

WTI 2017 Cluster Toetsregels Kunstwerken

Handreiking aansluitconstructies (product 6.0F)

J. Bredeveld
B. van Bree

1220087-006

Titel
WTI 2017 Cluster Toetsregels Kunstwerken

Opdrachtgever
RWS

Project
1220087-006

Kenmerk
1220087-006-GEO-0002

Pagina's
50

Trefwoorden

WTI, overgangen, kunstwerken, aansluitingen, aansluitconstructies, eenvoudige toets

Samenvatting

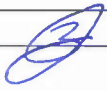
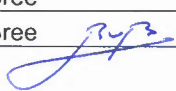
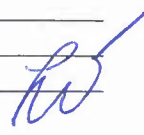
In het voorliggende rapport worden handreikingen gegeven voor het toetsen van aansluitconstructies. Vanwege het WTI-kader van dit onderzoek richt de scope zich specifiek tot het kwalitatief toetsbaar maken van de horizontale, schuine en verticale overgangen in het vlak van de buitencontour tussen waterkerende kunstwerken enerzijds en andere waterkeringstypen anderzijds, die zich onder normale hydraulische condities boven water bevinden. Er wordt echter verondersteld dat de eenvoudige beoordelingsmethode ook toepasbaar is voor de andere overgangen en aansluitingen op kunstwerken, die essentieel kunnen zijn voor het functioneren onder maatgevende (hydraulische) omstandigheden. Normfalen van een aansluiting wordt daarbij gedefinieerd als het optreden van initiële erosie van de buitencontour (aan de rivier- en polderzijde van de waterkering) onder invloed van externe hydraulische, chemische en mechanische belastingen.

Vooraf is al geconcludeerd dat voor het WTI 2017 het afleiden van generieke toetsregels voor het kwantitatief toetsen van de invloed van initiële erosie ter plaatse van alle typen aansluitingen op de andere beoordelingssporen niet haalbaar is. De onderliggende kwalitatieve handreikingen op basis van bestaande kennis, die ook betrekking kunnen hebben op het ontwerpen en inspecteren van aansluitconstructies, hebben zich dan ook beperkt tot:

- een heldere definitie van aansluitingen en aansluitconstructies;
- een praktische indeling in categorieën van typen aansluitconstructies (figuur 2-5);
- een lijst van de in Nederland meest voorkomende typen aansluitconstructies;
- fenomenologische beschrijvingen van een aantal van deze in Nederland meest voorkomende aansluitconstructies;

Op basis hiervan is in hoofdstuk 4 tot een eerste opzet voor een eenvoudige beoordelingsmethode gekomen. Deze omvat uitsluitend een kwalitatieve beoordeling van de primaire (als gevolg van de aanwezigheid) en secundaire (als gevolg van aanleg, beheer en onderhoud) effecten van de aansluitconstructie op de belasting en sterkte van de buitencontour. In bijlage D is er een opzet voor een aantal checklists gemaakt, welke als groeidocument zijn bedoeld en dientengevolge nog niet volledig zijn.

Voor verdere doorontwikkeling is ook nog een aantal aanbevelingen gedaan. Zo wordt er in globale zin gewezen op de doorontwikkeling en ontwerpaanpak bij overgangen naar grasbekledingen, die mogelijk ook bij aansluitingen als punt op de horizon kan worden gebruikt. Verder is de aanbeveling uit [FGR ovg 2014] voor het opzetten van een gestructureerde ervaringsdatabase met geobjectiverde kennis overgenomen, o.a. ter ondersteuning van het beoordelen van schadebeelden aan overgangsconstructies tijdens de levensduur. Digispectie van het Waterschapshuis kan hierbij als een veelbelovend hulpmiddel worden gezien.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
C1	dec. 2014	J. Bredeveld		B. van Bree		L. Voogt	
C2	apr. 2015	J. Bredeveld		B. van Bree		L. Voogt	
D1	jul. 2015	J. Bredeveld		B. van Bree		L. Voogt	

Status
definitief

Titel

WTI 2017 Cluster Toetsregels Kunstwerken

Opdrachtgever

RWS

Project

1220087-006

Kenmerk

1220087-006-GEO-0002

Pagina's

50

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.1.1 Probleembeschrijving	1
1.1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	2
1.2 Huidige stand van kennis	2
1.3 Leeswijzer	3
1.4 Literatuur	4
2 Terminologie en afbakening aansluitingen	7
2.1 Definities	7
2.1.1 Waterkerende kunstwerken	7
2.1.2 Overgangen en aansluitingen	7
2.1.3 Overgangs- en aansluitconstructies	8
2.1.4 Falen van een aansluitconstructie	10
2.2 Toepassingsgebied eenvoudige beoordeling aansluitingen	10
2.2.1 Toepassingsgebied vanwege scope WTI 2017	11
2.2.2 Toepassingsgebied buiten WTI 2017	12
2.3 Hoofdtypen van aansluitconstructies	12
2.3.1 Praktische indeling in categorieën	12
2.3.2 Veel in Nederland voorkomende typen aansluitconstructies	15
2.3.3 Typering meest voorkomende aansluitingen en aansluitconstructies	15
2.3.4 Detaillering beschikbare ontwerp oplossingen	18
3 Fenomenologische beschrijving	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Fenomenologische beschrijving aansluitconstructies	22
3.2.1 Bezwijkscenario's aansluitconstructie	22
3.2.2 Referentie: bezwijken buitencontour zonder aansluitconstructie	23
3.2.3 Initiatie bezwijkproces met aansluitconstructie	23
3.3 Fenomenologische beschrijving per hoofdtype	26
4 Handreikingen eenvoudige toets	27
5 Faalmechanisme, belasting- en sterktemodellen	29
5.1 Belastingmodellen aansluitconstructies	29
5.1.1 Hydraulische belastingmodellen	29
5.1.2 Erosiemodellen)	29
5.2 Sterktemodellen aansluitconstructies	30
6 Faalkans aansluitconstructies	31
7 Conclusies en aanbevelingen	32
7.1 Conclusies	32
7.2 Aanbevelingen	33

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

1.1.1 Probleembeschrijving

In [TAW-OD 1992] wordt aangegeven dat uit de inventarisatie van schadegevallen bij talud-bekledingen van dijken in de praktijk blijkt, dat juist op de plaats van overgangsconstructies vaak schade optreedt. Dit sluit aan op de conclusie van Expertise Netwerk Waterkeringen (ENW) die in [SBW-bkl 2012] is opgenomen. Mede op basis van observaties van bezweken waterkeringen¹ stelt zij daarin namelijk dat de initiatie van een dijkdoorbraak door schade aan of bezwijken van overgangsconstructies een belangrijk, maar onderbelicht onderwerp is. Het initiële erosieproces ter plaatse van dergelijke discontinuïteiten, dat invloed op andere faalmechanismen kan hebben, wordt nog onvoldoende begrepen.

Binnen het WTI-cluster Toetsregels Bekledingen worden overgangen beschouwd. In het geval van overgangen van 'harde' punt- en langsconstructies naar meer zachte waterkerings-typen (i.e. duinen en gronddijken) wordt volgens de definities in [DLT-ovgA 2013] over aansluitingen gesproken. Over de juiste terminologie rondom aansluitingen blijkt in de praktijk echter nog geen volledige duidelijkheid te zijn. Dit specifieke type overgangen wordt door WTI-cluster Toetsregels Kunstwerken nader beschouwd.

Het falen van een aansluiting ten gevolge van initiële erosie (van de buitencontour) tussen punt- en langsconstructies enerzijds en andere waterkeringstypen anderzijds kan uiteindelijk leiden tot het negatief beïnvloeden van alle relevante beoordelingssporen voor kunstwerken. De bijbehorende processen omtrent interne erosie worden binnen WTI-cluster Toetsregels Piping opgepakt. Hier worden alleen de beoordelingssporen *hoogte* en *sterkte en stabiliteit* (waarbij externe erosie niet tot constructief bezwijken, maar wel instabiliteit leidt) beschouwd, die naar verwachting het meest direct door het initiële erosieproces worden beïnvloed:

- erosie van de kruin juist naast de constructie, waardoor daar het waterbezwaar als gevolg van golfoverslag en/of overloop onacceptabel groot wordt;
- plaatselijke erosie van de grond juist naast een wandconstructie, waardoor deze langsconstructie en het gekeerde grondlichaam instabiel worden.

Kortom: de initiële (externe) erosie van aansluitingen dient bij punt- en langsconstructies in de beoordeling te worden meegenomen. Hierbij rijst ten eerste de vraag welke objecten en objectonderdelen in de beoordeling van aansluitingen moeten worden meegenomen. En vervolgens hoe deze beoordeling van aansluitingen dan dient plaats te vinden.

Er dient voor het beoordelen van de (gevoeligheid voor) initiële erosie ter plaatse van discontinuïteiten te worden gerealiseerd dat er, wat betreft overgangen en aansluitingen, sprake is van een breed scala aan typen, zie [SBW-bkl 2012]. Die kunnen zich zowel aan de buiten- als binnenzijde van de waterkering bevinden. Hiervoor worden in de praktijk geen eenduidige definities aangehouden. Dit bemoeilijkt een eenduidig beoordelingsproces. Verder

¹ Hierbij verwijst [SBW-bkl 2012] naar de observaties na de orkaan Katrina in de Verenigde Staten (augustus 2005) en de observaties na de wateroverlast en dijkdoorbraken als gevolg van extreme regens in Thailand (oktober 2011).

vereist een wettelijk toetsing van de betrouwbaarheid van aansluitingen op constructies in waterkeringen een set van generieke, kwantitatieve toetsregels die zijn gevalideerd.

1.1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Voor het WTI 2017 wordt het afleiden van generieke kwantitatieve toetsregels voor het toetsen van de invloed van initiële erosie ter plaatse van alle typen aansluitingen op de andere beoordelingssporen niet haalbaar geacht. Daarvoor ontbreken op dit moment simpelweg de passende rekenmodellen en de vereiste validatiegegevens uit experimenten.

Een set van aandachtspunten, vuistregels en/of maatregelen om initiële erosie ter plaatse van de meest voorkomende typen aansluitingen te voorkomen wordt wel haalbaar geacht. Deze set moet in de toekomst een gerichte inspectie of kwalitatieve Toets op Maat mogelijk maken. Waar mogelijk worden deze zaken onderbouwd met ervaringsgegevens dan wel een (kwalitatieve) beschrijving van het fysische gedrag onder extreme omstandigheden.

De doelstelling van deze activiteit binnen WTI 2017 Cluster Toetsregels Kunstwerken is dan ook het opstellen van een pragmatisch ingestoken kwalitatieve beoordelingsmethode van aansluitingsconstructies, die in ieder geval in toetslaag 1 binnen WTI (maar bij voorkeur ook in bredere zin) kan worden toegepast. Daartoe zijn in het projectplan voor 2014-2015, zie [WTI-ctk 2014], de volgende deelvragen onderscheiden:

- Welke hoofdtypen aansluitconstructies kunnen worden onderscheiden?
- Wat zijn de relevante faalmechanismebeschrijvingen voor aansluitconstructies?
- Welke (sequentie van) faalmechanismebeschrijvingen zijn van toepassing per hoofdtype?
- Welke kennisleemtes zijn er rondom de (sequentie van) faalmechanismebeschrijvingen?
- Zijn er eventueel (kwalitatieve) faalmechanisme-, belasting- en sterktemodellen beschikbaar? En zo ja, hoe passen deze modellen in de structuur van een foutenboom?
- Wat zijn (fysische) achtergronden en het geldigheidsgebied van deze modellen en hoe omgaan met situaties buiten het geldigheidsgebied?
- Welke aspecten inventariseren en inspecteren om een kwalitatieve uitspraak over de faalkans van een aansluitconstructie te kunnen doen?
- Welke aanbevelingen voor toets-, ontwerp- en inspectiedoeleinden?

Belangrijk onderdeel van een pragmatische beoordelingsmethode is het eenduidig kunnen vaststellen waarop de methode betrekking heeft. Vandaar dat eerst tot een eenduidige definitie van aansluitingen en aansluitconstructies moet worden gekomen, waarna helder kan worden gemaakt welke typen overgangen en aansluitingen wanneer buiten de scope vallen.

1.2 Huidige stand van kennis

In [TAW-OD 1992] is in het kader van het onderzoek naar de stabiliteit van dijkbekledingen de kennis tot dan toe gebundeld over overgangsconstructies tussen bekledingen van gezette steen, blokkenmatten, stortsteen, asfalt en gras, alsmede de aansluitingen naar de teen en de berm van een dijk en aansluitingen aan kunstwerken. Zowel de beschikbare ontwerpmethoden als de vergaarde kennis over uitvoeringsaspecten zijn hierin behandeld.

In [WL-asc 1995] is een advies geformuleerd over de toetsingsregels voor de vormgeving van de aansluiting tussen verschillende waterkeringsconstructies. Hierin komen ook praktijkvoorbeelden en de effecten van aansluitconstructies ter sprake.

In 2012 is binnen het SBW-programma op instigatie van het ENW het onderwerp faal-mechanismen bij overgangen en overgangsconstructies in primaire waterkeringen ter hand genomen. Begonnen is met een inventarisatie van de belangrijkste problemen bij en al bestaande oplossingen voor overgangen en overgangsconstructies, aan de hand van raadpleging van een panel van experts uit de waterkeringsector. Doel hiervan was het vaststellen van onderwerpen en prioriteiten voor nader onderzoek aan overgangen en overgangsconstructies in SBW in de komende jaren. In [SBW-bkl 2012] worden de resultaten van de brainstorm weergegeven en worden voorlopige conclusies geformuleerd ten aanzien van onderwerpen en prioriteiten. Aan de hand hiervan zijn in 2012 vervolgplannen binnen SBW Golfoverslag en Bekledingen opgesteld.

In [DLT-ovgA 2013] wordt globaal ingegaan op de huidige kennisbasis bij overgangen naar gras, steenzettingen, asfalt, losgestorte materialen en andere typen bekledingen. Het wordt afgesloten met een inventarisatie van oplossingsrichtingen in het geval dat een overgang een lokale zwakke plek in de waterkering veroorzaakt. Ook hier wordt onderscheid gemaakt naar overgangen naar gras, steenzettingen, asfalt, losgestorte materialen en andere typen bekledingen. Voor overgangen naar gras is dit generieke overzicht in [DLT-ovgB 2013] verder uitgewerkt. Daarbij is geput uit de kennis in ENW/TAW-rapporten en de ervaring opgedaan bij proeven met de golfoverslagsimulator, golfklapgenerator en Deltagoot. Deze proefresultaten zijn in [DLT-ovgB 2013] samengevat. Tot slot is in [DLT-ovgC 2014] een categorisering van overgangen naar gras opgesteld om ordening aan te brengen in de grote verscheidenheid aan typen. Verder zijn de eerder genoemde praktijkproeven in een database ingevoerd en geordend conform de opgestelde categorisering. Ook zijn verschillende oplossingsrichtingen voor het verbeteren van het ontwerp uitgewerkt, en is nagegaan op welke wijze de aantoonbaarheid van deze oplossingsrichting bij voorkeur zou moeten plaatsvinden.

Een van de bronnen binnen het bovenstaande onderzoek is het project FloodProBE, dat binnen het Zevende Kaderprogramma van de Europese Unie is uitgevoerd. Binnen een van de werkpakketten zijn overgangen onderzocht. Dit heeft in [EU-flood 2012] onder meer geleid tot een gelijksoortige indeling en een verkenning van mogelijkheden en aanbevelingen voor nader onderzoek naar overgangen.

In het verlengde van [DLT-ovgA 2013] en [DLT-ovgB 2013] zijn in [FGR-ovg 2014] handreikingen aangedragen voor ontwerpers en beheerders van overgangen (bij grasbekledingen). Hierbij wordt zoveel mogelijk aangesloten op de wettelijk gestelde eisen aan dijkbekledingen, die in [RWS-DB1 2013] globaal worden beschreven.

Tot slot worden nog twee recente afstudeerprojecten van TU Delft-studenten genoemd. Hierbij richt [TUD-ovtp 2013] zich op de erosie van grasbekledingen onder invloed van golf-overslag, terwijl [TUD-ovtp 2014] gaat over het ontwerp van het binnentalud van de Afsluitdijk onder invloed van een groot overloopvolume. In het laatstgenoemde onderzoek wordt ook een beknopt overzicht van uitgevoerde praktijkproeven gegeven.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden eerst de relevante terminologie wat betreft overgangen en aansluitingen op een rijtje gezet, waarmee in paragraaf 2.2 tot een duidelijke afbakening van het toepassingsgebied van de eenvoudige beoordeling (in het kader van WTI 2017 én buiten WTI) wordt gekomen. Hierbij wordt veelvuldig gebruik gemaakt van voorbeelden van objecten waarin de aansluitingen worden aangegeven. Vervolgens wordt in paragraaf 2.3 gekomen tot een praktische categorisering waarmee tot de hoofdtypen van aansluitconstructies wordt gekomen.

