 uur voor uur U een weersvoorspelling en een 48-uurs stroom - en waterstandsvoorspelling per fax leveren aan bouwdok Barendrecht
3. indien twijfelachtig 24 uur voor uur U een weersvoorspelling en een 36-uurs stroom- en waterstandsvoorspelling per fax leveren aan bouwdok Barendrecht
4. 12 uur voor uur U een weersvoorspelling en een 36-uurs stroom - en waterstandsvoorspelling per fax leveren aan bouwdok Barendrecht
5. 3 uur voor uur U een weersvoorspelling en een 24-uurs stroom - en waterstandsvoorspelling per fax leveren aan bouwdok Barendrecht

#### G - Organisatieschema transportgroep/ afzinkgroep

- Zie organisatieschema Smit Maritime Contractors - transport
- Zie hoofdstuk 19: Planning en Organisatie ( HCB )

19.8	Organisatieschema transportgereedmaken tunnelementen
19.9	Organisatieschema vertrek transport tunnelementen
19.10	Organisatieschema afzinkgereedmaken tunnelementen
19.11	Organisatieschema afzinken tunnelementen
19.12	Organisatieschema afruimen tunnelementen



### 8.10.5.3 Beslisprocedure.

#### H - Weer- en Riviercondities ( zie ook randvoorwaarden: par.8.4/ par. 11.9 en van SMC )

1. **Temperatuur:**
  - tijdens transport: boven -2 graden Celsius.  
mits er veilig gewerkt kan worden.
  - tijdens afzinken: boven -2 graden Celsius.  
mits er veilig gewerkt kan worden.
2. **Wind:**
  - tijdens transport: 6 - 7 Beaufort
  - tijdens afzinken: tot 8 Beaufort
3. **Zicht:**
  - tijdens transport: meer dan 1000 meter
  - tijdens afzinken: meer dan 600 meter
4. **Stroming:**
  - toetsen op de toelaatbare stroomsnelheden en de maximaal benodigde waterstanden op de diverse locaties
5. **Getijkrommen.**
6. **Scheepvaartregeling/ stremming:**
  - tijdens transport: op de Oude en Nieuwe Maas een vaarverbod
  - tijdens afzinken: algehele stremming gedurende max. 24 uur

#### I - Telefoonlijst

zie hoofdstuk 26.1: Adres- en telefoonlijst van OTAO - betrokkenen





### 8.10.5.4 Beslisprocedure.

#### BESLISFORMULIER TRANSPORT EN AFZINKEN TE

Gepland vertrek ( uur U ) :	
	datum :
	tijd :

Deze beslisvergadering :	
	datum :
	tijd :
tijd t.o.v. vertrek :	36 / 12 / 3 uur voor vertrek

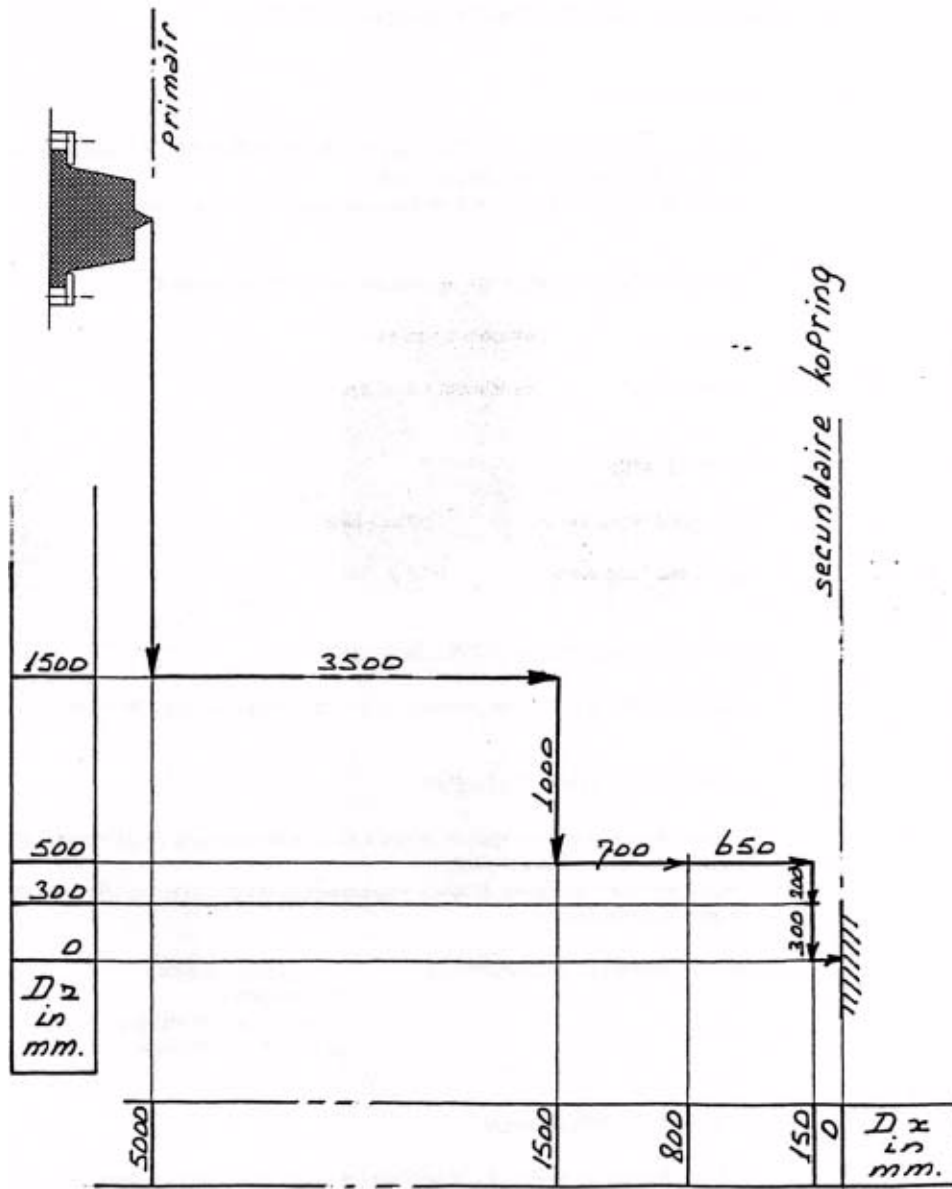
Besluit :	Actie doorgaan
	Vertrek uitstellen tot :
	Actie stoppen uitwijken naar :
datum :	
tijd :	
datum :	

voor akkoord:	naam	handtekening
Bouwdienst RWS		
HCB		
GHR		
SMC		
Scheepvaartzaken ( AVS )		



