

Ontwerp en uitvoering van start- en ontvangtschachten voor boortunnels voor spoor- en wegverkeer



Auteur:
A.P. Sandee

Begeleidingscommissie:
Ir. G. Arends, TU Delft
Dr. ir. K.J. Bakker, TU Delft
Ir. J. Saveur, Van Hattum en Blankevoort
Prof. drs. ir. J.K. Vrijling, TU Delft

Copyright © 2000 BTC
Dit rapport is bestemd voor de BTC.
Aan de inhoud van dit rapport kunnen géén rechten ontleend worden.

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van mijn afstudeerproject dat ik heb verricht als afronding van de opleiding civiele techniek aan de Technische Universiteit Delft. Dit project heb ik verricht voor de aannemingscombinatie BTC Botlek. Deze combinatie is verantwoordelijk voor de bouw van de Botlekspoortunnel en heeft eerder reeds de 2^o Heinenoordtunnel gebouwd. Het grootste gedeelte van mijn afstudeerwerk heb ik gedaan op de bouwplaats van de Botlekspoortunnel. Dit gaf mij de gelegenheid om regelmatig buiten te kunnen rondneuzen bij de uitvoering waardoor ik een duidelijk beeld kreeg van de bouw van een schacht. Door bovendien verschillende andere boortunnelprojecten te bezoeken heb ik ook inzicht gekregen in de verschillende andere oplossingen die op dit moment worden toegepast bij de uitvoering van boortunnelprojecten.

Mijn afstudeerrapport is bestemd voor ontwerpers en werkvoorbereiders van de BTC als hulp bij het ontwerp en de werkvoorbereiding van start- en ontvangtschachten voor grote diameter boortunnels in West-Nederlandse omstandigheden. In het rapport wordt kort het boorproces beschreven waarna de facetten die bij het ontwerp en de werkvoorbereiding van start- en ontvangtschachten een rol spelen aan bod komen. Veel aandacht heb ik besteed aan de illustraties, dit om de inhoud duidelijker en aantrekkelijker te maken voor de lezer. Met het oog op toekomstige ontwikkelingen heb ik ervoor gekozen om het hele rapport digitaal uit te voeren. Zodoende kan het eenvoudig aangepast worden en kunnen stukken eenvoudig gebruikt worden voor mogelijke andere rapportages. Een digitale versie van dit rapport met alle bijbehorende illustraties is in het bezit van de studiedienst van de BTC.

Tot slot wil ik alle medewerkers van de BTC Botlek die mij tijdens mijn afstudeerproject hebben geholpen bedanken voor de medewerking die zij mij verleend hebben. Doordat er op de bouwplaats bij de Botlekspoortunnel veel informatie beschikbaar was kon ik eenvoudig aan allerlei gegevens komen die ik voor mijn afstudeerproject nodig had. Ook wil ik professor J.K. Vrijling en de heren G. Arends en K.J. Bakker bedanken voor hun begeleiding vanuit de TU Delft. Zij hebben erop toegezien dat mijn afstudeerwerk de nodige vernieuwingen bevat en hebben hiervoor goede suggesties aangedragen. Een bijzonder woord van dank voor mijn begeleider J. Saveur van Van Hattum en Blankevoort. Hij heeft mijn werk gedurende de hele rit van waardevol commentaar voorzien. Mede hierdoor was het voor mij mogelijk om tot een goede afronding van dit rapport te komen.

Delft, november 2000,

Peter Sandee

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	5
Inleiding	7
1 Bouwproces boortunnel	9
1.1 Boorproces	9
1.2 Tunnelboormachine	10
1.2.1 Hydroschild	10
1.2.2 Earth Pressure Balance-schild	11
2 Functies start- en ontvangtschacht	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Startschacht	13
2.3 Ontvangtschacht	15
2.4 Werkterrein op maaiveld	16
2.5 Keuze aanlegdiepte van de start- en ontvangtschacht	17
3 Bouwmethoden voor schachten	24
3.1 Algemeen	24
3.2 Bouwputten en bouwkuipen	24
3.2.1 Zijwanden en vloer of waterkerende laag	24
3.2.2 Funderingstechnieken voor diepe schachten	25
4 Inrichting werkterrein op maaiveld	31
5 Inrichting startschacht	35
6 Inrichting ontvangtschacht	40
7 Benodigde geometrie	42
7.1 Algemeen	42
7.2 Startschacht	43
7.3 Ontvangtschacht	47
8 Uitgevoerde schachten	48
8.1 2 ^e Heinenoordtunnel	48
8.2 Botlekspoortunnel	49
8.3 Westerscheldetunnel	51
9 Overgangsconstructie	55
9.1 Functies overgangsconstructie	55
9.2 Principeoplossingen overgangsconstructie	58
9.2.1 Dichtblok	59
9.2.2 Polder	63
9.2.3 Brede wand	65
9.3 Detaillering brilwand	67
9.3.1 Startschacht	67
9.3.2 Ontvangtschacht	70
10 Aandachtsgebieden bij uitvoering van schachten	73
10.1 Trekken damwand uit polder	73
10.2 Ontvangst in dichtblok	75
11 Horizontaal evenwicht startschacht	79
12 Start- en ontvangstprocedures	81
12.1 Passage van het dichtblok	81
12.1.1 Startprocedure	81
12.1.2 Ontvangstprocedure	83
12.2 Passage van de polder	91
12.2.1 Startprocedure	91
13 Conclusies en aanbevelingen	94
Literatuur	97
Bijlage 1 Aan- en afvoer per 24 uur door startschacht bij Botlekspoortunnel	98
Bijlage 2 Kostprijs alternatieven startschacht Botlekspoortunnel	100
Bijlage 3 Inrichting maaiveld en startschacht bij 2 ^e Heinenoord- en Botlekspoortunnel	106
Bijlage 4 Bepaling diepteligging start- en ontvangtschacht	110
4.1 Uitwendige diameter tunnelbuis	110
4.2 Dekking boven tunnelbuis	110
Bijlage 5 Bepaling breedte start- en ontvangtschacht	113

5.1 Afweging aantal tunnelbuizen: één grote tunnelbuis of meerdere kleine tunnelbuizen	113
5.2 Boogstralen	113
Bijlage 6 Bepaling lengte start- en ontvangtschacht	115
Bijlage 7 Uitwerking horizontaal evenwicht startschacht Botlekspoortunnel	116

Samenvatting

Sinds enkele jaren worden in Nederland grote diameter tunnels geboord, deze worden uitgevoerd als spoor- of verkeerstunnel. Omdat het boren van grote diameter tunnels in Nederland nog nieuw is wordt hiernaar veel onderzoek gedaan. Voor een deel gebeurt dit onderzoek door de aannemer die de tunnel bouwt. Een belangrijke reden hiervoor is dat alle boortunnels tot nu toe aanbesteed zijn middels een 'design & construct' contract. De aannemer heeft dus behoefte aan kennis van zowel het ontwerp- als het uitvoeringsproces. Een onderdeel van dit onderzoek heeft betrekking op de start- en ontvangtschacht. De startschacht is een belangrijk onderdeel voor het boorproces en maakt daarna deel uit van de aansluitende tunnel of inritconstructie. Alles wat tijdens de bouw in en uit de tunnel moet passeert de startschacht. Tevens wordt in de startschacht de tunnelboormachine (TBM) opgebouwd en bevat de startschacht een overgangsconstructie voor het veilig en zonder lekkage kunnen starten met het boorproces. In de ontvangtschacht wordt de TBM ontvangen wanneer deze uit de grond tevoorschijn komt.

Voor de voorbereiding van toekomstige projecten is het gewenst dat er een ontwerphandboek voor start- en ontvangtschachten is. Dit vormt het onderwerp van dit rapport. In het handboek zijn de eisen opgenomen waaraan een grote diameter boortunnel in West-Nederlandse omstandigheden, slappe bodem en hoge grondwaterstand, dient te voldoen. Er wordt daar waar nodig onderscheid gemaakt tussen twee verschillende boormethoden. Dit zijn de gronddrukbalansmethode (EPB) en de hydroschild-methode. Hiernaast zijn ook beschrijvingen van details van de brilring, de mantelring, het afzetframe, het schildzadel, het drukdeksel, de afdichtingsprofielen en alle daarbij horende procedures in de uitvoering opgenomen. Voorts zijn aspecten als de aanlegdiepte en de hiermee samenhangende locatie van schachten, het type overgangsconstructie en het horizontaal evenwicht onderzocht. Tenslotte is ook een beschrijving van veel voorkomende praktijkproblemen en de aanpak hiervan in dit rapport opgenomen.

Om enig begrip te krijgen van het bouwproces van een boortunnel is dit eerst beschreven. Vervolgens is een functieanalyse gemaakt van de start- en de ontvangtschacht. De belangrijkste variabele voor het ontwerp ervan is de aanlegdiepte, die samenhangt met de locatie in het tunnelalignement. Bij grotere aanlegdiepte wordt het geboorde tunneldeel korter en het aansluitende deel langer en dieper. Per saldo zou dat minder economisch zijn. Een voorwaarde is dat er bij het begin van de boortunnel voldoende gronddekking zal zijn op de kruin van de tunnel. Er zijn in principe drie varianten voor een start- en ontvangtschacht met betrekking tot de aanlegdiepte. Bij de eerste variant wordt de aanlegdiepte van de schacht zo gekozen dat er zonder ophogingen op het maaiveld aan te brengen voldoende gronddekking boven de tunnelbuis aanwezig is. Bij de tweede variant wordt de aanlegdiepte beperkt door wel een ophoging op het maaiveld aan te brengen. Bij de derde (theoretische) variant zou de benodigde tegendruk geleverd kunnen worden door het aanbrengen van een verankerde plaatconstructie op het maaiveld. Deze variant zou gecombineerd kunnen worden met zowel variant 1 als 2. Welke variant toegepast kan worden hangt af van de locatie waar de schacht moet komen. Voor de schachtlocatie zijn er twee mogelijkheden. De eerste is een vooraf vastgestelde plek, bijvoorbeeld door beperkingen in een stedelijk gebied. Indien dit niet zo is zou de ideale plaats langs het tracé bepaald kunnen worden. Uitgangspunt is dan dat de aanlegdiepte van de schacht wordt geminimaliseerd. Voorts wordt de locatie van de schacht meestal bepaald door de benodigde ruimte op het maaiveld. Behalve de aanlegdiepte worden ook de benodigde breedte en lengte van de schacht afgeleid.

De inrichting van de start- en ontvangtschacht en het werkterrein op het maaiveld is belangrijk voor het soepel laten verlopen van het boorproces. Op het maaiveld is de beschikbare ruimte vaak de bepalende factor voor de inrichting van het werkterrein. De onderdelen die in ieder geval direct naast de startschacht geplaatst dienen te worden zijn: de segmentenbewateringsloods (tevens opslag), buffer segmentenopslag, opslag van leidingen en rails, opstelplaats kraan voor (de)montage van de TBM en toevoerwegen. De groutinstallatie, bentonietinstallatie (aanmaak en eventueel scheiding), koelwatersysteem, compressoren en overige installaties kunnen op enkele tientallen meters afstand geplaatst worden. De inrichting van het werkterrein bij de ontvangtschacht is minder kritisch. Wel dient bij het ontwerp van zowel de start- als ontvangtschacht de montage en demontage van de TBM meegenomen te worden. Een belangrijk onderdeel hiervan is de opname van de grote belasting van de kraan die de TBM-onderdelen in de schacht moet plaatsen. Het is gunstig om de pompkelder in de schacht op te nemen, omdat hier tevens een verdieping nodig is voor het opstellen en ontvangen van de TBM.

Om te voorkomen dat er tijdens de start- of de ontvangst van de TBM grond- en/of water de schacht instroomt wordt een overgangconstructie toegepast. In dit rapport worden drie basisoplossingen voor een overgangconstructie beschreven. Dit zijn: de polder, het dichtblok en de brede wand. De polder kan alleen toegepast worden bij de start. Bovendien is de polder economisch alleen interessant indien er een van nature waterremmende laag in de ondergrond aanwezig is welke bovendien op de juiste diepte zit. Het dichtblok kan gevormd worden door een monoliet dichtblok (Lage Sterkte Mortel), een lamellenwand of een in de grond gevormd dichtblok (vriezen of jetgrouten). Het LSM dichtblok verdient in Nederland de voorkeur uit economisch oogpunt, maar tevens omdat hiermee een goede waterafdichting mogelijk is. Een in de grond gevormd dichtblok wordt alleen toegepast als er geen andere mogelijkheid is. Een mogelijke toepassing is het maken van een dichtblok op grote diepte. De brede wand is alleen toepasbaar indien niet in het grondwater gestart of ontvangen wordt.

Er wordt ingegaan op twee zaken die tot nu toe problemen opleverden bij de overgangconstructies, namelijk het verwijderen van damwand uit droge grond (bij toepassing van een polder) en het optreden van lekkage van het dichtblok na ontvangst.

Door de boordruk en door de bouwfaserings aan de inritzijde van de startschacht moet aan het langsevenwicht van de bouwkuip bijgedragen worden door de overdracht van langswrijving op de grond via de langswanden. Om die reden zijn bij de startschacht van de Botlekspoortunnel de combiwanden door monolithische voorzetwanden in het langsvlak verstijfd. Uit constructief oogpunt zijn deze monolithische voorzetwanden niet noodzakelijk. Wel dient de bouwkuip aan de bovenzijde voorzien te zijn van continue stijve gordingen en dient de bouwkuip aan de onderkant aan te sluiten op de onderwaterbetonvloer. Voorwaarde is wel dat de sloten de schuifkracht over kunnen brengen. Dit kan met lichte kettinglassen opgelost worden.

Inleiding

Sinds een aantal jaren worden er in Nederland grote diameter tunnels geboord, deze boortunnels worden uitgevoerd als spoor- of verkeerstunnel. Een grote diameter boortunnel kan worden toegepast als kruising van een rivier, maar ook onder bijvoorbeeld stedelijk gebied. Omdat het boren van grote diameter tunnels in Nederland nog vrij nieuw is, wordt er veel onderzoek gedaan tijdens het boren. Een deel van dit onderzoek heeft betrekking op de start- en ontvangtschacht. De startschacht is een belangrijk onderdeel van de boortunnel. Alles wat tijdens de bouw in en uit de tunnel moet, passeert de startschacht. Tevens wordt in de startschacht de tunnelboormachine (TBM) opgebouwd en bevat de startschacht een overgangsconstructie voor het veilig en zonder lekkage doorbreken van de brilwand en voor het zich afzetten van de TBM. Ook de ontvangtschacht is belangrijk omdat deze de TBM veilig moet ontvangen wanneer deze als een "mol" uit de grond tevoorschijn komt. Een start- en ontvangtschacht zijn nodig omdat op diepte moet worden begonnen met het boorproces met voldoende gronddekking boven het boorschild van de TBM.

Voor de voorbereiding van toekomstige projecten is het gewenst dat er een ontwerphandboek voor start- en ontvangtschachten is. Dit vormt de basis voor dit rapport. In dit ontwerphandboek dienen de eisen opgenomen te zijn waaraan een grote diameter boortunnel dient te voldoen. Uitgangspunt is wel dat het een algemeen handboek wordt dat voor meerdere soorten boortunnels in West-Nederlandse omstandigheden is te gebruiken. Dit wil zeggen dat de boortunnel aangelegd wordt in een slappe bodem met een hoge grondwaterstand. Om deze reden zal daar waar nodig is ook onderscheid worden gemaakt tussen de gronddrukbalansschild-methode (EPB) en de hydroschildmethode. Zo is bij toepassing van de hydroschild-methode een scheidingsinstallatie nodig voor het scheiden van de bentoniet uit de slurry. Deze is bij de EPB-methode niet nodig omdat hierbij geen bentoniet gebruikt wordt. Een ander verschil is het eigen gewicht van het boorschild en de vijzelkrachten. Deze zijn beide groter bij een EPB-schild.

Uitgangspunt is dat de boortunnel bestaat uit één of twee tunnelbuizen. Welk type schacht toegepast wordt verschilt per project. Er zijn verschillende type schachten mogelijk voor een boortunnel.

Indien de tunnel uit een enkele tunnelbuis bestaat wordt een startschacht en een ontvangtschacht gebouwd die alleen een start- of een ontvangtsfunctie hebben (Groene Hart tunnel). Wanneer de tunnel echter uit twee tunnelbuizen bestaat heeft men twee mogelijkheden. Mogelijkheid één is het toepassen van een start- en ontvangtschacht, evenals bij de boortunnel met een enkele tunnelbuis. Er kan met één of met twee TBM's geboord worden. Dit zal afhangen van de afstand waarover geboord moet worden (Westerscheldetunnel, 2 TBM's en Botlekspoortunnel/Sophiaspoortunnel, 1 TBM). Een tweede mogelijkheid is dat er een gecombineerde schacht wordt toegepast. Hierbij wordt de TBM na het boren van de eerste tunnelbuis in de "ontvangtschacht" omgedraaid en wordt weer teruggeboord naar het beginpunt. De schacht dient in dit geval dus zowel als start- en ontvangtschacht (Tweede Heinenoordtunnel).

Er is gekozen om het ontwerphandboek toe te spitsen op een aparte startschacht en een aparte ontvangtschacht. Op de gecombineerde schacht, zoals die bij de tweede Heinenoordtunnel is toegepast, wordt niet dieper ingegaan in dit rapport omdat dit in de praktijk altijd tot een duurdere oplossing leidt. Nadelen van een gecombineerde schacht ten opzicht van een aparte start- en ontvangtschacht zijn:

- kabels en leidingen door eerste geboorde buis verhinderen dat met de afbouw van deze buis kan worden begonnen;
- dubbel aantal aan- en afvoerleidingen/kabels benodigd;
- afvoer slurry over dubbele afstand dus dure boosterpompen nodig;
- een aantal onderdelen, zoals portaalkraan en segmentenbewerkingsloods, op maaiveld moeten verplaatst worden van de ene naar de andere schacht;
- leidingenstraat in tunnelbuis kan uitvoering van eventuele dwarsverbindingen hinderen;
- indien één van de schachten in stedelijk gebied is geplaatst veroorzaakt bouwverkeer veel overlast. Door hier dus alleen een ontvangtschacht te plaatsen wordt een heleboel bouwverkeer daar voorkomen (Sophiaspoortunnel);

Het voordeel van een gecombineerde schacht dat de TBM in de schacht omgedraaid kan worden wegen niet op tegen de hier boven genoemde nadelen.

Dit handboek is dus bedoeld voor grote diameter boortunnels waarbij de buis opgebouwd wordt uit segmentringen (doorsnede groter dan 5 meter) voor Nederlandse omstandigheden. Bovendien is er bij het maken van dit handboek vanuit gegaan dat er twee buizen op een schacht aansluiten. Indien slechts één buis op de schacht aansluit is dit handboek uiteraard ook van toepassing. Een aantal aspecten voor twee buizen is dan niet van toepassing. Ook wordt aparte aandacht besteed aan situaties waar slechts een beperkte ruimte beschikbaar is voor het aanleggen van schachten. Omdat de beide schachten onderdeel uitmaken van een totaal bouwproces wordt in hoofdstuk 1 kort ingegaan op het bouwproces van boortunnels. Vervolgens worden de functies waaraan een start- en een ontvangtschacht moeten voldoen omschreven in hoofdstuk 2. Hierna volgt een beschrijving van de meest toegepaste bouwmethoden voor schachten in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 tot en met 6 wordt de inrichting van het werkterrein op maaiveld en de inrichting van de start- en ontvangtschacht beschreven aan de hand van de onderdelen die hier geplaatst worden. In hoofdstuk 7 worden de parameters die de afmetingen van de schachten en de onderdelen in de schachten bepalen genoemd. Vervolgens worden in hoofdstuk 8 een aantal reeds in Nederland uitgevoerde schachten beschreven. In hoofdstuk 9 worden de verschillende types overgangsconstructies nader belicht. Hier wordt ook een gedetailleerde beschrijving van de brilwand gegeven. Hoofdstuk 10 bevat een tweetal aspecten die bij reeds uitgevoerde schachten problemen opleverden. Het horizontale evenwicht van de startschacht van de Botlekspoortunnel wordt in hoofdstuk 11 beschreven. In hoofdstuk 12 worden de verschillende procedures voor het start- en ontvangstproces in zowel een polder als een dichtblok beschreven. Tenslotte volgen in hoofdstuk 13 de conclusies en aanbevelingen voor het ontwerp en de uitvoering van toekomstige schachten.

1 Bouwproces boortunnel

1.1 Boorproces

Het bouwen van een boortunnel begint met de bouw van de startschacht. Deze startschacht is een normale bouwput met extra voorzieningen voor het opstellen en starten van de tunnelboormachine (TBM). Voor de bouw van een start- of ontvangtschacht zijn een aantal principes toepasbaar die afhankelijk van de beschikbare ruimte wel of niet toegepast kunnen worden (zie hoofdstuk 2 Functies start- en ontvangtschacht). De belangrijkste eis die aan een schacht wordt gesteld is dat de grond genoeg tegendruk kan mobiliseren voor de TBM tijdens de start van het boorproces en dat de tunnelbuis niet gaat opdrijven nadat deze uit het boorschild in het omringende grondwater terechtkomt.

De TBM bestaat uit het boorschild en de volgwagens. Het boorschild boort de tunnel en verzorgt de waterkering. Binnen het boorschild wordt ook de tunnelling opgebouwd waartegen de TBM zich afzet. Op de volgwagens staat al het materieel opgesteld dat nodig is voor ondersteuning van het boorproces in het boorschild. Het opstellen van het boorschild gebeurt op het schildzadel op de bodem van de startschacht. De volgwagens worden daarachter opgesteld op een geleideconstructie. De TBM zet zich tijdens de startprocedure af tegen het afzetframe (zie hoofdstuk 5 Inrichting startschacht). Tussen het afzetframe en de brilwand worden blindringen gebouwd die weggehaald worden als de wrijving tussen de reeds aangelegde tunnelbuis en de omliggende grond groot genoeg is om de krachten van de TBM op te kunnen nemen. Bij het starten gaat de TBM door een overgangsconstructie. De hoofdfunctie van de overgangsconstructie is om grond en water te keren. De overgangsconstructie moet ervoor zorgen dat tijdens de start van het boorproces er geen grondwater de startschacht in kan stromen. Er zijn drie principiële verschillende overgangsconstructies mogelijk, een dichtblok, een polder of een brede wand (zie hoofdstuk 9 Overgangsconstructie).

Het tunnelboorproces is te splitsen in twee delen, het boren en het bouwen van tunnelringen die uit segmenten bestaan. In Nederland, met een hoog grondwaterpeil en slappe bodem, wordt altijd met een gesloten boorkop geboord. De twee type schilden die hier gebruikt worden zijn het hydro-schild en het Earth Pressure Balance-schild (EPB-schild). Deze worden beschreven in de volgende paragraaf.

Tijdens het boren wordt grond afgeschraapt en geschikt gemaakt om het af te voeren. In Nederland wordt bij de projecten die tot nog toe uitgevoerd zijn de grond door leidingen afgevoerd, hiervoor dient het voldoende vloeibaar te zijn. Andere mogelijkheden voor grondafvoer zijn transportbanden of treinen. Nadeel van deze methoden is dat er grond in de tunnelbuis terechtkomt en dat ze meer ruimte in beslag nemen. Bovendien neemt bij grondafvoer met treinen het treinverkeer in de tunnel fors toe en wordt de kans op incidenten groter. Dit betekent een extra risico in de logistiek van het voortgangsproces van de TBM. Indien er geboord wordt met een hydro-schild dient de slurry, afgegraven grond vermengd met bentoniet, gescheiden te worden. Hiervoor is een scheidingsinstallatie nodig. Bij gebruik van het EPB-schild kan de afgegraven grond zonder tussenbewerking afgevoerd worden.

Tijdens het boren schuiven de vijzels uit om de voortgang van de TBM te verzorgen. De vijzels zetten zich af tegen de reeds geplaatste tunnelbuis. Wanneer de lengte van één segmentring geboord is stopt het boren en wordt er binnen de schildmantel een segmentring geplaatst¹. Een segmentring wordt opgebouwd uit een aantal segmenten en een sluitsteen. De lengte van de segmentringen kan variëren tussen 1,20 en 2,00 meter. De segmenten worden met een trein de tunnel ingereden. De treinen worden met een portaalkraan geladen, dit kan op het maaiveld of in de startschacht zijn. Tussen de tunnelbuis en de omringende grond blijft loze ruimte achter, de "staartspleet", die opgevuld moet worden om verstoring van het grondlichaam te voorkomen, zettingen te beperken en een goede aansluiting van de tunnelbuis met de omringende grond te verkrijgen.

¹ Er kan ook continu geboord worden, de segmenten worden dan tijdens het boren geplaatst. Deze methode wordt in Nederland voor het eerst toegepast bij de Sophiaspoortunnel. De vijzels zijn hier twee maal zo lang als bij de TBM van de Tweede Heinenoordtunnel en de Botlekspoortunnel. Bovendien zijn ze dubbel uitgevoerd en is het boorschild langer, er bevinden zich twee segmentringen in het boorschild.

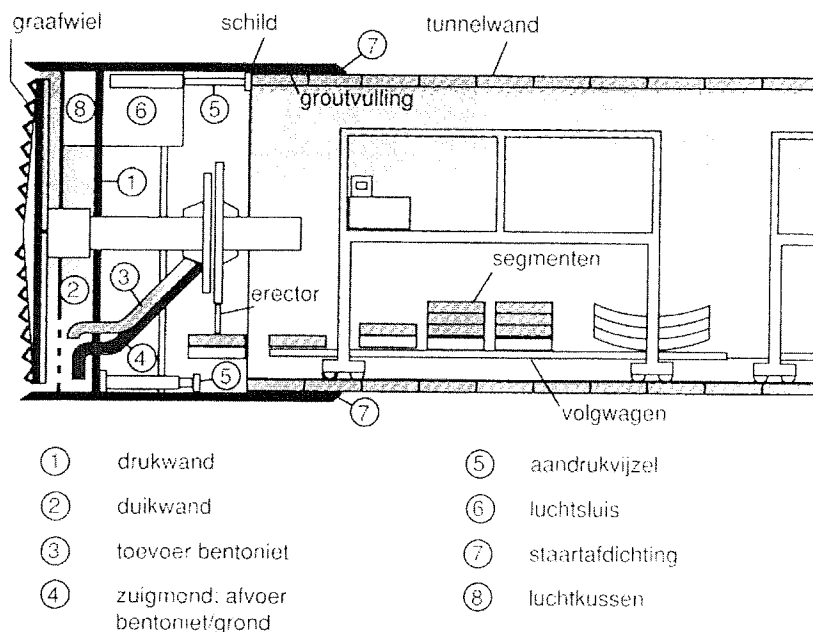
1.2 Tunnelboormachine

In Nederland worden 2 type TBM's gebruikt die allebei een gesloten front hebben. Dit zijn het hydro-schild en het EPB-schild. Deze twee TBM's worden in deze paragraaf beschreven.

1.2.1 Hydroschild

Het hydro-schild is ontwikkeld door de Duitse aannemer Wayss & Freytag en voor het eerst toegepast in 1974. Een hydro-schild is een speciaal type vloeistofschild. Het boorfront wordt in stand gehouden door de steunvloeistof in de werkkamer. De drukwand aan de achterkant van de werkkamer zorgt ervoor dat er in de rest van de TBM onder atmosferische druk gewerkt kan worden. De steundruk wordt geregeld door luchtdruk in het luchtkussen. Dit luchtkussen bevindt zich tussen de drukwand en de duikwand welke in de werkkamer is geplaatst. Het grote voordeel van toepassing van het luchtkussen is dat bij een plotseling verlies van steunvloeistof de steundruk op peil gehouden kan worden en dat er bij verschillende drukken een zelfde hoeveelheid steunvloeistof toegevoerd kan worden.

De steunvloeistof is bentoniet, dit vormt een pleisterlaag over het boorfront. De pleisterlaag zorgt dat bij het onder luchtdruk zetten van de werkkamer er geen water de werkkamer binnen kan dringen. Bovendien draagt het bij aan de stabiliteit van het front. Het graafwiel bestaat uit drie tot zeven spaken waaraan beitels bevestigd zijn. Deze beitels schrapen de grond laag voor laag af. Doordat de omwentelingssnelheid klein is wordt weer een nieuwe pleisterlaag gevormd. De gronddeeltjes die afgeschrapt zijn zakken in de bentonietoplossing naar beneden en worden hier afgevoerd. Geregenereerde bentoniet wordt op een hoger niveau weer toegevoerd in de werkkamer. Voor het noodgeval dat reparaties uitgevoerd moeten worden vóór de drukwand wordt de steunvloeistof door luchtdruk vervangen. De toegang vindt plaats via een personensluis (=luchtsluis).



Hydro-schild

Het boorschild bestaat verder uit de volgende onderdelen:

- | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schildmantel | : cilinder van dikke staalplaat die water- en grondkerende functie heeft; |
| Graafwiel | : zorgt voor het losschrapen van de grond; |
| Drukwand | : heeft een waterkerende functie aan de voorkant van de schildmantel, scheiding steundruk werkkamer en atmosferische druk in TBM; |
| Duikwand | : wand in werkkamer tussen druwand en graafwiel. Deze wand sluit de cilinder geheel af met uitzondering van een gat aan de onderzijde. In de bovenruimte tussen duikwand en druwand bevindt zich het luchtkussen; |
| Aandrijfunit | : zorgt voor aandrijving van het graafwiel; |
| Vijzels | : verzorgen voortgang TBM. Hiermee worden ook de bochten gemaakt |

	door de TBM;
Erector	: plaatst segmenten op de goede plek in de tunnelling;
Mortelinjectiesysteem	: vult lege ruimte tussen tunnelbuis en omringende grond op;
Staartafdichting	: zorgt voor aansluiting van de waterkering van het boorschild op de aangelegde tunnelbuis;
Luchtsluis	: hierdoor is de werkkamer tijdens een absenkung (=wanneer werkkamer onder luchtdruk staat) voor duikers toegankelijk.

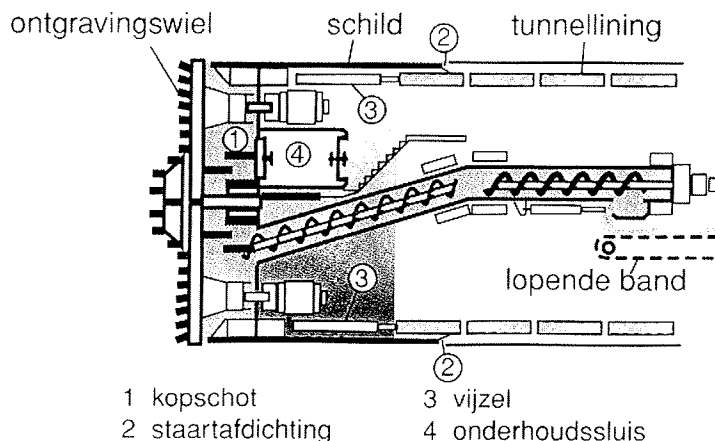
Op de volgwagens bevinden zich de volgende hoofdonderdelen:

Segmentkraan	: verplaatst segmenten vanaf trein naar de erector;
Hydraulische unit	: zorgt voor aansturing hydraulisch gedeelte TBM;
Mortelpomp	: zorgt voor het verpompen van de mortel van de mortelcontainer naar het mortelinjectiesysteem;
Mortelcontainer	: opslag voor de mortel die in de staartspleet geïnjecteerd wordt;
Bedieningsruimte	: van hieruit wordt het boorproces gecontroleerd en gestuurd;
Elektriciteitsvoorzieningen	: hier wordt stroom geschikt gemaakt voor gebruik in de TBM;
Afvoerpompen	: pompen voor afvoeren slurry uit de werkkamer;
Opslagplaats segmenten	: opslagplaats voor maximaal 1 ring;
Leidingverlengingssysteem	: materieel voor verlengen leidingensysteem;
Compressor	: zorgt voor toevoeging van lucht aan het luchtkussen;
Noodstroomvoorziening	: zorgt voor stroom indien stroomvoorziening van buitenaf uitvalt, hiermee kan niet geboord worden;
Kabelhaspel	: zorgt tijdens boren voor het verlengen van de kabel.

1.2.2 Earth Pressure Balance-schild

Het EPB-schild is ontwikkeld in Japan in de jaren zeventig en werd in 1974 voor het eerst toegepast. Het boorfront wordt in stand gehouden door afgegraven grond in de werkkamer. De drukwand aan de achterkant van de werkkamer zorgt ervoor dat er in de rest van de TBM onder atmosferische druk gewerkt kan worden. De steundruk wordt geregeld door de omwentelingssnelheid van de avegaar en de voortgangssnelheid van de TBM. In de werkkamer wordt de afgegraven grond geconditioneerd totdat deze plastisch genoeg is om door de avegaar getransporteerd te worden. Om dit te bereiken wordt vaak een schuimvormend additief toegevoegd. Het schuimvormend additief heeft naast het plastisch maken van de grond de volgende voordelen: reduceert het draaimoment, maakt grond waterondoorlatend, vermindert slijtage en voorkomt verkleving van de grond.

Het verrichten van werkzaamheden in de werkkamer onder luchtdruk is lastiger dan bij de hydro-schild methode. Voordat de werkkamer onder luchtdruk gezet wordt moet deze eerst gevuld worden met bentoniet om het boorfront af te pleisteren, dit is een lastige procedure. Het graafwiel is voor het grootste gedeelte gesloten en de grond wordt bij deze methode met beitels laag voor laag afgeschraapt.



EPB-schild

Het boorschild bestaat uit de volgende onderdelen:

Schildmantel	: cilinder van dikke staalplaat die water- en grondkerende functie heeft;
Graafwiel	: zorgt voor het afschrapen en het conditioneren van de grond door dit te mengen tot een homogene plastische massa;
Druk wand	: heeft een waterkerende functie aan de voorkant van de schildmantel, scheiding steundruk werkkamer en atmosferische druk in TBM;
Aandrijfunit	: zorgt voor aandrijving van het graafwiel;
Vijzels	: verzorgen voortgang TBM. Hiermee worden ook de bochten gemaakt door de TBM;
Erector	: plaatst segmenten op de goede plek in de tunnelling;
Mortelinjectiesysteem	: vult lege ruimte tussen tunnelbuis en omringende grond op;
Staartafdichting	: zorgt voor aansluiting van de waterkering van het boorschild op de aangelegde tunnelbuis;
Schroeftransporteur	: zorgt voor het afvoeren van de afgegraven grond uit de werkkamer en voor het afbouwen van de gronddruk (reductie van boordruk tot atmosferische druk). De schroeftransporteur bevindt zich in een buis, die aansluit op de drukwand. De plastische grond tussen schroef en buis zorgt daardoor voor de afdichting tussen werkkamer en TBM;
Luchtsluis	: hierdoor is de werkkamer tijdens een absenkung (=wanneer werkkamer onder luchtdruk staat) voor duikers toegankelijk.

Op de volgwagens bevinden zich de volgende hoofdonderdelen:

Schuiminjectiesysteem	: injecteert schuim in de werkkamer om de grond te conditioneren;
Segmentkraan	: verplaatst segmenten vanaf trein naar de erector;
Transportband	: verzorgt afvoer grond van avegaar naar de slurry-box;
Hydraulische unit	: zorgt voor aansturing hydraulisch gedeelte TBM;
Mortelpomp	: zorgt voor het verpompen van de mortel van de mortelcontainer naar het mortelinjectiesysteem;
Mortelcontainer	: opslag voor de mortel die in de staartspleet geïnjecteerd wordt;
Bedieningsruimte	: van hieruit wordt het boorproces gecontroleerd en gestuurd;
Elektriciteitsvoorzieningen	: hier wordt stroom geschikt gemaakt voor gebruik in de TBM;
Afvoerpompen	: pompen voor afvoeren slurry uit de slurrybox;
Hefstation segmenten	: verplaatst segmenten van trein naar segmentkraan;
Opslagplaats segmenten	: opslagplaats voor maximaal 1 ring;
Slurry-box	: hier wordt water toegevoegd aan de afgegraven grond om de grond geschikt te maken voor het verpompen;
Leidingverlengingssysteem	: materieel voor verlengen leidingensysteem;
Compressor	: zorgt voor toevoeging van lucht aan het te injecteren schuim;
Noodstroomvoorziening	: zorgt voor stroom indien stroomvoorziening van buitenaf; uitvalt, hiermee kan niet geboord worden;
Kabelhaspel	: zorgt tijdens boren voor het verlengen van de kabel.

2 Functies start- en ontvangtschacht

2.1 Algemeen

Zoals reeds aangegeven in de inleiding van dit handboek vormen de start- en ontvangtschacht een belangrijk onderdeel van het bouwproces van een boortunnel. Om goed de eisen vast te kunnen stellen waaraan een start- of ontvangtschacht moet voldoen is het nodig dat de functies die de schacht dient te vervullen bekend zijn. Hiervan worden immers de eisen afgeleid. Veelal zullen de functies die de schacht tijdens de bouwfase moet vervullen de afmetingen van de schacht bepalen. Ook de functies die de schacht in de gebruiksfase dient te vervullen moeten meegenomen worden in het ontwerp van de schacht. Het gebruik van het woord "schacht" houdt niet in dat het vloerniveau van de schacht per definitie onder het maaiveld ligt, zie 2.5 Keuze van de aanlegdiepte van de Start- en ontvangtschacht. De overgangsconstructie wordt gezien als een onderdeel van de start- of ontvangtschacht. De functieanalyse is gemaakt voor grote diameter boortunnels in West-Nederlandse omstandigheden. Dus een slappe bodem gecombineerd met een hoge grondwaterstand. De TBM zet zich tijdens de start af met behulp van vijzels om in de achterliggende grond te kunnen penetreren. De vijzelkrachten worden door de tunnelling afgedragen aan een afzetconstructie in de startschacht. Voor het waarborgen van de waterdichtheid wordt een overgangsconstructie toegepast. Mogelijke overgangsconstructies bij de start zijn een dichtblok, een polder en een brede wand. Zie hoofdstuk 9 Overgangsconstructie. Voor de ontvangst is eveneens een overgangsconstructie nodig een polder is hier echter niet mogelijk. Gedetailleerde start- en ontvangstprocedures worden beschreven in hoofdstuk 12.

2.2 Startschacht

De startschacht heeft meer functies dan de ontvangtschacht. Dit komt omdat vrijwel al het transport voor zowel de ruwbouw als de afbouw door de startschacht gaat. Er wordt uitgegaan van een zevental hoofdfuncties die hierna beschreven worden.

1) Steunfunctie TBM

De startschacht en de omringende grond dienen de door de TBM veroorzaakte krachten te kunnen opnemen.

Dit zijn:

- *Eigen gewicht TBM*

Dit gewicht dient door de vloer van de startschacht opgenomen te kunnen worden.

- *Afzetkracht TBM*

De startschacht dient de afzetkracht die de TBM uitoefent tijdens de startfase te kunnen opnemen. Dit is de frontdruk en de wrijving langs de schildmantel. Deze krachten worden via de tunnelling afgedragen aan de startschacht.

2) Stabilisatiefunctie tunnelbuis

De tunnelbuis dient stabiel te zijn, zowel in de omringende grond als in de startschacht (de blindringen). Dit houdt in dat de tunnelbuis niet mag opdrijven en dat de zettingen in de ondergrond na aanbrengen van de tunnelbuis voldoende klein moeten zijn. De blindringen worden gestabiliseerd door ondersteuning van de geleidingsconstructie. Bij het verlaten van de startschacht moet de tunnelbuis dus voldoende tegendruk hebben. Dit is bepalend voor de diepte van de startschacht.

3) Grondkerende functie

De startschacht dient gronddrukken te kunnen opnemen tijdens de bouwfase. Indien de startschacht deel uitmaakt van de permanente tunnelconstructie geldt dit ook voor de gebruiksfase.

4) Waterkerende functie

De startschacht dient waterdrukken te kunnen keren tijdens de bouwfase en soms ook in de gebruiksfase, zowel verticaal tegen de vloer als horizontaal tegen de wanden. Een bijzondere situatie is de kering op de plaats waar de brilwand eerst door de TBM en later door de tunnelbuis gepenetreerd wordt.

5) Opstelfunctie van de TBM

De opstelfunctie bestaat uit het assembleren van de TBM in de startschacht. Hiervoor is het nodig dat op het maaiveld opstelpunten zijn om de zware onderdelen van de TBM in de startschacht te hijsen.

- Toegang tot startschacht moet voldoende groot zijn voor het plaatsen van het grootste onderdeel van de TBM;
- De startschacht moet voldoende werkruimte bieden rondom de TBM voor de montage.

6) Geleiden TBM

In de startschacht dient de TBM tijdens de start van het boorproces goed te worden geleid. Door de TBM op een geleideconstructie te plaatsen kan de TBM in de goede richting voortbewegen. Voor het geleiden kan een schildzadel gebruikt worden welke stelmogelijkheden moet bevatten. Dit afstellen dient te gebeuren voordat de TBM op het schildzadel is geplaatst.

7) Doorvoerfunctie van de TBM

Middels een overgangsconstructie dient het mogelijk te zijn dat de TBM zich vanuit de startschacht de grond in boort zonder dat er grond of water de startschacht in kan stromen en zonder dat de TBM in de grond wegzakt. De overgangsconstructie dient dus naast grond- en waterdicht ook voldoende sterk en doorbaar te zijn.

8) Logistieke functie

De functie heeft betrekking op de aanvoer van alle goederen die vanaf maaiveld door de startschacht naar de TBM of elders in de tunnel moet plaatsvinden. Voor het overzicht zijn de goederen die aan- en afgevoerd worden gesplitst in materiaal, materieel, mensen, hulpstoffen en overig. In bijlage 1 'Aan- en afvoer per 24 uur door startschacht bij Botlekspoortunnel' wordt een kwantitatief voorbeeld gegeven van alle aan- en afvoer.

*Aanvoer:**Materiaal:*

- * tunnelsegmenten;
- * grout;
- * ballast materiaal;
- * materiaal voor afbouw van boortunnel;
- * materiaal voor dwarsverbindingen tussen de eerste en de tweede tunnelbuis.

Materieel:

- * assemblage TBM en volgwagens;
- * locomotief;
- * transportwagens;
- * machines voor afbouw: mobiele graafmachine, shovel, slijpformpaver e.d.
- * rails;
- * leidingen;
- * kabels;
- * materieel voor afbouw;
- * materieel voor eventuele dwarsverbindingen.

Personen:

- * personeel;
- * hulpverleners in geval van calamiteiten;
- * bezoekers.

Hulpstoffen:

- * lucht voor ventilatie (lage druk);
- * lucht voor steundruk TBM in het geval er met een hydroschild geboord wordt (hoge druk);
- * lucht voor werken onder luchtdruk in de werkkamer en voor de personensluis (hoge luchtdruk);
- * lucht voor luchtgereedschap (hoge luchtdruk);
- * steunvloeistof (water met bentoniet, tevens transportmedium);
- * koelvloeistof voor TBM (water, gesloten systeem);
- * water voor afvoer van de grond (bij hydro-schild methode noodzakelijk voor aanmaken bentoniet, bij EPB als optie in plaats van droge afvoer);
- * additieven (slurry, schuim, mud, slime etc. bij EPB-methode).

Overig:

- * communicatie (via kabels en draadloos);
- * elektriciteit.

Ditzelfde geldt evenzo voor de afvoerfunctie, maar dan vanaf de TBM via het reeds geboorde deel van de tunnelbuis naar het maaiveld. Vanuit de tunnel naar het maaiveld worden de volgende zaken vervoerd:

Afvoer:

Materiaal:

- * grond (middels transportmedium);*
- * niet bruikbare materialen.*

Materieel:

- * TBM;*
- * locomotief;*
- * wagons;*
- * rails;*
- * leidingen;*
- * kabels;*
- * materieel voor afbouw;*
- * materieel voor dwarsverbindingen.*

Personen:

- * personeel;*
- * hulpverleners in geval van calamiteiten;*
- * bezoekers.*

Hulpstoffen:

- * koelvloeistof voor TBM (water, gesloten systeem);*
- * transportmedium voor afgegraven grond (water bij EPB-methode en water met bentoniet bij hydroschild);*

Overig:

- * communicatie (via kabels en draadloos);*
- * meetgegevens;*
- * regenwater en eventueel lekwater van hydraulisch transport en andere lekkages;*
- * afvalwater.*

Voor elk onderdeel dat getransporteerd wordt is het belangrijk te weten hoe het getransporteerd zal worden. De manier van vervoer heeft grote invloed op het gehele logistieke proces dat door de startschacht en de tunnel plaatsvindt. Het transport van bovengenoemde zaken kan plaatsvinden over rails, door kabels en door leidingen. De kabels en leidingen worden bevestigd aan de binnenwand van de tunnelbuis. Personen kunnen de TBM lopend bereiken. Hiervoor moet dan ruimte gereserveerd worden (bijvoorbeeld loopsteiger aan tunnelwand). Ook kunnen personen per trein naar de TBM worden gebracht. Dit is vooral effectief bij langere tunnels (>1000 meter).

2.3 Ontvangtschacht

De ontvangtschacht heeft een aantal functionele overeenkomsten met de startschacht. Omdat echter de meeste aan- en afvoer voor zowel de ruwbouw als de afbouw van een boortunnel plaatsvindt via de startschacht is het transport dat plaatsvindt door de ontvangtschacht veel minder.

1) Steunfunctie TBM

De ontvangtschacht en de omringende grond dienen de door de TBM veroorzaakte krachten te kunnen opnemen. Bij de ontvangst is dit het eigen gewicht van de TBM, de normaalkracht uit de tunnelbuis en de steundruk van de TBM.

2) Stabilisatiefunctie aansluitende tunnelbuis

Zie startschacht.

3) Grondkerende functie

Zie startschacht.

4) Waterkerende functie

Zie startschacht.

- 5) Ontvangst- en demontagefunctie van de TBM
De ontvangstfunctie bestaat uit het ontvangen van de TBM in de ontvangtschacht. Wanneer de TBM in de ontvangtschacht aankomt moet er een constructie aanwezig zijn waar de TBM overheen geleid kan worden. Deze functie bepaalt de minimale lengte van de ontvangtschacht. Voor demontage van de TBM dient er naast het directe ruimtebeslag voor de TBM ook ruimte te zijn voor het demonteren van de TBM. De toegang vanaf het maaiveld naar de ontvangtschacht dient voldoende groot te zijn. Maatgevend voor de grootte van de toegang is het grootste onderdeel. Op het maaiveld moeten maatregelen genomen worden die het mogelijk maken de onderdelen van de TBM vanuit de ontvangtschacht naar het maaiveld te verplaatsen. Er dient onder andere een opstelpunt voor een kraan aanwezig te zijn tijdens demontage van de TBM.
- 6) Geleiden TBM
Zie startschacht.
- 7) Doorvoerfunctie van de TBM
Zie startschacht.
- 8) Logistieke functie
De ontvangtschacht heeft in eerste instantie geen logistieke functie voor de bouw van de tunnelbuis. Indien er wel zaken zijn die via de ontvangtschacht aan- of afgevoerd zullen worden dan moet dit in het ontwerp meegenomen worden. Het zal dan materiaal en materieel voor de afbouw betreffen. Veelal zal de ontvangtschacht echter niet zo intensief gebruikt worden omdat er pas toegang naar de tunnel ontstaat via de ontvangtschacht nadat de TBM hier is ontvangen.

2.4 Werkerterrein op maaiveld

Op het maaiveld rondom de schachten dient ook voldoende ruimte aanwezig te zijn. Deze ruimte heeft een aantal functies. Niet alle functies moeten direct naast de schacht ondergebracht worden, maar wel in de omgeving hiervan. De logistieke en bewerkingsfunctie zijn primaire functies, de opslagfunctie en eventueel de productiefunctie zijn secundair.

- 1) Logistieke functie
Deze functie houdt in dat aan- en afvoer (zie voor lijst aan- en afvoer 2.2 startschacht) mogelijk dient te zijn. Hiervoor dienen overslagvoorzieningen (kranen, laad- en losplaatsen) beschikbaar te zijn. Al het aangevoerde materieel en materiaal bij voorkeur direct vanaf transportmiddel in de schacht hijsen, ook de grote en zware TBM-onderdelen. Veelal zal echter eerst op het maaiveld bewerking en tussenopslag plaatsvinden voordat de aangevoerde goederen in de schacht nodig zijn. Aan- en afvoer naar of vanuit de schacht kan gebeuren door de toerit of vanaf het maaiveld naast de schacht. Er zijn verschillende soorten kranen mogelijk.

- *kranen (vast en/of mobiel)*
 - * *portaalkraan;*
 - * *torenkraan;*
 - * *mobiele kraan.*

- 2) Bewerkingsfunctie
Een deelfunctie hiervan is het verwerken van de grond. Indien met een slurry-schild wordt geboord is er plaats nodig voor het genereren en regenereren van bentonietoplossing alsmede de buffervoorraad. Voorts dient er plaats gereserveerd te worden voor een installatie die de slurry scheidt in bentoniet en afgegraven grond. Een andere deelfunctie is het bewerken van de aangevoerde elementen die tijdelijke opgeslagen worden naast de schacht voordat deze geplaatst worden in de tunnel. Ook dient er een werkplek (open terrein en loodsen) te zijn voor opslag van klein materieel en materiaal en voor het doen van kleine reparaties en andere werkzaamheden. De verschillende installaties die hiervoor bij voorkeur op maaiveld geplaatst worden zijn:

- *scheidingsinstallaties*
 - * *bentonietscheidingsinstallatie;*
 - * *grond-waterscheidingsinstallatie.*

- *menginstallaties*
 - * *mortelmenginstallatie;*
 - * *bentonietmenginstallatie;*

* menginstallatie conditioneringsmiddelen.

- overige installaties
 - * koelwaterinstallatie;
 - * compressor voor hoge luchtdruk;
 - * stroom- en/of noodstroomvoorziening.
- segmentenbewerking
 - * segmentenbewerkingsloods.
- werkplaats/loods

3) Opslagfunctie

Materiaal en materieel dat niet direct wordt gebruikt maar al wel is aangevoerd voor het verzekeren van de voortgang van de TBM dient tijdelijk opgeslagen te worden. Wanneer dit in verband met ruimtegebrek moeilijk is zal een aantal zaken ook just-in-time afgeleverd kunnen worden. De uitkomende grond zal indien mogelijk ook opgeslagen worden en vervolgens vanuit de opslag worden afgevoerd. Grondopslag kan ook op afstand gebeuren bij verpompen door leidingen. Onderdelen die op maaiveld opgeslagen kunnen worden zijn:

- segmenten
- grondstoffen
 - * bentoniet (droge stof);
 - * 'verse' bentoniet;
 - * vulstoffen mortel;
 - * conditioneringsmiddelen.
- leidingen en rails
- vet- en smeermiddelen
- afgegraven grond of slurry
- overig materiaal of materieel

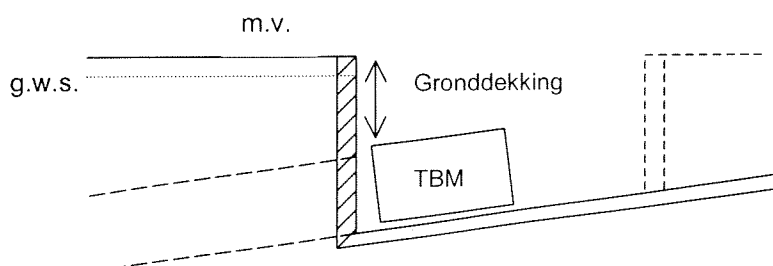
4) Productiefunctie

Indien er op het maaiveld rondom de startschacht voldoende ruimte aanwezig is kan besloten worden om de segmenten op het bouwterrein zelf te produceren. De lengte van de boortunnel en de transportkosten van de segmenten zijn aspecten die invloed hebben op deze beslissing. Bij de Westerscheldetunnel wordt dit gedaan, ruimte is hier geen probleem en het betreft hier een lange boortunnel.

2.5 Keuze aanlegdiepte van de start- en ontvangtschacht

In deze paragraaf worden een drietal principeoplossingen beschreven voor de aanlegdiepte van een start- en ontvangtschacht en dus voor de locatie ervan in het tunnelalignment. Dit is direct van invloed op de lengte van het te boren deel van de tunnel en de toeritlengte van de tunnel. Het verschil tussen de verschillende principeoplossingen is de manier waarop de korreldruk voor het schild verkregen wordt.

1) Variant 1



De minimaal benodigde korreldruk voor de start van het boorproces wordt hier verkregen door de bovenliggende grond. Deze variant is relatief duur. Dit komt door de diepe schacht die per

streckende meter veel duurder is dan een meter boortunnel. Een diepere schacht is dus minder economisch. Omdat de beschikbare ruimte bij boortunnelprojecten meestal klein is, wordt deze oplossing tot op heden in de praktijk toch het meeste toegepast. Een bijkomend voordeel is dat de zettingen bij deze methode het beste zijn te beheersen, er treden alleen zettingen als gevolg van het boorproces op. De start en ontvangtsprocedures vinden plaats onder het grondwaterpeil.

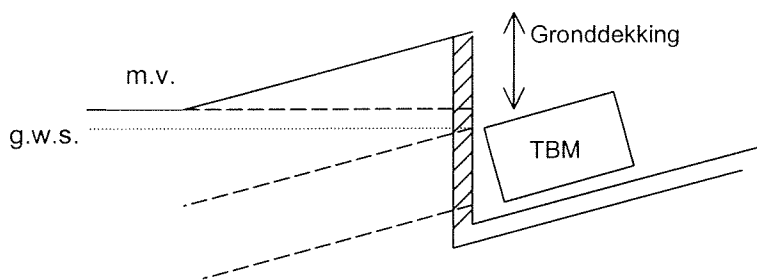
Voordelen:

- klein ruimtebeslag schacht;
- zettingen goed beheersbaar;
- geen verstoring op maaiveld in gebruiksfase;
- korte boortunnel mogelijk.

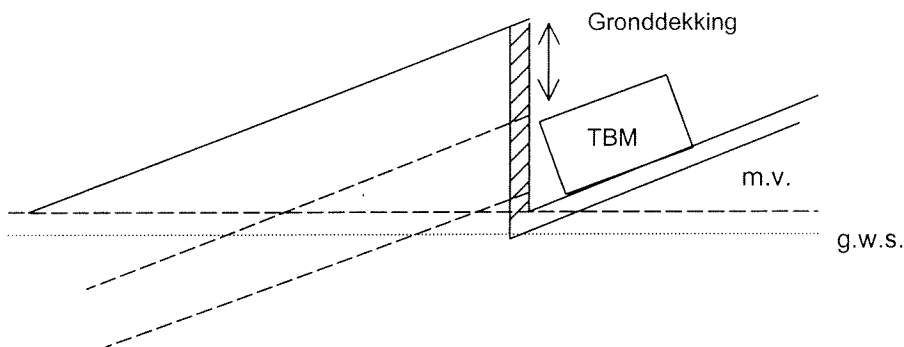
Nadelen:

- kosten schacht relatief hoog door diepe ligging;
- start boorproces in grondwater;

2) Variant 2A



Variant 2B



Dit zijn twee variant oplossingen. Voor variant 2A wordt gedeeltelijk ontgraven en gedeeltelijk opgehoogd. Bij variant 2B wordt alleen maar opgehoogd en niet ontgraven. De korreldruk voor het boorschild wordt hier verkregen door het aanbrengen van een ophoging. Indien er voldoende ruimte op het maaiveld beschikbaar is dan zijn dit economische varianten in vergelijking met variant 1. De beschikbare ruimte op het maaiveld bepaalt mede de grootte van de ophoging die aangebracht kan worden. In gebieden met weinig ruimte op het maaiveld kan wel een wand aangebracht worden die ervoor zorgt dat de grond onder een hoek van 90° met het maaiveld kan worden aangebracht. Dit zal voor een groot deel het economische voordeel van een start op maaiveldniveau teniet doen. Bij toepassing van variant 2B kan de TBM boven maaiveld starten en aankomen. Dit heeft als gevolg dat er niet in het grondwater gestart hoeft te worden, dit is gunstig voor het opstarten van het boorproces. De totale kosten van een boortunnelproject bij toepassing van deze varianten kunnen lager zijn dan bij variant 1. Dit komt doordat de aanlegdiepte van deze schacht geringer is. Bovendien wordt het gedeelte tussen schacht en maaiveld bij variant 1 op traditionele manier gemaakt, dit is per meter duurder¹ dan het bouwen van een meter boortunnel. De ophoging kan echter grote zettingen veroorzaken die na de aanleg van de boortunnel nog doorgaan. Dit veroorzaakt vooral ter plaatse van de overgangsconstructie ongelijke zettingen. De

¹ Indien het een cut & cover tunnel betreft. Een open bak constructie is per strekkende meter goedkoper dan een boortunnel.

schacht staat veelal op palen in de pleistocene laag, terwijl de aansluitende tunnelbuis in de slappere holocene bovenlagen ligt. Wanneer ter voorkoming hiervan de grond verbeterd moet worden zou het kostenvoordeel van deze variant kunnen vervallen.

Variant 2A

Voordelen:

- kosten schacht relatief laag *;

Nadelen:

- start boren in grondwater;
- groot ruimtebeslag;
- mogelijk verstoring van maaiveld in gebruiksfase;
- doorgaande zettingen ter plaatse van ophoging;
- ophoging is permanent.

Variant 2B

Voordelen:

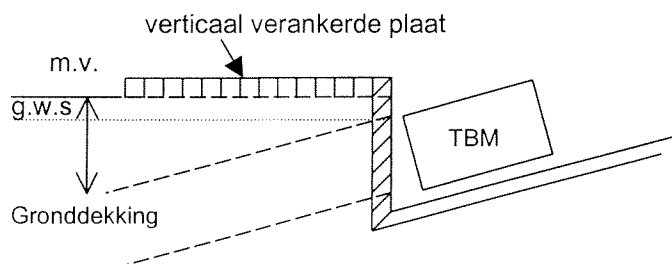
- kosten schacht relatief laag*.
- start boren boven grondwater;

Nadelen:

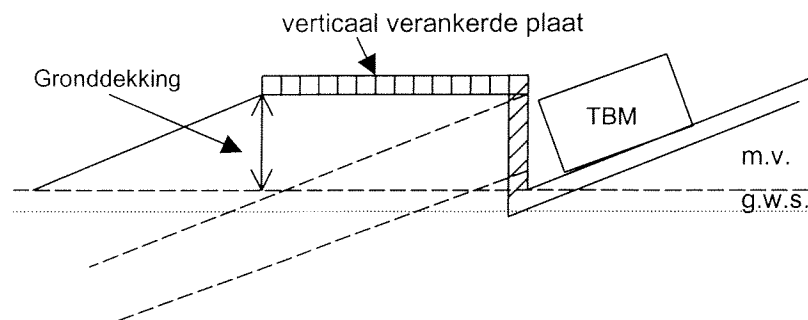
- zeer groot ruimtebeslag;
- mogelijke verstoring van maaiveld in gebruiksfase;
- grote doorgaande zettingen ter plaatse van ophoging;
- ophoging is permanent.

* kosten schacht dienen vergeleken te worden met totale kosten boortunnel in verband met verschillende lengtes boortunnel als gevolg van plaats schacht in het tracé.

3) Variant 3A



Variant 3B



Bij deze theoretische oplossing die in de praktijk nog niet is toegepast¹ wordt de korreldruk voor het boorschild verkregen door het aanbrengen van een plaat op het maaiveld of op een ophoging.

¹ Deze methode wordt bij de Groene Hart tunnel toegepast. Op moment van schrijven van dit rapport is men hier nog niet met de uitvoering begonnen.

Voor het verkrijgen van verticaal evenwicht wordt de plaatconstructie verankerd aan de ondergrond. Deze plaatconstructie is een duur onderdeel van de schacht. Bij variant 3B kan boven het grondwater gestart en geëindigd worden, maar door de aangebrachte ophoging zullen zettingen optreden. Bij toepassing van ankers kan de tunnelbuis gaan opdrijven, de ankers moeten namelijk eerst op spanning komen. Een mogelijkheid is om de ankers voor te spannen. Dit betekent meestal alleen maar uitstel van het opdrijven. De laag grond tussen de plaatconstructie en de tunnelbuis kan na voorspannen nog gaan zetten waardoor de voorspanning verdwijnt en de tunnelbuis alsnog enigszins opdrijft.

