

# Overgangen en overgangsconstructies





# **Overgangen en overgangsconstructies**

P. van Steeg  
A. van Hoven

1208394-000



## Titel

Overgangen en overgangsconstructies

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud	1208394-000	1208394-000-HYE-0011	38

## Trefwoorden

Overgangen, overgangsconstructies, aansluitingen, aansluitingsconstructies

## Samenvatting

Dit verslag behandelt de kennisleemtes met betrekking tot overgangen in primaire waterkeringen. Omdat er zeer veel types overgangen mogelijk zijn is er de behoefte om dit te structureren. In dit rapport is dit gedaan door verschillende categorieën te definiëren zoals keringtype, geometrie, fysica, locatie op de kering en beheer en inspectie. Er is tevens een inventarisatie van veel voorkomende overgangen gegeven. Gebaseerd op een bijeenkomst van experts in de waterbouwkundige sector en ervaringen uit het buitenland blijken vooral overgangen in grasdijken potentiële zwakke plekken te zijn.



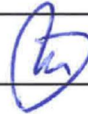
In dit verslag wordt tevens een overzicht gegeven van de huidige kennisbasis met betrekking tot overgangen. Recentelijk is er veel onderzoek uitgevoerd naar overgangen in grasbekledingen. Hieruit blijkt dat deze overgangen veelal een potentiële zwakke plek in een waterkering kunnen zijn.

Een overzicht van mogelijke oplossingsrichtingen is gegeven voor gras en steenzettingen. Ook deze oplossingsrichtingen zijn gecategoriseerd. Belangrijkste categorieën hierin zijn 1) het verlagen van de belasting, 2) het verhogen van de sterkte en 3) acceptatie dat een overgang een zwakke plek is. Bij de laatste oplossingsrichting wordt de zogenaamde 'reststerkte' aangesproken. Binnen de hierboven genoemde oplossingsrichtingen zijn nog verschillende sub sets geïdentificeerd.

Het wordt aanbevolen om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar het implementeren van de aanbevelingen zoals deze in een Europese studie (FloodProBE) zijn weergegeven in de Nederlandse situatie. In deze studie wordt aanbevolen om overgangen en overgangsconstructies als zodanig herkenbaar te maken in ontwerp-, toets- en beheersstrategieën en rapportages. Op deze manier kan de invloed van een overgang op de stabiliteit van een primaire waterkering in risicomodellen worden geïmplementeerd.

## Referenties

Opdracht met zaaknummer 31082455 Onderzoek kennisleemte overgangsconstructies, d.d. 03.06.2013

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
V1	Nov. 2013	Ir. P. van Steeg Ir. A. van Hoven		Ir. M. Klein Breteler		Dr. ir. M.R.A. van Gent	
V2	Nov. 2013	Ir. P. van Steeg Ir. A. van Hoven		Ir. M. Klein Breteler		Dr. ir. M.R.A. van Gent	

## Status

definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Algemeen	1
1.2	Achtergrond	1
1.3	Doelstelling	1
<b>2</b>	<b>Definities vaststellen en categoriseren</b>	<b>3</b>
2.1	Algemeen	3
2.2	Functie van de overgang	3
2.3	Indeling in categorieën	4
2.4	Indeling gebaseerd op keringtype	4
2.4.1	Overgangen in het keringtype 'hoge gronden'	5
2.4.2	Overgangen in het keringtype 'Dijken en dammen'	5
2.4.3	Overgangen in het keringtype 'Duinen'	6
2.4.4	Overgangen in het keringtype 'Waterkerende kunstwerken'	6
2.4.5	Niet-waterkerende objecten (NWO)	7
2.4.6	Overgang tussen keringtype en voorland of achterland	7
2.4.7	Overgang tussen twee verschillende keringtypes = aansluiting	8
2.5	Indeling gebaseerd op de geometrie van de overgang	9
2.5.1	Geometrie - Oriëntatie	9
2.5.2	Geometrie - Hoogteverschil aan weerszijden van de overgang	10
2.5.3	Geometrie - Knikken	10
2.6	Indeling gebaseerd op fysica	11
2.6.1	Algemeen	11
2.6.2	Faalmechanismen	11
2.7	Indeling gebaseerd op locatie op de kering	12
2.8	Indeling gebaseerd op beheer en inspectie	13
2.9	Synthese	13
<b>3</b>	<b>Inventarisatie overgangen</b>	<b>15</b>
3.1	Inleiding	15
3.2	Veelvoorkomende overgangen in Nederland	15
3.2.1	Derde toets primaire waterkeringen, Landelijke toets 2006-2011	15
3.2.2	Expert raadpleging overgangen	16
3.3	Ervaringen in het buitenland	18
3.4	Ontwerp, uitvoering, gebruik en beheer, toetsing	20
<b>4</b>	<b>Huidige kennisbasis overgangen</b>	<b>23</b>
4.1	Kennisbasis in Nederland	23
4.1.1	Overgang naar gras	23
4.1.2	Overgang naar steenzetting	25
4.1.3	Overgang naar asfalt	26
4.1.4	Overgang naar losgestorte materialen	26
4.1.5	Overgang naar overige type bekledingen	26
4.2	Kennisbasis internationaal: Europees onderzoek, FloodProBE	26
<b>5</b>	<b>Inventarisatie oplossingsrichtingen</b>	<b>29</b>
5.1	Kwantificeren van de invloed van overgangen	29

5.2	Generieke oplossingsrichtingen	29
5.2.1	Verlagen belasting ( $\alpha_s$ of S)	30
5.2.2	Verhogen sterkte ( $\alpha_R$ of R)	30
5.2.3	Acceptatie $Z < 0$	30
5.3	Specifieke oplossingsrichtingen gras	31
5.3.1	Faalmechanismen gras bij een overgang	31
5.3.2	Oplossingsrichting gras: Verlagen van de belasting ( $\alpha_s$ of S)	31
5.3.3	Oplossingsrichting gras: Verhogen van de sterkte ( $\alpha_R$ of R)	32
5.3.4	Oplossingsrichting gras: Acceptatie $Z < 0$	32
5.4	Specifieke oplossingsrichtingen asfalt	32
5.5	Specifieke oplossingsrichtingen steenzettingen	32
5.5.1	Faalmechanismen steenzettingen bij een overgang	32
5.5.2	Oplossingsrichting steenzettingen: Verlagen van de belasting ( $\alpha_s$ of S)	33
5.5.3	Oplossingsrichting steenzettingen: Verhogen van de sterkte ( $\alpha_R$ of R)	34
5.5.4	Oplossingsrichting steenzettingen: Acceptatie $Z < 0$	34
5.6	Specifieke oplossingsrichtingen losgestorte materialen	34
5.7	Specifieke oplossingsrichtingen overige type bekledingen	34
<b>6</b>	<b>Synthese</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>37</b>
 <b>Bijlage(n)</b>		
<b>A</b>	<b>Definities volgens VTV2006</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Overzicht types overgangen en gerelateerde potentiële problemen en oplossingen</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Betrouwbaarheidsfuncties van overgangen</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Voorbeelden overgangsconstructies</b>	<b>D-1</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Vanuit de CUR commissie AOC WB is de wens geuit om overgangen als kennisleemte te gaan onderzoeken. Vanuit deze wens heeft Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud Deltares gevraagd om een verkennend onderzoek hiernaar uit te voeren. Onderhavig verslag is een tussenverslag van dit onderzoek.

## 1.2 Achtergrond

Om Nederland tegen overstromingen te kunnen beschermen is een degelijk toets- en ontwerpinstrumentarium van primaire waterkeringen zoals dijken, kunstwerken, dammen en duinen noodzakelijk. Dergelijke kennis is opgenomen in voorschriften, technische rapporten, handreikingen en software en wordt verder ontwikkeld binnen verschillende onderzoeksprogramma's zoals WT12017.

In deze onderzoeken, maar ook op basis van praktijkervaringen (bijvoorbeeld de dijkdoorbraken bij New Orleans als gevolg van de orkaan Katrina), blijkt dat overgangen en overgangsconstructies veelal een zwak punt in waterkeringen zijn. Met een overgang wordt hier de ruimste zin van het begrip bedoeld. Gedacht kan worden aan aansluitingsconstructies tussen verschillende typen waterkeringen zoals dijken, duinen of hoge gronden maar ook overgangen tussen waterkeringen en zogenaamde niet waterkerende objecten (NWO's) of overgangen tussen verschillende typen dijkbekledingen. De verschillende definities van de termen worden toegelicht in Hoofdstuk 2. Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat kunstwerken en NWO's als zodanig buiten het kader van dit project vallen. Een overgang van een NWO of kunstwerk naar een waterkering valt wel binnen het kader van dit project.

## 1.3 Doelstelling

De specifieke doelstellingen voor dit project (2013) zijn als volgt:

- Het verkrijgen van een globaal overzicht van de huidige potentiële zwakke overgangen;
- Het verkrijgen van een globaal overzicht van gebruikelijke maatregelen als er sprake is van zwakke overgangen (beheersmaatregelen en fysieke aanpassingsmogelijkheden zoals overgangsconstructies);
- Het verkrijgen van inzichten in onderliggende oorzaken van geconstateerde gebreken en daaruit voortvloeiende aanbevelingen zodat dit in de toekomst kan worden meegenomen in ontwerp en uitvoering;
- Inventariseren van de meest kansrijke en effectieve (ook van nog niet of nauwelijks toegepaste) maatregelen.

Op basis van dit project kan in een vervolgfase gericht onderzoek worden uitgevoerd naar kansrijke mogelijkheden wat zal resulteren in praktische oplossingsrichtingen (vnl. gericht op overgangsconstructies), verbeterde beheersmaatregelen en verbeterde toets- en ontwerpmethodieken.



## 2 Definities vaststellen en categoriseren

### 2.1 Algemeen

Vooralsnog wordt in dit rapport uitgegaan van de begrippen in de VTV2006 (MinV&W, 2007), welke tevens zijn weergegeven in Appendix A. Wat opvalt, is dat in VTV2006 geen expliciete omschrijving van de term overgang of overgangsconstructie is gegeven. In 'Van Dale' is het begrip *overgang* omschreven als "een verandering van de ene situatie in de andere." Dit begrip is echter te ruim binnen het kader voor dit project, waarin wordt beperkt tot:

- Primaire waterkeringen;
- Ruimtelijke overgangen (dus geen verandering in de tijd);
- Overgangen in het vlak van de buitencontour van de primaire waterkering waar het gaat om bekledingen (strikt genomen is een steenzetting geplaatst op een filterlaag ook een overgang, loodrecht op het vlak van de buitencontour van de dijk). Overgangen in diepere lagen in de kering vallen buiten het kader van dit rapport. De focus is dus op de toplagen (bekleding).

In het kader van dit rapport kan de term "overgang" dus worden gezien als een verzamelterm van alle denkbare ruimtelijke veranderingen in een bekleding of constructie van een primaire waterkering. In de VTV2006 is een aparte benaming gegeven aan 'aansluitingen' en 'aansluitingsconstructies'. Dit betreft bijvoorbeeld de aansluitingen tussen kunstwerken en grondlichamen. De definitie hiervan wordt toegelicht in Paragraaf 2.4.7. In dit document worden aansluitingen beschouwd als een sub-set van overgangen.

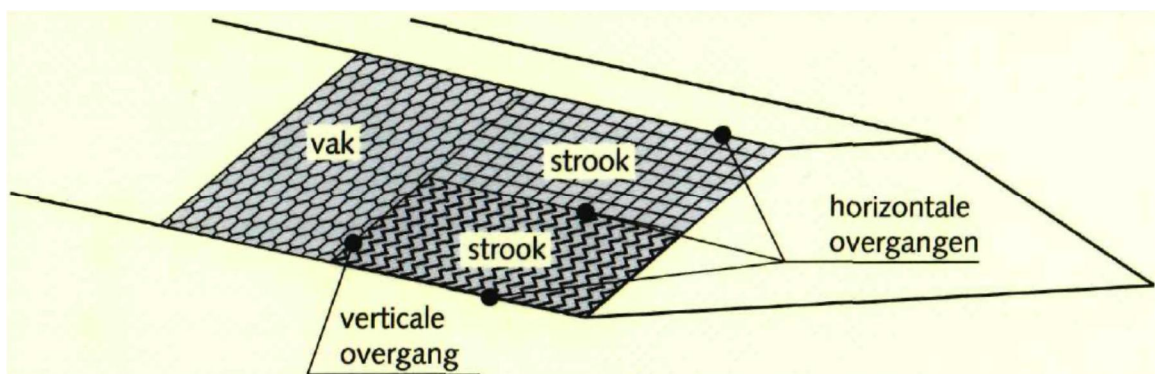
De invloedzone van de overgang is in dit rapport gedefinieerd als het gedeelte van de waterkering waar de overgang invloed heeft op de stabiliteit.

Er is geen definitie gevonden van de term overgangsconstructie. Deze term wordt overigens wel gebruikt in de VTV2006. In dit rapport wordt een overgangsconstructie beschouwd als een constructieve maatregel bij een overgang.

### 2.2 Functie van de overgang

Vanuit het gezichtspunt van de functie zijn in TAW (1992) vier soorten overgangen gedefinieerd. Op basis hiervan zijn de volgende vijf functies van een overgang onderscheiden:

- 1) Een overgang als koppeling tussen verschillende bekledingsmaterialen en of onderlagen.
  - a. Horizontaal (tussen hoger op talud liggende bekleding en lager liggende bekleding). Dit kan nodig zijn vanwege de volgende redenen:
    - i. De belasting op de bekleding neemt af naarmate de bekleding hoger op het talud ligt. Hoger op dit talud kan daarom een lichtere (en goedkopere) bekleding worden toegepast.
    - ii. Er wordt een dijkverhoging uitgevoerd. De bekleding dient ook verhoogd te worden. Vanuit ontwerptechnische redenen kan ervoor worden gekozen om een ander bekledingsmateriaal te gebruiken dan de oorspronkelijke lager liggende bekleding.
  - b. Verticale overgangen (tussen naast elkaar liggende bekledingen).



Figuur 2.1 Horizontale en verticale overgangen (bron: TAW, 2003)

- 2) Overgangen bij beëindiging van een bekleding
  - a. Horizontaal: teenconstructies
  - b. Verticaal: aansluiting op een waterkerend kunstwerk of NWO
- 3) Overgang ten behoeve van beperking van schade omvang.  
 In het verleden is de overgang van gras wel eens uitgevoerd met een gesloten palenrij die boven de bekleding uitstak. Het doel hiervan was het voorkomen dat materialen zich verzamelen op het gras wat tot aantasting van de grasmat kan leiden. Het bleek dat lokale schade zich niet uitbreide bij deze overgangen. Dergelijke palenrijen hebben echter ook nadelen. Te denken valt aan onderhoud (in dit geval als gevolg van houtrot) en zettingsproblematiek (leidend tot losliggende bekledingselementen). In recent onderzoek naar overgangen in grasbekledingen onder golfaanval bleek in sommige gevallen de overgang ook een positieve invloed (verhoogde weerstand tegen erosie) te hebben (Deltares, 2013) op de ontwikkeling van de schade.
- 4) Knik in het talud, zoals bijvoorbeeld bij bermen het geval is.
- 5) Overgang noodzakelijk door productiemethode. Door de productiemethode ontstaat een overgang in dezelfde type bekleding. In de praktijk is dit voornamelijk bij asfalt het geval waar zogenaamde 'daglassen' worden toegepast aan het einde van een werkdag.

### 2.3 Indeling in categorieën

Om overgangen goed te kunnen beschouwen is een heldere indeling noodzakelijk. Dit kan op meerdere manieren worden gedaan:

- Indeling gebaseerd op keringtype
- Indeling gebaseerd op geometrie
- Indeling gebaseerd op fysica van faalmechanismen
- Indeling gebaseerd op locatie op de kering

De genoemde indelingen worden in de volgende paragrafen toegelicht. Hierbij wordt benadrukt dat het indelen in categorieën niet een doel op zichzelf is. Het is slechts als middel gebruikt om inzicht te krijgen in de grote verscheidenheid aan overgangen en de verschillende mogelijke zienswijzen hierop.

### 2.4 Indeling gebaseerd op keringtype

De indeling die in de VTV2006 wordt toegepast lijkt voornamelijk gebaseerd te zijn op het keringtype. De verschillende keringtypes gehanteerd in de VTV2006 zijn de volgende:

- Keringtype 'hoge gronden'
- Keringtype 'dijken en dammen'
- Keringtype 'duinen'
- Keringtype 'waterkerende kunstwerken'

Naast deze keringtypes worden er nog twee andere categorieën onderscheiden. Dit zijn:

- Niet waterkerende objecten
- Voorland en achterland

Bovengenoemde categorieën worden in onderstaande paragrafen kort behandeld.

#### 2.4.1 Overgangen in het keringtype 'hoge gronden'

Hoge gronden zijn natuurlijke hoge delen van Nederland die niet overstromen bij maatgevend hoogwater én die als zodanig zijn aangegeven op bijlagen I en IA van de Wet op de waterkering. Hoge gronden vormen samen met primaire waterkeringen het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit.

In dit rapport is geen verdere sub-categorisering van hoge gronden toegepast.

Overgangen binnen de categorie hoge gronden vallen buiten het kader van dit project en worden derhalve niet verder beschouwd.

Een overgang van een hoge grond naar een dijk of duin valt onder de categorie 'aansluitingen' en wordt behandeld in Paragraaf 2.4.7. Een overgang van een hoge grond naar een waterkerend kunstwerk, een niet waterkerend object of een voorland /achterland komt niet tot nauwelijks voor en wordt derhalve niet in dit rapport behandeld.

#### 2.4.2 Overgangen in het keringtype 'Dijken en dammen'

Een dijk is gedefinieerd als een waterkerend grondlichaam waarbij aan een zijde land aanwezig is en aan een zijde water. Een dam heeft dezelfde definitie met als uitzondering dat deze aan beide zijden water heeft. Met betrekking tot overgangen bij dijken en dammen zijn vijf subcategorieën gedefinieerd gebaseerd op het type bekleding, te weten:

- Gras
- Asfalt
- Steenzettingen
- Losgestorte materialen (Breuksteen, grind)
- Overige types bekledingen

'Overige type bekledingen' zijn onder andere verpakte bekledingen (metaalgaas, geotextiele elementen) en betonplaten. Deze typen bekledingen komen bij Nederlandse dijken en dammen relatief weinig voor.

Men is geneigd te denken dat een overgang van gras naar gras niet voorkomt. Dit is echter niet het geval aangezien een 'knik' ook als overgang wordt gerekend. Dit komt op grastaluds relatief vaak voor waardoor de overgang gras-gras relevant is.