**8.10.6 10.4.A**

**8.10.6.1 Afzink tunnelement.**

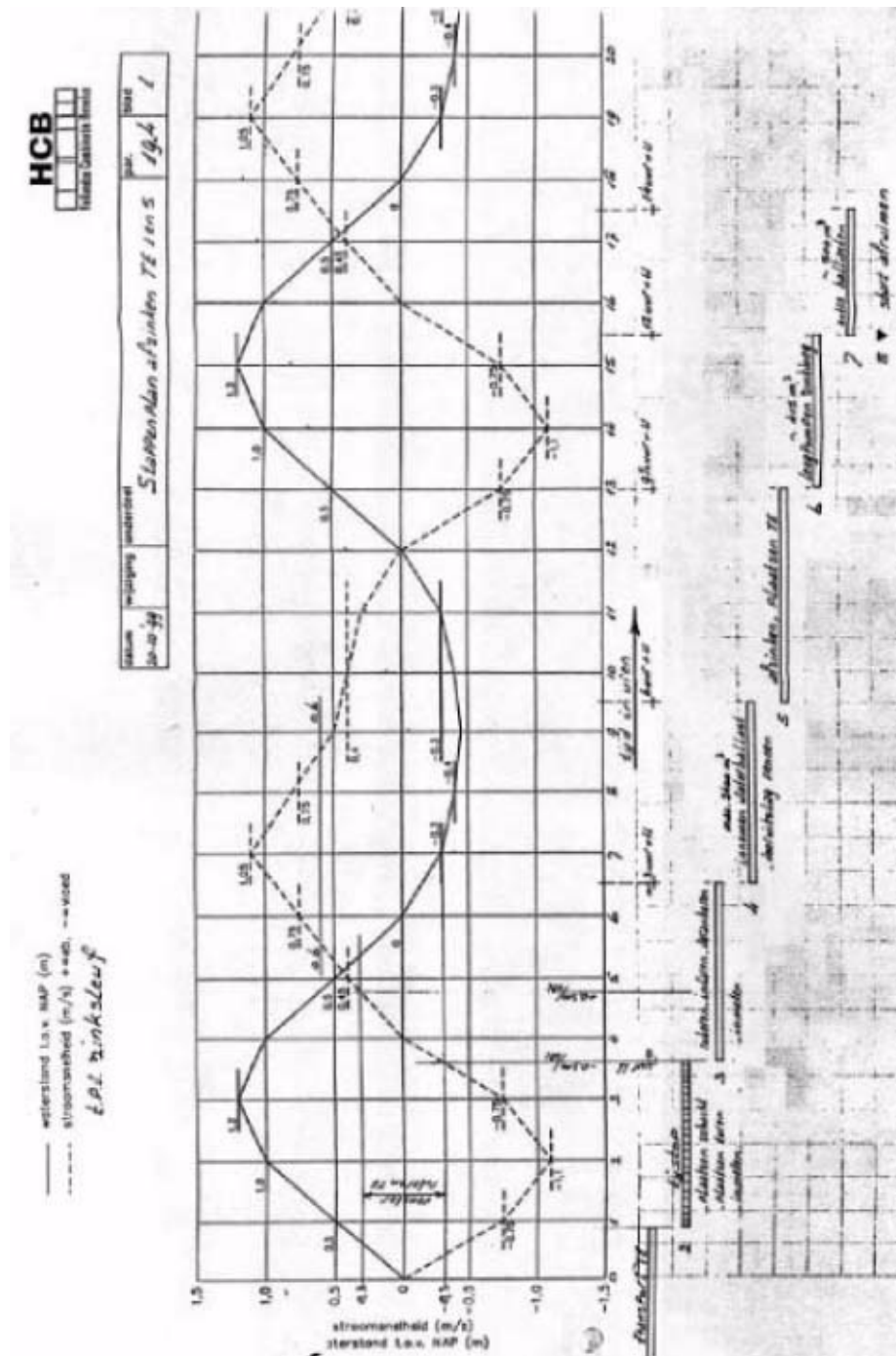


Afzinklijn tunnelement 1



## 8.10.7 10.4.B

### 8.10.7.1 Stappenplan-afzinken.

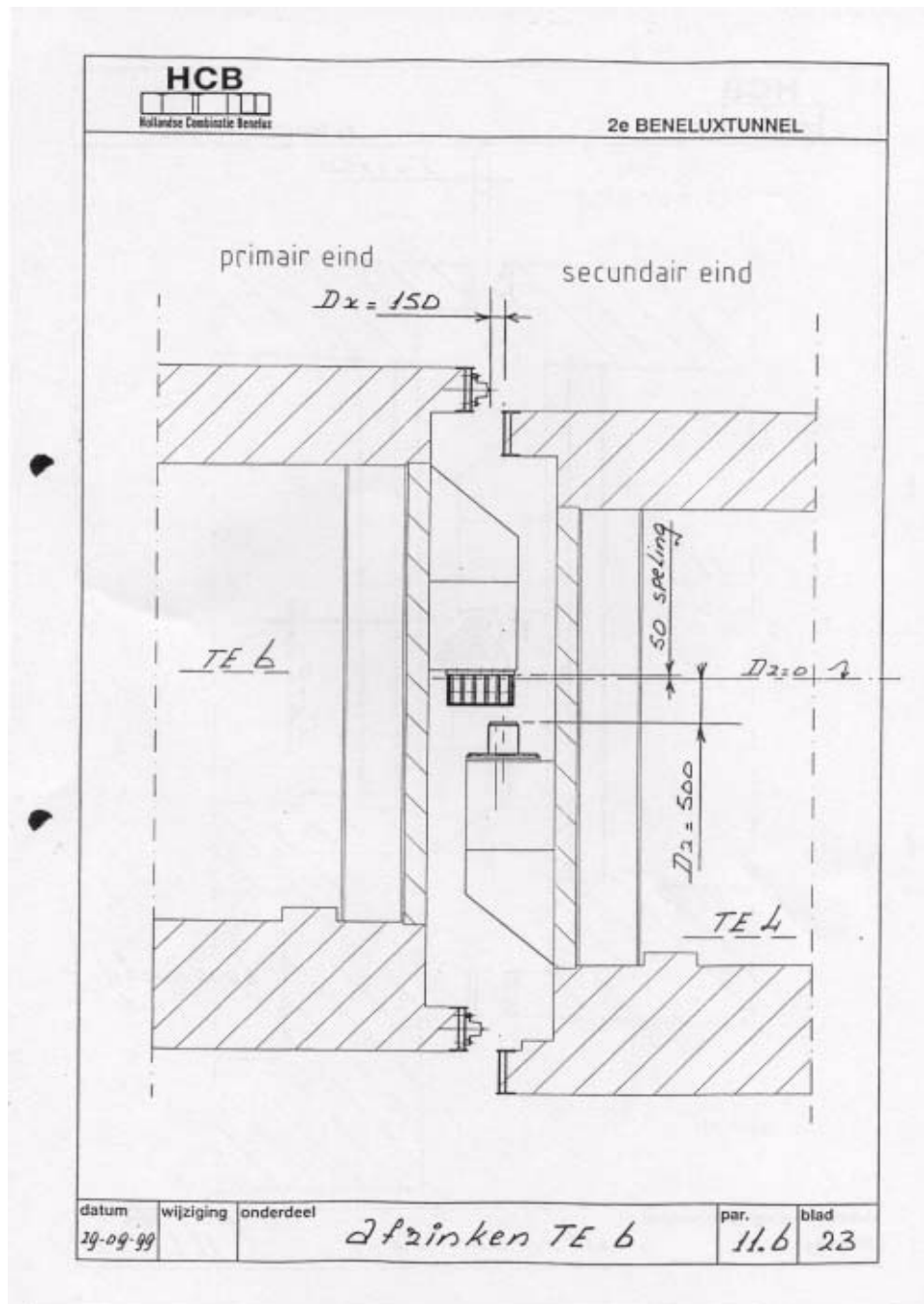


1. Transport TE
2. Tijdstop, plaatsen schacht, plaatsen toren en inmeten.