Variant 3A

Voordelen:

- bijna geen verstoring op het maaiveld tijdens gebruiksfase;

Nadelen:

- kosten schacht relatief hoog (plaatconstructie);
- start boren in grondwater;
- zettingen in ondergrond kan opdrijven tunnelbuis veroorzaken;
- verankerde (beton)plaat is permanent nodig.

Variant 3B

Voordelen;

- start boren boven grondwater;
- beperking hoogte ophoging boven tunnel;

Nadelen:

- kosten schacht relatief hoog (plaatconstructie);
- groot ruimtebeslag;
- zettingen in ondergrond kan opdrijven tunnelbuis veroorzaken;
- gedeeltelijke ophoging met verankerde (beton)plaat is permanent nodig.

Per project dienen de voor- en nadelen van de verschillende principeoplossingen beoordeeld te worden, dit omdat de omstandigheden per project verschillen. Deze afweging kan gemaakt worden aan de hand van een zestal aspecten die belangrijk zijn bij het maken van een keuze voor een principeoplossing. De basis van het afwegen vormt het minimaliseren van de kosten. Hierin dienen ook de risico's bij elke principeoplossing in de kostprijs meegenomen te worden. Het kan bovendien voorkomen dat de goedkoopste oplossing uit oogpunt van het benodigde ruimtebeslag praktisch niet mogelijk is. Een boortunnel wordt immers aangelegd omdat er op het maaiveld weinig tot geen ruimte beschikbaar is. Dit heeft als gevolg dat de varianten 2 en 3 veelal niet toegepast kunnen worden. De afwegingsaspecten zijn:

- Ruimtebeslag
Dit is de ruimte die nodig is voor het toepassen van de desbetreffende principeoplossing. Ruimtegebrek kan er voor zorgen dat niet de meest economische oplossing kan worden toegepast.
- Kosten
Voor een goede kostenafweging is het nodig dat niet alleen naar de kosten van de schacht wordt gekeken, maar dat een afweging wordt gemaakt op basis van de totale kosten van het project. Bij het vergelijken van principeoplossing 1 en principeoplossing 2 dienen de volgende kosten met elkaar te worden vergeleken.

Principeoplossing 1:	Principeoplossing 2:
kosten schacht	kosten extra boorgedeelte t.o.v. oplossing 1
kosten toerit	kosten schacht
	kosten toerit

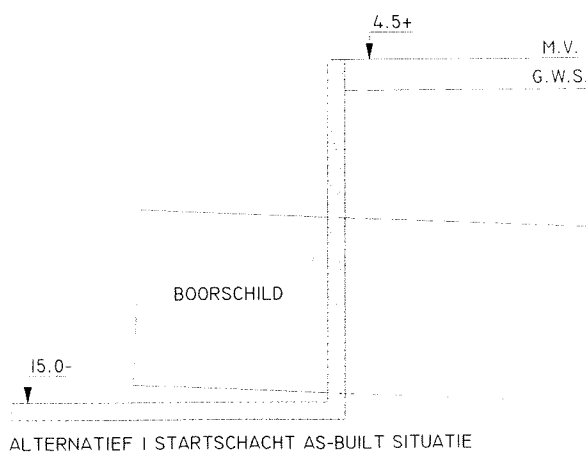
Toepassing van de goedkoopste oplossing is niet altijd mogelijk. Naast het reeds genoemde ruimtegebrek kan het bovendien ook voorkomen dat er maar één plaats beschikbaar is voor het bouwen van een schacht. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de startschacht van de Botlekspoortunnel. Verplaatsen van de startschacht richting toerit kon niet omdat hier het werkterrein te smal was (ingesloten tussen havenspoorlijn en autosnelweg A15).

- Zettingen
Indien doorgaande zettingen zijn te verwachten als gevolg van ophoging levert dit complicaties op voor het boorproces en voor de aangelegde tunnelling. Grote zettingen dienen te worden voorkomen om beschadigingen aan de tunnel en omgeving te voorkomen. Door toepassen van grondverbetering kunnen zettingen worden beperkt. Dit kost echter wel extra geld.
- Inpassing in omgeving
Een ophoging is blijvend aanwezig.
- Technische uitvoerbaarheid (optredende risico's)
De verschillende principeoplossingen hebben ieder hun eigen problemen. Bij een aantal oplossingen wordt onder het grondwaterpeil gestart of aangekomen, soms moet geboord worden door slappe lagen, het aanbrengen van een permanent verankerde plaatconstructie vraagt nog veel onderzoek.
- Toegankelijkheid schacht tijdens bouwfase
Wanneer de schacht vanaf maaiveld toegankelijk is voor materiaal en materieel zonder hulp van een kraan levert dit voordelen op voor de aan- en afvoer van en naar de schacht.

Per project kan aan de hand van deze aspecten een afweging worden gemaakt welke principeoplossing de voorkeur verdient.

Om tot een juiste keuze voor de aanlegdiepte van de schacht te komen dient voor de mogelijke oplossingen een kostprijs berekend te worden. Als voorbeeld is dit gedaan voor de startschacht van de Botlekspoortunnel. Een gedetailleerde kostenberekening is te vinden in bijlage 2 'Kostprijs alternatieven startschacht Botlekspoortunnel'. Hier wordt elk alternatief kort toegelicht met de kostprijs en tenslotte een verklaring van de optredende prijsverschillen. Er zijn een drietal alternatieven doorgerekend. Alternatief 1 is de as-built situatie. Bij alternatief 2 ligt de startschacht op de grens nat/droog-ontgraven en bij alternatief 3 ligt de startschacht bijna op maaiveld niveau. Droog ontgraven kan indien er voldoende gronddekking op de kleilaag aanwezig is om opbarsten van de bouwputbodem te voorkomen. Dit was bij de compartimenten E en F niet mogelijk. De alternatieven 2 en 3 zijn hypothetische oplossingen. In werkelijkheid konden deze uit ruimtegebrek niet toegepast worden. Dit voorbeeld laat echter zien dat variatie van de plaats van de startschacht wel grote invloed heeft op de kostprijs van het tunnelproject.

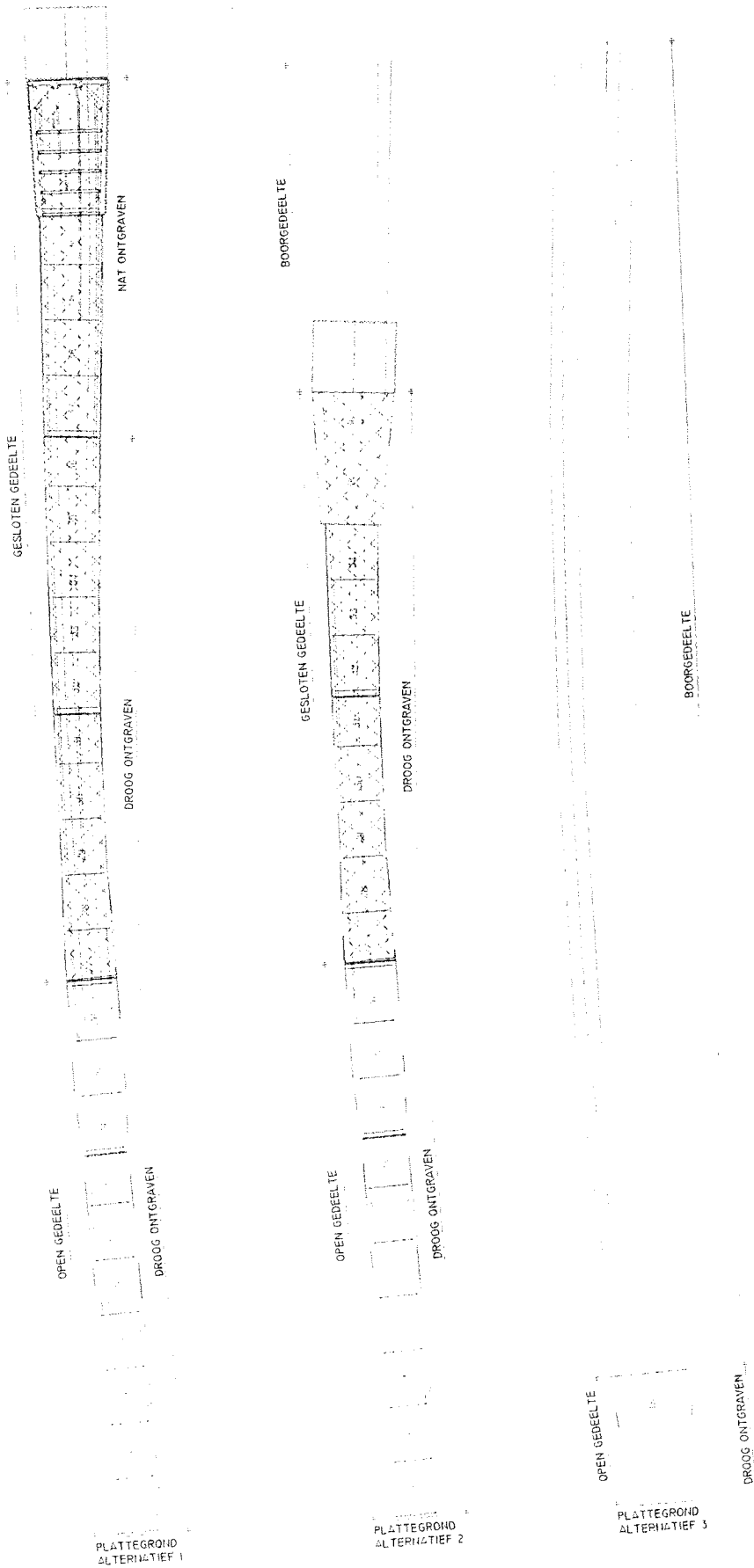
Met nadruk wordt vermeld dat het hier kale kostprijzen betreft die indicatief zijn. Hier zijn dus niet de uitvoeringskosten, bouwplaatsinrichtingskosten, algemene kosten en winst en risico (=X) bij inbegrepen. Deze kosten dienen dan ook niet gebruikt te worden voor het maken van een kostprijsberekening van een specifiek project. Bovendien zijn alleen die kosten meegenomen die tot verschil in kostprijs leiden bij de verschillende alternatieven.

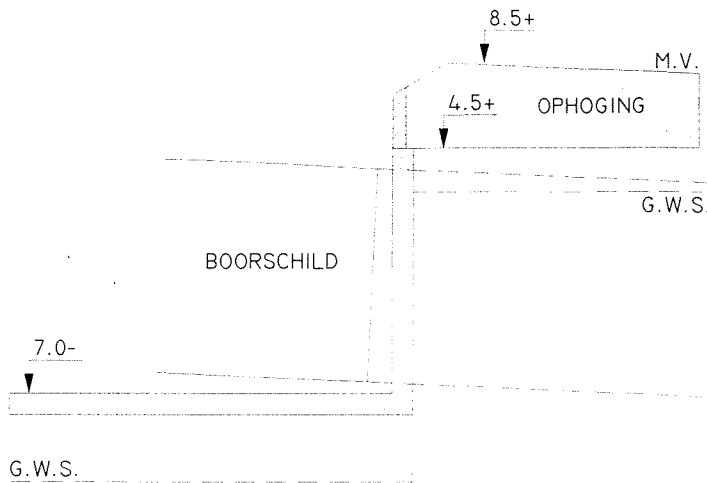


Alternatief 1

Dit alternatief is de as-built situatie. De toerit bestaat uit de moten 17 t/m 40¹ en de startschacht bestaat uit moot 41 en 42 (zie plattegrond volgende pagina). Elke moot is circa 20 meter lang. Dit gedeelte is voor de uitvoering opgesplitst in de compartimenten: A/B (moot 17+18/open bak), C (moot 19 t/m 26/open bak), D (moot 27 t/m 36/cut & cover tunnel), E (moot 37 t/m 40/cut & cover tunnel) en F (moot 41+42/cut & cover tunnel). De compartimenten E en F zijn nat ontgraven en hier is ook het heiwerk onder water uitgevoerd vanaf traverse. De compartimenten A t/m D zijn droog ontgraven. De totale lengte van de moten 17 t/m 42 bedraagt 520 meter en wordt uitgevoerd op de traditionele manier. De totale kosten van alternatief 1 bedragen circa fl. X + 30.3 miljoen.

¹ Moot 1 t/m 16 zijn tijdens aanbestedingsprocedure vervallen

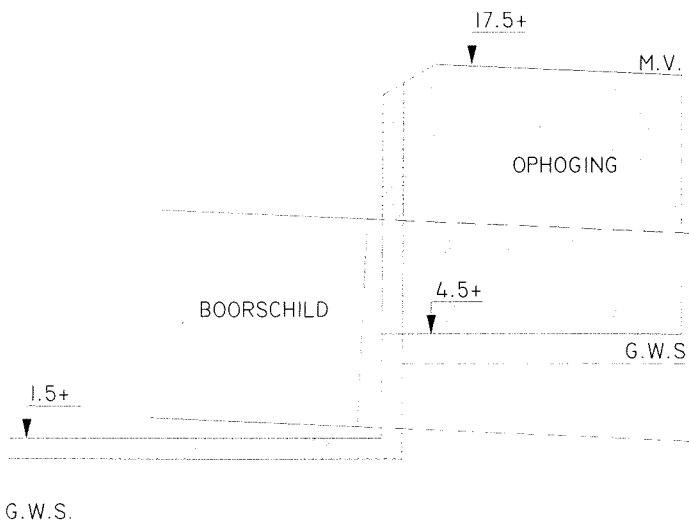




Alternatief 2

Bij dit alternatief vervallen de compartimenten E en F. Dit deel wordt uitgevoerd als boortunnel. Hiervoor wordt een ophoging op het maaiveld aangebracht. De toerit en de startschacht bestaan uit de moten 17 t/m 36. De lengte van het traditioneel uitgevoerde deel bedraagt 400 meter. Het extra boordeel bedraagt 120 meter. De totale kosten van alternatief 2 bedragen circa. fl. X + 28.0 miljoen.

ALTERNATIEF 2 STARTSCHACHT TER PLAATSE VAN COMPARTIMENT D, COMPARTIMENTEN E+F VERVALLEN, DEZE WORDEN GEBOORD



Alternatief 3

Bij dit alternatief vervallen de compartimenten C t/m F. Dit deel wordt uitgevoerd als boortunnel. Hiervoor wordt een ophoging op het maaiveld aangebracht. De startschacht bestaat uit de moten 17 en 18. De lengte van het traditioneel uitgevoerde deel bedraagt 40 meter. Het extra boordeel bedraagt 480 meter. De totale kosten van alternatief 3 bedragen circa fl. X + 36.1 miljoen.

ALTERNATIEF 3 STARTSCHACHT TER PLAATSE VAN COMPARTIMENT A/B, COMPARTIMENTEN C T/M F VERVALLEN, DIT DEEL WORDT GEBOORD

Het verschil in kosten komt door de verschillende bedragen per meter per compartiment. Deze zijn:

- compartiment A/B fl. 19.000,=/m¹, open bak en droog ontgraven;
- compartiment C fl. 23.000,=/m¹, open bak en droog ontgraven;
- compartiment D fl. 71.800,=/m¹, cut & cover tunnel en droog ontgraven;
- compartiment E fl. 92.300,=/m¹, cut & cover tunnel en nat ontgraven;
- compartiment F fl. 165.700,=/m¹, cut & cover tunnel en nat ontgraven;

De bijkomende kosten van een boortunnel bedragen fl. 60.000,=/m¹ voor een dubbele tunnelbuis. Dit is zonder de vaste kosten en zonder de investering van de TBM en toebehoren. Hierin zitten de lonen van de boorploeg, de materiaalkosten (inclusief reparatie en onderhoud) en overige bijkomende kosten. De optimale lengteverhouding boortunnel/traditionele tunnel zal dus zijn: boren t/m compartiment D en de compartimenten A/B en C traditioneel uitvoeren. Hiermee kan nog ongeveer fl. 500.000,= bespaart worden ten opzicht van alternatief 2.

Meer algemeen kan de conclusie getrokken worden dat bij een tunnel met toeritten voor het gedeelte dat helemaal in den droge uitgevoerd kan worden het beste gekozen kan worden voor de traditionele methode (cut & cover of open bak). Voor het gedeelte dat niet in den droge uitgevoerd kan worden kan het beste gekozen worden om dat gedeelte te boren. Er zal dan wel ruimte beschikbaar moeten zijn op het maaiveld om de nodige voorzieningen hiervoor te kunnen nemen.

3 Bouwmethoden voor schachten

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden die er zijn voor het bouwen van een start- of een ontvangtschacht. Welke methode in een specifiek geval de voorkeur heeft is niet in het algemeen aan te geven, maar wordt sterk bepaald door de lokale omstandigheden. Een aantal factoren die invloed hebben op de keuze van een bepaalde bouwmethode zijn: de beschikbare ruimte, wordt bemaling wel of niet toegestaan, diepte van de schacht en al of niet aanwezige bebouwing of infrastructuur.

Een start- of een ontvangtschacht is in principe een gewone bouwput of bouwkuip, maar is wel dieper dan een normale bouwput of bouwkuip. Deze bouwput/-kuip heeft echter naast de normale functies als water- en grondkeren nog een aantal specifieke functies die volgen uit het bouwproces van een boortunnel. De TBM moet opgesteld of ontvangen kunnen worden en de bouwput/-kuip dient geschikt te zijn voor de aan- en afvoer van allerlei zaken, zie hiervoor 2 Functies start- en ontvangtschacht.

3.2 Bouwputten en bouwkuipen

3.2.1 Zijwanden en vloer of waterkerende laag

Elke bouwput/-kuip die als start- of ontvangtschacht dient, is te splitsen in een aantal onderdelen. Deze onderdelen zijn: de zijwanden, de vloer of waterkerende laag, de brilwand en de overgangsconstructie. De overgangsconstructie en de brilwand worden uitgebreid beschreven in hoofdstuk 9 Overgangsconstructie. Voor de zijwanden en de vloer of waterkerende laag worden hier de bestaande constructieve oplossingen beschreven die de grond- en waterdrukken keren. Meer informatie over de verschillende bouwmethoden van een bouwput/-kuip is te vinden het 'Handboek ondergronds bouwen- deel 2, bouwen vanaf het maaiveld, 2000'.

Constructieve oplossingen zijwanden:

1. stabiele vrije taluds met bemaling (grond- en waterkerend);
2. stabiele vrije taluds met verticale waterkering of waterremmende wand (cement-bentoniet);
3. grond- en waterkerende wand (combiwand, damwand, diepwand en palenwand);
4. stabiel talud met verticale folie;
5. grond- en waterkerend grondlichaam door injecteren;
6. grond- en waterkerend grondlichaam door bevriezen;
7. betonwand als onderdeel van een af te zinken caisson (met vloer, pneumatisch of zonder vloer, niet pneumatisch).

Constructieve oplossingen vloer of waterkerende laag:

1. bemaling*;
2. natuurlijk waterremmende laag op voldoende diepte (=evenwichtsdiepte)**;
3. kunstmatig waterremmende laag op voldoende diepte**;
4. folie op voldoende diepte**;
5. onderwaterbeton met trekpalen;
6. bevriezen op voldoende diepte***;
7. betonvloer als onderdeel van een pneumatisch af te zinken caisson (bouwen boven de locatie, afzinken door leeggraven werkkamer onder het caisson met luchtdruk)

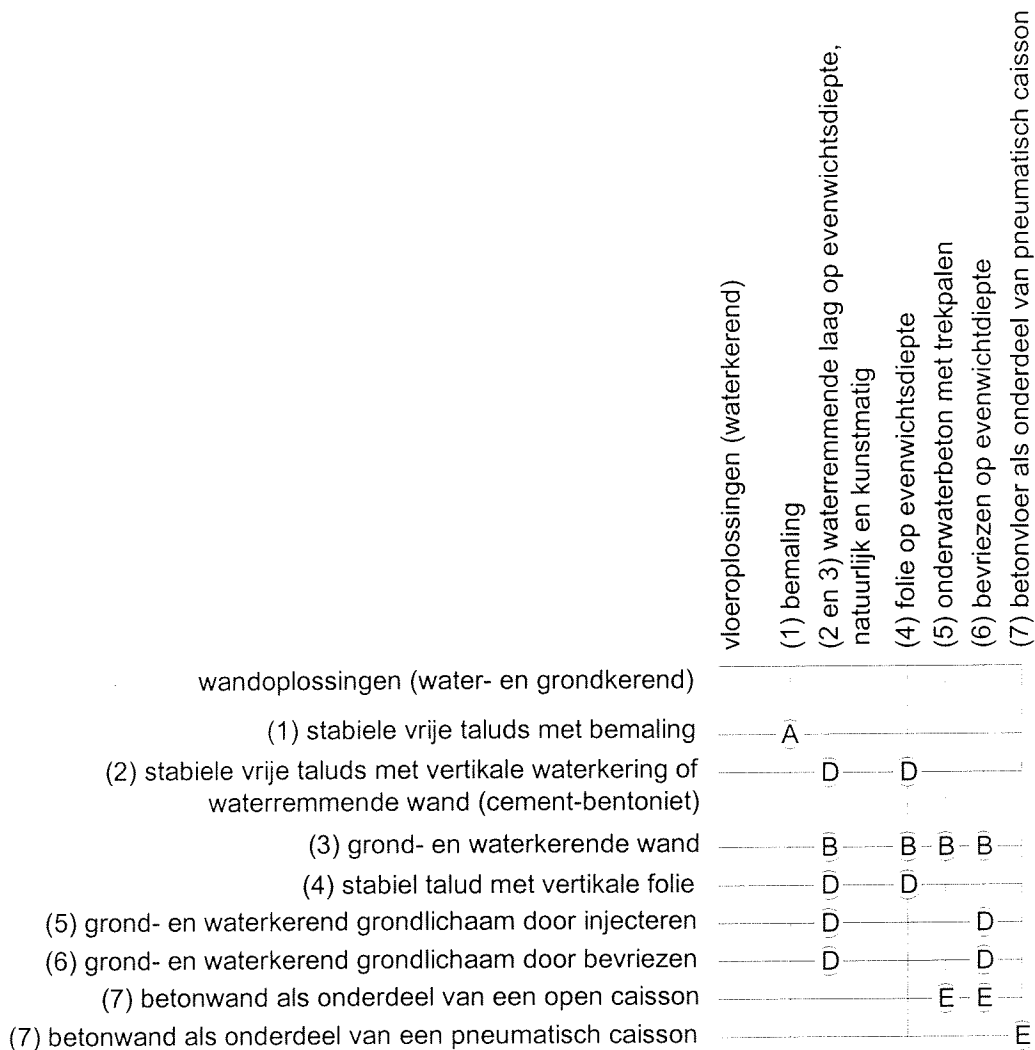
**) Ondanks dat bemaling geen constructieve oplossing is wordt deze oplossing hier toch genoemd omdat het ook een manier is om een droge bouwput/-kuip te realiseren.*

****) 2,3 en 4: De waterremmende laag moet zo diep onder de ontgraving liggen dat er evenwicht is tussen het gewicht van de grond er boven en de waterdruk er onder.*

*****) Bij vriezen min of meer hetzelfde als voor ***

Bij de verschillende methoden voor een bouwput/-kuip worden oplossingen voor de zijwanden en de vloer of waterkerende laag gegeven. De cijfers die hierachter staan verwijzen naar de constructieve oplossingen die hiervoor zijn weergegeven. Soms wordt ook een combinatie van oplossingen toegepast voor bijvoorbeeld de zijwand. Tijdelijk houdt in dat de bouwput/-kuip alleen tijdens de bouw een grond- en waterkerende functie heeft.

- A) Blijvende bouwkuip zonder bemaling;
- B) Tijdelijke bouwkuip zonder bemaling;
- C) Open bouwput met bemaling;
- D) Open bouwput zonder bemaling;
- E) Caisson.



COMBINATIEMOGELIJKHEDEN VOOR EEN BOUWPUT/-KUIP

3.2.2 Funderingstechnieken voor diepe schachten

Bij het maken van een vloerconstructie in een schacht wordt vaak een paalfundering toegepast. Omdat de vloer zich vaak op grote diepte bevindt is de waterdruk tegen de onderkant van de vloer vaak ook groot. De palen worden hierdoor vaak op trek belast. In deze paragraaf worden de meest gebruikte paalsystemen voor het opnemen van trek in diepe schachten beschreven. Meer informatie over verschillende paalsystemen is te vinden het 'Handboek ondergronds bouwen - deel 2, bouwen vanaf het maaiveld, 2000'.

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen volledig grondverdringende paalsystemen, beperkte grondverdringende paalsystemen en grondverwijderende paalsystemen. Dit onderscheid bepaalt de draagkracht en het vervormingsgedrag van de paal. Volledige grondverdringing wil zeggen dat bij het inbrengen van de paal in de ondergrond alle grond zijdelings wordt verplaatst en dus niet richting het maaiveld. Alleen ingeheide, ingetrilde en ingedrukte paalsystemen zijn volledig grondverdringend. Bij geschroefde paalsystemen zakt de paal minder snel dan overeenkomt met de rotatiesnelheid maal de spoed, er wordt dus grond richting het maaiveld verplaatst tijdens het ronddraaien.

Grondverdringende palen hebben meestal een gunstige invloed op de draagkracht en het last-zakkingsgedrag van de paal. Nadeel van grondverdringende palen is dat ze tijdens het inbrengen trillingen en geluid veroorzaken. Dit kan een reden zijn om voor een paalsysteem te kiezen dat bijvoorbeeld schroevend aangebracht kan worden. Ook kan in dit geval een grondverwijderende paal worden toegepast. Nadeel hiervan is de relatief lage draagkracht. Een andere mogelijkheid om trek op te nemen is door het inbrengen van ankers in de ondergrond. De keuze van het toe te passen funderingssysteem hangt af van het bouwproject, de bouwplaats en de omgeving, de grondgesteldheid en de waterhuishouding en de kosten.

1) Prefab betonpalen

Voorgespannen betonpalen zijn standaard verkrijgbaar in lengtes van 13 tot 36 meter. De standaarddoorsneden variëren van 140x140 mm² tot 500x500 mm². De palen zijn leverbaar in betonkwaliteiten B45 tot B70 en kunnen maximaal onder een helling van 3:1 à 4:1 achterover en 4:1 à 10:1 voorover geheid worden. Langere palen kunnen worden verkregen door meerdere palen aan elkaar te koppelen.

Voordelen zijn:

- *lage prijs;*
- *grondverdringende paal, dus grote draagkracht en stijf last-zakkingsgedrag;*
- *paal is geprefabriceerd, dus kwaliteit is goed te waarborgen;*
- *paal kan trek opnemen door voorspanning (bijvoorbeeld waterdruk en zwel);*
- *kalendering tijdens heien geeft goede indicatie over de bereikte draagkracht.*

Nadelen zijn:

- *inbrengen veroorzaakt trillingen en geluid;*
- *door prefabricage moeten palen in een vroeg stadium besteld worden;*
- *palen moeten getransporteerd worden;*
- *tijdens heien kan scheurvorming en soms zelfs paalbreuk ontstaan. Het percentage breuk bedraagt gemiddeld echter minder dan 1%.*

2) Vibro-combinatiepaal

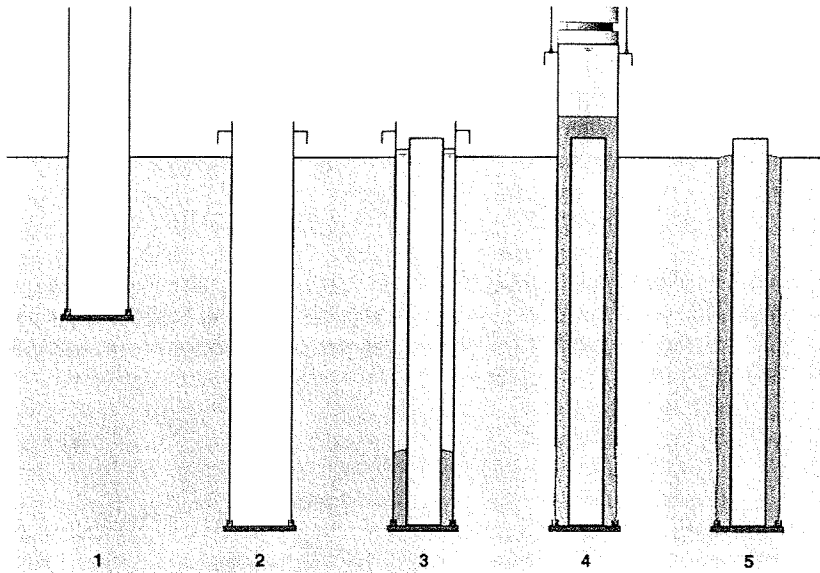
De vibro-combinatiepaal is een in de grond gevormde paal met een prefab kern. Eerst wordt een buispaal met stalen voetplaat op diepte gebracht waarna de prefab kern in de buispaal wordt aangebracht. Vervolgens wordt de buispaal vol water gezet en wordt de buispaal getrokken. Tijdens het trekken van de buispaal wordt betonspecie aangebracht in de ruimte tussen de prefab kern en de casing. Deze palen zijn bij de startschacht van de Botlekspoortunnel gebruikt. Omdat de prefab kern gecentreerd moet worden zijn geen of slechts geringe schoorstanden mogelijk. De vibro-combinatiepaal kan met de paalkop onder het maaiveld aangebracht worden door aanwezigheid van de prefab kern. Wel dient tijdens het trekken de groutdruk goed beheerst te worden om insnoering in slappe lagen te voorkomen. Hierdoor neemt de draagkracht namelijk af.

Voordelen:

- *schacht is geprefabriceerd, dus dezelfde voordelen als prefab betonpaal;*
- *prefab kern wordt onbeschadigd aangebracht, ook als er vaste tussenlagen of obstakels zijn;*
- *draagkracht en last-zakkingsgedrag zijn nog iets beter dan die van de prefab betonpaal;*
- *schachtwrijving vibro-combinatiepaal in zand is groter dan bij een prefab betonpaal;*
- *bij heien vanaf maaiveld en het onder maaiveld plaatsen van de paalkop is door stalen buispaal geen oplanger nodig.*

Nadelen:

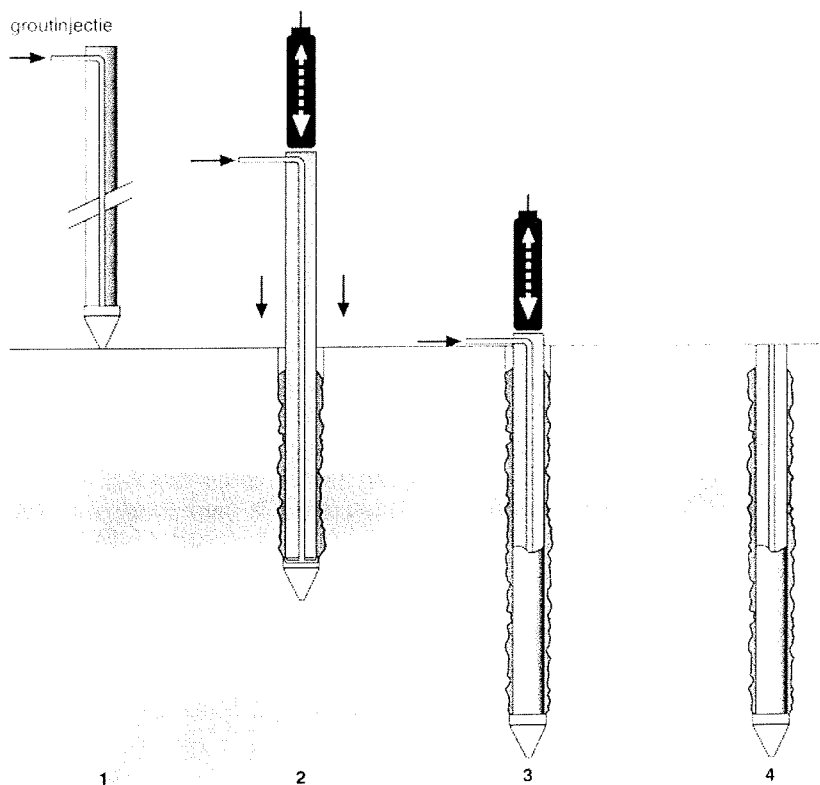
- *zie prefab betonpaal met uitzondering van scheurvorming en breuk;*
- *duurder dan prefab betonpaal. Dit kan enigszins gecompenseerd door een kortere paallengte vanwege betere schachtwrijvingseigenschappen.*



Vervaardiging van een vibro-combinatiepaal

3) MV-paal

De MV-paal is een geheide stalen paal waarbij tijdens het heien grout langs de onderzijde van de paal wordt aangebracht. Hierdoor wordt een grote schachtwrijving verkregen. De lengte van MV-palen varieert van 5 tot 40 meter. Schoorstanden van maximaal 1:1 zijn mogelijk. De MV-paal is vooral geschikt als trekpaal en de draagkracht bij trek bedraagt 500 tot 2000 kN. Bij drukbelasting kan knik een beperkende factor zijn.



Vervaardiging van een MV-paal

Voordelen:

- toepasbaar in bodemlagen met een grote vastheid, zelfs bij aanwezigheid van obstakels kan een MV-paal vaak nog worden toegepast;
- grote schoorstanden mogelijk;
- grote trekbelasting mogelijk;
- afhankelijk van staalprofiel kunnen grote buigende momenten worden opgenomen.

Nadeel:

- inbrengen veroorzaakt trillingen en geluid.

4) Groutankerpaal

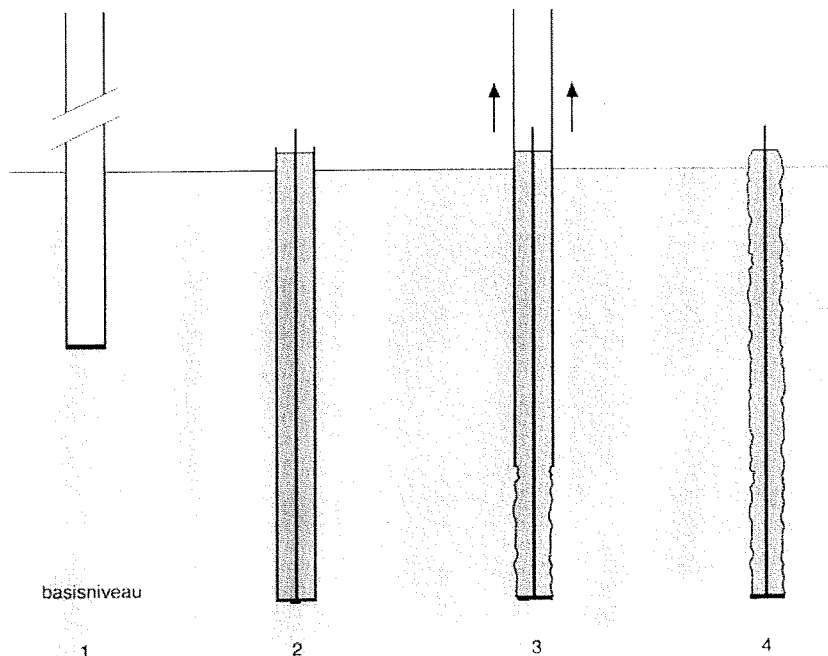
Een groutankerpaal is een in de grond gemaakt verankerings-element waarvan het centrale stalen trekelement gedeeltelijk van een groutschil is voorzien. Aanbrengen in de grond gebeurt middels boren of schroeven. In de ontvangtschacht van de Botlekspoortunnel zijn GEWI-ankers gebruikt omdat deze een kortere uitvoeringstijd vergden. De maximale draagkracht bij trek bedraagt 1000 kN. Lengtes van 30 tot 40 meter zijn mogelijk en de ankers kunnen in principe onder elke helling aangebracht worden. Als het anker uit een bundel strengen bestaat of een blijvende verankering is, is altijd corrosiebescherming noodzakelijk.

Voordelen:

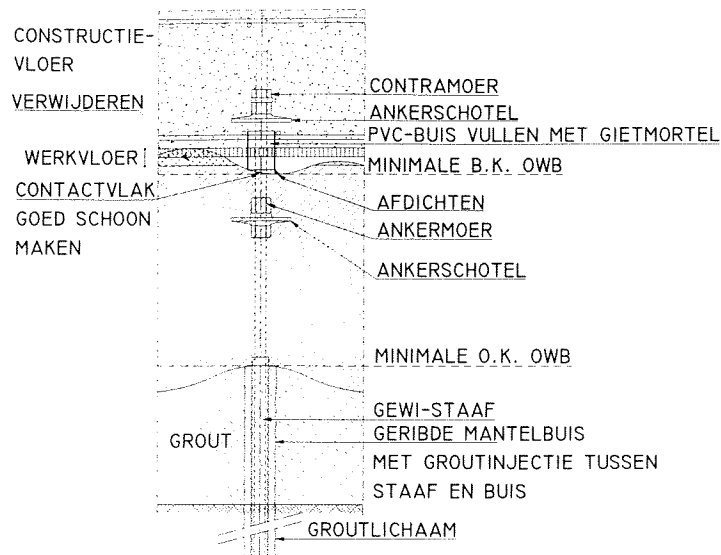
- systeem is geschikt om grote trekbelastingen op te nemen;
- aanbrengen van ankers in vaste bodemlagen en bij aanwezigheid van obstakels is goed mogelijk;
- geringe trillings- en geluidshinder;
- korte uitvoeringstijd.

Nadelen:

- niet geschikt om druk op te nemen.



Vervaardiging van groutankerpaal



DETAIL GEWI-ANKER

5) Vibropaal

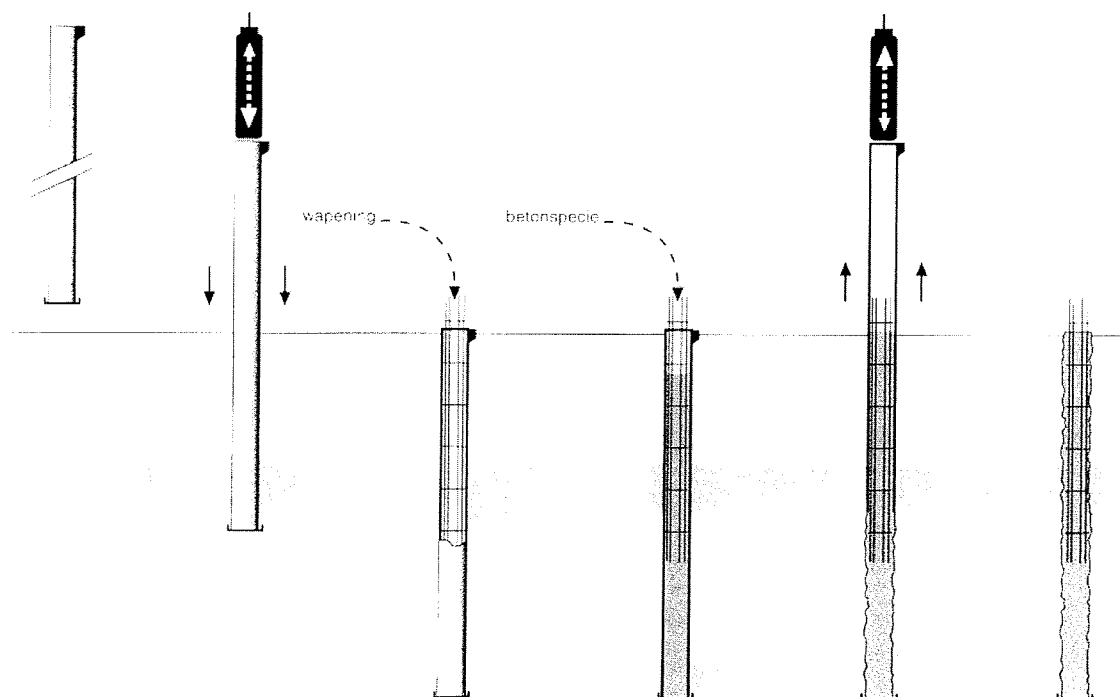
De vibropaal is een in de grond gevormde grondverdringende betonpaal en wordt aangebracht met behulp van een ingeheidde stalen hulpbuis (net als bij vibro-combinatiepaal). Als de buis op de gewenste diepte is wordt een wapeningsnet aangebracht. Vervolgens kan de buis volgestort worden met betonspecie. De buis wordt getrokken met behulp van een heiblok of een trilblok. De maximale draagkracht van het systeem bedraagt circa 3500 tot 5000 kN. De toe te passen diameter van dit paalttype varieert van 273 tot 610 mm waarbij schoorstanden van 3:1 à 4:1 achterover en 4:1 à 10:1 voorover mogelijk zijn.

Voordelen:

- geschikt in gebieden waar de diepte van de draagkrachtige laag sterk varieert;
- toepasbaar in vaste grondlagen.

Nadelen

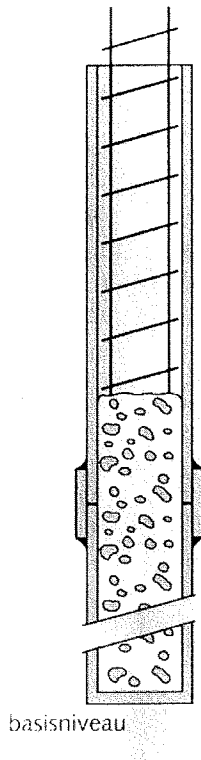
- inbrengen veroorzaakt trillingen en geluid.



Vervaardiging van vibropaal

6) Stalen buispaal

De stalen buispaal wordt door heien op diepte gebracht. Meestal wordt een open buispaal, zonder bodemplaat, toegepast. Dit systeem is beperkt grondverdringend. Indien wel een bodemplaat wordt toegepast is sprake van een grondverdringend systeem. Gangbare diameters van dit paalttype liggen tussen 113 mm en 813 mm. Mogelijke schoorstanden zijn 3:1 achterover en 10:1 voorover. In de schachten van de 2^e Heinenoordtunnel zijn stalen buispalen met bodemplaat toegepast.



Opbouw stalen buispaal

Voordelen

- toepasbaar bij beperkte werkhoogte;
- buigende momenten en horizontale belastingen kunnen goed worden opgenomen;
- lengte paal is flexibel, is dus makkelijk aan te passen aan diepteligging van draagkrachtige laag.

Nadelen

- duur paalttype;
- inbrengen veroorzaakt trillingen en geluid (bij gebruik van een inwendig valblok kan dit beperkt worden).

4 Inrichting werkterrein op maaiveld

Dit hoofdstuk is toegespitst op de inrichting van het werkterrein rondom de startschacht. Het werkterrein rondom de ontvangtschacht bestaat alleen uit een opstelplaats voor een vaste en/of mobiele kraan en een beperkt opslagterrein. Bij de inrichting van het werkterrein op het maaiveld rondom de startschacht is het belangrijk dat er een goede werkweg is die in principe nooit geblokkeerd mag worden. Dit in verband met het drukke bouwverkeer dat optreedt bij de bouw van een boortunnel. Hiervoor is het nodig dat er voldoende los- en laadplekken zijn waar materiaal of materieel gelost of geladen kan worden. Segmenten, grondstoffen voor het grout en vaten vet, kortom materialen die in grote hoeveelheden geleverd worden, dienen een duidelijke losplaats op het werkterrein te krijgen. Ook dient bij de inrichting van het werkterrein rekening te worden gehouden met opstelplaatsen van vaste of mobiele kranen. Deze veroorzaken grote belastingen op de ondergrond en staan meestal vlak naast de startschacht. Er moet dus voldoende ruimte gereserveerd worden voor dit materieel, en er dient rekening gehouden te worden met de krachten die hierdoor op de startschacht en de ondergrond worden uitgeoefend. De maatgevende kracht die de kraan op de zijkant van de startschacht uitoefent wordt bepaald door het zwaarste onderdeel van de TBM dat door de kraan moet worden verplaatst en door de vlucht van het desbetreffende onderdeel.

Naast werkweg, laad- en losplaatsen en opstelplaatsen zijn er nog een heleboel andere zaken die ruimte vergen op het maaiveld. Sommige onderdelen horen specifiek bij het EPB-schild of het hydro-schild. Een aantal van de hieronder genoemde onderdelen kunnen wanneer dit gewenst is ook in de startschacht opgesteld worden. De meeste onderdelen zullen echter bij voorkeur op het maaiveld geplaatst worden omdat dit het meest eenvoudig is en het minste kost. Bij het indelen van het werkterrein moet rekening worden gehouden met de volgende onderdelen die noodzakelijk zijn voor het boren van een tunnel. Als voorbeeld is de inrichting van het werkterrein bij de 2^e Heinenoordtunnel en de Botlekspoortunnel toegevoegd in bijlage 3 'Inrichting maaiveld en startschacht bij 2^e Heinenoordtunnel en Botlekspoortunnel'.

Primaire systeemonderdelen:

- Groutinstallatie

Hier wordt grout aangemaakt dat wordt gebruikt voor het opvullen van de staartspleet tussen de tunnelling en de omliggende grond. Het verdient de voorkeur dat de groutinstallatie, de installatie waar de grout aangemaakt wordt, op het werk zelf staat in verband met betere procesbeheersing van de aangemaakte mix. De leverancier levert in dat geval de droge vulstoffen voor het grout aan, waarna deze opgeslagen worden in een grout-installatie. Er kan gekozen worden tussen het plaatsen van de groutinstallatie op het maaiveld of in de startschacht. Factoren waar hierbij op gelet dient te worden zijn het ruimtebeslag die de plaatsing van de groutinstallatie met zich meebrengt en dus de invloed die deze heeft op het tunnelbouwproces. Om deze reden zal de groutinstallatie op een plek geplaatst worden waar deze zo min mogelijk verstoring van het tunnelbouwproces veroorzaakt. De ruimte in de startschacht is veelal beperkt dus vaak zal de voorkeur uitgaan naar plaatsing op het maaiveld. Bij plaatsing op maaiveld is de grout met leidingen naar de startschacht te verpompen. De eerste 200 meter, de afstand waarover in ieder geval het afzetframe nog aanwezig dient te zijn, kan mogelijk ook rechtstreeks vanuit de groutinstallatie naar de groutcontainers in de TBM worden verpompt. Hierdoor kan het startproces soepeler verlopen, vooral zolang de volgwagens nog in de startschacht staan. De maximale praktische afstand om de grout naar een container op de TBM te verpompen is 300 meter¹, hierna wordt het met treinen naar de TBM gereden. De uiteindelijke plaats van de groutinstallatie dient goed bereikbaar te zijn voor de bulkwagens die de droge vulstoffen voor de grout aanleveren. De lengte waarover de bulkwagens de vulstoffen kunnen verpompen is circa 12 meter. Dit houdt dus in dat de groutinstallatie dus maximaal 12 meter van de werkweg waarover de bulkwagens rijden verwijderd mag zijn.

¹ Bij de Botlekspoortunnel is voor de 2^e buis gebruik gemaakt van ETAC. Dit is een speciaal twee componenten groutmengsel wat over de hele tunnallengte, 1800 meter, verpompaar is.

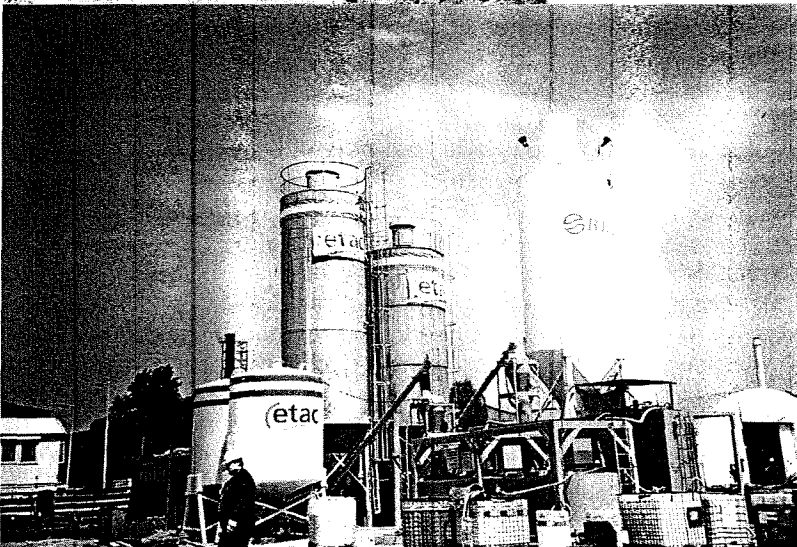
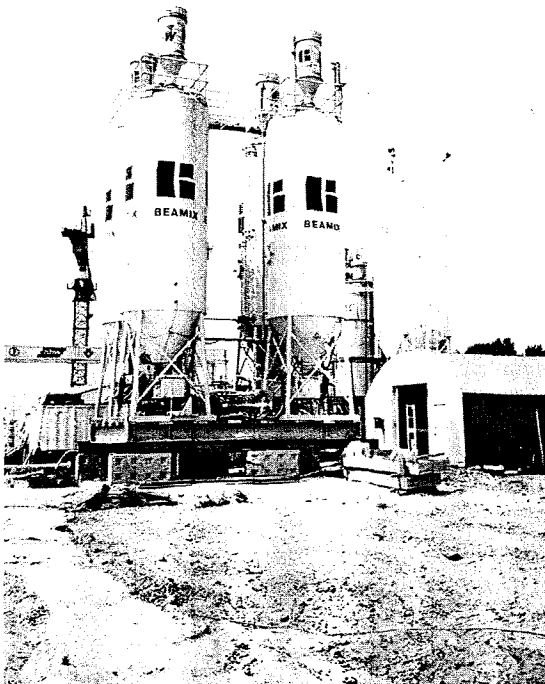


foto boven: groutsilo / foto onder: etac silo's

- Koelwatersysteem
 Wordt gebruikt voor het koelen van de componenten van de TBM wanneer deze in gebruik is. Wanneer de TBM in bedrijf is geeft deze veel warmte af, om deze warmte af te voeren wordt water als koelvloeistof gebruikt. Dit koelwatersysteem is een gesloten systeem, dit betekent dat er zowel een aan- als een afvoerleiding nodig is door de tunnelbuis.

- Segmentenbewerkingsloods
 Hierin kunnen de segmenten opgeslagen worden totdat deze nodig zijn in de TBM. Voor het goed functioneren van de segmentenbewerkingsloods is het vereist dat de segmenten goed aan- en afgevoerd kunnen worden naar en vanaf de segmentenbewerkingsloods. Veelal zal dit gebeuren met een portaalkraan die ook de startschacht als werkgebied heeft. In dat geval kunnen de segmenten rechtstreeks vanuit de segmentenbewerkingsloods de startschacht in gehesen worden. Het dak van de segmentenbewerkingsloods bestaat daarom uit meerdere delen die over elkaar heen kunnen schuiven. De segmentenbewerkingsloods is nodig om de laatste bewerkingen

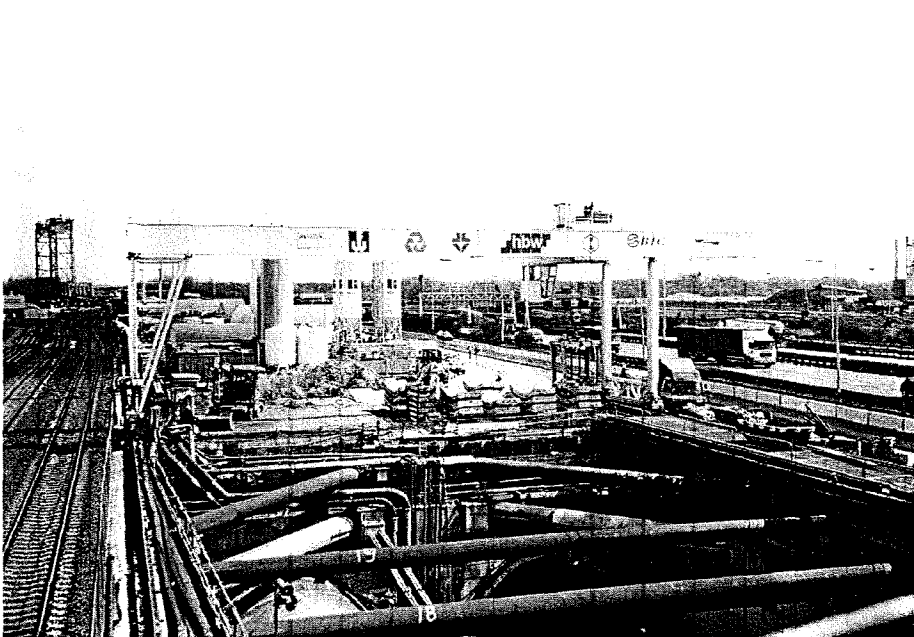
aan de segmenten uit te voeren. Voor het uitvoeren van deze bewerkingen is het nodig dat de segmenten droog zijn. Hiervoor dient een loods aanwezig te zijn. Op het werk worden triplexplaatjes op de ringkopvlakken van de segmenten geplakt. Deze plaatjes dienen voor het overbrengen van de drukkrachten tussen de segmenten. Soms worden er twee plaatjes triplex op de ringkopvlakken geplakt om afwijkingen als gevolg van het plaatsen van een segment op te vangen. Een tweede bewerking die aan de segmenten uitgevoerd wordt is het aanbrengen van tochtband. Dit wordt aangebracht om te voorkomen dat er grout tussen de waterafdichtingsprofielen terechtkomt tijdens injecteren van de staartspleet.

- Losplaats segmenten
Indien de segmenten vanaf de fabriek aangevoerd worden dient er een losplaats aanwezig te zijn voor de segmenten. Dit dient een plek te zijn waar de portaalkraan of een andere vaste kraan makkelijk bij kan. Ook moet de losplaats naast de segmentenbewerkingsloods liggen. Dit om de overslagtijden te minimaliseren.
- Grondafvoersysteem
Het grondafvoersysteem voert de afgegraven grond af die vrijkomt bij het boorproces. De grond kan per trein of met behulp van grondpomp en persleiding afgevoerd worden. Bij de tot nu toe in Nederland uitgevoerde boortunnels is steeds voor de laatste methode gekozen. De slurry die uit de werkkamer komt bij het boren met een hydro-schild kan direct door een leiding geperst worden via boosterpompen. De grond die vrijkomt bij boren met een EPB-schild is niet direct verpompbaar. Deze dient eerst aangemengd worden met water voordat deze door een leiding geperst kan worden¹. De persleidingen transporteren het grond-watermengsel direct naar het grondopslagdepot (EPB-schild) of naar de scheidingsinstallatie (hydro-schild). Het grote voordeel van verpompen is dat de tunnel schoon blijft, dit werkt beter en ook veiliger. Bij een schone tunnel zullen treinen niet zo snel kunnen ontsporen of slippen en is er minder treinverkeer door de tunnel. Dus minder kans op vertragingen in het boorproces en ongelukken. Bovendien hoeft er niet steeds zoveel schoongemaakt te worden.
- Grondverwerking
Bij toepassing van een hydroschild wordt de grond tijdens het boorproces vermengd met bentoniet. De grond en het bentoniet dienen weer gescheiden te worden voordat de grond gestort kan worden. De bentoniet wordt vervolgens weer hergebruikt. Hiervoor dient er een scheidingsinstallatie aanwezig te zijn op het werk. Een scheidingsinstallatie neemt veel ruimte in beslag. Wanneer er weinig ruimte aanwezig is kan dit problemen opleveren. Bij het boren met een EPB-schild is er geen scheidingsinstallatie nodig. Indien er op het maaiveld dus weinig ruimte beschikbaar is kan dit een reden zijn om te kiezen voor het boren met een EPB-schild. De eventuele additieven die men hier toepast dienen biologisch afbreekbaar te zijn. En wel zodanig dat ze na 28 dagen zover afgebroken zijn dat de nog aanwezige concentratie hiervan in de grond zich onder de maximaal toegestane concentratie bevindt. Indien het additief hieraan voldoet kan de grond dus zonder bewerking afgevoerd worden indien deze niet van zichzelf vervuild is.
- Grondopslag
De grondopslag dient voor het opslaan van de afgegraven grond die vrijkomt bij het boorproces. Omdat het transporteren van grond veel geld kost dient een stortlocatie gezocht te worden die zo dicht mogelijk in de buurt is van de startschacht. Het kan ook voorkomen dat er midden in een stad geboord wordt. In dat geval kan het zijn dat er over grotere afstand grond verpompt moet worden. Indien er helemaal geen stortmogelijkheid is zal de grond meteen afgevoerd moeten worden. Er is dan toch een bezinkdepot of een speciale installatie nodig om water en grond snel te scheiden ten behoeve van de droge grondafvoer met wagens.
- Additievenopslag/-systeem
Het additievensysteem dient voor opslag en transport van het te gebruiken schuimvormend additief. Wanneer geboord wordt met een EPB-schild wordt er voor het conditioneren van de grond schuim geïnjecteerd in de grond voor het boorfront. Dit is om de inwendige wrijving van de grond te verlagen. De voordelen zijn: het homogener en beter verwerkbaar maken van de grond, het voorkomen dat de grond verkleeft, het minder waterdoorlatend maken van de grond, het

¹ Bij de Botlekspoortunnel, waar met EPB-schild is geboord, is dit voor het eerst toegepast. Bij eerdere EPB-tunnels werd de grond afgevoerd met transportbanden, treinwagons of vrachtauto's.

verminderen van de slijtage aan de boorkop en het verlagen van het benodigd draaimoment van het graafwiel. De opslag van additieven kan op het maaiveld geplaatst worden.

- **Compressor-station**
In de TBM is ook luchtdruk nodig. Lucht is benodigd voor de personenluchtsluis die zich aan de voorkant van de TBM bevindt vlak achter de werkkamer en voor het onder luchtdruk zetten van de werkkamer. Wanneer er met een hydroschild geboord wordt is ook voor de luchtkamer boven in de werkkamer lucht nodig. Met de luchtdruk in deze kamer wordt de steundruk beheerst in de werkkamer. Verder is er lucht nodig voor luchtgereedschap in de TBM. Ventilatie wordt onder lage druk aangevoerd door een aparte ventilator. Voor het aanmaken van schuim staat een aparte compressor op de TBM.
- **Loodsen**
De loodslen dienen voor het opslaan van kleine materialen en klein materieel. Ook worden hier onderhoudswerkzaamheden, reparaties en andere kleine werkzaamheden verricht. Hiervoor worden vaak romney-loodslen gebruikt.
- **Open opslagterrein**
Er dient altijd rekening mee gehouden te worden dat er reserve opslagcapaciteit is voor onvoorziene omstandigheden.