In de fenomenologische beschrijving in hoofdstuk 3 wordt in algemene zin ingegaan op de relevante (sequentie van) faalmechanismen voor aansluitconstructies. Daartoe wordt er in paragraaf 3.2 onderscheid gemaakt naar de oorzaak van bezwijken ter plaatse van een discontinuïteit, en het gevolg hiervan in de vorm van een verhoogde impact van (hydraulische) belastingen. In het verlengde van de aanpak bij overgangen naar grasbekledingen wordt hierbij onderscheid gemaakt naar primaire en secundaire effecten om de invloed van de aansluiting op de belasting en sterkte van de bekleding te duiden. Voor een beperkt aantal typen aansluitconstructies is een faalmechanismebeschrijving ontleend aan [SBW-bkl 2012] in bijlage B.2 opgenomen. Met deze kennis is tot de kwalitatieve eenvoudige toets (inclusief een korte toelichting per stap) in hoofdstuk 4 gekomen.

In hoofdstuk 5 wordt een beperkte lijst van beschikbare (theoretische) rekenmodellen in o.a. (vigerende) Technische rapporten en Handreikingen, en de beschikbare informatie over de geldigheid bij het beschouwen van aansluitconstructies gegeven. In hoofdstuk 6 wordt aangegeven hoe deze modellen in de structuur van een foutenboom passen.

In de hoofdstukken 7 wordt afgesloten met respectievelijk de conclusies en aanbevelingen voor het toetsen, ontwerpen en inspecteren van aansluitconstructies. Daarbij wordt afgesloten met een lijstje van de verantwoordelijkheid in het doorontwikkelen van het (toets)-instrumentarium voor overige overgangen en aansluitingen zoals dat door WTI 2017 Cluster Toetsregels Kunstwerken wordt gezien.

1.4 Literatuur

De volgende bronnen zijn geraadpleegd bij het opstellen van deze handreiking:

[CUR-115 2011]

CUR aanbeveling C 115 - Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw,
Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, 2011;

[DLT-ovgA 2013]

Overgangen en overgangsconstructies,
Deltares, kenmerk 1208394-000-HYE-0011 v2 definitief, november 2013;

[DLT-ovgB 2013]

Overgangen bij grasbekledingen in primaire waterkeringen,
Deltares, kenmerk 1208394-000-HYE-0012 v2 definitief, november 2013;

[DLT-ovgC 2014]

Bureaustudie overgangen met gras in primaire waterkeringen – voorstudie ten behoeve van
fysiek modelonderzoek;
Deltares, kenmerk 1209380-006-VEB-0003 v2 concept, september 2014;

[ENW-trd 2007]

Technisch Rapport Duinafslag,
Expertise Netwerk Waterkeringen, 2007;

[EU-flood 2012]

WP 3: Reliability of Urban Flood Defenses – D3.1 Guidance on improved performance of
urban flood defences,
FloodProBE (EU FP7-project), technical report WP3-01-12-11, december 2012;

[EurOtop 2007]

EurOtop wave overtopping of sea defences and related structures: assessment manual, Environment Agency/Expertise Netwerk Waterkeren/Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, augustus 2007;

[FGR-ovg 2014]

Aanzet tot (bouwstenen voor) ontwerphandreiking overgangsconstructies, Fugro Geoservices, opdracht nummer 1213-0077-000 v3, 5 maart 2014;

[IAHR 2015]

Transition structures in grass covered slopes of primary flood defences tested with the wave impact generator, P. van Steeg (Deltares), A. Labrujere (RWS), R. Mom (Infram), E-proceedings 36th IAHR World Congress (28 juni - 3 juli 2015 te Den Haag);

[JvdM-ovg 2011]

Voorbeelden van overgangsconstructies (notitie n.a.v. brainstormsessie), Jentsje van der Meer, november 2011;

[MVW-vtv 2006]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 978 90 369 5762 5, september 2007;

[MVW-vtvT 2011]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Technisch deel (concept), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, juli 2012;

[RWS-htg 2012]

Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, Rijkswaterstaat, versie definitief, 25 oktober 2012;

[RWS-trd 2013]

Technisch Rapport Dijkbekledingen – Deel 2: Asfalt, Rijkswaterstaat, versie concept, 25 maart 2013;

[SBW-bkl 2012]

SBW Golfoverslag en Bekledingen deelproject Overgangsconstructies - Expert raadpleging; verslag EBR-sessie, Deltares, kenmerk 1204204-011-GEO-0006-jvm v3 definitief, maart 2012;

[TAW-OD 1992]

Overgangsconstructie in dijkbekledingen – Bundeling van huidige kennis; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, oktober 1992;

[TAW-GG 2002]

Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 2002;

[TAW-STa 2003]

Technisch Rapport Steenzettingen, Toetsing, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5551-3, december 2003;

[TAW-STb 2003]

Technisch Rapport Steenzettingen, Ontwerp,
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5551-3, december 2003;

[TAW-STc 2003]

Technisch Rapport Steenzettingen, Achtergronden,
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5551-3, december 2003;

[TUD-ovtp 2013]

Vulnerability of Structural Transitions in Flood Defenses – Erosion of Grass Covers due to
Wave Overtopping (MSc Thesis),
R. Pijpers (1360884), TU Delft – faculteit Civiele Techniek en Geosciences, mei 2013;

[TUD-ovtp 2014]

Wave Overtopping Resilient 'Afsluitdijk' - Design Procedures for Landward Slope Erosion
Stability during Large Overtopping Volume Events (MSc Thesis),
P.M. Landa (1264966), TU Delft – faculteit Civiele Techniek en Geosciences, 9 januari 2014;

[WL-asc 1995]

Toetsing aansluitconstructies,
WL|Delft Hydraulics, kenmerk H2178, Delft, november 1995;

[WTI-ctk 2014]

Programma WTI 2017, onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium -
Projectplan Cluster Toetsregels Kunstwerken 2014,
Deltares, kenmerk 1209438-000-GEO-0001 v2 definitief, januari 2014;

[WTI-ind 2014]

WTI 2017 Toetsregels Kunstwerken, Product 6.0B – Handreiking keuze toetsaanpak per
object (deelproduct a: Heldere definiëring typen objecten),
Deltares, kenmerk 1209438-006-GEO-0003 vD1 definitief, september 2014;

2 Terminologie en afbakening aansluitingen

2.1 Definities

2.1.1 Waterkerende kunstwerken

Conform WTI-rapportage [WTI-ind 2014] kan er bij kunstwerken in of op de waterkering ten eerste onderscheid worden gemaakt tussen waterkerende en niet-waterkerende objecten. Dit onderscheid wordt logischerwijze bepaald door het al dan niet leveren van een bijdrage aan de waterkerende functie van de beschouwde doorsnede met het object. Verder wordt er in [WTI-ind 2014] bij beide typen objecten voorgesteld om, vanwege de link naar een passende veiligheidsfilosofie, in het beoordelen punt- en langsconstructies te onderscheiden. Bijlage D van [WTI-ind 2014] geeft een overzicht van de waterkerende objecten.

2.1.2 Overgangen en aansluitingen

In [DLT-ovgA 2013] wordt een helder overzicht van definities en indelingen gepresenteerd, en dit actuele document wordt dan ook als basis aangehouden. Hierin wordt de term 'overgang' gezien als een verzamelterm van alle denkbare ruimtelijke veranderingen (dus niet in de tijd) in de bekleding of constructie van een primaire waterkering. Volgens deze definitie gaat het hierbij om overgangen in het vlak van de buitencontour² van de waterkering.

In [FGR-ovg 2014] wordt geconcludeerd dat hieronder vallen:

- overgangen tussen verschillende typen bekledingen;
- overgangen tussen niet-waterkerende objecten (NWO's) en waterkeringen;
- overgangen tussen verschillende typen waterkeringen.

De laatstgenoemde sub-set van overgangen worden aansluitingen³ genoemd. In lijn met [DLT-ovgA 2013] worden in het vervolg dan ook de volgende definities aangehouden:

Overgang

Een ruimtelijke verandering (dus geen veranderingen in de tijd) in de bekleding of constructie in het vlak van de buitencontour van een primaire waterkering.

Aansluiting

Overgang tussen twee verschillende typen waterkeringen (dijken en dammen, duinen, waterkerende kunstwerken en hoge gronden).

Voor de volledigheid worden evenals als in [DLT-ovgA 2013] ook overgangen (via een teenconstructie of duinvoetverdediging) naar voor- en achterland van een waterkering genoemd.

- Het voorland (of de vooroever) is het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering, dat zowel onder als boven water kan liggen.

²⁾ De definitie van overgang volgens [DLT-ovgA 2013] sluit overgangen loodrecht op het vlak van de buitencontour, zoals de overgang van een steenzetting op een onderliggende filterlaag, expliciet uit.

³⁾ Conform [DLT-ovgA 2013] zit het onderscheid tussen dijk en dam in de begrenzingen: bij een dijk is aan één zijde land aanwezig, terwijl bij een dam aan beide zijden water aanwezig is.

- Het achterland is het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering en is het gebied dat beschermd dient te worden tegen overstroming.

In [DLT-ovgA 2013] is de invloedzone van een overgang gedefinieerd als het gedeelte van de waterkering waar de overgang invloed heeft op de stabiliteit. In [FGR-ovg 2014] wordt hieruit geconcludeerd dat de overgang ook een gedeelte van aansluitende bekledingen kan beslaan.

2.1.3 Overgangs- en aansluitconstructies

Met overgangs- en aansluitconstructies wordt bedoeld op de (constructieve) maatregelen die er primair voor zijn om de betreffende overgangen voldoende veilig te kunnen realiseren binnen de gestelde randvoorwaarden (bijvoorbeeld stabiel maken). In het vervolg worden de volgende definities worden in lijn met [DLT-ovgA 2013] aangehouden:

Overgangsconstructie

Een constructieve maatregel bij een overgang.

Aansluitconstructie

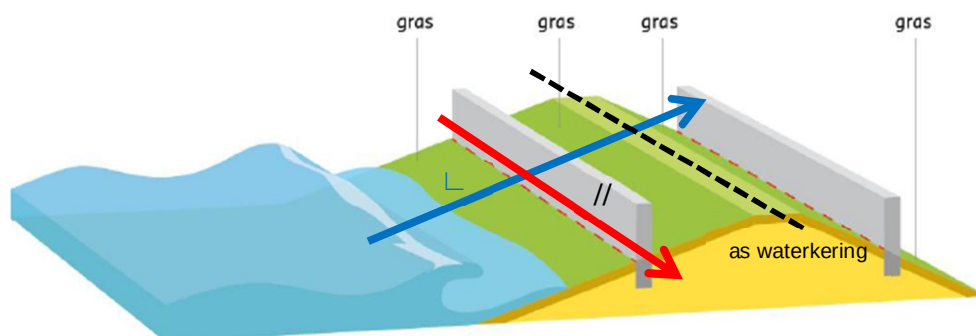
Gehele dwars- en lengteprofiel van een aansluiting bij de overgang van een waterkerend kunstwerk naar een dijk, dam, duin of hoge gronden, met als primair doel om de aansluiting te kunnen realiseren binnen de gestelde randvoorwaarden. Dit dwars- en lengteprofiel wijkt af van de aangrenzende doorsneden qua type bekleding in de buitencontour en/of door de aanwezigheid van constructieve elementen in de waterkering.

Conform [MWV-vtv 2006] is bij een geleidelijke overgang tussen een 'zacht' duinprofiel en een 'hard' dijkprofiel de lengte van de aansluitconstructie gelijk aan de lengte waarover in de harde constructie (dijk)profielaanpassingen zijn aangebracht met het oog op de overgang.

N.B. In het verlengde van [FGR-ovg 2014] wordt opgemerkt dat de lengte van een overgangsconstructie (ten opzichte van de lengten van de bekledingen of constructies waartussen deze een overgang vormt) ook zou moeten worden meegenomen.

In aanvulling op de bovenstaande definities wordt, in verband met de scope, nader onderscheid naar de feitelijke locatie van de overgang op de waterkering noodzakelijk geacht:

- Zoals al aangegeven in paragraaf 2.1.2 zijn **overgangen in het voor- en achterland** van een kunstwerk geen aansluitingen. De overgangen van onbeschermd naar beschermde bodem, en van beschermde bodem en het kunstwerk, betreffen immers geen overgangen van een waterkerend kunstwerk naar een ander waterkeringstype.

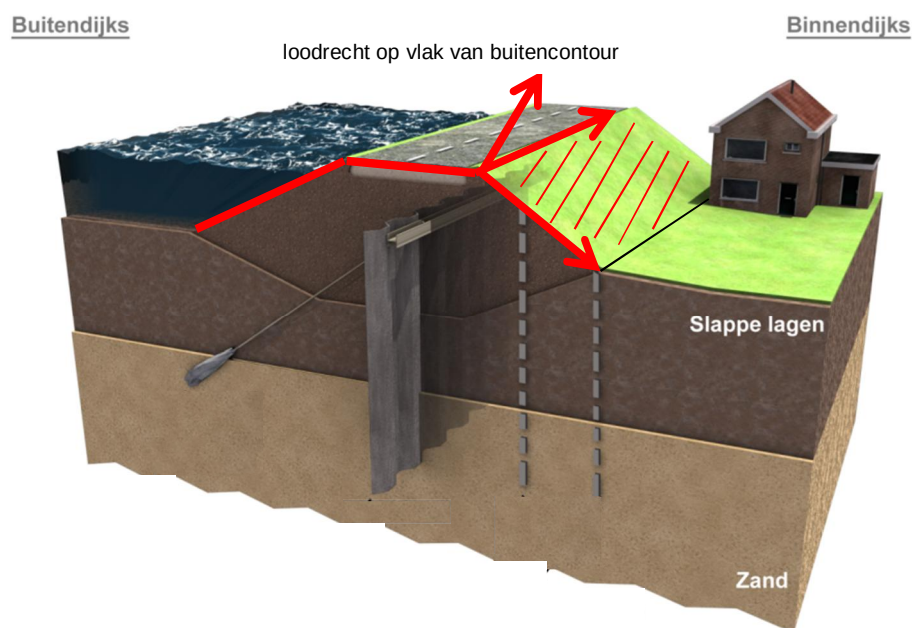


Figuur 2-1: Impressie van overgang grasbekleding-wand in binnen- en buitentalud uit [DLT-ovgC 2014]

- Er kan ook sprake zijn van **overgangen binnen de 'kunstwerk-doorsnede'**, die dus formeel niet als een aansluiting kunnen worden beschouwd. Dit wordt in figuur 2-1 verduidelijkt. In het binnen- en buitentalud betreft het loodrecht op de as van de waterkering (blauw) horizontale overgangen tussen grasbekleding en wandconstructie, aangezien er hier geen sprake is van overgangen naar een ander waterkeringstype.

N.B. In figuur 2-1 zou een beëindiging van de wandconstructies parallel aan de as van de waterkering (rood) wel als een aansluiting moeten worden gezien.

- Uitgaande van bepaalde (hydraulische) belastingcondities, kan er nader onderscheid worden gemaakt tussen de aansluitingen die onder die betreffende belastingcondities **invloed hebben op het goed functioneren**⁴ van het waterkerende kunstwerk.
- Verder kan er nader onderscheid worden gemaakt naar de **zichtbaarheid van (delen van) de aansluiting**. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het vlak van de buitencontour van de waterkering, die in de doorsnede in figuur 2-2 met rood wordt aangegeven.



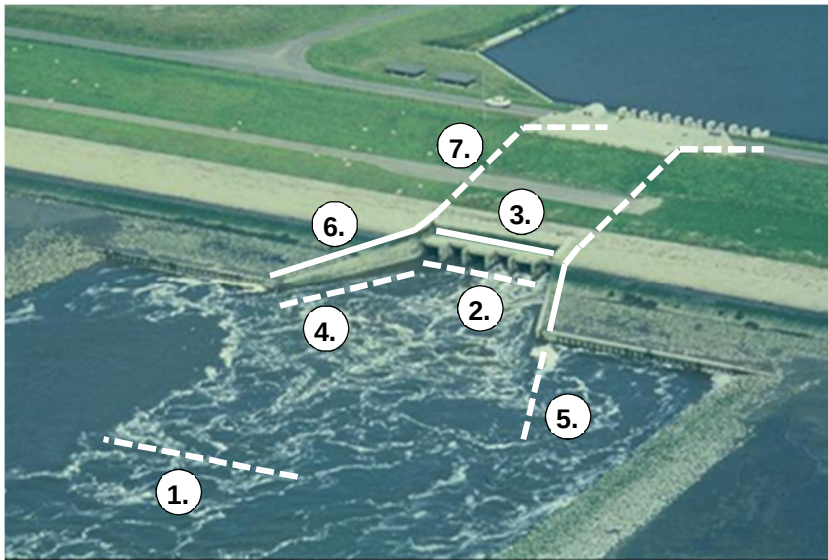
Figuur 2-2: Toelichting op het vlak van de buitencontour van waterkering

Zichtbare delen van de aansluitconstructie bevinden zich dan in het vlak van buitencontour. De onzichtbare delen kunnen zich onder maaiveld – zoals (delen van) een achterloopseidscherm – of onder de rivier- dan wel zeebodem bevinden.