3. Roteren, invaren en verankeren.
4. Innemen waterballast.
5. Afzinken, plaatsen TE.
6. Leegpompen zinkvoeg.
7. Extra Ballasten.
8. Start afruimen.



## 8.10.8 10.4.C

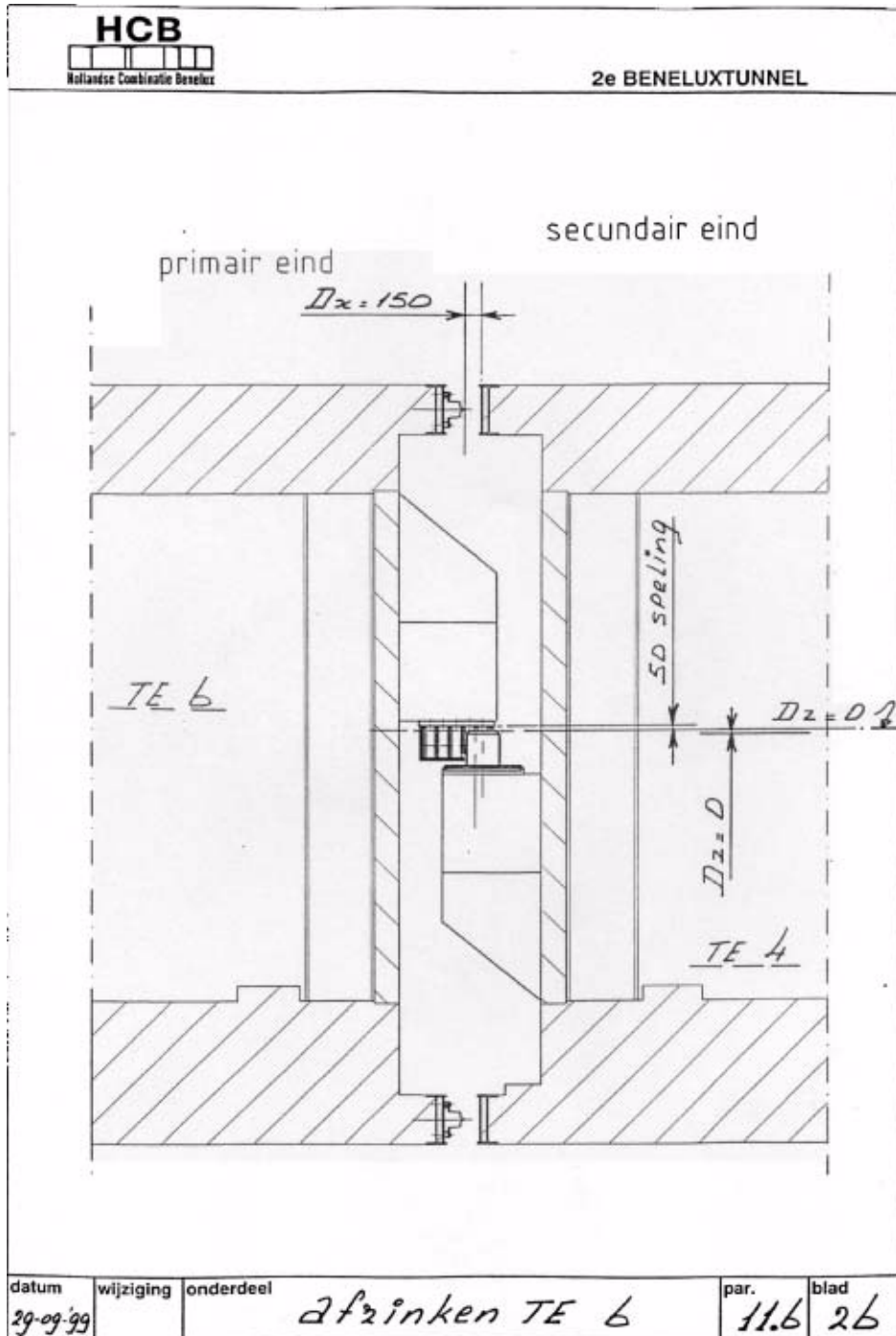
### 8.10.8.1 Verplaatsing tunnelelement tijdens het afzinken.