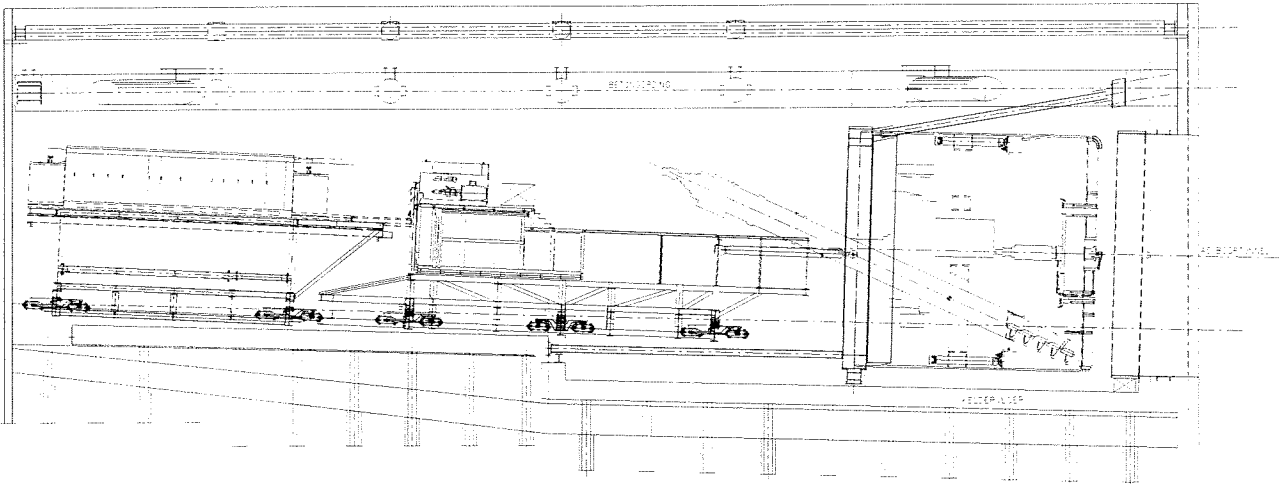
*foto's: bouwterrein
ingesloten tussen
autosnelweg en spoorlijn,
minimaal beschikbare
ruimte op het maaiveld
boven: startschacht
Botlekspoortunnel /onder:
toerit west
Botlekspoortunnel*

5 Inrichting startschacht

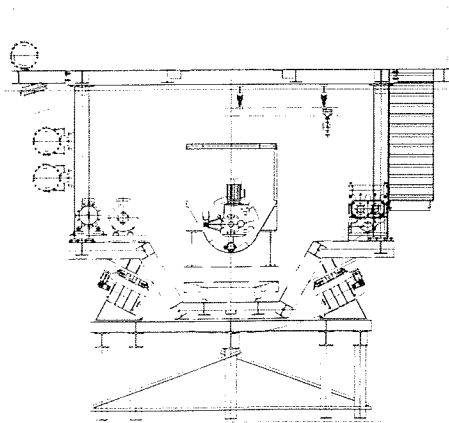
In dit hoofdstuk worden de onderdelen die in een startschacht voor een boortunnel worden geplaatst beschreven. Niet alle genoemde onderdelen worden per definitie in de startschacht geplaatst. Dit wordt dan bij het desbetreffende onderdeel vermeldt. Als voorbeeld van de inrichting van een startschacht, 2^e Heinenoordtunnel en Botlekspoortunnel, zie bijlage 3 'Inrichting maaiveld en startschacht bij 2^e Heinenoord- en Botlekspoortunnel'.

- Pompkelder

In de startschacht wordt een pompkelder aangebracht. Deze dient in de permanente fase voor het opvangen van regenwater dat in de toerit terecht komt en voor opvang van bluswater tijdens calamiteiten. Een andere functie van de pompkelder is het opvangen van vloeistoffen die kunnen vrijkomen bij calamiteiten. Indien een sprinklerinstallatie wordt toegepast dient de pompkelder ook voor het opvangen van bluswater uit de sprinklerinstallatie bij calamiteiten. De pompkelder wordt in principe zo dicht mogelijk bij het overgangsgedeelte geplaatst. Hier gaat de open toerit over in overdekte toerit. Het regenwater wordt zodoende over een minimale lengte verpompt. Omdat voor de bouw van een boortunnel in de startschacht tevens een verdiept deel nodig is voor het opstellen van de TBM wordt hier meteen ook de pompkelder aangebracht. Indien gestart zou kunnen worden met de TBM vanaf de onderwaterbetonvloer (deze dient dan wel gewapend te zijn) kan men overwegen de pompkelder niet in de startschacht te plaatsen maar daar waar de open toerit overgaat in overdekte toerit. De diepte van de startschacht kan dan enigszins beperkt worden.

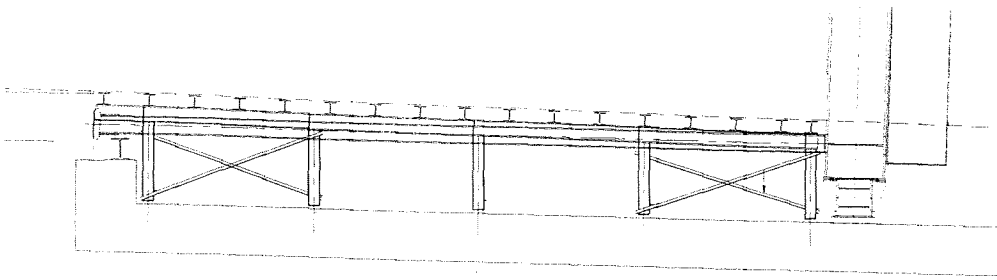


VOORBEELD DOORSNEDE BOUWKUIP MET POMPKELDER



- Uitvulling

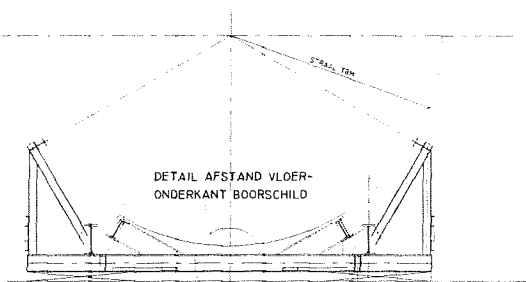
De uitvulling wordt aangebracht in de pompkelder van de startschacht en bestaat uit een staalconstructie die afgesteund wordt op de onderliggende betonvloer. Op de uitvulling wordt op de plek waar het boorschild moet komen het schildzadel geplaatst. Ter plaatse van het schildzadel is de uitvulling minder hoog dan daarachter. Als het boorschild in de grond is verdwenen worden alle volgagens over de uitvulling heen geleid. Wanneer ook alle volgagens zich in de tunnelbuis bevinden wordt er rails aangelegd op de uitvulling voor de treinen die materiaal moeten aanvoeren. Indien zich geen pompkelder in de startschacht bevindt kan met een kleinere verdieping worden volstaan.



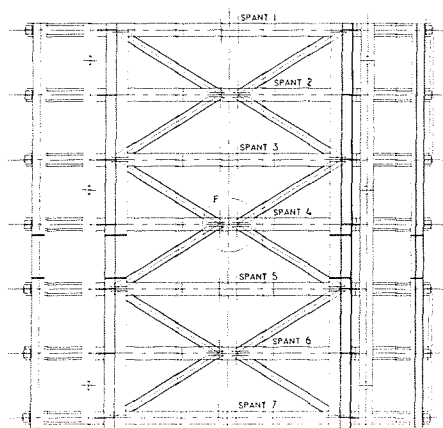
DOORSNEDENEGEDE MIT AUKKUNDT BEI VOLTARRENS

- Schildzadel

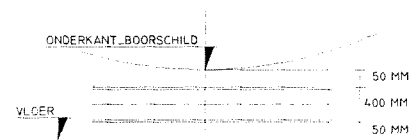
Het schildzadel wordt geplaatst op schuifbanen of direct op de constructievloer. Plaatsing van het schildzadel direct op de constructievloer kan alleen indien de pompkelder niet in de startschacht wordt geplaatst. Het plaatsen kan gebeuren volgens tekening. De ondersteuning (driehoeken) van het boorschild aan de zijanten van het schildzadel is nodig tijdens de montage van het boorschild.



DOORSNEDE SCHILDZADEL STARTSCHACHT



BOVENAANZICHT SCHILDZADEL STARTSCHACHT



DETAIL AFSTAND VLOER-ONDERKANT BOORSCHILD

Bij toepassing van een pompkelder in de startschacht zal er vrije ruimte overblijven tussen bovenkant constructievloer en onderkant liggers van het schildzadel. Om deze ruimte op te vullen kunnen stalen balken gebruikt worden. Deze stalen balken worden in de goede positie gebracht. Dit gaat op dezelfde manier als wanneer het schildzadel direct op de constructievloer geplaatst wordt. Door deze balken dwars op de lengteas van de boortunnel te plaatsen wordt ook een mogelijkheid gecreëerd om het schildzadel en het boorschild in dwarsrichting te kunnen verschuiven. Dit kan nodig zijn wanneer door aangebrachte stempeling in de startschacht alleen in het midden voldoende ruimte is om het boorschild in op te bouwen.

Wanneer het schildzadel direct op de constructievloer wordt opgesteld wordt het schildzadel zelf in de goede positie gesteld. Als de pompkelder in de startschacht wordt geplaatst wordt een uitvulling van stalen balken aangebracht onder het schildzadel. Deze worden dan in de goede positie gesteld waarna het schildzadel bij plaatsing op de stalen balken qua helling en hoogte meteen in de goede positie staat. Het referentiepunt waaruit gewerkt wordt bij het stellen van het schildzadel of de uitvulling is het middelpunt van de toekomstige boortunnel. Dit is gelijk aan het middelpunt van de mantelring. Als hulpmiddel bij het stellen kan hardhout of staal gebruikt worden. Na het stellen kan het schildzadel of de uitvulling met gietmortel andersabelt worden.

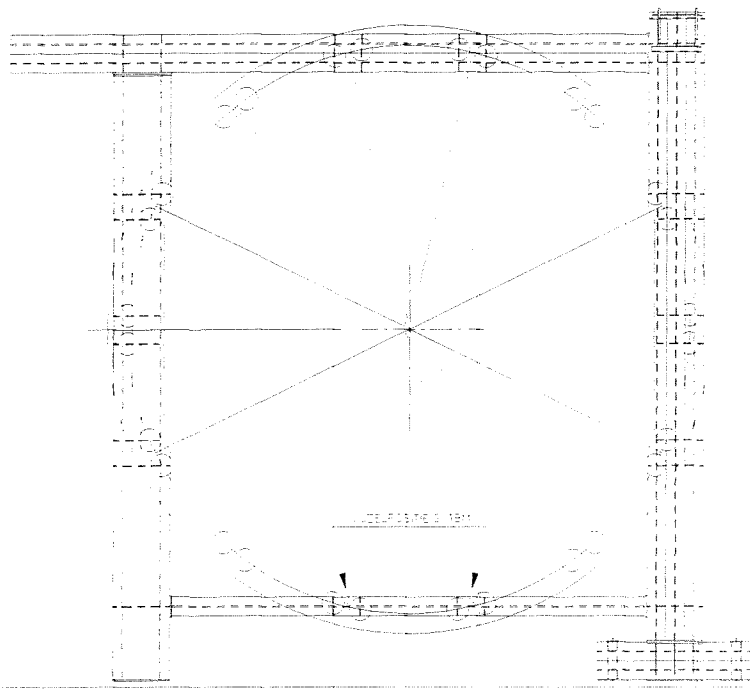
Indien geen pompkelder wordt toegepast in de startschacht is de benodigde afstand tussen bovenkant constructievloer en onderkant boorschild minimaal 500 mm (zie tekening schildzadel en de detailtekening). De speling tussen de liggers onder het schildzadel en de constructievloer dient 50 mm te zijn

om het schildzadel nog goed te kunnen stellen. Deze hoogte dient aangepast te worden aan de vlakheid die verkregen kan worden bij het aanbrengen van de constructievloer. De hoogte van de ligger hangt af van het gewicht van het boorschild. Een goed uitgangspunt is een hoogte van ca. 400 mm. Tot slot de ruimte tussen de ligger en de onderkant van het boorschild. Hiervoor dient een ruimte aangehouden te worden van 50 mm.

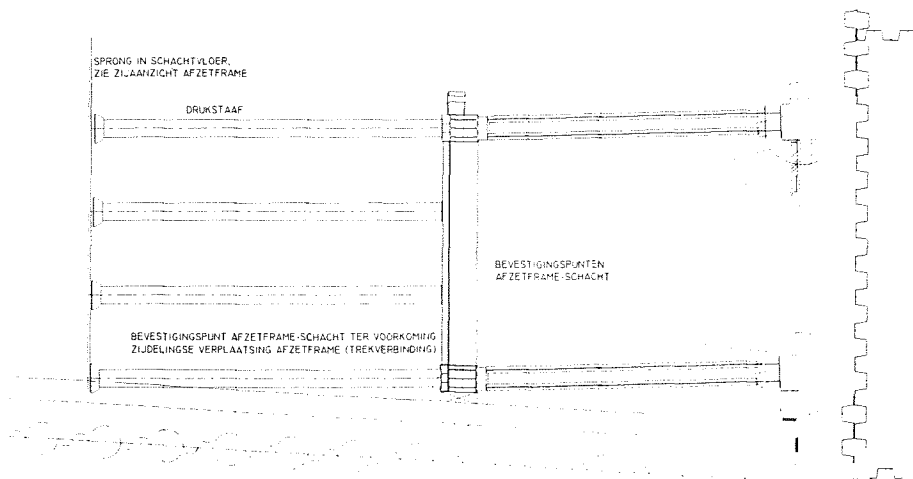
- Afzetframe & Drukkring

Het afzetframe dient voor het opvangen van de afzetkrachten die het boorschild uitoefent bij de start van het boorproces. Het boorschild draagt de afzetkrachten via de drukkring over aan het afzetframe. Zowel het afzetframe en de drukkring zijn stalen constructies. Het afzetframe wordt aan de onderkant met drukstaven afgesteund tegen de sprong tussen tunnelvloer en keldervloer in de schachtvloer. Aan de bovenkant zit het afzetframe met trekstangen verankerd aan de brilwand (2^e Heinenoord- en Botlekspoortunnel). Andere mogelijkheden zijn: de bovenste ligger van het afzetframe draagt de afzetkracht direct af naar de zijwand van de startschacht (Botlekspoortunnel) of de bovenste ligger draagt de afzetkracht middels drukstaven af aan het stempelraam in de startschacht (Sophiaspoortunnel). Het afzetframe dient gedimensioneerd te worden op de maximale krachten die het boorschild kan leveren. Dit om risico's (kapot drukken afzetframe) tijdens te uitvoering te minimaliseren. De maximale vijzelkrachten worden bepaald door de benodigde vijzelkrachten tijdens het opstarten van de TBM ter plaatse van het diepste punt in de boortunnel. De werkelijk optredende

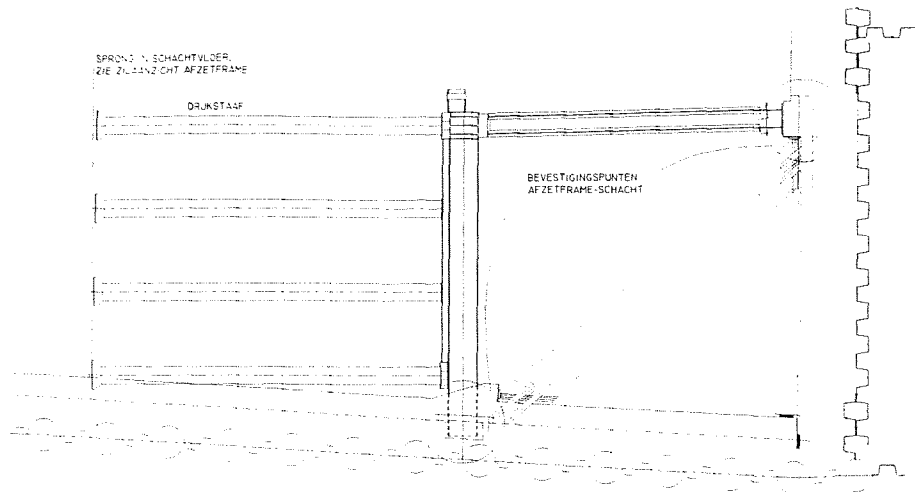
vijzelkrachten tijdens het startproces zijn veelal een stuk kleiner. Toch kan het tijdens het startproces voorkomen dat er grotere vijzelkrachten uitgeoefend dienen te worden om vooruit te komen, bijvoorbeeld als de sterkte van het dichtblok groter blijkt dan waar vooraf vanuit is gegaan. Ook kan het voorkomen dat bepaalde vijzels grotere krachten leveren dan andere waardoor een excentrische belasting ontstaat. Door dimensionering op de maximale vijzelkrachten kunnen deze problemen dus voorkomen worden. In bijlage 7 'Uitwerking horizontaal evenwicht Botlekspoortunnel' zijn als illustratie de gemeten vijzelkrachten weergegeven en de kracht waarop het afzetframe is gedimensioneerd (op maximaal voorkomende krachten tijdens het boorproces). Hier zijn de toelaatbare krachten op het afzetframe niet overschreden.



AFZETFRAME



KRACHTSAFDRACHT MIDDELS TREKSTAVEN

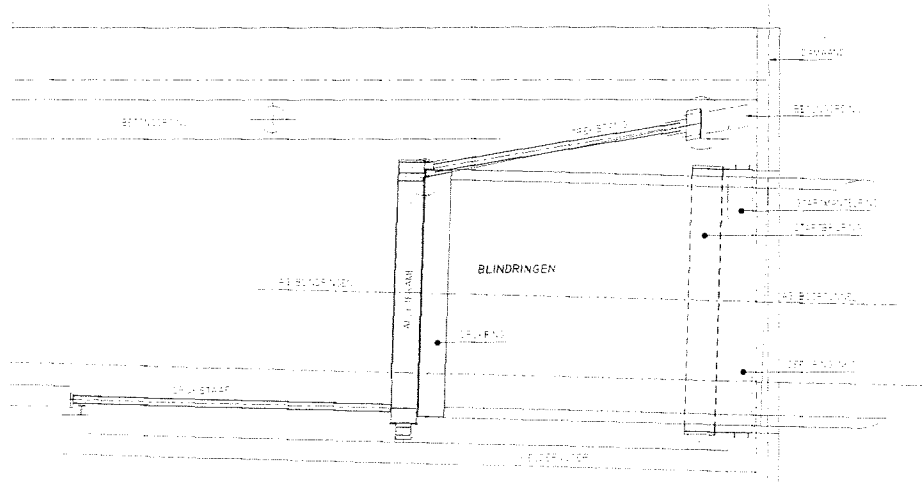


KRACHTSAFDRACHT MIDDELS TREKSTAAF EN BOVENSTE LIGGER AFZETFRAME

- Blindringen (in doorsnede afzetframe)

Om de krachten over te dragen van het boorschild naar het afzetframe worden tussen de drukring en de brilwand blindringen geplaatst. Deze blindringen hebben een tijdelijke functie om krachten over te dragen totdat de tunnelbuis zelf genoeg wrijving kan ontwikkelen om de frontdruk aan de omringende grond af te dragen. Op het moment dat de tunnelbuis zelf de benodigde voorspanning kan leveren worden de blindringen en het afzetframe verwijderd.

Omdat dit een verstoring van het tunnelbouwproces met zich meebrengt laat men het moment van verwijdering van de blindringen vaak samenvallen met andere logistieke werkzaamheden in de startschacht die ook moeten gebeuren. De totale stilstandtijd van de TBM kan zo worden beperkt.



ZIJN ZIJKZICHT AFZETFRAME

- Rails

Zodra de TBM in de tunnel verdwenen is, wordt de rails voor de transporttreinen aangelegd. Ter plaatse van de pompkelder wordt de rails op de uitvulling geplaatst.

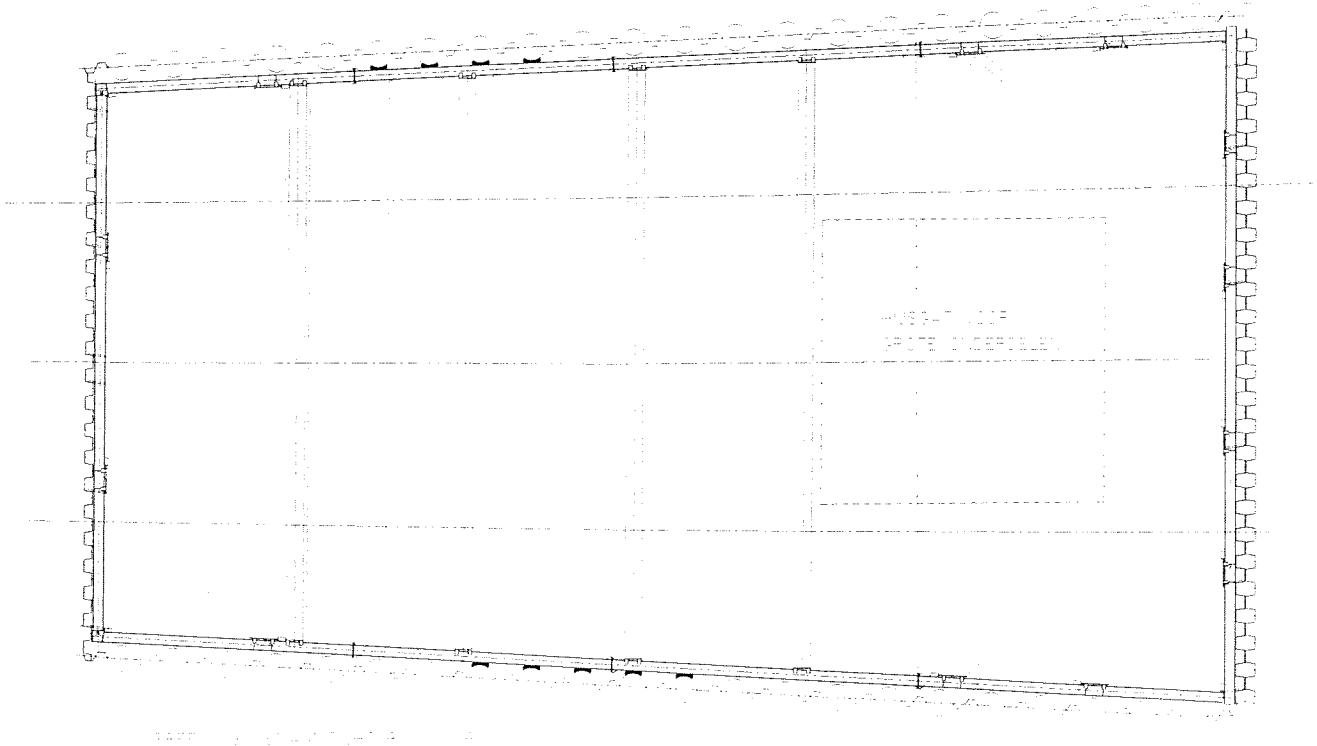
- Dagmaat afstand stempels

De dagmaat tussen de stempels wordt vaak bepaald door constructieve eisen. Vaak wordt gerekend met stempeluitval, dit mag niet tot het bezwijken van de hele startschacht leiden. Voor een startschacht is het belangrijk dat een segment bij verticaal transport met de ringkopvlakken haaks op de stempels goed tussen twee stempels door gemanoeuvreed kan worden door een kraan. Bovendien is het makkelijk voor de betonbouwers als er voldoende ruimte is om steigers en bekistingpanelen tussen de stempels door te manoeuvreren. Een dagmaat van 6 meter levert een werkbare situatie op.

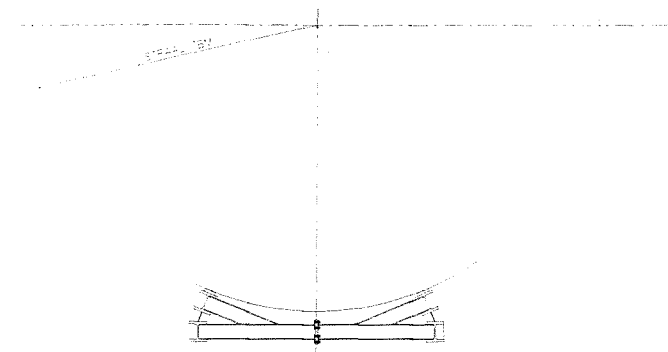


DAGMAAT TUSSEN STEMPELS T.O.V. TUNNELSEGMENTEN

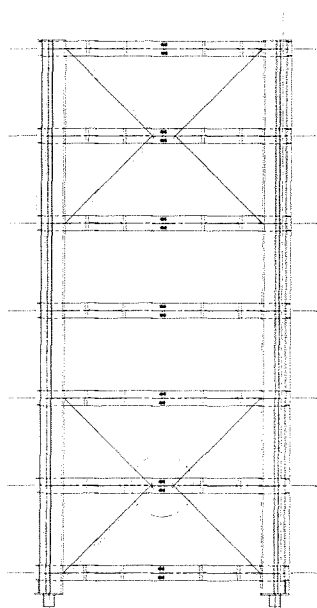
- Hoogte stempels boven constructievloer
De stempels dienen zich op zo'n hoogte te bevinden dat deze voor het opbouwen en starten van de TBM geen problemen opleveren. Hierover dient met de TBM-leverancier overlegd te worden. Verder dient rekening gehouden te worden met de plaatsing en hoogte van het afzetframe en met de hoogte van het schildzadel dat onder het boorschild wordt geplaatst.
- Plaats stempels
Bij het plaatsen van de stempels dient rekening te worden gehouden met het eventuele aanbrengen van trekelementen op de bodem van de startschacht. Indien er bijvoorbeeld vibrocombinatiepalen geheid moeten worden mag er boven de plaats waar deze palen moeten komen geen stempels aanwezig zijn omdat anders de palen niet geheid kunnen worden.
- Grootte hijsgat
Indien er stempels worden toegepast in de startschacht in plaats van ankers levert dit tijdens de bouw hinder op voor het verticale transport. Voor de grootste onderdelen die de startschacht ingehesen worden dient een hijsgat aanwezig te zijn (zie voorbeeld bovenaanzicht bouwkuip). De grootte van het hijsgat wordt bepaald door het grootste onderdeel dat de startschacht ingehesen moet worden.



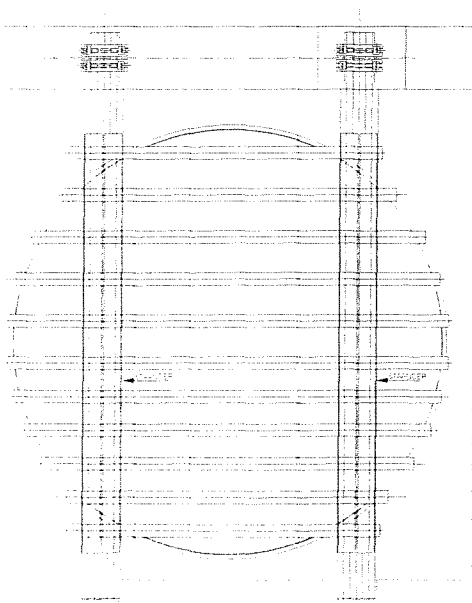
6 Inrichting ontvangtschacht



DOORSNEDE SCHILDZADEL ONTVANGTSCHACHT



BOVENAANZICHT SCHILDZADEL ONTVANGTSCHACHT



De onderdelen die hier genoemd worden zijn gebruikelijk in ontvangtschachten van Nederlandse boortunnels. Omdat er verschillende ontvangtmethoden zijn (zie hoofdstuk 12 Start- en ontvangstprocedures) kan het zijn dat niet alle onderdelen daadwerkelijk gebruikt worden tijdens de ontvangst.

Pompkelder
Zie startschacht.

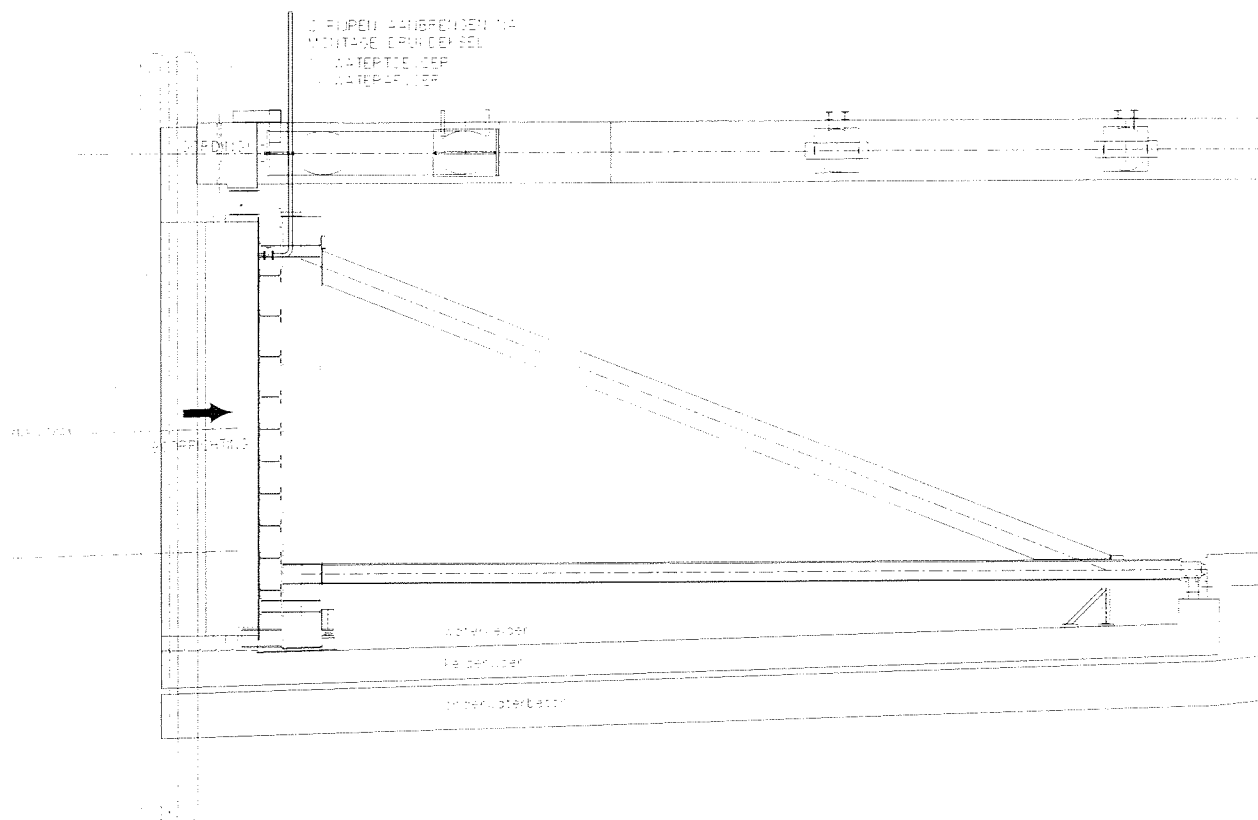
Uitvulling
Zie startschacht.

Schildzadel
Het schildzadel wordt geplaatst op schuifbanen of direct op de constructievloer. Plaatsing van het schildzadel direct op de constructievloer kan alleen indien de pompkelder niet in de ontvangtschacht wordt geplaatst. Het plaatsen van het schildzadel in de juiste positie kan pas gebeuren nadat de exacte positie van het boorschild bekend is. Hiervoor dient de positie van het boorschild ingemeten te worden in het werk. Dit kan pas gebeuren wanneer de kop van het boorschild door de brilwand zichtbaar is. Wanneer een drukdeksel wordt toegepast bij de ontvangstprocedure dient dit dus eerst verwijderd te worden. Bij ontvangst in een zandlichaam is geen schildzadel benodigd, het boorschild wordt afgesteund door de omringende grond. Wanneer het boorschild onder water ontvangen wordt dient het schildzadel dus ook onder water gesteld te worden.

Zie voor stellen van het schildzadel of de schuifbanen op de constructievloer hoofdstuk 5 Inrichting startschacht.

Drukdeksel
Het drukdeksel wordt tegen de brilwand aangebracht en sluit de achterliggende ruimte in de mantelring waterdicht af. De waterdichtheid wordt verkregen door een rubber afdichtingsprofiel tussen het drukdeksel en de mantelring te monteren. De ruimte wordt voor de ontvangst volgepompt met water. Om drukfluctuaties tijdens het ontvangstproces op te vangen worden twee leidingen, één voor bijvullen en één voor aflaten, tussen bovenkant drukdeksel en maaiveld aangebracht. Indien combiwand wordt toegepast in brilwand kan een open buispaal gebruikt worden om drukfluctuaties op te nemen. Aan de onderkant wordt het drukdeksel in horizontale richting afgesteund door drukstaven die hun krachten afdragen aan de sprong in de schachtvloer en aan de bovenkant wordt het drukdeksel afgesteund door een tweetal schoren die eveneens hun krachten afdragen aan de

sprong in de schachtvloer. In het drukdeksel bevindt zich aan de onderkant een mangat. Dit wordt gebruikt voor het controleren van de waterkerendheid van het geïnjecteerde grout. Voor een gedetailleerde beschrijving van het drukdeksel zie 9.3 Detaillering brilwand.



DOORSNEDE DRUKDEKSEL MET SCHOORCONSTRUCTIE

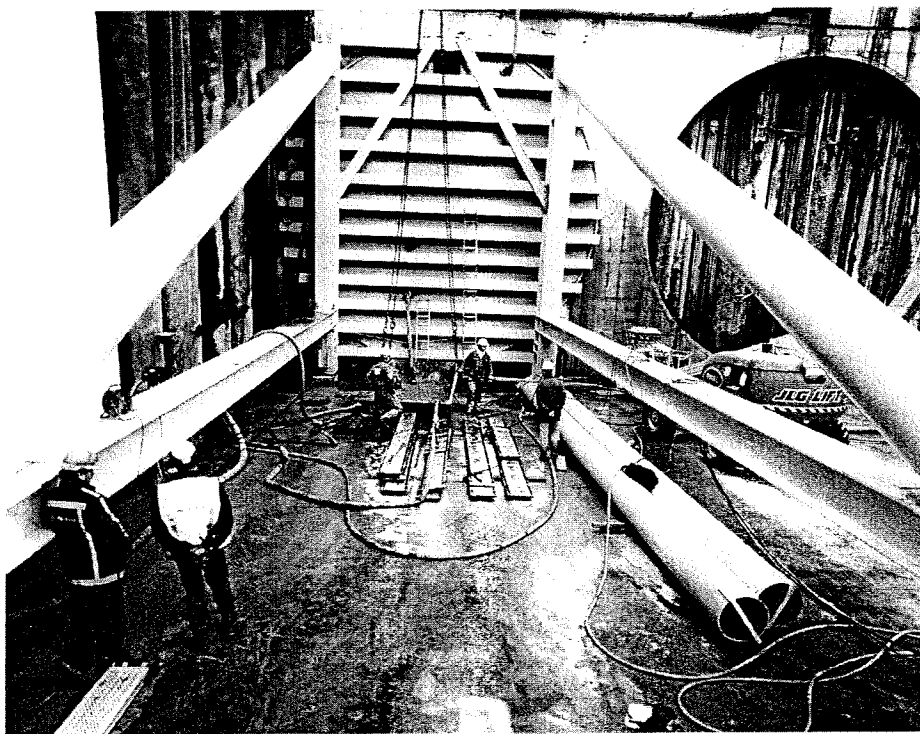


foto: voorbereidingen voor verwijderen drukdeksel eerste tunnelbuis Botlekspoortunnel

7 Benodigde geometrie

7.1 Algemeen

Voor het ontwerpen van een schacht dienen eerst de benodigde inwendige afmetingen te worden bepaald. Deze afmetingen volgen uit alle processen die zich in de schacht afspelen en al het materiaal/materieel dat zich in de schacht bevindt. Deze zaken zijn af te leiden uit de functies die een schacht dient te vervullen, deze functies zijn te vinden in hoofdstuk 2 Functies start- en ontvangtschacht. Het blijkt dat de afmetingen ook worden bepaald door de eisen die volgen uit de bouwfase. De gebruiksfase kan invloed hebben op de minimaal toe te passen boogstralen van de tunnelbuizen en de bouw van dienstgebouwen in of op de schacht.

Voor het bepalen van de positie waar een schacht moet komen zijn twee mogelijkheden:

De eerste mogelijkheid is dat de plaats van de schacht op een vooraf vastgestelde plek moet komen als gevolg van de (geringe) beschikbare ruimte. Er is bijvoorbeeld weinig keus met betrekking tot de ideale locaties voor het plaatsen van de schachten. Dit was bijvoorbeeld het geval bij de Botlekspoortunnel, hier was slechts één locatie beschikbaar voor het bouwen van de startschacht in verband met een kabel- en leidingstrook en de geringe breedte van het werkterrein. Een andere reden kan zijn dat de functie die de schacht later krijgt vereist dat de schacht op een vooraf bepaalde locatie komt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de schacht in de gebruiksfase als station dient. In dit geval kan ook afgeweken worden van de minimale aanlegdiepte, breedte en lengte die volgen uit de bouwfase. De gebruiksfase kan dan bepalend zijn voor de afmetingen van de schacht.

Indien de schacht niet op een vooraf vastgestelde plaats behoeft te komen, kan de ideale locatie langs het tracé bepaald worden. Het alignement volgt uit de maximaal toegestane hellingen, dwangpunten en minimum toe te passen boogstralen in het horizontale en verticale alignement. Er van uitgaande dat het horizontale en verticale alignement is vastgesteld moet het boorgedeelte gemaximaliseerd worden uit kostenoverwegingen. Hierdoor wordt de aanlegdiepte van de schacht geminimaliseerd, dit heeft grote invloed op de kosten. De kosten van een schacht nemen namelijk meer dan evenredig toe bij het dieper worden hiervan. Bovendien zijn de kosten van een strekkende meter boortunnel lager dan die van een strekkende meter toerit welke op traditionele manier wordt gebouwd. Voor de kosten per strekkende meter boortunnel dienen alleen de directe kosten zoals materiaal en arbeid meegenomen te worden. De vaste kosten voor de aanschaf van de TBM worden nauwelijks beïnvloed indien de boortunnel wat langer of korter wordt. Bij het bepalen van de ideale locatie (en ook de aanlegdiepte) van de schacht kan gebruik gemaakt worden van hoofdstuk 2.5 Keuze aanlegdiepte van start- en ontvangtschacht. Hierin worden de aspecten genoemd die bepalen welke principeoplossing het beste toegepast kan worden bij een bepaald project. De breedte van de startschacht wordt ook geminimaliseerd vanuit kostenoverwegingen, de minimale breedte wordt bepaald door de uitvoering en de benodigde onderlinge afstand van de tunnelbuizen in verband met het boorproces. Wanneer de locatie van de schacht vastligt dient het horizontale en verticale alignement van de sporen of rijbanen zodanig aangepast te worden dat dit ter plaatse van de schacht overeenkomt met de minimale breedte en de aanlegdiepte van de schacht.

Als enige variabele blijft dus de lengte van de schacht over. Wat betreft de lengte van de startschacht heeft men de keuze uit een minimale lengte voor de startschacht en een lengte waarbij de hele TBM in één lijn opgesteld kan worden. Indien er geen toerit gebouwd wordt kan uit kostenoverwegingen gekozen worden voor een minimale lengte van de startschacht. Meestal wordt er echter wel een toerit gebouwd. Een minimale lengte van de startschacht heeft dan geen invloed op de directe kosten omdat deze sowieso gemaakt worden. Vanwege planningstechnische redenen kan in dit geval wel gekozen worden voor minimale lengte van de startschacht. Een minimale lengte van de startschacht leidt namelijk ook tot een minimale bouwtijd van de startschacht. Er kan zodoende eerder begonnen worden met de opbouw van de TBM en dus ook met het boorproces. Een nadeel van een korte startschacht is dat een aantal volgwagens halverwege de start van het boorproces zijdelings ingeschoven dienen te worden. Dit betekent verstoring van het boorproces en de hierbij optredende kosten. De lengte van de ontvangtschacht is minder kritisch. De TBM hoeft hier alleen maar gedemonteerd te worden. Indien een korte ontvangtschacht wordt toegepast zal vaak gekozen

worden voor een grootte van ongeveer 20 meter, wat overeenkomst met een standaard mootlengte van de later in het werk te maken toerit.

In de volgende paragrafen worden de aanlegdiepte, breedte en lengte voor zowel de start- als ontvangtschacht verder uitgewerkt. Hierbij valt op dat een groot deel van de randvoorwaarden hetzelfde is voor beide type schachten. Het verschil zit vooral in het opstellen en ontvangen van het boorschild met alle volgagens.

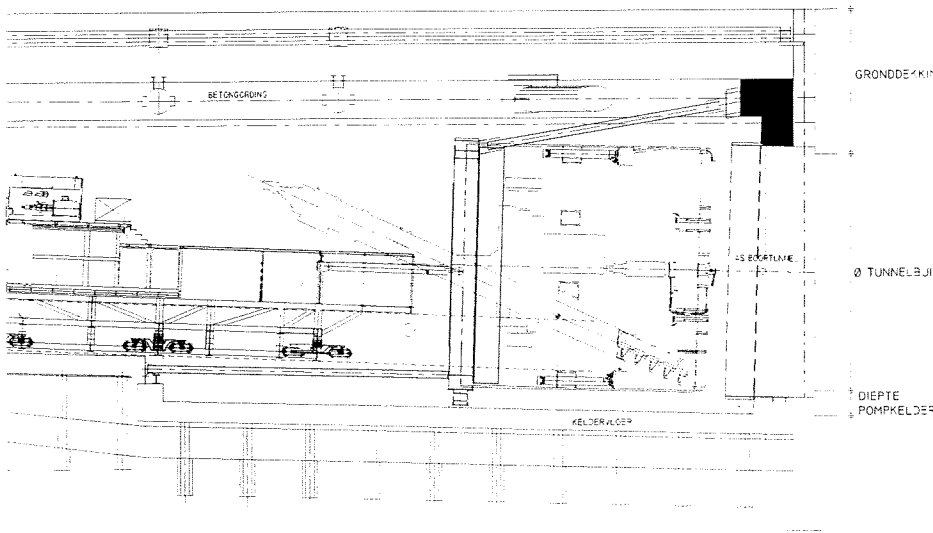
7.2 Startschacht

Afmetingen startschacht

Aanlegdiepte startschacht

De aanlegdiepte van de bovenkant van de constructievloer wordt bepaald door de uitwendige diameter van de tunnelbuis, de benodigde dekking op de tunnelbuis en diepte van de pompkelder. Voor het bepalen van de ontgravingdiepte dient de dikte van de vloerconstructie bij de inwendige diepte te worden opgeteld. De vloerconstructie bestaat uit onderwaterbeton en/of constructiebeton. Bovendien dient er in sommige gevallen rekening gehouden te worden met het zwellen van de bodem na ontgraving en met een uitvullaag die aangebracht wordt voor het egaliseren van het ontgraven oppervlak. De drie hierboven genoemde aspecten zullen worden toegelicht.

- **Uitwendige diameter van de tunnelbuis**
De tunnelbuis dient over de gehele hoogte in de startschacht uit te komen. De wanddikte van een segmentring is met een vuistregel te bepalen, zie bijlage 4 'Bepaling diepteligging start- en ontvangtschacht'.



VOORBEELD I
LANGSDOORSNEDE STARTSCHAFT MET DAARBIJ DE HOOGTES
DIE DE DIEPTELIJGGING VAN DE STARTSCHAFT BEPALEN

- **Gronddekking**
Voor de dekking op de tunnelbuis is behalve de veiligheid tegen opdrijven van de buis ook van belang de situatie waarbij de werkkamer onder luchtdruk staat. Deze situatie ontstaat bij uitvoering van reparatie- en onderhoudswerkzaamheden in de werkkamer. De luchtdruksituatie is meestal maatgevend. Soms wordt voor die situatie extra gronddekking boven

die plek aangebracht. In dat geval wordt alleen gerekend met opdrijven voor het bepalen van de dekking. Er kan dan met een kleinere dekking worden volstaan. Dit heeft grote financiële voordelen. Een minimale dekking die wordt toegepast bij een gemiddelde grondsoort en grondwaterstand is $0,5 \cdot D$. Voor bepaling van de benodigde dekking volgens de verschillende criteria zie bijlage 4 'Bepaling diepteligging start- en ontvangtschacht'.

- **Diepte pompkelder**
Aan zowel het begin als het eind van een geboorde tunnelbuis bevindt zich een pompkelder. De netto diepte van de pompkelder is meestal circa 1 meter, dit is de afstand onderkant tunnelbuis tot bovenkant constructievloer. Omdat de verdieping voor de pompkelder ook gunstig is voor het opstellen van de TBM zit deze altijd direct voor de brilwand in de startschacht. Het opstellen van

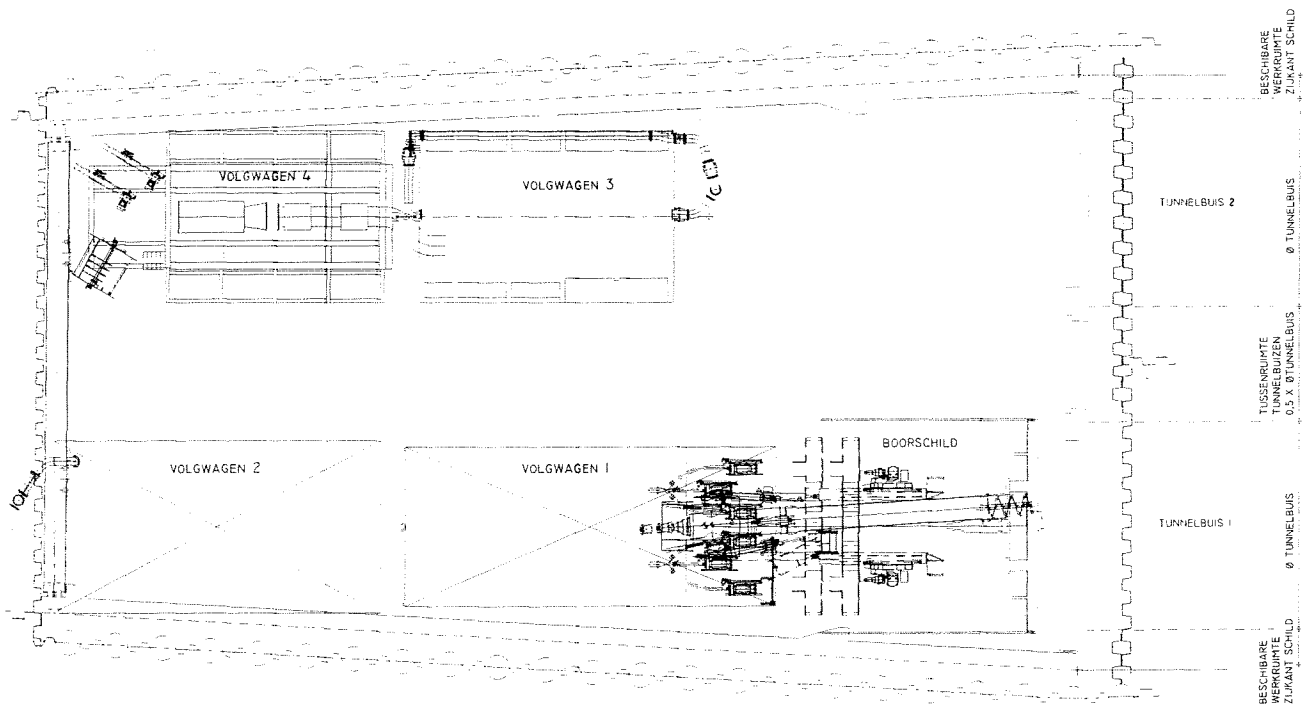
het boorschild gebeurt op een schildzadel, hierover worden ook de volgwagens geleid dus het is belangrijk dat bij het maken van het schildzadel hier ook rekening mee wordt gehouden.

Indien geen pompkelder wordt toegepast kan de TBM in principe ook direct op de onderwaterbetonvloer opgesteld worden. Deze zal constructief geschikt moeten zijn en voldoende waterdicht. Het voordeel is dat dan de aanlegdiepte van de startschacht beperkt kan worden. Per project moet bekeken worden of de kostenbesparing van een minder diepe startschacht opwegen tegen een duurdere onderwaterbetonvloer.

Breedte startschacht

De inwendige breedte van de startschacht wordt bepaald door:

- Uitwendige diameter van de tunnelbuis
De basisbreedte van de startschacht wordt bepaald door de uitwendige diameter van de buis.



VOORBEELD 2
BOVENAANZICHT STARTSCHACHT MET TWEE TUNNELBUZEN WAARBIJ OM
PLANNINGSTECHNISCHE REDENEN VOOR EEN KORTERE STARTSCHACHT IS GEKOZEN

- Het aantal buizen

De situaties die voor dit handboek als uitgangspunt zijn genomen zijn de situaties waarbij één of twee buizen op de startschacht aansluiten. Het aantal buizen bepaald namelijk of er een tussenruimte aangebracht moet worden tussen de buizen. Bij één buis is dit niet het geval, maar wanneer er twee buizen aansluiten op de startschacht dienen de buizen een bepaalde onderlinge hart op hart afstand te hebben. Dit omdat tijdens het boren van de tweede buis de reeds geboorde buis beïnvloed kan worden, de grond naast de eerste buis kan zich ontspannen. Gevolg kan zijn dat de voegconstructies niet meer voldoende afsluiten en er dus lekkage kan optreden. Als uitgangspunt voor de minimale hart op hart afstand van twee tunnelbuizen ter plaatse van de start- en ontvangtschacht wordt daarom $1,5 \cdot D_{\text{uitwendig}}$ aangehouden, het komt ook wel voor dat een nog kleinere hart op hart afstand aangehouden wordt. Zie voor theorie bijlage 5 'Bepaling breedte start- en ontvangtschacht'.

Voor het grootste gedeelte van de boortunnel wordt een hart op hart afstand van $2,0 \cdot D$ aangehouden. Dit is uit oogpunt van wederzijdse beïnvloeding van de tunnelbuizen een betere afstand. Daar waar de tunnelbuizen aansluiten op de startschacht wil men de onderlinge afstand echter zo klein mogelijk houden uit kostenoverwegingen of uit ruimtegebrek. Omdat de toerit een

rechthoekig profiel heeft en uit één constructie bestaat ligt hier de aansluitende rails of weg, al of niet in meerdere tunnelbuizen, veel dichter tegen elkaar. Om nu de situatie te bereiken waarin de twee tunnelbuizen een hart op hart afstand krijgen van $1,5 \cdot D$ is het nodig dat er in het horizontale alignement van de tunnel een boogstraal wordt aangebracht. Deze zal meestal al voor de startschacht beginnen en doorlopen tot in de geboorde tunnelbuis waarna een overgangsboog volgt en weer een boogstraal in tegenovergestelde richting. Om te bereiken dat de hart op hart afstand van $1,5 \cdot D$ zo snel mogelijk wordt bereikt dient een zo klein mogelijke boogstraal aangehouden te worden. Er is echter een minimum boogstraal die aangehouden dient te worden bij het bouwen van boortunnels. Deze minimum boogstraal kan bepaald worden door twee factoren.

De eerste voorwaarde waaraan moet worden voldaan is dat het boorschild en de volgwagens de boogstraal dient te kunnen volgen. Dit is afhankelijk van de lengte van het boorschild en de afzonderlijke volgwagens. Indien de lengte van het schild voor een bepaalde boogstraal te groot is en de lengte van het schild om wat voor reden dan ook niet kleiner kan worden is een laatste mogelijkheid om een geleed schild toe te passen. Een geleed schild kan een knik maken halverwege het schild. Dat dit echt als laatste mogelijkheid moet worden bekeken vanuit kostenoverwegingen zal duidelijk zijn.

Een tweede voorwaarde waaraan dient te worden voldaan is de minimum boogstraal die aangehouden dient te worden voor het verkeer dat door de tunnel heen moet. Hier wordt onderscheid gemaakt tussen wegvervoer (auto's, vrachtauto's, landbouwvoertuigen en fietsers), spoorwegen (normale passagierstrein, goederentrein en hogesnelheidstrein) en stadsrailvervoer (metro, sneltram en geleide bus). Voor al deze soorten verkeer gelden verschillende eisen met betrekking tot de toe te passen boogstralen.

Voor bepaling van de grootte van de boogstralen volgens de twee bovenstaande voorwaarden zie bijlage 5 'Bepaling breedte start- en ontvangtschacht'.

Het verticale alignement van de tunnel ter plaatse van de startschacht ligt meestal niet in een boogstraal maar wel onder een helling.

- De werkruimte tussen het boorschild en de zijwand
Geadviseerd wordt om hier een breedte voor 1,25 meter voor te reserveren. Deze wordt bepaald door de werkzaamheden die verricht worden naast de TBM wanneer deze in positie staat om te gaan boren. De staalplaatjes die de opblaasbare slang tegenhouden tijdens injecteren moeten op hun plek worden geschoven en de aansluiting van het afdichtingsprofiel op het boorschild moet worden gecontroleerd.

De uitwendige breedte van de startschacht wordt bepaald door de inwendige breedte van de startschacht te vermeerderen met de dikte van de twee zijwanden van de startschacht.

Lengte startschacht

De inwendige lengte van de startschacht wordt bepaald door:

De lengte van het boorschild met alle volgwagens (optimaal voor start boorproces). In dit geval is er een lange startschacht nodig of de toerit die aansluit op de startschacht moet gereed zijn. Voor het vergemakkelijken van de start van het boorproces verdient het de voorkeur dat het boorschild en de volgwagens in één rij opgesteld kunnen worden.

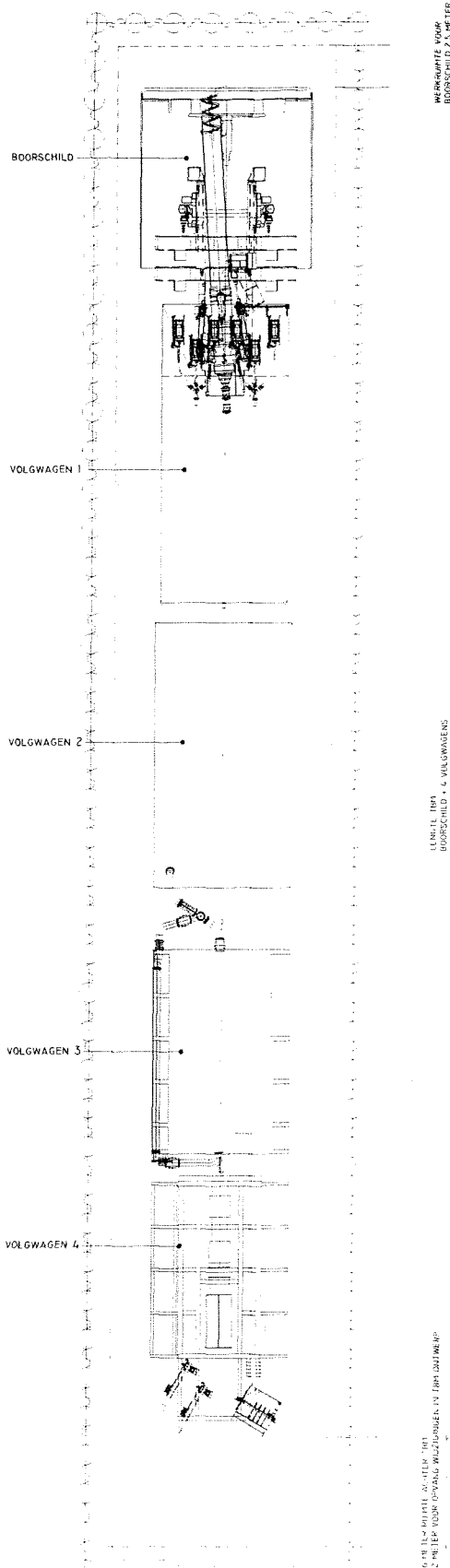
*Voorbeeld lengte, gewicht en functies TBM aan de hand van TBM-Bottlekspoortunnel:
Bottlekspoortunnel is geboord met een EPB-schild. TBM bestaat uit een boorschild en 4 volgwagens.*

Algemeen:

<i>Totale lengte TBM</i>	<i>: 75 m;</i>
<i>Totaal gewicht TBM</i>	<i>: 1325 ton;</i>
<i>Spoorbreedte assen volgwagens</i>	<i>: 4,0 m.</i>

Boorschild:

<i>Diameter boorschild</i>	<i>: 9,75 m;</i>
<i>Lengte boorschild</i>	<i>: 10 m;</i>
<i>Gewicht</i>	<i>: 822 ton.</i>



VOORBEELD 3
BOVENAANZICHT STARTSCHACHT MET ENKELE
TUNNELBUIJS EN MINIMALE BREEDTE WAARBIJ
TBM IN EEN LIJN STAAT OPGESTELD

Functies:

- water- en grondkeren;
- afgraven grond;
- plaatsen segmenten;
- voortbewegen TBM;
- afvoer grond door avegaar;
- vullen staartspleet;
- aandrijving graafwiel.

Volgwagen 1:

Lengte volgwagen 1 : 22 m;
Gewicht : 180 ton.

Functies:

- aanmaken additief voor verwerkbaar maken grond;
- tijdelijke opslag segmentring;
- doorvoer segmentring;
- afvoer droge grond;
- opslag mortel.

Volgwagen 2:

Lengte volgwagen 2 : 14 m;
Gewicht : 160 ton.

Functies:

- overslag segmenten;
- besturing TBM;
- afvoer droge grond;
- stroomverdeling;
- aandrijving slurry-afvoer middels pompen.

Volgwagen 3:

Lengte volgwagen 3 : 14 m;
Gewicht : 115 ton.

Functies

- verpompbaar maken grond in slurry-box;
- overslag staartvet;
- stroomvoorziening;
- opslag bentoniet;
- schaftgelegenheid personeel TBM;
- noodstroomvoorziening;

Volgwagen 4:

Lengte volgwagen 4 : 15 m;
Gewicht : 47,5 ton.

Functies:

- leveren hoge luchtdruk middels compressor;
- verlengen kabels en leidingen;
- verzekeren luchtdruk.

Soms is het opstellen van het boorschild en de volgwagens in één rij echter niet mogelijk omdat de toerit, die aansluit op de startschacht, tijdens het opstellen van de TBM nog niet gereed is. In dat geval kunnen de volgwagens deels naast elkaar opgesteld worden in de startschacht. Wanneer er na het boren van een tiental meters ruimte vrij komt achter het voorste deel van de volgwagens kunnen de overige volgwagens die hiernaast opgesteld staan zijdelings ingeschoven worden. In het uiterste geval kan met slechts het boorschild en één volgwagen in de schacht gestart worden (minimale TBM-configuratie). De rest van de volgwagens bevinden zich dan op het maaiveld.

Wanneer het boorschild en de volgwagens niet in één rij opgesteld kunnen worden dient in nauw overleg met de TBM-leverancier vastgesteld te worden hoeveel volgwagens er wel achter elkaar kunnen of moeten worden opgesteld bij het desbetreffende project. Dit bepaald uiteindelijk de inwendige lengte van de startschacht. Het is wel verstandig om enige speling aan te houden ten opzichte van deze minimale inwendige lengte. Tijdens het ontwerpproces van de TBM wordt deze altijd wel iets groter of langer doordat er nog bepaalde onderdelen op één van de volgwagens geplaatst moeten worden die vooraf niet voorzien waren. Dit blijkt uit de ervaring die tot nu toe is opgedaan.

Voor bepaling van de lengte van een startschacht zie bijlage 6 'Bepaling lengte start- en ontvangtschacht'.

7.3 Ontvangtschacht

Afmetingen ontvangtschacht

Diepteligging ontvangtschacht
Zie startschacht.

Breedte ontvangtschacht
Zie startschacht.

Lengte ontvangtschacht.