N.B. Van dit vlak wordt ook gebruik gemaakt bij het behandelen van de horizontale, verticale of schuine oriëntatie van overgangen en aansluitingen (zie figuur 2-5).

⁴ Onder normale hydraulische condities (waarbij er geen sprake is van overloop en/of overslag) hebben aansluitingen in het binnentalud als het goed is geen invloed op het functioneren van het waterkerende kunstwerk.

Ter verduidelijking van het bovenstaande wordt in figuur 2-3 een situatie bij een spuisluis met schuine vleugelwanden weergegeven, met alle genoemde soorten overgangen en aansluitingen tussen het kunstwerk en de beklede gronddijk.



- LEGENDA:
1. overgang onbeschermd → beschermd bodem
 2. overgang beschermd bodem → vloerconstructie van kunstwerk
 3. overgang dakconstructie van kunstwerk → bekleding
 4. overgang beschermd bodem → vleugelwand van kunstwerk
 5. overgang beschermd → onbeschermd bodem onder normaal waterpeil
 6. aansluiting kunstwerk → dijk boven normaal waterpeil (zichtbaar)
 7. aansluiting kunstwerk → dijk boven normaal waterpeil (onzichtbaar)

Figuur 2-3: Onderscheid naar locatie overgangen o.b.v. luchtfoto spuisluis bij Bath (bron: Beeldbank RWS)

2.1.4 Falen van een aansluitconstructie

In paragraaf 3.2.1 wordt ingegaan op de bezwijkscenario's van aansluitconstructies, waaraan zowel interne als verschillende vormen van externe erosie een bijdrage leveren. In lijn met deze scenario's wordt in het onderhavige onderzoek falen van een aansluiting gedefinieerd als het optreden van initiële erosie van de buitencontour (aan de rivier- en polderzijde van de waterkering) onder invloed van externe (hydraulische) belastingen. Het vervolgproces tot volledig falen van de aansluitconstructie wordt daarmee in dit voorstel voor de eenvoudige beoordelingsmethode als reststerkte opgevat.

2.2 Toepassingsgebied eenvoudige beoordeling aansluitingen

Het toepassingsgebied van dit voorstel voor een eenvoudige beoordelingsmethode van aansluitingen voor (in ieder geval) het WTI wordt toegelicht met in het achterhoofd:

- het eenduidige onderscheid tussen overgangen en aansluitingen (paragraaf 2.1.2),
- het nadere onderscheid naar de exacte locatie van de overgang (paragraaf 2.1.3) en
- de definitie van falen van een aansluitconstructie volgens paragraaf 2.1.4.

2.2.1 Toepassingsgebied vanwege scope WTI 2017

Het onderhavige onderzoek richt zich specifiek op het komen tot een eenvoudige beoordeling om kwalitatief te toetsen of aansluitingen bijdragen aan de faalkans van het waterkerende kunstwerk dat onder invloed van hoogwatercondities staat. Deze WTI-beoordelingsmethode kan zich zodoende beperken tot:

- overgangen tussen waterkerende kunstwerken enerzijds en andere typen waterkeringen anderzijds. Ter illustratie wordt deze scope weergegeven in tabel 2-1, dat een overzicht geeft van de andere mogelijke overgangen.

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

scope onderhavig onderzoek

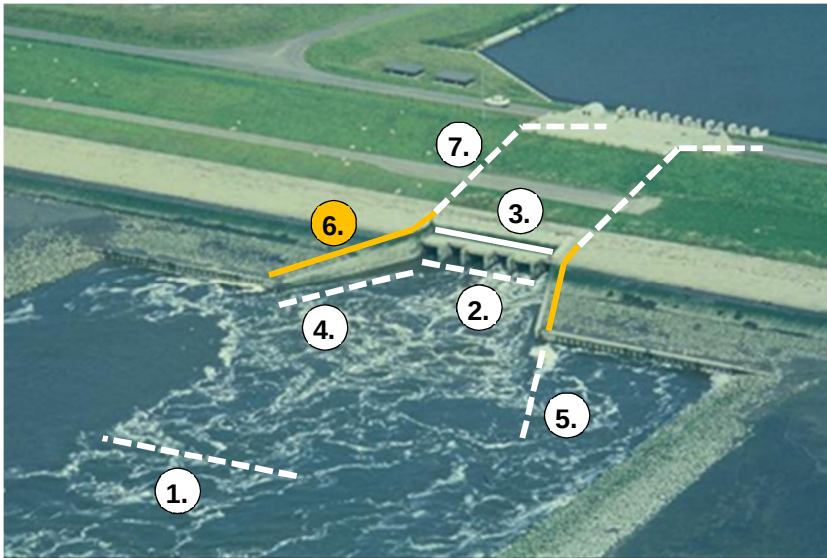
Tabel 2-1: Overzicht mogelijke overgangen (in grijs 'dubbelingen') volgens [DLT-ovgA 2013] en scope onderzoek

- het kwalitatief toetsbaar maken van de verticale, schuine en horizontale aansluitingen in het vlak van de buitencontour van de waterkering (zie figuur 2-2).
- het kwalitatief toetsbaar maken van de risico's die een aansluiting onder invloed van hoogwatercondities kan ondervinden, waardoor alleen die aansluitingen moeten worden beschouwd die invloed hebben op het goed functioneren van het waterkerende kunstwerk bij hoogwater (bij grote vervallen over deze waterkering) en/of hoge golven.

Door de gekozen definitie van falen van een aansluiting kan hier als vereenvoudiging worden gesteld dat het hierbij alleen gaat om aansluitingen die zich onder normale hydraulische condities boven water bevinden.

Deze afbakening van de WTI-scope (zie figuur 2-4) impliceert dat de reststerkte van een waterkering na falen van een aansluiting volgens de definitie in paragraaf 2.1.4 hier bij het toetsen van aansluitingen buiten beschouwing blijft. De integriteit van het (onder het vlak van de buitencontour aanwezige) deel van aansluiting (bv onder- dan wel achterloopsheidscherm) maakt immers geen onderdeel uit van de scope.

Een deel van de reststerkte van een waterkering na falen van een aansluiting wordt overigens binnen andere toetssporen van WTI Cluster Toetsregels Kunstwerken beschouwd. Zo wordt binnen het toetsspoor *piping* het proces van interne erosie bij een kunstwerk beschreven, waarbij ook wordt aangegeven waar de reststerkte zit.



Figuur 2-4: WTI-scope eenvoudige beoordeling o.b.v. luchtfoto spuisluis bij Bath (bron: Beeldbank RWS)

2.2.2 Toepassingsgebied buiten WTI 2017

Uit het voorgaande blijkt dat er een aantal overgangen binnen de dwarsdoorsnede van een waterkerend kunstwerk en aansluitingen op een waterkerend kunstwerk buiten de WTI-scope valt. Er wordt hier echter verondersteld dat de voor WTI 2017 opgeleverde eenvoudige beoordelingsmethode ook toepasbaar is voor:

- overgangen in het voor- en achterland van een waterkerend kunstwerk;
- overgangen binnen de 'kunstwerk-doorsnede';
- onzichtbare aansluitingen die bijdragen aan de faalkans van een waterkerend kunstwerk onder invloed van hoogwatercondities;
- (on)zichtbare aansluitingen die bijdragen aan de faalkans van een waterkerend kunstwerk onder invloed van andere dan hoogwatercondities (bv waterval).

Met het doorontwikkelen tot een kwantitatieve (gedetailleerde) beoordelingsmethode moet echter rekening worden gehouden met de mogelijkheid, dat verschillende belastingcondities ook een verschillende kwantitatieve invulling van de beoordeling vereisen.

2.3 Hoofdtypen van aansluitconstructies

2.3.1 Praktische indeling in categorieën

In deze paragraaf wordt tot de praktische indeling van aansluitconstructies in figuur 2-5 gekomen, waarmee inzicht wordt verkregen in de grote verscheidenheid aan voorkomende typen. Het komen tot een indeling is geen doel op zich. Het inzicht helpt echter in het komen tot een gestructureerde aanpak voor toetsen, ontwerpen en inspecteren van aansluitingen. De kleuren, waarmee in figuur 2-5 onderdelen van de indeling van aansluitingen zijn gearceerd, worden toegelicht in het vervolg van deze paragraaf.

	BELASTING-ZONE B	ORIENTATIE O	HOOGTEVERSCHIL en RUWHEID H	
aansluiting	B1 onder water	O1 horizontaal	H1 hoogteverschil	T1
			H2 ruwheidverschil	T2
		O2 verticaal	H1 hoogteverschil	T3
			H2 ruwheidverschil	T4
		O3 schuin	H1 hoogteverschil	T5
			H2 ruwheidverschil	T6
	B2 golffimpact-zone	O1 horizontaal	H1 hoogteverschil	T7
			H2 ruwheidverschil	T8
		O2 verticaal	H1 hoogteverschil	T9
			H2 ruwheidverschil	T10
		O3 schuin	H1 hoogteverschil	T11
			H2 ruwheidverschil	T12
	B3/B4 golfoploop-zone	O1 horizontaal	H1 hoogteverschil	T13
			H2 ruwheidverschil	T14
		O2 verticaal	H1 hoogteverschil	T15
			H2 ruwheidverschil	T16
		O3 schuin	H1 hoogteverschil	T17
			H2 ruwheidverschil	T18
	B5 golfoverslag-zone	O1 horizontaal	H1 hoogteverschil	T19
			H2 ruwheidverschil	T20
		O2 verticaal	H1 hoogteverschil	T21
			H2 ruwheidverschil	T22
		O3 schuin	H1 hoogteverschil	T23
			H2 ruwheidverschil	T24

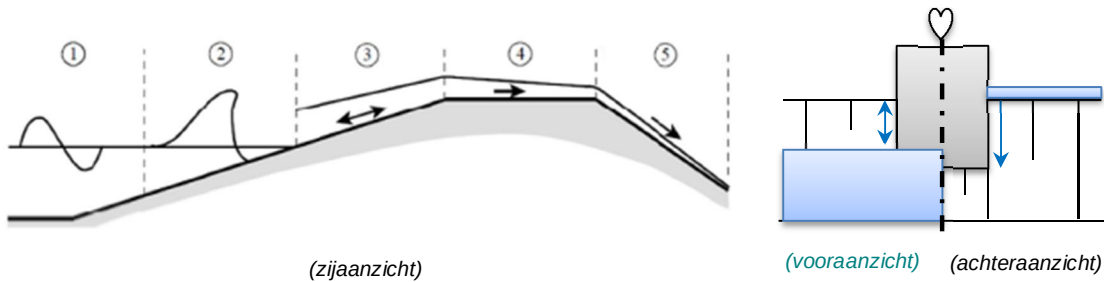
Figuur 2-5: Overzicht van typen overgangs- en aansluitconstructies o.b.v. mogelijke combinaties⁵ van type belasting (B), oriëntatie (O) en ruwheids- en hoogteverschil (H) naar [DLT-ovgC 2013], waarbij in verband met de afbakening delen blauw (niet van toepassing voor WTI 2017) en grijs (weinig voorkomend) zijn gekleurd

Toelichting op gekozen categorisering

In overeenstemming met de indeling in [DLT-ovgA 2013] en aanpak in [DLT-ovgC 2014] wordt door een praktische keuze tussen mogelijke invalshoeken (keringtype, geometrie van de overgang, fysica, locatie op kering qua hydraulische belasting, beheer en inspectie) tot de categorisering van aansluitconstructies op het keringtype kunstwerken in figuur 2-5 gekomen:

⁵ In de algemene categorisering volgens figuur 2-2 zal een aantal typen mogelijk niet of nauwelijks in de praktijk worden tegengekomen. Dit onderscheid is in de figuur niet gemaakt.

- locatie op de kering qua hydraulische belasting (belastingzone, zie figuur 2-6):
 - B1 onder water onder normale hydraulische condities (zone 1)
 - B2 golfimpactzone onder normale hydraulische condities (zone 2)
 - B3 golfoploop/neerloop zone (zone 3)
 - B4/B5 golfoverslagzone (zone 4 en 5)

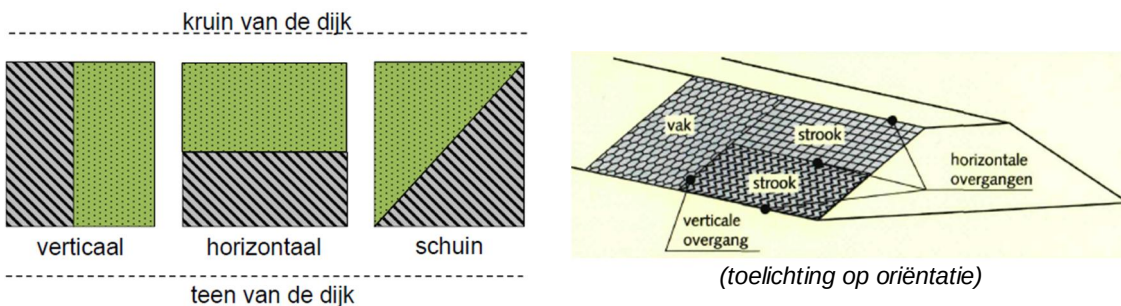


Figuur 2-6: Categorisering naar locatie op de dijk volgens [DLT-ovgA 2013]

N.B. Deze onderverdeling wijkt af van de onderverdeling volgens [DLT-ovgC 2014], waarin golfoploop/neerloop zowel in zone 3 als zone 4 optreedt en golfoverslag alleen in zone 5. De bovenstaande interpretatie lijkt echter beter op de fysica en de definitie van golfoverslag⁶ volgens [TAW-GG 2002] aan te sluiten, en wordt in het onderliggende rapport dan ook aangehouden.

Overigens zijn de (in figuur 2-5 blauw gekleurde) aansluitingen in de golfimpactzone onder normale condities wel bij het ontwerp, maar niet in het kader van WTI 2017 van belang. Dit heeft te maken met de gekozen afbakening, dat bij het toetsen alleen naar aansluitingsconstructies onder invloed van hoogwatercondities wordt gekeken.

- geometrie (i.e. oriëntatie van de aansluiting, zie figuur 2-7):
 - O1 horizontaal
 - O2 verticaal
 - O3 schuin



Figuur 2-7: Categorisering naar oriëntatie van de overgang volgens [DLT-ovgA 2013] en [TAW-STa 2003]

⁶ [TAW-GG 2002] geeft aan dat golfoverslag t.o.v. de hoogte van de buitenkruinlijn wordt berekend, en dat ervan wordt uitgegaan dat deze overslag ook de achterkant van de kruin en het binnentalud bereikt;

Overigens zal er met de huidige afbakening van wat wel en geen aansluitingen zijn (zie paragraaf 2.1) in de praktijk weinig sprake zijn van horizontale aansluitconstructies. Dit is de aanleiding dat deze typen in figuur 2-5 grijs zijn weergegeven.

- geometrie (hoogteverschillen en ruwheidsverschillen, zie figuur 2-8):
 - R1 hoogteverschil
 - R2 geen hoogteverschil, maar ruwheidsverschil



Figuur 2-8: Categorisering naar hoogteverschil en ruwheidsverschil volgens [DLT-ovgA 2013]

Voor dit moment wordt de categorisering op basis van de fysica (sterk verbonden met de locatie op de dijk) en het type beheer en inspectie vooralsnog achterwege gelaten. Ook een onderscheid naar geometrie wat betreft het type knik wordt voorlopig buiten beschouwing gelaten, daar bij aansluitingen over het algemeen sprake is van een hoogteverschil in plaats van een concave dan wel convexe knik.

2.3.2 Veel in Nederland voorkomende typen aansluitconstructies

In [DLT-ovgA 2013] wordt een aantal mogelijkheden voor indelingen van overgangen op een rij gezet. Hierbij wordt gesteld dat deze indelingen zuiver theoretisch zijn. Er kunnen vele sub-categorieën worden gedefinieerd, waardoor het aantal categorieën van overgangen theoretisch gezien nog veel groter kan worden. Gezien het doel – een praktische handreiking voor gebruik in toetslaag 1 over hoe in de beoordeling met aansluitconstructies om te gaan – ligt het meer voor de hand om gericht te zoeken naar aansluitingen en aansluitconstructies die in de Nederlandse situatie veel voorkomen.

In het onderzoek ten behoeve van [DLT-ovgA 2013] is daartoe gericht gezocht (in rapportage Derde Toetsronde) naar overgangen die in de Nederlandse situatie veel voorkomen. Hierbij de aantekening om ervoor te waken op grond van de toetsingsresultaten problemen met overgangsconstructies te onderschatten. Lacunes in voorschriften op dit gebied worden niet in de toetsing ontdekt, maar komen pas tijdens extreme belastingsituaties aan het licht.

In [SBW-bkl 2012] is met experts een inventarisatie uitgevoerd van de belangrijkste typen van overgangen of overgangsconstructies in Nederland waarbij initiële schade een belangrijke oorzaak van doorbraak van de waterkering kan zijn. In deze raadpleging behoorden ook overgangen naar NWO's en kunstwerken tot de scope van het onderzoek. De lijst is als bijlage B.1 opgenomen, waarin aansluitingen en aansluitconstructies in vet zijn benadrukt. Na deze inventarisatie is ook een prioritering van de belangrijkste typen overgangen en overgangsconstructies aangebracht. Een samenvatting van de geïnterpreteerde expertkennis wordt in bijlage B.2 gegeven. Deze geprioriteerde lijst, inclusief de vermelding van het item-nummer uit bijlage B.1, is tevens in paragraaf 2.3.3 opgenomen.