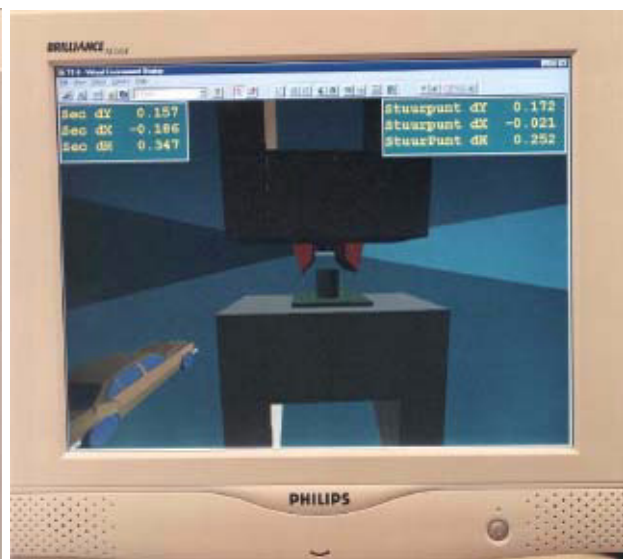
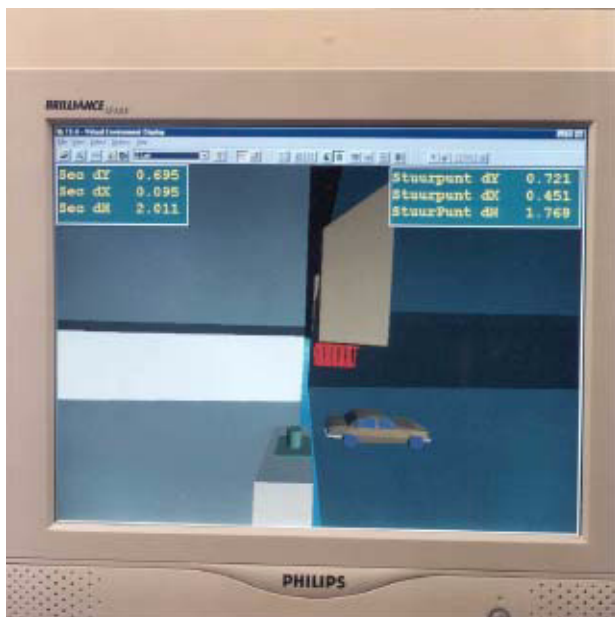
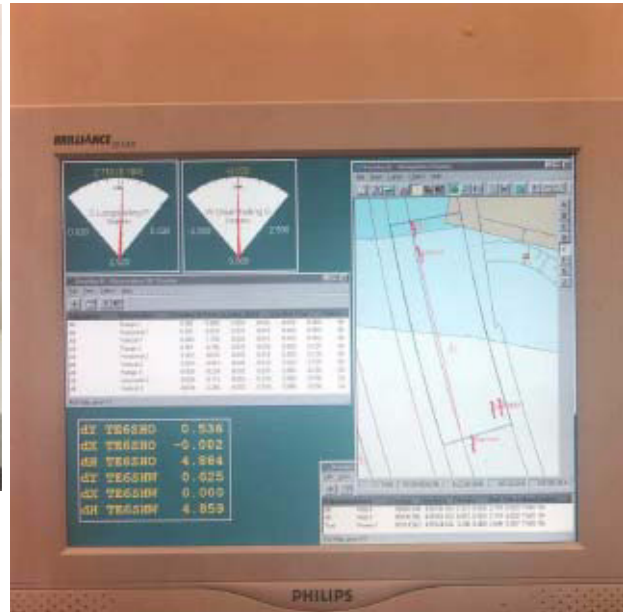
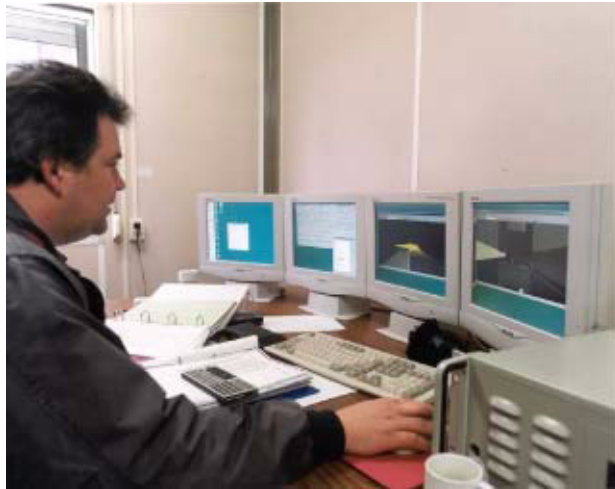