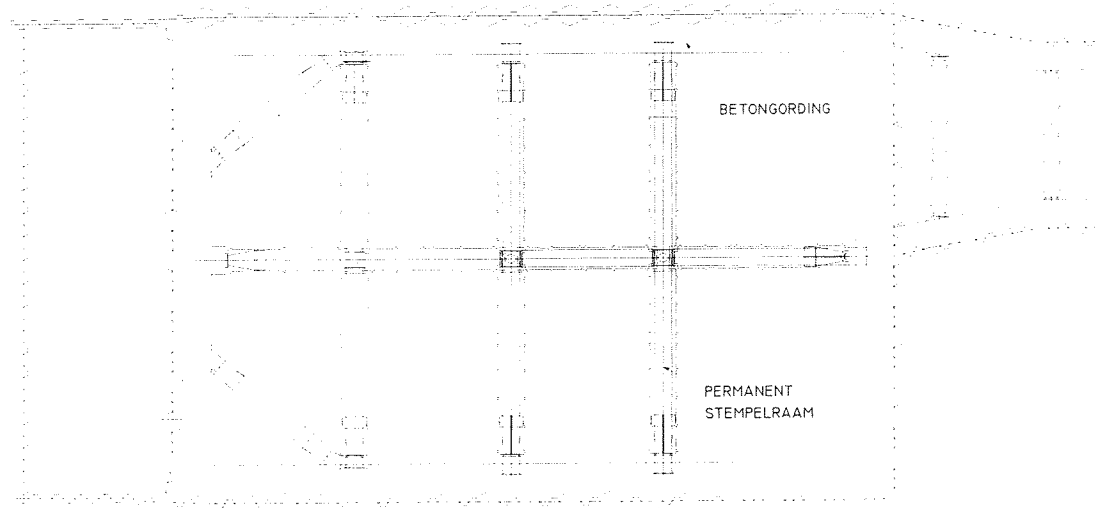
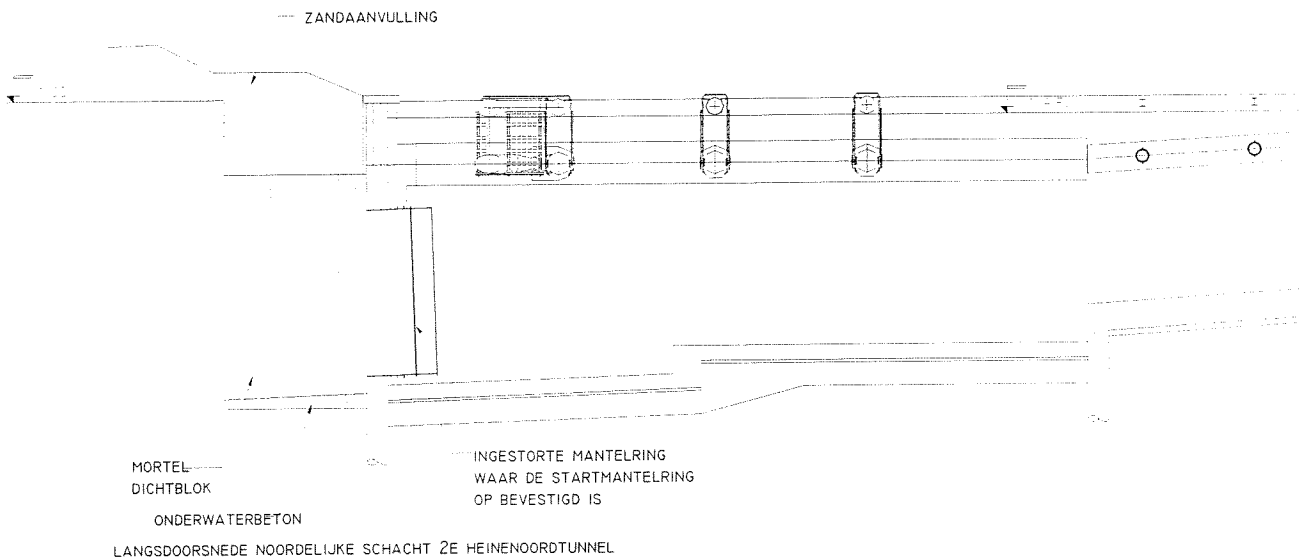
De inwendige lengte van de ontvangtschacht wordt bepaald door het grootste onderdeel dat uit de ontvangtschacht verwijderd moet worden en de hiervoor benodigde demontageruimte. Bij de ontvangst is het minder belangrijk dat het boorschild en de volgwagens allemaal achter elkaar in de ontvangtschacht opgesteld kunnen worden. Het boorschild en de volgwagens kunnen stuk voor stuk gedemonteerd worden, de tunnelbuis blijft dan geblokkeerd totdat de laatste volgwagen is gedemonteerd. Indien het mogelijk is verdient het de voorkeur om het boorschild en de volgwagens allemaal tegelijk uit de tunnelbuis te trekken. De tunnelbuis is dan leeg en is sneller toegankelijk voor bijvoorbeeld de afbouw. Hiervoor dient de ontvangtschacht wel lang genoeg te zijn. Soms kan ook de aansluitende toerit gebruikt worden als ontvangst- en demontageplaats.

8 Uitgevoerde schachten

8.1 2^e Heinenoordtunnel

Bij de 2^e Heinenoordtunnel zijn gecombineerde schachten toegepast. In beide schachten is de TBM zowel gestart als ontvangen. Beide schachten zijn dus vrijwel identiek. De schachten zijn een mix van principe 1 en 2A (zie 2.5 Principeoplossingen start- en ontvangtschacht). Er is wel een terreinophoging toegepast maar deze was niet erg groot. De uitwendige diameter van de tunnelbuis bedraagt 8,30 meter en de dekking bedraagt circa 7,5 meter direct achter het dichtblok.

De schacht was in eerste instantie tijdens de bouw een apart compartiment. De wanden bestaan uit combiwanden en de vloer bestaat uit een onderwaterbetonvloer met hierop een constructievloer. Het verticale evenwicht van zowel de onderwaterbetonvloer als de constructievloer wordt door vibro-combinatiepalen verzorgd. De brilwand wordt gevormd door een combiwand waartegen een betonwand is gestort. In deze betonwand zijn de twee mantelringen opgenomen voor de doorgang van de TBM. Op ongeveer 4 meter onder het maaiveld is een betongording aangebracht in de schacht waartussen de stalen stempels worden geplaatst. In de gebruiksfase blijven deze stempels aanwezig voor de stabiliteit van de schacht.

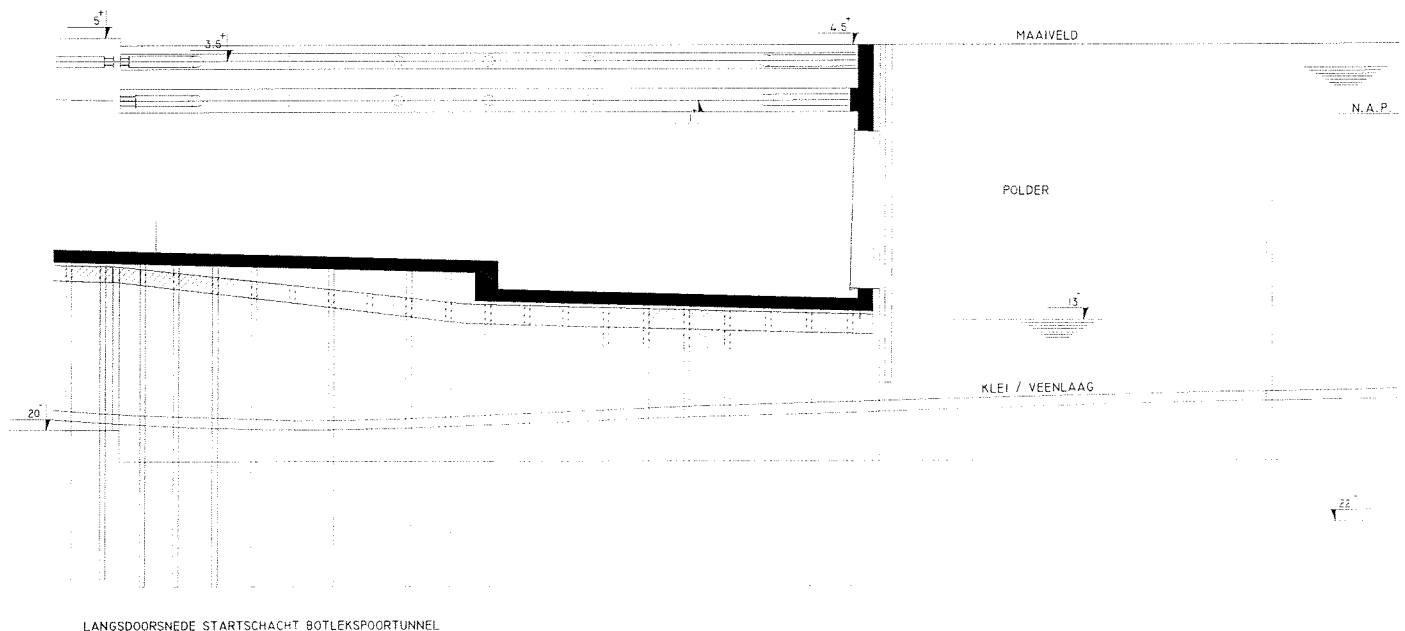


De overgangsconstructie bestaat uit Lage Sterkte Mortel (LSM) wat is aangebracht in een bouwkuip bestaande uit damwand. De aanhechting LSM-combiwand dient goed te zijn om de schacht grondwatervrij te houden. Omdat LSM nog nieuw was is om het risico van lekkage te verkleinen gekozen voor toepassing van een laag onderwaterbeton onder het LSM-dichtblok. De onderkant van het dichtblok bevindt zich ongeveer 1,5 meter onder onderkant tunnelbuis en de bovenkant ongeveer 2,0 meter boven bovenkant tunnelbuis. De lengte van het dichtblok is circa 7 meter. Op de mantelringen is voor de start van het boorproces een brilring geplaatst. Deze is nodig om een waterdichte afsluiting te verkrijgen tussen brilwand en tunnelling voordat de TBM uit het dichtblok breekt. Voor het ontvangen van de TBM is een drukdeksel toegepast wat dient als tijdelijke waterkering tijdens de ontvangstprocedure. (voor een gedetailleerde beschrijving van brilring en drukdeksel zie 6 Inrichting ontvangtschacht en 9.3 Detaillering brilwand). De ruimte boven het dichtblok wordt opgevuld met zand. Deze zandaanvulling vindt plaats tot boven maaiveldniveau voor het creëren van extra dekking op de tunnelbuis.

Het afzetframe (voor beschrijving hiervan zie 5 Inrichting startschacht) draagt aan de onderkant de afzetkracht af aan de sprong in de constructievloer. Aan de bovenkant wordt de afzetkracht door een tweetal trekstangen overgebracht naar de betongording in de schacht. Ter voorkoming van verplaatsing van het afzetframe loodrecht op de as van de tunnel wordt het afzetframe in deze richting ook verbonden met de combiwand.

8.2 Botlekspoortunnel

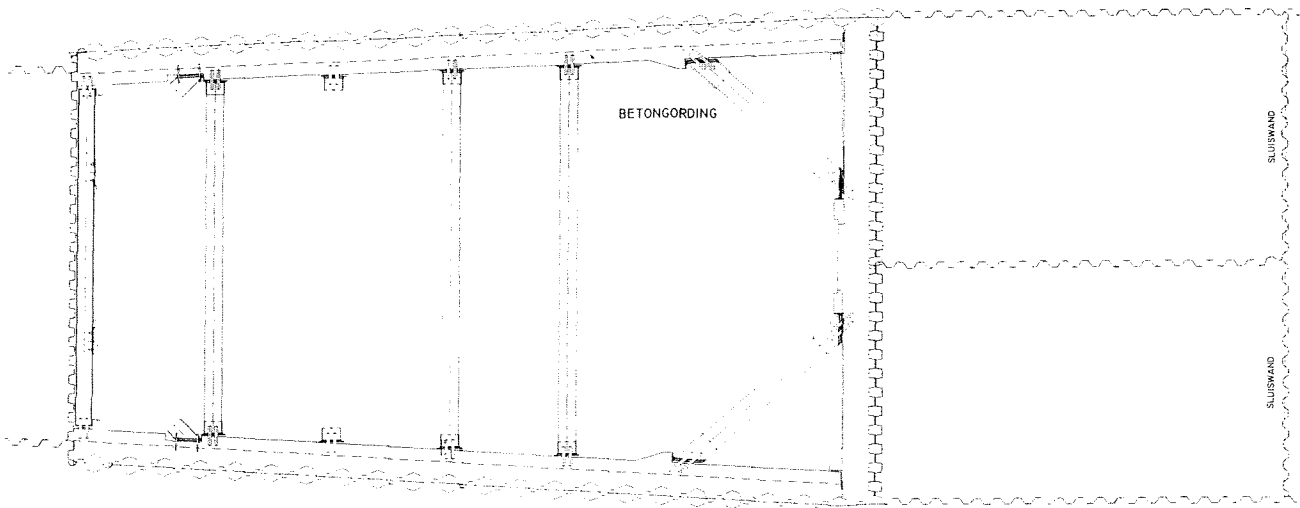
De Botlekspoortunnel heeft een start- en ontvangtschacht. Beide buizen worden in dezelfde richting geboord. Zowel de start- als de ontvangtschacht zijn gebouwd volgend principe 1, er heeft geen terreinophoging plaatsgevonden. De uitwendige diameter van de tunnelbuis is 9,45 meter. De dekking boven de tunnelbuis bij de startschacht bedraagt 5,80 meter en de dekking boven de tunnelbuis bij de ontvangtschacht is 9,50 meter. Dit verschil in diepteligging komt door de slechte grondcondities aan de ontvangtzijde van de rivier.



- Startschacht

Voor de zijwanden en de wand welke op de toerit aansluiten is een combiwand toegepast. De voorste wand, daar waar de boortunnel begint, bestaat uit een dubbele damwand. De vloer bestaat uit een onderwaterbetonvloer met hierop een constructievloer. Voor het verkrijgen van verticaal evenwicht voor de startschacht zijn vibro-combinatiepalen toegepast. Tegen de dubbele damwand is een betonnen wand gestort waarin twee mantelringen zijn opgenomen voor passage van de TBM. Voor de stabiliteit van startschacht zijn een tweetal stempelramen opgenomen in de startschacht. Het bovenste stempelraam bestaat uit stalen profielen en het onderste bestaat uit een betonnen gording met stalen buispalen die voor de afstempeling zorgen. Deze stempels verdwijnen in de gebruiksfase. Voor het verzekeren van het langsevenwicht van de startschacht zijn langs de zijwanden zogenaamde

betonnen voorzetwanden geplaatst. Dit zijn wanden die tegen de combiwand aan gestort worden om te voorkomen dat de combiwand in de lengterichting van de tunnel te zwaar belast wordt.



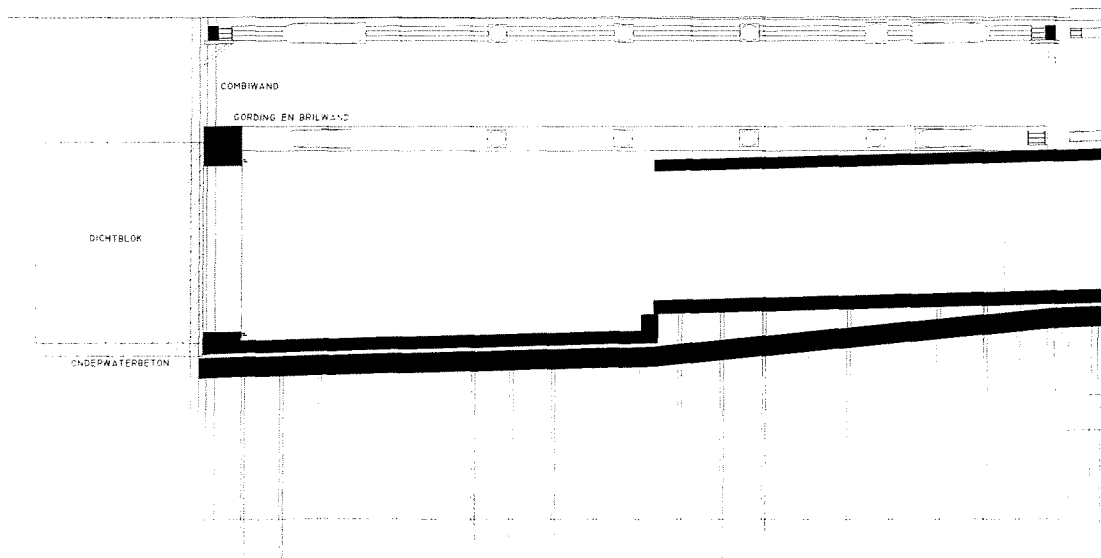
BOVENAANZICHT STARTSCHACHT BOTLEKspoortUNNEL

Als overgangsconstructie is het polderprincipe toegepast. Hiervoor zijn damwanden tot in de waterafsluitende klei-/veenlaag geplaatst. Er zijn twee polders gecreëerd, voor de start van de eerste en voor de start van de tweede buis. De lengte van de polder is circa 25 meter. Bij de start van de eerste buis is op de mantelring een brilring geplaatst om dezelfde reden als bij de 2^e Heinoordtunnel. Bij de tweede buis is gestart zonder toepassing van een brilring. De gedachte was dat alle water en grondkerende profielen die in de brilring aangebracht waren bij de eerste buis ook in de mantelring geplaatst konden worden. Dit heeft goed gewerkt.

Het afzetframe dat is toegepast droeg de afzetkracht aan de onderkant af aan de sprong in de schachtvloer. De bovenste ligger van het afzetframe is aan één zijde bevestigd aan de betonnen voorzetwand. De andere zijde van het afzetframe wordt door een trekstang, welke is bevestigd aan de betonnen randgording, op zijn plaats gehouden.

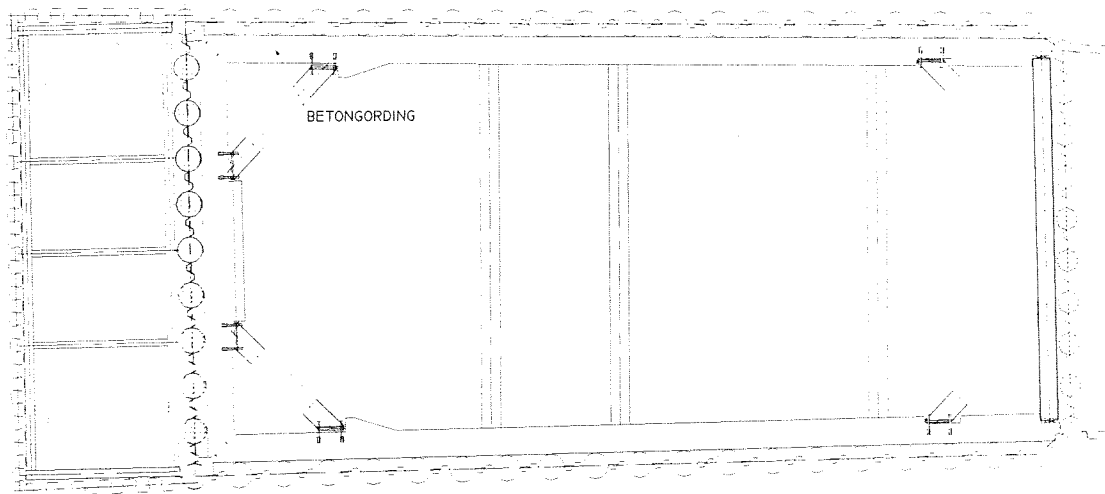
- Ontvangtschacht

Alle wanden van de ontvangtschacht bestaan uit combiwand. De vloerconstructie is hetzelfde als die in de startschacht, het enige verschil is dat er GEWI-ankers zijn toegepast in plaats van vibrocombinatiepalen. De reden dat deze gebruikt zijn was de korte uitvoeringstijd.



LANGSDOORSNEDE ONTVANGTSCHACHT BOTLEKspoortUNNEL

De overgangsconstructie bestaat uit een LSM-dichtblok dat in een damwandkuip is aangebracht (zelfde methode als 2^e Heinenoordtunnel). De onderkant van het dichtblok bevindt zich circa 1,30 meter onder onderkant tunnelbuis en de bovenkant van het dichtblok bevindt zich circa 1,80 meter boven bovenkant tunnelbuis. Voor ontvangst van de TBM wordt er een drukdeksel tegen de mantelringen aangebracht. Achter het dichtblok is over ongeveer honderd meter grondverbetering toegepast ter voorkoming van ongelijke zettingen in het langprofiel van de tunnelling.



BOVENAANZICHT ONTVANGTSCHACHT BOTLEKspoortUNNEL

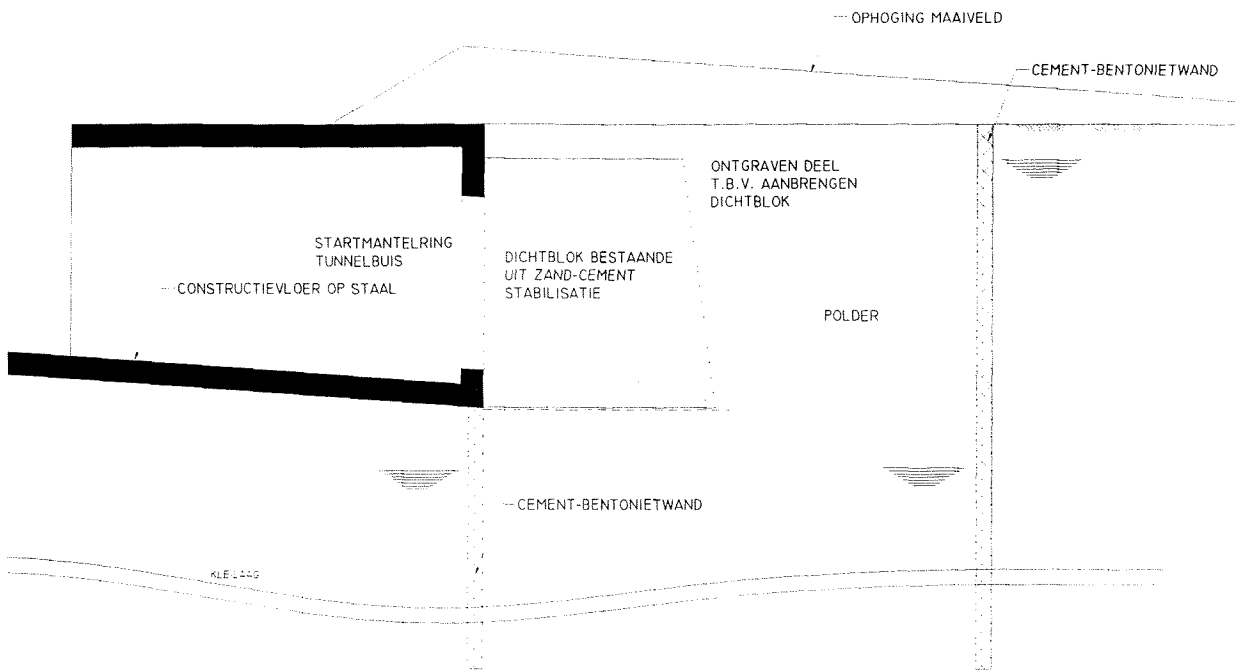
8.3 Westerscheldetunnel

Bij de Westerscheldetunnel wordt een start- en ontvangtschacht toegepast. De startschacht is gebouwd volgens principe 2A en voor de ontvangtschacht wordt een pneumatisch caisson toegepast. De Westerscheldetunnel heeft een uitwendige diameter van 11,30 meter. De gronddekking boven de tunnelbuis bij de startschacht is circa 9,80 meter en bij de ontvangtschacht is deze ongeveer 9,0 meter.

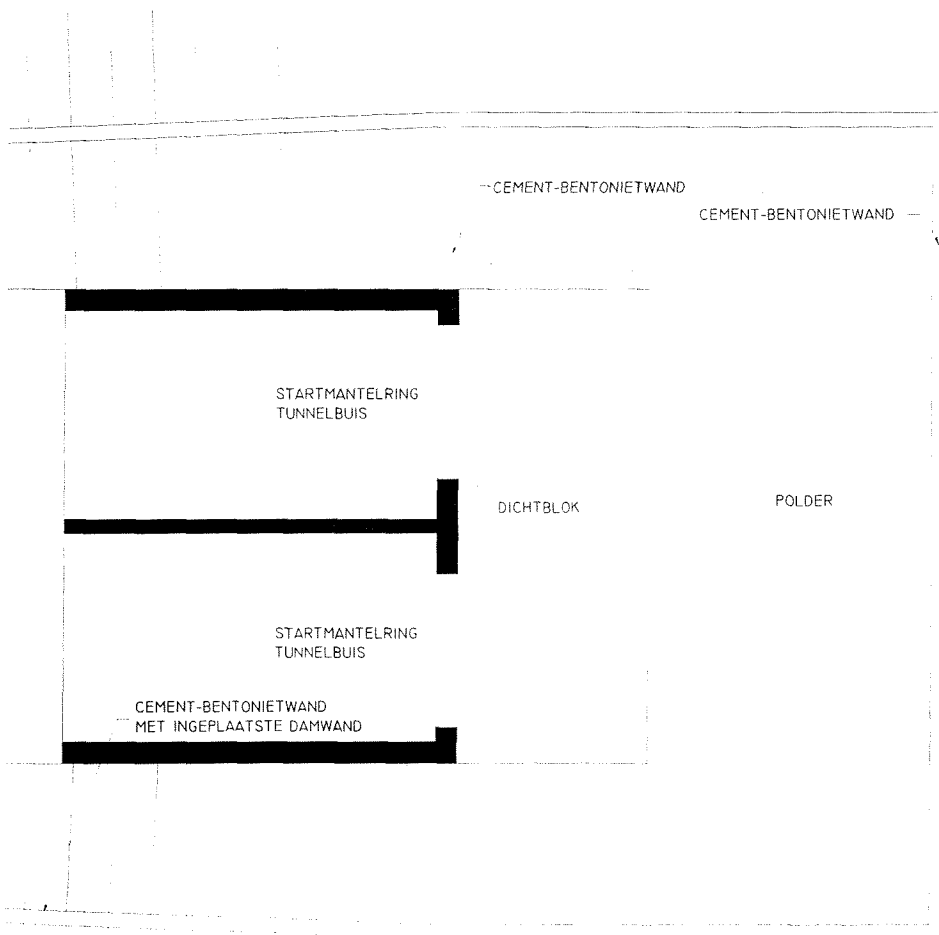
- Startschacht.

De startschacht voor de Westerscheldetunnel is gemaakt in een bemalen bouwput. Als verticale waterkering wordt een in de ondergrond aanwezige kleilaag gebruikt. De horizontale waterkering wordt verkregen door cement-bentonietwanden waarin ook nog een damwand wordt geplaatst. Deze wand wordt in het midden van de kanteldijk geplaatst, op de kruin. In deze bouwput wordt de startschacht opgebouwd. Als constructievloer wordt een betonvloer op staal toegepast. De wanden en het dak worden eveneens van beton gemaakt. Tussen de startschacht en de cement-bentonietwand in de kanteldijk wordt eveneens een cement-bentonietwand aangebracht. Deze wand verdeelt de bouwput in twee delen, de schacht/toerit en de overgangsconstructie. Er zijn dus eigenlijk twee aparte polders gecreëerd.

Als overgangsconstructie is gekozen voor een combinatie van een polder en een dichtblok. In de gecreëerde polder wordt een zand-cementstabilisatie aangebracht. Dit materiaal is vergelijkbaar met LSM alleen is het niet waterdicht.



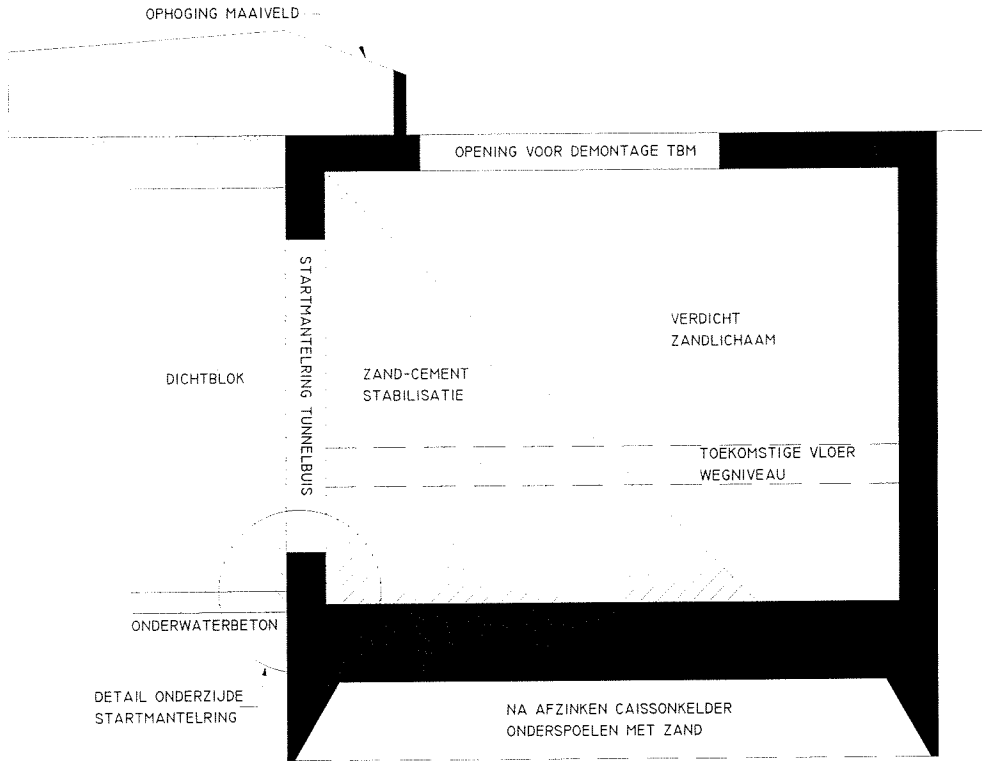
LANGSDOORSNEDE STARTSCHACHT WESTERSCHELDE TUNNEL



BOVENAANZICHT STARTSCHACHT WESTERSCHELDE TUNNEL

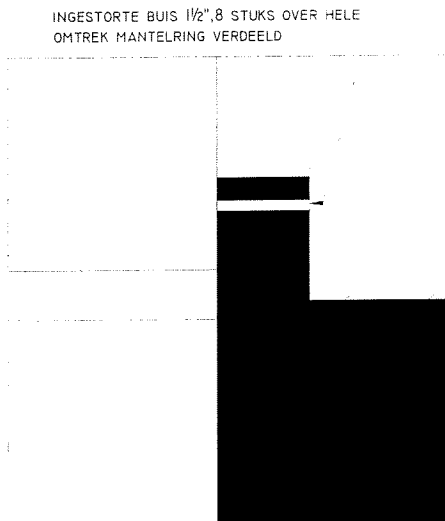
- Ontvangtschacht.

Als ontvangtschacht wordt een pneumatisch caisson toegepast. Zodoende moet er niet geheid worden, de conusweerstand vanaf -20 NAP is namelijk 30 MPa en groter. Dit zou tot enorm zwaar heiwerk geleid hebben. De afmetingen van de caisson zijn 25 x 35 x 24 meter (l x b x h). Onder aan de caisson worden snijranden toegepast ten behoeve van het afzinkproces. Hiervoor wordt een damwandkuip gemaakt van circa 4 meter diep. Het veen wordt vervangen door een zandterp waarna de snijranden gemaakt kunnen worden. De vloer van de caisson wordt op het zandbed en de snijranden gestort en wordt 3 meter dik.



LANGSDOORSNEDE ONTVANGTSCHACHT WESTERSCHELDETUNNEL
PNEUMATISCH CAISSON

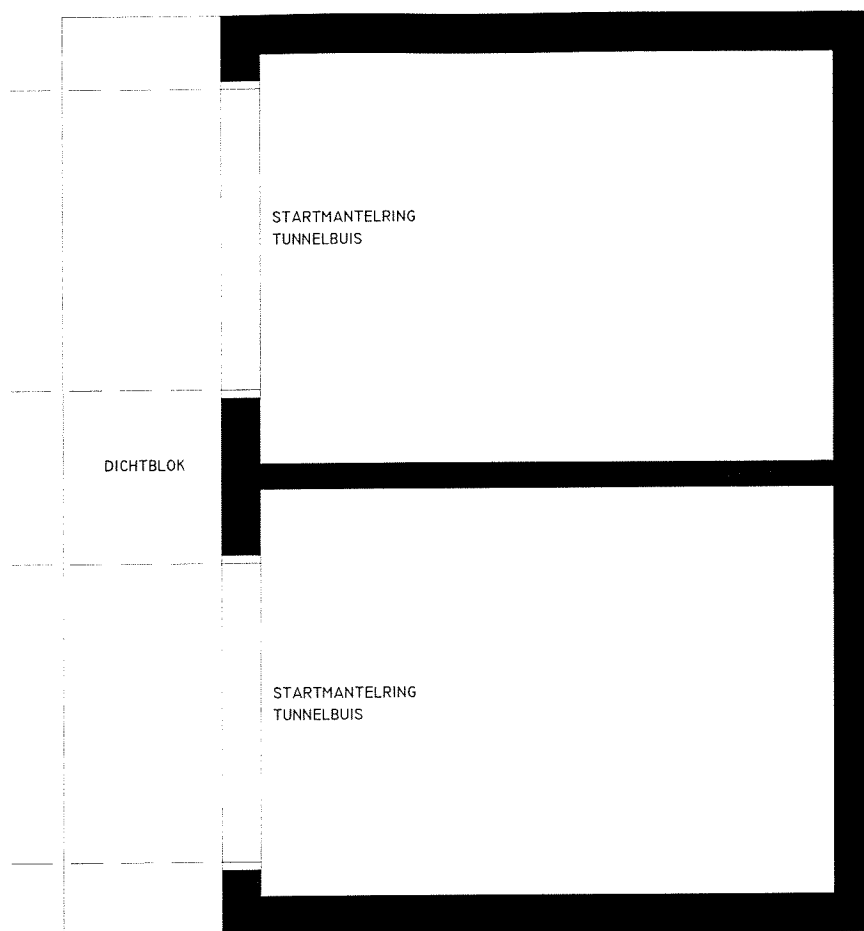
Vervolgens worden de wanden en het dak gemaakt. De mantelringen voor het ontvangen van de TBM worden volgestort met lage sterkte beton. Aan de binnenzijde van de caisson worden stalen binten aangebracht over de mantelring. Deze dienen als extra ondersteuning voor het keren van de grond- en waterdrukken tijdens het afzinkproces.



DETAIL ONDERZIJDE STARTMANTELRING
VOORZIENING VOOR NA-INJECTEREN

Nadat de caisson is afgezonken wordt een dichtblok van 6 meter lang aangebracht in een damwandkuip. Dit dichtblok heeft alleen een constructieve functie. Nadat het dichtblok is uitgehard worden de stalen binten verwijderd en wordt zowel gestabiliseerd zand (zand-cement) en verdicht zand in de caisson aangebracht. De TBM kan bij ontvangst dus in één stuk doorboren tot in de caisson. Het boorschild wordt na het plaatsen van de laatste segmentring uitgegraven.

Als na-injectiemogelijkheid, als er nog lekkage optreedt nadat TBM is ontvangen, zijn 8 buizen (1 1/2") in de brilwand opgenomen. Deze zijn gelijkmatig over de omtrek van de mantelring verdeeld.



BOVENAANZICHT ONTVANGTSCHAFT WESTERSCHELDETUNNEL
PNEUMATISCH CAISSON

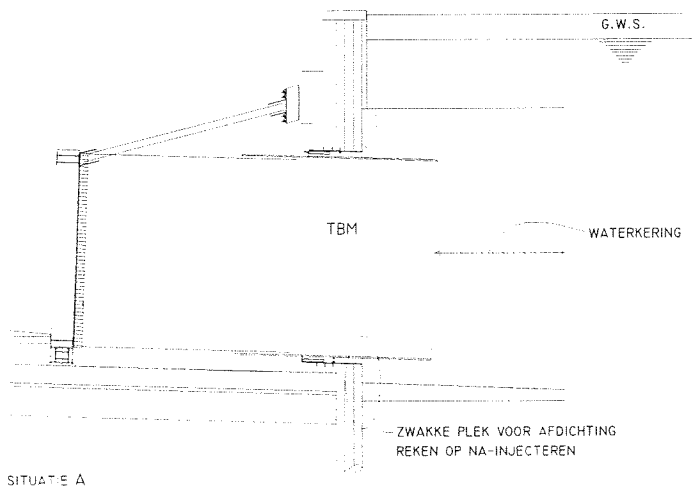
9 Overgangsconstructie

9.1 Functies overgangsconstructie

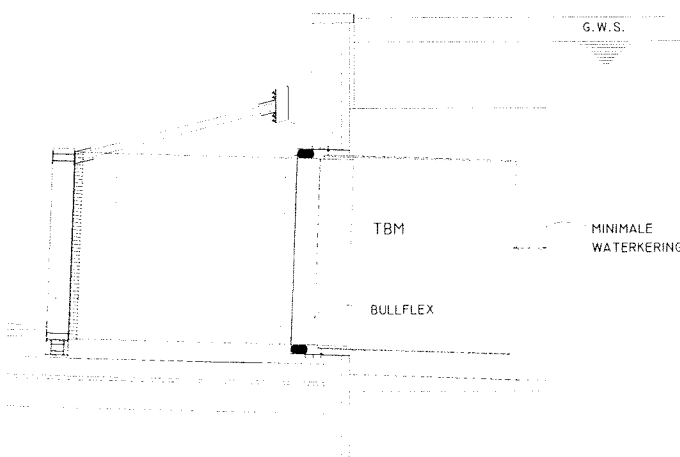
1) Water- en grondkerende functie

De hoofdfunctie van de overgangsconstructie (OVC) is het creëren van een water- en grondkering tussen de schacht en de omringende grond. Deze functie dient tijdens de hele bouwfase en ook in de gebruiksfase vervuld te worden. Er kan hier onderscheid gemaakt worden tussen water- en grondkering door de totale OVC (macro niveau) en de waterafdichtingen die hierin opgenomen zijn (micro niveau), dit is een tegenstrijdigheid. Het eerste leidt tot een sterke en starre constructie, terwijl voor waterafdichting juist een flexibele constructie nodig is die de nodige vervorming kan opnemen. Uit de praktijk blijkt dat lekkages ontstaan doordat de waterafdichtingen niet voldoende functioneren. Een kritiek onderdeel van de OVC is dan ook het aanbrengen van de waterkering tijdens passage van de OVC door de TBM. Indien boven het grondwaterniveau wordt gestart vervalt de waterkerende functie. Ter illustratie zijn hier een aantal tekeningen opgenomen die het principe van waterkering en waterafdichting tijdens zowel start- als ontvangst verduidelijken. Als voorbeeld is hier een zogenaamd dichtblok als overgangsconstructie gekozen, er zijn echter andere mogelijkheden.

Start in dichtblok:



SITUATIE A



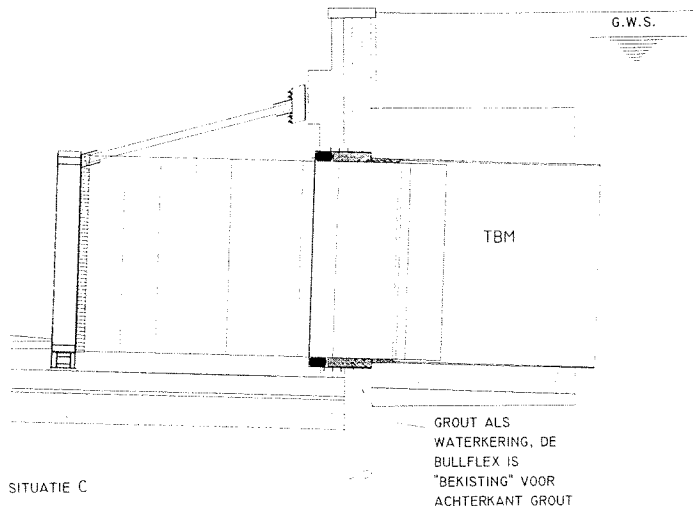
SITUATIE B

Situatie A:

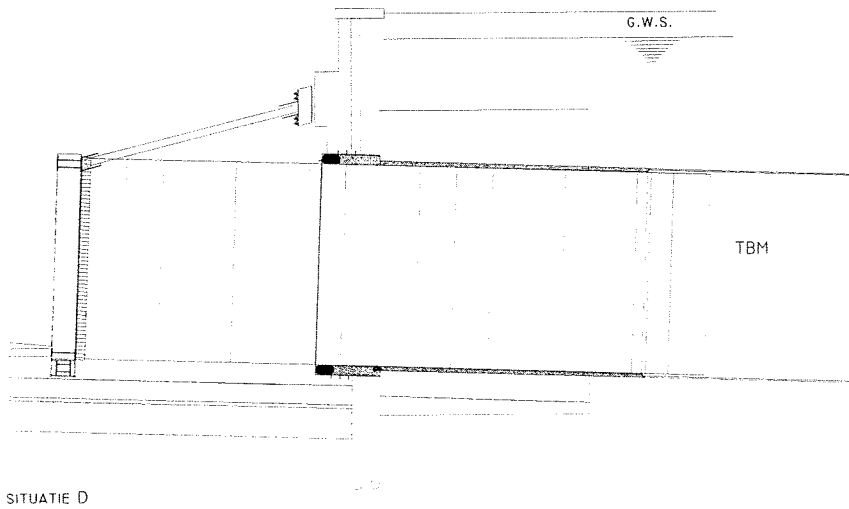
De TBM penetreert in het dichtblok. Dichtblok is waterkering. Ruimte tussen mantelring en boorkop wordt afgesloten door Sydney-profiel.

Situatie B:

De TBM is zover in het dichtblok gepenetreerd dat het boorkop de Bullflex is gepasseerd (Bullflex is opblaasbare slang die gevuld wordt met grout en zodoende een afsluiting vormt tussen lining en schildmantel, zie voor details 9.3 Detaillering brilmantel). Nu kan de Bullflex tussen mantelring en tunnelbuis opgeblazen worden. Bullflex en dichtblok zijn waterkering. Vervolgens wordt begonnen tijdens TBM voortgang de staartspleet te grouten. Dan ontstaat ook waterafdichting door grout. Bij de 2^e Heinenoordtunnel stak de boorkop van den TBM reeds door het dichtblok voordat de Bullflex werd opgeblazen. In dit geval verzorgt het Sydney-profiel tijdelijk voor de waterafdichting. De schildmantel mag hier dus absoluut niet voorbij het Sydney-profiel schuiven voordat de Bullflex is aangebracht. Bij deze oplossing kan er een korter dichtblok toegepast worden, maar het risico op lekkage is groter. Bij de start van de tweede tunnelbuis van de 2^e Heinenoordtunnel is trouwens géén lekkage opgetreden.

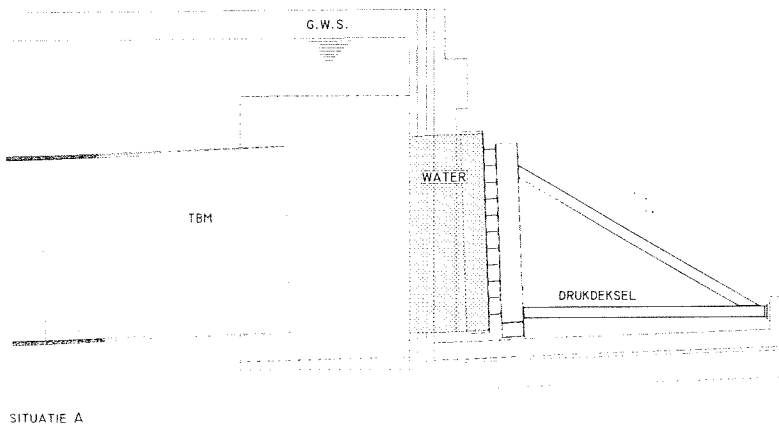


Situatie C:
TBM is uit dichtblok gebroken. Het water kan tussen dichtblok en boorschild naar achter stromen. Waterkering door grout en Bullflex Op den duur kan de Bullflex verwijderd worden.

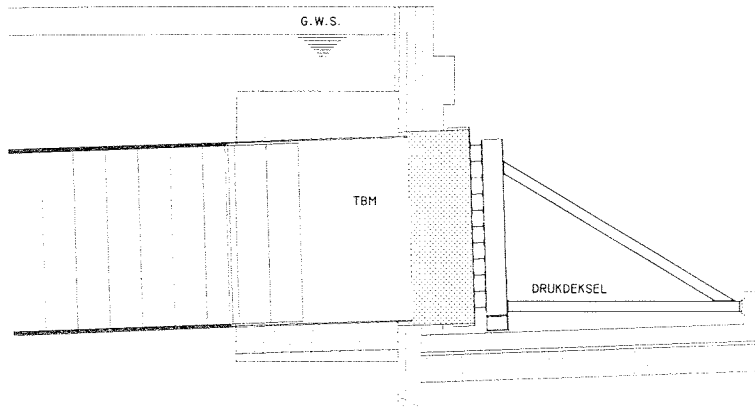


Situatie D:
De TBM is het dichtblok geheel gepasseerd. Verder zelfde situatie als C.

Ontvangst in dichtblok:

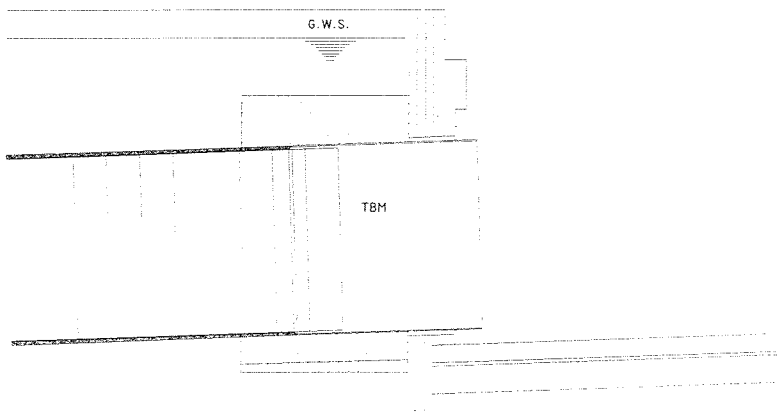


Situatie A:
TBM penetreert in dichtblok. Dichtblok is waterkering.



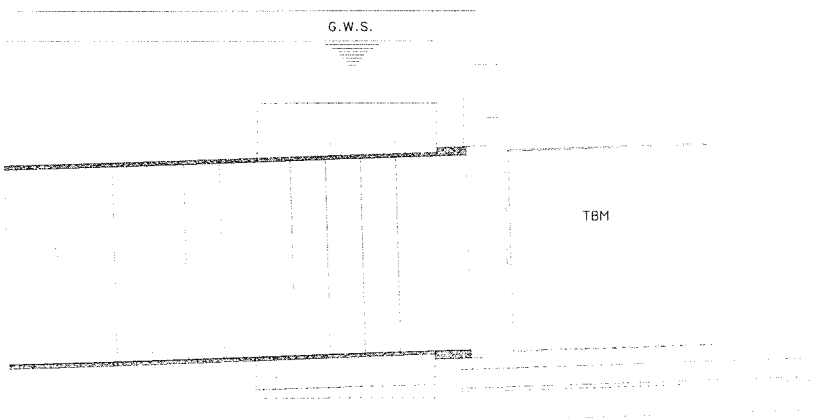
SITUATIE B

Situatie B:
TBM is door dichtblok
gepenetreerd. Drukdeksel is
waterkering. Grondwater staat
in verbinding met water in
drukdeksel door de staartspleet.



SITUATIE C

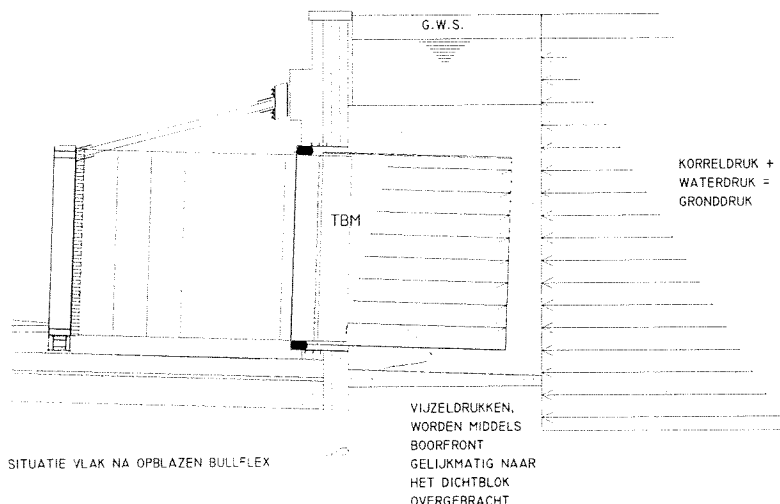
Situatie C:
TBM is zover vooruit
geschoven totdat het graafwiel
zich vlak achter het drukdeksel
bevindt. Tijdens voortgang
TBM wordt er in het dichtblok
gegrout. Drukdeksel kan
leeggepompt worden. Grout in
staartspleet zorgt voor
waterafdichting. Zodra
drukdeksel verwijderd is wordt
in staartspleet (ruimte tussen
mantelring en schildmantel)
over de breedte van de
mantelring houtwol
aangebracht. Dit wordt door
stalen platen tegengehouden.
Dit dient om tijdens het grouten
van de laatste meters in het
dichtblok de grout tegen te
houden.



SITUATIE D

Situatie D:
TBM is geheel uit het dichtblok.
Waterkering door grout.

- 2) Opnemen krachten TBM ten gevolge van boorproces
 Ten gevolge van het boorproces ontstaan er extra krachten op de OVC. Deze dienen door de OVC opgenomen te kunnen worden. Deze krachten zijn de frontdruk voor de TBM, de wrijving van de ruimers en de schildmantel en het eigengewicht van de TBM.



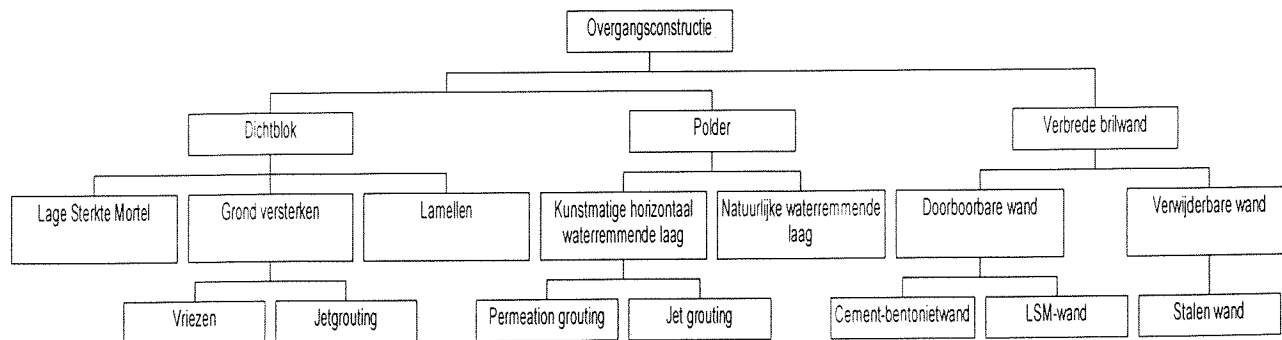
Van links werkt de vijzeldruk via de schrapers en de vulling van de werkkamer. De krachtenverdeling links is niet geheel bekend. De resultante van deze krachten zal zoveel mogelijk gelijk zijn aan de gronddruk. De resterende "dam" van het dichtblok moet waterkerend blijven (dus mag niet vroegtijdig openbreken door té groot verschil tussen de drukken van links en van rechts op de smalle dam) totdat de staart de Bullflex passeert en de Bullflex is opgeblazen om water te keren.

- 3) Doorbaarheid
 De OVC moet doorbaarbaar zijn voor de TBM. Dit houdt in dat het materiaal niet te sterk mag zijn en het graafwiel van de TBM dient het materiaal in de OVC goed te kunnen afschrapen.
- 4) Geleiden TBM
 De OVC dient de TBM tijdens passage goed te geleiden. Hierbij zijn de twee overgangen (schacht-OVC en OVC-achterliggende grond) kritieke situaties. Op het moment dat de TBM in de OVC of de achterliggende grond terecht komt kan deze kantelen of zakken. Dit dient ten allen tijde voorkomen te worden.
- 5) Stabilisatiefunctie tunnelbuis
 Het gedeelte van de tunnelbuis dat aansluit op de startschacht dient stabiel te liggen in de ondergrond. Dit houdt in dat de tunnelbuis niet mag opdrijven en dat de zettingen in de ondergrond na aanbrengen van de tunnelbuis klein moeten zijn. Dit om te voorkomen dat er schade aan de tunnelling of lekkages kunnen ontstaan door verplaatsingen. Dit vereist een voldoende draagkrachtige ondergrond.

9.2 Principeoplossingen overgangsconstructie

In dit rapport wordt uitgegaan van een drietal principeoplossingen (zie onderstaande figuur).

Principeoplossingen overgangsconstructies



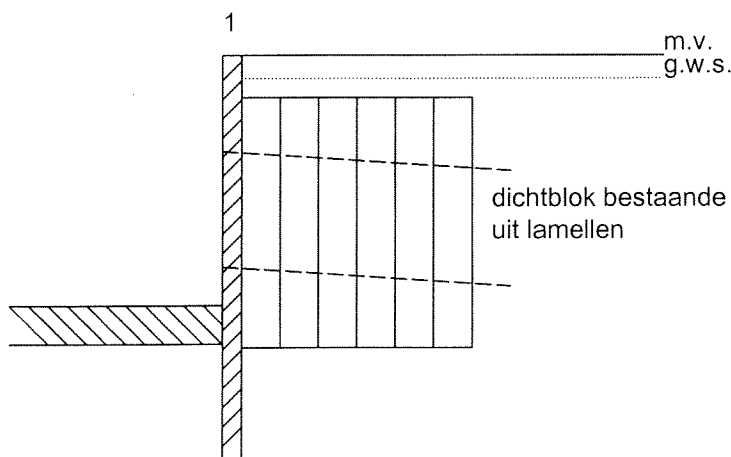
Er is keuze uit een dichtblok, een polder of een verbrede wand. Bij een dichtblok kan men kiezen uit een samengesteld dichtblok bestaande uit lamellen (bijvoorbeeld cement-bentonietwanden), een monoliet dichtblok (bijvoorbeeld LSM, in Nederland voor het eerst toegepast bij 2^e Heinenoordtunnel) of een verstevigd grondmassief (bijvoorbeeld jetgrouten). Voor toepassing van een polder is een natuurlijke of kunstmatige waterremmende laag nodig. De verbrede wand bestaat enkel uit een doorboorbare of een verwijderbare wand. Alle principe oplossingen worden hierna beschreven.

9.2.1 Dichtblok

Een dichtblok is een grondvervangend lichaam ter voorkoming van grond- en waterinstroming in de schacht tijdens de start- of de ontvangstprocedure. Voor het maken van een dichtblok zijn drie principiële verschillende mogelijkheden.

Variant 1A

Bij de eerste variant bestaat het dichtblok uit meerdere cement-bentonietlamellen. Deze worden stuk voor stuk aangebracht waarbij de breedte kan variëren van 0,6 tot 1,0 meter. De lengte van een lamel (dwars op de lengteas van de tunnel) is maximaal 4 tot 6 meter in verband met het stabiel houden van het ontgraven gat. Vanuit bovenaanzicht gezien worden de lamellen in halfsteens verband uitgevoerd.



Het dichtblok dient doorbaarbaar te zijn en inwendig waterdicht. Ook dient het dichtblok stabiel te liggen in de ondergrond, de tunnelling te ondersteunen nadat deze is aangebracht en de krachten van de TBM ten gevolge van het boorproces te kunnen opnemen. Het dichtblok wordt direct achter de brilwand geplaatst. De brilwand dient grond- en waterkerend en doorbaarbaar of verwijderbaar te zijn.

Variant 1A

Voordelen:

- vrijwel overal toepasbaar, zowel bij start- als ontvangtschacht;
- gelijkmatige overgang van schacht naar omringende grond, zowel voor TBM als voor tunnelling;
- geen bouwkuip nodig.

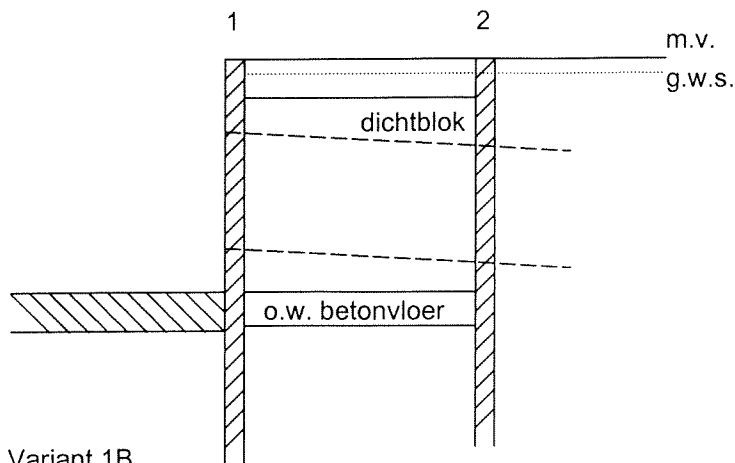
Nadelen:

- gevaar op lekkage door naden tussen lamellen;
- ontgraven kost relatief veel tijd;

Variant 1B

De tweede mogelijkheid is een dichtblok waarbij alle oorspronkelijk aanwezige grond wordt vervangen door een ander materiaal. Hiervoor dient eerst een kuip gemaakt te worden waarna het grondvervangende materiaal in den natte aangebracht kan worden. Lage Sterkte Mortel (LSM) is hiervoor een zeer geschikt materiaal, het is een mengsel van cement, bentoniet, zand, lignosulphonaat (plastificeerder met vertragende werking) en water. Indien de aanhechting tussen de LSM en de brilwand niet wordt vertrouwd als waterkering kan een onderwaterbetonvloer worden toegepast onder de LSM. Deze onderwaterbetonvloer voorkomt bovendien ontmenging van de LSM. Ook kunnen extra maatregelen in de mantelring genomen worden (zie 9.3 Detaillering brilwand).

Voor de eisen die aan dit dichtblok gesteld worden zie variant 1A. Het verschil met variant 1A is dat voor deze variant een bouwkuip nodig is. Verder dient wand 2 doorbaarbaar of verwijderbaar te zijn.



Variant 1B

Voordelen:

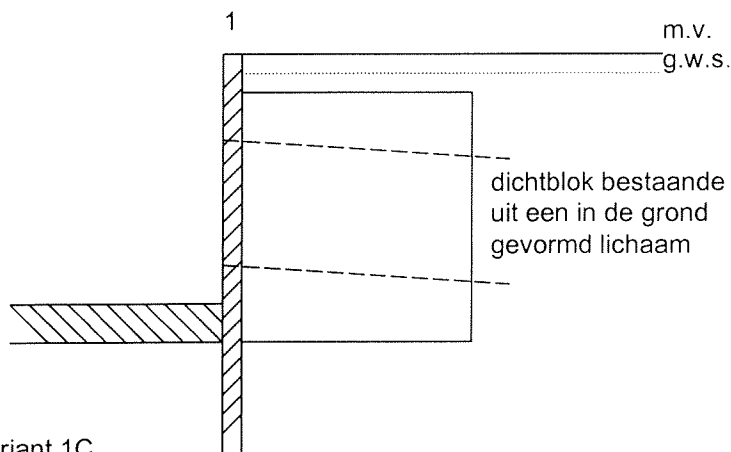
- overall toepasbaar, zowel bij start- als ontvangtschacht;
- relatief economische oplossing (voor dichtblok oplossing);
- technisch goede oplossing, weinig uitvoeringsrisico's;
- gelijkmatige overgang van schacht naar omringende grond, zowel voor TBM als voor tunnelling.

Nadelen:

- bouwkuip nodig;
- ten opzichte van polder (bij startschacht) met natuurlijk waterremmende laag minder economische oplossing indien gekeken wordt naar de directe bouwkosten.

Variant 1C

Een derde mogelijkheid is de vorming van een dichtblok in de reeds aanwezige grond. Mogelijkheden hiervoor zijn het bevriezen van de grond of het injecteren van de grond. Als injectietechnieken komen jet grouting en permeation grouting in aanmerking. Vriezen kan interessant zijn wanneer de afmetingen van het dichtblok klein zijn en het dichtblok alleen voor korte duur functie heeft. De eisen die aan dit dichtblok opgelegd worden zijn hetzelfde als bij variant 1A.



Variant 1C

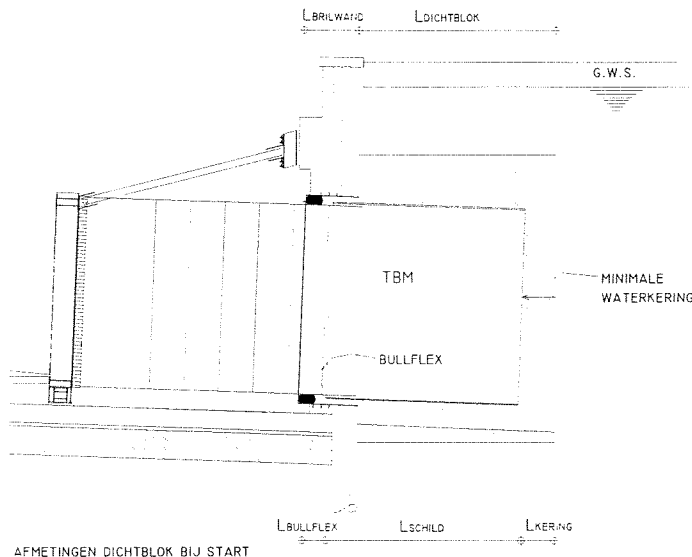
Voordelen:

- zowel toepasbaar als start- en ontvangtschacht;
- geen bouwkuip nodig;
- gelijkmatige overgang van schacht naar omringende grond, zowel voor TBM als voor tunnelling;
- goed op grote diepte aan te brengen.