2.3.3 Typering meest voorkomende aansluitingen en aansluitconstructies

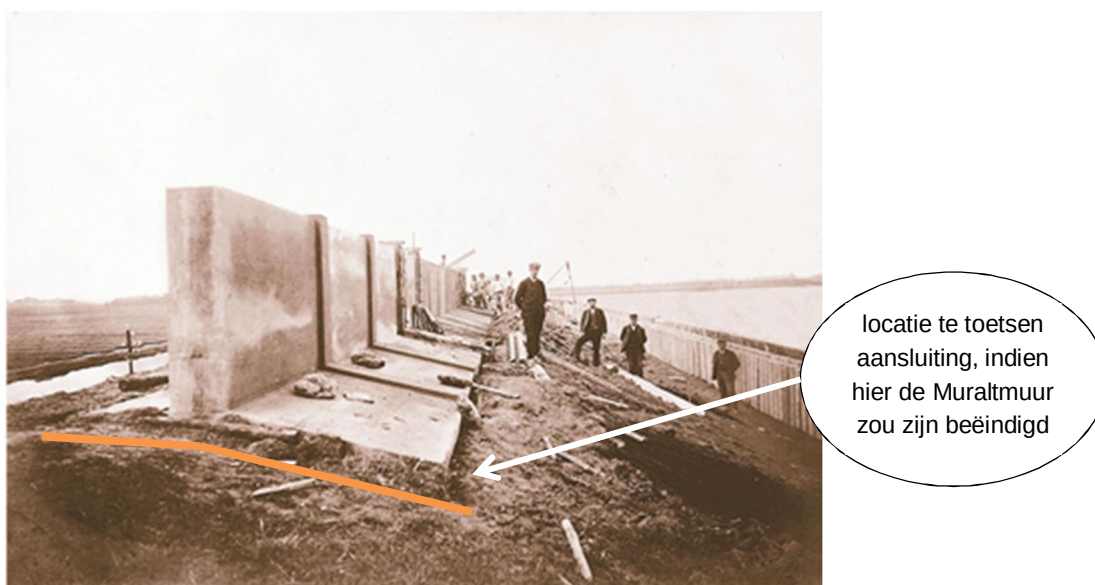
Het volgende resultaat wordt verkregen als, rekening houdende met de scope volgens paragraaf 2.2, de meest voorkomende aansluitingen en aansluitconstructies (met het item-

nummer uit bijlage B.1 weergegeven als #..) uit het onderzoek in paragraaf 2.3.2 op de categorisering volgens figuur 2-2 wordt losgelaten:

- aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk (#36) T13/15/17/19/21/23
- loodrechte aansluiting boven kruin uitstekende wandconstructie (#26) T21/23
- aansluiting wandconstructie en steenbekleding (#7) T21/23
- loodrechte (zonder hoogteverschil) aansluiting kunstwerk op dijk (#40) T16/18/22/24
- aansluiting vleugelwand op talusbekleding (#51) T19/20/21/22/23



Figuur 2-9: Voorbeeld van aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk (#36), foto van Lorentzsluizen in de Afsluitdijk (bron: Wikimedia Commons)



Figuur 2-10: Voorbeeld van loodrechte aansluiting boven kruin uitstekende wandconstructie (#26), foto van werk aan fundering van Muralmuur op Schouwen-Duiveland 1903-1908 (bron: www.zeeuwseankers.nl)



aansluiting
wandconstructie en
steenbekleding

Figuur 2-11: Voorbeeld van aansluiting wandconstructie op steenbekleding (#7), foto van opblaasbare waterkering Ramspol (bron: Zwarts en Jansma Architects, www.zja.nl)



aansluiting
vleugelwand op
taludbekleding

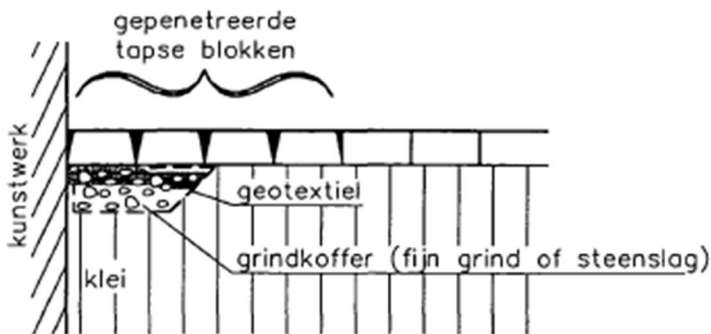
Figuur 2-12: Voorbeeld van aansluiting vleugelwand op taludbekleding (#51), foto van spuisluis bij Bath (bron: Beeldbank Rijkswaterstaat, www.beeldbank.rws.nl)

Ter verduidelijking: de volgende overgangen naar een waterkerend kunstwerk die tijdens de expertsessie zijn geïdentificeerd vallen door de gebruikte afbakening buiten beschouwing:

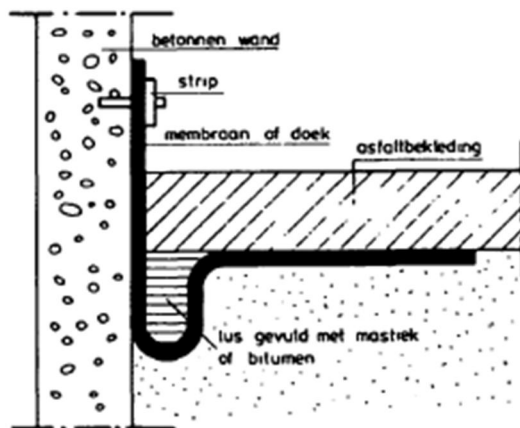
- parallele aansluiting verticale wandconstructie in/op kruin (#46)
- aansluiting raakvlak wandconstructie en bodem (#8)
- overgang beschermde-onbeschermde bodem voor- en achterland (#35)
- verbinding elementen met verschillende stijfheid binnen civiel deel (#21)
- aansluiting wandconstructie op bodem (#28)
- verbinding elementen civiel en bewegend deel (#10)
- aansluiting in vorm van dijkconstructie (#22)

2.3.4 Detaillering beschikbare ontwerpoplossingen

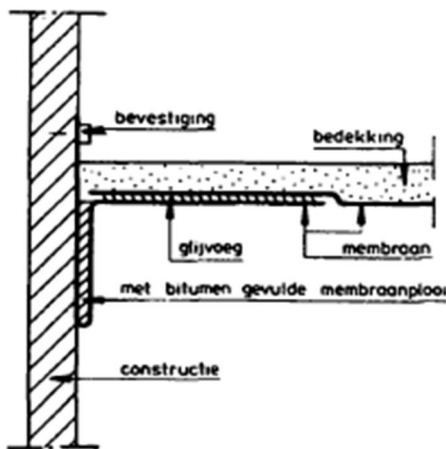
De volgende ontwerpoplossingen voor aansluitconstructies van verschillende bekledingstypen op de wandconstructie van een kunstwerk zijn te vinden in de verschillende (vigerende) regelgeving en handreikingen omtrent bekledingstypen:



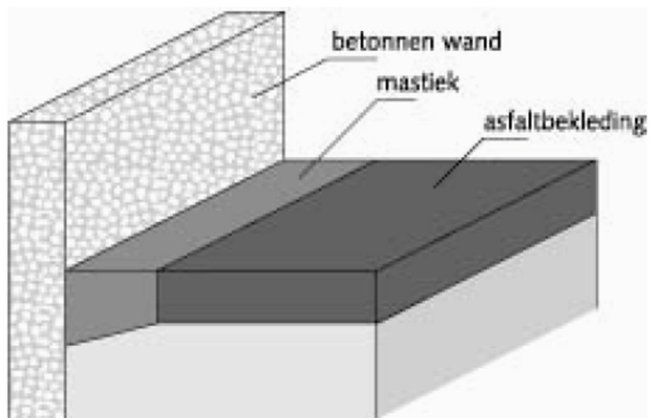
Figuur 2-13: Aansluitconstructie op steenzetting, geotextiel en grindkoffer [TAW-OD 1992]



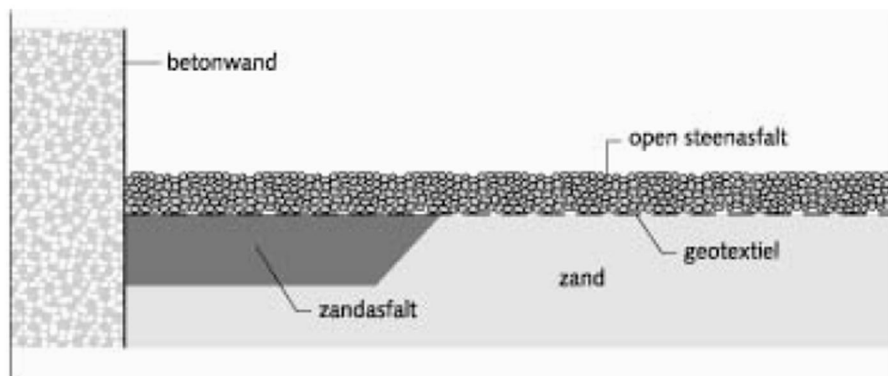
Figuur 2-14: Aansluitconstructie op asfaltbekleding, membraanlus gevuld met mastiek [TAW-OD 1992]



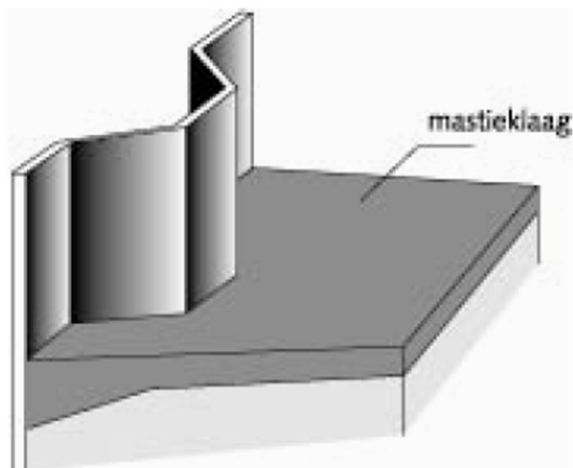
Figuur 2-15: Aansluitconstructie op bekleding, met bitumen gevulde membraanplooi ('glijvoeg') [TAW-OD 1992]



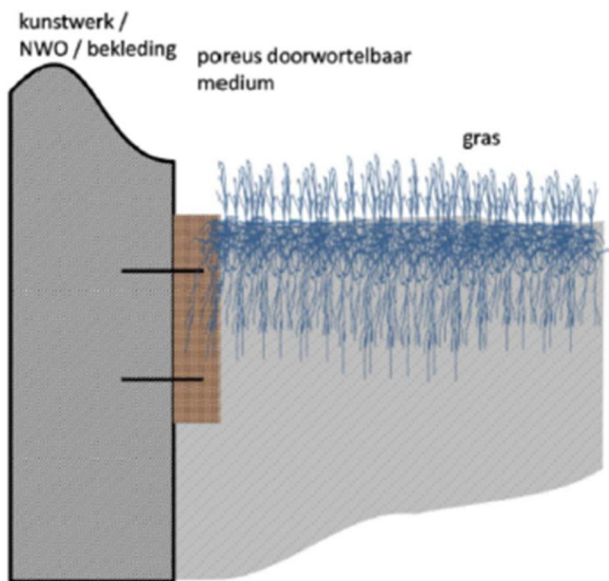
Figuur 2-16: Aansluitconstructie op asfaltbekleding, mastiekopvulling [RWS-trd 2013]



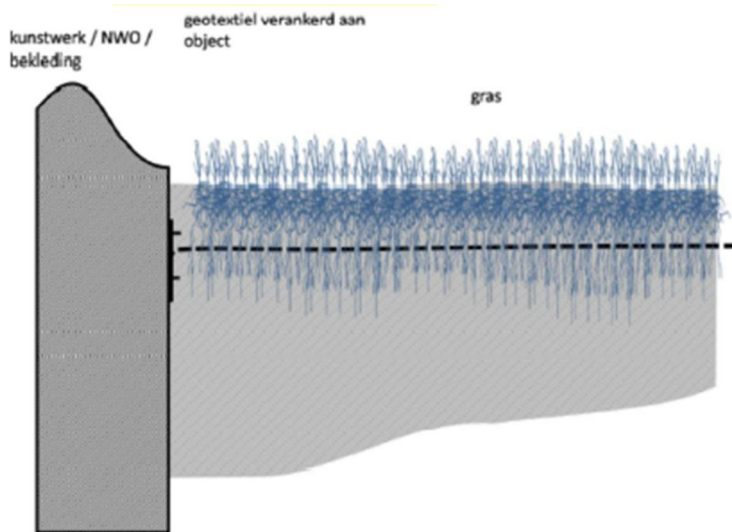
Figuur 2-17: Aansluitconstructie op open steenasfaltbekleding, geotextiel op aanstorting zandasfalt [RWS-trd 2013]



Figuur 2-18: Aansluitconstructie stalen damwand op asfaltbekleding, mastiekopvulling op [RWS-trd 2013]



Figuur 2-19: Aansluitconstructie op grasbekleding, poreus doorwortelbaar medium [DLT-ovgC 2014]

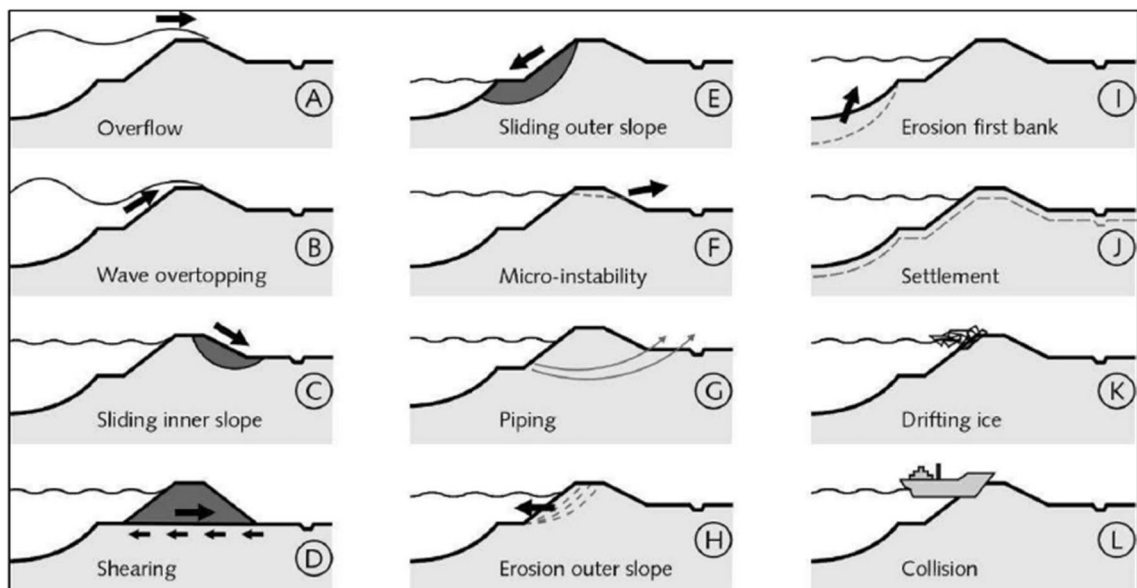


Figuur 2-20: Aansluitconstructie op grasbekleding, verankerd geotextiel [DLT-ovgC 2014]

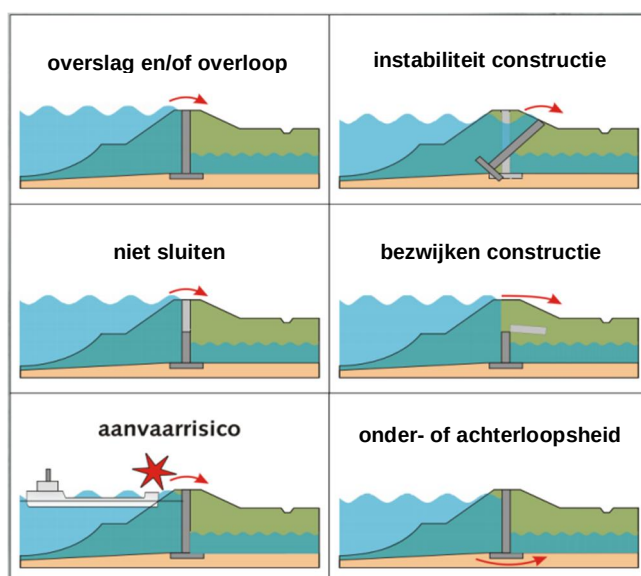
3 Fenomenologische beschrijving

3.1 Inleiding

Conform [EU-flood 2012] is het moeilijk om na het bezwijken van een waterkering (als gevolg van het falen van een aansluitconstructie) de oorzaak te achterhalen. Het feit, dat men in analyses van deze waterkeringen over het algemeen de oorzaak voor het bezwijken op basis van een lijst van afzonderlijke faalmechanismen tracht te categoriseren, speelt hierbij een rol.