**8.10.8.2 Verplaatsing tunnelement tijdens het afzinken.**





**8.10.8.3 Metingen tijdens afzinken.**





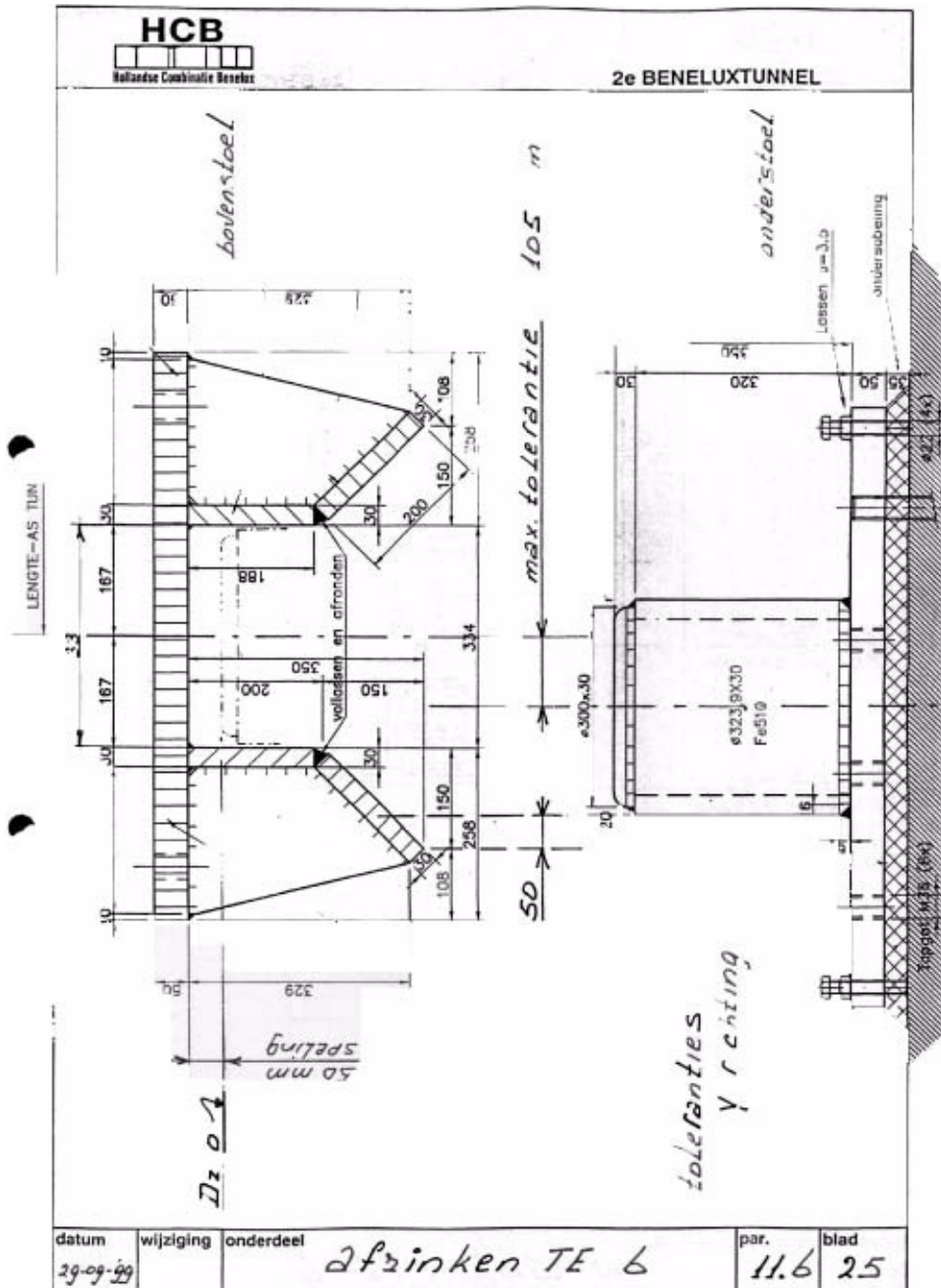


SAATU

Bijlage

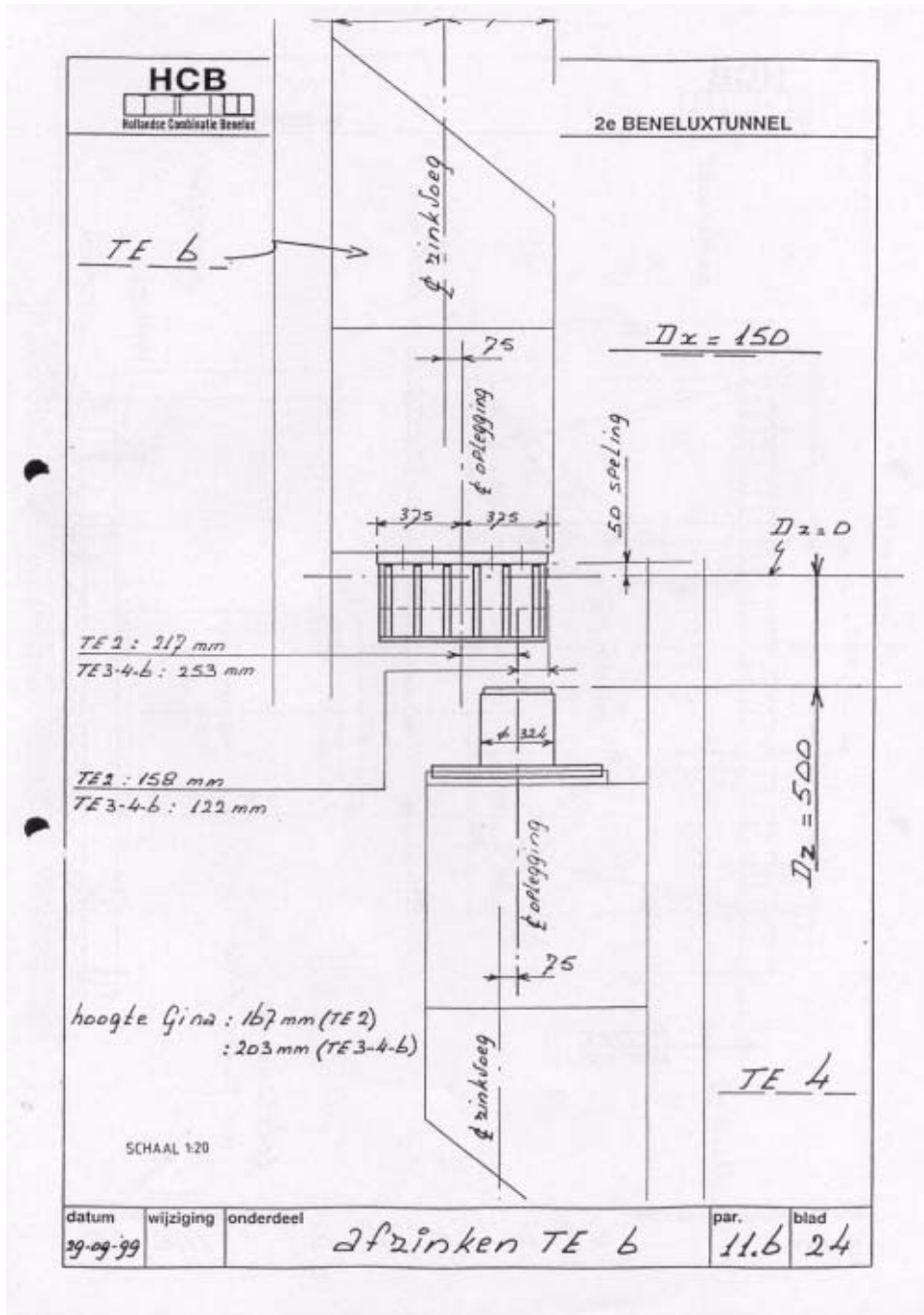
**8.10.9 10.4.D**

**8.10.9.1 Onderstoel en bovenstoel.**





**8.10.9.2 Onderstoel en bovenstoel.**



**8.10.10 10.5.A****8.10.10.1 Memo Grindbed.**

## Memo

**Betreft: ACCEPTATIECRITERIA GRINDBED 2e BENELUXTUNNEL**

Dit memo geeft de acceptatiecriteria indien een grindbed wordt opgebouwd uit 28 bermen (4 bermen per moot). De acceptatiecriteria komen overeen met de criteria voor een grindbed opgebouwd uit 49 bermen (7 bermen per moot) zoals gegeven in memo 29025-m-12-cvet, met uitzondering van criterium 2 en criterium 6. Deze criteria zijn verruimd omdat anders de kans dat een grindbed wordt geaccepteerd te klein wordt. De overige criteria kunnen hetzelfde blijven zonder dat de kans op acceptatie te klein wordt.

De verruiming van de criteria is enkel rekentechnisch aangezien het niveau onder de muren wordt gebaseerd op de 2 hoogste van 4 bermen, in plaats van de hoogste 3 van 7 bermen. Praktisch worden de grindbermen op identieke wijze aangelegd en veranderen de toleranties van de aanleg van het grindbed niet.

### 1 DEFENITIES

Een berm wordt opgedeeld in 50 secties van elk 0.905x 85 m2. Per sectie wordt het 70% niveau bepaald uit ongeveer 45 metingen.

Iedere berm wordt opgedeeld in diverse gebieden bestaande uit 1 of meer secties. Het niveau van een gebied is het gemiddelde van de sectieniveaus in dat gebied.

Voor elke moot wordt per gebied 1 niveau bepaald. *Onder de muren bestaat dat niveau uit het gemiddelde van de 2 hoogste bermen, onder de vloeren bestaat dat niveau uit het gemiddelde van alle bermen.*

Voor de definities van vloeren, overgangsgebieden en muren wordt verwezen naar figuur 1.

### 2. ACCEPTATIECRITERIA

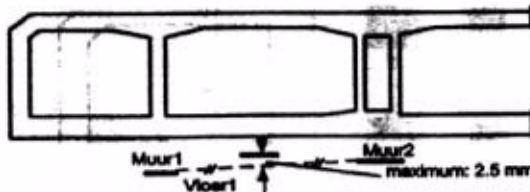
Per criterium is het toegestaan dat in 5% van de gevallen het criterium wordt overschreden.