Nadelen:

- oneconomische oplossing, vooral vriezen, alleen toepassen indien het niet anders kan;
- gevaar op lekkage door moeilijk uitvoeringsproces;
- beperkt toepasbaar. Jetgrouten is niet in alle grondsoorten mogelijk en vriezen kan alleen in verzadigde grond bij nagenoeg stilstand grondwater.

Indien gekozen wordt voor een dichtblok dienen de afmetingen hiervan bepaald te worden. Deze zijn afhankelijk van de start- of ontvangtsprocedure.



Voordat de kop van het boorschild uit het dichtblok breekt dient er aan de achterkant van het boorschild een waterdichte aansluiting tussen mantelring en tunnellinging gemaakt te zijn. Bij de 2^e Heinenoordtunnel is een kortere lengte dichtblok toegepast. De boorkop van de TBM stak hier al uit het dichtblok voordat de Bullflex was aangebracht. De waterafdichting werd hier tijdelijk verzorgd door een rubber afdichtingsprofiel. De lengte van het dichtblok wordt dan:

$$L_{brilwand} + L_{dichtblok} = L_{bullflex} + L_{boorschild} + L_{kering}$$

- $L_{brilwand}$: dikte brilwand;
- $L_{dichtblok}$: lengte dichtblok;
- $L_{bullflex}$: lengte benodigd voor het aanbrengen van de Bullflex en waarover gegroot wordt voor het verkrijgen van een goede waterkering. Dit is ongeveer 1,0 meter.
- $L_{boorschild}$: lengte van het boorschild;
- L_{kering} : dikte waarbij water- en gronddruk voor dichtblok en graafdruk TBM in dichtblok in evenwicht zijn. Dit levert een dikte op van circa 1,0 tot 1,5 meter;

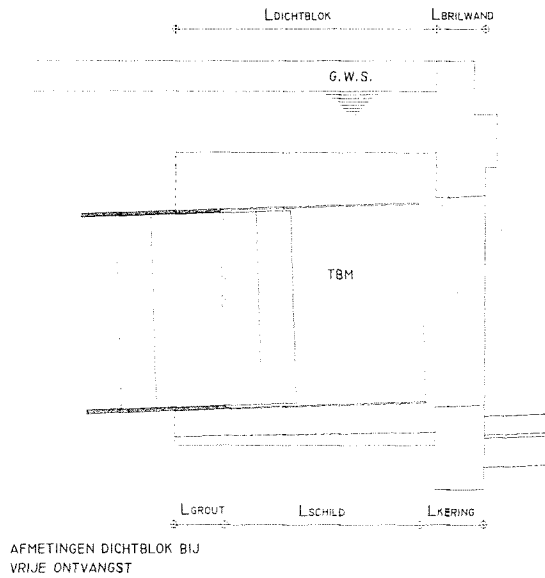
Voor ontvangst in het dichtblok zijn er meerdere mogelijkheden. Ontvangst zonder en met drukdeksel, ontvangst in zand of onder water.

1) Vrije ontvangst waarbij de TBM vanuit het dichtblok meteen in de ontvangtschacht doordringt. Hierbij storten brokken van het dichtblok in de ontvangtschacht. Dit leidt tot de grootste dichtbloklengte.

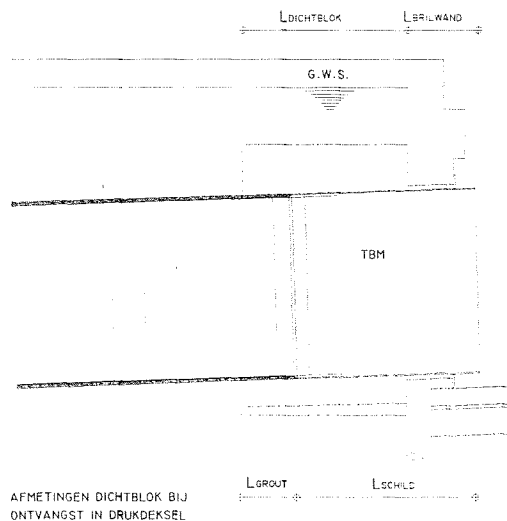
$$L_{dichtblok} + L_{brilwand} = L_{grout} + L_{boorschild} + L_{kering}$$

- $L_{dichtblok}$: lengte dichtblok;
- $L_{brilwand}$: dikte brilwand;
- L_{kering} : dikte waarbij water- en gronddruk voor dichtblok en graafdruk TBM in dichtblok in evenwicht zijn. Dit levert een dikte op van circa 1,0 tot 1,5 meter;
- $L_{boorschild}$: lengte van het boorschild;

L_{grout} : lengte waarover gegrout wordt voor het verkrijgen van een goede waterkering. Deze is ongeveer gelijk aan de breedte van een segmentring, circa 1,5 tot 2,0 meter.

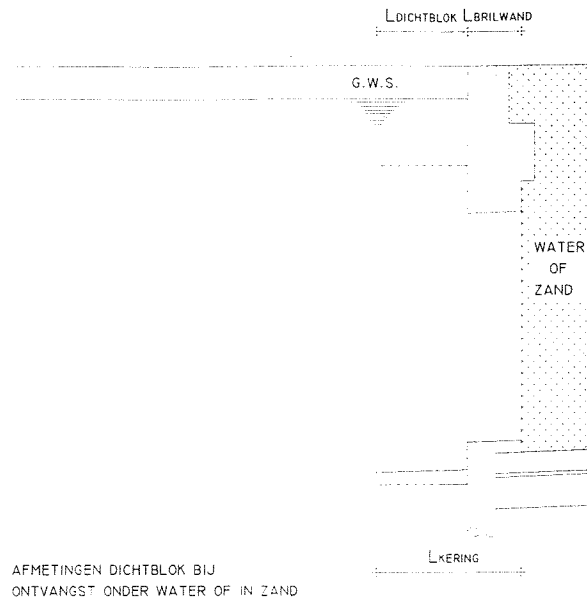


2) Ontvangst TBM in drukdeksel. TBM kan doorboren totdat het boorschild zich met de neus in het drukdeksel bevindt. Er dient wel een waterdichte aansluiting tussen dichtblok en tunnelling aangebracht te zijn aan de achterkant van het boorschild voordat het drukdeksel verwijderd kan worden. De lengte van het dichtblok wordt nu:



$$L_{dichtblok} + L_{brilwand} = L_{grout} + L_{boorschild}$$

3) Ontvangst van TBM onder water of in zand. De TBM kan aan één stuk doorboren totdat de laatste segmentring is geplaatst. In dit geval is een relatief kort dichtblok voldoende, de lengte van het dichtblok wordt alleen bepaald door de kerende functie. Maatgevende situatie is dan korrel- en waterdruk aan de linker zijde en geen druk aan de rechterzijde



$$L_{\text{dichtblok}} + L_{\text{brilwand}} = L_{\text{kering}}$$

Ontvangst van TBM in drukdeksel is tot nu toe het meest gebruikelijk in Nederland. Hierbij blijft de ontvangtschacht schoon. Het ontvangstproces kan goed beheerst worden. Voor het ontvangen van de TBM onder water of in zand is de hele ontvangtschacht tijdelijk nodig. Indien het werk zo gepland wordt dat er tijdelijk niet gewerkt wordt in de ontvangtschacht vormt dit geen probleem. Het ontvangstproces is redelijk te controleren. Het lastige aan een onder water ontvangst is dat er werkzaamheden onder water uitgevoerd moeten worden, dit is altijd een kostbare zaak. De vrije ontvangst is een optie waarbij het uitbreekproces moeilijk te controleren is. Het laatste stukje dichtblok zal op een bepaald moment de ontvangtschacht in storten. Bovendien leidt het tot een lang, dus duur, dichtblok.

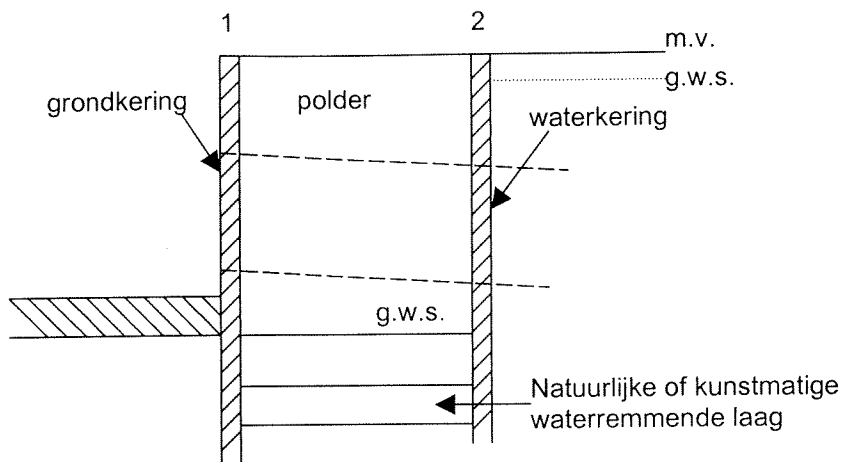
9.2.2 Polder

Een andere manier om waterinstroming te voorkomen tussen mantelring en boorschild is het water van te voren wegnemen door een tijdelijke polder te creëren. Dit wordt gedaan door een horizontale en verticale waterscheiding aan te brengen. De horizontale waterscheiding kan van nature al aanwezig zijn. Bij een polder wordt de water- en grondkerende functie gescheiden.

Een polder kan alleen maar toegepast worden als overgangsconstructie bij de start van het boorproces. Indien de polder als overgangsconstructie bij het startproces wordt toegepast zal eerst de wand aan de startschachtzijde doorboord of verwijderd worden. Vervolgens boort de TBM zich in de polder. Op het moment dat de staart van het boorschild voorbij het afdichtingsprofiel is geschoven kan worden begonnen met grouten. Hierna kan de tweede wand in de polder worden doorboord of verwijderd. Op dat moment stroomt de polder dus vol met water en verliest zijn functie.

Variant 2A en 2B

De verticale scheiding kan uit een damwand, cement-bentonietwand of een boorpalenwand bestaan (zie tekening). De horizontale waterkering op de bodem van de polder kan bestaan uit natuurlijke waterremmende lagen zoals veen of klei (variant 2A) of een kunstmatig aangebrachte waterremmende laag (variant 2B). Kunstmatig waterkerende lagen zijn te verkrijgen door injectie (permeation grouting en jet grouting) of bevroering. Een polder zal vooral toegepast worden op plaatsen waar een natuurlijke horizontale waterremmende laag aanwezig is.



Variante 2A en 2B

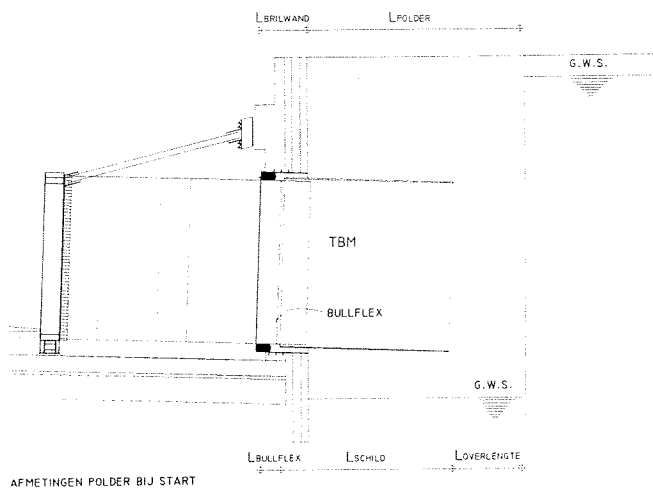
Voordelen:

- economische oplossing indien natuurlijk waterremmende laag aanwezig is;

Nadelen:

- alleen toepasbaar in combinatie met waterremmende laag;
- trekken damwandscherm uit droge grond polder is lastig;
- niet toepasbaar als overgangsconstructie bij ontvangtschacht;
- ongelijkmatige overgang van schacht naar omringende grond, zowel voor TBM als voor tunnelling.

Een polder kan alleen toegepast worden als overgangsconstructie bij de start. De lengte voor een polder die wordt gegeven is een minimale lengte. Om de voortgang van de TBM te garanderen kan ervoor gekozen worden om de polder langer te maken. Zo kan bijvoorbeeld voorkomen worden dat de TBM moet wachten op het trekken van het damwandscherm aan de kopse kant van de polder. Bij toepassing van een Bullflex als waterafdichting (9.3 Detaillering brilwand) dient de TBM echter wel 24 uur stil te staan om de grout in de Bullflex te laten uitharden.



AFMETINGEN POLDER BIJ START

$$L_{polder} + L_{brilwand} = L_{bullflex} + L_{boorschild} + L_{overlengte}$$

- L_{polder} : lengte polder;
- $L_{brilwand}$: dikte brilwand, over deze lengte dient een waterkerende voorziening aangebracht te worden;
- $L_{bullflex}$: lengte benodigd voor het aanbrengen van de Bullflex en waarover gegrout wordt voor het verkrijgen van een goede waterkering. Dit is ongeveer 1,0 meter.
- $L_{boorschild}$: lengte van het boorschild;

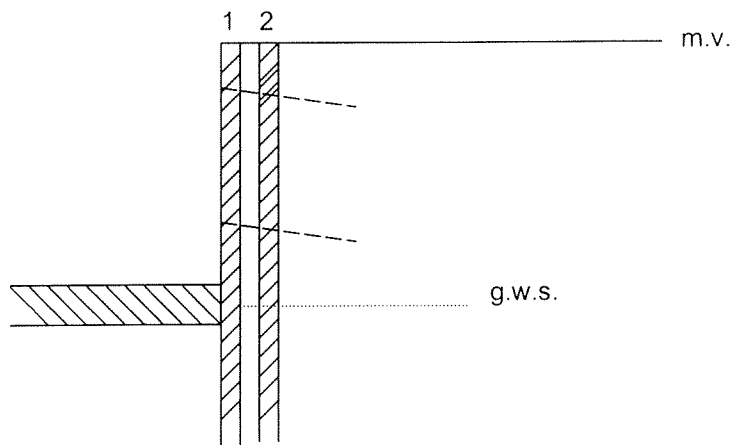
$L_{\text{overlengte}}$: lengte voor boorschild op moment dat afdichting aan achterzijde boorschild is aangebracht. Neem hiervoor minimaal 3,0 meter.

9.3.3 Brede wand

Deze oplossing bestaat uit een brede wand (zie tekening). Variant 3A is alleen toepasbaar in een startschacht en variant 3B is zowel toepasbaar in start- en ontvangtschacht. Deze oplossing is niet geschikt indien er in het grondwater gestart wordt met boren, voor starten boven het grondwater is het echter een goede economische oplossing.

Variant 3A

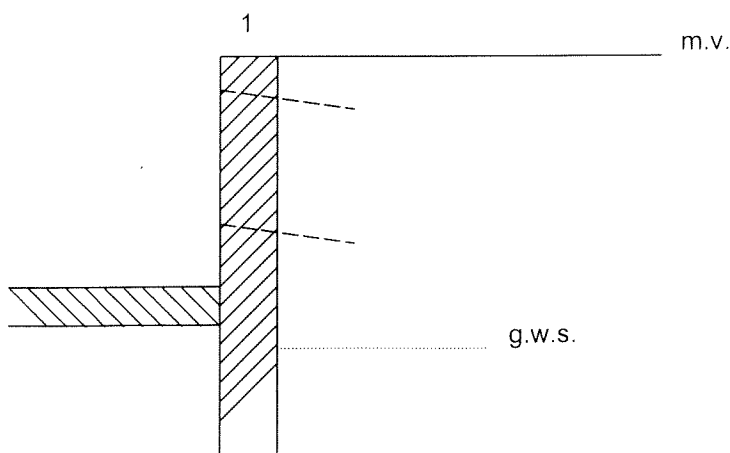
De brede wand bestaat hier uit een dubbele damwand. De voorste wand, wand 1, bevat de mantelring waarin ook een rubber afdichtingsprofiel is opgenomen (Sydney-profiel, zie 9.3 Detaillering brilwand). De achterste damwand wordt getrokken nadat de kop van het boorschild in de mantelring is geschoven. Wand 1 heeft een grondkerende functie totdat wand 2 wordt verwijderd. Vanaf dat moment heeft wand 1 ook een waterkerende functie. Hiervoor kan een rubber profiel gebruikt worden.



Variant 3A

Variant 3B

De overgangsconstructie is hier geïntegreerd in de brilwand. De mantelring is opgenomen in deze brede wand. Indien het een ontvangtschacht betreft wordt de mantelring volgestort met lage sterkte beton.



Variant 3B

Voordelen:

- economische oplossing.

Nadelen:

- niet toepasbaar indien start of ontvangst onder grondwaterstand plaatsvindt, dus zeer beperkt toepassingsgebied.

Per project dienen de voor- en nadelen van de verschillende principeoplossingen beoordeeld te worden, dit omdat de omstandigheden per project verschillen. Deze afweging kan gemaakt worden aan de hand van onderstaande aspecten die belangrijk zijn bij het maken van een keuze voor een principeoplossing. De basis van het afwegen vormt het minimaliseren van de kosten. De risico's dienen echter ook beoordeeld te worden en waar mogelijk in de kostprijs te worden meegenomen. De afwegingsaspecten zijn:

- **Kosten**
Er dient gekozen te worden voor de meest economische oplossing. Toepassing van de meest economische oplossing is echter niet altijd mogelijk;
- **Uitvoeringsrisico**
Hieronder worden de optredende risico's tijdens het maken van de overgangsconstructie verstaan;
- **Lekkagerisico**
Er is verschil in de mate waarin bij de verschillende overgangsconstructies lekkage op kan treden;
- **Doorbaarheid overgangsconstructie**
Dit hangt af van het materiaal waar doorheen geboord wordt en van de TBM die wordt toegepast;
- **Herstel mogelijkheden in geval van lekkage**
Indien lekkage optreedt dient er een mogelijkheid te zijn om deze te verhelpen. De mate waarin dit mogelijk is verschilt per overgangsconstructie.

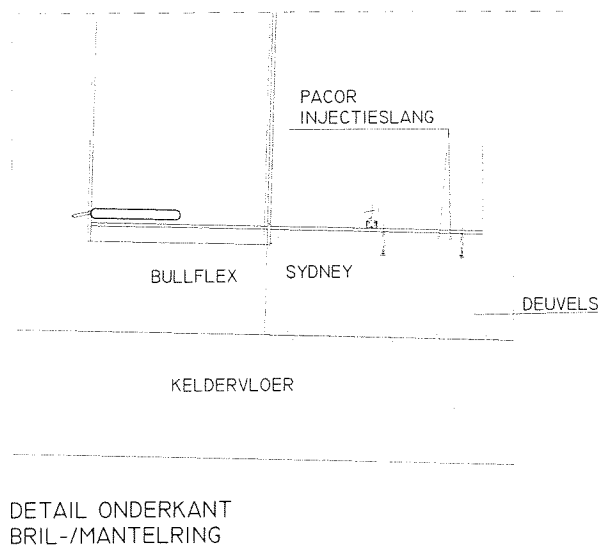
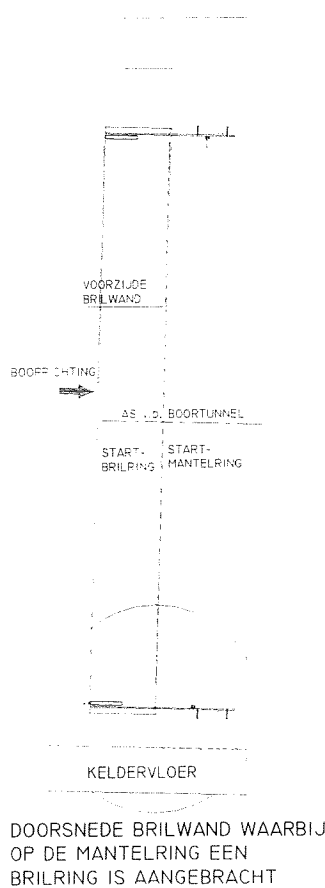
Per project kan aan de hand van deze aspecten een afweging worden gemaakt welke principeoplossing de voorkeur verdient. Voor toepassing in West-Nederlandse omstandigheden geldt:

- Als start- en ontvangtschacht verdient een LSM dichtblok aangebracht in damwandkuip de voorkeur. Dit geldt indien er geen van nature waterremmende laag in de ondergrond aanwezig is op voldoende diepte en er in het grondwater wordt gestart met boren. Indien hinder voor de omgeving mag optreden kunnen voor de bouwkuip ook cement-bentoniet wanden worden toegepast. Deze oplossing leidt onder deze omstandigheden tot de meest economische oplossing waarbij tevens de kans op lekkage minimaal is;
- Als startschacht verdient een polder de voorkeur indien er een van nature waterremmende laag in de ondergrond aanwezig op de goede diepte. Bovendien dient er in het grondwater gestart te worden met boren. Dit is hierbij de meest economische oplossing waarbij het uitvoeringsrisico en het lekkagerisico goed te beheersen is;
- Een brede wand overgangsconstructie verdient de voorkeur indien er niet gestart of ontvangen wordt in het grondwater. Omdat dit in Nederland bijna niet het geval is zal deze oplossing ook niet veel toegepast worden;
- Een in de grond gevormde overgangsconstructie dient alleen toegepast te worden indien er geen andere oplossingen mogelijk zijn. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn indien er op grote diepte een overgangsconstructie moet worden aangebracht.

9.3 Detaillering brilwand

9.3.1 Startschacht

De brilwand dient als doorvoer van de TBM naar de omringende grond. Omdat de TBM voor het boorproces druk moet kunnen opbouwen voor het front dient zich hier een afgesloten ruimte te bevinden. Hiervoor wordt een ronde vorm in de brilwand aangebracht. De grootte hiervan wordt bepaald door de diameter van het boorschild en de speling die nodig is voor te plaatsen afdichtingen en oplegblokken in de mantelring. De diameter van het boorschild is groter dan de uitwendige diameter van de tunnelbuis. Eerste reden is de coniciteit van het boorschild welke 30 à 45 mm bedraagt, afhankelijk van het gebruikte boorschild. De coniciteit vereenvoudigt het maken van bochten en vermindert de mantelwrijving. De reden dat de boorschilden die in Nederland toegepast worden veelal conisch zijn komt echter niet door bovenstaande redenen maar wordt bepaald door de TBM

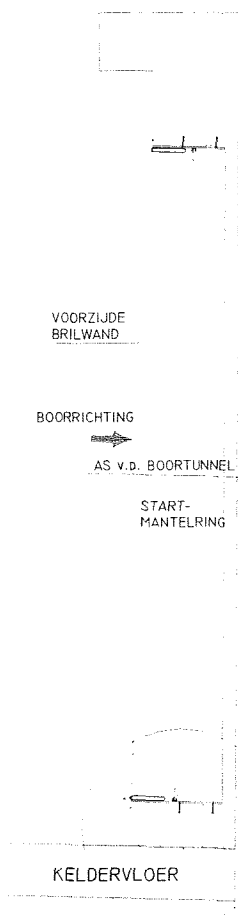


leverancier om fabricagetechnische redenen. Tweede reden is de dikte van het boorschild. Deze is afhankelijk van de diameter van het boorschild. Tenslotte is er nog de dikte benodigd voor de staartafdichting (inclusief speling). De dikte van het boorschild en de afdichting bedragen samen ongeveer 150 mm. Omdat een grote staartspleet alleen maar nadelen oplevert worden alle afmetingen die de diameter van het boorschild ten opzichte van de diameter van de tunnelbuis vergroten minimaal gehouden. De ronde vorm kan gemaakt worden door twee stalen mantelringen in de te storten wand op te nemen. Een andere mogelijkheid is het toepassen van

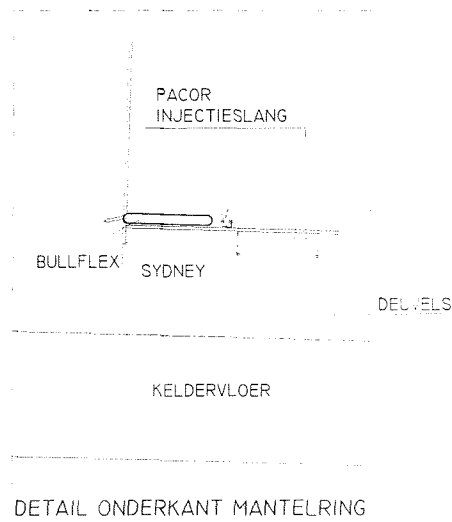
een ronde stalen kist die na storten teruggewonnen kan worden. Indien er twee buizen worden geboord kan eventueel met één kist gewerkt worden, de brilwand moet dan in twee fasen gestort worden. Uitvoeringstechnisch is het werken met een stalen kist een lastige oplossing in verband met de strakke maatvoering die vereist is bij het maken van de uitsparing in de brilwand. Om toch aan de strakke maatvoeringseisen te kunnen voldoen kan het beste een stalen mantelring worden toegepast voor het verkrijgen van de uitsparing in de brilwand. Deze mantelring wordt op de schachtfloer samengesteld. Hierna kan de mantelring verticaal opgesteld worden op de definitieve plaats in de brilwand. De mantelring dient stijf en sterk genoeg te zijn om de krachten die optreden tijdens het storten van de brilwand te kunnen opnemen. Het verdient de voorkeur om de voorkant van de mantelring gelijk te houden aan de voorkant van de brilwand. Dit vereenvoudigt het bekistingwerk

tijdens de uitvoering. Rondom de stalen mantelring worden deuvels op de mantelring gelast voor verankering in de brilwand. Ook wordt een tweetal injectieslangen aangebracht rondom de mantelring om te kunnen injecteren op de scheiding tussen mantelring en aansluitende beton nadat de brilwand gestort is (zie tekening detail onderkant bril-/mantelring). Op deze mantelring wordt ook vaak nog een brilring geplaatst voor het verkrijgen van een betere na-injectiemogelijkheid (zie tekening zijaanzicht startmantelring). Het aanbrengen van de opblaasbare slang (Bullflex slang) in de brilring is eenvoudiger omdat dit kan gebeuren wanneer de brilring nog op de schachtvloer ligt. De opblaasbare slang dient als water- en grondkering wanneer het boorschild van het rubber profiel (Sydney-profiel) afschuift.

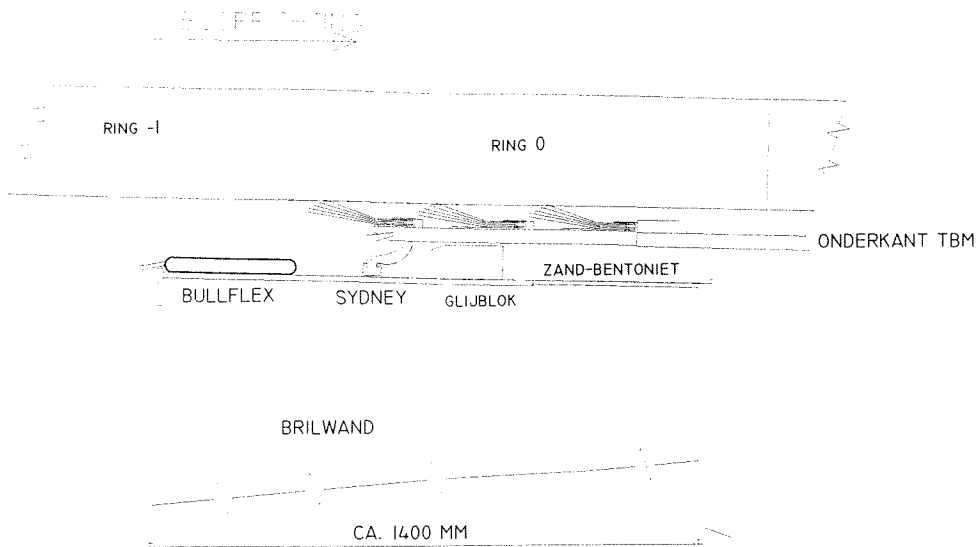
Omdat er geen argumenten zijn die het gebruik van een brilring noodzakelijk maken kan ook zonder brilring gestart worden. Deze methode is toegepast bij de start van de noordbuis van de Botlekspoortunnel. Dit is goed verlopen. Het grote voordeel van het niet toepassen van een brilring is kostenbesparing. Er is geen brilring nodig en ook geen montage en demontage van de brilring. Dit verdient dus de voorkeur boven de tot nu toe steeds toegepaste methode waarbij de brilring wel nodig was. De brilwand dient minimaal circa 1 meter breed te zijn voor het kunnen monteren van de Bullflex, het Sydney-profiel en de glijblokken.



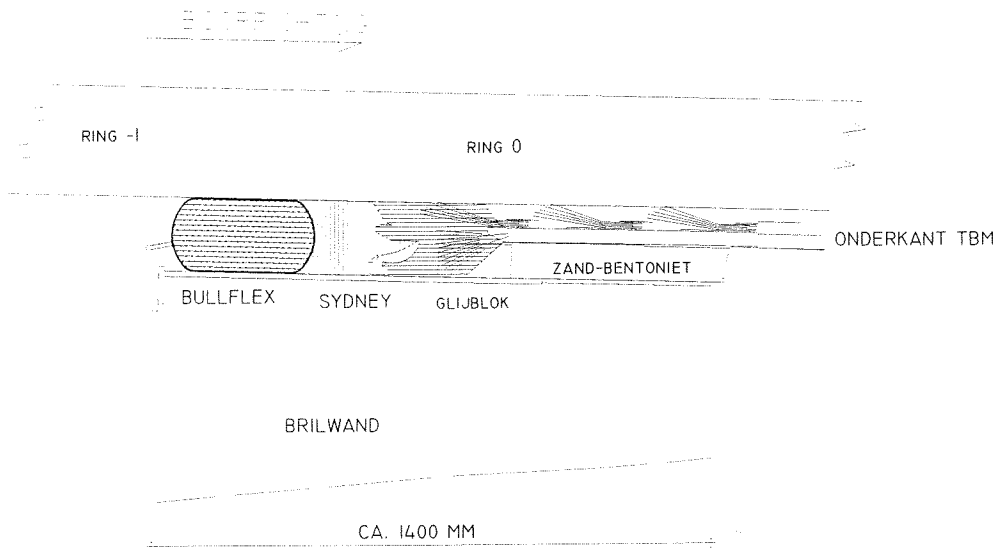
DOORSNEDE BRILWAND WAARBIJ ALLEEN EEN MANTELRING IS TOEGEPAST



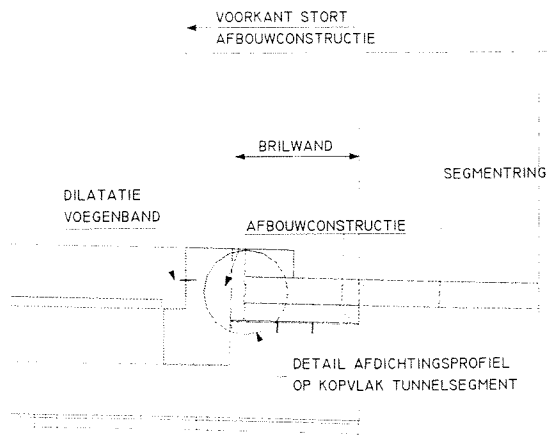
Voor het starten wordt de kop van het boorschild zover in de bril- of mantelring gebracht dat het rubber afdichtingsprofiel op de schildmantel aansluit. In de mantel- of brilring worden oplegblokken aangebracht waarop het boorschild kan afsteunen zodat het rubber afdichtingsprofiel niet beschadigt. Nu kan in de gecreëerde afgesloten ruimte druk opgebouwd worden voor het boorfront. Deze ruimte wordt gevuld met een zand-bentoniet mengsel of met water afhankelijk van de boormethode en de toegepaste overgangsconstructie. Het rubber afdichtingsprofiel zorgt voor de afdichting van de afgesloten ruimte naar de startschacht. Wanneer het boorschild bijna van het rubber afdichtingsprofiel loskomt kan de opblaasbare slang gevuld worden met grout. Deze wordt tegengehouden door stalen plaatjes die op de kop van de mantel- of brilring aangebracht worden (zie tekening, details zijn voor situatie waarbij geen startmantelring wordt toegepast). Nadat de slang is gevuld met grout kan vanuit de TBM gestart worden met het injecteren van mortel.



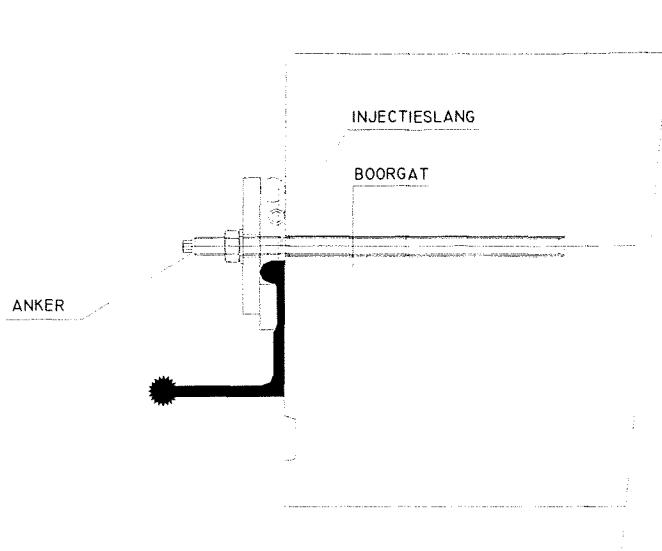
SITUATIE VOOR VULLEN BULLFLEX. SYDNEY PROFIEL VERZORGT GRONDKERING. BULLFLEX EN SYDNEY PROFIEL ZIJN HIER IN MANTELRING GEPLAATST, METHODE NOORDBUIS BOTLEKspoortUNNEL.



SITUATIE NADAT BULLFLEX IS GEVULD. HET GROUTEN KAN BEGINNEN. BULLFLEX EN SYDNEY PROFIEL ZIJN HIER IN MANTELRING GEPLAATST, METHODE NOORDBUIS BOTLEKspoortUNNEL.



Voor de afbouw van de startschacht is de Bullflex bij de noordbuis van de Botlekspoortunnel verwijderd. Dit komt omdat de Bullflex hier opgenomen was in de brilring die eveneens is verwijderd. Bij de zuidbuis van de Botlekspoortunnel blijft de Bullflex zitten. Hier is de Bullflex in de mantelring geplaatst en levert voor het aanbrengen van de afbouwconstructie geen problemen op. Vervolgens wordt de afbouwconstructie gebouwd (zie tekening detail aansluiting boortunnel-schacht).



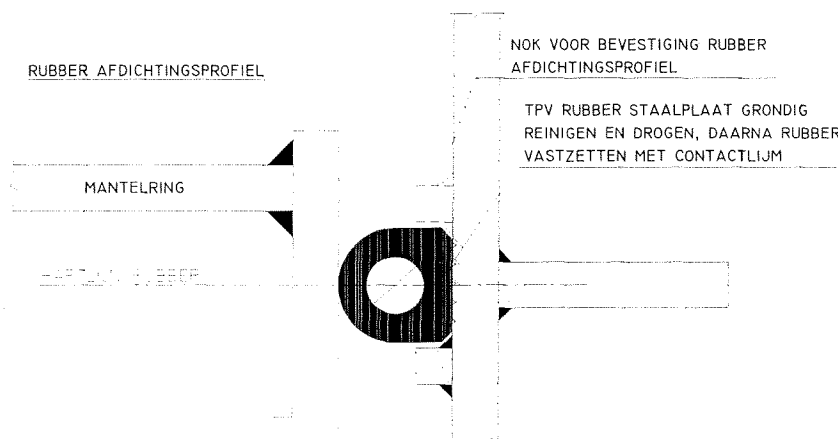
AFDICHTINGSPROFIEL KOPVLAK BOORTUNNEL EN AFBOWCONSTRUCTIE SCHACHT ONDERKANT TUNNELBUIS

Eerst wordt op het kopvlak van de eerste segmentring een afdichtingsprofiel aangebracht (zie tekening afdichtingsprofiel kopvlak boortunnel en afbouwconstructie schacht).

De afbouwconstructie is gecompliceerd omdat een overgang van een ronde vorm (boortunnel) naar een rechthoekige vorm (schacht) gemaakt moet worden.

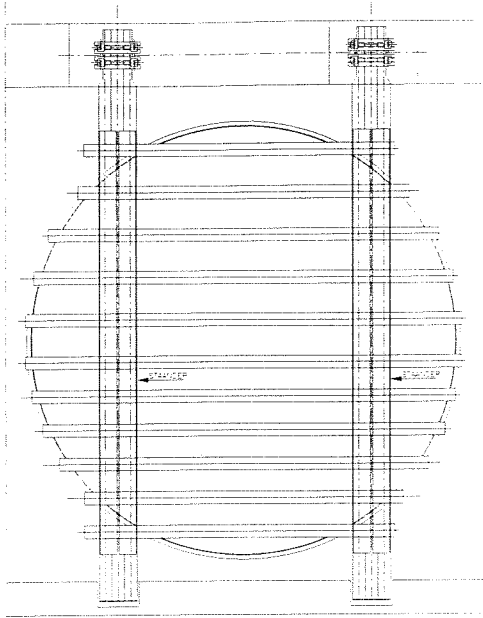
9.3.2 Ontvangtschacht

Als de TBM de overgangsconstructie (dichtblok) doorboort zou zonder speciale voorzieningen het laatste deel van het dichtblok bezwijken en in de ontvangtschacht storten. Het grondwater zou vrijelijk de ontvangtschacht in kunnen stromen. Het met water gevulde drukdeksel zorgt dat er tegendruk is zodat het dichtblok geheel afgeschaapt kan worden.



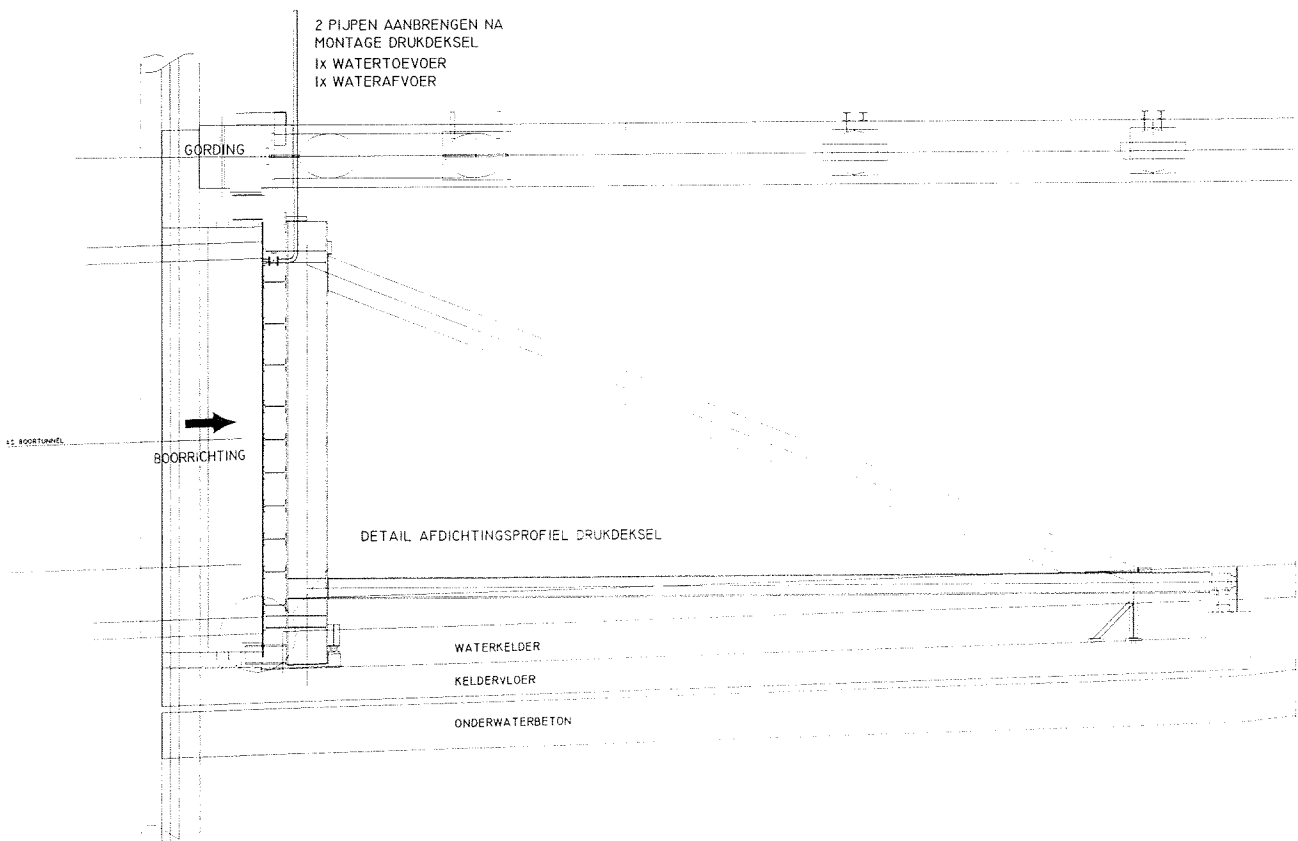
DETAIL AFDICHTINGSPROFIEL DRUKDEKSEL

Voordat de TBM zich in het dichtblok boort kan gecontroleerd worden of de aansluiting van de LSM en de onderwaterbetonvloer met de brilwand goed is (zie 12.1.2 Ontvangstprocedure dichtblok, fase 2). Wanneer het boorschild met het graafwiel in het drukdeksel aankomt is aan de achterkant van het boorschild over één segmentring gegroot in het dichtblok. Pas als blijkt dat deze afdichting goed werkt, wordt de waterdruk achter het drukdeksel afgelaten waarna het drukdeksel verwijderd kan worden. Een rubber profiel op het drukdeksel zorgt ervoor dat er geen water en grond de ontvangtschacht in kan stromen wanneer het drukdeksel vol water gezet wordt (zie tekening detail afdichtingsprofiel drukdeksel, doorsnede drukdeksel en vooraanzicht drukdeksel). Bij toekomstige projecten is het beter om de nokken te verwijderen in verband met vervorming van het afdichtingsprofiel op het drukdeksel.



LSDRANZICHT OP IN DEN BEL

Toch treedt er na de ontvangstprocedure veelal lekkage op. Het water dat de ontvangtschacht instroomt komt waarschijnlijk via de aansluiting LSM/onderwaterbeton met de combiwand aan de onderzijde van het dichtblok. Voor de verschillende maatregelen die hiervoor genomen kunnen worden zie 10.2 Ontvangst in dichtblok.



DOORSNEDE DRUKDEKSEL MET SCHOORCONSTRUCTIE

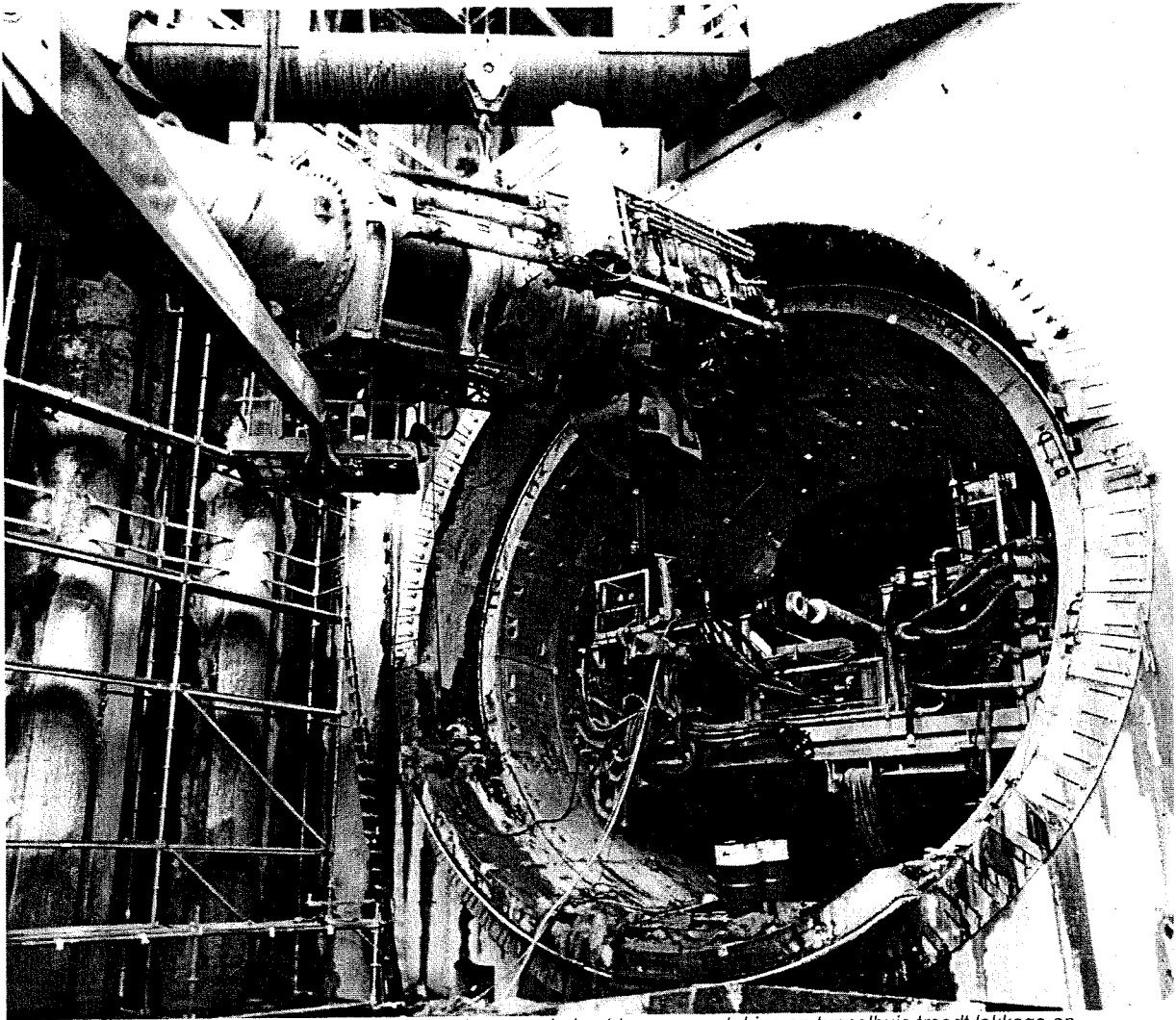
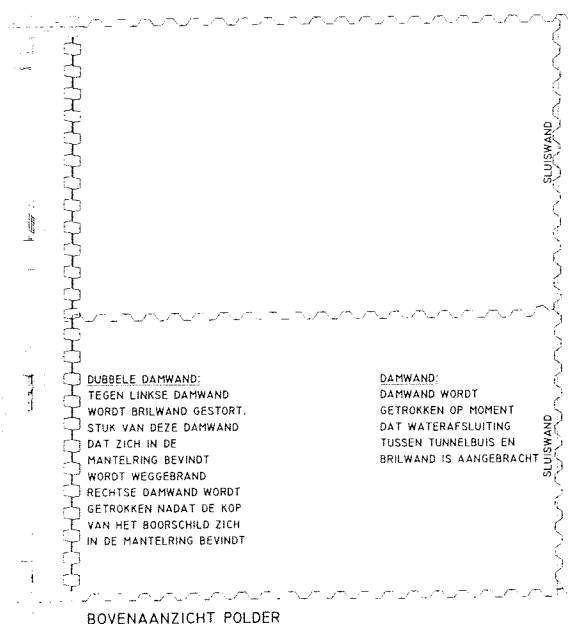
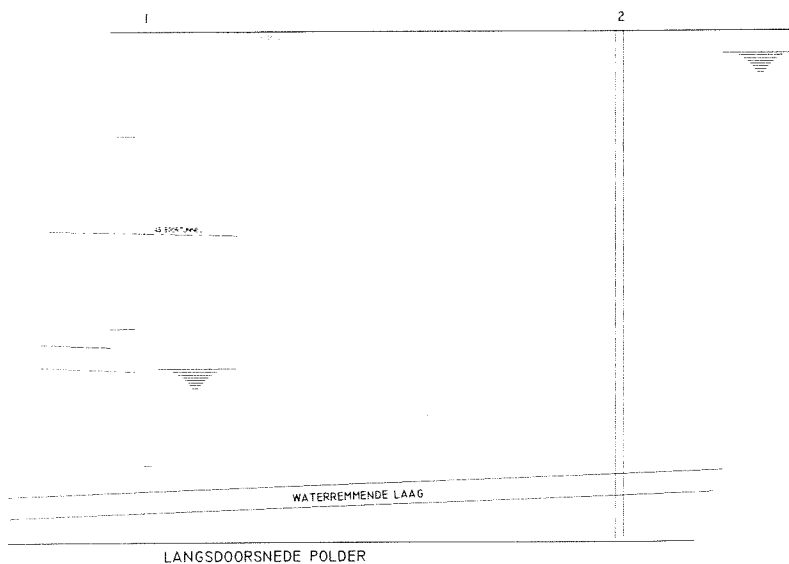


foto: zuidbuis ontvangtschacht Botlekspootunnel, aan onderkant tussen mantelring en tunnelbuis treedt lekkage op

10 Aandachtsgebieden bij uitvoering van schachten

10.1 Trekken damwand uit polder

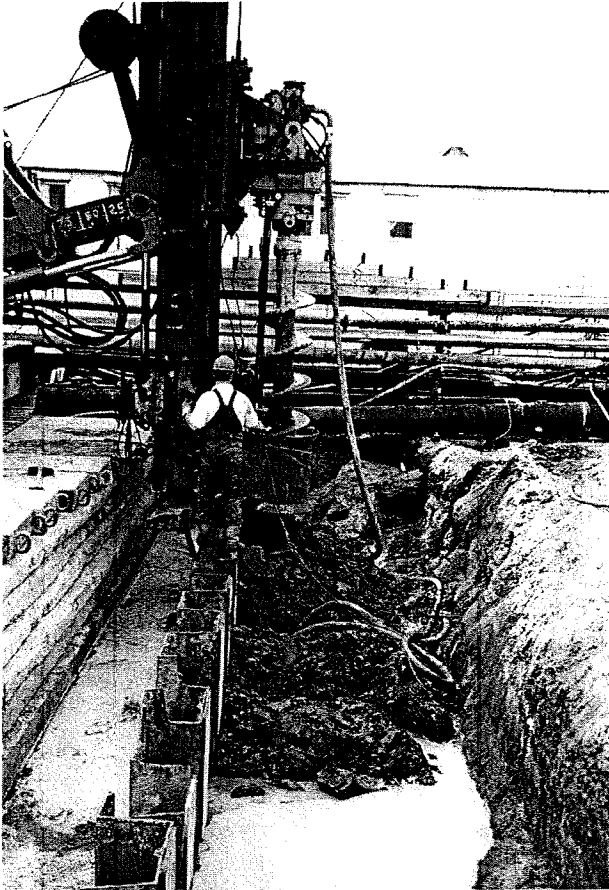
Bij toepassing van een polder dient tijdens de start van het boorproces een tweetal damwandschermen verwijderd te worden. Het voorste damwandscherm, aan de startschachtzijde, bestaat uit een dubbele damwand, hiervan worden de damwandplanken aan de polderzijde verwijderd. Dit gebeurt nadat de kop van het boorschild zich in de mantelring bevindt. De ruimte tussen damwand en graafwiel is dan afgesloten van de startschacht. Nu kan er gestart worden met het boorproces. Er wordt doorgeboord totdat de staart van het boorschild voorbij de brilwand is. Hierna wordt het waterafdichtende Bullflex profiel aangebracht. Vervolgens kan het achterste damwandscherm verwijderd worden. (zie 9.3 Detaillering brilwand en 12.2.1 Startprocedure polder).



Het verwijderen van damwandplanken uit een polder is lastig omdat zich aan één zijde van de damwandplanken droge grond bevindt. Normaal worden damwandplanken verwijderd uit verzadigde grond. De damwandplanken worden getrild en gelijktijdig omhoog getrokken. Door het trillen ontstaan er wateroverspanningen in de grond (drijfzand) en neemt de korreldruk die tegen de damwand werkt sterk af. De damwandplanken zijn dan eenvoudig te verwijderen. Bij het verwijderen van damwandplanken uit een polder kan deze wateroverspanning niet gerealiseerd worden omdat de polder droog staat (dit is de functie van de polder). Hierdoor duurt het verwijderen van de damwandplanken veel langer dan normaal. Dit heeft als gevolg dat de TBM stil komt te staan en dat kost veel geld (personeel TBM en overheadkosten projectleiding). Het is dus zeer gewenst dat het verwijderen van damwandplanken uit een polder soepel en snel kan gebeuren.

Om het verwijderen van damwandplanken uit een polder te vereenvoudigen kunnen de volgende maatregelen genomen worden (zowel voor wand 1 als wand 2):

Voor te verwijderen wanden kunnen damwandplanken met een hoogwaardige staalkwaliteit gebruikt worden. Bovendien kan aan de bovenzijde van de damwandplanken een verstijvingsplaat gelast worden. Dit voorkomt dat bij het trekken van de damwandplanken stukken uit de damwandplank getrokken worden door de grijpbek van het trilblok. Voor het verwijderen van de damwandplanken dient meteen voor een extra zwaar



triblok en zware kraan gekozen te worden omdat deze sowieso nodig zijn.

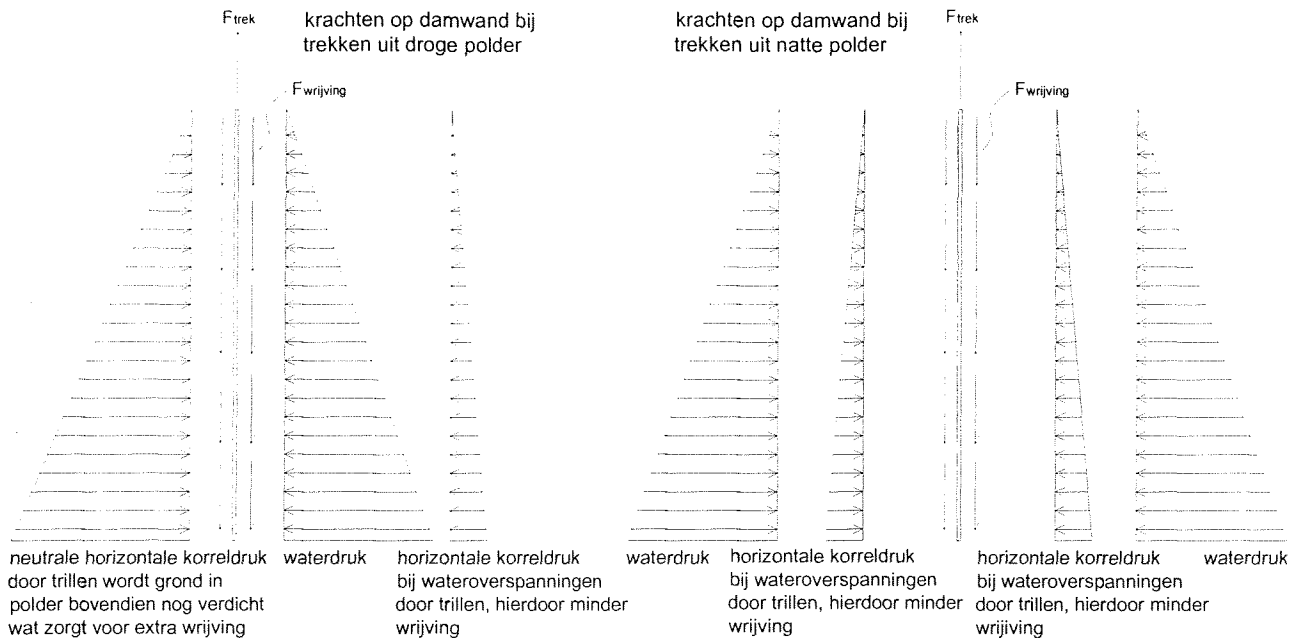
Wand 1 moet uit droge grond getrokken worden omdat bij het verwijderen van deze wand de waterdichte aansluiting tussen mantelring en tunnelling nog niet is aangebracht. Wel kan getracht worden de grond aan de polderzijde van wand 1 een minder dichte pakking te geven. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door direct achter de wand de grond te bewerken met een avegaar. Tijdens het omhoog halen van de avegaar kan tevens bentoniet geïnjecteerd worden dat als smeermiddel kan dienen tijdens het trekken van de damwandplanken. De greppel, naast de bovenzijde van de damwandplanken, waarin gewerkt wordt tijdens het boren met de avegaar dient tijdens aanvullen goed verdicht te worden om te voorkomen dat tijdens het tunnelboorproces het graaffront onderuit zakt. Verder dient de lengte van wand 1 minimaal gekozen te worden, het water dient door het damwandscherm dat in de grond achterblijft te worden gekeerd. Door een minimale lengte damwandscherm te gebruiken wordt het verwijderen hiervan eenvoudiger.



Wand 2 dient echter wel door de waterremmende laag heen te prikken. In de waterremmende laag kan het damwandscherm extra vast zitten door cohesie (kleilaag). Om het trekken van wand 2 te bevorderen kan eveneens met een avegaar langs het damwandscherm geboord worden en bentoniet ingebracht worden. Een andere mogelijkheid kan zijn om na het aanbrengen van de waterkering tussen de mantelring en de tunnelling het water in de polder volledig te laten opkomen en vervolgens pas wand 2 te verwijderen. Nu staat aan weerszijden van wand 2 de volledige waterdruk waardoor de benodigde trekkracht voor het verwijderen van wand 2 gereduceerd kan worden. Het nadeel van deze methode is dat het relatief lang duurt voordat de grond in de polder weer verzadigd is. Wanneer echter één damwandplank verwijderd is zal de polder wel snel volstromen (circa halve dag). In de praktijk zal daarom sneller voor het boren met een avegaar worden gekozen. Het trekken van het damwandscherm gaat dan wel enigszins lastiger dan uit verzadigde grond, maar de procedure kost minder tijd.

Polderconstructie Botlekspoortunnel

foto boven: grondwrijving damwand verminderen door boren met avegaar waarbij tevens bentoniet in de grond wordt gepompt, foto onder: trekken damwand polder met behulp van een extra zwaar triblok.



In bovenstaande figuur worden de krachten weergegeven die werken op een damwandplank tijdens het verwijderen hiervan uit een droge en een natte polder. De waterdrukken bij een natte polder heffen elkaar op en hebben geen invloed op de wrijving. Door trillen in droge polder wordt de grond in de polder enigszins verdicht wat leidt tot een grotere wrijving. De reductie aan de natte zijde is echter vele malen groter. Door het trillen ontstaan wateroverspanningen waardoor de korreldruk afneemt en dus ook de wrijving. De horizontale krachten aan weerszijden van de damwandplank zijn wel de hele tijd in evenwicht.

De wrijving ten gevolge van de neutrale horizontale korreldruk is ongeveer:

$$\sigma_{korrel, \text{horizontaal}, \text{neutraal}} = \gamma_{korrel} * d * \lambda_{neutraal} * \tan(\delta)$$

waarbij:

- $\lambda_{neutraal}$: neutrale korreldruk coëfficiënt, circa 0,5;
- d : diepte onder het maaiveld;
- δ : wrijvingshoek tussen zand en damwand.

De korreldruk aan de natte zijde zal kleiner zijn dan de neutrale korreldruk welke volgt uit bovenstaande formule.

10.2 Ontvangst in dichtblok

Bij het ontwerp van een overgangsconstructie voor de ontvangst verdient de waterafdichting nadat de TBM is ontvangen speciale aandacht. Bij de boortunnelprojecten die tot nu toe zijn uitgevoerd bestond de overgangsconstructie steeds uit een dichtblok aangebracht in een bouwkuip van dam- en combiwand. Onder het dichtblok wordt eerst een laag onderwaterbeton aangebracht omdat de kwaliteit van de aansluiting tussen onderwaterbeton en een stalen wand bekend is.