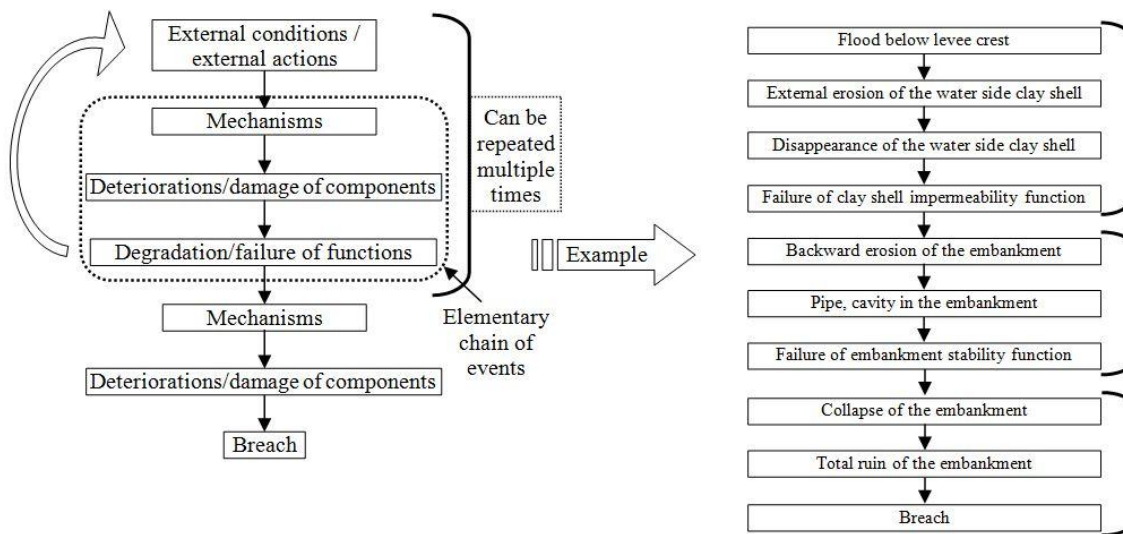
Figuur 3-1: Faalmechanismen waterkeringen (grond dijken)



Figuur 3-2: Faalmechanismen kunstwerken

In figuur 3-1 en figuur 3-2 worden de relevante faalmechanismen voor respectievelijk dijken/dammen en kunstwerken weergegeven.

[EU-flood 2012] stelt dat het denken in bezwijkscenario's een modernere wijze is om het bezwijken van waterkeringen te analyseren. Denken in combinaties van (mogelijk tegelijkertijd optredende) faalmechanismen, die tot bezwijken van elementen van de waterkering leiden, en uiteindelijk tot bezwijken van de gehele waterkering. In figuur 3-3 wordt een voorbeeld hiervan getoond.



Figuur 3-3: Voorbeeld faalscenario waterkering, ontleend aan [EU-flood 2012]

Figuur 3-3 toont dat een dijkdoorbraak door (veranderingen in) externe condities of externe belastingen wordt geïnitieerd. Dit wordt tevens met een voorbeeld geïllustreerd.

3.2 Fenomenologische beschrijving aansluitconstructies

3.2.1 Bezwijkscenario's aansluitconstructie

Op welke wijze dragen de afzonderlijke faalmechanismen in figuur 3-1 en figuur 3-2 bij aan mogelijke bezwijkscenario's voor aansluitconstructies? Volgens [EU-flood 2012] leveren vooral interne erosie (faalmechanisme G in figuur 3-1) en verschillende vormen van externe erosie (faalmechanismen F en H in figuur 3-1) ter plaatse van overgangen een bijdrage aan bezwijkscenario's van de waterkering.

- Interne erosie vindt daarbij plaats via de 'meest aantrekkelijke' kwelwegen, dus korte kwelwegen (hoge gradiënt) met een lage stroomweerstand (hoge doorlatendheid). Zonder dieper op de fysische achtergronden van interne erosie in te gaan – dit valt buiten de scope van dit deelonderzoek – stelt [EU-flood 2012] dat interne erosie kan leiden tot instabiliteit van de aansluitconstructie door:
 - lokaal afschuiven van taluds (faalmechanismen C en E in figuur 3-1), met als gevolg een lokale overschrijding van het kritieke overloop- en/of golfoverslagdebiet (faalmechanismen A en B in figuur 3-1);
 - falen van constructieve elementen in en/of op het grondlichaam door het bezwijken op instabiliteit (afschuiven, kantelen, verzakken) als gevolg van onder- en achterloopsheid, wat beide tot een lokale overschrijding van het kritieke overloop- en/of golfoverslagdebiet kan leiden (zie figuur 3-2).
- Erosie van de buitencontour van de waterkering (aan de buiten- en binnenzijde) treedt op onder invloed van externe (hydraulische) belastingen, of doordat aan de binnenzijde de gevolgen van interne erosie (kwel inclusief grond) naar buiten treden. Het kan zijn dat deze erosie door de aanwezigheid van een bekleding niet zichtbaar is. Erosie van de buitencontour aan de buitenzijde kan tevens aanleiding vormen voor interne erosie.

Na deze globale scenario's van het fysische bezwijkproces van aansluitconstructies zal worden ingegaan op het conceptueel beschrijven van de initiatie van falen van de aansluitconstructie door externe erosie.

3.2.2 Referentie: bezwijken buitencontour zonder aansluitconstructie

Belastingen op buitencontour zonder aansluitconstructie (S_{ref})

De buitencontour van een waterkering (in de situatie zonder en met aansluitconstructie) staat volgens [SBW-bkl 2012] onder invloed van de volgende belastingen, die zowel ruimtelijk (qua belastingrichting) als in de tijd kunnen variëren:

- hydraulische belastingen:
 - stromingsdruk van grondwater: infiltratie (buitenzijde) en uittreding (binnenzijde);
 - natuurlijke of geïnduceerde (scheepvaart)stroming van vrij water;
 - variatie waterpeil (drukverschil boven- en onderkant bekleding), getijdewerking;
 - golfbelasting: golfoploop en (scheve) golfaanval van buitentalud en kruin;
 - overloop en golfoverslag op kruin en binnentalud;
- chemische belastingen:
 - zoutspray op (gras)bekleding;
 - pesticiden op (gras)bekleding;
- mechanische belastingen:
 - belopen (bv schapenpaden);
 - berijden (bv bandensporen);
 - graven (bv honden, mollen, muizen, muskusratten).

Sterkte van buitencontour zonder aansluitconstructie (R_{ref})

De sterkte van de buitencontour zonder aansluitconstructie is afhankelijk van de integriteit van de bekleding inclusief eventueel daaronder aanwezige onderlagen. Voor de bestaande inzichten wat betreft het beoordelen van de sterkte wordt verwezen naar de vigerende ENW-leidraden per bekledingstype – zie [TAW-STa 2003], [TAW-STb 2003], [TAW-STc 2003] en [RWS-htg 2012]. De nieuwste inzichten rondom het toetsen worden in de producten van WTI Cluster Toetsregels Bekledingen gevonden.

3.2.3 Initiatie bezwijkproces met aansluitconstructie

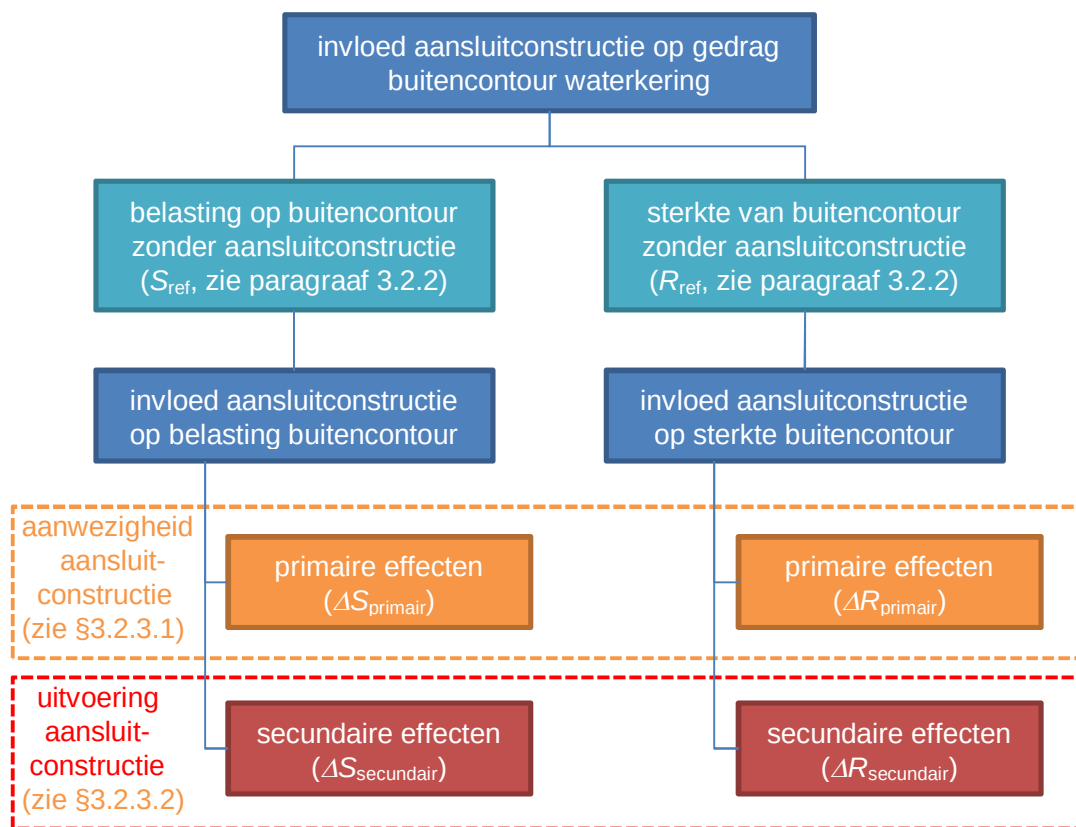
Uit een inventarisatie van alle overgangsconstructies in bijlage C van [DLT-ovgA 2013] en in [FGR-ovg 2014] wordt geconcludeerd dat bezwijken door lokale externe erosie van de buitencontour bij een aansluitconstructie (in verband met de scope in paragraaf 2.2.1, die aansluitingen boven het waterpeil onder normale condities) kan worden geïnitieerd

- door geometrische discontinuïteiten in de buitencontour:
 - plotselinge veranderingen in de hoogte tussen niveau:
 - bovenkant constructie en aansluitend dijklichaam (op kruin of in taluds);
 - bovenkant constructie en aansluitende bodem (in teen).
- door discontinuïteiten in eigenschappen buitencontour:
 - plotselinge overgang in oppervlakteruwheid:
 - tussen beschadigde en onbeschadigde delen van constructie;
 - tussen (talud)bekleding en constructie;

- tussen onbeschermde bodem en constructie;
- tussen onbeschermde en beklede bodem.
- plotselinge overgang in doorlatendheid (bekleding, objecten, ondergrond), mogelijk onder invloed van contacterosie.

In lijn met de ontwerpaanpak bij overgangen in grasbekleding wordt in het conceptueel beschrijven (zie figuur 3-4) van de invloed van een aansluiting op het bezwijken van de buitencontour onderscheid gemaakt tussen:

- primaire effecten die het directe gevolg zijn van de aanwezigheid van de aansluiting;
- secundaire effecten die de indirecte gevolgen van aanleg, beheer en onderhoud van de aansluiting met zich meebrengen.



Figuur 3-4: Conceptuele beschrijving invloed aansluitconstructie op sterkte en belastingen buitencontour

3.2.3.1 Primaire effecten in verband met aanwezigheid aansluitconstructie

Aanpassing belastingen op buitencontour met aansluitconstructie ($\Delta S_{\text{primair}}$)

Door een ongunstige 'externe vormgeving' van de discontinuïteit ontwikkelen de eerder genoemde hydraulische, chemische en mechanische belastingen bij een aansluiting een verhoogd of verlaagd effect op de buitencontour van de waterkering. Uiteraard zal vooral een verhoogd effect door de aansluiting lokaal bezwijken van de buitencontour kunnen initiëren.

Verhoogde effecten kunnen optreden wat betreft:

- ... hydraulische belastingen onder hoogwatercondities:
 - verhoogde stroomdruk grondwater;
 - stroomconcentratie of -vernauwing (naast objecten, in doorstroomopening);
 - verhoogd drukverschil boven- en onderkant bekleding;
 - verhoogde golfbelasting door golfreflectie (via objectwanden);
 - turbulentie (luchtbellen).
- ... chemische belastingen:
 - verhoogde concentratie zoutspray voor, naast of achter object;
 - verhoogde concentratie pesticiden voor, naast of achter object;
- ... mechanische belastingen (door obstructie alternatieve routes):
 - concentratie 'beloop-belasting' langs objectwand(en);
 - concentratie 'berijd-belasting' langs objectwand(en);
 - concentratie graafbelasting langs objectwand(en).

Aanpassing sterkte van buitencontour met aansluitconstructie ($\Delta R_{\text{primair}}$)

Het primaire effect van de aansluitconstructie op de sterkte van de buitencontour wordt veroorzaakt door het onderbreken van de bekleding naast de constructie. Qua sterkte wordt in de ontwerp praktijk het uitgangspunt aangehouden, dat de sterkte van de oplossing hoger is dan de sterkte van de buitencontour die wordt onderbroken. Een aantal bekende ontwerp-oplossingen van aansluitconstructies is in paragraaf 2.3.4 opgenomen.

N.B. Bij het bovenstaande uitgangspunt is enige nuancering op zijn plaats. In [IAHR 2015] worden praktijkmetingen in Oosterbierum met een golfklapgenerator op een gras-bekleding beschreven. Hierbij ook drie metingen op de overgang van de grasbekleding naar een betonnen trap. Qua sterkte bleek een slecht aangelegde overgang (i.e. trap op gemakkelijk erodeerbaar zand) ongeveer gelijkwaardig aan de overgang waaraan wel aandacht aan de erosiebestendigheid was besteed (i.e. trap tussen open beton-blokken opgesloten, op klei). Kortom, de werkelijke sterkte van ontwerp oplossingen van aansluitconstructies kan alleen op basis van praktijkmetingen worden ingeschat.

3.2.3.2 *Secundaire effecten in verband met aanleg, beheer en onderhoud aansluitconstructie*

Aanpassing belastingen op buitencontour met aansluitconstructie ($\Delta S_{\text{secundair}}$)

Secundaire effecten van de aansluitconstructie op de buitencontour worden geïntroduceerd door de wijze waarop aanleg, beheer en onderhoud van de aansluiting plaatsvinden. Zo kan een gebrekkige uitvoering of gebrekkig onderhoud tot secundaire effecten op de belasting van de discontinuïteit leiden. Denk hierbij aan het ontbreken of voortijdig falen van noodzakelijke "lange termijn" voorzieningen (zoals verankerd membraanlus of geotextiel, zie figuur 2-13 t/m figuur 2-20), bv voor een zanddichte aansluiting of het opvangen van zettingsverschillen. Dit kan de volgende extra verhoogde effecten op de hydraulische belasting van de buitencontour veroorzaken:

- extra verhoogde stroomdruk grondwater (mogelijk uitspoeling van (bodem)materiaal);
- spleetvorming tussen wandconstructie en al dan niet bekleed grondlichaam;
- extra turbulentie (luchtbellen).

Aanpassing sterkte van buitencontour met aansluitconstructie ($\Delta R_{\text{secundair}}$)

Het onderbreken van de buitencontour met een aansluitconstructie kan op indirecte wijze de volgende extra negatieve effecten hebben op de sterkte van de buitencontour:

- ...vanuit aanleg aansluitconstructie door
 - de introductie van een verschil in materiaalsterkte (bv klei met lagere dichtheid);
 - het tot stand brengen van onvoldoende klemming tussen steenzetting en object;
- ...vanuit beheer en onderhoud aansluitconstructie door
 - afname kwaliteit van grasbekleding door gebrek aan zonlicht, overbemesting i.v.m. geconcentreerde 'beloop-belasting' (schapen/honden);
 - afname kwaliteit van steenzetting of asfaltbekleding door gebrekkig beheer doordat het onderhoudsmaterieel er niet bij kan.

3.3 Fenomenologische beschrijving per hoofdtype

Uitgaande van het voorgaande dienen bij het beoordelen van aansluitconstructies zowel de primaire als secundaire effecten van de toegepaste ontwerpoplossing op de sterkte en belasting van de buitencontour te worden beschouwd.