Criterium 1: het aanlegniveau van een sectie mag niet meer dan 25 mm afwijken van het streefniveau.

### 8.10.10.2 Memo Grindbed.

**Criterium 2:** de vloerniveaus mogen niet *meer dan 2.5 mm* uitkomen boven het niveau van de aangrenzende muren:

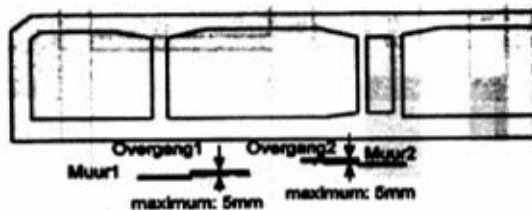
$$\text{VLOER1} - (\text{MUUR1} + \text{MUUR2}) / 2 < 2.5 \text{ mm.}$$



**Criterium 3:** de niveaus van de overgangsgebieden mogen niet uitkomen boven het niveau van de aangrenzende muur + 5 mm:

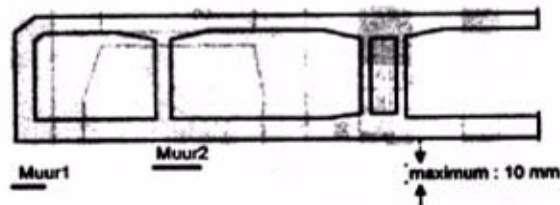
$$\text{OVERGANG1} - \text{MUUR1} < 5 \text{ mm.}$$

$$\text{OVERGANG2} - \text{MUUR2} < 5 \text{ mm.}$$



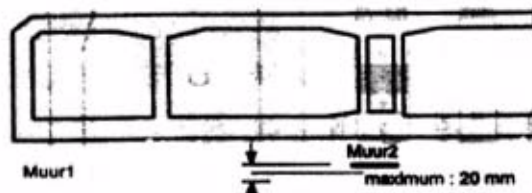
**Criterium 4:** de aangrenzende muren mogen niet meer dan 10 mm van elkaar afwijken:

$$\text{MUUR1} - \text{MUUR2} < 10 \text{ mm absoluut.}$$



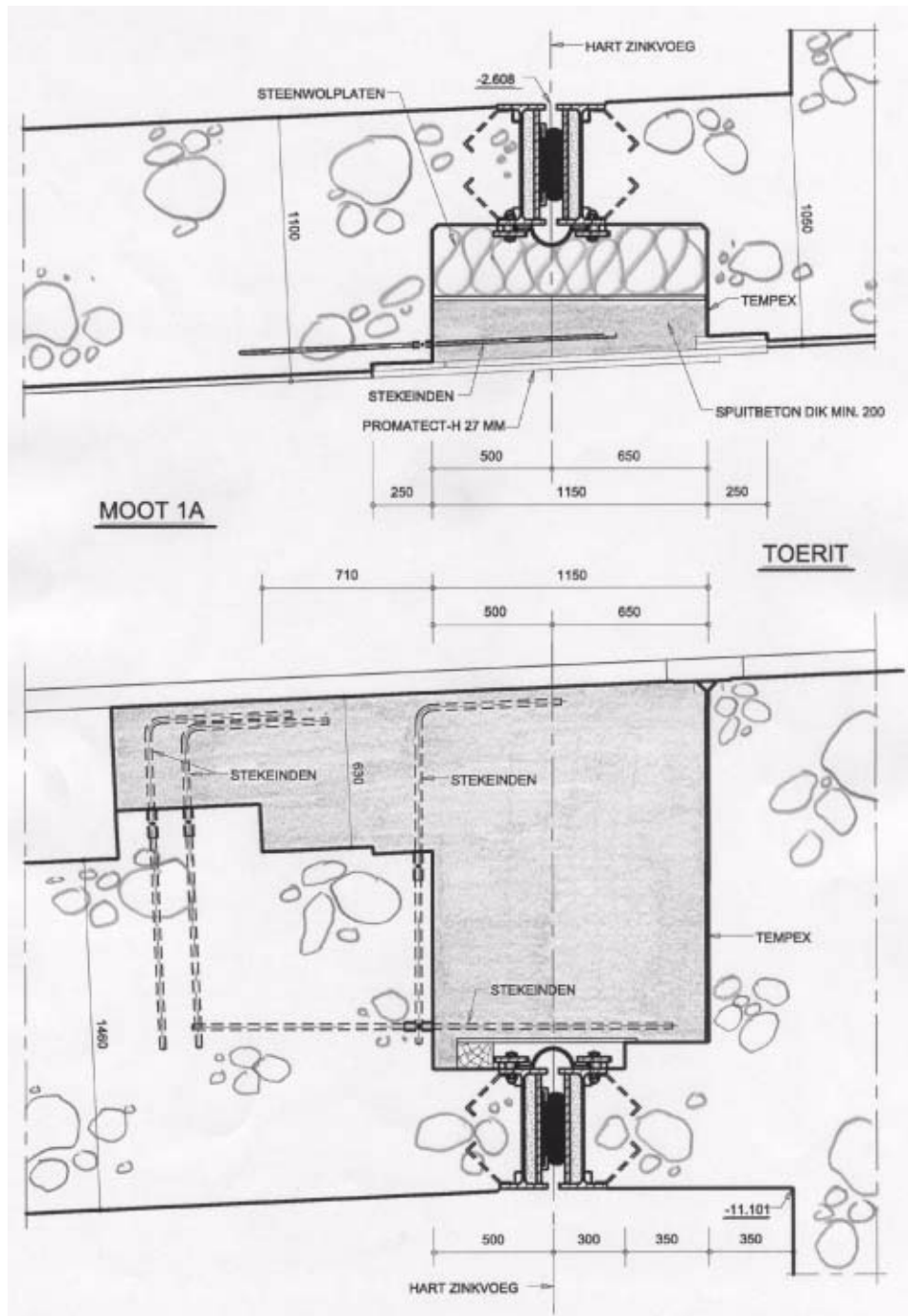
**Criterium 5:** de aangrenzende hoofdmuren (1, 3 en 5) mogen niet meer dan 20 mm van elkaar afwijken:

$$\text{MUUR1} - \text{MUUR2} < 20 \text{ mm absoluut.}$$



**Criterium 6:** het verschil tussen de muurniveaus van 2 aanliggende moten mag niet meer zijn dan 15 mm.

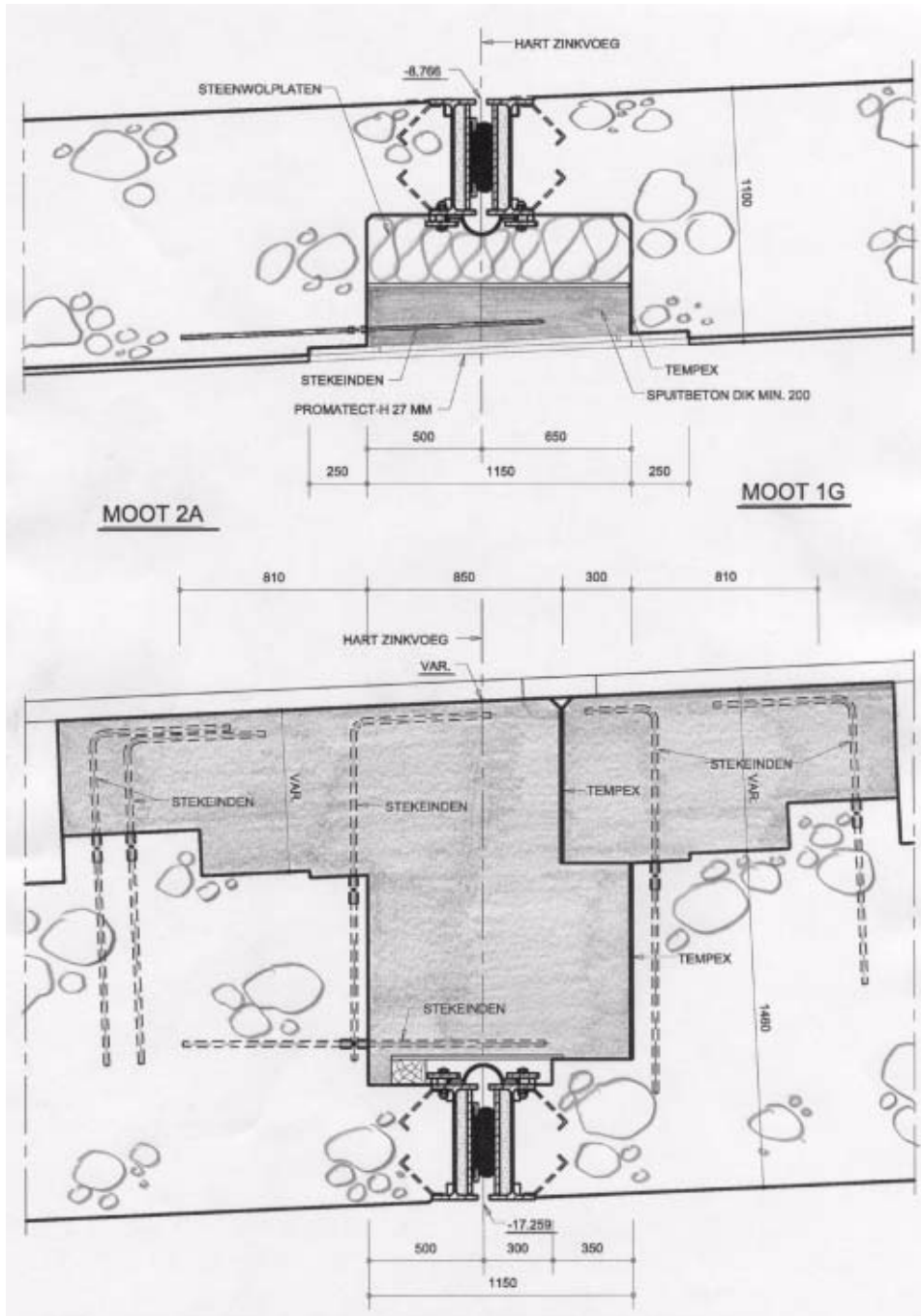
$$\text{MUUR1} - \text{MUUR2} < 15 \text{ mm absoluut.}$$