Een overzicht van mogelijke overgangen binnen de categorie 'dijken en dammen' is gegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Indeling overgangen op basis van type bekleding )

Van... ..naar	gras	asfalt	steenzetting	losgestorte materialen	overig
gras	gr-gr	gr-as	gr-st	gr-lm	gr-ov
asfalt	as-gr	as-as	as-st	as-lm	as-ov
steenzetting	st-gr	st-as	st-st	st- lm	st-ov
losgestorte materialen	lm-gr	lm-as	lm-st	lm- lm	lm-ov
overig	ov-gr	ov-as	ov-st	ov- lm	ov-ov

Een overgang van een dijk of dam naar een ander keringtype (duin, hoge grond, kunstwerk) valt onder de categorie 'aansluitingen' en wordt behandeld in Paragraaf 2.4.7. Een overgang van een dijk of dam naar een NWO of een voorland en achterland komt frequent voor en wordt behandeld in Paragraaf 2.4.5 en Paragraaf 2.4.6.

#### 2.4.3 Overgangen in het keringtype 'Duinen'

Duinen zijn door de natuur gevormde zandlichamen langs de kust. Als primaire waterkering ontlenen zij hun sterkte aan de hoeveelheid zand waaruit ze zijn opgebouwd en aan hun geometrie.

In dit rapport is geen verdere sub-categorisering van duinen toegepast.

Binnen het keringtype duinen komen er niet tot nauwelijks overgangen voor. Een uitzondering hierop is de overgang naar een duinvoetverdediging welke uit een harde constructie kan bestaan.

Een overgang van een duin naar een ander keringtype (dijk of dam, hoge grond, kunstwerk) valt onder de categorie 'aansluiting' en wordt behandeld in Paragraaf 2.4.7. Een overgang van een duin naar een NWO komt veel voor. In het geval van kleine NWO's (bankjes, paaltjes etc.) lijkt dit niet relevant te zijn (veelal is de toegestane afslag van duinen enkele tientallen meters). Grotere NWO's (bunkers, gebouwen etc.) kunnen wel van belang zijn. Een speciaal geval is de 'dijk in een duin' waarin een dijk in/onder een duin is aangelegd. De overgang tussen het keringtype duin en het voorland of het achterland lijkt niet eenduidig gedefinieerd te zijn. Dit is binnen dit rapport niet verder uitgewerkt.

#### 2.4.4 Overgangen in het keringtype 'Waterkerende kunstwerken'

Waterkerende kunstwerken zijn meestal primair aangelegd ten behoeve van utilitaire kruisingen zoals (scheepvaart-)verkeer, waterbeheer of nutsvoorzieningen. Verder kunnen andere functies van de waterkering zoals woon-/werk-/leefmilieu, natuur, landschap en cultureel erfgoed, ertoe leiden dat bijzondere waterkerende constructies zoals een kistdam, keermuur of damwand worden toegepast.

Binnen het keringtype waterkerende kunstwerken zijn er op verschillende manieren sub-categorieën te definiëren. Hiervoor wordt verwezen naar VTV2006 (MinV&W, 2007).

Overgangen welke binnen het keringtype waterkerende kunstwerken kunnen voorkomen vallen buiten het kader van dit rapport.

Een overgang van een waterkerend kunstwerk naar een ander keringtype (dijk of dam, hoge grond, duin) valt onder de categorie 'aansluiting' en wordt behandeld in Paragraaf 2.4.7. Een overgang van een waterkerend kunstwerk naar een NWO komt in de praktijk veel voor maar

zijn nauwelijks relevant en vallen buiten het kader van dit rapport. Een overgang van een waterkerend kunstwerk naar een voor of achterland valt buiten het kader van dit rapport.

#### 2.4.5 Niet-waterkerende objecten (NWO)

Een niet-waterkerend object is een object in, op, onder of nabij de waterkering dat geen waterkerende functie vervult, maar waarvan de aanwezigheid wel van invloed is of kan zijn op het waterkerend vermogen van de waterkering.

In VTV2006 worden de volgende subcategorieën voor NWO's gegeven:

- begroeiing (bomen en struiken);
- bebouwing;
- pijpleidingen en kabels;
- overige constructies (wegen, landhoofden, geleide werken, steigers, niet-waterkerende kadeconstructies, overig dijkmeubilair).

Binnen de categorie NWO's komen overgangen niet tot nauwelijks voor of zijn niet relevant ten opzichte van de overgang naar de waterkering.

De overgang van een NWO naar een keringtype komt frequent voor. De waterkering beheerders kwamen in 2009 tot de conclusie dat het instrument voor het toetsen van niet waterkerende objecten, zoals huizen en bomen, door de grote aantallen niet werkbaar was. De grote hoeveelheid werk strookte niet met de beleving van urgentie om de NWO's te toetsen op veiligheid. Zo waren er bij het Waterschap Rivierenland meer dan 100.000 niet waterkerende objecten aanwezig. Daarom zijn er Vuistregels (Provincie Zuid-Holland, 2009) opgesteld die als hulpmiddel kunnen dienen bij het opstellen van beheerdersoordelen voor niet waterkerende objecten.

In Tabel 2.2 is een overzicht gegeven van de aansluiting van NWO's op de verschillende keringtypes en waar dit in de VTV2006 wordt behandeld.

Tabel 2.2 Overgang tussen NWO's en verschillende type keringen zoals beschreven in VTV2006

	NWO's
<b>Hoge gronden</b>	-
<b>Dammen en dijken</b>	- 5.3.3 (sterkte) - 5.4.3 (beoordeling) - 5.5.2.7 (havendammen)
<b>Duinen*</b>	- 6.2.4 (belastingen) - 6.3.4 (sterkte) - 6.4.2.3 (beoordeling)
<b>Waterkerende kunstwerken</b>	-

#### 2.4.6 Overgang tussen keringtype en voorland of achterland

Het voorland is het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaaldijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven Toetspeil. Bij de beveiliging tegen hoogwater wordt meestal de stabiliteit van de waterkering zelf bekeken. Ook buiten de waterkering is een aantal mechanismen van belang, die de waterkering kunnen bedreigen. Hieronder valt een aantal mechanismen op het voorland, die tot een inscharing tot in of vlakbij de waterkering kunnen leiden, waardoor de standzekerheid in gevaar kan komen.

Het achterland is het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering en is het gebied dat beschermd dient te worden tegen overstroming. Het achterland speelt veelal een rol in bezwijkmechanismen als piping en macrostabiliteit. Daarnaast kan de 'knik' tussen dijkprofiel en achterland een zwakke plek zijn in geval van golfoverslag.

De overgang tussen een kering en het voorland of achterland behoeft veelal speciale aandacht. Vaak is hier, in het geval van een voorland ook een teenconstructie (dijken en dammen) of een duinvoetverdediging (duinen) toegepast.

#### 2.4.7 Overgang tussen twee verschillende keringtypes = aansluiting

In de VTV2006 wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen de keringtypes: 'Hoge grond', 'Dijken en dammen', 'Duin', en 'waterkerend kunstwerk' welke in voorgaande paragrafen kort zijn behandeld. De samenhang tussen deze keringtypes zoals beschreven in de VTV2006 is weergegeven in Tabel 2.4. Aansluitingsconstructies zijn in de VTV gedefinieerd als een overgang tussen twee van de genoemde keringtypes. In de VTV is de term 'aansluiting' niet gedefinieerd. In dit document worden de volgende definities gehanteerd:

- Een aansluiting is gedefinieerd als een overgang tussen de genoemde keringtypes.
- Een aansluitingsconstructie is een constructie met als primair doel om de aansluiting te kunnen realiseren binnen de gestelde randvoorwaarden (bijvoorbeeld stabiel maken of onderhoud eenvoudiger te houden).

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat een overgang tussen niet waterkerende objecten (NWO's) en een keringtype niet onder de in de VTV2006 gehanteerde definitie van aansluitingsconstructies vallen. Deze worden in VTV2006 separaat behandeld.

Een overzicht van mogelijke aansluitingen is weergegeven in Tabel 2.3. Hier valt te zien dat er in theorie (4 x 4 =) zestien verschillende types aansluitingen mogelijk zijn. Echter vanwege dubbelingen blijven er in de praktijk zes types aansluitingen over.

Tabel 2.3 Overzicht mogelijke aansluitingen. In grijs aangeven combinaties worden niet behandeld in dit rapport vanwege 'dubbelingen' (Du-Dij is hetzelfde als Dij-Du), aansluiting op hetzelfde keringtype (Dij-Dij is geen aansluiting) of omdat deze buiten het kader van dit project vallen (waterkerende kunstwerken).

<b>Van / naar</b>	<b>Hoge gronden</b>	<b>Dammen / dijken</b>	<b>Duinen</b>	<b>Waterkerende kunstwerken</b>
<b>Hoge gronden</b>	HG-HG	HG-Dij	HG-Du	HG-WK
<b>Dammen en dijken</b>	Dij-HG	Dij- Dij	Dij- Du	Dij- WK
<b>Duinen</b>	Du- HG	Du- Dij	Du- Du	Du- WK
<b>Waterkerende kunstwerken</b>	WK- HG	WK- Dij	WK- Du	WK- WK

Tabel 2.4 is overgenomen uit de VTV2006 en geeft een overzicht van de verschillende types aansluitingen en aansluitingsconstructies en waar deze in de VTV2006 worden behandeld.

Tabel 2.4 Beoordeling van de aansluitingsconstructies (bron: VTV 2006, Katern 2, H4)

<b>De aansluiting van... op ...</b>		<b>Wordt behandeld in VTV2006</b>	<b>Bij toetsspoor</b>
Hoge grond	Primaire waterkeringen	Katern 5, Hs. 6	HAP
Duinen	Dijken en dammen	Katern 6, Par. 4.3	DA
kunstwerken	grondlichamen	Katern 7, Par. 4.2.2	STCG



Na een korte analyse van de VTV2006 blijkt dat dit echter geen compleet overzicht is. Om deze reden is een alternatieve tabel opgesteld en weergegeven als Tabel 2.5. Een overzicht van de overgangen tussen NWO's en andere keringtypes is weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.5 Alternatief overzicht aansluitingen en aansluitingsconstructies VTV2006 (gegeven nummers geven locaties in VTV2006 weer).

	<b>Hoge gronden</b>	<b>Dammen / dijken</b>	<b>Duinen*</b>	<b>Waterkerende kunstwerken</b>
<b>Hoge gronden</b>		- 5.6	-	-
<b>Dammen en dijken</b>	- 5.6		- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3	-7.4.2.2
<b>Duinen*</b>	-	- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3		- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3
<b>Waterkerende kunstwerken</b>	-	-7.4.2.2	- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3	

\* In de VTV wordt er binnen de categorie Duinen het onderwerp 'aansluitingsconstructies' generiek behandeld. Dit komt in de praktijk neer op aansluiting dijk-duin en aansluiting duin-kunstwerk.

## 2.5 Indeling gebaseerd op de geometrie van de overgang

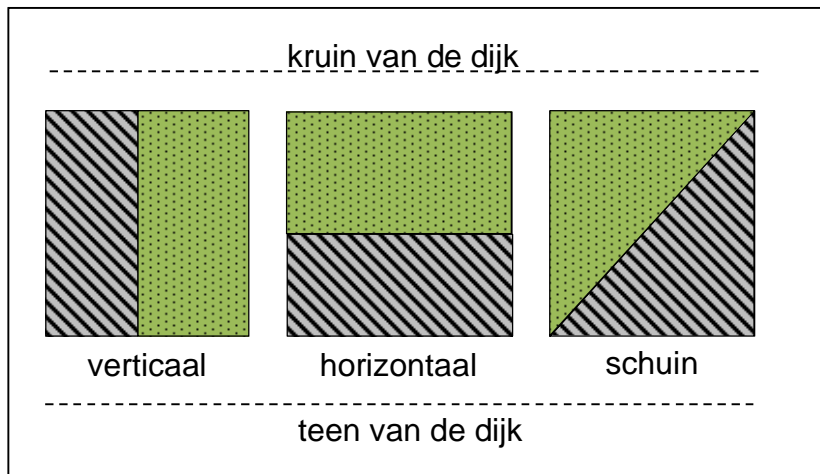
Een indeling op basis van de geometrie van de overgang kan worden gemaakt op basis van:

- Oriëntatie
- Hoogteverschil
- Knik in profiel

Deze worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

### 2.5.1 Geometrie - Oriëntatie

De overgang kan op verschillende manieren zijn georiënteerd. Geschematiseerd kan dit worden teruggebracht tot drie basisprincipes: verticaal, horizontaal of schuin. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.2.

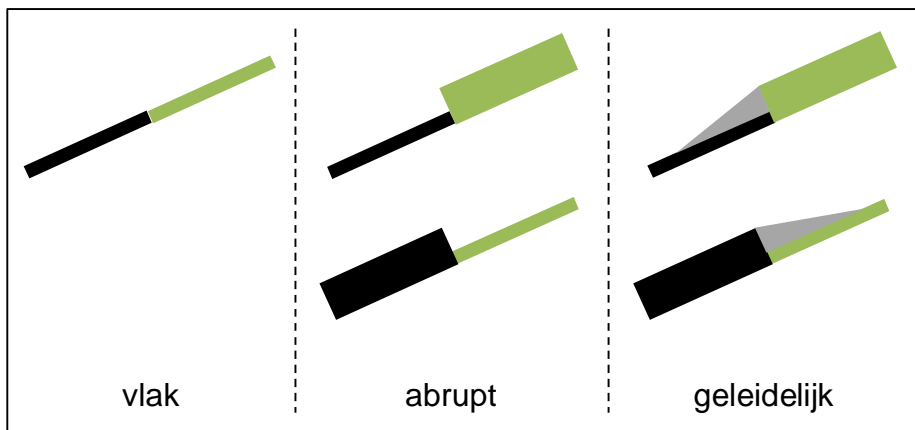


Figuur 2.2 Indeling overgangen op basis van oriëntatie overgang (bovenaanzicht)

## 2.5.2 Geometrie - Hoogteverschil aan weerszijden van de overgang

De overgang kan worden gecategoriseerd op basis van het hoogteverschil aan weerszijden van de overgang. Geschematiseerd kan dit worden teruggebracht tot vijf verschillende categorieën, welke tevens zijn weergegeven in Figuur 2.3.

- Vlak ('geen hoogteverschil')
- Abrupt (hogere bekleding zit onder, lagere bekleding zit boven)
- Abrupt (lagere bekleding zit onder, hogere bekleding zit boven)
- Geleidelijk (hogere bekleding zit onder, lagere bekleding zit boven)
- Geleidelijk (lagere bekleding zit onder, hogere bekleding zit boven)

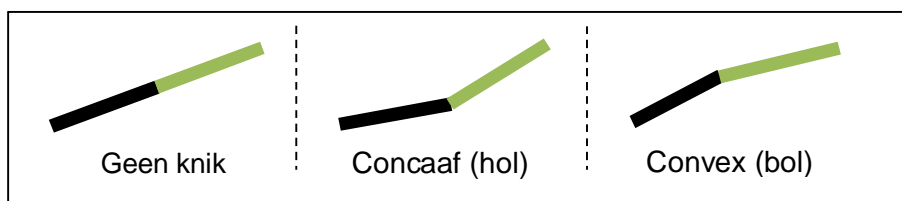


Figuur 2.3 Indeling op basis van hoogteverschil bij overgang (illustraties bij horizontale overgang)

## 2.5.3 Geometrie - Knikken

De overgang kan gecategoriseerd worden naar het type knik dat hier plaatsvindt. In een schematisatie kan dit worden teruggebracht naar drie categorieën, welke zijn weergegeven in Figuur 2.4.

- Geen knik
- Concaaf (hol)
- Convex (bol)



Figuur 2.4 Indeling overgangen op basis van 'knikken' (dwarsdoorsnede)

## 2.6 Indeling gebaseerd op fysica

### 2.6.1 Algemeen

Een overgang levert doorgaans een potentiële zwakke plek op in een waterkering wat mogelijk kan leiden tot een lagere stabiliteit. Wanneer dit vanuit de fysica wordt beschouwd dan zijn er in essentie twee parameters: de sterkte en de belasting. Een overgang kan op zowel de sterkte als de belasting invloed uitoefenen. Dit is schematisch weergegeven in Tabel 2.6 en wordt verder uitgewerkt in Paragraaf 5.1.

Tabel 2.6 Indeling op basis van fysica (invloed van overgang op de stabiliteit van de waterkering)

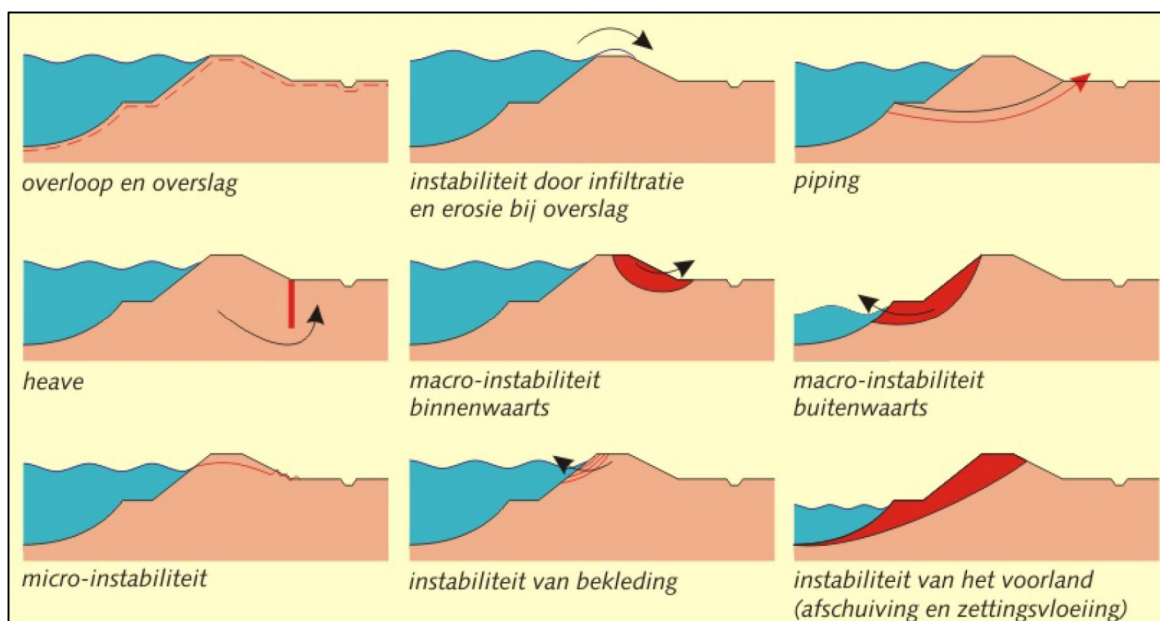
	<b>Geen invloed sterkte (R)</b>	<b>Wel invloed sterkte (R)</b>
<b>Geen invloed belasting (S)</b>	Categorie 1	Categorie 2
<b>Wel invloed belasting (S)</b>	Categorie 3	Categorie 4

Het hierboven gegeven overzicht geeft alleen de invloed aan op de stabiliteit van de waterkering als geheel. Er kan echter ook onderscheid worden gemaakt in de volgende twee aspecten:

- De overgang zelf heeft een lagere stabiliteit dan de elementen aan weerszijden van de overgang.
- De overgang heeft een invloed op de stabiliteit van de aansluitende elementen. Dit is conform Paragraaf 2.1 gedefinieerd als de invloedzone van de overgang

### 2.6.2 Faalmechanismen

Om de aanpak zoals weergegeven in vorige paragraaf uit te kunnen voeren dienen de verschillende faalmechanismen in kaart te worden gebracht. Dit is per keringtype verschillend en het voert te ver om deze in het kader van dit rapport allen te benoemen. Als voorbeeld wordt in Figuur 2.5 een overzicht gegeven van de faalmechanismen voor het keringtype 'dijken en dammen'.