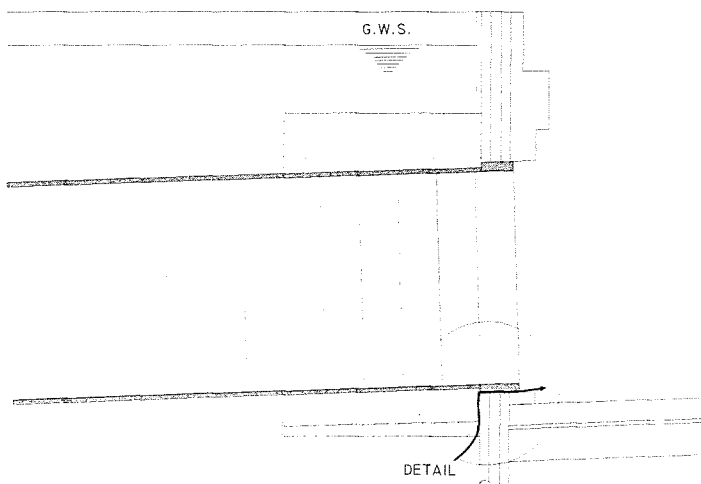
Een probleem bij dit type overgangsconstructie blijkt steeds de waterafdichting te zijn nadat de TBM in de ontvangtschacht is aangekomen. Er blijkt veelal nog plaatselijk lekkage op te treden. Het water stroomt dan tussen de mantelring en de tunnelling door de ontvangtschacht in. Dit levert problemen op voor de bouw van de definitieve constructie die de tunnelling op de ontvangtschacht laat aansluiten. Een ander gevaar dat bij grotere lekkages kan optreden is dat het lekwater zand meevoert wat tot ontgroningen kan leiden.

Bij de tot nu toe uitgevoerde ontvangst overgangsconstructies bestaat de brilwand uit een combiwand waarvoor een betonwand is gestort waarin de mantelringen zijn opgenomen. Voordat de TBM ontvangen kan worden in het dichtblok dient eerst de damwand aan de boortunnelzijde, welke haaks

op de lengtes van de boortunnel staat, te worden verwijderd. Tijdens dit verwijderen kan het dichtblok loskomen van de combiwand. Bovendien kan er tijdens het verwijderen van de damwand een gat in een waterremmende laag ontstaan waaronder zich spanningswater bevindt. Hierdoor kan een extra grote stijghoogte ontstaan in het grondmassief rondom het dichtblok. Bovendien kan door het verwijderen van de damwand een lekweg voor het boorfront naar het maaiveld ontstaan. Vervolgens dient gecontroleerd te worden of zich tussen de combiwand en het dichtblok water bevindt (zie 12.1.2 Ontvangstprocedure dichtblok fase 2). Indien dat het geval is dient er eerst geïnjecteerd te worden tussen dichtblok en combiwand. Tijdens het verwijderen van de combiwand binnen de mantelring komen spanningen vrij, dit uit zich in grote klappen die dan zijn te horen. Ook dit kan een reden zijn voor het ontstaan van een naad tussen combiwand en dichtblok. Voordat de TBM ontvangen word kan er dus voor gezorgd worden dat er geen lekkage optreedt. Nu blijkt echter uit de praktijk na het ontvangen van de TBM toch lekkage te ontstaan. Naast het verwijderen van de combiwand kan deze lekkage ook optreden als gevolg van het doorboren van het dichtblok door de TBM.

Er zijn een aantal theoretische mogelijkheden waardoor het lekwater de ontvangtschacht kan instromen die kunnen ontstaan als gevolg van het doorboren van het dichtblok. Mogelijke lekwegen zijn:

- 1) door de staartspleet:
De kans dat hierdoor lekkage optreedt is heel klein indien goed gegroot wordt. Dit gebeurt over de hele lengte van het dichtblok en znodig kan er vanuit de tunnelbuis door de lining na-geïnjecteerd worden nadat de TBM is gepasseerd. Wel dient tijdens de ontvangstprocedure de waterstand voor het boorfront beheerst te worden. Deze dient minimaal gelijk te zijn aan de waterstand in de grond achter het dichtblok. Dit om te voorkomen dat er staartspleetvulling langs het boorschild naar het boorfront toe loopt.
- 2) door dichtblok of onderwaterbeton indien dit inwendig niet waterdicht is:
Onderwaterbeton is inwendig waterdicht. Ook LSM (Lage Sterkte Mortel, materiaal waaruit dichtblok kan bestaan) is inwendig waterdicht, voor toepassing zijn hiermee proeven genomen.



LANGSDOORSNEDE ONTVANGST
OVERGANGSCONSTRUCTIE

- 3) door eventuele naad op de plaats waar het dichtblok op de onderwaterbetonvloer aansluit:
Voor toepassing van LSM is ook de aanhechting van LSM op onderwaterbeton onderzocht. Deze aanhechting bleek goed te zijn mits de LSM direct op de verse beton werd aangebracht. Hierdoor zal waarschijnlijk dus ook geen lekkage optreden. Indien er wel lekkage optreedt door deze naad dan zal dit altijd in combinatie zijn met de lekweg uit punt 4).

- 4) door slechte aanhechting tussen onderwaterbeton/dichtblok en stalen wand:

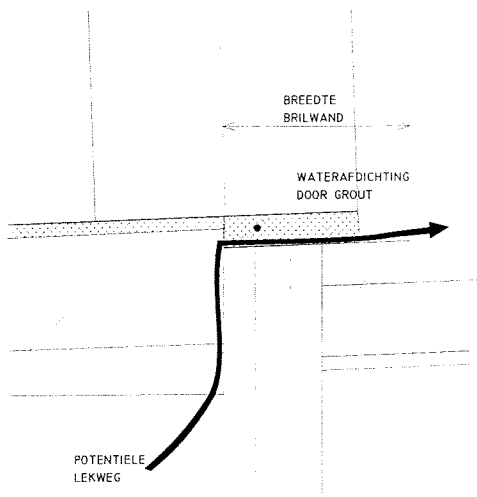
Deze lekweg is het meest waarschijnlijk. Er hoeft maar een

kleine slibinsluiting te zijn tussen het dichtblok en de stalen wand om lekkage te veroorzaken. Lekkage kan echter alleen optreden indien ook de aanhechting tussen onderwaterbeton en stalen wand onvoldoende is. Bij de verdere uitwerking van het optreden van lekkage bij ontvangst in een dichtblok wordt er dan ook van uit gegaan dat dit de lekweg is waarlangs het water de ontvangtschacht instroomt.

De aanhechting tussen dichtblok en combiwand zou voldoende kunnen zijn. Dit blijkt in de praktijk niet zo te zijn. Hiervoor zijn verschillende oorzaken:

- aanhechting van onderwaterbeton/LSM op staal (glad oppervlak) is matig;
- tijdens storten kan er slib tussen onderwaterbeton/LSM en combiwand terecht komen;
- dichtblok is star lichaam evenals de brilwand waarin de combiwand is opgenomen. De verbinding tussen het dichtblok en de combiwand kan dus geen verplaatsingen opnemen. Het gevolg is dat

het verwijderen van de damwand aan de boortunnelzijde, het wegbranden van de combiwand binnen de mantelring en het doorboren van het dichtblok lekkage veroorzaakt. Hieruit blijkt dat ontvangst van de TBM met de dichtblokmethode tot nu toe nog géén structureel goede oplossing is. Om de lekkageproblemen die optreden aan te kunnen pakken wordt hier een aantal verschillende oplossingen weergegeven.

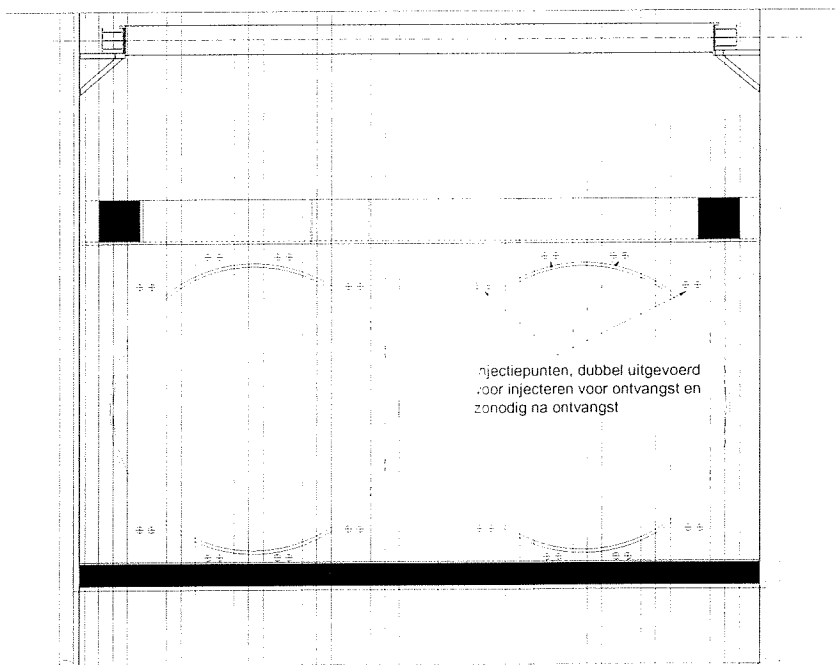


DETAIL WATERAFDICHTING ONDERZIJDE DICHTBLOK

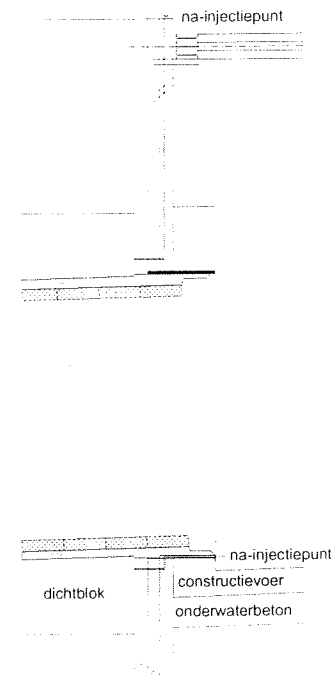
Bij de eerste oplossing wordt aangenomen dat de aanhechting dichtblok-combiwand tijdens het hele ontvangstproces goed functioneert. Dit kan alleen wanneer een flexibel dichtblok wordt toegepast wat kleine verplaatsingen kan opnemen. Een materiaal wat hier bijvoorbeeld voor gebruikt kan worden is klei. Dit heeft een goede waterremmende werking en is bovendien flexibel. Het nadeel is de lage sterkte die klei heeft. Voor kleine diameter boortunnels wordt deze oplossing wel toegepast. Hiervoor wordt dan gekozen omdat klei al van nature aanwezig is. Het is dus een goedkope oplossing. Voor grote diameter boortunnels voldoet deze oplossing niet omdat hier een grotere sterkte is vereist om het grondlichaam binnen de mantelring niet te laten bezwijken. Deze oplossing wordt verder dan ook niet uitgewerkt.

Een tweede mogelijke oplossing is om de 'kwellingte' te vergroten. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de onderkant van het dichtblok dieper aan te leggen. Bij een langere kwellingte ondervindt het water meer weerstand en zal er dus een kleiner debiet in de ontvangtschacht stromen.

Bij de laatste oplossing wordt in eerste instantie uitgegaan dat vooraf injecteren tussen dichtblok en combiwand lekkage voorkomt. Op dat moment is injecteren nog het meest effectief omdat er dan nog



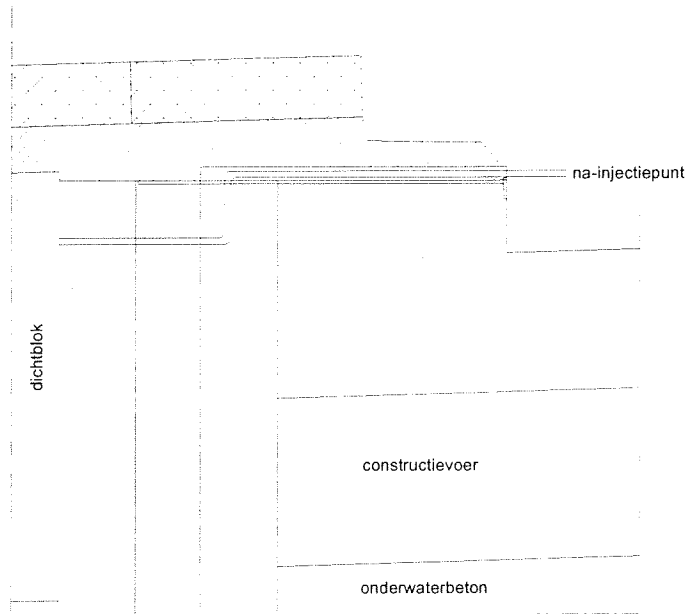
VOORAANZICHT BRILWAND MET AANGEBRACHTE INJECTIEPUNTEN



DWARSDOORSNEDE BRILWAND MET AANGEBRACHTE INJECTIEPUNTEN

in stilstaand grondwater geïnjecteerd kan worden. De injectiepunten worden dubbel uitgevoerd (voor – en na-injectiepunten) zodat na de aankomst van de TBM nogmaals geïnjecteerd kan worden indien er alsnog lekkage optreedt (zie vooraanzicht brilwand met aangebrachte injectiepunten). De na-injectiepunten dienen met een pijp verlengd te worden tot in de ontvangtschacht. Deze pijp dient beschermt te worden tijdens passage van de TBM. Hiervoor kan als bescherming een stalen profiel aangebracht worden rondom de injectiepijp (zie detail na-injectiepijp onderkant mantelring). Wanneer

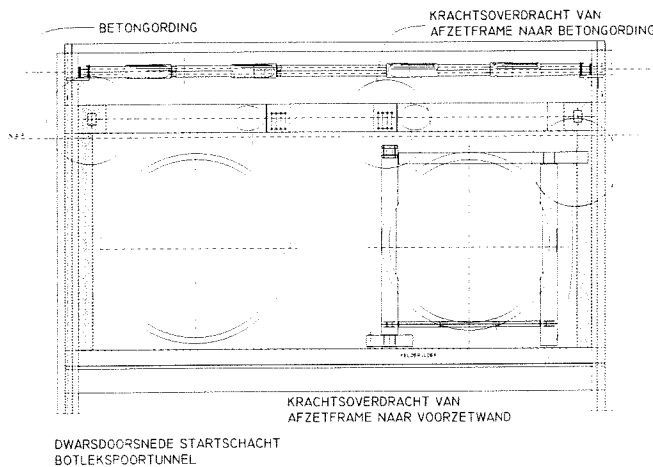
tenslotte ook dit niet afdoende blijkt te zijn kan ook een verbinding gemaakt worden tussen het punt waar lekkage optreedt en de ontvangtschacht. Dit kan gedaan worden door een pijp in de definitieve afbouwconstructie tussen boortunnel en ontvangtschacht op te nemen. Tijdens de uitvoering voert deze het lekwater af. De waterdruk achter de afbouwconstructie kan dan dus niet oplopen. Nadat de afbouwconstructie voltooid is kan deze pijp geïnjecteerd worden. De oplossing die hier genoemd wordt pakt niet de oorzaak van het probleem aan, maar vormt (voorlopig) wel een relatief goedkope en afdoende oplossing.



DETAIL NA-INJECTIEPUNT
ONDERKANT MANTELRING

11 Horizontaal evenwicht startschacht

Het langsevenwicht van een bouwkuip is verzekerd zonder de bijdrage van de langswanden indien aan weerszijden de krachten op de kopwanden even groot zijn. Tijdens de bouw kan het voorkomen dat de krachten op de kopvlakken van de bouwkuip niet meer gelijk zijn aan elkaar. Dit kan komen doordat bijvoorbeeld aan één kopzijde van de bouwkuip (nat) ontgraven wordt terwijl aan de andere kopzijde nog de volledige water- en korreldruk staat. Dit komt vaak voor bij het maken van cut- en covertunnels. Hierbij wordt het langstracé in verschillende compartimenten opgedeeld zodat een kortere uitvoeringstijd ontstaat. De krachten aan weerszijden op de kopvlakken zijn dan niet meer gelijk aan elkaar. Om nu een nieuw evenwicht te bereiken zullen de zijwanden van de bouwkuip langskrachten door middel van wrijving aan de grond moeten overdragen.

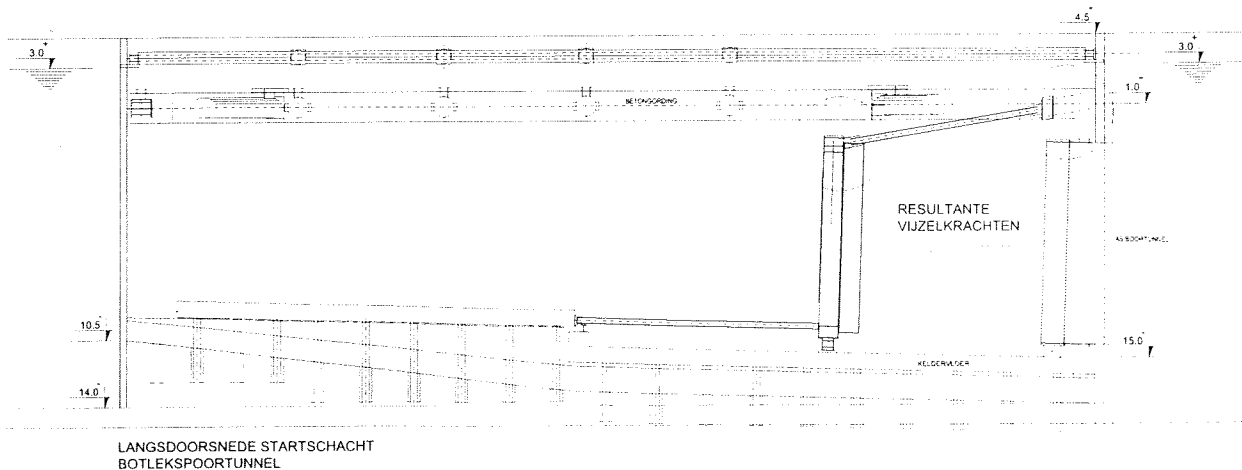


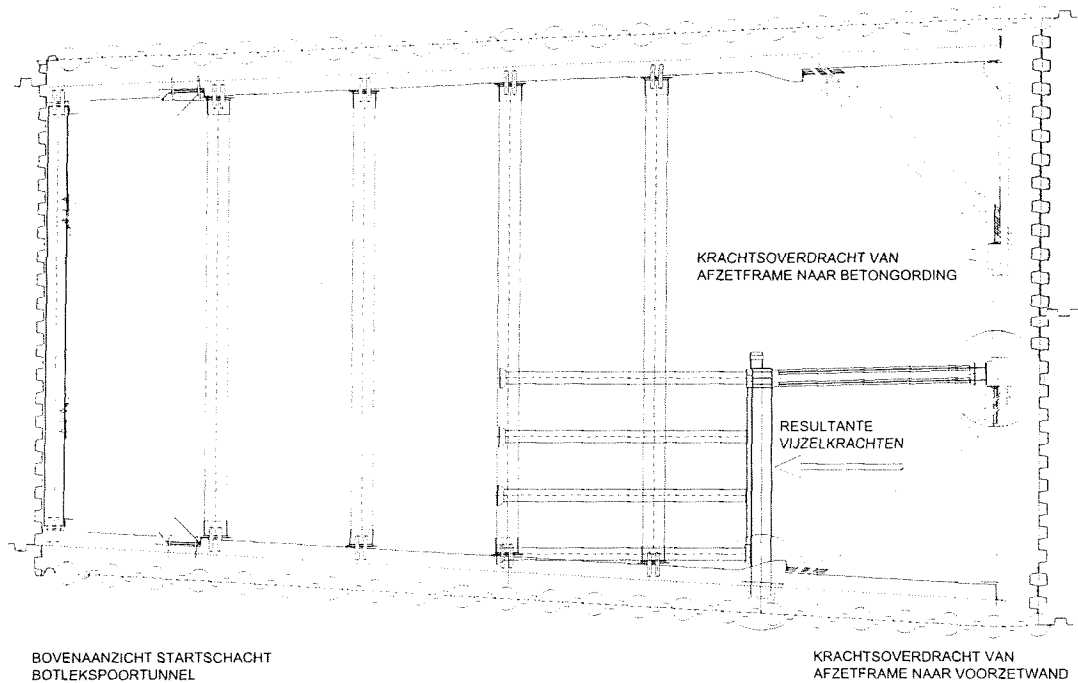
Tijdens het ontwerp van de startschacht voor de Botlekspoortunnel is veel aandacht besteed aan het langsevenwicht van de startschacht. Naast het in de vorige alinea genoemde feit van uitvoering in verschillende compartimenten hadden ook de krachten van de TBM als gevolg van het startproces invloed op het langsevenwicht. Voor het garanderen van het langsevenwicht zijn voorzetwanden gemaakt (zie dwarsdoorsnede startschacht Botlekspoortunnel). Deze werden aangebracht ter versteviging van de combiwanden. Aangenomen werd dat de sloten van de combiwanden geen wrijving konden ontwikkelen. De combiwanden

zouden dan ten opzichte van elkaar kunnen gaan verschuiven waardoor verplaatsingen van de bouwkuip zouden kunnen ontstaan. Door een voorzetwand toe te passen werd de combiwand één massieve wand die vormvast is.

Er zijn twee situaties die het langsevenwicht veranderen:

- 1) De situatie tijdens het startproces van de TBM. Via het afzetframe worden de vijzelkrachten van de TBM afgedragen aan de startschacht. De kracht uit de bovenzijde van het afzetframe wordt zowel rechtstreeks als via een betongording naar de zijwanden overgedragen. Aan de onderzijde van het afzetframe wordt de kracht middels een sprong in de schachtvloer overgedragen aan de zijwand.
- 2) De situatie dat het compartiment aan de toerzijde ontgraven en leeggepompt wordt. De korrel- en waterdruk vallen weg. De kracht wordt aan de bovenzijde via een gording overgebracht naar de zijwanden. De vloer brengt aan de onderzijde de krachten over aan de zijwanden.





In bovenstaande tekeningen is te zien hoe de krachtsafdracht van zowel de TBM als de wegvallende krachten op de kopwand toeritzijde aan de zijwanden verloopt. Er wordt aangenomen dat de betongording de krachten gelijkmatig over de zijwand afdraagt. Dit omdat de vervorming van de betongording slechts enkele millimeters bedraagt.

Voor een uitgewerkt voorbeeld zie bijlage 7 'Uitwerking horizontaal evenwicht startschacht Botlekspoottunnel'.

12 Start- en ontvangstprocedures

Tijdens het boorproces wordt een definitieve afdichting van de staartspleet pas verkregen nadat het boorschild gepasseerd is. Wanneer dus bij de start of de ontvangst door de brilwand wordt geboord zou er dus een lekweg ontstaan zonder bijkomende voorzieningen. Om dit te voorkomen wordt er een overgangsconstructie toegepast. Er zijn veel verschillende mogelijkheden voor het toepassen van een overgangsconstructie, een aantal varianten worden hier kort toegelicht. Voor de meest gangbare overgangsconstructies, dichtblokvarianten en poldervarianten, worden de start- en/of de ontvangstprocedures uitgebreid beschreven. Een polder is alleen bij het startproces te gebruiken, terwijl een dichtblokconstructie bij zowel het start- als ontvangstproces is te gebruiken.

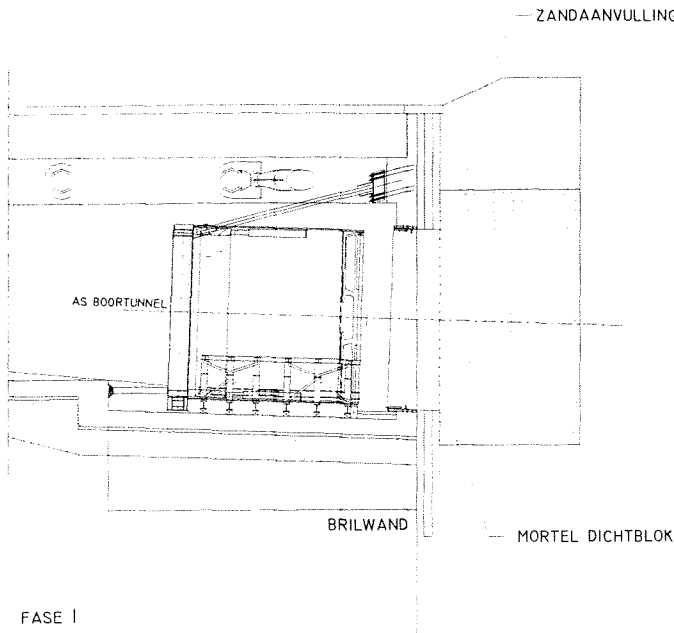
12.1 Passage van het dichtblok

12.1.1 Startprocedure

De startprocedure wordt onderverdeeld in 5 fasen. Bij elke fase is een tekening gevoegd die de situatie aan het eind van de desbetreffende fase weergeeft. De startprocedure is uitgewerkt voor een dichtblok dat is aangebracht in een kuip. De wand die is opgenomen in de brilwand is een combiwand en de overige drie wanden zijn damwanden. Er wordt uitgegaan van een start zonder toepassing van een brilring. Naast het feit dat er nu geen brilring nodig is levert dit nog een aantal voordelen op. Er is een activiteit minder in de op- of ombouwfase, tijdelijke afdichtingen worden opgenomen in de definitieve constructie en er is geen risicovol demontagewerk aan de tijdelijke afdichtingen tijdens de afbouw. Nadelen zijn dat de opblaasbare slang vooraf niet volledig gemonteerd kan worden omdat er dan te weinig ruimte overblijft voor een goede oplegging van het schild in de mantelring en het dichtblok dient langer te zijn (extra lengte is gelijk aan breedte brilring).

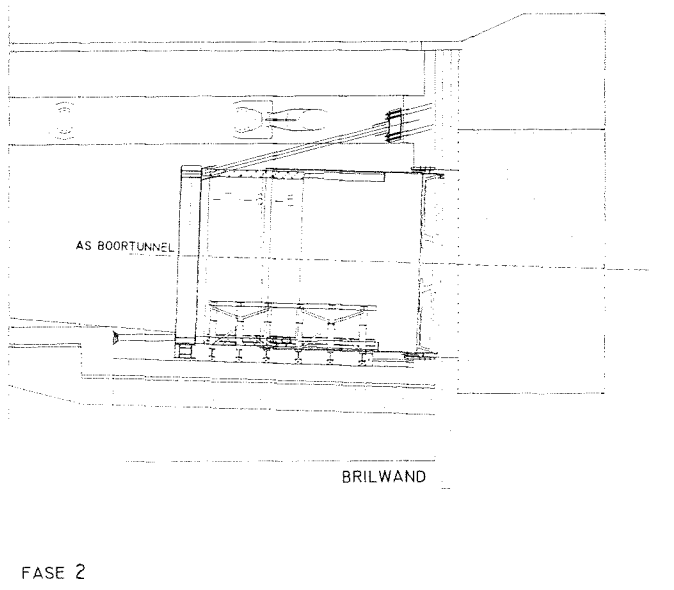
Vorbereidende werkzaamheden

Vooraf moeten de buispalen al nat ontgraven worden en moet een betonprop onder in de buispaal aangebracht worden ter hoogte van de constructievloer. De damwand aan de boortunnelzijde van het dichtblok (haaks op de lengte as van de tunnel) moet voor de start van het boren getrokken worden. De combiwand binnen de mantelring dient ook weggebrand te worden, hiervoor is een hoogwerker nodig. Hiervoor dient eerst gecontroleerd te worden of de combiwand waterdicht aansluit op het dichtblok. Dit kan gecontroleerd worden door een aantal kleine afsluitbare openingen in de combiwand te branden. Indien er teveel water uittreedt moet er geïnjecteerd worden tussen dichtblok en combiwand. Ook moet gecontroleerd worden of de aangebrachte betonproppen in de buispaal op de goede de hoogte aangebracht zijn. Dit is om te voorkomen dat de buispalen bij eventuele horizontale belasting uit de vloer plat gedrukt worden. Na het doorbranden van de buispalen wordt het achtergebleven onderste deel van de buispalen afgevuld met beton tot onderzijde mantelring. Het bovenste deel wordt dichtgelast met staalplaat. Dit voorkomt bij het vermortelen van de eerste ring verlies van mortel in de buispalen. Nu kunnen het rubber afdichtingsprofiel (Sydney), de opblaasbare slang (Bullflex) en de oplegblokken voor de TBM in de mantelring geplaatst worden. Voordat de TBM opgesteld kan worden moeten eerst de uitvulling in de pompkamer en het schildzadel opgesteld worden. Het onderste deel van het afzetframe wordt voor het plaatsen van de uitvulling aangebracht, het bovenste deel wordt pas opgebouwd nadat de TBM helemaal is opgesteld. De plaats waar het afzetframe komt wordt bepaald door de lengte van het boorschild en de ruimte die nodig is voor het monteren van het graafwiel. Om beschadiging van het Sydney-profiel bij inschuiven van het boorschild te voorkomen moeten de ruimers afgebraamd worden, met tape worden beschermd en ingesmeerd worden met vet. Nu kan begonnen worden met het boorproces.



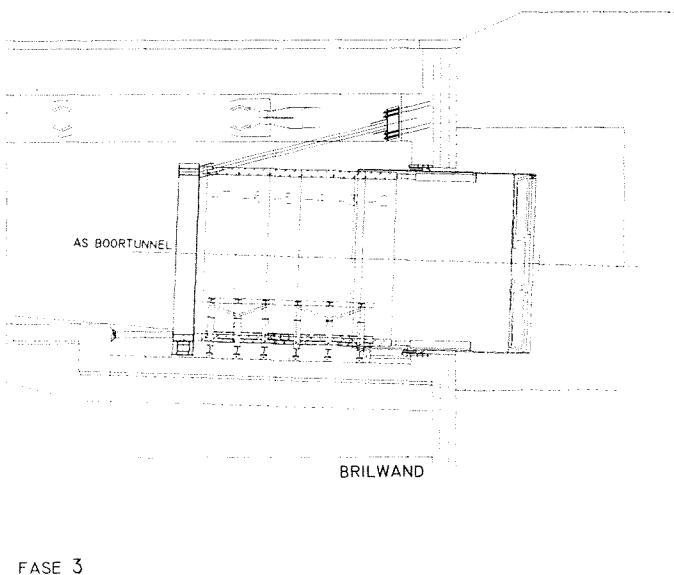
Fase 1

Voor het opbouwen van de eerste blindring dient de vlakheid van de drukring gecontroleerd te worden. Ook het schildzadel moet uitgevuld worden totdat het in de juiste positie staat. Voor het plaatsen van de eerste blindring dient het boorschild vastgelast te worden aan het schildzadel voor het verkrijgen van voldoende stabiliteit en tegendruk. De eerste blindring wordt na plaatsen vastgemaakt aan zowel de drukring als het schildzadel.



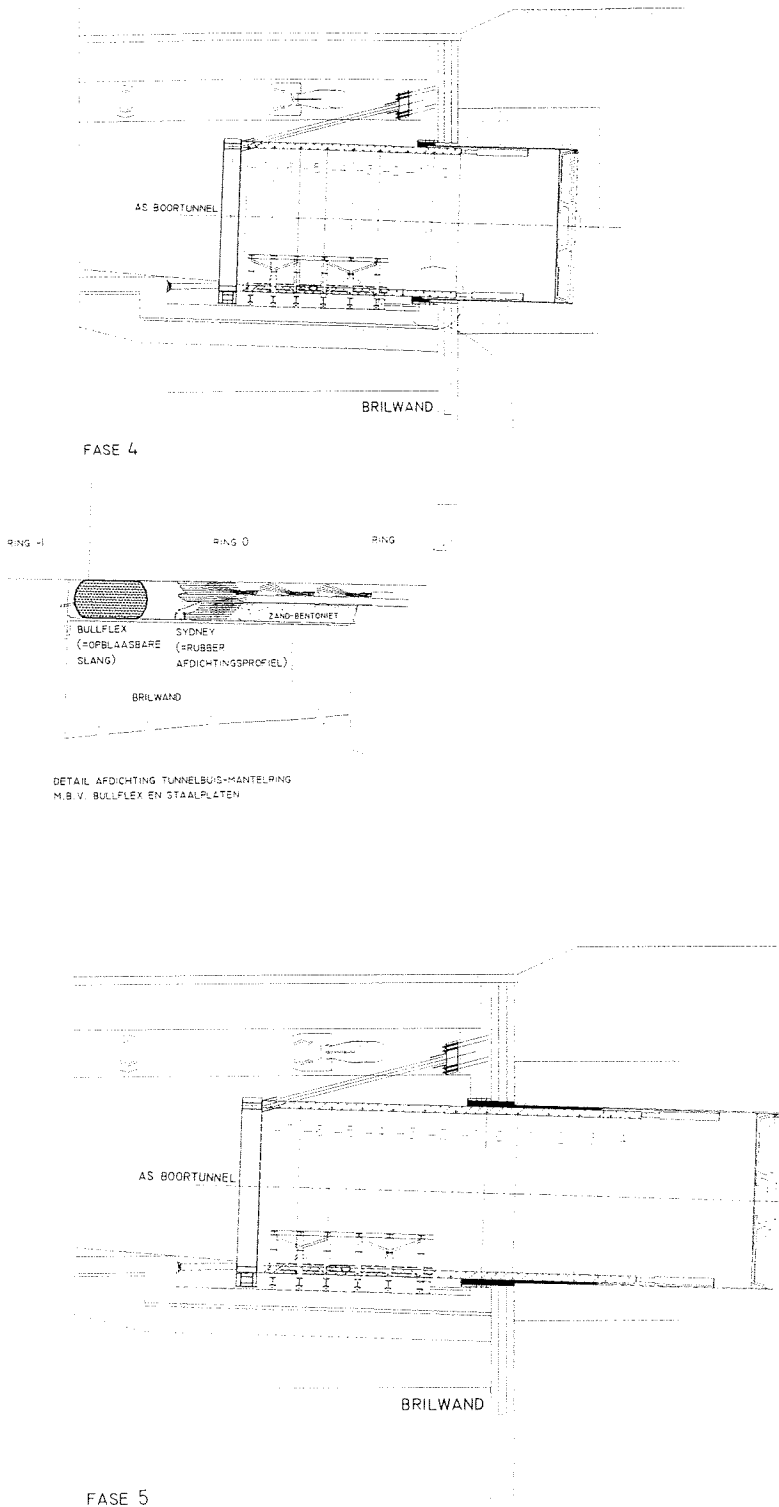
Fase 2

Voor het plaatsen van een blindring wordt het boorschild steeds vastgelast aan het schildzadel. Tijdens de voortgang van het schild dient het vrijkomende deel van de desbetreffende ring onderstept te worden met hardhouten vulblokken. Er wordt doorgedaan totdat de kop van het boorschild zich 200 mm voor het dichtblok in de mantelring bevindt. Nu wordt de ruimte tussen boorkop en dichtblok gevuld met water (hydro-schild) of met een zandbentoniet mengsel (EPB-schild). Het afzetframe werd tot nu toe gedimensioneerd op de vijzelkrachten die bij start boren optreden, deze krachten zijn kleiner dan de maximale krachten die de vijzels kunnen leveren. Om echter te voorkomen dat het afzetframe kapot gedrukt wordt door te grote vijzelkrachten dient het afzetframe gedimensioneerd te worden op de maximale vijzelkrachten van de TBM. Nu kan het dichtblok doorboord worden.



Fase 3

Boren en plaatsen van een aantal blindringen. Het rubber afdichtingsprofiel sluit aan op de schildmantel (zie voor detail van deze aansluiting 9.3 Detaillering brilwand).



Fase 4

Boren t/m ring 1. De schildmantel mag het rubber afdichtingsprofiel absoluut niet passeren. Nu kan het voorste oplegblok verwijderd worden waarna de opblaasbare slang op zijn plaats wordt gelegd. Voordat de slang opgeblazen wordt, moeten er staalplaten bevestigd worden aan de brilwand die de opblaasbare slang op zijn positie moeten houden tijdens het injecteren van de staartspleet. De staalplaten moeten aansluiten op de reeds geplaatste tunnelbuis. Nu kan de opblaasbare slang gevuld worden met mortel. Na vullen moet de slang 24 uur uitharden. Vervolgens boren en plaatsen ring 2 en deels boren ring 3 (circa 60 cm). Ruimte tussen opgeblazen slang en rubber afdichtingsprofiel wordt opgevuld met mortel. Het vullen opbouwen vanaf onderste lisenen naar boven om de opgesloten lucht tussen mantelring en boorschild kwijt te raken. Hiervoor moet wel een ontluchtingspijp boven in de mantelring worden opgenomen. Na injecteren TBM wederom 24 uur stilleggen. Na 24 uur het boorschild circa 2 cm naar voren schuiven.

Fase 5

Nu kan uit het dichtblok gebroken worden. Als boorvloeistof wordt overgestapt op bentoniet (hydro-schild) of er wordt een conditioneringmiddel aan de grond in de werkkamer toegevoegd (EPB-schild). Er kan nu circa 200 meter geboord worden voordat de blindringen en het afzetframe verwijderd kunnen worden.

12.1.2 Ontvangstprocedure

Voor de ontvangstprocedure zijn verschillende mogelijkheden. De gebruikelijke ontvangstprocedure is zoals die bij de 2^e Heinenoordtunnel en de Botlekspoortunnel is toegepast. Hier wordt de boorkop ontvangen in een ruimte achter een geheel met water gevuld drukdeksel. Deze ontvangstprocedure neemt relatief veel tijd in beslag, veel werkzaamheden liggen op het kritieke pad. Een andere mogelijkheid waarbij direct tot in de ontvangtschacht kan worden geboord is de situatie waarbij de hele ontvangtschacht vol water of zand wordt gezet. Voordeel hiervan is dat er geen drukdeksel

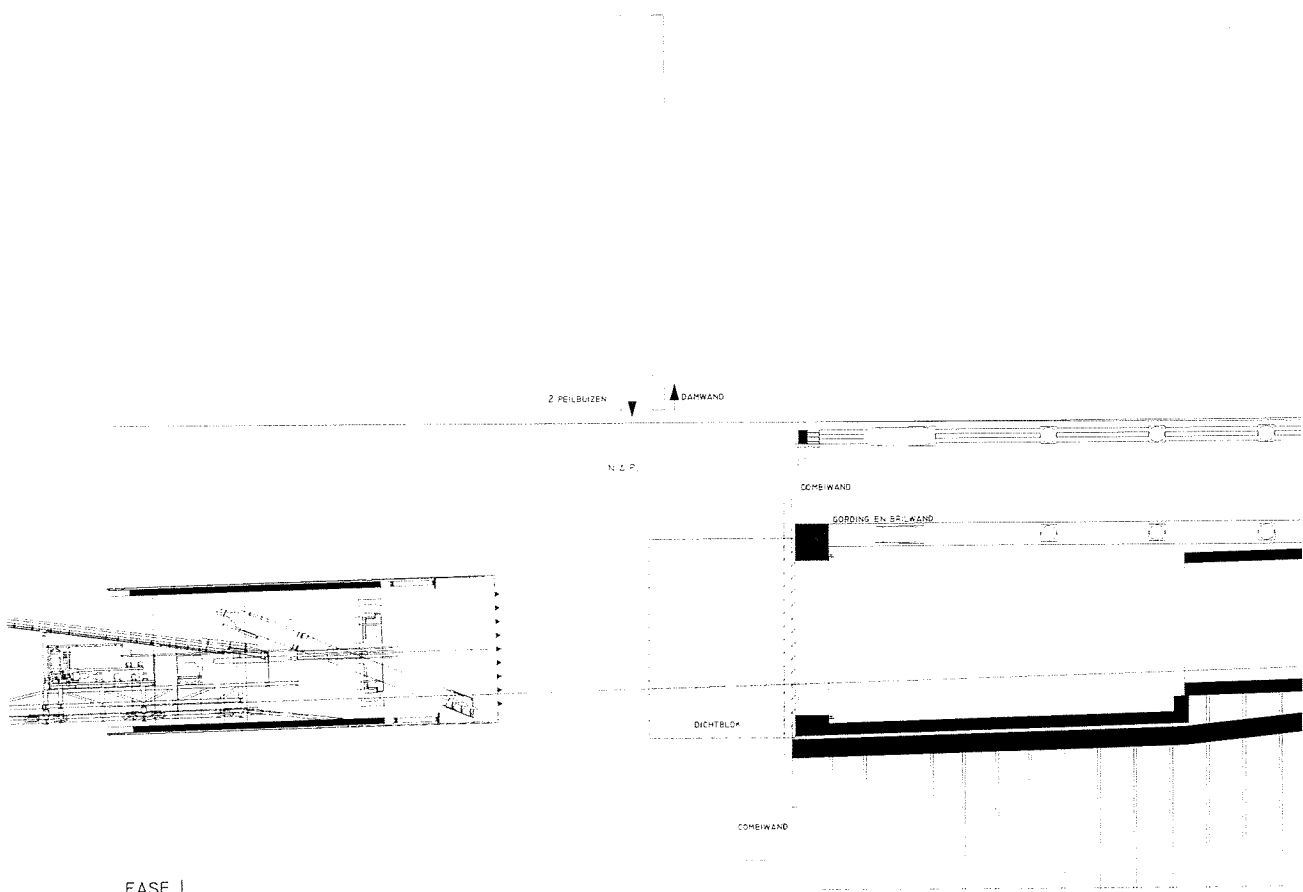
nodig is en dat er veelal met een korter dichtblok kan worden volstaan (zie 8.3 Westerscheldetunnel, ontvangtschacht 9.2 Principeoplossingen overgangsconstructie). Bij een toepassing van een combiwand kan niet met een korter dichtblok worden volstaan. Een probleem hierbij is dat niet elke ontvangtschacht vol water of zand gezet kan worden. Redenen hiervoor kunnen zijn: onderdelen van de afbouw die reeds geplaatst zijn laten dit niet toe, bijvoorbeeld werktuigbouwkundige installaties. Een andere reden kan zijn dat er werkzaamheden in de ontvangtschacht verricht moeten worden die niet toelaten dat de ontvangtschacht vol water of zand gezet wordt. Beide ontvangstprocedures zullen per fase toegelicht worden.

Ontvangstprocedure met drukdeksel

De ontvangstprocedure waarbij het drukdeksel wordt toegepast is onderverdeeld in 6 fasen. Bij elke fase is een tekening gevoegd die de situatie aan het eind van de desbetreffende fase weergeeft. De ontvangstprocedure is uitgewerkt voor een dichtblok dat aangebracht is in een damwandkuip. De kuip sluit aan op een combiwand die onderdeel uitmaakt van de brilwand.

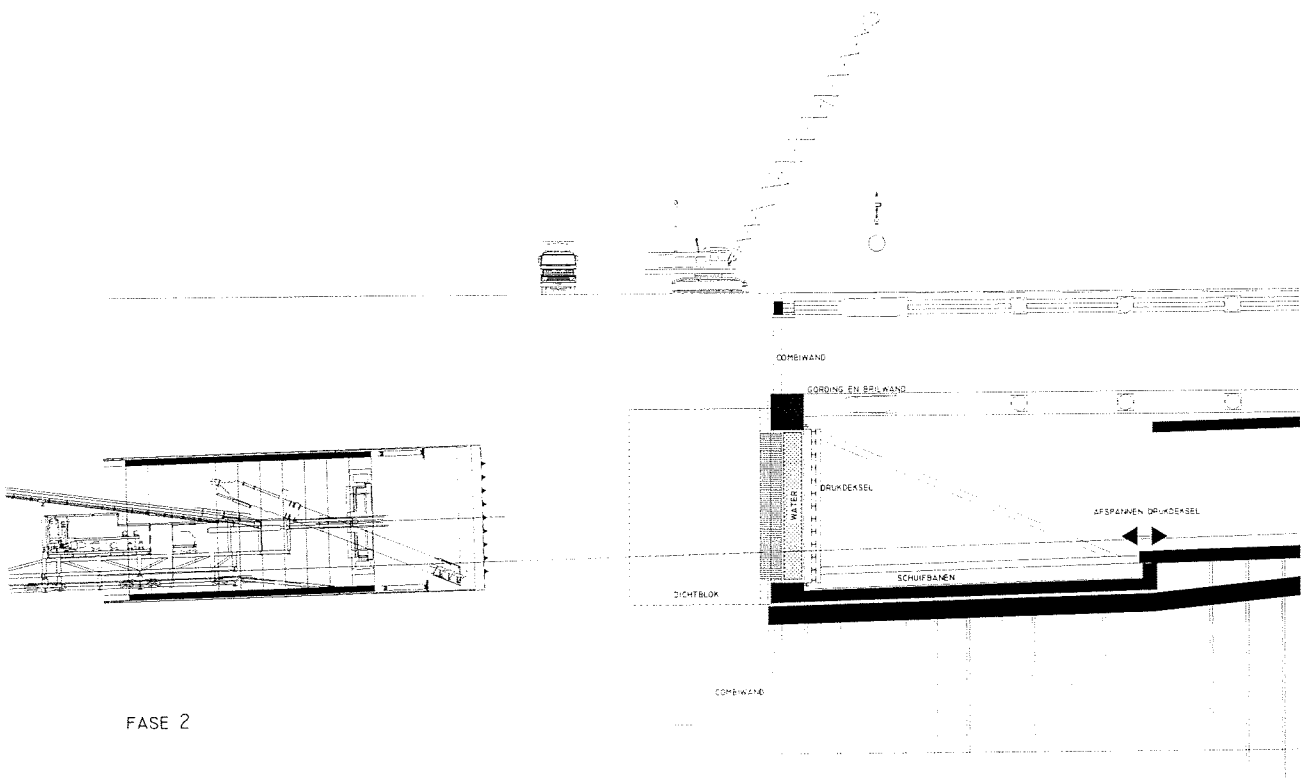
Fase 1

De damwand die het kopscherm van de kuip vormt moet voor aankomst van de TBM bij het dichtblok getrokken worden. Aan de kopse kant van het dichtblok, boortunnelzijde, worden twee peilbuizen geplaatst aan weerszijden van de aan te leggen tunnelbuis. Met deze peilbuizen wordt gecontroleerd of de waterdruk voor het boorschild gelijk is aan die achter het boorschild. Dit is nodig om stroming van water of mortel langs het boorschild te voorkomen.



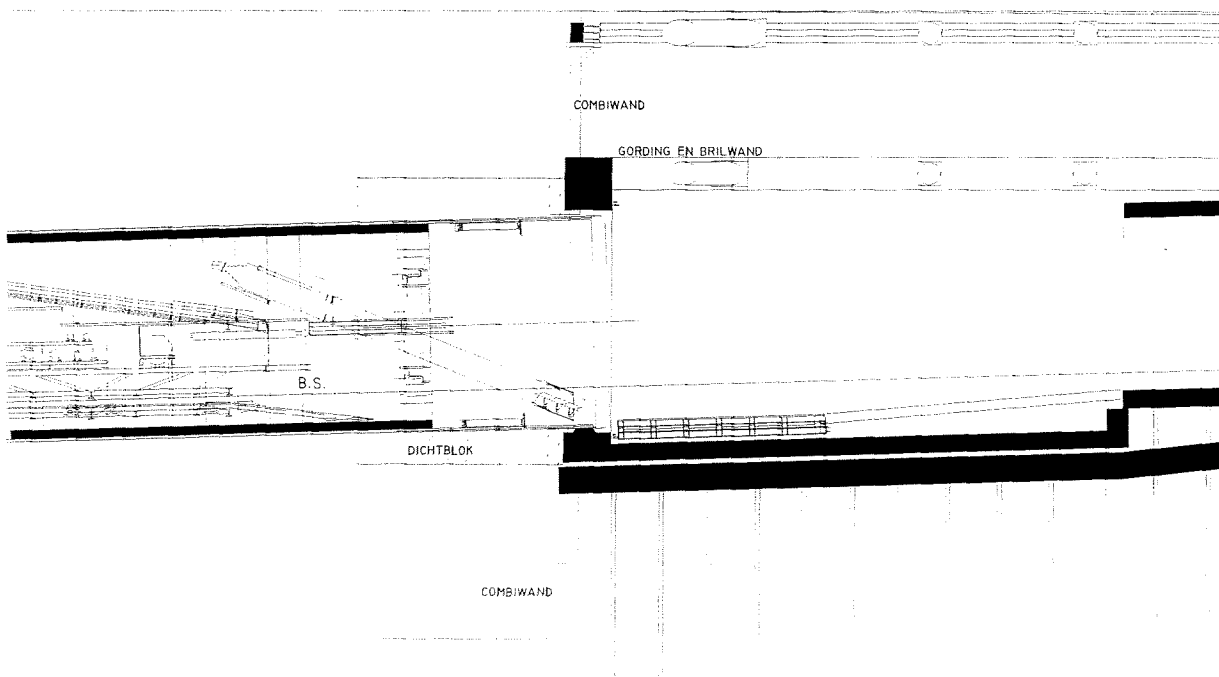
Fase 2

De combiwand moet weggebrand worden. Eerst dient gecontroleerd te worden of de wand waterdicht aansluit op het dichtblok. Dit kan gecontroleerd worden door een aantal kleine afsluitbare openingen in de combiwand te branden. Indien er teveel water uittreedt moet er geïnjecteerd worden tussen dichtblok en combiwand. Als voorzorg moeten ook injectiepunten aangebracht zijn die langs de omtrek van de mantelring een mogelijkheid geven tot na-injectie voor het geval de aansluiting van het dichtblok op de combiwand enigszins gaat lekken. Ook moet gecontroleerd worden of de aangebrachte betonproppen in de buispaal op de goede de hoogte aangebracht zijn. Dit is om te voorkomen dat de buispalen bij eventuele horizontale belasting uit de vloer plat gedrukt worden. Na het doorbranden van de buispalen wordt het achtergebleven onderste deel van de buispalen gevuld met beton. Het bovenste deel wordt dichtgelast met staalplaat. Dit voorkomt bij het vermortelen van de laatste ring verlies van mortel in de buispalen. Eén buispaal wordt echter open gelaten om water in het drukdeksel af te laten en bij te vullen tijdens het ontvangstproces. Door deze grote opening kunnen drukschommelingen achter het drukdeksel bovendien goed opgevangen worden. Vervolgens wordt het drukdeksel geplaatst tegen de brilwand. Belangrijk hierbij is dat het rubber profiel dat rondom het drukdeksel is bevestigd goed aansluit op de brilwand. Nu kan het drukdeksel gevuld worden met water. Tenslotte worden de schuifbanen in de ontvangtschacht geplaatst voor het langsschuiven en het eventuele zijdelings verschuiven van het schildzadel voor het demonteren van het boorschild.



Fase 3

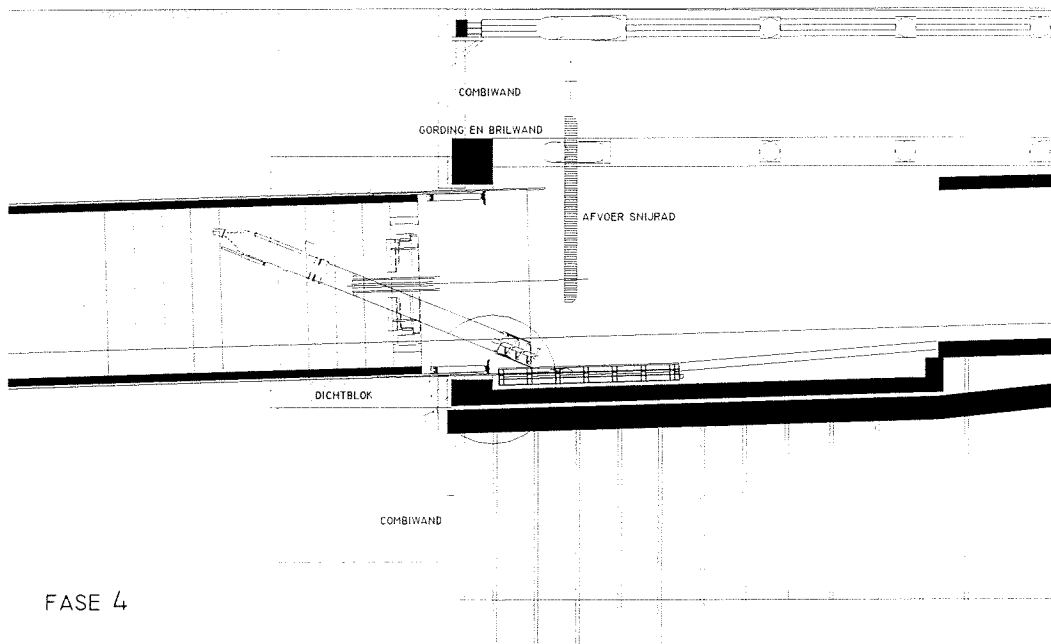
Over de laatste 10 ringen moet een langsdookoppeling worden aangebracht. Deze langsdookoppeling wordt aangebracht om te voorkomen dat na het verwijderen van het drukdeksel en vooral na het uitduwen van het boorschild de spanning in de lengterichting van de tunnelling wegvalt. Bij ontspanning bestaat het gevaar dat er tussendoor de rubber profielen van de segmenten lekkage optreedt. Er wordt verder geboord tot het boorschild zich vlak voor het drukdeksel bevindt. Nu wordt het boorproces gestopt om een waterdichte aansluiting tussen tunnelling en het dichtblok te maken met grout. De mortel heeft 48 uur nodig om uit te harden, tijdens het uitharden moet het boorschild om de twee uur een paar mm naar voren worden geschoven zodat de mortel zich niet aan het boorschild kan hechten. Nu kan het water uit het drukdeksel afgelaten worden, indien er nog lekkage optreedt kan er geïnjecteerd worden door geboorde gaten in de desbetreffende ring. Als dit de lekkage niet oplost moeten de na-injectiepunten die bij het aanbrengen van het drukdeksel zijn aangebracht worden gebruikt (zie ook 10.2 Ontvangst in dichtblok). Het drukdeksel kan worden verwijderd. De exacte positie van de TBM is nu bekend dus het schildzadel kan geplaatst worden. Tevens kunnen de glijblokken in de mantelring geplaatst worden.



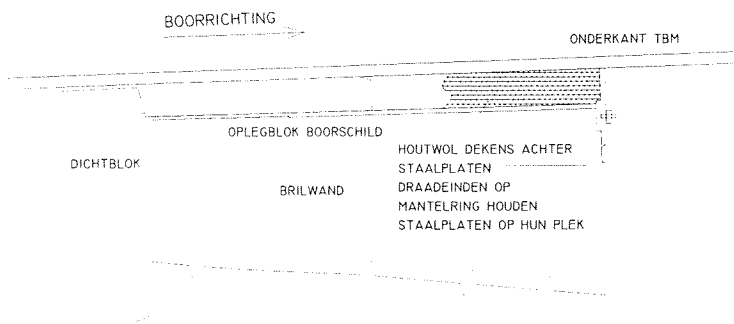
FASE 3

Fase 4

Er moeten nokken op het schildzadel gelast worden om tegendruk te bieden aan het boorschild zodat de rubber profielen tussen de segmenten voldoende ingedrukt worden. Na het plaatsen van een ring worden de nokken weggebrand en wordt de volgende ring "geboord". Direct na het verwijderen van het drukdeksel worden op de mantelring lasdraadeinden gestiflast. Nu kan weer verder "geboord" worden totdat het graafwiel buiten de mantelring steekt. Nu worden staalplaten met slobgaten aangebracht die door lasdraadeinden op hun plaats worden gehouden. Achter de platen wordt houtwol gestopt. Vervolgens kan aan de achterzijde van de schildmantel de desbetreffende ring vermorteld worden. Dit gebeurt in twee stappen om de druk op de onderste platen niet te groot te laten worden. Omdat het graafwiel nu geen functie meer heeft en dit veel weegt wordt het gedemonteerd en afgevoerd.



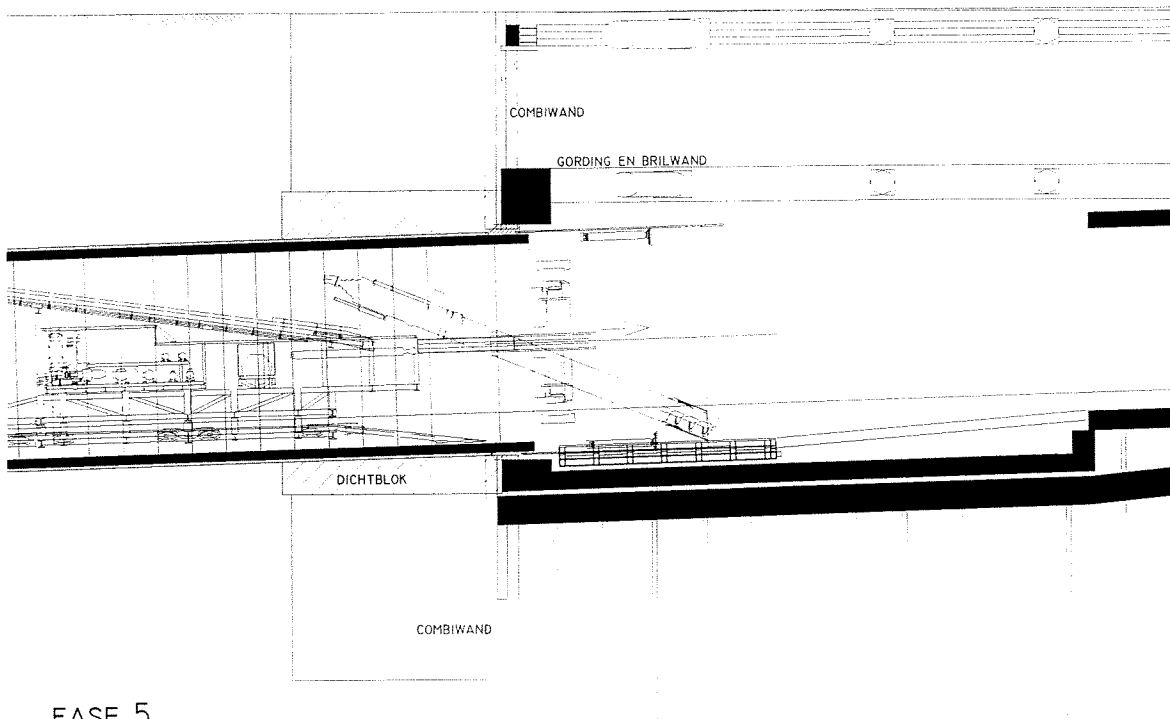
FASE 4



DETAIL AFDICHTING SCHILDMANTEL-MANTELING
BIJ ONTVANGST IN DICHTBLOK

Fase 5

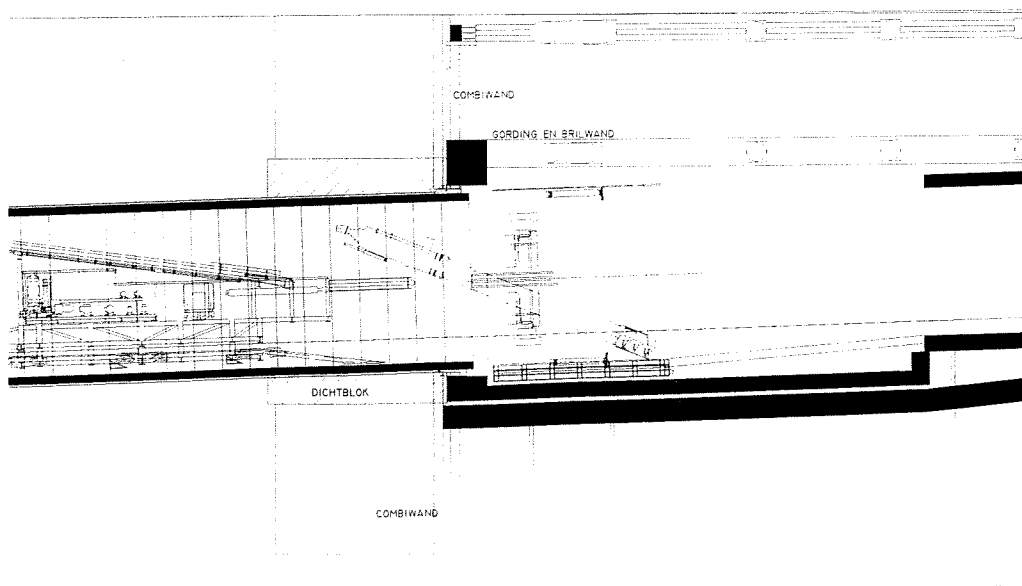
De laatste ringen worden nu "geboord" en gegroot. Na het plaatsen van de laatste ring kan het boorschild uitgeduwd en schoongemaakt worden. Hiervoor wordt het normale proces van vijzels intrekken en plaatsen van een segment doorlopen, er worden echter geen segmenten meer geplaatst. In plaats van segmenten worden nu uitvulblokken gebruikt. Deze worden alleen bij de onderste twee vijzelgroepen geplaatst, omdat de horizontale kracht alleen nog evenwicht moet maken met de wrijving van de TBM ondersteuning.