In bijlage B.3 is voor een aantal van de meest voorkomende aansluitingen een beschrijving van relevante faalmechanismen gegeven, die aan [SBW-bkl 2012] is ontleend:

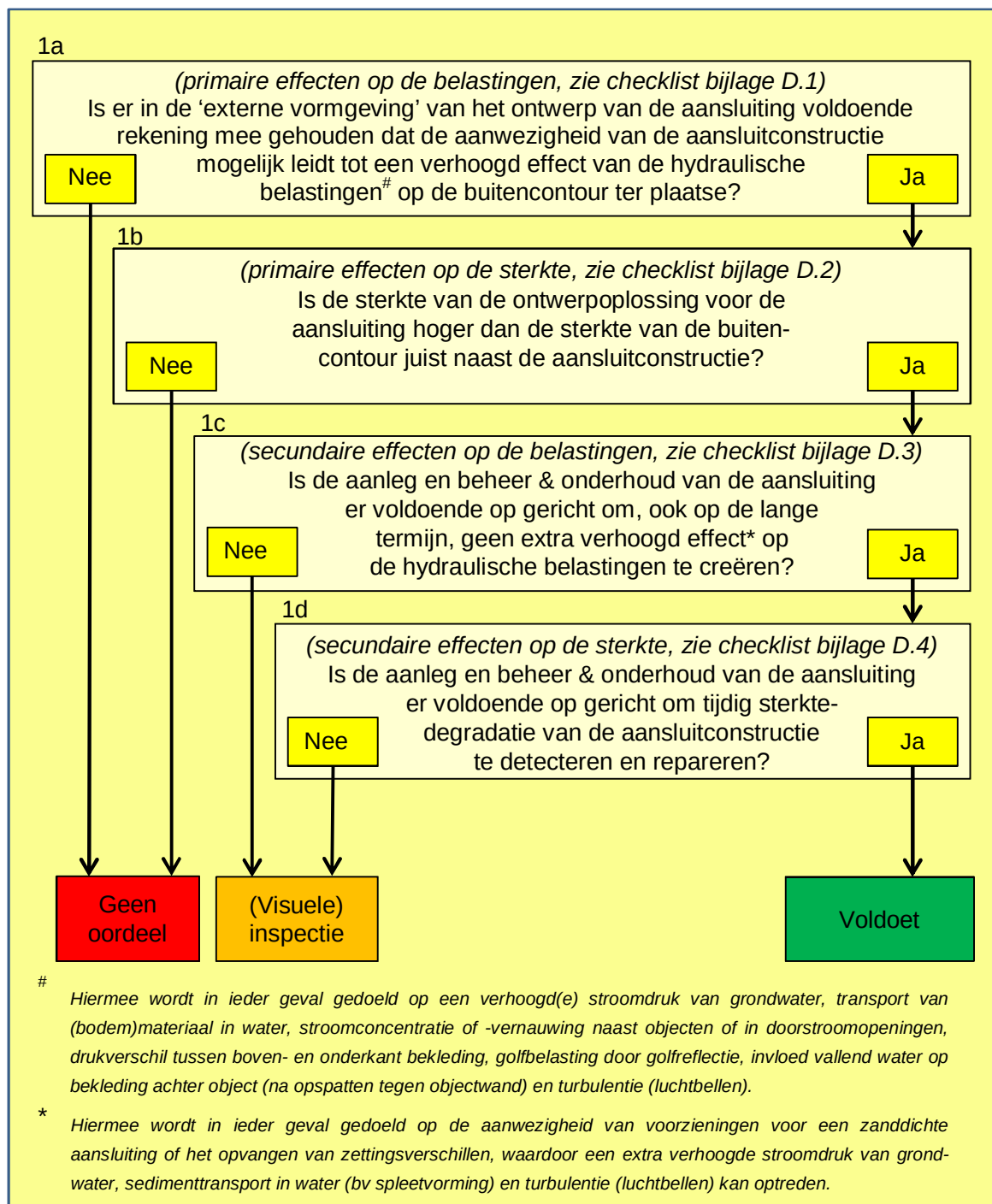
- aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk (#36)
- loodrechte aansluiting boven kruin uitstekende wandconstructie (#26)
- aansluiting wandconstructie en steenbekleding (#7)

Bij deze fenomenologische beschrijving is getracht eenduidig onderscheid te maken naar de mogelijke oorzaken, initiële schades en bezwijkmechanismen, het doorbraakproces na initiële schade en de gevolgen. Daarnaast is er tevens op basis van [SBW-bkl 2012] op een rij gezet wat er aan kennis is over effectieve maatregelen (met doel) en voorhanden zijnde rekenregels en/of rekenmodellen (inclusief geldigheidsgebied).

Voor de overige aansluitingen, waarvan tijdens een verdiepingsslag op de expertsessie is geconcludeerd dat deze van minder belang zijn voor de veiligheidstoetsing (zie bijlage B.3), ontbreekt op dit moment de fenomenologische beschrijving van het bezwijkproces. Bij een doorontwikkeling van de voorliggende eerste opzet voor een kwalitatieve eenvoudige toets is het wel noodzakelijk om het mogelijke (fysische) proces tot bezwijken op een rijtje te zetten.

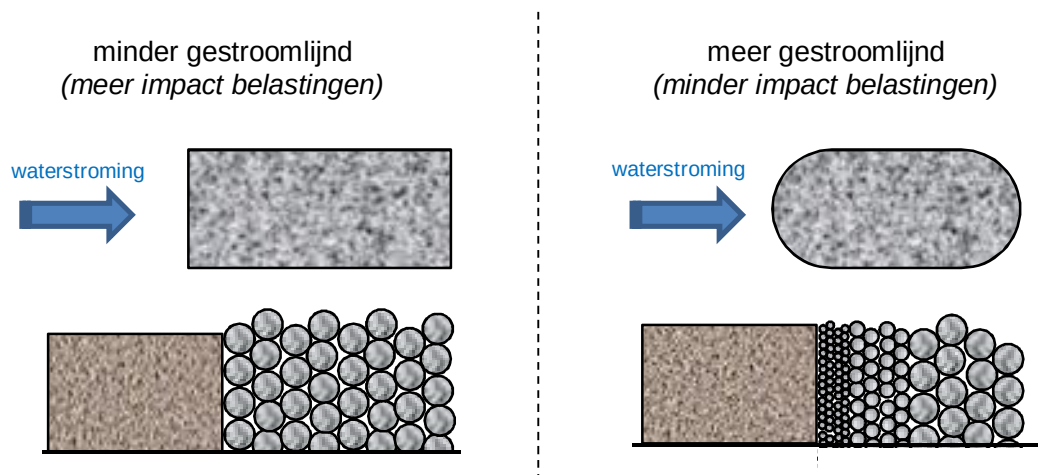
4 Handreikingen eenvoudige toets

Op basis van de algemene fenomenologische beschrijving (zie paragraaf 3.2) rondom het bezwijken van aansluitconstructies, en gebruik makend van het onderscheid tussen primaire en secundaire effecten van aansluitconstructies op de buitencontour beschreven in paragraaf 3.2.3), is tot het volgende toetsschema gekomen:



Figuur 4-1: Schema eenvoudige toets voor aansluitconstructies, in samenhang met bijlage D gebruiken

- Ad 1a. Wat betreft de 'externe vormgeving' van een aansluitconstructie wordt bedoeld op de mate waarin de (directe omgeving van de) aansluiting is gestroomlijnd om de potentiële impact van (hydraulische) belasting te minimaliseren. In figuur 4-2 wordt een aantal versimpelde voorbeelden m.b.t. hydraulische belastingen gegeven.



Figuur 4-2: Voorbeelden minder en meer gestroomlijnde externe vormgeving i.v.m. impact hydraulische belasting

- Ad 1b. Wat betreft de sterkte van de ontwerpoplossing voor een aansluiting wordt naar paragraaf 2.3.4 verwezen voor een aantal deugdelijke voorbeelden, waarin bv een voorziening in de vorm van een verankerd(e) membraanlus of geotextiel is meegenomen om de integriteit van de aansluiting op de lange termijn te waarborgen.
- Ad 1c. Voor een gerichte (visuele) inspectie dient de opzet voor de checklist in bijlage D.3 (met mogelijke voorzieningen voor het op de lange termijn vermijden van significante secundaire effecten op de belastingen) te worden uitgebreid.
- Ad 1d. Voor een gerichte (visuele) inspectie dient de opzet voor de checklist in bijlage D.4 (met mogelijke signalen voor sterktegradatie, inclusief voorbeelden, voor het vermijden van significante secundaire effecten op de sterkte) te worden uitgebreid.

5 Faalmechanisme, belasting- en sterktemodellen

5.1 Belastingmodellen aansluitconstructies

5.1.1 Hydraulische belastingmodellen

Er is in Nederland veel onderzoek gedaan naar de overloop en/of golfoverslag bij verschillende typen waterkerende constructies. Voor (Nederlandse) dijken is dat samengevat in het [TAW-GG 2002]. Dit rapport wordt in Nederland aanbevolen om de hoeveelheid overloop en/of golfoverslag bij dijken in zowel toets- als ontwerpomstandigheden te berekenen. Tegelijkertijd is voor gecompliceerde geometrieën (bij kunstwerken) het rekenprogramma PC-Overslag ontwikkeld, wat het berekenen van het debiet aan oploop en/of golfoverslag eenvoudiger heeft gemaakt. Het programma is ook deels ingepast in de diverse probabilistische HYDRA-rekenmodellen van Rijkswaterstaat, waarvan de doorontwikkelde versies nu beschikbaar worden gesteld in het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017.

Door een gezamenlijke actie van het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Nederland is de state-of-the-art kennis over het debiet aan overloop en/of golfoverslag bij waterkeringen samengevat in de [EurOtop 2007] of Overtopping Manual. Het is de verwachting dat deze in 2015 wordt geüpdatet.

Deze modellen zijn allen binnen hun eigen geldigheidsgebied bruikbaar om een (gemiddeld) debiet haaks op de stromingsrichting als gevolg van overloop en/of golfoverslag te voorspellen. Hierbij het mogelijk is om de invloed van geometrische discontinuïteiten in het dwarsprofiel op de overloop en golfoverslag mee te nemen.

Er zijn echter nog geen rekenmodellen voorhanden om binnen het geldigheidsgebied de lokale hydraulische (piek)belasting inclusief invloed van primaire effecten⁷ (i.e. verhoogde stroomdruk, verhoogd sedimenttransport, stroomconcentratie, golfreflectie en turbulentie) te kunnen voorspellen. Laat staan dat er rekenmodellen zijn om ook de lokale secundaire effecten⁸ (leidend tot uitspoeling van filtermateriaal, verlaagde bodemniveau en/of spleetvorming) van een aansluitconstructie op de hydraulische belastingen te kunnen voorspellen.

5.1.2 Erosiemodellen

[TUD-ovtp 2013] noemt een aantal theoretische rekenmodellen waarmee de initiatie van erosie op een oneindig talud kan worden beschreven, die in aanmerking zijn genomen om de erosie(diepte) rondom een overgang in een met gras bekleed binnentalud te beschrijven:

- EPM model Van den Bos (2006) t.b.v. oppervlakte erosie in grasbekleding;
- Turf-Element model Hoffmans et al. (2009) t.b.v. blok erosie grasbekleding;
- Wave Impact model Stanczak (2007) t.b.v. golfimpact erosie grasbekleding;
- Wave Impact model Mous (2010) t.b.v. golfimpact erosie grasbekleding;
- Jet Scour model Stein (onbekend) t.b.v. erosiediepte overgang binnentalud-berm;
- Jet Scour model Hoffmans (onbekend) t.b.v. erosiediepte overgang binnentalud-berm;
- Jet Scour model Valk (2009) t.b.v. erosiediepte overgang binnentalud-berm;
- Cumulatieve schademodel Van der Meer (2010) t.b.v. erosie binnentalud.

⁷ zie paragraaf 3.2.3.1

⁸ zie paragraaf 3.2.3.2

Het geldigheidsgebied van deze modellen, om ten behoeve van bv een ontwerp of toetsing de erosie van grasbekleding onder invloed van een hydraulische belasting bij een aansluitconstructie (i.e. de primaire effecten) te beschrijven, is onbekend. De secundaire effecten kunnen hierin sowieso niet worden meegenomen.

5.2 Sterktemodellen aansluitconstructies

In de verschillende (vigerende) Technische Rapporten en Handreikingen over het toetsen en ontwerpen van dijkbekledingen – zoals [TAW-STa 2003], [TAW-STb 2003], [TAW-STc 2003] en [RWS-htg 2012] – worden bruikbare mechanismen en bijbehorende sterktemodellen van de betreffende bekledingstypen onder invloed van hydraulische belastingen benoemd.

Het geldigheidsgebied van deze modellen om de sterkte van de bekleding ter plaatse van een aansluitconstructie onder invloed van een hydraulische belasting te beschrijven, in feite de primaire effecten⁹ van de aansluitconstructie, is echter onbekend. Ook kan hiermee niet de invloed van lokale secundaire effecten¹⁰ (zoals sterktegradatie bekleding door gebrekkig beheer en onderhoud) op de sterkte van de aansluitconstructie worden beschreven.

⁹ zie paragraaf 3.2.3.1

¹⁰ zie paragraaf 3.2.3.2

6 Faalkans aansluitconstructies

Met de huidige stand van de kennis omtrent de (hydraulische) belastingen op en sterkte van aansluitconstructies wordt het niet mogelijk geacht om voor (de meest voorkomende typen) constructies op basis van rekenmodellen te komen tot een inschatting van de faalkans.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In het voorliggende rapport worden handreikingen gegeven voor het toetsen van aansluitconstructies. Vanwege het WTI-kader van dit onderzoek richt de scope zich specifiek tot het kwalitatief toetsbaar maken van de horizontale, schuine en verticale overgangen in het vlak van de buitencontour tussen waterkerende kunstwerken enerzijds en andere waterkerings-typen anderzijds, die zich onder normale hydraulische condities boven water bevinden.

Er wordt echter verondersteld dat het WTI-voorstel voor de eenvoudige beoordelingsmethode ook toepasbaar is voor de andere overgangen en aansluitingen op kunstwerken die essentieel kunnen zijn voor het functioneren onder maatgevende omstandigheden:

- overgangen in het voor- en achterland van een waterkerend kunstwerk;
- overgangen binnen de 'kunstwerk-doorsnede';
- onzichtbare aansluitingen die bijdragen aan de faalkans van een waterkerend kunstwerk onder invloed van hoogwatercondities;
- (on)zichtbare aansluitingen die bijdragen aan de faalkans van een waterkerend kunstwerk onder invloed van andere dan hoogwatercondities (bv waterval).

Vooraf is al geconcludeerd dat voor het WTI 2017 het afleiden van generieke toetsregels voor het kwantitatief toetsen van de invloed van initiële erosie ter plaatse van alle typen aansluitingen op de andere beoordelingssporen niet haalbaar is. De voorliggende kwalitatieve handreikingen op basis van bestaande kennis, die ook betrekking kunnen hebben op het ontwerpen en inspecteren van aansluitconstructies, hebben zich dan ook beperkt tot:

- een heldere definitie van aansluitingen en aansluitconstructies;
- een praktische indeling in categorieën van typen aansluitconstructies (figuur 2-5);
- een lijst van de in Nederland meest voorkomende typen aansluitconstructies, inclusief detailleringen van bestaande ontwerp oplossingen (figuur 2-13 t/m figuur 2-20);
- fenomenologische beschrijvingen van een aantal van deze in Nederland meest voorkomende aansluitconstructies;

Op basis hiervan is in hoofdstuk 4 tot een eerste opzet voor een eenvoudige toets gekomen. Deze omvat uitsluitend een kwalitatieve beoordeling van zowel primaire¹¹ als secundaire¹² effecten van de aansluitconstructie op de belasting en sterkte van de buitencontour. In bijlage D is er een opzet voor een checklist gemaakt voor het inventariseren van primaire en secundaire effecten van een aansluiting op de belasting en sterkte van de buitencontour. Deze checklist is als groeidocument bedoeld, en dus nog niet volledig.

Vervolgens is er, ten behoeve van mogelijkheden voor eventuele doorontwikkelingen naar een toetsinstrument met fysische modellen, ook nog een beperkte inventarisatie uitgevoerd naar reeds beschikbare belasting- en sterktemodellen.

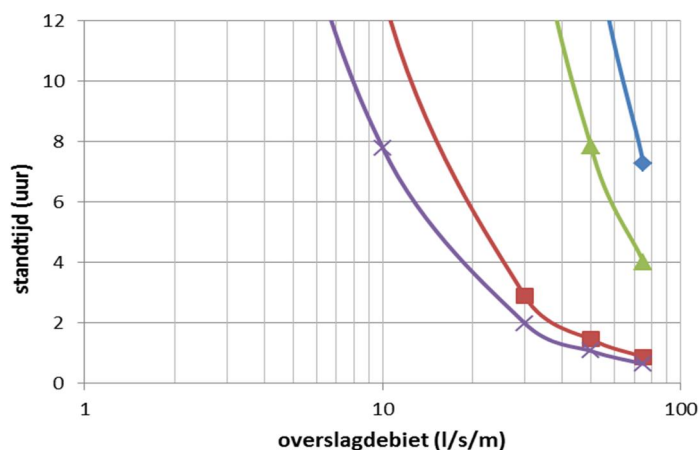
¹¹ primaire effecten zijn het directe gevolg van de aanwezigheid van de aansluiting

¹² secundaire effecten betreffen de indirecte gevolgen die de aanleg, het beheer en het onderhoud van de aansluiting met zich meebrengen

7.2 Aanbevelingen

Voor de gewenste structurering van doorontwikkelingen (voor zowel toetsen als analyse, ontwerpen, uitvoering en beheer) wat betreft de globale wettelijke eisen aan aansluitingen, en concrete doorontwikkelwensen uit de expertsessie [SBW-bkl 2012] wordt naar bijlage C verwezen. Wat betreft de hierin genoemde doorontwikkelingen rondom het toetsen van aansluitconstructies (en andere overgangen) tracht de voorliggende handreiking, inclusief eenvoudige beoordelingsmethode, in ieder geval een belangrijke aanzet te zijn om deze constructies een duidelijk herkenbare plek in de WTI-ontwikkelingen te geven.