Figuur 2.5 Faalmechanismen dijken en dammen (bron: MinV&W, 2007)

Met betrekking tot overgangen is voornamelijk het faalmechanisme ‘overslag’ en ‘instabiliteit van bekledingen’ van belang.

Er wordt benadrukt dat de hierboven genoemde faalmechanismen gebaseerd zijn op hydraulische belastingen. Echter, ook andere belastingen zoals directe windbelasting op de overgang, ijs, verkeer, schepen en drijvende voorwerpen, aardbevingen en aardshokken kunnen van belang zijn.

Een faalmechanisme beschrijft veelal het falen van een onderdeel van een waterkering maar niet noodzakelijkerwijs het falen van de waterkering als geheel. In FloodProBE (2013) wordt gesuggereerd om uit te gaan van scenario's. Binnen een scenario zijn verschillende faalmechanismen mogelijk die elkaar beïnvloeden en uiteindelijk leiden tot een dijkdoorbraak. Een dergelijke analyse wordt tevens in Nederland uitgevoerd in het reststerkte project binnen het project WTI 2017, Cluster bekledingen

## 2.7 Indeling gebaseerd op locatie op de kering

Binnen de indeling gebaseerd op faalmechanismen kan er een sub-indeling worden gemaakt gebaseerd op de locatie van de kering. In het geval van dijken en dammen worden de volgende locaties gedefinieerd:

- Voorland
- Teen van de dijk aan buitenzijde
- Buitentalud
  - o Golfimpactzone
  - o Golfoploop en golfneerloop zone
  - o Langstromingszone
- Kruin
- Binnentalud
- Teen van de dijk aan binnenzijde van de dijk
- Achterland

Strikt genomen kunnen de overgangen tussen bovengenoemde locaties ook als een locatie worden beschouwd.

## **2.8 Indeling gebaseerd op beheer en inspectie**

Indien er een indeling wordt gemaakt op basis van het beheer en inspectie wordt de volgende indeling voorgesteld:

- De overgang is zichtbaar en toegankelijk
- De overgang is (deels) niet zichtbaar of niet toegankelijk

## **2.9 Synthese**

In eerdere paragrafen is een indeling van het type overgang gemaakt op basis van het keringtype, geometrie, fysica, faalmechanisme, locatie op de kering en beheer en inspectie.

Bovenstaande indeling is zuiver theoretisch. In de praktijk kunnen er nog tientallen subcategorieën worden gedefinieerd waardoor het aantal categorieën nog vele malen groter kan worden. (voorbeeld: bij een horizontale overgang van steenzetting naar steenzetting zijn er in de huidige toets systematiek zes verschillende (geschematiseerde) types overgangen toepasbaar).

Indien bovenstaande indeling als uitgangspunt wordt genomen, dan zijn er in theorie honderdduizenden combinaties van overgangen en oplossingsrichtingen denkbaar. Het zal voor zich spreken dat er in de praktijk vele combinaties niet voorkomen waardoor het werkelijke aantal veel kleiner zal liggen. Aan de andere kant zullen er wellicht meer combinaties mogelijk zijn wanneer men een bepaalde categorie verder beschouwd.

Het is ondoenlijk om voor iedere mogelijke combinatie oplossingsrichtingen aan te dragen. Om deze reden is het noodzakelijk om gericht te zoeken naar overgangen die in de Nederlandse situatie veel voor komt. Dit is het onderwerp van het volgende hoofdstuk.



## 3 Inventarisatie overgangen

### 3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat er zeer veel overgangsconstructies en oplossingsrichtingen denkbaar zijn. Het is niet mogelijk om al deze combinaties te beschouwen. Daarom is het noodzakelijk om te identificeren welk type overgangen en overgangsconstructies voor de Nederlandse situatie relevant zijn. Om dit te inventariseren wordt de Nederlandse situatie beschouwd (rapportage 3<sup>e</sup> toetsronde (Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2011) en inventarisatiestudie (Calle en van der Meer, 2012)) maar ook ervaringen in het buitenland worden beschouwd (ervaring met calamiteiten en onderzoeksprojecten).

### 3.2 Veelvoorkomende overgangen in Nederland

#### 3.2.1 Derde toets primaire waterkeringen, Landelijke toets 2006-2011

Periodiek toetsen de waterkering beheerders van primaire waterkeringen of de dijken, dammen, duinen en waterkerende kunstwerken voldoen aan de wettelijke normen voor de veiligheid. Dit toetsen kan tot drie oordelen leiden:

- De waterkering voldoet aan de norm
- De waterkering voldoet niet aan de norm
- Er is nader onderzoek nodig om tot een oordeel te komen

Om een landelijk beeld op te stellen zijn er formats opgesteld waarop de toetsing gerapporteerd dient te worden. Tevens is er een database (Toetsrap) beschikbaar gekomen. Op basis van Toetsrap is een landelijk beeld gerapporteerd. (Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2011). Kort samengevat is in het genoemde document het volgende geconcludeerd:

Dijken en duinen: Van 3.767 kilometer dijken en duinen die in de Waterwet zijn aangemerkt als primaire waterkering voldoet 2.308 kilometer (61%) aan de voorgeschreven veiligheidsnorm. 1.225 kilometer (33%) voldoet daar niet aan. Voor 234 kilometer (6%) is het noodzakelijk om nader onderzoek uit te voeren om te bepalen of deze wel of niet aan de norm voldoen.

Waterkerende kunstwerken: Van 1458 kunstwerken voldoen er 748 (51%), 335 (23 %) kunstwerken voldoen niet aan de voorgeschreven veiligheidsnorm. Voor 375 (26 %) kunstwerken geldt dat er nader onderzoek nodig is om te bepalen of deze wel of niet aan de norm voldoen.

In de rapportage (IVW, 2011) zijn overgangen niet als zodanig getoetst. Ook zijn deze niet als zodanig opgenomen in Toetsrap. Op basis van deze rapportage kan dus niet worden aangegeven in hoeverre overgangen een (potentieel) probleem vormen.

De waterkering beheerders kwamen in 2009 tot de conclusie dat het instrument voor het toetsen van niet waterkerende objecten, zoals huizen en bomen, door de grote aantallen niet werkbaar was. Zo waren er bij het Waterschap Rivierenland meer dan 100.000 niet waterkerende objecten aanwezig. Om deze reden zijn er Vuistregels (Provincie Zuid-Holland,

2009) opgesteld die als hulpmiddel kunnen dienen bij het opstellen van beheerdersoordelen voor niet waterkerende objecten.

### 3.2.2 Expert raadpleging overgangen

In 2011/2012 heeft een studie (Calle en v.d. Meer, 2012) plaatsgevonden naar faalmechanismen bij overgangen en overgangsconstructies in primaire waterkeringen. Deze studie bestond uit een raadpleging van experts uit de waterkering sector. Het doel hiervan was het vaststellen van onderwerpen en prioriteiten voor nader onderzoek aan overgangen en overgangsconstructies in de komende jaren. Bij deze raadpleging waren de volgende deskundigen uitgenodigd:

- Wim Kanning (TU Delft)
- Jentsje van der Meer (Van der Meer Consulting)
- Kristian Pilarczyk (RWS DWW, gepensioneerd)
- Yvo Provoost (Projectbureau Zeeweringen)
- Henk-Jan Verhagen (TU Delft)
- Hessel Voortman (Arcadis)
- Arie Vrijburgt (RWS DI, gepensioneerd)
- Joop Weijers (RWS WD)
- Dick de Wilde (RWS DI)
- Marien Boers (Deltares, SBW projectleider 'Duinen')
- Mark Klein Breteler (Deltares; SBW projectleider, 'Reststerkte')
- Petar Lubking (Deltares; SBW projectleider 'Kunstwerken')

Verder waren de volgende personen aanwezig:

- Bianca Hardeman (RWS Waterdienst)
- Martin van der Meer (Fugro)
- Rens van den Berg (Deltares)
- Ed Calle (Deltares)
- Andre van Hoven (Deltares)

De bijeenkomst had twee doelen:

- 1 Het globaal in kaart brengen van het probleemveld (belangrijkste types identificeren)
- 2 Het inventariseren van de bestaande inzichten (fysica, kennis en kennisleemten bij opstellen van toetscriteria).

Er dient opgemerkt te worden dat het onderwerp in het genoemde project breder was dan de afbakening in het onderhavige rapport. In Calle en v.d. Meer (2012) behoorden kunstwerken en NWO's tevens tot het kader.

De tien belangrijkste geïdentificeerde overgangen in de bijeenkomst waren de volgende (overgenomen uit Calle en v.d. Meer (2012), volgorde op basis van aflopende score):

#### 1. Aansluiting kunstwerk / grond i.v.m. achterloopsheid

Overgang kunstwerk naar naastliggende dijk bezwijkt doordat achterloopsheidscherm te kort is of aanvulling bouwkuip slecht uitgevoerd, waardoor erosie en bezwijken optreedt. Strikt genomen is de oorzaak in dit geval de invloed van een kunstwerk op de naastliggende dijk en niet zozeer de overgang zelf waardoor dit onderwerp buiten het kader van onderhavig rapport valt.



## 2. Aansluiting gras op dijkmeubilair

Niet waterkerende objecten in grasbekledingen zijn zwakke punten in een grasbekleding. Stromingsconcentratie bij golfoploop en golfoverslag leidt tot eerste schade met doorbraak als gevolg. Denk aan trappen, dijkpalen, groot meubilair, etc.

## 3. Aansluiting gras op niet waterkerende objecten (NWO)

Dit type overgang komt grotendeels overeen met type 2 (Aansluiting gras op dijkmeubilair). Aansluiting dijk/kunstwerk of ander star object (NWO): lokale stromingsconcentraties

- Aansluiting dijk/kunstwerk of ander star object (NWO): verlies van aansluiting door zettingsverschillen.
- Overgang rond NWO's.
- Aansluiting betonnen/stalen wand op dijk waarbij het harde element hoger is dan de dijk.

## 4. Dijk duin grondlichaam + harde bekleding

Overgang van dijken (grondlichaam + harde bekleding) naar een dynamische loskorrelige verdediging (met name duin).

- Aansluitingen tussen duin en dijk.
- Overgangen dijk/duin. Duinafslag "achter de dijk langs" door te lage of te korte aansluiting met doorbraak als gevolg.
- Overgang van harde elementen (betonconstructies) op een loskorrelige verdediging (met name duin).

## 5. Aansluiting gras / steenzetting

Overgang van steenzetting naar gras. Daarbij is een belangrijke vraag op welk niveau deze overgang moet liggen, en eventueel met welke materialen deze overgang is te maken (is gebruik van doorgroeistenen een optie). Tevens, is verdichten van de klei langs de overgang mogelijk?

- Aansluitingen van vegetaties (gras) op harde dijkbekleding.

## 6. Verticale wand

Verticale elementen in dijkkruien (damwanden, bijv. Petten, of Muralt -muren): lokaal sterke aanval door verticaal opspatten en terugvallen van watermassa's voor en achter de constructie. Lokaal bezwijken van rondom het element liggende bekleding en aangrijpingspunt voor uitbreiding van schade.

## 7. Geometrische overgang (knikken in dijktafuds etc.)

Overgangen in het dwarsprofiel van de dijk: veranderingen van profiel, eventueel in combinatie met wijzigingen van bekleding. Lokaal hogere belastingen/waterdrukken. Lokaal verminderde klemming waardoor stabiliteit van individuele elementen in een gezette steenbekleding is verminderd. Een overgang in een grasbekleding (berm naar boventafud, binnentalud naar binnenberm of binnentalud naar horizontaal maaiveld) leidt bij golfoploop en/of -overslag tot de eerste schade die tot doorbraak kan leiden.

## 8. Ontgronding bodem bij dijken/langsconstructies (door stroming)

Overgang van de constructie naar de ondergrond (dus bij de buitenteen), proces is ongecontroleerde ontgronding.

## 9. Aansluiting damwand / steenzetting

Horizontale overgangsconstructies: aansluiting gezette bekleding op damwandconstructies als onderdeel van kering, zowel op het buiten- als op het binnentalud.

#### 10. (Stuif)zand op grastalud nabij overgang dijk /duin

Aansluiting dijk/duin: slechte kwaliteit grasmat door overwaaiend zand. Daardoor grasbekleding op buitentalud, kruin en binnentalud niet voldoende sterk en potentiële breslocatie.

In het genoemde rapport wordt geconcludeerd dat er voor gewaakt dient te worden dat overgangen niet worden onderschat en derhalve specifieke aandacht nodig hebben. Hierbij is specifieke aandacht tijdens bouw, levensduur, controle en toetsing van belang. Aanbevolen wordt om in de toetsing meer aandacht te geven aan de vraag of er adequate inspecties en bijbehorende reparaties zijn. Uit de studie komt niet eenduidig naar voren of (het gebrek aan kennis van) overgangen leiden tot een potentieel 'veiligheidsprobleem' (doorbraak). In het rapport wordt aanbevolen om de kennisleemten zoveel mogelijk op te pakken binnen de verschillende SBW projecten (voor een beschrijving van SBW wordt verwezen naar [www.rijkswaterstaat.nl](http://www.rijkswaterstaat.nl)). Om deze reden wordt in het rapport opgemerkt dat een apart deelproject 'Overgangen' binnen het onderzoek daarom ook niet nodig zou zijn maar dat dit wel een duidelijk herkenbare plek dient te hebben zodat (1) het onderwerp voldoende aandacht krijgt en (2) gemeenschappelijke zaken opgepakt kunnen worden.

### **3.3 Ervaringen in het buitenland**

Calamiteiten in het buitenland geven mogelijk inzicht in het belang van overgangen. In Pijpers (2013) is een overzicht gegeven van overstromingen in Thailand, Frankrijk en New Orleans in relatie tot overgangsconstructies. Deze, en een verslag van een bezoek aan Duitsland in 2013, worden hieronder kort samengevat.

#### *New Orleans, 2005*

In 2005 is New Orleans grotendeels overstroomd als gevolg van de orkaan Katrina. Dit leidde tot meer dan 1800 slachtoffers (als gevolg van orkaan Katrina, slachtoffers buiten New Orleans meegerekend) en een schade van meer dan 81 miljard dollar (Pijpers (2013)). Bij deze ramp vonden verschillende dijkdoorbraken plaats als gevolg van ontoereikend aangelegde overgangen. Een aantal hiervan zijn hieronder weergegeven.



Figuur 3.1 Erosie bij overgang van betonnen rand naar dijk (foto: Rune Storesund, bron: Pijpers, 2013)



Figuur 3.2 Erosie bij aansluiting kunstwerk en dijk (foto: Les Harder, bron: Pijpers,2013)



Figuur 3.3 Erosie bij aansluiting kunstwerk en dijk (foto: Les Harder, bron: Pijpers,2013)

### Frankrijk, 2010

De storm Xynthia leidde in 2010 in Noord Frankrijk tot beschadigingen aan een aantal dijken maar niet tot een complete dijkdoorbraak. Het bleek dat vooral schade was opgetreden bij de overgang van harde naar zachte constructies.



Figuur 3.4 schade bij de overgang van een asfaltweg en een dijk (Kolen et al. 2010, bron: Pijpers 2013)

### Thailand, 2011

In 2011 zijn grote delen van Thailand overstromd. Dit leidde tot meer dan 800 doden en meer dan 45 miljard dollar schade (ENW, 2012). Een ENW commissie heeft dit gebied bezocht en gerapporteerd in ENW (2012). Het doel van dit bezoek was om data te

verzamelen, faalmechanismen te identificeren en de opgedane kennis in te zetten in Nederland. Uit deze studie blijkt met betrekking tot overgangen het volgende:

- Aansluitingen tussen kunstwerken en dijken bleken veelal te bezwijken.
- Aansluitingen tussen dijken met andere dijken loodrecht op de dijk leidde tot een verhoging van de belasting (concentratie van stromend water).

### *Duitsland (2013)*

In juni 2013 overstromden enkele rivieren in centraal Europa wat leidde tot aanzienlijke schade en overlast in enkele Europese landen waaronder Duitsland. In juli 2013 is er een excursie georganiseerd die enkele locaties in Duitsland bezochten. Het doel van deze excursie was om de overstromingen te beschouwen waarbij de nadruk lag op de dijkdoorbraken en mitigerende maatregelen. Dit bezoek is gerapporteerd in een Powerpoint presentatie (Jonkman et al, 2013). Hierin staat onder andere de foto die is weergegeven in Figuur 3.5. Hier valt duidelijk te zien dat de overgang van gras naar een brugpijler een zwakke plek bleek te zijn. Overigens lijkt dit, afgaande op de foto, niet te hebben geleid tot een veiligheidsprobleem of grote schade.



*Figuur 3.5 Erosie bij Marienbrücke, Dresden Duitsland (bron: Jonkman et al, 2013)*

### **3.4 Ontwerp, uitvoering, gebruik en beheer, toetsing**

Indien een overgang niet voldoet kunnen hier verschillende oorzaken aan ten grondslag liggen. Generiek kunnen deze oorzaken worden ingedeeld in:

- Ontwerp
- Uitvoering
- Gebruik en beheer
- Toetsing

Voor een goed ontwerp is het noodzakelijk dat een ontwerper alle mogelijke (faal)mechanismen die bij een overgang tijdens de planperiode kunnen voorkomen in ogenschouw neemt. De kwaliteit van de uitvoering (bouw) is van belang zodat de bekleding

en de overgang worden gebouwd zoals dit door de ontwerper is bedoeld. Controle tijdens en na de bouw is hierbij essentieel. Het gebruik en het beheer bepalen de kwaliteit van de bekleding en de kwaliteit van de overgang tijdens de planperiode. Een goed beheerplan en controle op de naleving hiervan is essentieel. Toetsing is essentieel om te bepalen of de bekleding en de overgang nog voldoen aan de gestelde (hydraulische) randvoorwaarden. Een belangrijke voorwaarde om de toetsing uit te kunnen voeren is een goede inspecteerbaarheid (onder andere toegankelijkheid en zichtbaarheid) van de bekleding en de overgang.