**8.10.11 10.6.A****8.10.11.1 Zinkvoeg detail dak en vloer t.p.v. overgang toerit -  
tunnelelement 1.**

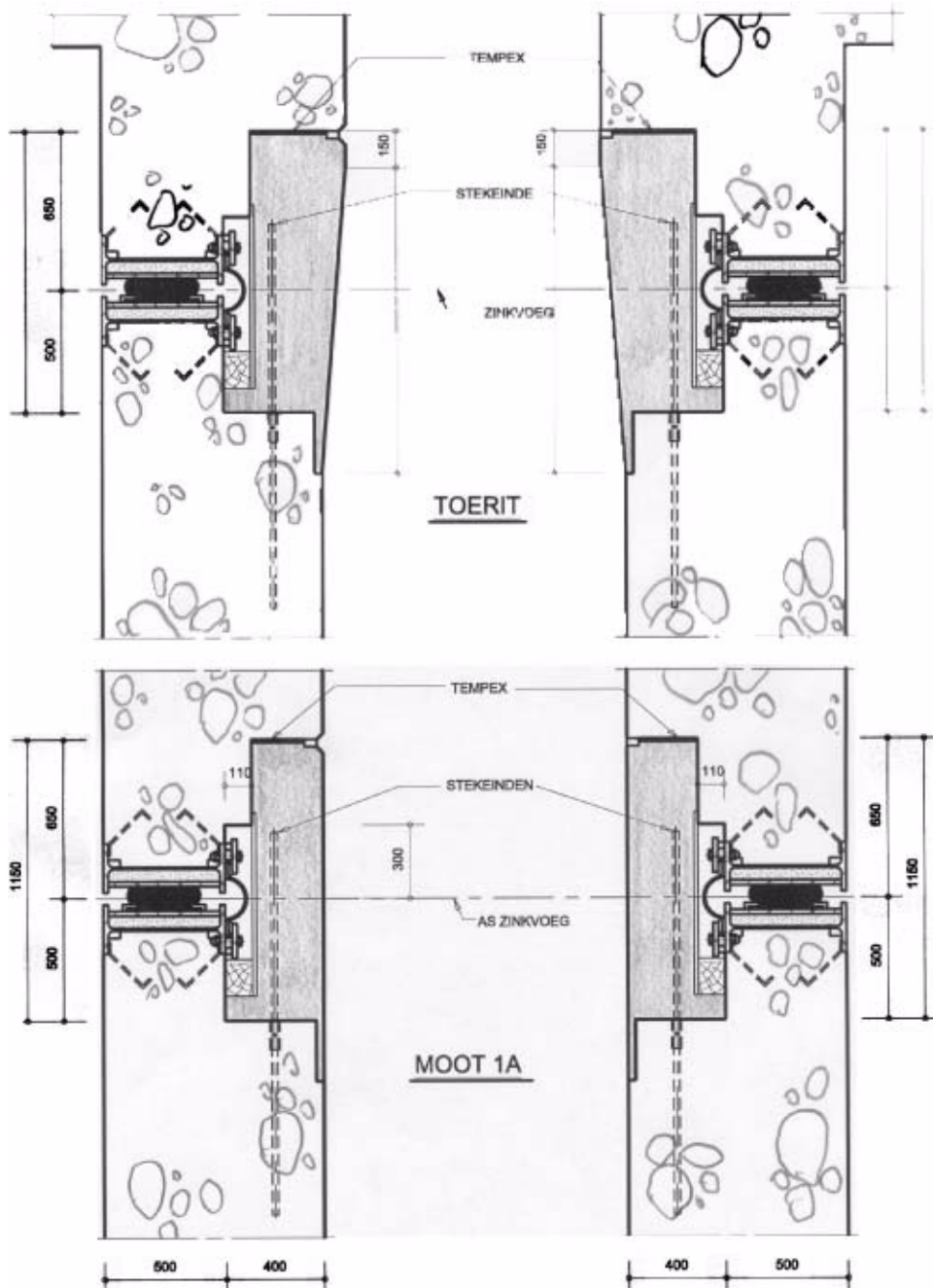




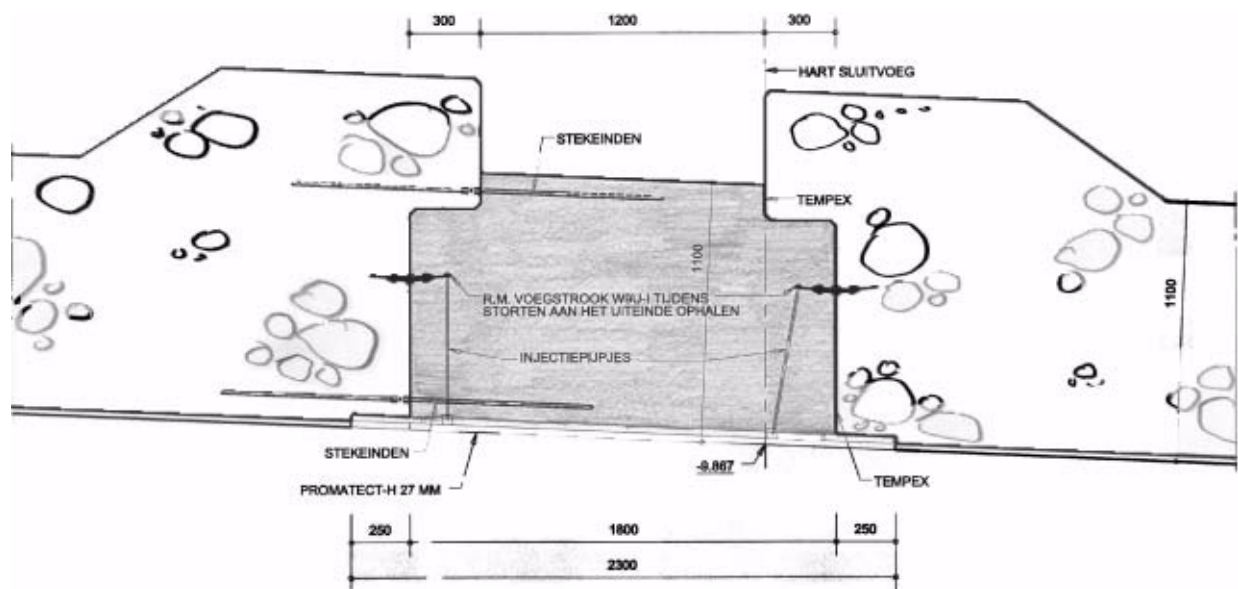
**8.10.11.2 Zinkvoeg detail dak en vloer t.p.v. de tunnelelementen onderling.**



**8.10.11.3 Zinkvoeg detail wanden t.p.v. overgang toerit - tunnelelement 1 en tunnelementen onderling.**

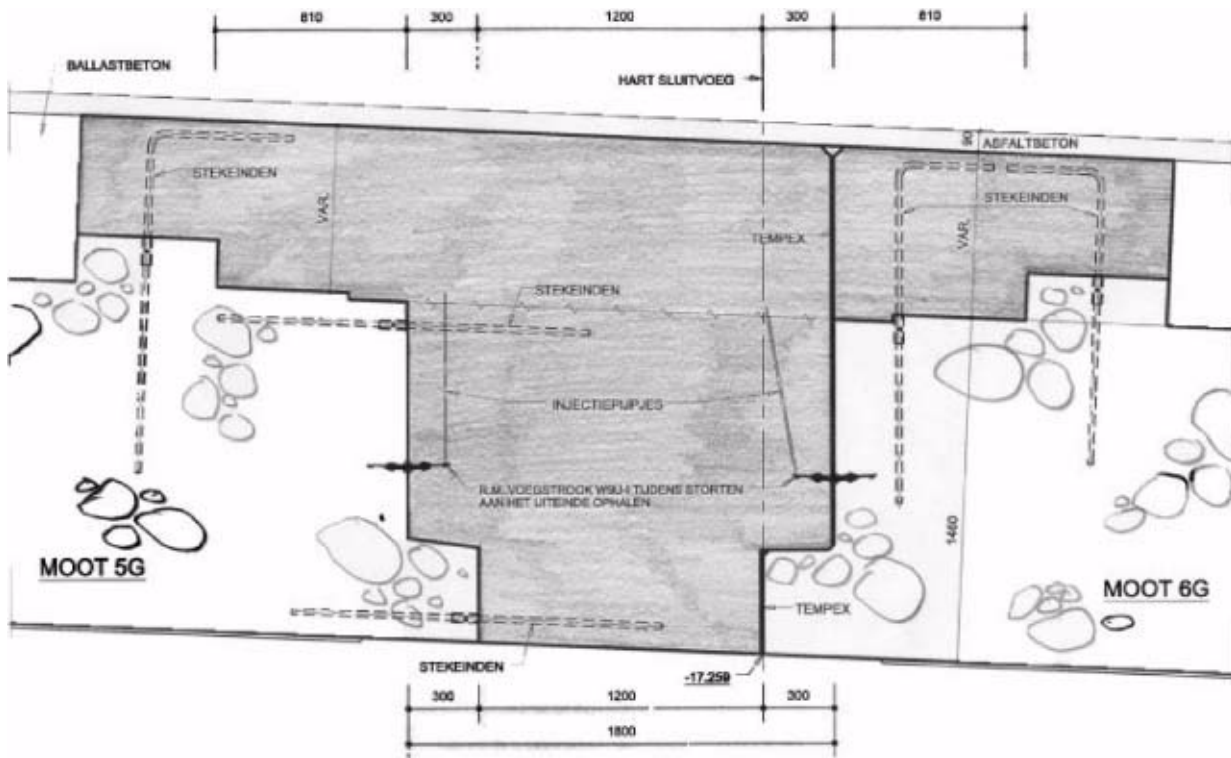




**8.10.12 10.6.B****8.10.12.1 Sluitvoeg detail t.p.v. het dak.**



**8.10.12.2 Sluitvoeg detail t.p.v. de vloer.**





**8.10.12.3 Sluitvoeg detail t.p.v. de wanden.**