Wat betreft doorontwikkeling kan ook worden gekeken naar de richting van het onderzoek op overgangen naar grasbekleding. Daarin wordt getracht om de theorie omtrent het effect van de vormgeving van een overgang op schadegevoeligheid te vertalen naar invloedsfactoren. In het ideale geval kan met deze invloedsfactoren het verband tussen overslagdebiet en de bijbehorende standtijd worden afgelezen (zie figuur 7-1). De basis van deze aanpak dient uiteraard te worden gelegd door middel van fysische (schaal)proeven.



Figuur 7-1: Voorbeeld pragmatische doorontwikkeling van ontwerptool overgangen naar grasbekledingen

Inmiddels hebben de ontwikkelingen op het gebied van overgangen naar grasbekleding ook tot ideeën geleid om in de nabije toekomst 'nette' overgangen (i.e. zonder secundaire effecten) op het binnentalud kwantitatief te toetsen. Mogelijk dat dit vervolgens ook de mogelijkheden voor het toetsen van aansluitingen op kunstwerken kan gaan vergroten.

Ten behoeve van de verdere doorontwikkeling van het toetsinstrumentarium (richting een Toets op Maat) voor aansluitconstructies wordt ook de aanbeveling uit [FGR ovg 2014] voor het opzetten van een gestructureerde ervaringsdatabase met geobjectiveerde kennis overgenomen, o.a. ter ondersteuning van het beoordelen van schadebeelden aan overgangsconstructies tijdens de levensduur. Digispectie van het Waterschapshuis kan hierbij als een veelbelovend hulpmiddel worden gezien. Onbekend is op welke wijze aansluitingsconstructies hierin zijn meegenomen.

In [EU-flood 2012] is ook een voorzet gedaan waarmee structuur wordt aangebracht in het beschrijven en gericht inspecteren/beoordelen van de voorkomende aansluitingsconstructies. Per type aansluitingsconstructie moeten de volgende aspecten aan bod komen:

- type aansluitingsconstructie;
- gerelateerde potentiële faalmechanismen;
- detectiewijze aanwezigheid van de aansluitingsconstructie;
- detectiewijzen typische problemen met de aansluitingsconstructie;
- *best practices* voor ontwerp, aanleg en onderhoud om problemen te voorkomen;
- (onderzoeks)vragen gerelateerd aan aansluitingsconstructie;
- voorbeelden van toepassingen.

De verantwoordelijkheid voor het kwalitatief toetsbaar maken van overige overgangen en aansluitingen in en onder het vlak van de buitencontour van de waterkering wordt door WTI Cluster Toetsregels Kunstwerken als volgt gezien:

- WTI Cluster Toetsregels Bekledingen : - overgangen tussen bekledingstypen;
- overgangen in voor- en achterland;
- overige aansluitingen met hoge gronden;
- WTI Cluster Indirecte Mechanismen: - overgangen tussen NWO's en waterkeringen;
- WTI Cluster Toetsregels Kunstwerken: - overgangen binnen de 'kunstwerk-doorsnede';
- onzichtbare aansluitingen die bijdragen onder invloed van hoogwatercondities;
- (on)zichtbare aansluitingen die bijdragen onder invloed van andere dan hoogwater condities (bv waterval);
- buiten WTI¹³: - aansluitingen met duinen.

¹³ Wat betreft aansluitingen van waterkerende kunstwerken op duinen wordt ingeschat dat dit aantal zeer beperkt is. In voorkomende gevallen is er sprake van een uitzondering of 'special', waarop het WTI geen betrekking heeft.

A Literatuuronderzoek definities

A.1 Vigerende regelgeving

In bijlage A van [DLT-ovgA 2013] wordt het resultaat van een inventarisatie van definities binnen het vigerende [MVW-vtv 2006] weergegeven die van toepassing zijn op overgangen en aansluitingen. Het resultaat van deze inventarisatie wordt in tabel A-1 samengevat.

	<i>Hoge gronden</i>	<i>Dammen / dijken</i>	<i>Duinen*</i>	<i>Waterkerende kunstwerken</i>
<i>Hoge gronden</i>		- 5.6	-	-
<i>Dammen en dijken</i>	- 5.6		- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3	- 7.4.2.2
<i>Duinen*</i>	-	- 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
<i>Water- kerende kunst- werken</i>	-	- 7.4.2.2	- 6.1.1.2 - 6.1.2.2 - 6.2.5 - 6.3.5 - 6.4.3	

Tabel A-1: Overzicht overgangen en aansluitingen in VTV 2006, zie [MVV-vtv 2006]

Op basis hiervan de volgende iets minder beknopte samenvatting:

- **overgangsconstructies bekledingen**
In katern 6 van [MVW-vtv 2006] worden toetsingsregels voor overgangsconstructies bij steenzettingen (beoordelingsspoor ZOB) gegeven, die gelden voor alle randen van bekledingsecties van steenzettingen: teenconstructies, horizontale en verticale overgangsconstructies en aansluitingsconstructies op kunstwerken. Deze constructies kunnen op twee manieren van belang zijn voor de veiligheid tegen overstroming: (1) de stabiliteit van de er op aansluitende bekleding negatief beïnvloeden en (2) zelf bezwijken. Beide bedreigingen worden behandeld als een beoordelingsspoor.
- **overgangsconstructie niet-waterkerende objecten**
Volgens katern 6 van [MVW-vtv 2006] zijn niet-waterkerende objecten (NWO's) veelal harde constructies of elementen binnen de invloedszone van de waterkering. Het meest aansprekende voorbeeld is bebouwing. Ook kabels en leidingen worden als NWO's opgevat. NWO's veroorzaken in feite een interne indirecte belasting van de duinen omdat ze invloed hebben op golven, stroming en wind. Daardoor wordt de belasting op de duinen door deze grootheden in feite herverdeeld. Veelal leidt dit tot grotere ruimtelijke gradiënten in de belasting op het (duinen)systeem en daardoor tot ongelijkmatige respons van het systeem. Een voorbeeld hiervan wordt gevormd door ontgrondingskuilen voor muren of soortgelijke harde elementen.

- aansluitconstructies hoge gronden
Volgens katern 5 van [MVW-vtv 2006] behoort de aansluiting van primaire waterkering op hoge grond tot de zorg van de waterkeringbeheerder, waarvoor het boordelings-spoor Aansluiting op de Primaire waterkering (HAP) is ingericht.
- aansluitconstructie duinen
Volgens katern 6 van [MVW-vtv 2006] dient een aansluitconstructie bij duinen om duinen in langsrichting op waterkeringen van een ander type te laten aansluiten. In dit verband wordt onder een aansluitconstructie verstaan: dat gedeelte van de aansluitende 'harde' waterkering¹⁴, dat een aangepast dwarsprofiel en/of lengteprofiel heeft om de aansluiting zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen. Aangezien de aansluiting tussen duin en kunstwerk over het algemeen als dijk wordt uitgevoerd, worden voor duinen de volgende drie verschillende typen aansluitconstructies onderscheiden:
 - type I : een onverdedigd duin aan een dijk;
 - type II : een onverdedigd duin aan een verdedigd duin;
 - type III : een verdedigd duin aan een dijk.

Volgens katern 6 kunnen aansluitconstructies op duinen verschillend worden gekenmerkt. Allereerst wordt, afhankelijk van de ligging van de afslaglijn van het aansluitende duin ten opzichte van de achterzijde (landwaartse zijde) van de aansluitende harde waterkering, onderscheid gemaakt tussen een open of een gesloten beëindiging.

Ten tweede wordt er bij dergelijke aansluitconstructies onderscheid in verschillende uitvoeringen in langsrichting gemaakt. De aansluitende profielen kunnen direct tegen elkaar aanliggen zonder enige aanpassing in profielvorm (i.e. abrupte overgang). Veelal zal de overgang van het ene kustprofiel in het andere echter geleidelijk verlopen, waarbij het harde profiel over een bepaalde afstand in langsrichting wordt aangepast richting onverdedigd duin. We spreken dan ook van een geleidelijke overgang. Puur abrupte overgangen komen in feite niet voor, er is altijd wel enige vorm van aanpassing van de harde constructie. Bij een geleidelijke overgang is de lengte van de aansluitconstructie gelijk aan de lengte waarover in de harde constructie (dijk)profielaanpassingen zijn aangebracht met het oog op de overgang.

Bij het beschouwen van aansluitconstructies met duinen is het zo dat er aan weerszijden van de aansluitconstructie sprake zal zijn van een zekere invloed hiervan op het aanwezige kustprofiel. Het gebied waarover van een dergelijke beïnvloeding sprake is wordt in [MVW-vtv 2006] de aansluitingszone genoemd. Deze zone strekt zich over het algemeen uit over een afstand van 100 tot 200 m aan weerszijden van de aansluitconstructie. Buiten de aansluitingszone is er geen beïnvloeding en is er sprake van een ongestoorde situatie.

¹⁴ Conform [MVW-vtv 2006] is de aanduiding 'hard' relatief bedoeld, namelijk ten opzichte van het aansluitende zachte duin. In deze zin is de aansluiting van een onverdedigd duin aan een duin met duinvoetverdediging (type II) ook een aansluitingsconstructie van een zachte naar minder harde verdediging.

In [MVW-vtv 2006] wordt bij de beoordeling van het gedrag van aansluitconstructies uitgegaan van het gedrag van het onverdedigde duin onder maatgevende omstandigheden. Dat wil zeggen dat wordt uitgegaan van het maatgevende afslagprofiel van het onverdedigde duin, gebaseerd op de procedure in [ENW-trd 2007]. De 'hardheid' van de aansluitconstructie wordt bepaald door de mate waarin deze het proces van duinafslag en daarmee de toevoer van zand naar strand en vooroever belemmert. Deze belemmering, die wordt aangeduid met 'onthouden zandvolume', is maximaal bij een dijkachtige constructie; bij een lage duinvoetverdediging of een verborgen kering is deze beïnvloeding duidelijk geringer.

- Aansluitingsconstructie kunstwerken
Katern 7 van [MVW-vtv 2006] behandelt de toetsing van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies voor zover ze behoren tot een primaire waterkering. Hierbij hoort ook de aansluiting op het omringende grondlichaam.

De toetsing van de aansluiting op het omringende grondlichaam is onderdeel van de genoemde beoordelingssporen: bij de sporen *stabiliteit van constructie en grondlichaam* (STCG) en *pipings en heave* (STPH) wordt expliciet aandacht aan de aansluitingen besteed. De toetsing van het effect van de aanwezigheid van NWO's op het waterkerend vermogen van het kunstwerk is bij kunstwerken een integraal onderdeel van de beoordelingssporen. Voor kunstwerken waarbij de invloed van een niet-waterkerend object op het grondlichaam van belang is, wordt verwezen naar Katern 10.

Uit de inventarisatie blijkt dat voor een overgang, overgangsconstructie en aansluiting in [MVW-vtv 2006] geen formele definitie is vastgelegd. Wel wordt een overgang tussen verschillende dijkbekledingen (i.e. duinvoetverdediging, steenbekleding, asfaltbekleding) als een overgangsconstructie aangeduid. En wordt een aansluitconstructie gedefinieerd als het gehele dwars- en lengteprofiel van een grondconstructie in zijn afwijkende vorm, bij de overgang naar een duin, hoge gronden of een kunstwerk.

A.2 TAW en ENW

Definities overgangs- en aansluitconstructies

Conform [TAW-OD 1992] bestaat een taludbekleding vaak uit meerdere constructiematerialen of constructietypen, die op elkaar aangesloten zijn door middel van overgangsconstructies. Ondanks dat in dit rapport vooral overgangen tussen bekledingstypen worden besproken, worden aansluitconstructies in de indeling van de verschillende soorten overgangsconstructies wel genoemd).

In [TAW-STa 2003], [TAW-STb 2003] en [TAW-STc 2003] wordt een aansluitconstructie gedefinieerd als constructie die tot doel heeft om een (steen)bekleding aan te sluiten op een waterbouwkundig kunstwerk.

In [ENW-trd 2007] komen overgangs- en aansluitconstructies tussen duinen en meer 'harde' waterkeringsconstructies mondjesmaat ter sprake. Wel wordt er aangegeven dat het toetsen van de veiligheid van dergelijke constructies een heel lastig onderwerp blijft, dat van geval tot geval moet worden behandeld.

Indeling overgangs- en aansluitconstructies

Conform [TAW-OD 1992] kunnen er vanuit het gezichtspunt van de functie vier soorten van overgangsconstructies worden onderscheiden, namelijk:

- constructies als koppeling tussen verschillende bekledingsmaterialen en/of onderlagen:
 - horizontale overgangsconstructies (tussen hoger op talud liggende bekleding en lager liggende bekleding);
 - verticale overgangsconstructies (tussen naast elkaar liggende bekledingen).
- constructies bij de beëindiging van een bekleding:
 - horizontaal: teenconstructies.
 - verticaal: aansluiting op kunstwerk.
- constructies ten behoeve van beperking van schadeomvang (vakken). Dit zijn combinaties van horizontale en verticale overgangsconstructies.
- constructies bij een knik in talud, zoals bij bermen. Dit zijn horizontale overgangsconstructies.

N.B. In [DLT-ovgA 2013] is hieraan ook een vijfde type overgangsconstructie toegevoegd, namelijk constructies voor overgangen binnen dezelfde type bekleding noodzakelijk door de productiemethode (bv 'daglassen' bij asfalt)

Daarbij wordt in [TAW-OD 1992] een overzicht van soorten overgangsconstructies gegeven, zie figuur A-1. In dit overzicht worden aansluitingen op een kunstwerk niet (expliciet) vermeld.

A.3 Deltares (inclusief voormalige instituten WL|Delft Hydraulics en GeoDelft)

A.3.1 Onderzoeksrapport toetsing aansluitconstructies (1995)

Definities overgangs- en aansluitconstructies

In het onderzoeksrapport [WL-asc 1995] wordt allereerst een 'smalle' definitie van aansluitconstructie gegeven, namelijk een constructie die dient om het ene keringstype op het andere te laten aansluiten. Later wordt in [WL-asc 1995] ook een ruimere definitie genoemd, namelijk de overgang van een zachte¹⁵ op een (relatief) harde waterkeringsconstructie. Hierbij wordt het begrip 'onthouden volume aan afslag' (ΔA_0) geïntroduceerd; een waterkering wordt als dijk aangemerkt als het maximaal onthouden volume gelijk is aan de hoeveelheid afslag bij een onverdedigde waterkering. Hiermee zou ook de aansluiting tussen een onverdedigd duin (zacht) op een duinvoetverdediging (relatief hard) onder aansluitconstructies vallen.

N.B. In [WL-asc 1995] wordt aangegeven dat de onduidelijkheid over de van toepassing zijnde richtlijnen op aansluitconstructies vooral betrekking heeft op de overgang duin-dijk en vice versa. Het rapport richt zich dan ook alleen op dit soort aansluitingen. Waarbij wordt opgemerkt, dat bij de aansluiting duin-kunstwerk in de overgangszone ook gebruik wordt gemaakt van een dijkachtige constructie. Zodat het rapport toch pretendeert het overgrote deel van mogelijke aansluitconstructies af te dekken.