## 4 Huidige kennisbasis overgangen

### 4.1 Kennisbasis in Nederland

In Nederland is veel onderzoek gedaan naar de stabiliteit van primaire waterkeringen. Hierbij zijn de onderzoeken vaak geordend naar het type kering (duin, dijk, kunstwerk) of bekleding (gras, asfalt, steenzetting of overig) en de kennisbasis ligt dan ook verankerd in de bijbehorende vigerende ENW/TAW leidraden, handreikingen en technische rapporten. Aanvullend hierop wordt een globaal overzicht gegeven van recent onderzoek naar overgangen bij gras, steenzettingen en asfalt.

#### 4.1.1 Overgang naar gras

Een aantal praktische overgangen met grasbekledingen is weergegeven in TAW (1992). Ook worden overgangen met grasbekledingen behandeld in Rijkswaterstaat (2012) en Rijkswaterstaat (2013e). Rijkswaterstaat (2012) is een handreiking hoe men om dient te gaan met grasbekledingen in het beheerdersoordeel van de verlengde derde toetsronde. Dit rapport is vrijwel identiek aan Rijkswaterstaat (2013e) wat wordt uitgebracht als een Technisch Rapport. In beide rapporten worden aspecten als vegetatie eigenschappen, beschrijving grond, beheer, aanleg en verbetering, hydraulische belasting, faalmechanismen, modellen, een handreiking voor het beoordelen van een grasbekleding en niet waterkerende objecten en discontinuïteiten beschreven. Wat opvalt in deze rapporten is dat niet waterkerende objecten en discontinuïteiten worden gecategoriseerd in:

- Stromingsconcentraties langs objecten
- Stroming langs niet goed beheerbare delen
- Overgangen / discontinuïteiten

De overgang van grasbekledingen naar niet waterkerende objecten worden behandeld in Provincie Zuid Holland (2009). Dit rapport geeft vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet waterkerende objecten. Overigens is dit rapport niet door de ENW geaccordeerd.

Recentelijk is veel onderzoek uitgevoerd naar grasbekledingen binnen WTI 2017 Cluster bekledingen. Hiervoor is in 2012 gebruik gemaakt van een golfklapgenerator ten behoeve van de stabiliteit van gras onder golfaanval (impacts). Er zijn onder andere testen uitgevoerd op horizontale overgangen (asfaltweg en doorgroeienden), schuine overgangen (beton), verticale overgangen (betonnen trap) en een paal. Een indruk van een aantal van deze testen is weergegeven in Figuur 4.1 en Figuur 4.2.



Figuur 4.1 Impressie van testen met de golfklapgenerator



Figuur 4.2 Proefvakken na het testen met de golfklapgenerator. Links: trap in het dijktalud, rechts: horizontale overgang met doorgroeistenen (bron: Deltares, 2013)

Om de hydraulische belasting op het binnentalud te simuleren is gebruik gemaakt van een golfoverslagsimulator. Met de golfoverslagsimulator is onder andere getest op een overgang van doorgroeistenen naar gras, een boom, een betonnen trap en een betonnen muur. Een indruk is weergegeven in Figuur 4.3 en Figuur 4.4.



Figuur 4.3 Links: test met golfoverslagsimulator op de overgang van gras naar een betonnen muur (bron: Pijpers, 2013). Rechts: resultaat na een test op een overgang naar asfalt (Bron Rijkswaterstaat, 2012)





Figuur 4.4 Situatie na het testen met de golfoverslagsimulator. Links: boom in grastalud (bron: Pijpers, 2013), rechts: overgang van gras naar trap (bron: Rijkswaterstaat, 2012)

#### 4.1.2 Overgang naar steenzetting

Veel praktische voorbeelden van overgangen met steenzettingen zijn gegeven in TAW (1992). Achtergrondinformatie met betrekking tot overgangen bij steenzettingen is gegeven in Rijkswaterstaat (2013b).

Een overgang bij steenzettingen zijn in 2010 getest in de Deltagoot van Deltares. In de Deltagoot was een starre overgangsconstructie aangebracht over een deel van de breedte van de goot. Hierdoor was er een linkerdeel zonder overgangsconstructie, dat als referentie kon dienen, en een rechterdeel waar de invloed van de overgang kon worden vastgesteld. De steenzetting bestond uit 20 cm dikke Basalton op een filterlaag van 10 cm. De overgang zorgde voor een waterdichte afsluiting van het filter en bovendien was er een open spleet tussen de overgangsconstructie en de daaronder gelegen Basalton. Een impressie is gegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Impressie van proefopstelling in Deltagoot met horizontale overgang (bron: Deltares, 2009)

Door de kunstmatig aangebrachte spleet was het mogelijk het effect van de verminderde sterkte door de verminderde normaalkracht vast te stellen. (uitspoelen van het filter was kunstmatig voorkomen door het toepassen van een gaasje). De bekleding was uitgevoerd met een groot aantal drukopnemers om de invloed van de overgangsconstructie te kunnen meten. Tegen de verwachting in bleek de invloed van de overgangsconstructie op de stabiliteit van de steenzetting klein te zijn.

#### 4.1.3 Overgang naar asfalt

Voor zover bekend zijn er geen onderzoeken bekend naar de stabiliteit van asfalt nabij een overgang. Overgangen met asfaltbekledingen worden behandeld in Rijkswaterstaat (2013c). Hier worden generieke aanbevelingen gegeven met betrekking tot ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud en toetsing/ Voor sommige overgangen wordt specifiek ingegaan op hoe deze uitgevoerd kan worden (ondersteund met illustraties).

Wat opvalt, is dat de overgang van asfalt naar asfalt ook specifieke aandacht krijgt (veelal zijn deze nodig vanwege het productieproces waardoor overgangen ontstaan).

#### 4.1.4 Overgang naar losgestorte materialen

Overgangen (veelal bermen) met losgestorte materialen worden behandeld in Rijkswaterstaat (2013d) en CIRIA, CUR, CETMEF (2007). Wat hierin opvalt, is dat overgangen niet als term wordt gehanteerd en in deze context dan ook niet wordt behandeld. Wel worden ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud en toetsing bermen, tenen en kruinmuren behandeld.

#### 4.1.5 Overgang naar overige type bekledingen

Overgangen worden in generieke zin behandeld in Rijkswaterstaat (2013a). Dit rapport gaat niet diep in op het aspect overgangen. Wel benadert het bekledingen op relatief abstracte manier wat een goede handreiking kan zijn met betrekking tot het ontwerp, uitvoering, beheer en toetsing van overgangen. Het rapport gaat onder andere in op eisen en wensen die (kunnen) worden gesteld aan bekledingen (wettelijke bepalingen, milieu hygiënische aspecten, secundaire eisen zoals verkeer, recreatie, etc.).

## 4.2 Kennisbasis internationaal: Europees onderzoek, FloodProBE

FloodProBE is een Europees onderzoeksproject met als doel om kosteneffectieve oplossingen aan te dragen om overstromingsrisico's in stedelijke omgeving te verminderen.

Dit project wordt uitgevoerd in het 7<sup>e</sup> 'Framework Programme' van de Europese Unie. FloodProBE bestaat uit een viertal zogenaamde Work Packages (WP's). Binnen WP3 (Reliability of Urban Flood Defences) is een onderzoekslijn die zich richt op overgangen. Dit is gerapporteerd in Hoofdstuk 3 van FloodProBE (2012). In FloodProBE (2012) is tevens een categorisering toegepast die in grote lijnen lijkt op de categorisering zoals weergegeven in Hoofdstuk 2 van het voorliggende rapport. Een kopie van deze categorisering is opgenomen in Bijlage B.

FloodProBE is in het najaar van 2013 afgerond. Binnen het FloodProBE consortium worden de mogelijkheden verkend voor toekomstig onderzoek. Mogelijkerwijs worden hier ook overgangen in meegenomen.

In FloodProBE (2013) zijn een aantal aanbevelingen gegeven die hieronder samenvattend zijn overgenomen (voor een verdere uitwerking van deze aanbevelingen wordt verwezen naar het desbetreffende rapport):

#### Algemeen

1. Overgangen introduceren veelal een risico en dienen derhalve zoveel mogelijk te worden voorkomen. Indien dit niet mogelijk is, dienen de relevante faalmechanismen en risico's gerelateerd aan de overgang vastgesteld te worden.

#### Beheer

2. Om overgangen goed te kunnen beheren is het noodzakelijk om deze als zodanig te identificeren alsmede de bijbehorende problemen die deze kunnen veroorzaken. Om deze reden dienen overgangen vastgelegd te worden in beheer databases. Op deze manier kunnen deze formeel worden opgeslagen, geïnspecteerd en beheerd.
3. Indien overgangen formeel worden opgeslagen, geïnspecteerd en beheerd, dan is het noodzakelijk dat er richtlijnen komen voor visuele / routinematige inspectie.

#### Overstromingsrisico analyse

4. Aangezien risico's als gevolg van de aanwezigheid van overgangen de betrouwbaarheid van een waterkering beïnvloeden, dienen deze risico's in rekening te worden gebracht bij een risicoanalyse van een kering. Voor zover bekend is dit in de Nederlandse situatie (VNK) niet het geval.
5. De bijdrage van overgangen aan het overstromingsrisico dient (binnen systeemrisico analyse) als volgt toegepast te worden:
  - (1) directe bepaling en analyse van overgangen als specifiek element binnen het model, of
  - (2) aanpassing van het gedrag van het element waarop de overgang invloed heeft.

Bij aanbeveling 5 is een duidelijke analogie waarneembaar met de definities van de termen 'overgang' en 'invloedszone van de overgang' zoals beschreven in Paragraaf 2.1 van dit rapport.

#### Kennisleemtes

6. Onderzoek is nodig om vanuit een specifieke indeling van overgangen kennis op te bouwen en te laten zien hoe verschillende geofysische technieken (FloodProBE Task 3.2) gebruikt kunnen worden om de omvang en locatie van specifieke overgangen te bepalen.

7. De verschillende mechanismen van interne erosie zijn vaak een factor voor faalprocessen bij overgangen; om deze reden is een goed begrip van deze processen noodzakelijk.
8. Ontwikkel een model voor faalprocessen voor de relevante overgangen. Ontwikkel vanuit dit model zogenaamde fragility curves voor elke overgang en/of voorschriften hoe bestaande grenstoestanden en fragility curves van constructies aangepast dienen te worden.

Bij aanbeveling 8 is een duidelijke analogie waarneembaar met de reststerkte filosofie. (WTI onderdeel reststerkte binnen het Cluster Bekledingen)

9. Neem overgangen op in overstromingsrisico modellen en methoden.

#### Verbeter ontwerp, aanleg en management processen

10. Voortbordurend op aanbeveling 8 en 9; ontwikkeling van een gedetailleerder model van faalmechanismen ter ondersteuning van een risico gebaseerd ontwerp van bestaande en nieuwe types overgangen

De bovenstaande aanbevelingen zijn niet specifiek voor de Nederlandse situatie beschreven maar zijn allen wel toepasbaar. Het is nuttig om de bovenstaande aanbevelingen voor de Nederlandse situatie uit te werken.

## 5 Inventarisatie oplossingsrichtingen

### 5.1 Kwantificeren van de invloed van overgangen

Een overgang is een element in een waterkering welke potentieel kan leiden tot een lagere stabiliteit van de waterkering doordat de belasting toeneemt of de sterkte afneemt. In Paragraaf 2.6 is een indeling op basis van deze fysica gedefinieerd welke in Tabel 5.1 is samengevat.

Tabel 5.1 Indeling op basis van fysica

	<b>Geen invloed sterkte (R)</b>	<b>Wel invloed sterkte (R)</b>
<b>Geen invloed belasting (S)</b>	Categorie 1	Categorie 2
<b>Wel invloed belasting (S)</b>	Categorie 3	Categorie 4

Om de invloed van een overgang te kunnen kwantificeren wordt als uitgangspunt de betrouwbaarheidsfunctie van een waterkering genomen. In generieke vorm is de betrouwbaarheidsfunctie van een waterkering gedefinieerd als:

$$Z = R - S \quad (5.1)$$

Waarin:

Z	=	betrouwbaarheidsfunctie van de waterkering;
R	=	'sterkte' (resistance) of meer algemeen de weerstand tegen falen;
S	=	'belasting' (solicitation) ofwel datgene wat falen bevordert.

In de aanpak zoals gegeven in Tabel 5.1 wordt aangenomen dat als er invloed van de overgang is, deze zowel positief (hogere sterkte of lagere belasting) als negatief kan zijn (lagere sterkte of hogere belasting). Het model zoals hierboven is weergegeven kan ter plaatse van een overgang worden aangepast door een coëfficiënt voor de belasting ( $\alpha_S$ ) en een coëfficiënt voor de sterkte ( $\alpha_R$ ) te plaatsen. Dit is als volgt weergegeven:

$$Z = (\alpha_R R) - (\alpha_S S) \quad (5.2)$$

Waarin:

$\alpha_R$	=	invloedsfactor voor de sterkte als gevolg van overgang
$\alpha_S$	=	invloedsfactor voor de belasting als gevolg van overgang

Een verdere probabilistische uitwerking is gegeven in Bijlage C. Voor onderstaande paragrafen is het voornamelijk van belang dat de stabiliteit groter is (hogere waarde van de betrouwbaarheidsfunctie Z) bij een hogere waarde van  $\alpha_R$  en R en een lagere waarde van  $\alpha_S$  en S.

### 5.2 Generieke oplossingsrichtingen

Overgangen kunnen een lokale zwakke plek in een primaire waterkering veroorzaken. Hier kunnen op verschillende manieren oplossingen voor worden aangedragen. In dit rapport is er voor gekozen om de oplossingsrichtingen als volgt te categoriseren:

- Verlagen van de belasting ( $\alpha_s$  of S)
- Verhogen van de sterkte ( $\alpha_R$  of R)
- Accepteren dat een overgang niet aan de eis van de betrouwbaarheidsfunctie voldoet, falen van de dijk wordt voorkomen door reststerkte.
- Een combinatie van bovenstaande

De bovengenoemde oplossingsrichtingen worden in onderstaande paragrafen toegelicht.

## 5.2.1 Verlagen belasting ( $\alpha_s$ of S)

Een mogelijke oplossingsrichting is het verlagen van de belasting (lagere waarde van de parameter  $\alpha_s$  of S). De belasting van de overgang dient verlaagd te worden tot een niveau dat aantoonbaar aan de eis met betrekking tot de betrouwbaarheidsfunctie wordt voldaan. Er zijn verschillende manieren om de belasting te verlagen:

- Verlagen externe belasting  
De externe belasting kan worden verlaagd. Voorbeeld: een dam voor de dijk, extra ruwheidselementen onder de overgang wat leidt tot een lagere golfoploophoogte of het verhogen van de kruin wat leidt tot een lager golfoverslagdebiet.
- Verplaatsen overgang  
De overgang kan worden verplaatst naar een locatie waar de belasting lager is. Voorbeeld: indien de belasting wordt gevormd door golfoploop dan kan een overgang van steenzetting naar gras hoger op de dijk worden geplaatst. De belasting op de overgang is dan lager. Er wordt overigens aanbevolen om geen overgangen in de zwaarst belaste zone toe te passen.
- Constructieve oplossing  
De geometrie van de overgang kan zodanig worden aangepast dat de belasting lager wordt. Voorbeeld: een overgang waarbij 1 zijde hoger is dan de andere zijde leidt bij golfoploop of golfoverslag veelal tot een concentratie van stroming waardoor er lokaal een hogere belasting optreedt. De geometrie kan zodanig worden aangepast dat deze concentratie van stroming niet meer optreedt.

## 5.2.2 Verhogen sterkte ( $\alpha_R$ of R)

Een mogelijke oplossingsrichting is het versterken van een overgang (verhogen van de waarde van parameter  $\alpha_R$  of R). De sterkte dient verhoogd te worden tot een niveau dat aantoonbaar aan de eis met betrekking tot de betrouwbaarheidsfunctie wordt voldaan. Er zijn verschillende manieren om de sterkte te verhogen:

- Constructieve oplossing  
De overgang kan lokaal worden versterkt.

- Beheer en onderhoud  
Het beheer en onderhoud dienen zodanig te zijn dat de overgang sterk genoeg blijft.

## 5.2.3 Acceptatie $Z < 0$

Een mogelijke oplossingsrichting is het accepteren dat een element niet aan de eis van de betrouwbaarheidsfunctie voldoet. In mathematische vorm wordt dan het volgende gesteld aan de overgang:

$$Z_{\text{overgang}} < 0 \quad (5.3)$$

Er wordt hierbij benadrukt dat de betrouwbaarheidsfunctie van Vergelijking (5.3) alleen van toepassing is op de bekleding of op de overgang. Dit is dus niet dezelfde betrouwbaarheidsfunctie zoals deze is weergegeven in Vergelijking (5.1), welke van toepassing is op de gehele waterkering.

Door Vergelijking (5.3) te accepteren, wordt erkend dat een element (bijvoorbeeld een toplaag van gras) bezwijkt of dat niet kan worden aangetoond dat deze stabiel zal zijn onder ontwerp- of toetscondities. Dit wil echter nog niet zeggen dat de waterkering niet meer haar waterkerende functie kan vervullen. De onderliggende laag (in dit voorbeeld een kleilaag) zal mogelijkerwijs nog een waterkerende functie kunnen vervullen. In dit geval wordt de zogenaamde reststerkte aangesproken. De oplossing ligt dus in het in rekening mogen brengen van een eventuele reststerkte (eventueel in combinatie met het extra aanbrengen van reststerkte). Hierbij wordt opgemerkt dat de definitie van het element (in dit voorbeeld 'toplaag') van belang is zodat expliciet wordt gemaakt welke onderdelen van een constructie tot de toplaag (initiële sterkte) behoren en welke onderdelen daar niet toe behoren (reststerkte). Als vanzelfsprekend dient deze reststerkte aantoonbaar te worden gemaakt. Binnen WT12017 is reststerkte een onderwerp van aandacht binnen het Cluster bekledingen.

### 5.3 Specifieke oplossingsrichtingen gras

#### 5.3.1 Faalmechanismen gras bij een overgang

In Rijkswaterstaat (2013e) zijn verschillende faalmechanismen van gras beschreven. Vrijwel alle genoemde mechanismen komen neer op een specifieke manier van eroderen van het grastalud en onderliggende kleilaag. Dit kan komen door een stromingsbelasting (alle delen van de dijk) of door een golfklapbelasting (buitentalud van de dijk). Een ander mechanisme is het uitspoelen van zand indien het gras direct op een zandlaag groeit. Recentelijk zijn er veel onderzoeken naar de erosie van gras uitgevoerd met behulp van de golfklapgenerator (buitentalud) en de golfoverslagsimulator (binnentalud) naar de stabiliteit van overgangen in grasbekledingen. In sommige gevallen (steile binnentaluds welke zijn geïnfiltreerd door overslaand water) is een afschuiving van de bekleding van het binnentalud mogelijk gebleken.