FASE 5

Fase 6

Volgwagens moeten worden gezekerd, waarna de eerste volgwagen kan worden losgekoppeld van het boorschild. Vervolgens kunnen alle volgwagens stuk voor stuk uit de tunnelbuis worden getrokken.



FASE 6

Ontvangstprocedure onder water

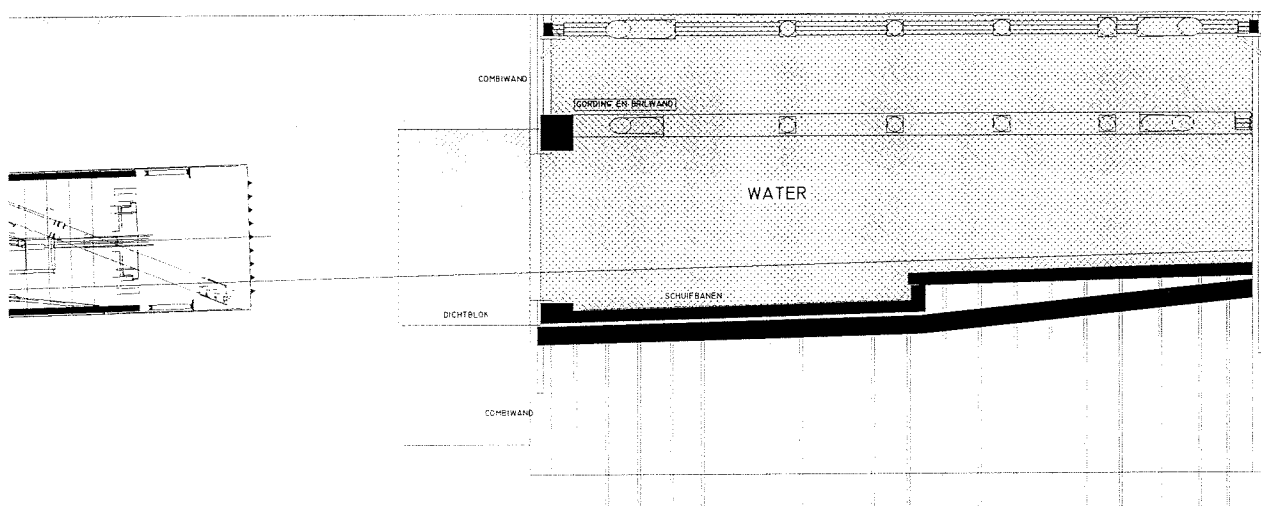
De TBM kan ook ontvangen worden in een ontvangtschacht die onder water is gezet. Hierbij kan soms een korter dichtblok toegepast worden. De lengte van het dichtblok wordt in dit geval bepaald door de benodigde sterkte. De dikte die hieruit volgt dient echter minimaal 1,5 à 2,0 meter te zijn. Dit is de lengte waarover minimaal gegrout dient te worden voor het verkrijgen van een waterdichte aansluiting (zie 9.2 Principeoplossingen overgangsconstructies). De lengte van het dichtblok zal in de meeste gevallen echter bepaald worden door de werkende grond- en waterdrukken. Het grote verschil bij de ontvangstprocedure onder water is dat er geen drukdeksel nodig is en een snellere ontvangstprocedure mogelijk is. Deze ontvangstprocedure is evenals de drukdeksel ontvangst onderverdeeld in 6 fasen.

Fase 1

Zie ontvangstprocedure drukdeksel, fase 1.

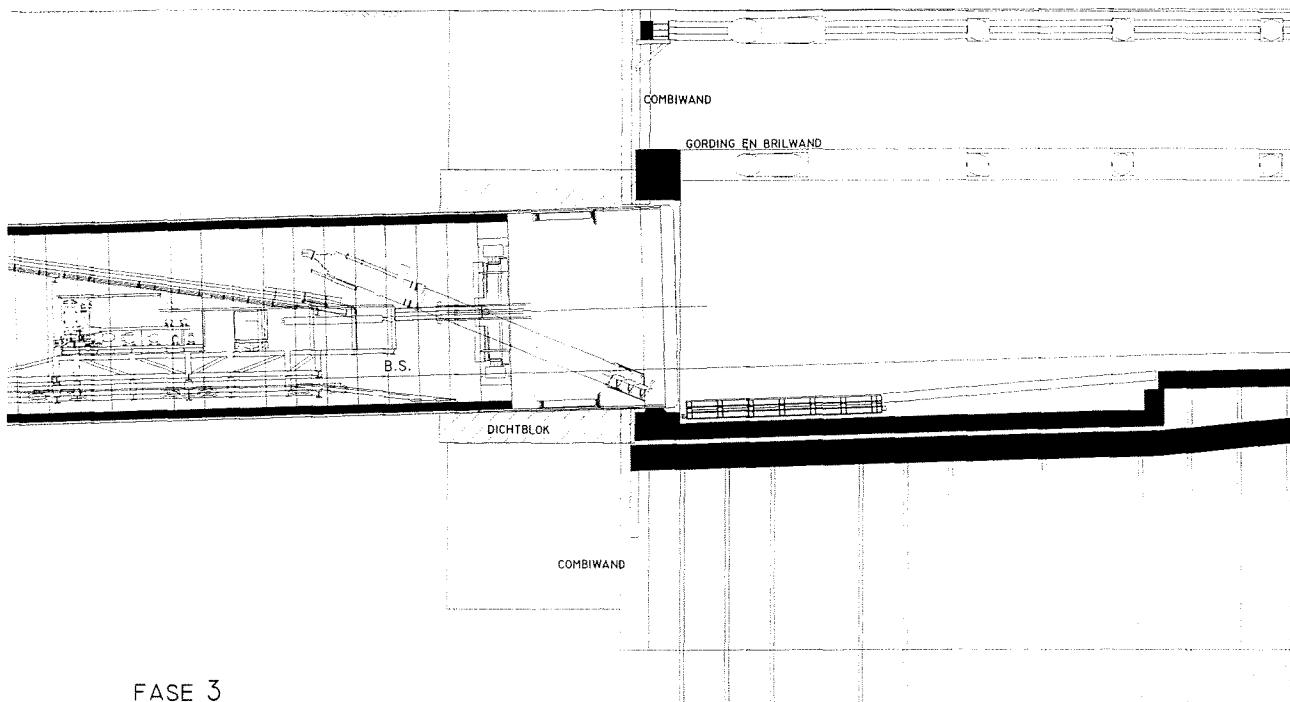
Fase 2

Zie ontvangstprocedure met drukdeksel, fase 2. Procedure is vrijwel hetzelfde. De enige verschillen zijn: het drukdeksel wordt niet geplaatst, alle buispalen worden aan de bovenzijde van de mantelring dichtgelast met staalplaten en de ontvangtschacht wordt vol water gezet.

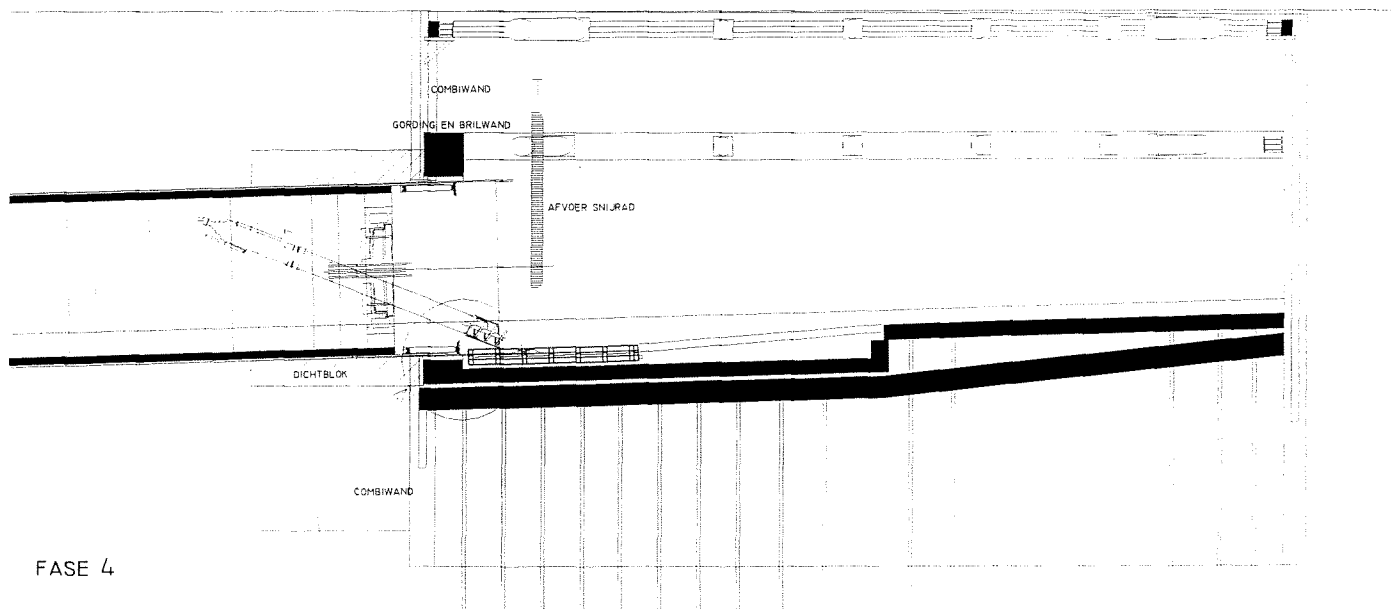


Fase 3+ 4

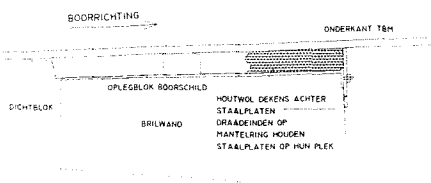
Zie ontvangstprocedure met drukdeksel, fase 3 + 4. De verschillen hier zijn: het schildzadel moet onder water gesteld worden. Dit is een lastig karwei. De draadeinden waar de staalplaten aan bevestigd worden kunnen in dit geval samen met de staalplaten al aangebracht worden voordat de ontvangtschacht onder water gezet wordt. De staalplaten hoeven dan alleen nog maar op hun plek geschoven te worden onder water. Indien in de ontvangtschacht een waterstand aangehouden wordt die hoger is dan de grondwaterstand, dan zouden de staalplaten en houtwol hier kunnen vervallen. De waterdruk in de ontvangtschacht zorgt er dan voor dat er geen grout de ontvangtschacht instroomt. Er kan nu in één keer doorgeboord worden tot de ontvangtschacht. Zolang de ontvangtschacht vol water staat hoeven er geen nokken op het schildzadel gelast te worden, de waterdruk op het front van het boorschild zorgt dan voor voldoende tegendruk. Tussen het vermortelen van de eerste ring in het dichtblok (gezien vanaf boortunnelzijde) en het leegpompen van de ontvangtschacht dient 48 uur te zitten om de mortel voldoende uit te laten harden zodat deze voldoende waterkerend is.



FASE 3



FASE 4



DETAIL AFDICHTING SCHILDMANTEL-MANTELRING BIJ ONTVANGST IN DICTBLOK

Fase 5

Zie ontvangstprocedure met drukdeksel, fase 5.

Fase 6

Zie ontvangstprocedure met drukdeksel, fase 6.

Ontvangstprocedure in zandlichaam

Het principe van een ontvangst in een zandlichaam (eventueel verstevigd met cement) is gelijk aan dat van een onderwater ontvangst. Enkele voordelen van een ontvangst in zand zijn: er is géén schildzadel nodig, beter te beheersen boorproces in zand dan in water en er zijn geen staal plaatjes nodig. Het nadeel is dat het aanbrengen en het verwijderen van het zandlichaam meer tijd kost.

12.2 Passage van de polder

12.2.1 Startprocedure

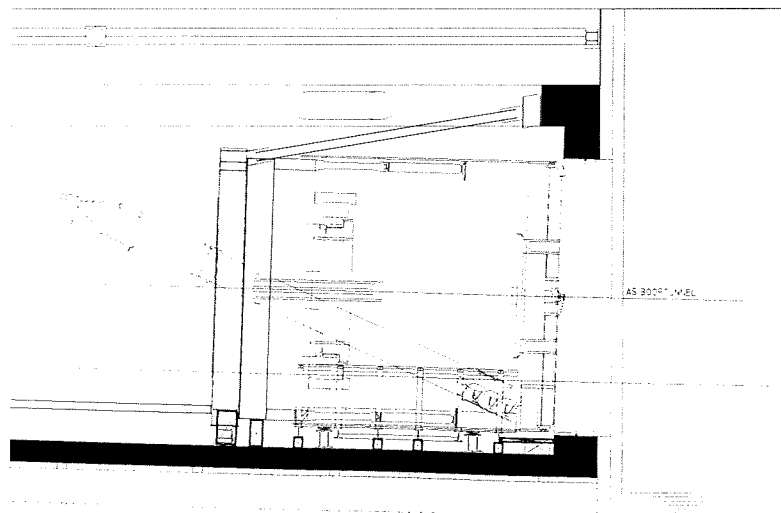
De startprocedure is voor een groot gedeelte hetzelfde als de startprocedure bij een dichtblok. Allen daar waar er verschillen zijn wordt dit weergegeven, anders wordt verwezen naar 12.1.1 Startprocedure dichtblok. De startprocedure is uitgewerkt voor een polder met een dubbele damwand achter de brilwand en een enkele damwand rondom overige zijden van de polder. Er wordt geen brilring toegepast.

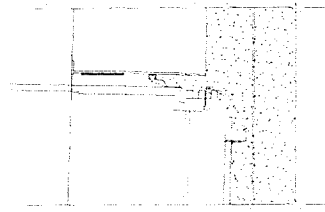
Vorbereidende werkzaamheden

Enkele weken voordat de eerste damwand wordt doorgebrand dient de bemaling in de polder aangezet te worden. De grond tussen de dubbele damwand dient verwijderd te worden. Water vormt hier geen probleem, de polder staat immers droog. De damwand aan de startschachtzijde, moet nu worden doorgebrand. De andere helft van het dubbele damwandscherm blijft zitten tot de kop van het boorschild de polder in verdwijnt (zie voor bovenaanzicht damwandschermen 10.1 Trekken damwand uit polder). Voor aanbrengen Sydney-profiel, Bullflex en glijblokken en opstellen schildzadel en afzetframe zie 12.1.1 Startprocedure dichtblok. De twee hele overgebleven damwanden haaks op de tunnelas dienen verwijderd te worden tijdens het boorproces. Omdat het trekken van damwand uit droge grond heel lastig gaat wordt aanbevolen om de grond aan de polderzijde van de tweede damwand en aan weerszijden van de derde damwand met een avegaar lossers te maken. Tijdens het boren met de avegaar kan meteen bentoniet ingebracht worden in de grond langs de damwandplanken (voor overige maatregelen zie 10.1 Trekken damwand uit polder).

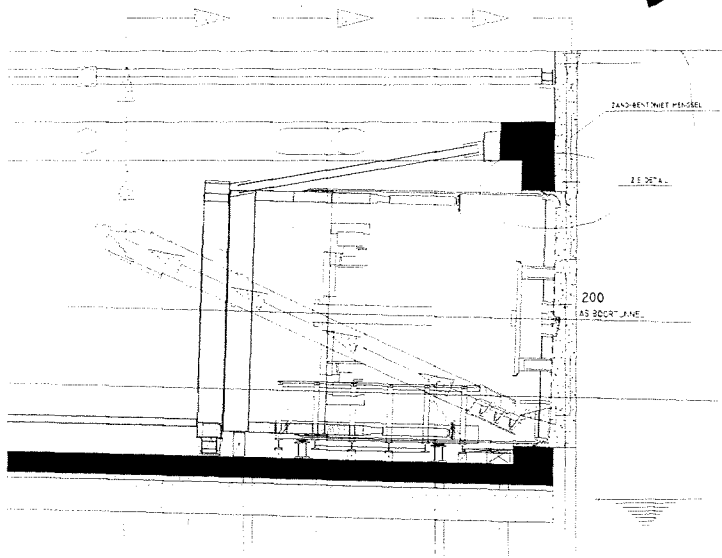
Fase 1

Zie 12.1.1 Startprocedure dichtblok fase 1.

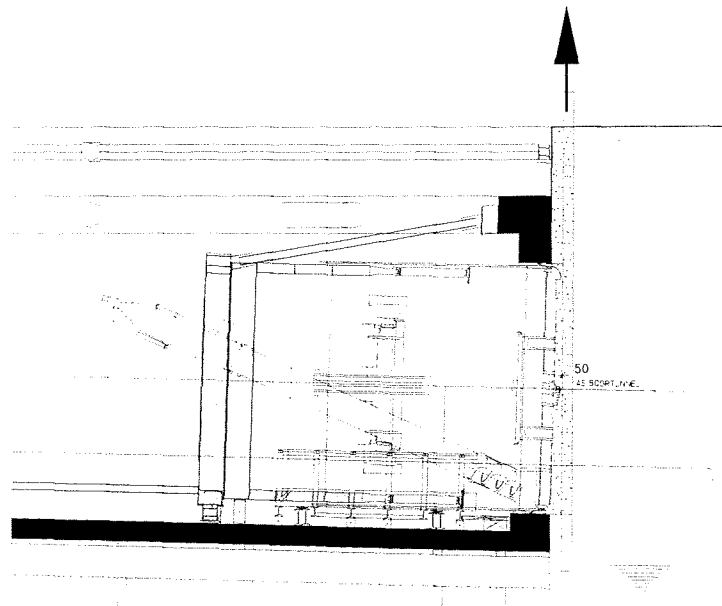




Fase 2
 Zie 12.1.1 Startprocedure dichtblok fase 2. Het verschil met een start in het dichtblok is dat hier na vullen van de loze ruimte tussen boorschild en mantelring de nog aanwezige damwand verwijderd dient te worden.

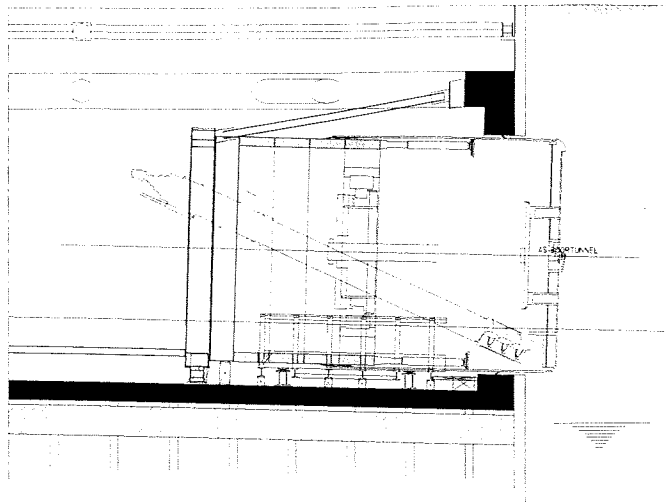


FASE 2



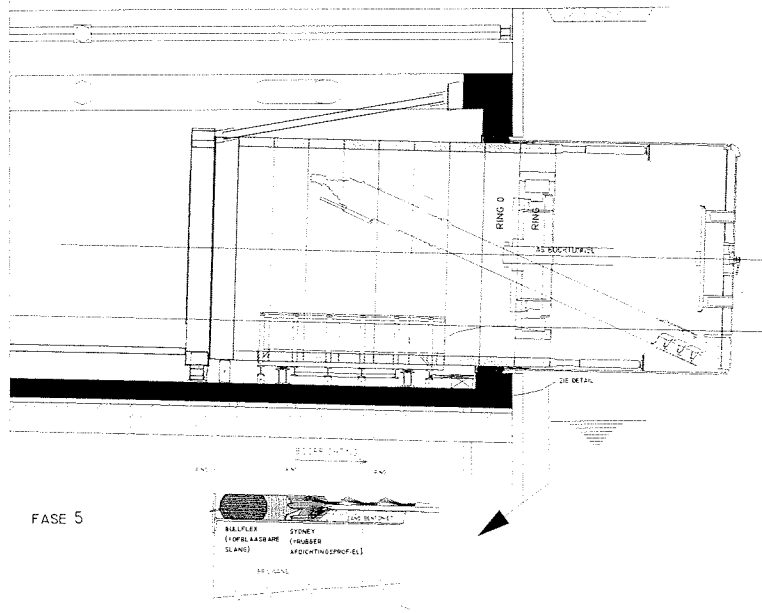
Fase 3
 De damwand, polderzijde, wordt verwijderd. Nu kan de TBM de polder doorboren.

FASE 3



FASE 4

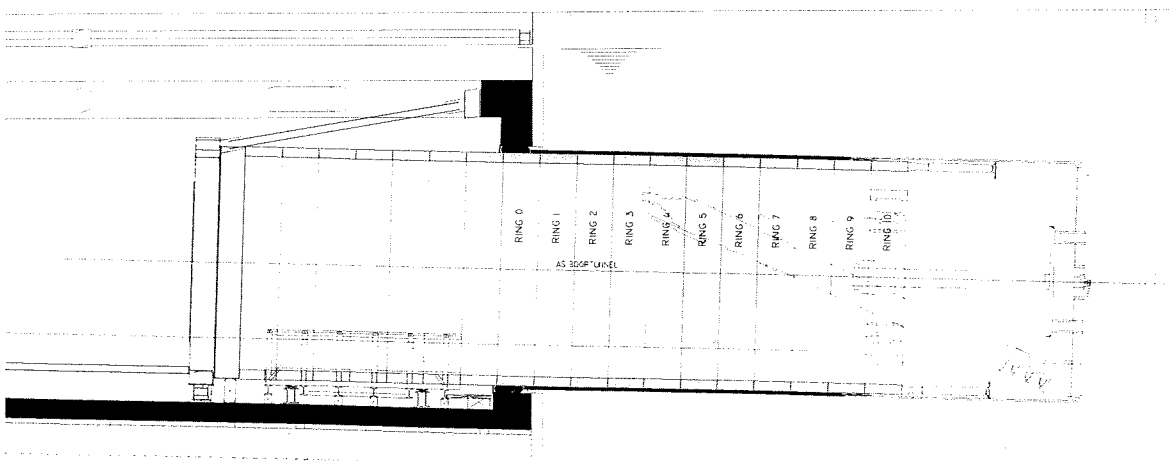
Fase 4
Boren en plaatsen van een ring. Nu sluit het rubber afdichtingsprofiel aan op de schildmantel (zie voor detail aansluiting 9.3 Detaillering brilwand).



FASE 5

Fase 5
Zie 12.1.1 Startprocedure dichtblok fase 4.

Fase 6
Nu kan het water in de polder opgelaten worden om te controleren of gemaakte aansluiting voldoet. Zo niet dan moet het water weer afgelaten worden om opnieuw te injecteren. Als de aansluiting waterdicht is kan de derde damwand getrokken worden. Verder zie 12.1.1 Startprocedure dichtblok fase 5.



FASE 6

13 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies en aanbevelingen zijn weergegeven in de volgorde waarin ze tijdens het ontwerp en de werkvoorbereiding van belang zijn bij het ontwerp van de start- en ontvangtschachten. Bovendien kan bij de voorbereiding van toekomstige projecten de flow chart gebruikt worden die direct na de conclusies en aanbevelingen is opgenomen.

Locatie schacht:

- De optimale keuze voor de plaats van de startschacht zou bij de geotechnische situatie van de Botlekspoortunnel ongeveer op de grens nat-/droog-ontgraven zijn geweest (zie kostprijzen). Hierdoor wordt de boortunnellengte gemaximaliseerd en de totale projectkosten geminimaliseerd. De kosten van een schacht nemen namelijk meer dan evenredig toe bij een diepere ligging van de schacht. De berekende kale kostprijzen voor de compartimenten van de Botlekspoortunnel aan de startzijde bedragen per strekkende meter:

compartiment A/B	fl. 19.000,=
compartiment C	fl. 23.000,=
compartiment D	fl. 71.800,=
compartiment E	fl. 92.300,=
compartiment F	fl. 165.700,=;

 De kostprijs van een strekkende meter boortunnel (dubbele tunnelbuis) bedraagt hier fl. 60.000,=
- Aanleg van een schacht op de grens tussen nat en droog ontgraven zal in de praktijk in West-Nederland meestal niet mogelijk blijken. Voor de bouw van een boortunnel wordt immers vooral gekozen als er niet op de traditionele manier gebouwd kan worden uit ruimtegebrek. Hierdoor zal het dus ook vaak niet mogelijk zijn om op het maaiveld zodanige voorzieningen, zoals bijvoorbeeld ophogingen, te treffen die een schacht op maaiveldniveau mogelijk maken;

Geometrie schacht:

- Aanlegdiepte van de schacht wordt in eerste instantie bepaald door de diameter van de tunnelbuis en de benodigde dekking op de tunnelbuis. Het kan ook voorkomen dat de omgeving rondom de schacht de aanlegdiepte van de schacht bepaalt, bijvoorbeeld door beperkingen op het maaiveld in een stedelijk gebied of door combinatie met een station. Bij de Botlekspoortunnel door de aanwezige leidingstraat;
- Breedte van de schacht wordt bepaald door de diameter van de tunnelbuis, het aantal buizen en de benodigde werkruimte tussen boorschild en zijwand. Bij meerdere tunnelbuizen dient bovendien een minimale hart op hart afstand van de tunnelbuizen van $1,5 \cdot D$ aangehouden te worden. Dit om schade aan de eerste tunnelbuis te voorkomen tijdens het boren van de tweede tunnelbuis;
- De ideale lengte van de startschacht is gelijk aan de totale lengte van de TBM (boorschild en volgwagens) plus 4,5 meter voor montage en uitvoering tijdens de start van het boorproces. Vaak wordt toch een kortere lengte aangehouden uit planningstechnisch oogpunt. Een korte startschacht, uitgevoerd als tijdelijke bouwkuip met onderwaterbetonvloer en trekpalen, is sneller klaar dan een lange startschacht bij een gelijke inzet van middelen. Er kan dus eerder gestart worden met het boorproces. Bij de Botlekspoortunnel werd het compartiment aansluitend op de startschacht nog niet ontgraven tijdens de bouw van de startschacht. Hiermee werd werkruimte gecreëerd voor de bouw van de startschacht. Indien er op de startschacht geen toerit aansluit wordt vanuit economisch oogpunt voor een zo kort mogelijke startschacht gekozen. De minimale lengte die nodig is voor een startschacht is gelijk aan de lengte van het boorschild en de eerste volgwagen plus ruimte voor montage graafwiel en aanvoer segmenten tijdens start boorproces. Een goede 'tussenoplossing' is die waarbij wel de gehele TBM in de startschacht wordt opgesteld, maar dan in twee rijen. Deze oplossing is toegepast bij de Botlekspoortunnel. De afmetingen van de startschacht bij de Botlekspoortunnel zijn circa 48 x 28 meter (lengte x breedte), de lengte van de TBM was hier echter 75 meter;
- De lengte van de ontvangtschacht wordt nagenoeg niet bepaald door de TBM. Een standaard mootlengte van ongeveer 20 à 25 meter is in de meeste gevallen voldoende. Per project dient echter uitgezocht te worden wat de minimaal benodigde lengte van de ontvangtschacht is;

Inrichting schacht:

- Plaats pompkelder in de schacht omdat hier toch extra diepte nodig is voor het opstellen of ontvangen van de TBM;
- Afzetframe op maximale vijzelkrachten dimensioneren om risico's tijdens uitvoering te minimaliseren;

Logistiek:

- Bij toepassing van twee tunnelbuizen welke door één TBM worden geboord is in het algemeen de meest economische oplossing om twee maal in dezelfde richting te boren. De TBM moet dan teruggebracht worden naar de startschacht. Het boorschild moet over maaiveld vervoerd worden, de volgwagens kunnen, afhankelijk van de lengte van de tunnelbuis, ook door de reeds geboorde buis teruggetrokken worden.
- Bij de inrichting van het maaiveld dienen de volgende onderdelen direct naast de startschacht geplaatst te worden: segmentenbewerkingsloods (tevens opslag), buffer segmentenopslag, opslag van leidingen en rails, kraan voor (de)montage van de TBM en toevoerwegen. Onderdelen als: groutinstallatie, bentonietinstallatie (aanmaak en eventueel scheiding), koelwatersysteem, compressoren en overige installaties moeten in de nabijheid van de startschacht staan op maximaal enkele tientallen meters;
- Er dienen goede transport aan- en afvoermogelijkheden op het bouwterrein aanwezig te zijn. Het verdient de voorkeur dat vrachtauto's het bouwterrein kunnen verlaten zonder te moeten steken of keren. Dit geldt vooral voor de startschacht omdat hier alle segmenten aangevoerd worden voor de bouw van de boortunnel;
- De (start)schacht dient bij voorkeur langs alle zijden vrij toegankelijk te zijn, bijvoorbeeld voor mobiele kranen;
- Bij inrichting van het maaiveld dient rekening gehouden te worden met montage en demontage van de TBM. Hiervoor dient voldoende ruimte beschikbaar te zijn tijdens de montage- en demontageperiode. Onderdeel hiervan is een opstelplaats voor de kranen tijdens montage en demontage van de TBM. Dit geldt ook voor het eventueel verwijderen van damwandplanken indien een polder wordt toegepast;

Overgangsconstructie:

- Indien bij de startschacht in het grondwater wordt gestart en er is een natuurlijk waterremmende laag aanwezig, dan is een polder de meest economische oplossing indien men uitgaat van de directe bouwkosten. De meest economische oplossing voor een polder is het aanbrengen van damwanden als waterremmende verticale wanden. Een andere methode is het aanbrengen van cement-bentonietwanden, dit veroorzaakt minder hinder voor de omgeving. Een polder kan echter alleen als overgangsconstructie in een startschacht worden toegepast. Omdat het trekken van de damwandplanken in een polder op het kritieke pad liggen kan vertraging hierin voor extra kosten tijdens de uitvoering zorgen (veroorzaakt door stilstand TBM). Bovendien dient het maaiveld tijdens het startproces van de TBM vrij te zijn om de damwandplanken te kunnen verwijderen;
- Wanneer geen natuurlijk waterremmende laag aanwezig is en er moet in het grondwater gestart of ontvangen worden is een LSM-dichtblok de meest economische oplossing. Bovendien kan de TBM na opstarten in één keer door het dichtblok boren zonder langdurig te hoeven stoppen. Het lamellen dichtblok heeft als groot nadeel dat er door de naden tussen de lamellen snel lekkage optreedt. Het dichtblok wordt in een nat ontgraven kuip aangebracht;
- Een in de grond gevormd dichtblok, aangebracht door jetgrouten of vriezen, is economisch alleen interessant indien andere oplossingen (bijna) niet mogelijk zijn. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn indien het dichtblok op grote diepte aangebracht moet worden en er op het maaiveld géén ruimte is om een bouwkuip voor het dichtblok te graven;
- Een brede wand overgangconstructie kan alleen toegepast worden indien niet in het grondwater gestart of ontvangen wordt. Bij deze oplossing hoeven geen waterafdichtende voorzieningen in de overgangsconstructie opgenomen. Het is dan de meest economische oplossing. Door deze beperking kan deze overgangsconstructie bijna niet toegepast worden in West-Nederlandse

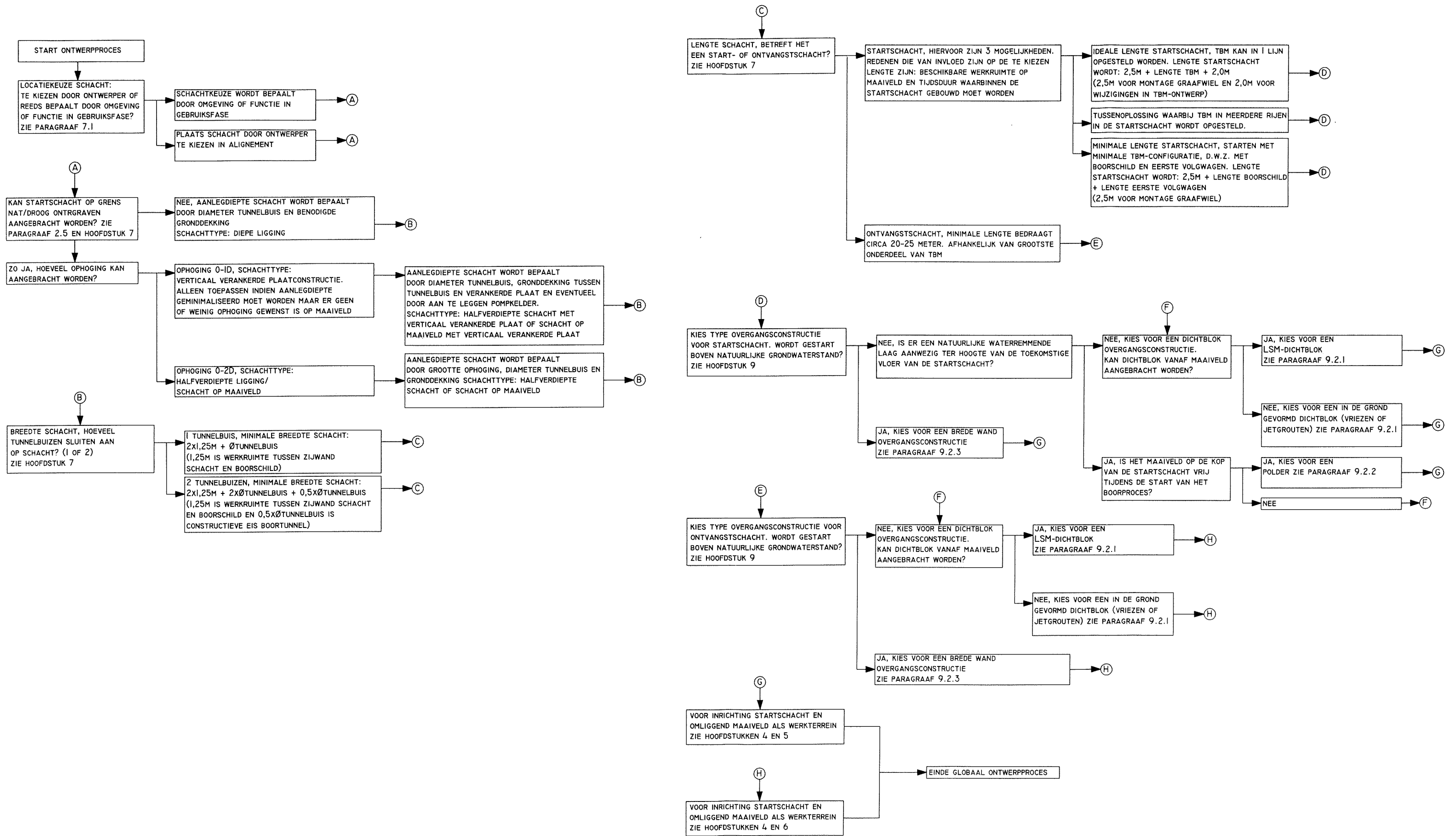
omstandigheden. De overgangsconstructie in de startschacht en de ontvangtschacht van de Westerscheldetunnel zijn op deze manier uitgevoerd;

- De lengte van het dichtblok bij de startschacht wordt bepaald door de som van de lengtes van de afdichting, de lengte van het boorschild en de lengte van de minimale waterkerende dikte van het dichtblok;
- De lengte van het dichtblok bij ontvangtschacht is afhankelijk van de ontvangstprocedure. Er zijn drie mogelijkheden: vrije ontvangst, ontvangst in het drukdeksel en ontvangst in water of zand;
- Bij het startproces kan zonder brilring gestart worden, dit levert een meer economische oplossing;
- Om het trekken van damwandplanken uit een droge grond (bij polder) vlotter te laten verlopen kunnen damwandplanken van een hoge staalkwaliteit toegepast worden, eventueel gecombineerd met opgelaste verstijvingsplaten op de kop van de damwandplanken. Dit voorkomt dat het trilblok 'happen' uit de damwandplank neemt. Een andere maatregel is het voorboren langs de damwandplanken met een avegaar waarbij tijdens het omhoog halen van de avegaar bentoniet in de grond gespoten wordt. Dit dient voor het trekken te gebeuren. Er kan ook gewacht worden met het trekken van de damwandplanken tot de grondwaterstand in de polder weer gelijk is aan die in de omgeving. Dit zal in de praktijk vaak te veel tijd vragen. Ook dient voor het trekken van damwand meteen een extra zwaar trilblok en een extra zware kraan gemobiliseerd te worden om de kans op vertraging van het boorproces te reduceren;
- Bij ontvangst in een dichtblok dient vooraf geïnjecteerd te worden tussen dichtblok en brilwand. Deze injectiepunten dienen dubbel uitgevoerd te worden zodat na ontvangst van de TBM nogmaals geïnjecteerd kan worden mocht er alsnog lekkage optreden;

Constructief:

- Bij toepassing van combiwanden gecombineerd met een onderwaterbetonvloer met trekelementen en een hierop aangebrachte constructievloer zou voor het verzekeren van het horizontale evenwicht geen betonnen voorzetwand nodig zijn. Een voorwaarde is dat de langsgording voldoende stijf is in langsrichting en de damwand elementen er stijf mee verbonden zijn met betrekking tot optredende schuifkrachten. Voorts moeten de damwandsloten de schuifkrachten kunnen overbrengen. Daartoe zullen kettinglassen nodig zijn op de sloten, omdat er geen zekerheid is over slotwrijving zonder speciale voorzieningen. Het aanbrengen van kettinglassen lijkt eenvoudig, maar met betrekking tot de kwaliteitsborging en de logistiek komt hier heel wat voor kijken.

FLOW-CHART ONTWERPPROCES



Literatuur

- BTC Botlek, PWI Startprocedure noordelijke tunnelbuis, BST-I-BT-U570, april 2000
- BTC Botlek, PWI Ombouwprocedure TBM en startschacht, BST-I-BT-U560, december 1999
- BTC Botlek, PWI Ontvangstprocedure zuidelijke tunnelbuis, BST-I-BT-U555, november 1999
- BTC Botlek, diverse tekeningen van Botlekspoortunnel
- COB, Handboek ondergronds bouwen – deel 1, ondergronds bouwen in breed perspectief, 1997
- COB, Handboek ondergronds bouwen – deel 2, bouwen vanaf het maaiveld, 2000
- F. Eijsink, Het boren van een tunnel: een proces in beweging, 1998
- KIVI, Afdeling voor Tunneltechniek en Ondergrondse Werken, Boren van tunnels voor rail- en wegverbindingen, eindrapportage, 1993
- J.C.J. de Leeuw, Analyse van het uitbreken van een tunnelboormachine vanuit de startschacht en de daarbij benodigde uitbreekconstructie, 1998
- Rail Infra Beheer/Holland Railconsult, richtlijn 1028 Onderwaterbeton als hulpconstructie, oktober 1995
- STUBECO, Ontwerp-aspecten & Voorbereidingsfase uitvoering bij toepassing van onderwaterbeton, juni 1997
- TCH Studiedienst, Evaluatie eerste tunnelbuis Heinoord – deel 1
- Prof. ir. A.F. van Tol, Funderingstechniek en ondergronds bouwen
- Prof. drs. ir. Vrijling/ ir. K.J. Bakker/ e.a. , Geboorde en gezonken tunnels, 2000

Bijlage 1 Aan- en afvoer per 24 uur door startschacht bij Botlekspoortunnel

Uitgangspunten:

- per 24 uur worden maximaal 16 ringen ingebouwd;
- gemiddeld worden 10 ringen per dag ingebouwd, hierop zijn de hierna vermelde aan- en afvoerhoeveelheden gebaseerd;
- aan- en afvoer wordt beschreven voor een normaal verloop van het boorproces;
- tunnelsegmenten en grout worden per trein aangevoerd;
- personeel legt afstand door boortunnel te voet af;

Bij de Botlekspoortunnel bestaat een dag uit 3 shifts. Per shift zijn ca. 25 werknemers direct met het boorproces betrokken, 8 hiervan werken in de TBM zelf. De rest werkt in de boortunnel, de startschacht of op het maaiveld.

Aanvoer per 24 uur:

Materiaal:	Totaal:	Aantal treinbewegingen:
* 10 segmentringen	70 segmenten 10 sluitstenen	10x
* 10 m ³ grout/segmentring	100 m ³ grout	10x
* 10 m ³ etac/segmentring	100 m ³ etac	
* 1 m ³ bentoniet/segmentring (mantelsmering)	10 m ³ bentoniet	

Materieel:

* rails		
9 m/spoorsectie		
* leidingen (per 4 segmentringen)		capaciteit:
2 stuks Ø 150 mm koelwater		60 m ³ /uur
2 stuks Ø 150 mm perslucht (7 à 8 bar)		120 m ³ /min.
2 stuks Ø 350 mm aanvoer proceswater/afvoer grond		1400 m ³ /uur
1 stuk Ø 60 mm schuimleiding		10 m ³ /uur
1 stuk Ø 80 mm bentonietleiding		
2 stuk Ø 25 mm etac component A		24 m ³ /uur (2 leidingen)
2 stuk Ø 50 mm etac component B		2,5 m ³ /uur (2 leidingen)
1 stuk Ø 1400 mm ventilatie		

De aanvoer van bovenstaande leidingen wordt gecombineerd met de aanvoer van segmentringen en grout. De leidingen worden voor het transport op het dak van de locomotief geplaatst. In de achterste volgwagen is een opslag voor een aantal leidingen. Bij het boren van de 2^e tunnelbuis wordt als vulling voor de staartspleet etac gebruikt. Dit kan over de hele lengte van de tunnel door leidingen verpompt worden, hier vervalt dus het grouttransport in containers. De spoorsecties worden eveneens op het dak van de locomotief aangevoerd.

* kabels

hoogspanningskabel 23 kV
laagspanningskabel 380 V
communicatie (telefoon) + datakabels
aardkabel

Deze kabels zitten op een haspel op de achterste volgwagen en rollen zich bij het vooruitgaan van de boormachine automatisch af.

Hulpstoffen:

* koelwater 60 m³/uur

* perslucht (7 à 8 bar) voor:	120 m ³ /min.
- frontdruk TBM	
- personensluis	
- luchtgereedschap	
* aanvoer proceswater	1400 m ³ /uur
* schuimleiding	10 m ³ /uur
* bentonietleiding	
* ventilatie tunnelbuis	

Afvoer per 24 uur:

Materiaal:	
* 112,5 m ³ grond/segmentring (met uitleveringsfactor ca. 150 m ³)	1125 m ³ grond (1500 m ³)
Hulpstoffen:	
* koelwater	60 m ³ /uur

Indien er 10 ringen per 24 uur geboord worden bij een normaal verloop van het boorproces rijdt er 20 maal per etmaal een trein door de tunnel. Bij het boren van de tweede buis (noordbuis) wordt etac gebruikt. Dit wordt over de hele tunnallengte verpompt. In dit geval vermindert het aantal treinbewegingen in de tunnel met 10 per 24 uur en vinden er dus 10 treinpassages plaats.

10x voor transport segmentringen;
10x voor transport grout.

Bijlage 2 Kostprijs alternatieven startschacht Botlekspoortunnel

Voor tekeningen van alternatief 1 t/m 3 zie 2.5 Keuze aanlegdiepte van de start- en ontvangtschacht.

alternatief 1		eenheden prijs/eenheid		totaal	
compartiment A/B mt 17/18					
combiwand	ton	0	1500	fl.	0
damwand verloren	ton	0	1350	fl.	0
damwand herbruikbaar	ton	139	750	fl.	104.250
stempel/gording	ton	0	2000	fl.	0
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	1700	11,5	fl.	19.550
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	550	6	fl.	3.300
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	920	125	fl.	115.000
groutanker	stuk	0	5000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	40	200	fl.	8.000
mobiele kranen	m1	40	4000	fl.	160.000
constructiebeton	m3	393	800	fl.	314.400
voegmaterialen	m1	40	200	fl.	8.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	762.500
compartiment C mt 19t/m26					
combiwand	ton	0	1500	fl.	0
damwand verloren	ton	50	1350	fl.	67.500
damwand herbruikbaar	ton	764	750	fl.	573.000
stempel/gording	ton	140	2000	fl.	280.000
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	12246	12,7	fl.	155.524
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	2706	6	fl.	16.236
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	1924	125	fl.	240.500
groutanker	stuk	0	5000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	160	200	fl.	32.000
mobiele kranen	m1	160	4000	fl.	640.000
constructiebeton	m3	2024	800	fl.	1.619.200
voegmaterialen	m1	160	200	fl.	32.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	3.685.960
compartiment D mt 27t/m36					
combiwand	ton	0	1500	fl.	0
damwand verloren	ton	120	1350	fl.	162.000
damwand herbruikbaar	ton	2053	750	fl.	1.539.750
stempel/gording	ton	280	2000	fl.	560.000

ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	36589	13,35	fl.	488.463
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	3550	6	fl.	21.300
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	3565	125	fl.	445.625
groutanker	stuk	176	5000	fl.	880.000
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	200	200	fl.	40.000
mobiele kranen	m1	200	4000	fl.	800.000
constructiebeton	m3	8323	800	fl.	6.658.400
voegmaterialen	m1	200	200	fl.	40.000
bemaling				fl.	200.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	11.865.538

compartiment E mt 37t/m40

combiwand	ton	0	1500	fl.	0
damwand verloren	ton	0	1350	fl.	0
damwand herbruikbaar	ton	734	750	fl.	550.500
stempel/gording	ton	300	2000	fl.	600.000
mobilisatie traverse				fl.	250.000
mobilisatie ontgravingmaterieel				fl.	40.000
ontgraven nat	m3	18177	17	fl.	309.009
ontgraven droog	m3	6200	12,3	fl.	76.260
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	3840	28	fl.	107.520
duikwerk/leidingwerk				fl.	110.000
mobilisatie heistelling (prefab paal)				fl.	40.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (nat, traverse)	m1	5895	200	fl.	1.179.000
groutanker	stuk	0	5000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	1730	400	fl.	692.000
koppensnellen	m1	80	200	fl.	16.000
mobiele kranen	m1	80	4000	fl.	320.000
constructiebeton	m3	3827	800	fl.	3.061.600
voegmaterialen	m1	80	200	fl.	16.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	7.382.889

compartiment F mt 41/42

combiwand	ton	310	1500	fl.	465.000
damwand verloren	ton	654	1350	fl.	882.900
damwand herbruikbaar	ton	263	750	fl.	197.250
stempel/gording	ton	200	2000	fl.	400.000
mobilisatie traverse				fl.	250.000
mobilisatie ontgravingmaterieel				fl.	40.000
ontgraven nat	m3	17696	18	fl.	318.528
ontgraven droog	m3	6190	12,4	fl.	76.756
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	3565	30	fl.	106.950
duikwerk/leidingwerk				fl.	113.000
mobilisatie heistelling (vibro-com)				fl.	60.000
vibrocombinatiepaal (nat, traverse)	m1	3764	250	fl.	941.000

prefab betonpaal	m1	0	125	fl.	0
groutanker	stuk	0	5000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	1655	400	fl.	662.000
koppensnellen	m1	40	200	fl.	8.000
mobiele kranen	m1	40	4000	fl.	160.000
constructiebeton	m3	2327	800	fl.	1.861.600
voegmaterialen	m1	40	200	fl.	8.000
afbranden combiwand				fl.	75.000
				fl.	6.625.984
overall					
levering tunnelkist				fl.	500.000
				fl.	500.000
TOTAAL				fl.	30.322.871

alternatief 2		eenheden prijs/eenheid		totaal	
compartiment A/B mt 17/18					
combiwand	ton	0	1.500	fl.	0
damwand verloren	ton	0	1.350	fl.	0
damwand herbruikbaar	ton	139	750	fl.	104.250
stempel/gording	ton	0	2.000	fl.	0
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	1.700	11,5	fl.	19.550
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	550	6	fl.	3.300
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	920	125	fl.	115.000
groutanker	stuk	0	5.000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	40	200	fl.	8.000
mobiele kranen	m1	40	4.000	fl.	160.000
constructiebeton	m3	393	800	fl.	314.400
voegmaterialen	m1	40	200	fl.	8.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	762.500
compartiment C mt 19t/m26					
combiwand	ton	0	1.500	fl.	0
damwand verloren	ton	50	1.350	fl.	67.500
damwand herbruikbaar	ton	764	750	fl.	573.000
stempel/gording	ton	140	2.000	fl.	280.000
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	12.246	12,7	fl.	155.524
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	2.706	6	fl.	16.236
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	1.924	125	fl.	240.500
groutanker	stuk	0	5.000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	160	200	fl.	32.000
mobiele kranen	m1	160	4.000	fl.	640.000
constructiebeton	m3	2.024	800	fl.	1.619.200
voegmaterialen	m1	160	200	fl.	32.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
				fl.	3.685.960
compartiment D mt 27t/m36					
combiwand	ton	0	1.500	fl.	0
damwand verloren	ton	120	1.350	fl.	162.000
damwand herbruikbaar	ton	2.053	750	fl.	1.539.750
stempel/gording	ton	280	2.000	fl.	560.000
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	36.589	13,4	fl.	488.463
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	3.550	6	fl.	21.300
duikwerk/leidingwerk				fl.	0

mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	3.565	125	fl.	445.625
groutanker	stuk	176	5.000	fl.	880.000
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	200	200	fl.	40.000
mobiele kranen	m1	200	4.000	fl.	800.000
constructiebeton	m3	8.323	800	fl.	6.658.400
voegmaterialen	m1	200	200	fl.	40.000
bemaling				fl.	200.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
subtotaal				fl.	11.865.538
extra kosten schacht		0,30	11.865.538	fl.	3.559.661
over kosten(+30%)				fl.	15.425.200
boortunnel comp. E+F 120 meter					
lonen boorploeg	m1	240	12.500	fl.	3.000.000
materiaal (incl. onderhoud/reparatie)	m1	240	12.500	fl.	3.000.000
overig	m1	240	5.000	fl.	1.200.000
opvoeren grond + verdichten	m3	18.240	25	fl.	456.000
				fl.	7.656.000
overall					
levering tunnelkist				fl.	500.000
				fl.	500.000
TOTAAL					
				fl.	28.029.660

Bij compartiment D wordt bij dit alternatief 30% toeslag gerekend over de kosten van het eerste alternatief. Dit omdat de moten in compartiment D, vooral daar waar de startschacht komt, qua oppervlak ongeveer 30% toenemen.

alternatief 3		eenheden	prijs/eenheid		totaal
compartiment A/B mt 17/18					
combiwand	ton	0	1.500	fl.	0
damwand verloren	ton	0	1.350	fl.	0
damwand herbruikbaar	ton	139	750	fl.	104.250
stempel/gording	ton	0	2.000	fl.	0
ontgraven nat	m3			fl.	0
ontgraven droog	m3	1.700	11,5	fl.	19.550
egaliseren/ opschonen bouwkuip	m2	550	6	fl.	3.300
duikwerk/leidingwerk				fl.	0
mobilisatie heistelling				fl.	15.000
vibrocombinatiepaal	m1	0	250	fl.	0
prefab betonpaal (droog)	m1	920	125	fl.	115.000
groutanker	stuk	0	5.000	fl.	0
onderwaterbeton	m3	0	400	fl.	0
koppensnellen	m1	40	200	fl.	8.000
mobiele kranen	m1	40	4.000	fl.	160.000
constructiebeton	m3	393	800	fl.	314.400
voegmaterialen	m1	40	200	fl.	8.000
mobilisatie trekstelling damwand				fl.	15.000
subtotaal				fl.	762.500
extra kosten schacht		1,00	762.500	fl.	762.500
over kosten(+100%)				fl.	1.525.000
boortunnel comp. C t/m F 480 meter					
lonen boorploeg	m1	960	12.500	fl.	12.000.000
materiaal (incl. onderhoud/reparatie)	m1	960	12.500	fl.	12.000.000
overig	m1	960	5.000	fl.	4.800.000
opvoeren grond + verdichten	m3	230.400	25	fl.	5.760.000
				fl.	34.560.000
TOTAAL					fl. 36.085.000

Bij compartiment A/B wordt bij dit alternatief 100% toeslag gerekend over de kosten van het eerste alternatief. Dit omdat de moten in compartiment A/B, waar de startschacht komt, qua oppervlak ongeveer 100% toenemen.

Bijlage 3 Inrichting maaiveld en startschacht bij 2^e Heinenoord- en Botlekspoortunnel

In deze bijlage wordt de inrichting van het werkterrein en de startschacht van de 2^e Heinenoordtunnel vergeleken met die van de Botlekspoortunnel. Voor de 2^e Heinenoordtunnel wordt de inrichting van bouwplaats noord genomen omdat hier de scheidingsinstallatie staat. Alle onderdelen die op het werkterrein of in de schacht voorkomen worden zowel voor de 2^e Heinenoordtunnel als de Botlekspoortunnel weergegeven met het ruimtebeslag die zij innemen. Tekeningen van de inrichting van het maaiveld en de startschacht zijn van beide projecten toegevoegd. Beide tekeningen zijn van gelijke schaal. Er is duidelijk te zien dat er bij de 2^e Heinenoordtunnel veel meer werkruimte beschikbaar was rondom de schacht. In de tekeningen is met blauw de schacht met de aansluitende toerit weergegeven. Het beschikbare werkterrein bevindt zich tussen de roze strepen. Terrein dat wel afgebakend was in verband met de bouw, maar niet beschikbaar voor de uitvoering is weergegeven met een groene lijn.

2^e Heinenoordtunnel

Het werkterrein aan de noordzijde van de Oude Maas is voldoende groot om alle activiteiten en installaties te plaatsen. De afmetingen zijn circa 325 x 100 m². De schacht en de aansluitende toerit liggen centraal op het bouwterrein en zijn van alle kanten toegankelijk. Voor de inrichting van het bouwterrein is hier dus voldoende ruimte beschikbaar. Rondom de schacht en de toerit is een bouwweg gemaakt voor het bouwverkeer, dat zodoende altijd kan doorrijden zonder dat er gekeerd hoeft te worden. Boven de overgangsconstructie is een ballastterp aangebracht om de aanlegdiepte van de schacht te kunnen verkleinen. Dit kon mede omdat er voldoende ruimte beschikbaar was op het maaiveld. Bovendien veroorzaakt deze ophoging geen overlast voor de omgeving in de gebruiksfase, de tunnel ligt immers niet in een stedelijke omgeving. Omdat de 2^e Heinenoordtunnel met een hydroschild is geboord was er ook een scheidingsinstallatie en een aantal hierbij horende installaties nodig. Deze zijn aan de rand van het werkterrein geplaatst naast het gronddepot. Met behulp van een transportband werd de gescheiden grond afgevoerd naar het gronddepot. De segmentenbewerkingsloods en de opslagplaats voor rails en pijpen ligt direct naast de toerit achter de schacht. In de segmentenbewerkingsloods werden 9 x 6 stapels segmenten geplaatst (1/2 segmentring per stapel). De bouwweg voor het werkverkeer loopt hier vlak naast en ligt onder het bereik van de portaalkraan die de hele schacht en het grootste gedeelte van de toerit kan bereiken. De vrachtauto's die segmenten en andere materialen afleveren kunnen dus onder de portaalkraan rijden en zo gelost worden.

Inrichting maaiveld en startschacht 2^e Heinenoordtunnel

- 1) Segmentenbewerkingsloods
40 x 16 m²
- 2) Opslag rails
10 x 15 m²
- 3) Opslag pijpen
24 x 15 m²
- 4) Grondscheidingsinstallatie
15 x 14 m²
- 5) Grondband
- 6) Bentonietsilo
5 x 5 m²
- 7) Centrifuge
5 x 8 m²
- 8) Trechter
4,5 x 2 m²
- 9) Grondpers
4,5 x 2 m²
- 10) Containers
2 stuks 6 x 2,4 m²
- 11) Rijpingsbakken bentoniet
8 stuks 2,4 x 6 m²

- 12) Mengselpomp bentoniet
6 x 6 m²
- 13) Voedingspomp container
2,4 x 12 m²
- 14) Bentoniet tank
Ø 22 m
- 15) Generatoren
24 x 17 m²
- 16) Compressoren
10 x 15 m²
- 17) Wasplaats mortelcontainers
6 x 3 m²
- 18) Werkplaats/magazijn
30 x 12 m²
- 19) Keet staf units TBM
10 x 10 m²
- 20) Personeel TBM-fabrikant
6 x 2,4 m²
- 21) Loods
15 x 8 m²
- 22) Gastank
4 x 7 m²
- 23) CAO-keet
5 x 18 m²
- 24) Kleedruimte
2 x 10 m²
- 25) Douche unit
6 x 2,4 m²
- 26) Keten uitvoering, directie, COB en bouwdienst R.W.S.
87 x 12 m²
- 26) Kleedruimte informatiecentrum
10 x 4 m²
- 27) Archief
4,5 x 2,5 m²
- 28) Gastank
4 x 7,5 m²
- 29) ENECO trafo
5,5 x 4 m²

Botlekspoortunnel

De beschikbare ruimte voor inrichting van een werkterrein aan de westzijde van de Oude Maas bij de Botlekspoortunnel is minimaal. Het werkterrein ligt opgesloten tussen een autosnelweg aan de zuidzijde en een goederen spoorlijn aan de noordzijde. Het werkterrein heeft ter plaatse van de startschacht en de toerit een breedte van slechts 30 meter. De breedte neemt richting de kabel- en leidingenstrook toe tot circa 45 meter. Door de beperkte beschikbare werkruimte is voor de bouw van de startschacht het deel van de toerit direct achter de startschacht als werkterrein gebruikt. Om de werkruimte van de zijkant van de startschacht enigszins uit te breiden is een hulpbrug geplaatst die gedeeltelijk over de startschacht is gebouwd. De hulpbrug diende voornamelijk om tijdens het boren van de eerste buis plaats te bieden aan mixers die grondstoffen voor de grout aanvoerden. De groutinstallatie stond midden in de startschacht en was vanaf de werkweg naast de startschacht onbereikbaar voor de mixers (droge vulstoffen konden over maximaal 12 meter verpompt worden door mixers). Op de kop van de startschacht op het boortunnelgedeelte zijn alle installaties geplaatst. Het eerste stuk, waar de segmentenopslag werd geplaatst, kon pas worden ingericht nadat de damwandschermen aan de kopse kant van de polder verwijderd waren. De segmentenopslag is hier op minimale afstand van de startschacht geplaatst. De segmentenbewerkingsloods biedt plaats aan 5 x 4 stapels segmenten welke samen 10 segmentringen vormen (1/2 segmentring per stapel). Verder is er nog een buffervoorraad van 16 segmentringen, dus 32 stapels segmenten. De segmenten worden met een portaalkraan overgeslagen. De vrachtauto's met segmenten kunnen tot onder de portaalkraan rijden. De bouwweg loopt van het begin tot het eind van het werkterrein, vrachtauto's

kunnen het werkterrein dus verlaten zonder te keren. Veelal gebeurde dit niet omdat er dan te ver omgereden moest worden.