Faalmechanismen:

- ➔ Erosie van gras (verschillende manieren waarop dit kan gebeuren)
- ➔ Uitspoelen van zand (indien sprake is van een zanddijk)
- ➔ Afschuiving binnentalud

#### 5.3.2 Oplossingsrichting gras: Verlagen van de belasting ( $\alpha_s$ of S)

- Verlagen externe belasting
  - Categorie 'locatie – binnentalud' (zie Paragraaf 2.7): indien de kruin wordt verhoogd leidt dit tot een lagere belasting op het gras op het binnentalud van de dijk.
- Verplaatsen overgang
  - Categorie 'locatie – buitentalud' (zie Paragraaf 2.7): veelal ligt gras hoger op het talud dan een steenzetting of een asfaltbekleding. Indien de steenzetting of de asfaltbekleding tot een hoger niveau wordt doorgetrokken, komt de overgang ook hoger te liggen wat leidt tot een lagere belasting op de overgang.

- Potentiele constructieve oplossingen
  - Categorie ‘geometrie-knik’ (zie Paragraaf 2.5.3): Stroomlijnen van geometrische overgangen zodat er geen abrupte overgang meer is en lokale verhoogde belasting wordt geminimaliseerd.
  - Categorie ‘geometrie – hoogteverschil’ (zie Paragraaf 2.5.2): nivelleren van hoogteverschil of het minder abrupt maken van dit hoogteverschil.
  - Algemeen: een constructieve oplossing zodanig dat lokale stromingsconcentraties of turbulente wervelingen worden voorkomen.

### 5.3.3 Oplossingsrichting gras: Verhogen van de sterkte ( $\alpha_R$ of R)

- Potentiele constructieve oplossingen
  - Voor betere hechting van gras kan worden gedacht aan een betonconstructie een poreus vast medium (aan elkaar gekit granulaair materiaal) worden bevestigd waar de wortels in kunnen verankeren.
  - Geleidelijke overgang (bijvoorbeeld het aanbrengen van doorgroeienden).
  - Het versterken van de grasmat door een betere grasmat aan te leggen of door deze kunstmatig te versterken.
  - In sommige gevallen is een NWO (bijvoorbeeld een trap in het talud van de dijk) gebouwd door een deel van de kleilaag af te graven en deze te vervangen door een zandlaag. Dit wordt waarschijnlijk gedaan omdat de trap op deze manier voor de aannemer eenvoudiger is te bouwen. Zand erodeert zeer snel waardoor het beter is om deze manier van bouwen niet toe te staan. Bij het onderzoek met de golfklapgenerator (Deltares, 2013) bleek dat een trap gebouwd op een zandbed zeer gevoelig was voor het uitspoelen van zand.
- Beheer en onderhoud
  - Gericht beheer en onderhoud rondom overgangen. Voor grasbekledingen zijn onderhoudsvoorschriften beschikbaar (zie o.a. Rijkswaterstaat, 2012). Echter, veelal is het in de praktijk niet goed toepasbaar om dichtbij de overgang te maaien of te klepelen. Ook schapen houden het gras veelal niet exact tot aan de overgang kort. Het gevolg hiervan is dat organisch materiaal zich ophoopt ter plaatse van de overgang wat een geliefde habitat is voor muizen en andere kleine dieren. Dit kan leiden tot een lokale zwakke plek. Een mogelijke oplossing is om het maaien zodanig uit te voeren dat dit ook goed bij overgangen wordt uitgevoerd of om de overgang zodanig aan te passen dat maaien bij de overgang mogelijk is.

### 5.3.4 Oplossingsrichting gras: Acceptatie $Z < 0$

De reststerkte van een grasbekleding wordt feitelijk altijd gerealiseerd door een onderliggende kleilaag. Additionele reststerkte kan worden bereikt door een betere kleikwaliteit of een dikkere kleilaag toe te passen.

## 5.4 Specifieke oplossingsrichtingen asfalt

Potentiele oplossingsrichtingen voor asfalt worden gegeven in Rijkswaterstaat (2013c). Deze zijn echter vrij algemeen van aard en worden derhalve niet in dit rapport herhaald.

## 5.5 Specifieke oplossingsrichtingen steenzettingen

### 5.5.1 Faalmechanismen steenzettingen bij een overgang

Faalmechanismen bij steenzettingen worden uitvoerig behandeld in Rijkswaterstaat (2013b).



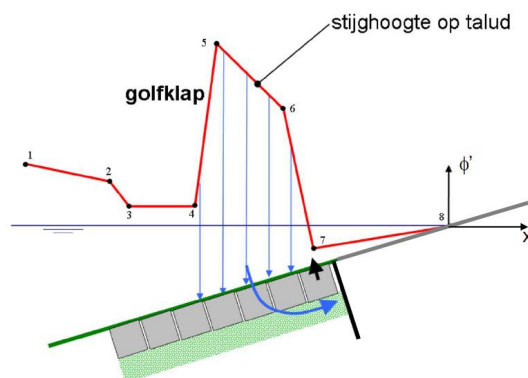
De twee belangrijkste faalmechanismen met betrekking tot steenzettingen onder golfbelastingen zijn:

- 1) Het omhoog drukken van elementen als gevolg van de hydraulische verschillendruk
- 2) Het uitspoelen van onderliggende lagen

Ad 1): Door hydraulische belasting ontstaat onder de toplaagelementen een opwaartse waterdruk. Als de resulterende opwaartse druk groter is dan het elementgewicht plus de onderlinge wrijving en/of klemming, worden de elementen uit de bekleding geduwd. De toplaagelementen moeten in verband blijven om voldoende sterkte te kunnen leveren. Als dit verband wordt verbroken, faalt de toplaag.

### 5.5.2 Oplossingsrichting steenzettingen: Verlagen van de belasting ( $\alpha_s$ of S)

- Verplaatsen overgang
  - Het plaatsen van een overgang in de zwaarst belaste zone dient zoveel mogelijk vermeden te worden. Een overgang kan dus hoger of lager worden geplaatst, afhankelijk van de situatie.
- Potentiele constructieve oplossingen (m.b.t. mechanismen omhoog drukken van de bekleding)
  - Een overgang kan de drukvoortplanting in de granulaire laag blokkeren en daardoor de kans op toplaaginstabiliteit van de omliggende steenzetting vergroten of verkleinen. Dit effect doet zich vooral voor als de overgangsconstructie de granulaire laag onderbreekt. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Impressie van een overgangsconstructie boven een steenzetting onder golfaanval. De hier getoonde overgangsconstructie onderbreekt de granulaire laag waardoor een groot opwaarts stijghoogteverschil optreedt (bron: Klein Breteler, 2013)

Bovenstaand mechanisme kan worden voorkomen door de overgang zodanig te ontwerpen dat de granulaire laag niet wordt onderbroken. (zie het voorbeeld bij Figuur 4.6 in Bijlage D).

Een sprong in de leklengte (voor een uitleg van het begrip leklengte wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2013b)) kan leiden tot een verhoogde verschillendruk. Een overgang dient daarom zodanig ontworpen te worden dat een sprong in de leklengte wordt voorkomen. De belangrijkste aspecten die de leklengte bepalen zijn de dikte en doorlatendheid van de toplaag en onderliggende granulaire laag.

### 5.5.3 Oplossingsrichting steenzettingen: Verhogen van de sterkte ( $\alpha_R$ of R)

- Potentiele constructieve oplossingen (m.b.t. mechanisme omhoog drukken van de bekleding)  
Om het omhoog drukken van de bekleding tegen te gaan kan de bekleding worden versterkt door:
  - Zwaardere bekledingselementen te gebruiken (zie het voorbeeld bij Figuur 4.5 in Bijlage D).
  - De overgang in te gieten met gietasfalt (zie de voorbeelden bij Figuur 4.3b, Figuur 4.4, Figuur 4.5 in Bijlage D).
- Potentiele constructieve oplossingen (m.b.t. mechanisme uitspoelen onderliggende lagen)  
Om uitspoelen van de onderliggende lagen te voorkomen kan de overgang worden versterkt door:
  - Een geotextiel of ander scheidingsvlies toe te passen: (zie voorbeelden bij Figuur 4.3b, Figuur 4.6, Figuur 4.7, Figuur 4.8 Bijlage D)
  - Het opvullen van ontstane naden en kieren (bijvoorbeeld door het herzetten van de bovenste rij zuilen / blokken onder de steenzetting of door het penetreren met gietasfalt).
- Beheer en onderhoud  
Het beheer en onderhoud van overgangen bij steenzettingen is ten minste gelijk aan dat van steenzettingen zelf. Extra aandacht dient besteedt te worden aan de volgende aspecten:
  - het ontstaan van kieren waar materiaal doorheen kan spoelen
  - het dichtslibben van de toplaag waardoor de leklengte anders wordt

### 5.5.4 Oplossingsrichting steenzettingen: Acceptatie $Z < 0$

In WTI 2017 Cluster bekledingen is een onderzoek gaande naar de reststerkte van een dijk na initieel falen van een toplaag bestaande uit een steenzetting. De reststerkte kan bijvoorbeeld worden verhoogd door een dikkere of betere kleilaag onder de bekleding toe te passen.

### 5.6 Specifieke oplossingsrichtingen losgestorte materialen

Overgangen worden niet specifiek behandeld in Rijkswaterstaat (2013d). Wel is er uitgebreid aandacht voor berm (welke ook als overgangen beschouwd kunnen worden). In CUR, CIRIA, CETMEF (2007) wordt specifiek aandacht besteed aan de teen, kruinelementen en berm in golfbrekers bestaande uit breuksteen.

### 5.7 Specifieke oplossingsrichtingen overige type bekledingen

Specifieke oplossingsrichtingen voor overgangen naar overige type bekledingen zijn niet gevonden. Voor algemene informatie over overige type bekledingen wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2013a). Voor achtergrondinformatie met betrekking tot geotextiele elementen wordt verwezen naar CUR (2004, 2006)

## 6 Synthese

Overgangen en overgangsconstructies dienen als potentieel zwak te worden beschouwd waarvoor gewaakt dient te worden. Dit blijkt uit een (Nederlandse) expert raadpleging (zie Paragraaf 3.2.2), uit ervaringen met calamiteiten uit het buitenland (zie Paragraaf 3.3) en uit het Europees Floodprobe rapport (zie Paragraaf 4.2). De huidige Nederlandse toetsystematiek beschouwt overgangen niet expliciet in haar (landelijke) rapportages.

De huidige Nederlandse kennisbasis is voornamelijk verankerd in technische rapporten welke worden ondersteund door verschillende onderzoeksrapporten. Deze technische rapporten, maar ook de achterliggende onderzoeken van toekomstige rapporten, zoals WTI 2017 zijn voornamelijk gecategoriseerd op basis van het type kering of het type bekleding. Onderzoeken, ontwerp- en toetsvoorschriften met betrekking tot overgangen zijn ook volgens deze, volstrekt logische, categorisering opgesteld. Een nadeel van deze aanpak is echter dat er een versnippering dreigt te ontstaan met betrekking tot uitgangspunten in relatie tot overgangen.

Om versnippering te voorkomen wordt aanbevolen om de uitgangspunten met betrekking tot overgangen op een meer generiek niveau te bepalen. De aanbevelingen zoals gegeven in FloodPRoBE (zie Paragraaf 4.2) vormen hiertoe een goede eerste aanzet. Resultaat hiervan is onder andere een goede manier van het identificeren (en categoriseren) van overgangen teneinde het beheer en onderhoud te optimaliseren en ontwerp- en toetsmethodieken te stroomlijnen. Daarnaast kan dit ook worden geïmplementeerd in toekomstige risico modellen en kan dit aansluiten in toets- en ontwerpmethodieken waarbij reststerkte wordt meegenomen.

Gezien de grote verschillen in fysica van de verschillende types keringen (duin, dijk, kunstwerk) en bekledingen (gras, asfalt, steenzettingen, overig) wordt aanbevolen om technisch inhoudelijke kennis met betrekking tot faalmechanismen in gescheiden onderzoeksprojecten op te pakken. Binnen WTI2017 is dit ook het geval. Hierbij is het van belang om onderscheid te maken in ontwerp, toetsing, uitvoering en beheer.

Gebaseerd op de huidige inzichten en voornamelijk recent onderzoek met de golfklapgenerator (buitentalud dijk, golfimpactzone) en de golfoverslagsimulator (binnentalud dijk) lijken overgangen met grasbekledingen potentieel zwak te zijn. Dit is ook geconcludeerd in een expert bijeenkomst (zie Paragraaf 3.2.2) waar van de tien meest belangrijk geïdentificeerde types overgangen er vier direct en twee indirect gerelateerd waren aan grasbekledingen. Het verdient daarom ook aanbeveling om meer gericht onderzoek uit te voeren naar overgangen met grasbekledingen.



## 7 Literatuur

Calle, E.O.F., en v.d. Meer, M., 2012, SBW Golfoverslag en bekledingen deelproject overgangsconstructies, Deltares rapport met kenmerk 1204204-011-GEO-0006-jvm

CIRIA, CUR, CETMEF, 2007, The Rock Manual The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), ISBN 978-0-86017-683-1

CUR, 2004, Geotextiele zandelementen, CUR rapport no. 214, ISBN 90 376 0442 0, Gouda, 2004

CUR, 2007, Ontwerpen met geotextiele zandelementen, CUR rapport no. 217, ISBN 90 3760 083 2, Gouda, 2006

Deltares, 2009, Stabiliteit van steenzettingen onder golfaanval - boven de waterlijn - onder een horizontale overgangsconstructie, Deltares rapport 1200193-002.

Deltares, 2013, Residual Strength of grass on river dikes under wave attack. Phase 2: Analysis of wave impact generator tests on four dike locations, verslag in wording, 1207811-008

ENW, 2012, Post-flood investigations in the Lower Chao Phraya River Basin, mei 2012

FloodProBE, 2013 WP3: Reliability of Urban Flood Defences, D3.1 Guidance on improved performance of urban flood defences, December 2012. Verkrijgbaar via: [www.floodprobe.eu](http://www.floodprobe.eu)

Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2011, Derde toets primaire waterkeringen, peildatum 15 januari 2011, IVW/WB/2011/000002

Jonkman, B., Schweckendiek, T., Dupuits, G. Heyer, T., de Bijl, J., Labrujere, A., Floods in Germany (June 2013) Post-flood field investigation, July 2&3, 2013, Preliminary Findings, Powerpoint presentation

Klein Breteler, M., 2013, Invloed van overgangsconstructies in Steentoets. Memo d.d. 3 april 2013 aan Y. Provoost, K. Saathof en R. Bosters, kenmerk: 1206424-009-HYE-0004

MinV&W, 2007, Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007

Pijpers, R., 2013, Vulnerability of Structural Transitions in Flood Defences, erosion of grass covers due to wave overtopping, M.Sc. thesis

Philipse, L.A., Overgangsconstructies, maart 1989

Provincie Zuid-Holland (2009), Vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet-waterkerende objecten incl. errata vuistregels, Afdeling Water Den Haag, mei 2009

Rijkswaterstaat, 2012, Handreiking Toetsen grasbekledingen op dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, 25-10-2012

Rijkswaterstaat, 2013a Technisch Rapport Dijkbekledingen Deel 1: Algemeen, concept rapport

Rijkswaterstaat, 2013b Technisch Rapport Dijkbekledingen Deel 2: Steenzettingen, concept rapport

Rijkswaterstaat, 2013c Technisch Rapport Dijkbekledingen Deel 3: Asphalt, concept rapport

Rijkswaterstaat, 2013d Technisch Rapport Dijkbekledingen Deel 4: Breuksteen, concept rapport

Rijkswaterstaat, 2013e Technisch Rapport Dijkbekledingen Deel 5: Grasbekledingen, concept rapport

TAW (1992) Overgangsconstructies in dijkbekledingen, bundeling van huidige kennis, Rapport nr. N639, oktober 1992

TAW (2003) Technisch Rapport Steenzettingen Deel Toetsing DWW-2003-097, ISBN 90-369-5551-3 december 2003

## A Definities volgens VTV2006

In het voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 (MinV&W, 2007) zijn verschillende definities gegeven die direct of indirect van toepassing zijn op overgangen. Een overzicht is hieronder weergegeven.

### Aansluiting:

Geen definitie gevonden in (MinV&W, 2007). In dit document wordt een aansluiting gedefinieerd als een overgang tussen de volgende type keringen: 'dijken en dammen', 'duinen', 'waterkerende kunstwerken' en 'hoge gronden'.

### Aansluitingsconstructie

Gehele dwars- en lengteprofiel van een grondconstructie in zijn afwijkende vorm, bij de overgang naar een duin, hoge gronden of een kunstwerk.

### Beheer

Geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.

### Bijzondere waterkerende constructie

Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuur, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen.

### Dijkkringgebied

Gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoge waterstand op een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.

### Dijken en dammen

Door mensen gemaakte waterkerende grondlichamen, waarbij voor een dijk geldt dat die ligt op de grens van land en water, terwijl een dam aan beide zijden wordt omgeven door water. Havendammen vallen onder de categorie 'dammen en dijken'.

### Duinen

Min of meer aansluitende zandheuvelds langs de kust, al dan niet door de natuur gevormd, die het waterkerend vermogen ontleent aan de geometrie en de hoeveelheid zand binnen het dwarsprofiel.

### Hoge gronden

Hoge gronden zijn natuurlijke hoge delen van Nederland die niet overstromen bij maatgevend hoogwater én die als zodanig zijn aangegeven op bijlagen I en IA van de Wet op de waterkering. Hoge gronden vormen samen met primaire waterkeringen het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit.

### Invloedzone van de overgang

De invloedzone van de overgang is in dit rapport gedefinieerd als het gedeelte van de waterkering waarop de overgang invloed heeft op de stabiliteit.

## Niet waterkerend object (NWO)

Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals leidingen, woningen en bomen

## Overgang

Niet beschreven in (MinV&W, 2007). In dit document wordt als overgang de volgende definitie gehanteerd: Een ruimtelijke verandering van een primaire kering.

## Overgangsconstructie

Geen beschrijving gevonden in (MinV&W, 2007). In dit document wordt als overgangsconstructie de volgende definitie gehanteerd: Een constructieve maatregel bij een overgang.

## Primaire waterkering

Een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen, of twee dijkkringgebieden met elkaar verbindt.

## Stelsel van waterkeringen (in kader van definitie van term 'dijkkringgebied')

Bestaat uit primaire keringen (door de mens aangelegd) en natuurlijk aanwezige hoog gelegen delen in het landschap (hoge gronden).

## Teenbestorting

Horizontaal gedeelte van een dijk, aan de buitenzijde gelegen, als overgang tussen de harde bekleding en de rest van het talud of de vooroever. Ook wel 'kreukelberm' (Zeeland) of 'plasberm' genoemd.

## Verstoringzone

Zone om een niet-waterkerend object, waarbinnen de invloed van de aanwezigheid, bezwijken of falen van het niet-waterkerende object in de grond merkbaar is.

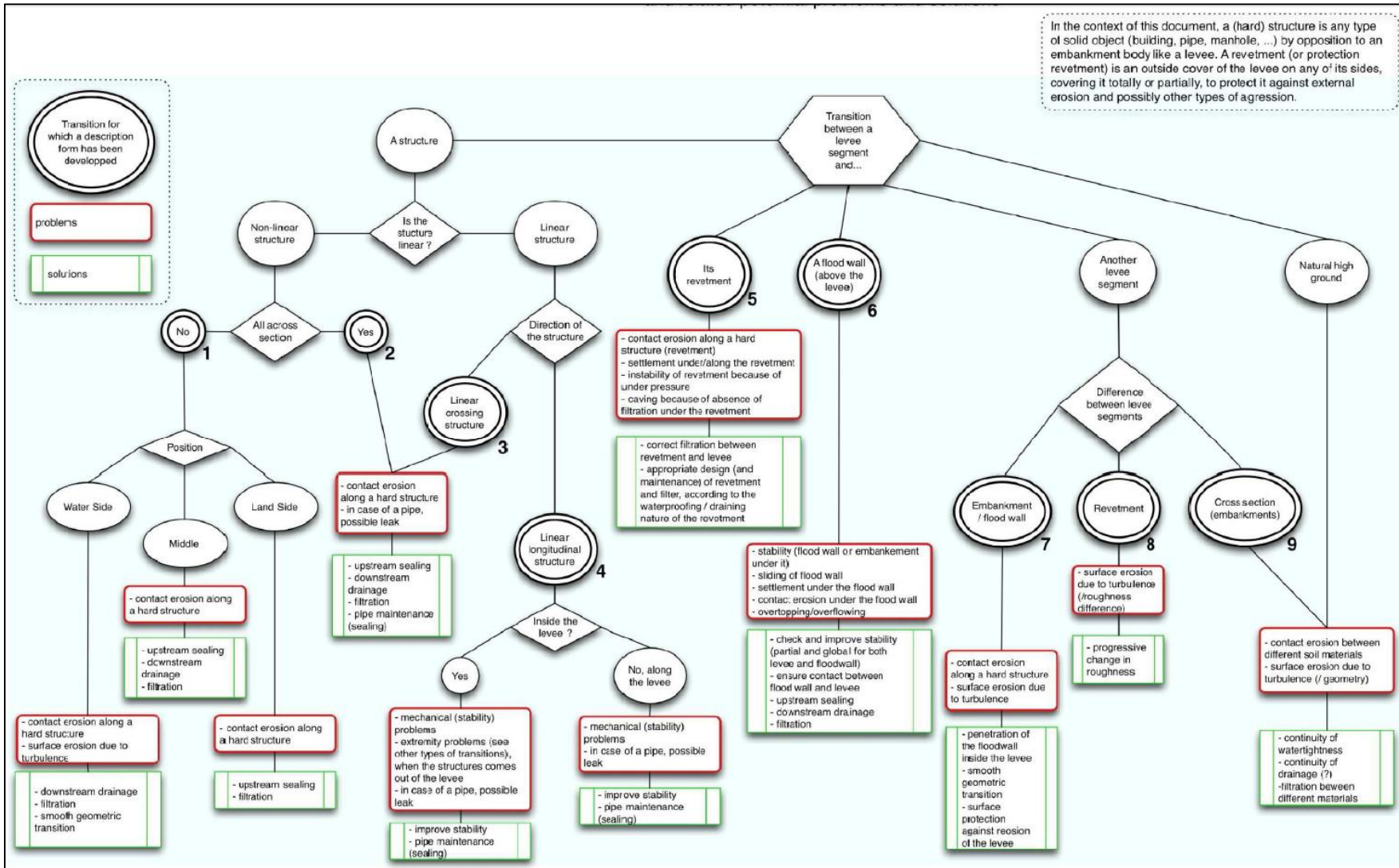
## Waterkerend kunstwerk

Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere functie, die de waterkering kruist (bijvoorbeeld schutten, spuien).



## **B Overzicht types overgangen en gerelateerde potentiële problemen en oplossingen**

Onderstaande figuur is overgenomen uit FloodProBE (2012). Er wordt benadrukt dat de gebruikte indeling van overgangen lijkt op de indeling die is gebruikt in Hoofdstuk 2 van voorliggend rapport maar dat deze niet geheel hetzelfde is.



## C Betrouwbaarheidsfuncties van overgangen

In de hieronder beschreven aanpak worden de sterkte- en belastingcomponenten van de betrouwbaarheidsfunctie verdisconteerd met coëfficiënten welke afhankelijk zijn van het type overgang.

In generieke vorm is de betrouwbaarheidsfunctie van een waterkering gedefinieerd als:

$$Z = R - S \quad (C.1)$$

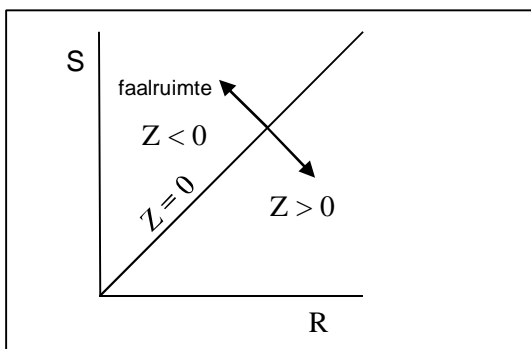
Waarin:

Z	=	betrouwbaarheidsfunctie;
R	=	'sterkte' (resistance) of meer algemeen de weerstand tegen falen;
S	=	'belasting' (solicitation) ofwel datgene wat falen bevordert.

De betrouwbaarheid is gedefinieerd als kans  $P(Z > 0)$ .

De kans op falen is:  $P_f = P(Z \leq 0) = P(S \geq R)$

Dit kan schematisch worden weergegeven zoals in Figuur C.1.



Figuur C.1 Betrouwbaarheidsfunctie in het R-S vlak

De betrouwbaarheid kan worden uitgedrukt in een veiligheidscoëfficiënt:

$$\frac{R}{S} = C \quad (C.2)$$

Waarbij C de veiligheidscoëfficiënt is.

In de aanpak zoals gegeven in Tabel 5.1 (Paragraaf 5.1) wordt aangenomen dat als er invloed van de overgang is, deze zowel positief (hogere sterkte of lagere belasting) als negatief kan zijn (lagere sterkte of hogere belasting). Het model zoals hierboven is weergegeven kan ter plaatse van een overgang worden aangepast door een coëfficiënt voor de belasting ( $\alpha_S$ ) en een coëfficiënt voor de sterkte ( $\alpha_R$ ) te plaatsen. Dit is als volgt weergegeven:

$$Z = (\alpha_R R) - (\alpha_S S) \quad (C.3)$$

Of, indien de stabiliteit groter of gelijk aan de veiligheidscoëfficiënt dient te zijn:

$$\frac{\alpha_R R}{\alpha_S S} \geq C \quad (C.4)$$

Indien er geen invloed van de overgang is zijn de coëfficiënten  $\alpha_R$  en  $\alpha_S$  gelijk aan 1. Is er een negatieve invloed van de overgang op de sterkte dan is deze coëfficiënt kleiner dan 1 maar groter dan 0. Is er een negatieve invloed op de belasting, dan is de coëfficiënt groter dan 1, zie ook Tabel C.1.

Tabel C.1 Globale indeling op basis van fysica (in dit voorbeeld is de invloed, indien deze er is, negatief)

	<b>geen invloed sterkte (R)</b>	<b>wel invloed sterkte (R)</b>
<b>geen invloed belasting (S)</b>	$\alpha_R = 1, \alpha_S = 1$	$0 \leq \alpha_R < 1, \alpha_S = 1$
<b>wel invloed belasting (S)</b>	$\alpha_R = 1, \alpha_S > 1$	$0 \leq \alpha_R < 1, \alpha_S > 1$

Indien men als uitgangspunt wil stellen dat een overgang ten minste dezelfde betrouwbaarheid dient te hebben als een situatie waarbij geen overgang aanwezig is (dit hoeft men overigens niet per definitie te stellen maar is in de huidige aanpak gebruikelijk), dan geldt:

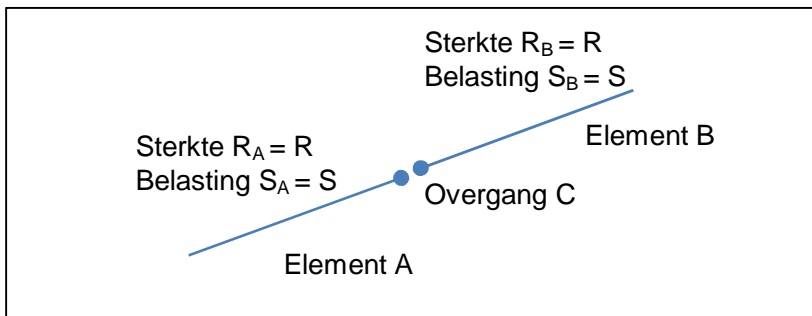
$$Z_{zonderovergang} \leq Z_{metovergang} \quad (C.5)$$

$$R - S \leq \alpha_R R - \alpha_S S \quad (C.6)$$

$$\frac{R}{S} \leq \frac{(1 - \alpha_S)}{(1 - \alpha_R)} \quad (C.7)$$

Bovenstaande aanpak lijkt in eerste instantie erg theoretisch. Echter, in de praktijk is dit waarschijnlijk toch goed hanteerbaar.

In het hieronder gegeven voorbeeld is er op een primaire kering een overgang C van element A naar element B. Element A heeft sterkte  $R_A$  en belasting  $S_A$ . Element B heeft sterkte  $R_B$  en belasting  $S_B$ . In het hier gegeven (theoretische) voorbeeld is de belasting bij A en B gelijk:  $S_A = S_B = S$ . Ook de sterkte is in beide gevallen gelijk:  $R_A = R_B = R$ . In de gegeven voorbeelden wordt uitgegaan van een acceptabele veiligheid coëfficiënt  $C = 1$ . In de voorbeelden wordt aangenomen dat de overgang geen invloed heeft op de elementen A en B maar wel dat de overgang zelf als een element beschouwd dient te worden.



Figuur C.2 Schematische weergave van overgang C van element A naar element B

Indien men uit onderzoek of ervaring weet dat overgang C zeer slecht bestand is tegen erosie (maar dit is nog niet goed gekwantificeerd) vanwege een aanzienlijk verlies van sterkte (in dit voorbeeld blijft de belasting gelijk) kan men ervoor kiezen om dergelijke types overgangen 'niet toe te staan'. Dit kan men doen door de coëfficiënt voor sterkte gelijk te stellen aan 0 en de coëfficiënt voor belasting gelijk te stellen aan 1:  $\alpha_R = 0$   $\alpha_S = 1$ . Nu volgt, met behulp van Vergelijking (C.4), dat:

$$\frac{0 \cdot R}{1 \cdot S} = 0 \quad (\text{C.8})$$

Er blijkt nooit te kunnen worden voldaan aan de veiligheidseis (Vergelijking C.8)) waarmee is vastgelegd dat bovenstaande overgang nooit kan worden toegestaan.

De bovengenoemde methode heeft een aantal voordelen:

- Men kan dit veelal eenvoudig toepassen. Indien men het aannemelijk genoeg acht dat de overgang geen invloed heeft stelt men de coëfficiënten  $\alpha_S$  en  $\alpha_R$  gelijk aan 1. Indien men inschat dat de constructie geen sterkte heeft stelt men de coëfficiënt  $\alpha_R$  gelijk aan nul. Voor overige aspecten kan men gericht onderzoek uitvoeren naar de waarde van de coëfficiënten.
- De methode kan ingepast worden in probabilistische modellen. (de coëfficiënten  $\alpha_R$  en  $\alpha_S$  zouden zelfs als stochast kunnen worden beschouwd).
- De methode brengt een eenduidigheid aan binnen alle types overgangen. Deze vereenvoudigd een integrale benadering voor toekomstig onderzoek waardoor niet voor ieder type overgang opnieuw een uitgangspunt hoeft te worden gedefinieerd. Door de integrale benadering zal er naar verwachting een grote overlap zijn in kennisontwikkeling voor de verschillende types overgangen zodat kennisontwikkeling, kennisborging en kennistoepassing efficiënter kan worden uitgevoerd.



## D Voorbeelden overgangsconstructies

Onderstaande voorbeelden zijn overgenomen uit TAW (1992). Het betreft de volgende types overgangen:

- Van zuilen naar blokken 4.3.1
- Van basalt naar betonzuilen 4.3.2
- Van breuksteen naar gezette steen 4.3.3
- Van gezette steen naar gras 4.3.4
- Van gezette steen naar asfalt 4.3.5
- Van mat naar asfalt 4.3.6
- Van asfalt naar gezette steen 4.3.7
- Van asfalt naar gras 4.3.8
- Van blokkenmat naar blokkenmat 4.3.9





#### 4.3 Voorbeelden van overgangsconstructies tussen twee bekledingstypen

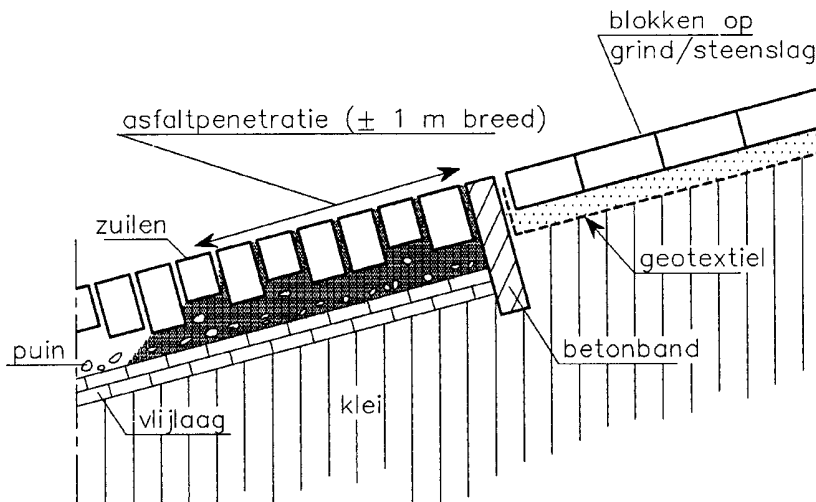
##### 4.3.1 Overgang van zuilen naar blokken

In Figuur 4.3a is een voorbeeld gegeven van een overgangsconstructie tussen een basaltbekleding op puin en vlijlagen en een bekleding met rechthoekige blokken op grind of steenslag en een geotextiel. Ter plaatse van de overgang is het noodzakelijk een betonband te gebruiken, omdat basalt (en zuilen in het algemeen) geen mooi recht uitgangspunt zijn om de blokken tegenaan te plaatsen.

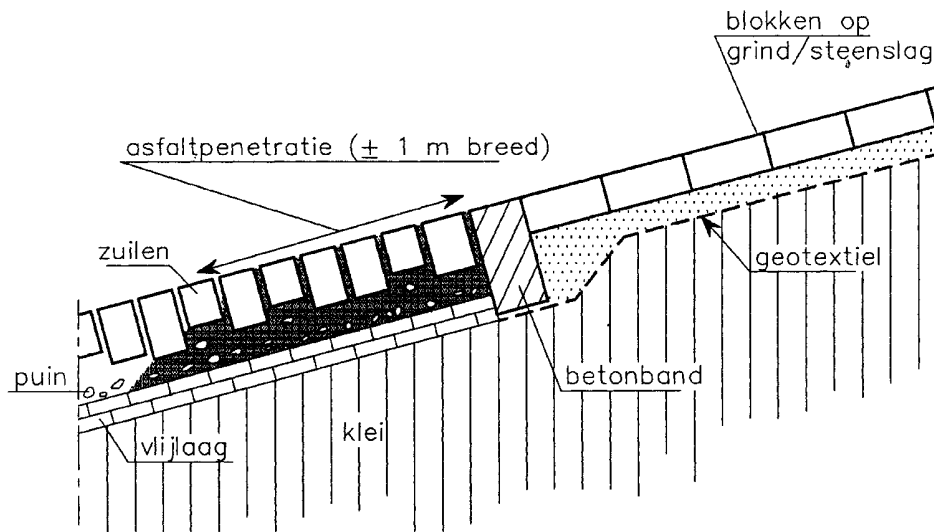
Het geotextiel onder de steenslag is hier tegen de betonband omhoog gevoerd, zodat het door de blokken en de steenslag tegen de betonband wordt gedrukt.

Deze constructie heeft twee nadelen:

- 1) Bij slechte uitvoering is toch uitspoeling van klei mogelijk.
- 2) Na het plaatsen van de betonband is de noodzakelijke klei-aanvulling erg lastig te verdichten.



Figuur 4.3a Overgang van zuilen naar blokken op een filter (alternatief in Figuur 4.3b is beter)



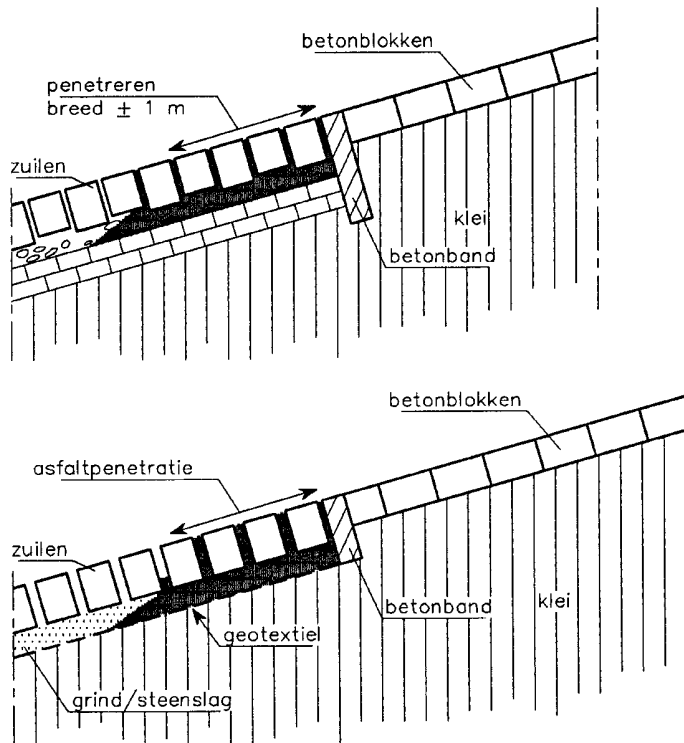
Figuur 4.3b Overgang van zuilen naar blokken op een filter; alternatief ten opzichte van Figuur 4.3a

In Figuur 4.3b is een alternatief gegeven met een onder de betonband doorlopend geotextiel. Hierbij is er geen mogelijkheid dat de klei tussen het geotextiel en de betonband uitspoelt, zoals in het eerste geval. Bovendien is de moeilijk te verdichten strook klei direct grenzend aan de betonband vervangen door een strook filtermateriaal.

Het in een rechte lijn stellen van de betonband is niet eenvoudig, maar wel uitvoerbaar. Er wordt hier ook wel gebruik gemaakt van palen, waarmee gemakkelijker de rechte lijn is te verkrijgen. De palen hebben echter ook nadelen:

- 1) nauwelijks te repareren als de palen gaan rotten;
- 2) bij geringe verzakking langs het talud vormt de palenrij een discontinuïteit die kan leiden tot ongewenste spleten en verminderde inklemming van de stenen;
- 3) ondergrond zou kunnen uitspoelen langs de palen.