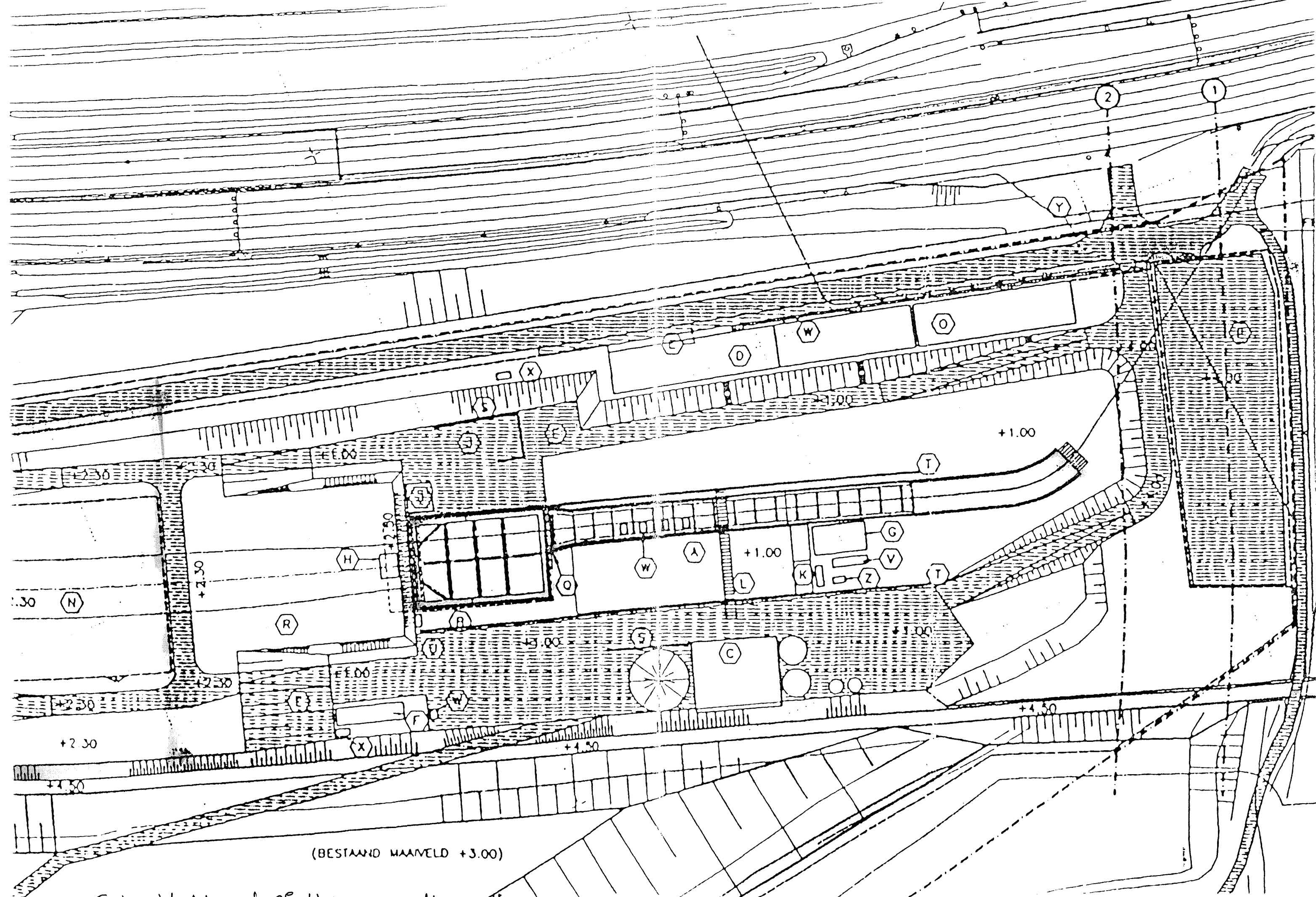
Inrichting maaiveld en startschacht Botlekspoortunnel

- 1) Boorkeet/sanitaire voorzieningen boorpersoneel
5 x 20 m²
- 2) Stroomvoorziening ENECO
- 1) Parkeerterrein BTC
- 7) Toegang startschacht/ trappentoren
3,5 x 3,5 m²
- 8) Opstelplaats mortelmenginstallatie
6 x 7 m²
- 9) Portaalkraan (eigen gewicht 32 ton, hijscapaciteit 140 kN)
- 10) Kraanbaan t.b.v. portaalkraan (2x) weerszijden startschacht
1 m. breed, ca. 100 m lang
- 11) Spoor in startschacht, 900mm breed
Startschacht dubbel spoor met wissels voor: segmenten, grout, vet, diesel etc.
- 13) Boosterstation hydraulisch grondafvoersysteem startschacht
4 x 4,5 m²
- 14) Dieseltank
3,5 x 2 m²
- 15) Tunnelventilator
3 x 1,5 m²
- 17) Bemaling polder
2 x 4 m²
- 18) Peilfilters polderconstructie Ø1,0 m.
- 19) Buffervoorraad betonnen segmenten
24 x 10 m²
- 20) Segmentenbewerkingsloods (opslag per halve ring)
25 x 12 m²
- 21) Opslag van leidingen, rails etc.
12 x 19 m²
- 22) Tijdelijke opstelplaats mortelmenginstallatie
9 x 6 m²
- 23) Bentoniet menginstallatie
5,5 x 6 m²
- 23a) Rijpingstanks "verse" bentoniet
5 tanks à 2,5 x 6 m²
- 24) Opstelplaats bulkwagens droge mortel
- 25) Opstelplaats trailers aanvoer segmenten (onder portaalkraan)
3 x 12,5 x 2,5 m²
- 26) leidingenstrook (2 m. breed)

2x hydro grondafvoersysteem	(350 mm)
2x perslucht 7 bar	(150 mm)
2x stroom 23 kV	
2x koelwater	(150 mm)
1x industriewater	(150 mm)
1x leiding conditioneringsmiddelen	(2")
- 27) K&L-strook
- 28) Verdeelstation & trafo 23 kV/ 380 V
- 29) Noodstroomvoorziening (aggregaat 250 kVA stand-by)
- 30) Boosterstation hydraulisch grondafvoersysteem (2 pompen elektromotor 500 kW)
6,5 x 10,5 m²
- 31) Compressorstation t.b.v. calamiteiten (stand-by) dieselcompressoren 3x 40 m³/min.
7,5 x 12 m²
- 32) Meetkruis
- 33) Werkplaats M&E
15 x 20 m²
- 34) Opslag reserve onderdelen TBM
3,5 x 10,5 m²

- 35) Koeling TBM (elektrisch, 60 kW)
4 st. 2,5 x 6 m²
- 36) Werkplaats HK
3,5 x 10,5 m²
- 37) Menginstallatie conditioneringsmiddelen
2,5 x 10 m²
- 38) Opslag conditioneringsmiddelen
3 x 10 m²
- 39) Opslagterrein overig materieel
ca. 50 x 11 m²
- 40) Schaftcontainer boorpersoneel (startschacht)
6 x 2,5 m²
- 41) Elektriciteitonderverdeling in startschacht (verdeelpunt)
- 41) Hek in startschacht (scheiding startschacht/ toerit)
- 42) Wasplaats mortelcontainer, zie mortelmenginstallatie 8)
- 43) Hulpbrug t.b.v. bulkwagens droge mortel
4 m. breed

Bij noordbuis van Botlekspoortunnel is als staartspleetvulling ETAC gebruikt. Dit is een tweecomponenten mengsel waarvoor een installatie op het maaiveld geplaatst is.

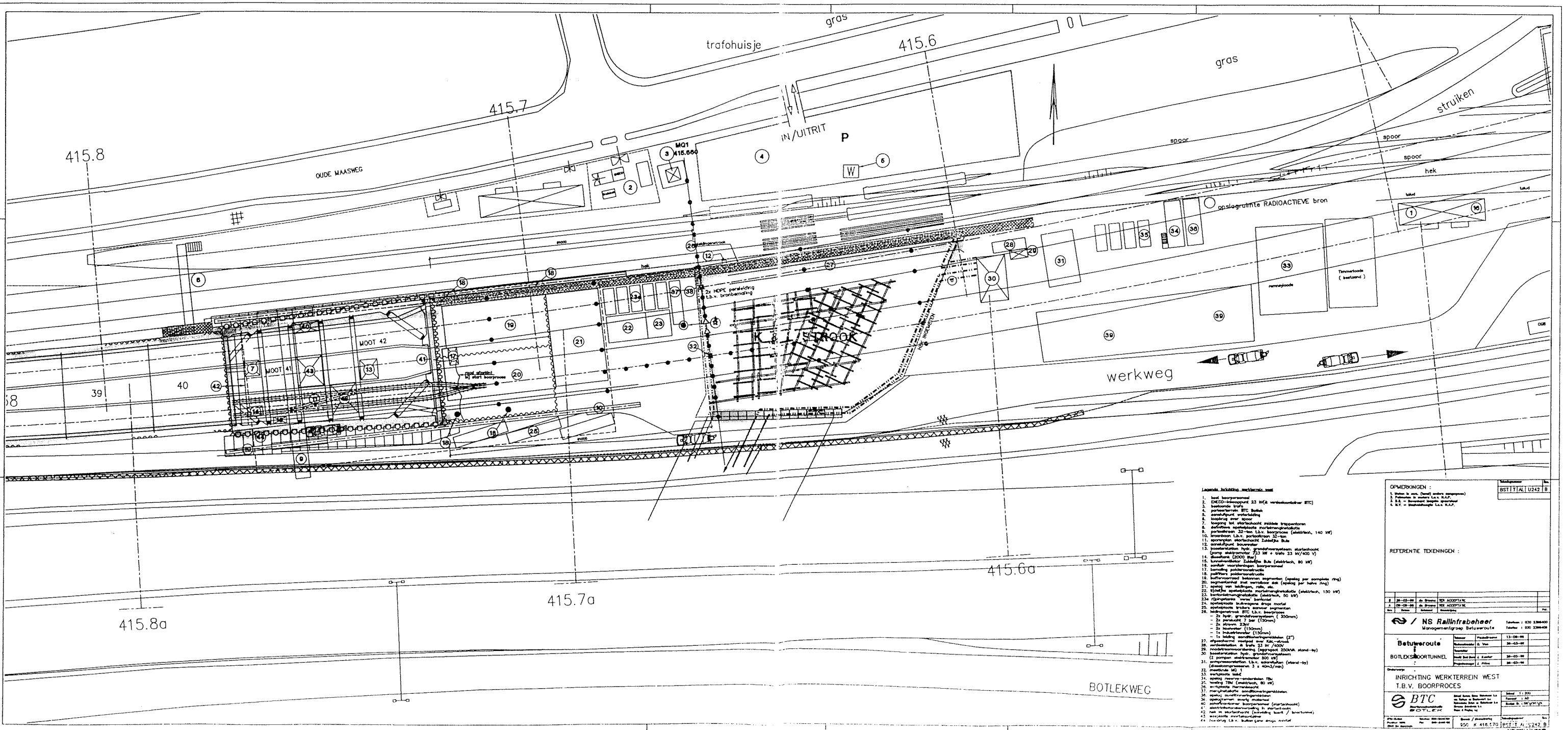


(BESTAAND MAARVELD +3.00)

Schacht Noord 2^e Heinenoordtunnel
 Vergelijkbare schaal als Botlekspoortunnel

Startschacht Botlekspoortunnel

Breedte ca. 30 meter begin startschacht oplopend tot ca. 45 meter bij K&L-strook.



- Legend:**
- 1. best. boorpersonnel
 - 2. L&C-telefoonpunt 23 MW (verkeersleiding BTG)
 - 3. bestaande trap
 - 4. bestaande BTG Buis
 - 5. bestaande BTG Buis
 - 6. bestaande BTG Buis
 - 7. bestaande BTG Buis
 - 8. bestaande BTG Buis
 - 9. bestaande BTG Buis
 - 10. bestaande BTG Buis
 - 11. bestaande BTG Buis
 - 12. bestaande BTG Buis
 - 13. bestaande BTG Buis
 - 14. bestaande BTG Buis
 - 15. bestaande BTG Buis
 - 16. bestaande BTG Buis
 - 17. bestaande BTG Buis
 - 18. bestaande BTG Buis
 - 19. bestaande BTG Buis
 - 20. bestaande BTG Buis
 - 21. bestaande BTG Buis
 - 22. bestaande BTG Buis
 - 23. bestaande BTG Buis
 - 24. bestaande BTG Buis
 - 25. bestaande BTG Buis
 - 26. bestaande BTG Buis
 - 27. bestaande BTG Buis
 - 28. bestaande BTG Buis
 - 29. bestaande BTG Buis
 - 30. bestaande BTG Buis
 - 31. bestaande BTG Buis
 - 32. bestaande BTG Buis
 - 33. bestaande BTG Buis
 - 34. bestaande BTG Buis
 - 35. bestaande BTG Buis
 - 36. bestaande BTG Buis
 - 37. bestaande BTG Buis
 - 38. bestaande BTG Buis
 - 39. bestaande BTG Buis
 - 40. bestaande BTG Buis
 - 41. bestaande BTG Buis
 - 42. bestaande BTG Buis
 - 43. bestaande BTG Buis

OPMERKINGEN:

1. Boven in veld (Duid) onder omgeving
2. Boven in veld (Duid) onder omgeving
3. Boven in veld (Duid) onder omgeving
4. Boven in veld (Duid) onder omgeving

REFERENTIE TEKENINGEN:

№	omschrijving	datum
1
2
3
4

NS Railinfraabeer
 Managementgroep Betuureroute
 Telefoon: 030 1386400
 Telefax: 030 1386408

Betuureroute
 Managementgroep Betuureroute
 Telefoon: 030 1386400
 Telefax: 030 1386408

BOTLEKspoortunnel
 Managementgroep Betuureroute
 Telefoon: 030 1386400
 Telefax: 030 1386408

INRICHTING WERKTERREIN WEST
 I.B.V. BOORPROCES

BTC
 Beton Techniek en Constructie
 Telefoon: 030 1386400
 Telefax: 030 1386408

BTG
 Beton Techniek en Constructie
 Telefoon: 030 1386400
 Telefax: 030 1386408

Bijlage 4 Bepaling diepteligging start- en ontvangtschacht

4.1 Uitwendige diameter tunnelbuis

Volgens onderstaande vuistregel is uit de uitwendige diameter de wanddikte te bepalen.

$$t \approx \frac{1}{20} D_{\text{uitwendig}}$$

dus: $D_{\text{uitwendig}} = \frac{10}{9} * D_{\text{inwendig}}$

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de uitwendige diameters die bij de verschillende vervoersvormen toegepast worden.

Nr.	Profiel-gebruik	Uitwendige diameter [m]
1	Geleide bus, 1-strook	5,20
2	Sneltram, enkel spoor	6,55
3	Metro, enkel spoor	6,60
4	Trein 200 km/u, enkel spoor	8,60
5	Trein 250 km/u, enkel spoor	9,45
6	Sneltram, dubbel spoor	9,70
7	Metro, dubbel spoor	10,65
8	Trein 300 km/u, enkel spoor	11,00
9	niet autosnelweg cat. B IV, 1 rijstrook, 2 richtingen (3,10 meter)	11,65
10	Trein 200 km/u, dubbel spoor	11,85
11	Stad (auto)snelweg cat A II, 2 rijstroken, 1 richting (3,25 meter)	12,45
12	Trein 250 km/u, dubbel spoor	12,50
13	Autosnelweg cat A I, 2 rijstroken, 1 richting (3,50 meter)	13,00
14	Trein 300 km/u, dubbel spoor	13,90
15	Autosnelweg cat A I, 3 rijstroken, 1 richting (3,50 meter)	17,10

Tabel 1.1 Overzicht uitwendige diameters tunnelbuizen naar vervoersvorm

4.2 Dekking boven tunnelbuis

De drie criteria die bepalend kunnen zijn voor de mate van dekking boven de tunnelbuis zijn het opdrijven van de tunnelbuis, werkkamer onder luchtdruk en werkkamer vol met steunmedium. Welke situatie maatgevend is of als maatgevend wordt aangehouden dient per project bekeken te worden.

- Werkkamer onder luchtdruk. Dit is een situatie die tot de grootste dekking leidt. Hierbij dient de luchtdruk in de werkkamer ervoor te zorgen dat er geen water de tunnel instroomt. Om hieraan te voldoen moet de luchtdruk minimaal gelijk zijn aan de waterdruk aan de onderkant van de tunnel. Bij een halbabsenkung (alleen bovenste helft van werkkamer wordt met lucht gevuld) moet de luchtdruk minimaal gelijk zijn aan de waterdruk op de grens lucht/steunmedium in de werkkamer. Door het toepassen van een halbabsenkung kan het gevaar op een blow-out verkleind worden. De maximale luchtdruk wordt bepaald door de verticale grondspanning aan de bovenkant van de tunnelbuis. Wanneer de maximale luchtdruk overschreden wordt bestaat het gevaar op een zogenaamde blow out. Het gevolg is dat alle lucht ontsnapt en er water en grond de werkkamer instroomt. Bij cohesieve gronden zal minder snel een blow out optreden omdat hier de lucht minder gemakkelijk ontsnapt. Omdat er echter meestal vanuit wordt gegaan dat de werkkamer tijdens de start en de ontvangst van de TBM niet vol met lucht wordt gezet kan deze situatie voor het bepalen van de dekking bij de start- en ontvangtschacht meestal overgeslagen worden. Er dient een afweging gemaakt te worden tussen het extra risico dat men loopt en de extra kosten

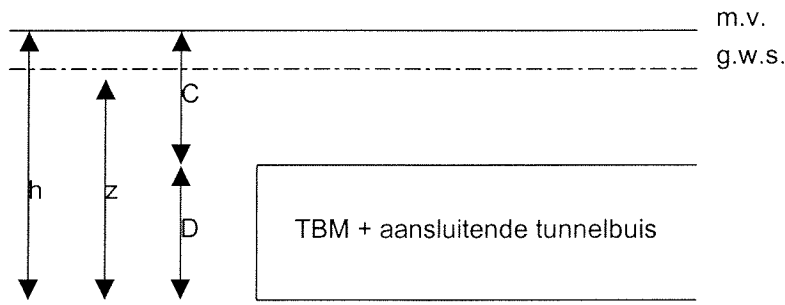
van een boortunnel die een stuk dieper ligt. Indien het tijdens het boorproces toch nodig blijkt te zijn de werkkamer onder luchtdruk te zetten daar waar de tunnelbuis eigenlijk te hoog ligt kan soms als tijdelijke oplossing een hoop grond op het maaiveld gestort worden voor het verkrijgen van voldoende korreldruk. Zie voor toelichting figuur "langsdoorsnede tunnelbuis".

Minimale luchtdruk: $P_{lucht} \geq \gamma_w * z$

Maximale luchtdruk: $P_{lucht} \leq \gamma_w * (z - D) + \gamma_{dg} * K * (h - z) + (\gamma_{ng} - \gamma_w) * K * (z - D)$

(bron: blz. 3-31 dictaat Geboorde en gezonken tunnel, januari 2000, door prof. drs. ir. Vrijling/ ir. K.J. Bakker e.a.)

γ_w : soortelijk gewicht water	[kN/m ³]
γ_{ng} : soortelijke gewicht natte grond	[kN/m ³]
h : diepte onderkant tunnelbuis t.o.v. grondwaterstand	[m]
D : diameter tunnelbuis	[m]
C : dekking boven tunnelbuis (= z - D)	[m]
K : gronddrukcoëfficiënt	[-]



Langsdoorsnede tunnelbuis

Indien wordt aangenomen dat $p_{lucht} = \gamma_w * h$ en $K = 1$ dan geldt:

Dekkingseis $C \geq \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{ng} - \gamma_w} \right) * D$

(bron: blz. 5-13 dictaat Funderingstechniek en ondergronds bouwen, januari 200, door prof. ir. A.F. van Tol. Formule kan ook afgeleid worden uit de twee bovenstaande formules)

- Opdrijven van de tunnelbuis. De situatie die voor de start- en ontvangtschacht veelal de grootte van de dekking bepaalt is het opdrijven van de tunnelbuis. Dit kan met name het geval zijn wanneer er vanuit wordt gegaan dat de werkkamer niet onder druk gezet mag worden tijdens de start. De opdrijfkracht is gelijk aan het gewicht van het verplaatste water en is omhoog gericht. De neerwaartse krachten zijn het gewicht van de grond die zich boven de tunnel bevindt en het gewicht van de lining.

Opwaarts $G_{opdrijven} = \gamma_w * \pi * r_{uitw}^2$

Neerwaarts $G_{tunnel} = \gamma_{beton} * \pi * (r_{uitw}^2 - r_{inw}^2)$

$G_{grond} = \sum_{i=1}^n (G_i)$

i = aantal verschillende grondlagen, nat en droog

$$\text{Dekkingseis} \quad : \quad G_{\text{tunnel}} + G_{\text{grond}} \geq G_{\text{opdrijven}}$$

- Werkkamer vol met steunvloeistof of grond. In het geval dat er met een vloeistofschild wordt geboord bestaat bij onvoldoende dekking de kans op een blow out. Bij een EPB-schild zal geen blow uit optreden, maar hooguit het maaiveld iets opgedrukt worden. De kans hierop is echter niet groot en het gevaar is door een goede controle van het boorproces goed in de hand te houden. De hiervoor te gebruiken vergelijking lijkt veel op die van de maximale luchtdruk. Het verschil zit in het feit dat de steunvloeistof zelf ook gewicht heeft terwijl lucht dit niet heeft. Bij deze situatie hoeft de steundruk in de werkkamer dus minder groot te zijn om aan de onderkant van de tunnelbuis op een gelijke spanning uit te komen. De minimale steundruk die hieruit volgt is aan de veilige kant. De minimale en maximale steundrukken zijn de steundrukken die gemeten wordt ter plaatse van de bovenkant van het boorschild. Er wordt geen formule gegeven waaruit rechtstreeks de dekking kan worden berekend. Voor berekening van de dekking kan één van de voorgaande criteria worden gebruikt, vervolgens moet gecontroleerd worden of minimale steundruk kleiner is dan maximale steundruk. Wanneer dit niet zo is dan dient de dekking vergroot te worden.

$$\text{Minimale steundruk:} \quad p \geq \gamma_w * z + \gamma_{dg} K_a * (h - z) + (\gamma_{ng} - \gamma_w) * K_a * z - \gamma_{st} * D$$

$$\text{Maximale steundruk:} \quad p \leq \gamma_w * (z - D) + \gamma_{dg} * (h - z) + (\gamma_{ng} - \gamma_w) * (z - D)$$

(bron: blz. 3-35 dictaat *Geboorde en gezonken tunnel*, januari 2000, door prof. drs. ir. Vrijling/ir. K.J. Bakker e.a., formules zijn bewerking)

γ_w	: soortelijk gewicht water	[kN/m ³]
γ_{dg}	: soortelijke gewicht droge grond	[kN/m ³]
γ_{ng}	: soortelijke gewicht natte grond	[kN/m ³]
h	: diepte onderkant tunnelbuis t.o.v. grondwaterstand	[m]
D	: diameter tunnelbuis	[m]
z	: diepte onderkant tunnelbuis t.o.v. maaiveld	[m]
C	: dekking boven tunnelbuis (= $z - D$)	[m]
K_a	: gronddrukcoëfficiënt	[-]

Bijlage 5 Bepaling breedte start- en ontvangtschacht

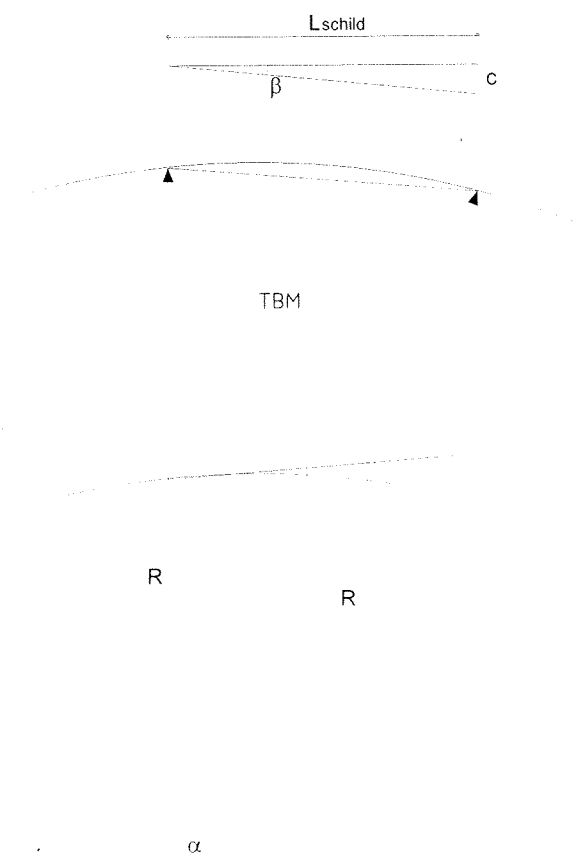
5.1 Afweging aantal tunnelbuizen: één grote tunnelbuis of meerdere kleine tunnelbuizen

Bij het bepalen van het aantal buizen bij de bouw van een tunnel kan in eerste instantie gekozen worden tussen één grote tunnelbuis of meerdere kleinere tunnelbuizen. Voor de keuze tussen één grote tunnelbuis of meerdere kleinere tunnelbuizen zijn een aantal argumenten aan te voeren.

- kleinere tunnels zijn veiliger, gescheiden rijrichting en kleiner exploitatierisico;
- kleinere tunnels vereisen een geringere gronddekking, gevolg is een minder diepe ligging en dus een kortere totale tunnellengte (inclusief toe- en afritten);
- kleinere tunnels beïnvloeden de grondwaterstroming in mindere mate;
- bij kleinere tunnels zijn de zettingsrisico's kleiner;
- de kans dat geboord wordt in verschillende grondsoorten is kleiner bij een kleinere diameter, waardoor het boorproces succesvoller kan verlopen;
- het graaffront is bij een kleinere tunnel iets eenvoudiger te stabiliseren;
- bij twee aparte tunnelbuizen zijn dure dwarsverbindingen nodig.

Qua kosten zijn er geen doorslaggevende verschillen. Indien in stedelijk gebied wordt geboord gaat de voorkeur uit naar meerdere kleine buizen i.p.v. één grote buis. Dit om het uitvoeringsrisico zo klein mogelijk te houden.

5.2 Boogstralen



Minimale boogstraal boorschild

Als vuistregel voor de minimale boogstraal van een boorschild kan 20 maal de tunneldiameter aangehouden worden (KIVI, Boren van tunnels voor rail- en wegverbindingen, eindrapportage 1993). De minimale boogstraal van het boorschild wordt bepaald door de lengte van het boorschild en de coniciteit (zie figuur boogstraal TBM).

De eis voor de minimale boogstraal is:

$$R_{\min} \geq \frac{L_{schild}}{\sin(2\beta)}$$

waarbij:

$$\tan(\beta) = \frac{c}{L_{boorschild}}$$

$$\angle \alpha = 2 * \angle \beta;$$

R_{\min} : minimale boogstraal;

L_{schild} : lengte boorschild;

c : coniciteit boorschild.

BOOGSTRAAL TBM

Minimale boogstraal gebruiker

De minimale boogstralen die voortkomen uit rijtechnische eisen zijn allemaal groter dan 20 maal de tunneldiameter. Het boorschild bepaalt meestal dus niet de minimaal toe te passen boogstraal. Zie voor minimale boogstralen uit gebruikersoogpunt tabel 5.1 tot en met 5.3

gebruikerseisen en -wensen		wegvervoer		
		cat. A1 autosnelweg	cat. All stadsautosnelweg	cat. BIV niet-autosnelweg
max. helling	[%]	4.5	4.5	5
gewenste helling	[%]			
min. horizontale boogstaal	[m]	750	350	260
gewenste horizontale boogstraal	[m]	2000	800	700
min. verticale boogstraal (top)	[m]	10500	6000	2500
gewenste verticale boogstraal (top)	[m]	12500	6500	9000
min. verticale boogstraal (dal)	[m]	1200(2500)	700(800)	500
gewenste verticale boogstraal (dal)	[m]	25000	13000	14000

Tabel 5.1 Gebruikerseisen en -wensen wegvervoer

Gebruikerseisen en -wensen		spoorwegen		
		reizigers	goederen	HSL
Max. helling	[%]	2.5	2.5	2.5
Gewenste helling	[%]	0.5	0.5	0.5
min. horizontale boogstaal	[m]	1700	800	4500
Gewenste horizontale boogstraal	[m]	>10000	>4000	>6000
min. verticale boogstraal (top)	[m]	10000	2500	16000
gewenste verticale boogstraal (top)	[m]	>16000	>4000	>25000
min. verticale boogstraal (dal)	[m]	10000	2500	16000
gewenste verticale boogstraal (dal)	[m]	>16000	>4000	>25000

Tabel 5.2 Gebruikerseisen en -wensen spoorwegen

gebruikerseisen en -wensen		stadsrailvervoer		
		metro	sneltram	geleide bus
max. helling	[%]	4	4	6
gewenste helling	[%]	1	1	1
min. horizontale boogstaal	[m]	240	240	135
gewenste horizontale boogstraal	[m]	>400	>750	540
min. verticale boogstraal (top)	[m]	2500	1000	1200
gewenste verticale boogstraal (top)	[m]	>3600	>2000	20000
min. verticale boogstraal (dal)	[m]	2000	1000	350
gewenste verticale boogstraal (dal)	[m]	>3000	>2000	1500

Tabel 5.3 Gebruikerseisen en -wensen stadsrailvervoer

Bijlage 6 Bepaling lengte start- en ontvangtschacht

Indien de hele TBM met n-volgwagens in één lijn opgesteld wordt in de startschacht kan onderstaande formule gebruikt worden voor bepaling van de benodigde opstellengte van de TBM in de startschacht (waarbij eventueel een stuk van de TBM in de toerit wordt opgesteld).

$$L_{startschacht} = 2,5m + L_{boorschild} + \sum_{i=1}^n L_{volgwagen_i} + 2,0m$$

- $L_{startschacht}$: totale inwendige lengte startschacht of benodigde opstellengte TBM;
- 2,5 meter is bedoeld als werkruimte voor het inhijzen en monteren van het graafwiel;
- $L_{boorschild}$: lengte boorschild (circa $1 \times \varnothing_{tunnelbuis}$);
- $L_{volgwagen_i}$: lengte i^e-volgwagen;
- 2,0 meter is bedoeld voor het opvangen van wijzigingen in het TBM-ontwerp;

De lengte van de ontvangtschacht wordt meestal niet bepaald door de lengte van de TBM. Dit komt omdat het demonteren in gedeelten van de TBM in de ontvangtschacht niet zoveel nadelen met zich meebrengt als het in gedeelten opstellen van de TBM in de startschacht. Wanneer de TBM na ontvangst direct uit de tunnelbuis verwijderd moet worden voor de afbouw kan dit eigenlijk alleen wanneer de TBM ook gedeeltelijk in de toerit geschoven kan worden.

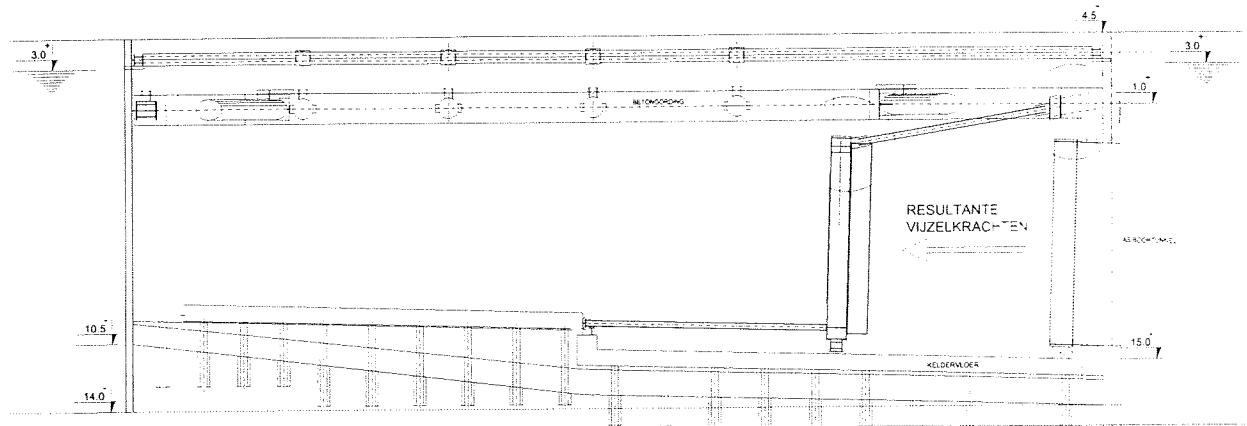
De minimaal benodigde lengte van een startschacht wordt bepaald door de minimale TBM-configuratie. Dit houdt in dat er gestart wordt met het boorschild en één volgwagen. Dit zal echter alleen in uitzonderlijke gevallen gebeuren omdat dit veel problemen oplevert voor de start van het boorproces.

$$L_{startschacht} = 2,5m + L_{boorschild} + L_{volgwagen_1}$$

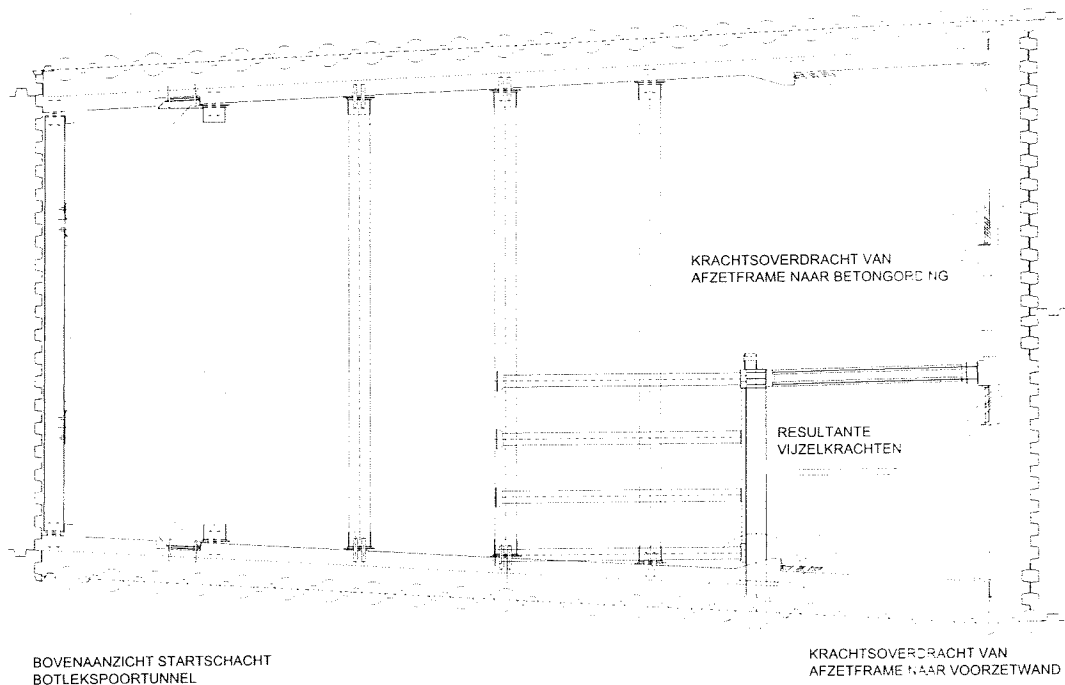
- $L_{startschacht}$: totale inwendige lengte startschacht of benodigde opstellengte TBM;
- 2,5 meter is bedoeld als werkruimte voor het inhijzen en monteren van het graafwiel;
- $L_{boorschild}$: lengte boorschild;
- $L_{volgwagen_1}$: lengte 1^e-volgwagen (circa 15 meter);

Bijlage 7 Uitwerking horizontaal evenwicht startschacht Botlekspoortunnel

In deze bijlage wordt middels een berekening getracht aan te tonen dat in principe het langsevenwicht van de startschacht ook zonder de toegepaste voorzetwanden gegarandeerd zou zijn geweest. Dit houdt niet in dat de voorzetwanden nutteloos zijn geweest. Tijdens de uitvoering hebben ze wel degelijk nut gehad. Er konden nu eenvoudig verschillende zaken aan de voorzetwand bevestigd worden, bijvoorbeeld de oplegging van de bovenste ligger van het afzetframe.



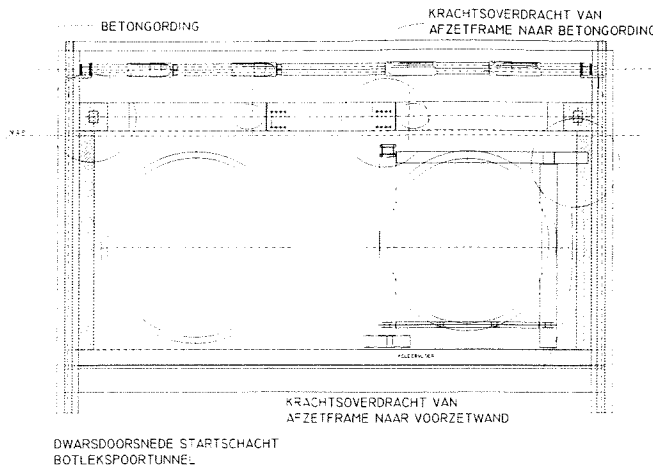
LANGDOORSNEDE STARTSCHACHT
BOTLEKspoortunnel



BOVENAANZICHT STARTSCHACHT
BOTLEKspoortunnel

KRACHTSOVERDRACHT VAN
AFZETFRAME NAAR VOORZETWAND

Eerst wordt de constructie en afmetingen van de startschacht omschreven zodat een duidelijk beeld van de situatie in de startschacht ontstaat. De startschacht is uitgevoerd met combiwanden en een onderwaterbetonvloer bevestigd aan trekpalen waarop vervolgens de constructievloer is gemaakt. Het maaiveld bevindt zich op 4,500⁺ en de grondwaterstand bevindt zich op 3,000⁺. De bovenste randgording is aangebracht op 3,500⁺, deze is niet belangrijk voor het langsevenwicht. De onderste randgording is van beton en bevindt zich op 1,000⁺. De sprong in de constructievloer wordt veroorzaakt door de waterkelder die later in de startschacht gebouwd wordt. De oppervlakte van de startschacht is 48 x 29 meter (lengte x breedte).



Er worden twee situaties bekeken.

- 1) Beginsituatie. Hierin is de startschacht in evenwicht, aan weerszijden van de startschacht werken even grote krachten.
- 2) Maatgevende situatie. Hierin wordt er van uitgegaan dat aan de boortunnelzijde een extra kracht op de startschacht werkt als gevolg van de start van het boorproces. Bovendien wordt ook aangenomen dat aan de toeritzijde de korrel- en waterdruk wegvallen door het ontgraven en leegpompen van het desbetreffende compartiment.

Er wordt gerekend met de volgende gegevens:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{grond,nat}} &= 20 \text{ kN/m}^2; \\ \gamma_{\text{grond,droog}} &= 17 \text{ kN/m}^2; \\ \text{waterdruk} &= \sigma_w = 10 \text{ kN/m}^2; \\ \varnothing_{\text{boorschild}} &= 9,75 \text{ m}; \\ \text{Oppervlakte boorschild} &= 75 \text{ m}^2; \\ \text{actieve gronddrukcoëfficiënt} & \lambda_a = 0,3; \\ \text{neutrale gronddrukcoëfficiënt} & \lambda_n = 0,5; \end{aligned}$$

Verder geldt:

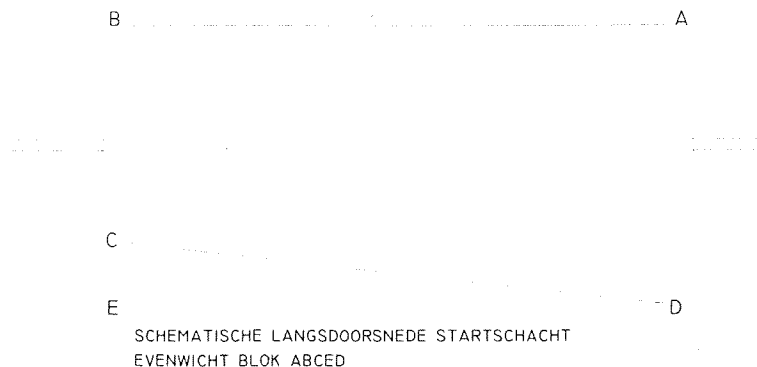
$$\begin{aligned} \text{gronddruk} = \text{korreldruk} + \text{waterdruk:} & \sigma_g = \sigma_w + \sigma_k; \\ \text{verticale korreldruk} & \sigma_{k,v} = \gamma_{\text{grond}} * d; \quad (d = \text{diepte}) \\ \text{horizontale korreldruk} & \sigma_{k,h} = \lambda * \sigma_{k,v}; \end{aligned}$$

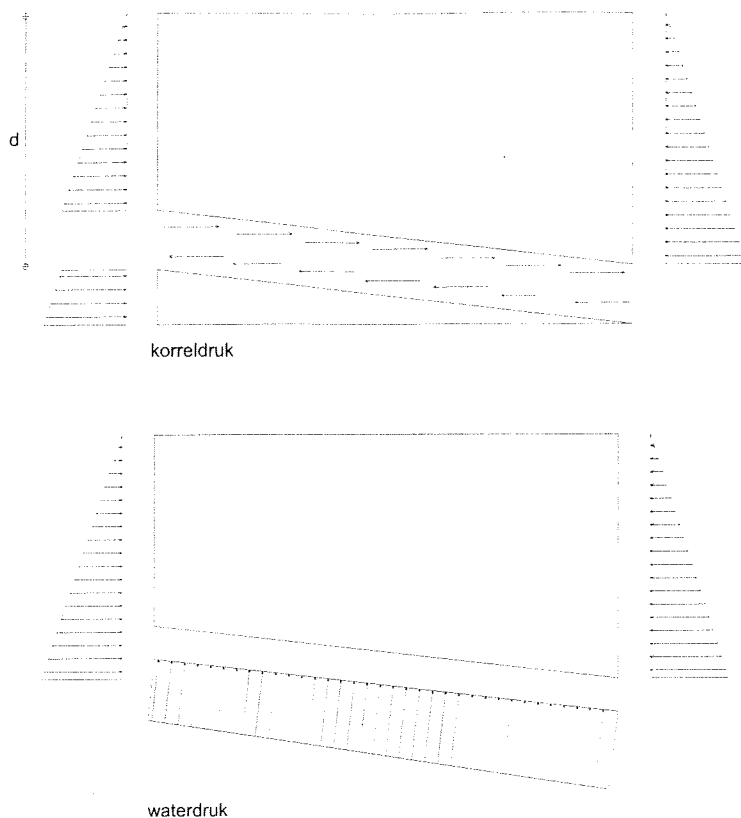
Voor de berekening zijn een aantal zaken vereenvoudigd:

- Er wordt uitgegaan van een rechthoekige plattegrond van de startschacht. In werkelijkheid loopt deze taps toe richting toerit. De wand zal dus meer wrijving kunnen ontwikkelen dan in de berekening wordt aangenomen;
- De vloer wordt vereenvoudigd tot een vloer zonder sprong;
- Bij de berekening wordt uitgegaan dat de helft van de vijzelkrachten langs de bovenzijde van het afzetframe wordt afgedragen (via betongording naar zijwand) en de andere helft langs de onderzijde van het afzetframe wordt afgedragen (via vloer naar zijwand). In werkelijkheid zal een groter gedeelte van de vijzelkrachten via de vloer naar de zijwanden worden afgedragen omdat de onderste vijzels grotere grond- en waterdrukken keren. Dit is dus een conservatievere benadering.

1) Beginsituatie

Bekijk evenwicht blok ABCED. De korrel- en waterdruk links en rechts zijn gelijk.





De waterdruk links en rechts op het vlak ABCD is gelijk. De korreldruk links en rechts maken ook evenwicht. Loodrecht op het grensvlak CD werkt de waterdruk. De verticale korreldruk is nul, de startschacht drijft immers op het grondwater (trekpalen).

2) Maatgevende situatie

De eerste extra horizontale kracht in langsrichting is de afzetkracht van het boorschild van de TBM. Deze kracht is te berekenen uit de gemeten vijzelkrachten tijdens de start van het boorproces. Aan het einde van deze bijlage worden de gemeten vijzelkrachten en de toelaatbare vijzelkracht op het afzetframe met elkaar vergeleken. De toelaatbare vijzelkracht op het afzetframe blijkt niet te zijn overschreden. Over het boorschild geldt:

$$(1) F_{mantelwrijving} = F_{vijzels} - F_{steundruk} - F_{graafwiel} - F_{staartborstels} - F_{e.g.} - F_{spleet}$$

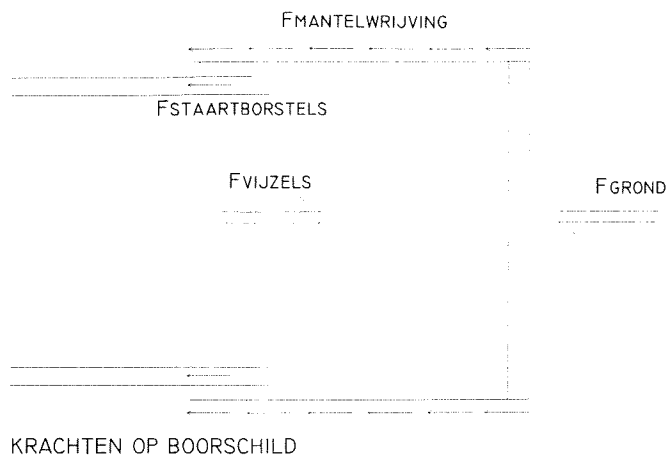
- $F_{mantelwrijving}$: wrijving langs schildmantel;
- $F_{vijzels}$: vijzelkracht gemeten tijdens boorproces;
- $F_{steundruk}$: steundruk grondmassa in werkkamer, gemeten tijdens boorproces;
- $F_{graafwiel}$: druk op graafwiel, gemeten tijdens boorproces;
- $F_{staartborstels}$: wrijving staartborstels;
- $F_{e.g.}$: component eigen gewicht TBM evenwijdig aan tunnelas;
- F_{spleet} : wrijving staartspleet TBM;

Het aandeel van de componenten $F_{staartborstels}$, $F_{e.g.}$ en F_{spleet} wordt verwaarloosd, deze zijn relatief klein. De componenten $F_{steundruk}$ en $F_{graafwiel}$ vormen samen de gronddruk die op de kop van de TBM werkt, F_{grond} .

Dit leidt tot de volgende vereenvoudigde formule:

$$(1) F_{mantelwrijving} = F_{vijzels} - F_{grond} \quad \text{(zie tekening krachten op boorschild)}$$

De formule en tekening zijn toegevoegd om een beter inzicht te verkrijgen in de krachtswerking op het boorschild. De gronddruk is uit metingen verkregen.



Er moeten twee toestanden vergeleken worden. Het boren in droge grond (blindringen en ring 0 en ring 1) en het boren in natte grond. Door van deze kracht de oorspronkelijke kracht uit de beginsituatie af te trekken krijgt men de extra kracht ten gevolge van de start van het boorproces.

Droge situatie:

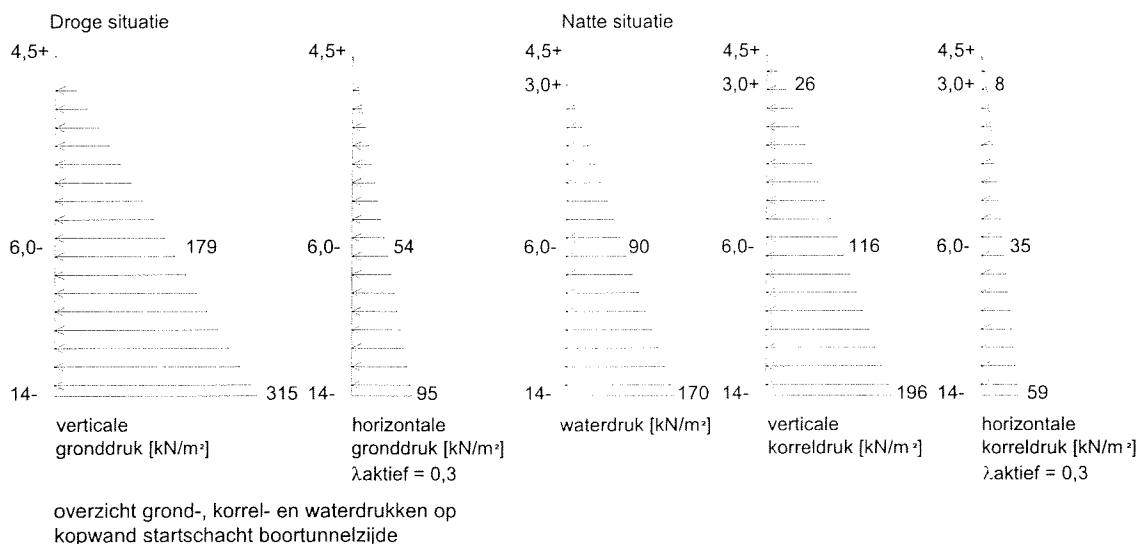
$$(2) F_{grond} = 17.400 \text{ kN} *$$

Natte situatie:

$$(3) F_{grond} = 17.100 \text{ kN} *$$

* berekend uit gemeten gronddrukken tijdens het boorproces

De oorspronkelijke kracht door de grond uitgeoefend op het front van het boorschild is gelijk aan de gronddruk in het centrum van het boorschild, dit ligt op 6.000⁺.



$$(4) F_{extra,droog} = 17.400 - 54 [kN / m^2] * 75 [m^2] = 13.350 \text{ kN}$$

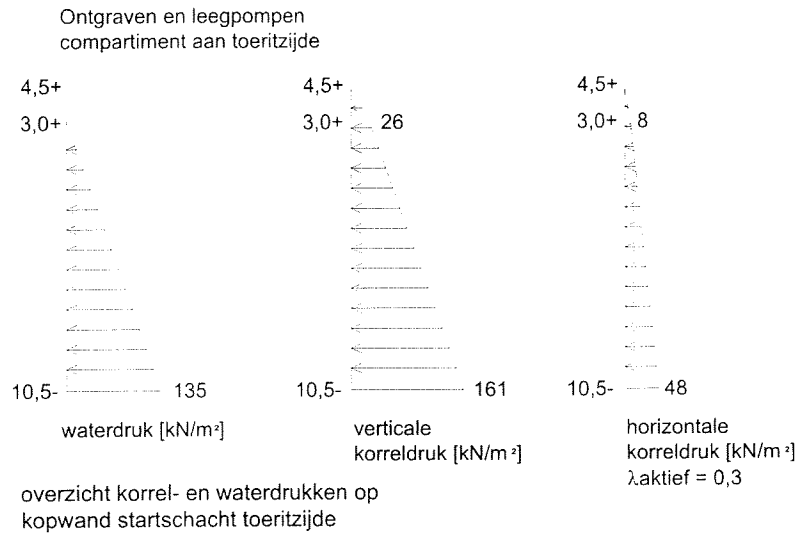
$$(5) F_{extra,nat} = 17.100 - 125 [kN / m^2] * 75 [m^2] = 7.725 \text{ kN}$$

De randgording op 1,000⁺ neemt de helft van de afzetkracht van de TBM op en verdeelt deze over de zijwanden. De sprong in de constructievloer neemt de andere helft van de afzetkracht op (zie tekening). Dit is een conservatieve aanname omdat de resultante van de vijzelkrachten onder het hart van de tunnelbuis ligt. De gronddruk aan de onderzijde van het boorschild is immers groter dan aan de bovenkant.

(6) $F_a = 13.350 \text{ kN}$

De tweede horizontale kracht in langsrichting welke door de zijwanden dient te worden opgevangen is de wegvallende water- en korreldruk in het compartiment aan de toerzijde. De grote van deze kracht is:

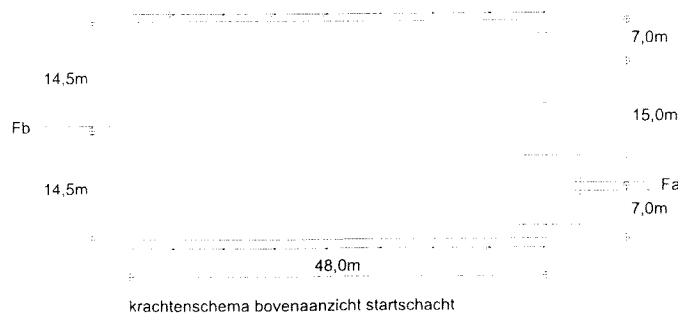
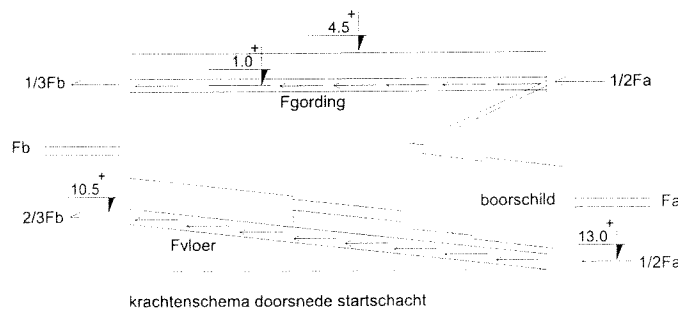
(7) $F_b = F_{water} + F_{korrel} = 24.469 + 11.195 = 35.664 \text{ kN}$



De maximale kracht in de randgording wordt dan:

(8) $F_{a,gording} = \frac{1}{2} * \frac{22}{29} * F_a = 5.064 \text{ kN}$

(9) $F_{b,gording} = \frac{1}{3} * \frac{1}{2} * F_b = 5.944 \text{ kN}$



De kracht in de randgording wordt:

$$(10) \quad F_{gording} = F_{a,gording} + F_{b,gording} = 11.008 \text{ kN}$$

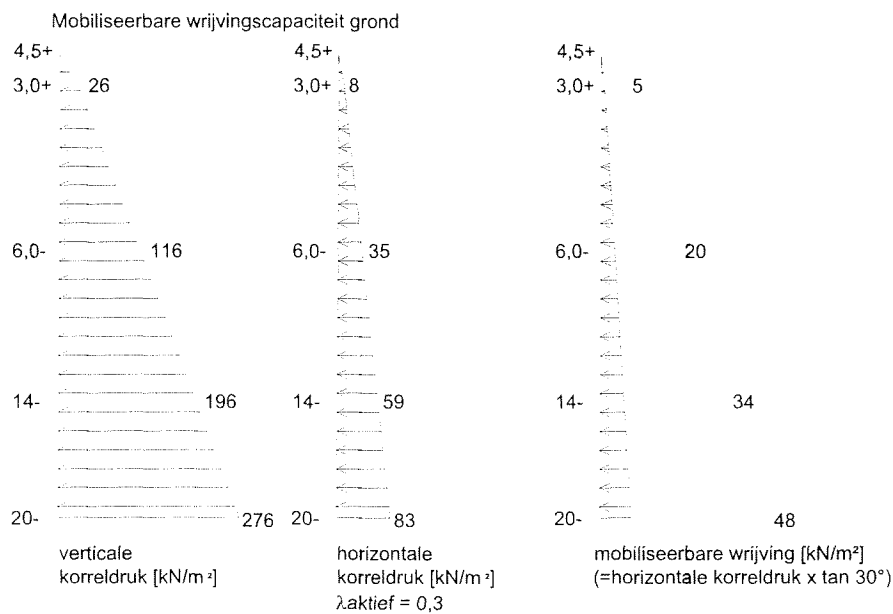
De verkorting van de betongording over 40 meter gording bij een gemiddelde kracht van 5,5 MN bedraagt:

$$(11) \quad \Delta l = \frac{F * L_{gording}}{EA} = \frac{5,5 \text{ MN} * 40 \text{ m}}{1 \text{ m}^2 * 3 \cdot 10^4 \text{ MN} / \text{m}^2} = 7,3 \text{ mm}$$

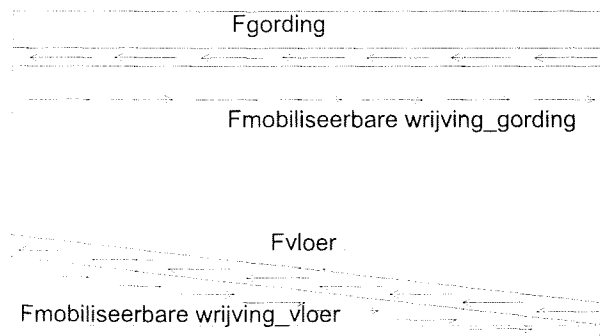
De aanname dat de betongording stijf is en dus de kracht gelijkmatig over de hele zijwand verdeelt is dus gerechtvaardigd.

$$(12) \quad F_{gording / meter} = F_{gording} / l_{gording} = 11.008 / 48 = 230 \text{ kN} / \text{m}$$

De spanning uit de gording wordt over een hoogte van 12 à 13 meter afgedragen. Bij de vloer is de wrijving een stuk groter, er is hier dus minder hoogte nodig om de kracht uit de vloer aan de grond over te dragen.



overzicht korreldrukken en te mobiliseren wrijving



krachtenschema langsdoorsnede startschacht met resultante mobiliseerbare wrijvingskracht

De kracht in de gording per strekkende meter, 230 kN/m, is ook de maximale schuifspanning in de heislotten van de combiwand, indien de wrijvingsoverdracht aan de grond boven de gording verwaarloosd wordt. Een harmonica-achtige wand zoals een damwand of een combiwand kan in zijn eigen vlak geen langskracht overbrengen, maar kan wel, als de sloten het toelaten, schuifkracht in zijn vlak overdragen. Deze schuifspanning kan worden opgenomen door een aantal kettinglassen aan te brengen op de heislotten.

Uitgegaan wordt van a=5. De benodigde laslengte per meter ter hoogte van de randgording is:

$$(13) \quad \tau_{\text{beschikbaar}} \approx 1.000 \text{ kN} / \text{m}$$

$$(14) \quad \text{Laslengte} = \tau_{\text{max}} / \tau_{\text{beschikbaar}} = 230 / 1.000 = 0.230 \text{ m} / \text{m}$$

Per meter heislote dient circa 25 cm las a5 aangebracht te worden, dus per 50 cm een las a5 van 15 cm. Dit hoeft alleen direct boven en onder de betongording en boven de vloer. De schuifspanning in de sloten reduceert naarmate de afstand tot de gording of de vloer groter wordt. De grond heeft dan middels wrijving al een deel van de schuifspanning opgenomen. De conclusie is dus dat de voorzetwanden constructief niet noodzakelijk waren.

Ring	Vijzelkrachten (kN)	Ring	Vijzelkrachten (kN)	Ring	Vijzelkrachten (kN)
0	24575	34	28375	68	29277
1	27111	35	27401	69	30329
2	29064	36	28186	70	30685
3	26601	37	28223	71	29048
4	26024	38	28022	72	29828
5	18105	39	27926	73	30455
6	24005	40	29382	74	30929
7	20730	41	30137	75	30080
8	24223	42	28016	76	29626
9	22087	43		77	30568
10	21651	44		78	31698
11	22058	45		79	33009
12	22808	46		80	31289
13	23397	47	28074	81	33292
14	22134	48	30182	82	32688
15	22410	49	30470	83	33002
16	24040	50	29535	84	32875
17	26818	51	29178	85	33278
18	25339	52	29425	86	34629
19	25950	53	30658	87	36668
20	27271	54	29277	88	35293
21	26238	55	26990	89	35925
22	27349	56	27765	90	35759
23	27949	57	28344	91	37032
24	28728	58	28140	92	37029
25	29009	59	27139	93	39719
26	27967	60	27465	94	39528
27	29565	61	27091	95	37991
28	29712	62	27232	96	38673
29	29193	63	27509	97	40180
30	28712	64	28867	98	40380
31	28585	65	28742	99	38857
32	26997	66	27013	100	38292
33	29056	67	29150		

De toelaatbare afzetkracht op het afzetframe bedraagt 26.270 kN. De maximale totale vijzelkracht die het boorschild kan leveren bedraagt 56.000kN.

Vanaf ring 25 wordt de gemeten vijzelkracht geleidelijk aan groter dan de toelaatbare kracht op het afzetframe. De reeds geplaatste ringen kunnen, nadat de staartspleetvulling is uitgehard, echter al een deel van de vijzelkracht middels wrijving afdragen naar de omringende grond. In de praktijk is ook gebleken dat het afzetframe de vijzelkrachten goed heeft kunnen opnemen.

gemeten vijzelkrachten