In Figuur 4.4 is een voorbeeld gegeven van overgangsconstructies met blokken op klei.



Figuur 4.4 Overgang van zuilen naar blokken op klei

De bovenste rijen zuilen moeten gepenetreerd worden met (warm) gietasfalt, omdat de aansluiting aan de betonband vaak slecht is. Het penetreren zorgt ervoor dat in deze zone, waar anders vele losse zuilen voorkomen, alle zuilen goed vastliggen. Bovendien voorkomt het het uitspoelen van het filter (puin) langs de betonband.

Bij oude bekledingen, die niet meer zullen verzakken door klink etc., kan eventueel cementmortel gebruikt worden. In de overige situaties is een gietasfaltmortel de meest gebruikelijke. Doordat de penetratiemortels een lage viscositeit hebben, vloeien ze onder een helling weg in de te penetreren bekleding. De benodigde hoeveelheid penetratiemortel is daarom vaak meer dan men zou verwachten.

Afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige voegvulling (rommel), kan het, om een betrouwbare penetratie mogelijk te maken, nodig zijn om eerst een strook van de basaltbekleding langs de betonband te herzetten en daarna te penetreren.

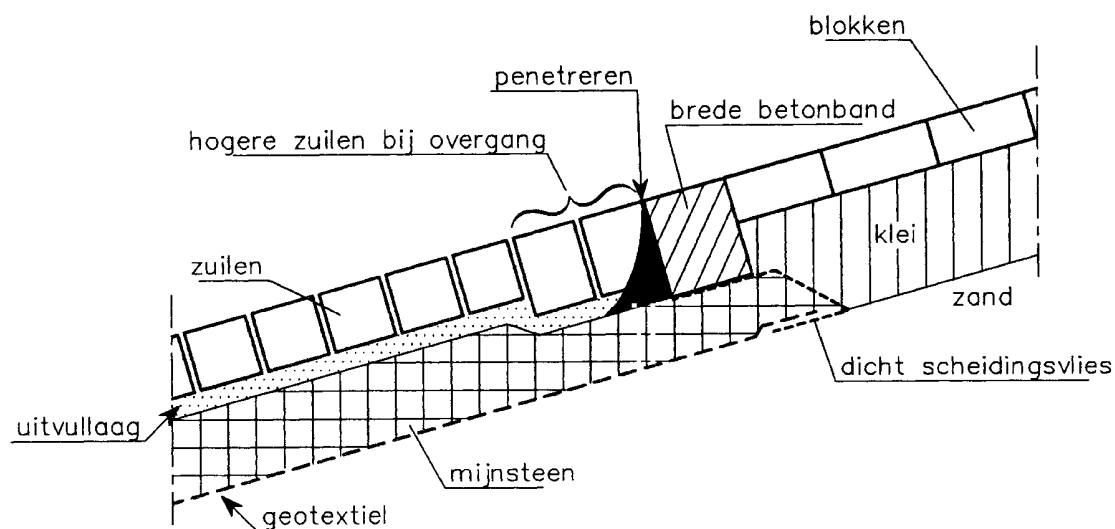
Het penetreren van de zuilen heeft een gunstige invloed op de sterkte van de bekleding en moet om die reden zeker worden uitgevoerd. Het is echter geen oplossing voor het feit dat bij de overgang de verschilddruk over de stenen groter is dan ver van de overgang. Ook als er gepenetreerd is, is er een strook (namelijk vlak langs de penetratie) waar de verschilddruk hoger is en waar de kans op schade dus ook hoger is. De bovenste rij stenen die op niet gepenetreerd filtermateriaal staat, krijgt de grootste belasting te verwerken. Het feit dat de penetratiestrook in het filter meestal veel breder is dan in de toplaag heeft hier geen invloed op.

Een afdoende oplossing voor dit probleem is het toepassen van een strook met hogere zuilen die niet gepenetreerd worden (Figuur 4.5). De ruimte tussen de zuilen en de betonband moet echter bij voorkeur toch gepenetreerd worden:

- ter voorkoming van uitspoeling van filter en/of basismateriaal, en
- in verband met de mindere klemwerking van de zuilen langs de betonband.

De breedte van de strook hogere zuilen moet groter zijn dan de lek lengte ( $\Delta$ ), maar minstens 0.5 m.

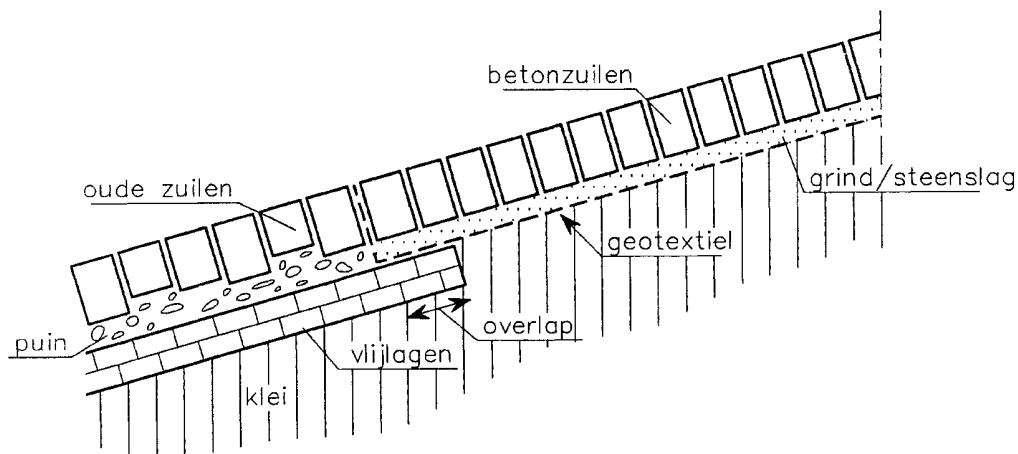
In Figuur 4.5 is een voorbeeld gegeven van de overgang van zuilen op een uitvullaag en mijnsteen naar blokken direct op klei. De betonband is hier erg breed gekozen, zodat deze uit zichzelf stabiel is tijdens de uitvoering. Dit maakt het mogelijk om de band zo te stellen dat een rechte lijn verkregen wordt, hetgeen noodzakelijk is voor de blokken. Door gebruik te maken van een kraan is het grote gewicht van zo'n brede betonband geen probleem.



Figuur 4.5 Overgangsconstructie met een strook dikkere zuilen (zonder penetratie)

#### 4.3.2 Overgang van basalt naar betonzuilen

Er is geen reden om een betonband toe te passen in het geval dat boven een bestaande zetting van basalt de harde bekleding hoger wordt opgetrokken met betonzuilen. Dit moet dan ook ontraden worden, omdat er zonder betonband een overgangsconstructie mogelijk is met een doorgaand filter (zie Figuur 4.6).



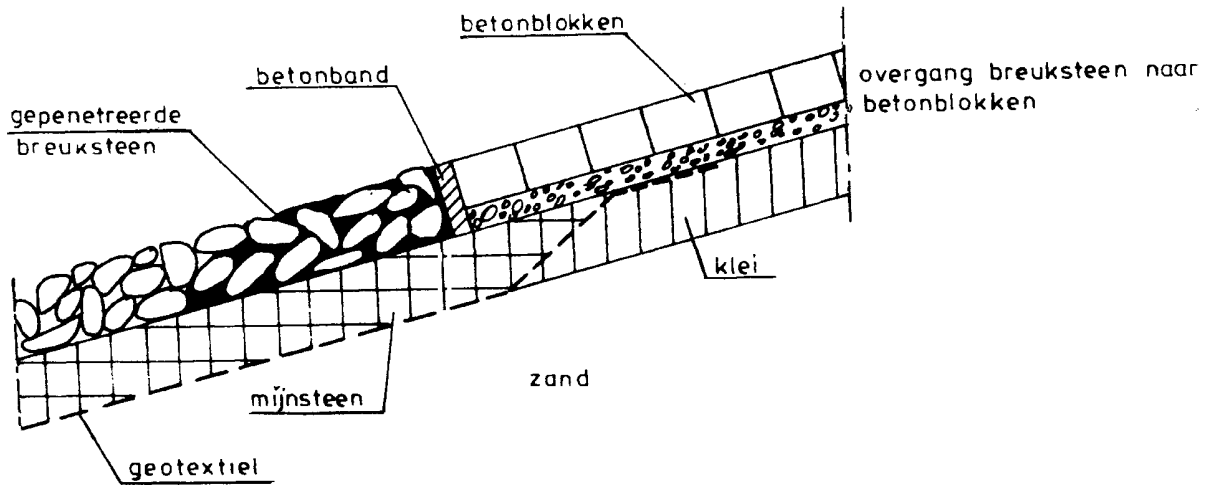
Figuur 4.6 Overgangsconstructie met doorgaand filter

Ten einde het geotextiel en de vlijlaag een eindje te laten overlappen, zijn de bovenste twee rijen van de oude basalt met de eronder liggende puinlaag verwijderd. Het geotextiel wordt daarna op de vlijlaag gelegd met een opstaand stukje zodat later de nieuwe filterlaag niet in de oude puinlaag kan binnendringen. De overlapping van geotextiel en vlijlagen is belangrijk om te voorkomen dat er klei kan uitspoelen.

Deze overgangsconstructie moet bij voorkeur niet gepenetreerd worden met gietasfalt, omdat dit een onderbreking van de grondwaterstroming in het filter veroorzaakt die leidt tot een grotere verschilddruk over de zetting (onder de overgang).

#### 4.3.3 Overgang van breuksteen naar gezette steen

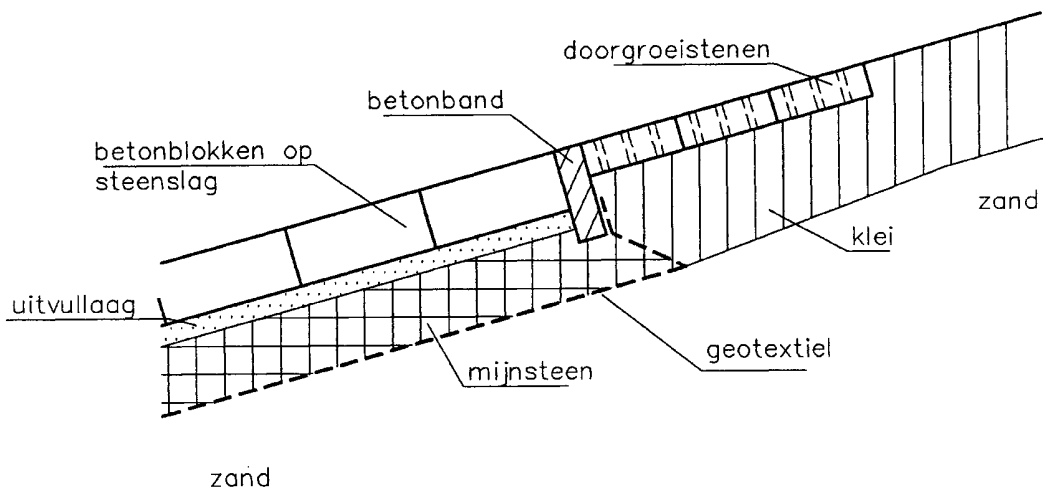
Een in de praktijk voorkomende overgangsconstructie van breuksteen naar blokken op grind is weergegeven in Figuur 4.7. Voor de afgebeelde constructie bestaat de onderlaag uit klei, vanwege de plaatselijke beschikbaarheid ervan. Voor de onderlaag kan ook gebitumineerd zand gebruikt worden.



Figuur 4.7 Overgang van breuksteen naar blokken op grind

#### 4.3.4 Overgang van gezette steen naar gras

De beëindiging van de zetting bij de overgang naar een "bekleding" van gras op klei moet niet te abrupt zijn. Tegen het vertrappen van het gras door het beweidingsvee is een geleidelijke overgang belangrijk. Bij de overgang is de grasmat gevoelig voor erosie als gevolg van de slechte groeicondities voor het gras en de grotere ruwheid van de grasmat ten opzichte van de onderliggende bekleding. Erosieproblemen kunnen ondervangen worden door gebruik te maken van doorgroeistenen, doorgroei-elementen of in de klei gestrate klinkers. Een voorbeeld van een overgang is gegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.8 Overgangsconstructie van blokken op mijnsteen naar gras



Foto 7 Erosie van gras vanwege het ontbreken van doorgroeistenen

Voor een goede doorgroei is vereist dat de gaten in de stenen gevuld worden met grond die zo weinig mogelijk afwijkt van de onderliggende grond.

De betonband zorgt voor een goede opsluiting van de blokkenglooing waartegen het geotextiel opgezet kan worden. Dit maakt inspoeling van klei naar het filter onmogelijk. Ook zonder de betonband kan deze overgang goed uitgevoerd worden. Het geotextiel kan hierbij tussen het betonblok en het doorgroeielement geklemd worden.

Soms wordt de opsluiting verzekerd door een rij perkoenpalen met een opgespijkerd houten schot of een betonband. Deze palen zijn echter constructief gezien niet noodzakelijk als er geen diepe ontgronding van het gras te verwachten is, bijvoorbeeld bij een hoge beëindiging van de betonblokkenbekleding.

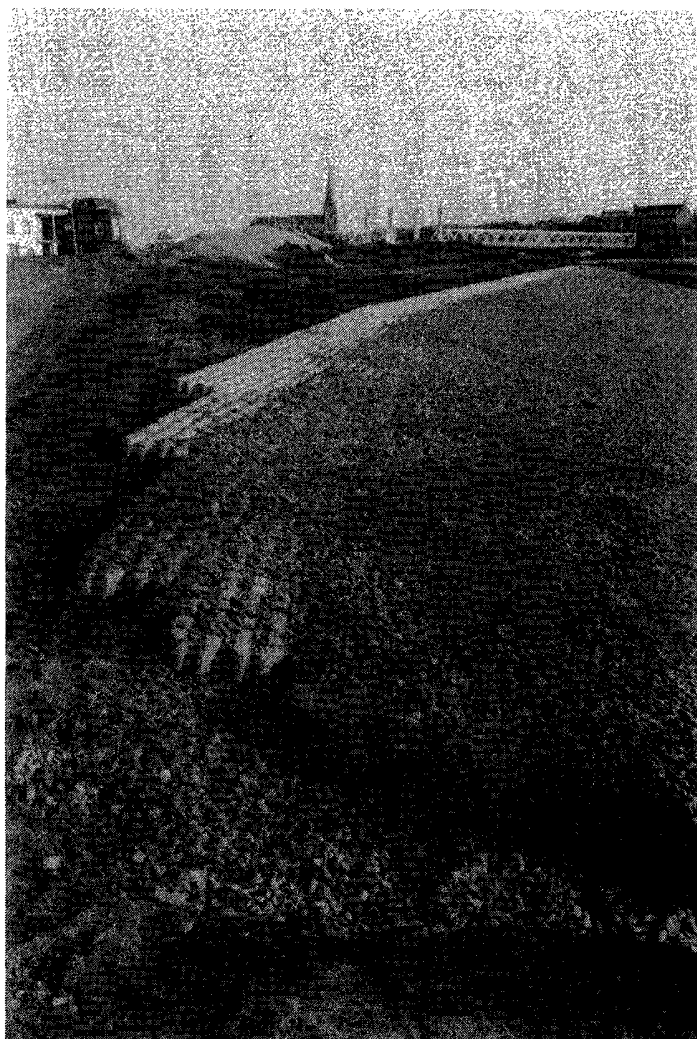
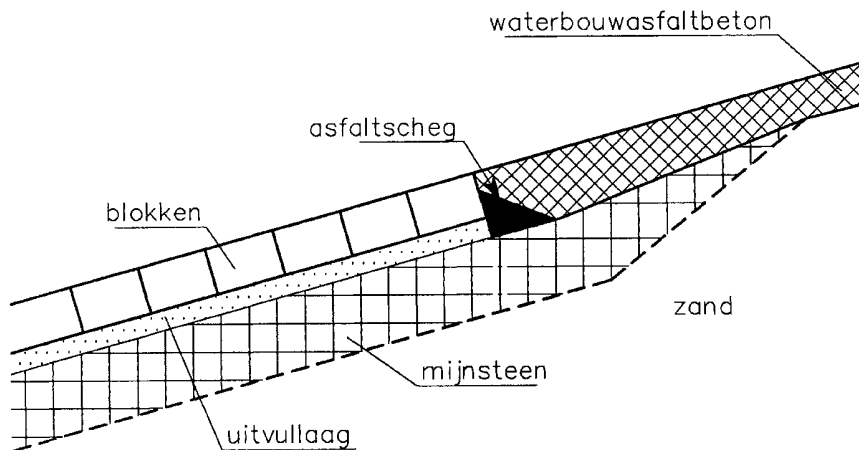


Foto 8 Het inwasmateriaal is ook op de doorgroeistenen gekomen, waardoor deze straks onvoldoende gevuld raken met teelaarde en het gras moeilijk aanslaat (rivierdijk bij Kampen)



#### 4.3.5 Overgang van gezette steen naar asfalt

Bij de overgang van blokken op een uitvullaag en mijnsteen naar asfalt is het van belang om de mijnsteen nog iets onder de asfaltbekleding te laten doorlopen, zoals weergegeven is in Figuur 4.9. Hierdoor is er geen verticale naad waardoorheen het onderliggende zand kan uitspoelen.



Figuur 4.9 Aansluiting van blokken op mijnsteen naar asfalt

De mijnsteenlaag onder het asfaltbeton moet heel geleidelijk dunner worden om ongelijke verzakking te spreiden over een groot oppervlak.

Na het leggen van de blokken is het aan te bevelen om een asfaltscheg langs de blokken te leggen om te voorkomen dat nog tijdens de uitvoering, bij het belopen van de bovenste rij blokken, deze gaan "druipen" (roteren en wegzakken).

De bovenste rijen blokken kunnen niet met gietasfalt worden gepenetreerd omdat de spleten tussen de blokken te klein zijn. Daardoor is het mogelijk dat hier relatief veel losse blokken voorkomen. Eventueel kan overwogen worden tapse blokken te gebruiken die wel zijn te penetreren.

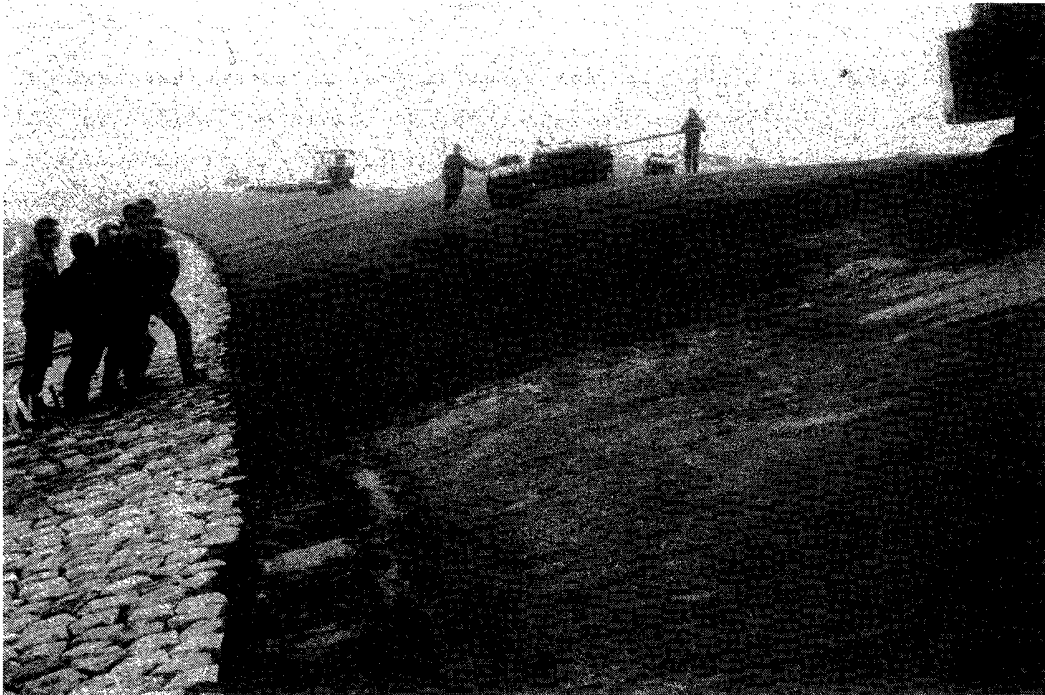
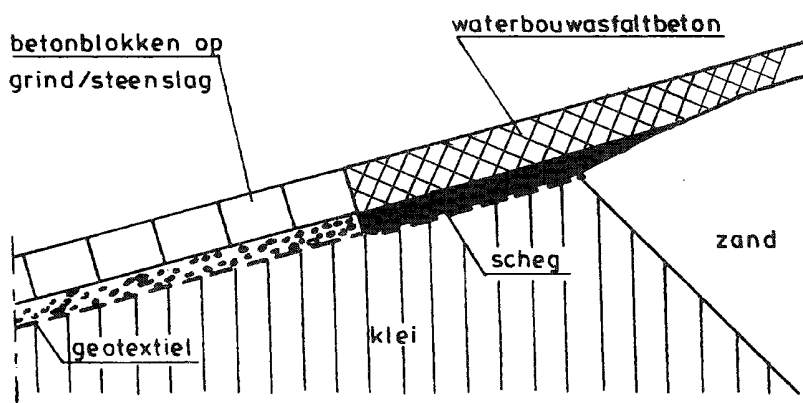


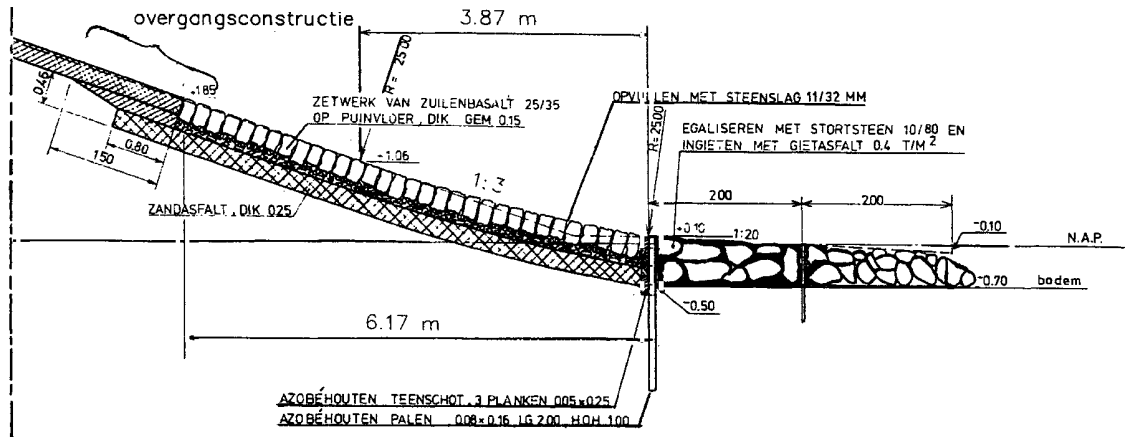
Foto 9 Asfaltaansluiting op betonzuilen (Balgzanddijk)

Bij de overgang van blokken op grind en klei naar asfalt wordt een langere verbinding naar de zandkern van de dijk gecreëerd door op de kleibekleding een lange asfaltbetonscheg aan te brengen. Door het trapsgewijze verloop van de toplagen met de onderlagen wordt een schadegevoelige verticale naad vermeden. Een dergelijke constructie is weergegeven in Figuur 4.10.



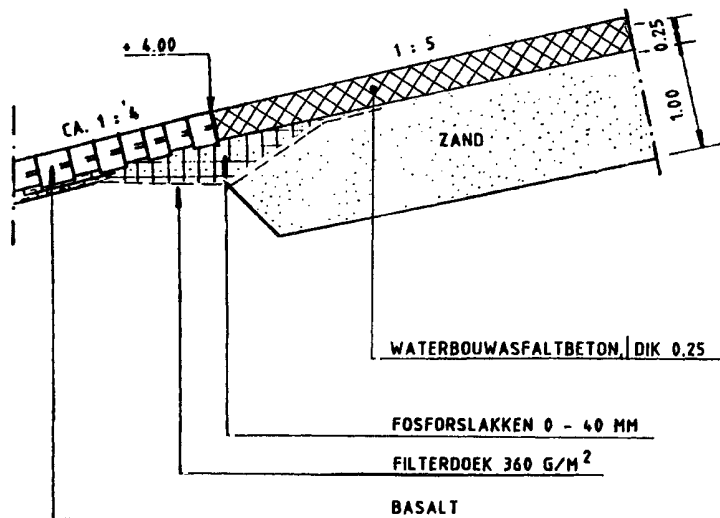
Figuur 4.10 Aansluiting van blokken op grind en klei naar asfalt

Voor een overgang van zuilen naar asfaltbeton geldt hetzelfde als voor blokken naar asfaltbeton. Het enige verschil is dat de bovenste rijen zuilen wel met gietasfalt gepenetreerd kunnen worden. In Figuur 4.11<sup>o</sup> is een doorsnede gegeven van een dijk op Texel, waarin de overlap van het filter en de asfaltbeton duidelijk te zien is. Het betreft hier een gebonden filter van zandasfalt.



Figuur 4.11 Overgangsconstructie tussen zuilen en asfaltbeton

Een voorbeeld van een schadegevoelige overgangsconstructie is weergegeven in Figuur 4.12. Deze overgangsconstructie is toegepast in een dijk nabij Nieuwe Sluis in Zeeland. Tijdens een storm werd de bekleding van basaltzuilen door het ontbreken van penetratie gedeeltelijk uitgelicht, waardoor het onderliggende filtermateriaal en het geotextiel kon wegspoelen. In tweede instantie is ook schade aan het asfalt opgetreden omdat het zand onder de bekleding van asfalt kon uitspoelen [10].

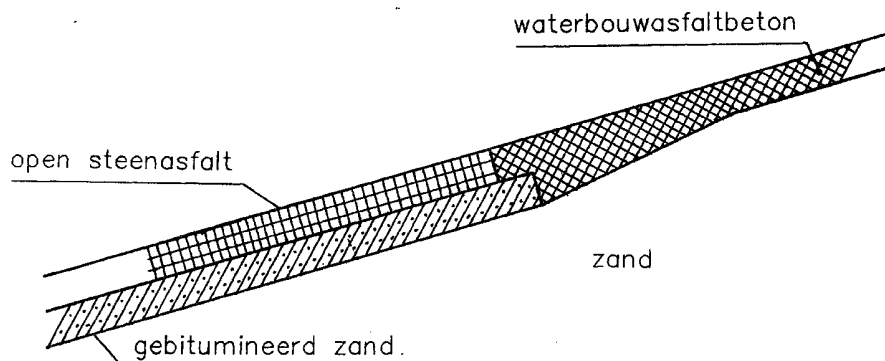


Figuur 4.12 Onjuiste overgangsconstructie (door het ontbreken van penetratie schade op een plaats waar zand onder asfalt makkelijk kan uitspoelen)

#### 4.3.6 Overgang van mat naar asfalt

De overgang van een blokkenmat naar asfaltbeton kan op dezelfde wijze uitgevoerd worden als bij een overgangsconstructie van blokken naar asfaltbeton, zoals weergegeven in Figuur 4.9. Eventueel kan in plaats van mijnsteen een onderlaag van gebitumineerd zand worden toegepast. Deze laag dient wel tot onder de asfaltbeton doorgetrokken te worden om een doorgaande verticale naad te vermijden.

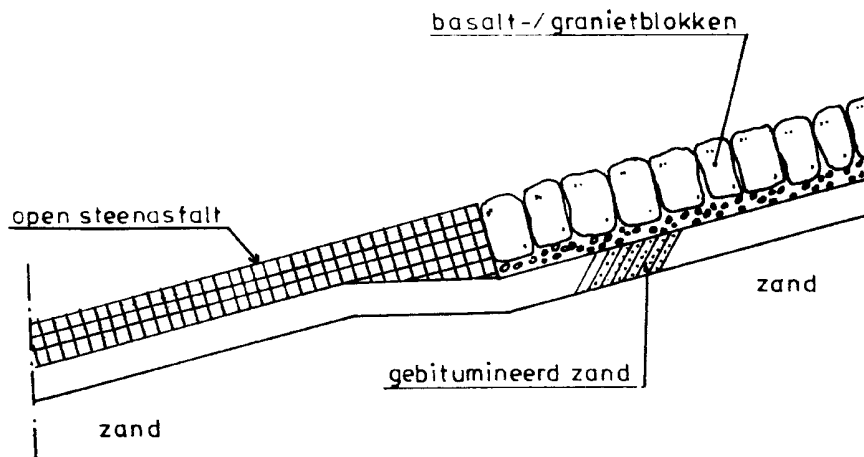
Figuur 4.13 geeft de overgang van open steenasfalt naar asfaltbeton weer. Het steenasfalt op gebitumineerd zand dient trapsgewijs aangesloten te worden op het asfaltbeton.



Figuur 4.13 Overgang van open steenasfalt naar asfaltbeton

#### 4.3.7 Overgang van asfalt naar gezette steen

Een voorbeeld van een overgangsconstructie van open steenasfalt naar zuilen op grind is afgebeeld in Figuur 4.14. De doorlopende onderlaag bestaat uit gebitumineerd zand. Doordat aan de bovenzijde van een asfaltbekleding door de bekisting tijdens de aanleg een rechte zijkant ontstaat, is de betonband tussen de asfalt en de zuilenbekleding overbodig.

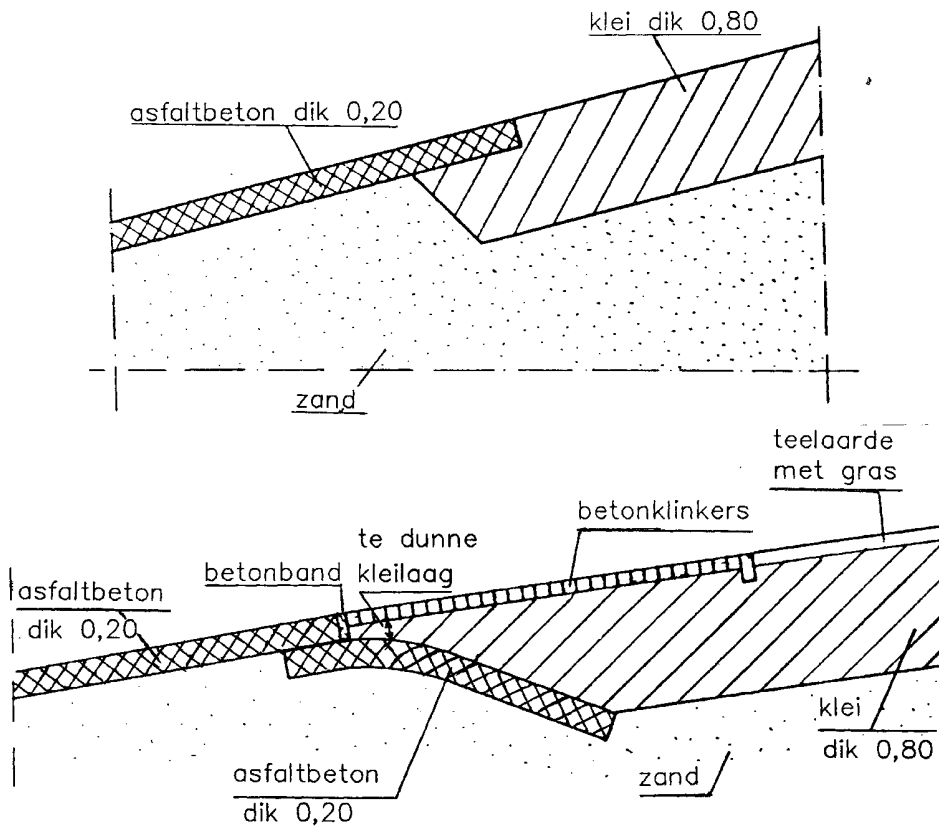


Figuur 4.14 Overgangsconstructie tussen open steenasfalt en zuilen

#### 4.3.8 Overgang van asfalt naar gras

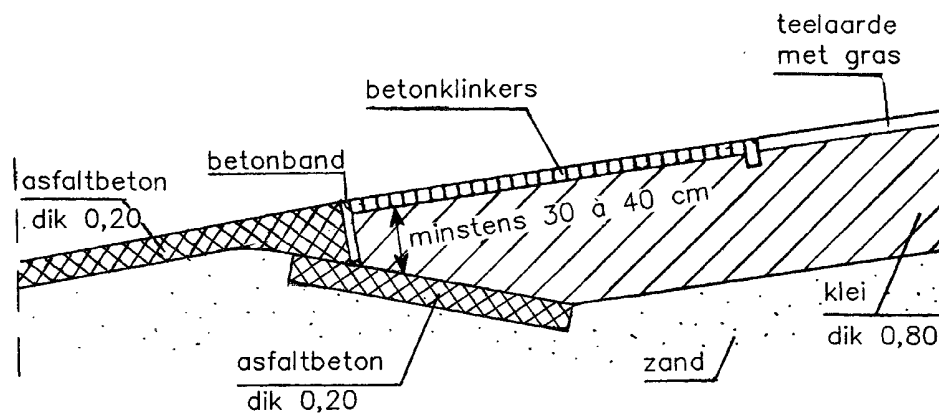
Aansluitingen van asfalt op klei kunnen uitgevoerd worden als aangegeven in Figuur 4.15. De doorgroeiblokken geven het gras extra sterkte op de plaats waar de belasting wat groter is door de overgang van het relatief gladde asfalt naar het gras.

Om uitdroging te voorkomen dient de kleilaag op het buitenbeloop en onder bekledingen minstens 80 cm dik te zijn. Bij de in de figuur afgebeelde bovenste constructie is de doorgaande naad naar de zandkern zeer goed geblokkeerd maar een dergelijke constructie is in de praktijk niet of nauwelijks te maken. Bij de onderste constructie is de verticale naad geblokkeerd door een aparte laag asfaltbeton. De aansluitende doorgroeiblokken of klinkers kunnen eventueel opgesloten worden door een betonband. De betonband tussen het asfaltbeton en de betonklinkers kan als bekisting gebruikt worden tijdens het aanbrengen van het asfaltbeton. Indien hiervoor een tijdelijke (houten) bekisting gebruikt wordt, kan de betonband in de definitieve constructie weggelaten worden.



Figuur 4.15 Overgang van asfalt naar gras

In verband met een goede grasgroei moet de kleilaag onder de doorgroeiblokken bij voorkeur meer dan 30 à 40 cm bedragen. In Figuur 4.15a is aan deze wens tegemoet gekomen.



Figuur 4.15a Overgang van asfalt naar gras met voldoende dikke kleilaag onder de doorgroeiblokken.

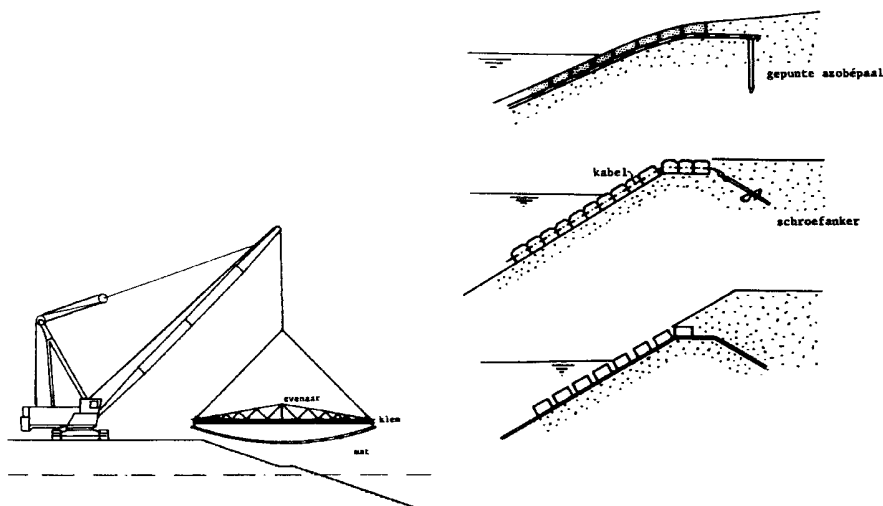
#### 4.3.9 Overgang tussen blokkenmatten

Bij blokkenmatten kan elke matrand weer als een overgangsconstructie gezien worden. Twee naast elkaar liggende matten moeten bij voorkeur gekoppeld worden, teneinde optimaal profijt te hebben van de interactie tussen de blokken. Als matten niet onderling verbonden worden, dan kunnen de hoeken en randen ervan omklappen, zeker als de onderlinge afstand tussen de matten meer dan 3 cm is. De stabiliteit is dan nauwelijks groter dan van individuele stenen. Bij een slechte uitvoering is zelfs een lagere stabiliteit denkbaar.

De koppeling moet op een wijze uitgevoerd worden die rekening houdt met de grote hydraulische krachten die op de constructie werken. Voor de berekening van de grootte van deze krachten wordt verwezen naar [4]. Daarbij kan de kracht op een koppeling gelijkgesteld worden aan de kracht op een fictieve ankerconstructie op het niveau van de koppeling.

Het uitspoelen van het filtermateriaal of basismateriaal moet voorkomen worden door het eventueel onder de mat aanwezige geotextiel 0,5 à 1 m te laten overlappen.

Aan de bovenzijde van de mat dient een verankering te worden toegepast, zodat afglijden wordt voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn gegeven in Figuur 4.16.



Figuur 4.16 Plaatsing van blokkenmat en enige verankeringsmethoden