¹⁵ Conform [WL-asc 1995] komt de mate van hardheid van een waterkering tot uitdrukking in de mate waarin de ongestoorde vervorming van het dwarsprofiel (morfologisch) wordt belemmerd door de aanwezigheid van het harde(re) element. Een normaal duin wordt hierbij als referentie aangehouden.

		soort overgang	berekening van	ANAMOS toepasbaar	STEENZET toepasbaar	voorbeeldconstructies
geen o.c.		zonder overgang	stabiliteit steenzetting	ja 1)	ja 2)	
dichte horizontale overgangsconstructie		steenzetting met onderbroken filter	stabiliteit steenzetting boven overgang	ja 1)	ja 2)	fig. 4.3a, 4.3b teen: fig. 4.17 berm: fig. 4.27
		gesloten bekleding (beton, asfaltbeton) naar steenzetting op filter	stabiliteit steenzetting boven overgang	ja 1)	ja 2)	
		breuksteen naar steenzetting op filter	stabiliteit steenzetting boven overgang	ja 1)	ja 2)	teen: fig. 4.18, 4.20
		steenzetting met onderbroken filter	stabiliteit steenzetting onder overgang	ja 1)	ja 2)	fig. 4.3a, 4.3b, 4.4, 4.5
		steenzetting op filter naar gras	stabiliteit steenzetting onder overgang	ja 1)	ja 2)	fig. 4.8
		steenzetting op filter naar gesloten bekleding (beton, asfaltbeton)	stabiliteit steenzetting onder overgang	ja 1)	ja 2)	fig. 4.10, 4.11
		breuksteen naar ander type bekleding (zetting, gras, beton, asfaltbeton etc)	stabiliteit breuksteen	nee berekennings- methode in § 3.6	nee	fig. 4.7 teen: fig. 4.11, 4.23, 4.25
		mat op filter naar gesloten bekleding	stabiliteit mat	ja 1) en 4)	ja 2) en 4)	
		asfaltbeton naar gras	stabiliteit asfaltbeton bekleding	nee berekennings- methode in [8]	nee	fig. 4.15
open horizontale overgangsconstructie		steenzetting met ononderbroken filter	stabiliteit steenzetting onder en boven overgang	nee berekennings- methode in § 3.4	nee	fig. 4.6
		mat naar steenzetting op doorgaand filter	stabiliteit steenzetting en mat	nee berekennings- methode in § 3.4 4)	nee	
		mat naar mat op doorgaand filter	stabiliteit matrand	ja 1) en 3)	ja 2) en 3)	
		breuksteen naar steenzetting op doorgaand filter	stabiliteit breuksteen en steenzetting	nee, breuksteen: § 3.5	nee	fig. 4.7 teen: fig. 4.21, 4.22
open verticale o.c.		steenzetting met ononderbroken filter	stabiliteit steenzetting links en rechts van de overgang	nee berekennings- methode in § 3.3	nee	

1) mits $\frac{\phi_b}{\lambda} \tan \beta \leq 1.7$

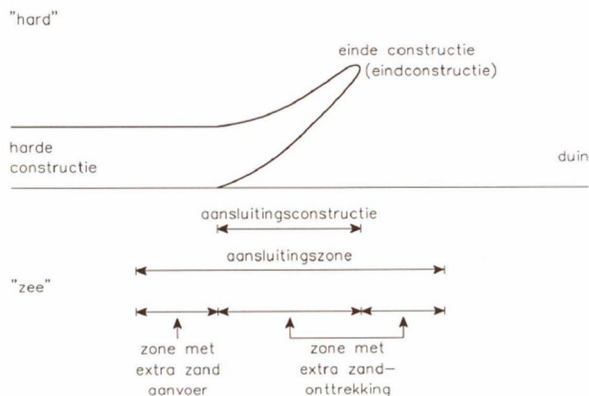
2) mits voldaan wordt aan de voorwaarden:

helling	waarde ξ
1:2	2,1 - 12,3
1:3	1,4 - 8,2
1:4	1,0 - 6,6

3) alleen berekening van verschildrukken
zonder beweging mogelijk4) alleen berekening van blokkenmat
mogelijk (d.m.v. simulatie)

Figuur A-1: Overzicht soorten overgangsconstructies volgens [TAW-OD 1992]

In [WL-asc 1995] worden ook de begrippen eindconstructie en aansluitingszone geïntroduceerd (figuur A-2). Met eindconstructie wordt het einde van de aansluitconstructie bedoeld. En de aansluitingszone omvat dat deel van het kustvak waarin de aanwezigheid van de aansluitconstructie (bij afslag onder maatgevende condities) merkbaar is. De aansluitingszone omvat per definitie zowel de aansluitconstructie als de eindconstructie.



Figuur A-2: Definitie van eindconstructie, aansluitconstructie en aansluitingszone volgens [WL-asc 1995]

Indeling overgangs- en aansluitconstructies

In [WL-asc 1995] wordt er wat betreft aansluitconstructies (tussen duin-dijk en vice versa) onderscheid gemaakt tussen de volgende typen:

- abrupte en meer geleidelijke overgangen (in geometrie);
- gesloten en open eindconstructies (in vormgeving van de achterzijde ten opzichte van de begrenzing van de afslagzone);

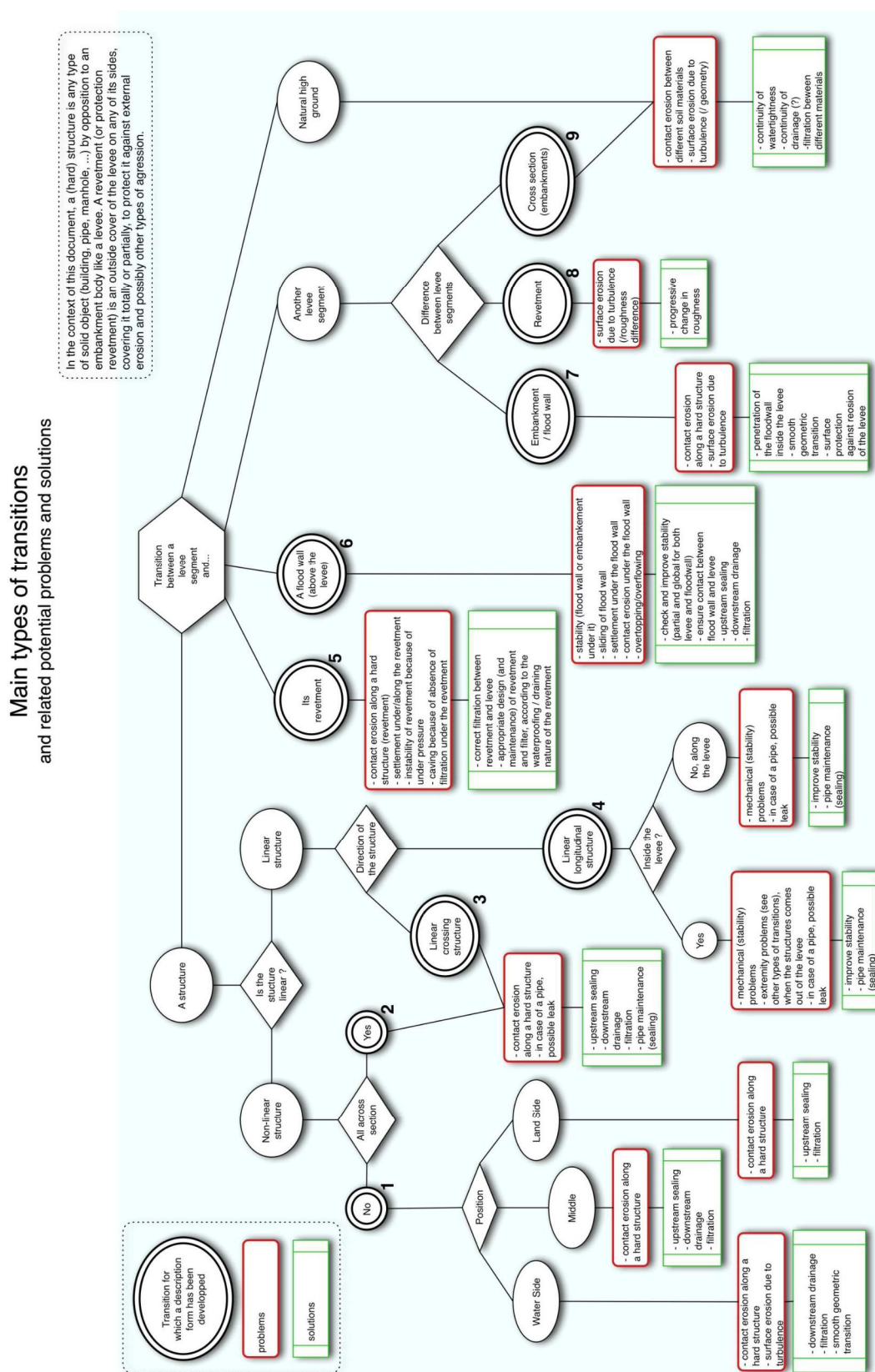
Door middel van het parameteriseren van de mate van abruptheid van de beëindiging van de aansluitconstructie en de mate van geleidelijkheid waarin deze constructie wordt afgebouwd worden in [WL-asc 1995] handvatten gegeven voor een karakterisering. In de parameterisering spelen de begrippen minimaal en maximaal onthouden volume aan afslag ($\Delta A_{0;\min}$ en $\Delta A_{0;\max}$) een nadrukkelijke rol.

A.3.2 EU-project FloodProBE (2012)

Indeling overgangs- en aansluitconstructies

In [EU-flood 2012] is tot de globale indeling van voorkomende overgangsconstructies in figuur A-3 gekomen, waarin per hoofdtype tevens potentiële problemen en oplossingen zijn opgenomen. Hierin wordt het onderscheid tussen de verschillende hoofdtypen aansluitconstructies allereerst gemaakt op basis van de geometrie. Vervolgens wordt

- ...bij puntvormige constructies (zoals sluizen) eerst de mate waarin de constructie het grondlichaam doorsnijdt beschouwd, waarna ook nog de locatie in de waterkering (midden in het grondlichaam, aan de buiten- of binnenzijde) beschouwd.
- ...bij lijnvormige constructies (zoals pijpleidingen) nader onderscheid gemaakt op basis van de oriëntatie van de constructie ten opzichte van de as van de waterkering (kruisend, parallel).



Figuur A-3: Overzicht van typen overgangen en gerelateerde problemen en oplossing volgens [EU-flood 2012]

A.3.3 Overgangen en overgangsconstructies naar gras (2013 e.v.)

Definities overgangs- en aansluitconstructies

In [DLT-ovgA 2013] wordt de term “overgang” gezien als een verzamelterm van alle denkbare ruimtelijke veranderingen (dus geen veranderingen in de tijd) in de bekleding of constructie van een primaire waterkering. Volgens deze definitie gaat het hierbij om overgangen in het vlak van de buitencontour¹⁶ van de primaire waterkering. Aansluitingen worden hierbij als sub-set gezien, namelijk alleen de overgangen tussen verschillende typen waterkeringen (i.e. duinen, dijken, kunstwerken en hoge gronden).

Indeling overgangs- en aansluitconstructies

[DLT-ovgA 2013] stelt dat een heldere indeling van overgangs- en aansluitingsconstructies noodzakelijk is om inzicht te krijgen in de verscheidenheid aan typen overgangen. Inclusief de indeling uit [TAW-OD 1992] zijn daarvoor volgens [DLT-ovgA 2013] zes mogelijkheden o.b.v.

- functie *(koppeling, beëindiging en beperking schade)*
- keringtype *(dijken, duinen, kunstwerken en hoge gronden)*
- geometrie *(oriëntatie, hoogteverschil en knik in profiel)*
- fysica *(invloed op belasting en sterkte, faalmechanismen)*
- locatie op kering *(kruin, binnentalud en kruin)*
- beheer en inspectie *(zichtbaarheid en toegankelijkheid)*

Voor een nadere uitwerking van deze indelingen wordt naar [DLT-ovgA 2013] verwezen.

¹⁶). De definitie van een overgang volgens [DLT-ovgA 2013] sluit overgangen loodrecht op het vlak van de buitencontour, zoals de overgang van een steenzetting op een onderliggende filterlaag, expliciet uit;

B Voorkomende typen aansluitconstructies

B.1 Lijst van meest voorkomende overgangen en aansluitingen

In [SBW-bkl 2012] is met experts een inventarisatie uitgevoerd van de belangrijkste typen van overgangen of overgangsconstructies waarbij initiële schade een belangrijke oorzaak van doorbraak van de waterkering kan zijn. Op basis hiervan is tot een lijst van bijna 60 typen (en hierbij ondergebrachte overlappingsen) gekomen. Hierbij de lijst (met verkorte aangepaste omschrijving) waarbij aansluitingen en aansluitconstructies vet zijn aangegeven:

- 1 interne overgang in duin (bv duin ↔ duinvoet);
- 2 overgang dijk (incl. harde bekleding) ↔ loskorrelige verdediging (bv duin);
- 3 overgang waar sprake is van zware golfaanval;
- 4 interne overgang in dijk: profielverandering; wijzigingen in (hardheid) bekleding;
- 5 **spleetvorming en erosie aansluiting kunstwerk ↔ dijk (dwars op de dijk);**
- 6 overgang binnen grasbekleding, knik van talud naar horizontaal;
- 7 **horizontale aansluiting gezette bekleding ↔ damwand;**
- 8 **aansluiting constructie ↔ ondergrond (bij teen);**
- 9 overgang (betonnen) steenzetting ↔ grasbekleding;
- 10 **overgang binnen kunstwerk: voegen in civiele deel, aansluitingen bewegende delen (keermiddelen) op civiele deel;**
- 11 hybride keringen: een dijk die wordt verdedigd door een voorliggend zandlichaam;
- 12 overgang onder water tussen twee verschillende samenstellingen;
- 13 overgang grasbekleding ↔ asfaltweg op kruin;
- 14 overgang voorziening pijpleiding ↔ dijklichaam;
- 15 overgang grasbekleding ↔ harde elementen (bv trap, dijkovergang, hek, etc.);
- 16 verandering significante parameters in bekledingen (dikte, doorlatendheid, dikte etc.);
- 17 overgang gezette en/of losgestorte bekledingen ↔ kleitaluds/bermen;
- 18 overgang in grastalud bekleding (berm-boventalud, binnentalud-binnenberm of binnentalud-binnenteen);
- 19 hybride kering: duin verdedigd door duinvoetverdediging, strandmuur of golfbreker;
- 20 overgang doorgroeisteen ↔ grasbekleding;
- 21 **overgang binnen kunstwerk: koppeling tussen twee harde elementen met verschillende stijfheid (bv damwand naar betonconstructie);**
- 22 **aansluiting kunstwerk ↔ duin (waartussen altijd een dijk/aansluitconstructie?);**
- 23 verandering in doorlatendheid van filterlagen;
- 24 overgang van verschillende onderlagen bij dezelfde doorgaande bovenlaag;
- 25 overgang tussen twee typen harde bekledingen op dijk;
- 26 **aansluiting betonnen/stalen wand ↔ dijk (met hard element hoger dan dijk);**
- 27 verticale overgang overlaging gepenetreerde breuksteen ↔ gezette bekleding;
- 28 **overgang binnen kunstwerk: damwand/keerwand ↔ bodem;**
- 29 overgang in bv waterleidingen;
- 30 overgang helling teen ↔ talud;
- 31 overgang NWO ↔ grasbekledingen (bv trappen, dijkpalen, groot meubilair, etc);
- 32 **aansluiting dijk ↔ kunstwerk of ander star object (NWO) onder water;**
- 33 overgang door verandering in taludhelling bij gelijkblijvende bekleding;
- 34 overgang dijktalud ↔ voorland (kwelder, schor);
- 35 **overgang bodembescherming ↔ oorspronkelijke bodem;**
- 36 **aansluiting dijk ↔ kunstwerk of ander star object (NWO) op dijk (bv windmolen);**
- 37 overgang ondoorlatende bekleding ↔ doorlatende bekleding;
- 38 overgang grasbekleding ↔ harde bekleding in golfoploop zone;
- 39 overgang versterkte berm (asfalt/steenbekleding) ↔ grasbekleding boventalud;
- 40 **aansluiting dijk ↔ ondoorlatende constructie in dijk (bv sluis, stuw, damwand);**

- 41 overgang talud ↔ berm;
- 42 overgang dijk ↔ treintalud;
- 43 overgang verschillende soorten ondergrond bij doorgaande (identieke) bekleding;
- 44 overgang kruin ↔ binnentalud;
- 45 overgang grasbekleding ↔ objecten;
- 46 **aansluiting dijk ↔ verticale elementen in dijk kruinen (damwanden, Muralt-muren);**
- 47 overgang doorlatende onderlaag ↔ ondoorlatende onderlaag (ca. filterlaag);
- 48 lokale penetratie (als tijdelijke versterking);
- 49 overgang dijk-duin;
- 50 wegovergang over dijk (knik in talud samen met overgang weg-grasbekleding);
- 51 **aansluiting vleugelwand ↔ taludbekleding bij kunstwerken;**
- 52 overgang tussen twee delen geotextiel;
- 53 overgang dijk ↔ voorland;
- 54 verticale overgang tussen bekledingen op sterke topklaag;
- 55 overgang bekleding ↔ (hoger gelegen) opsluitband;
- 56 overgang op grote pijpleidingen;
- 57 sociaal raakvlak: betreding met gevolgen voor kwaliteit grasmat (bv paarden op kruin);
- 58 overgang doorlatende (bv open steenasfalt, elastocoast) topklaag ↔ ondoorlatende topklaag (bv asfalt);
- 59 verticale overgang filter ↔ ondergrond.

N.B. Het laatste punt betrof de suggestie om een inventarisatie van overgangen en overgangsconstructies uit de (laatste) toetsingsronde uit te voeren.

B.2 Belangrijkste typen aansluitconstructies

Na de inventarisatie van de bovenstaande lijst met de meest voorkomende overgangen en aansluitingen is in het kader van [SBW-bkl 2012] nog een verdiepingsslag gemaakt. Eerst is door de experts gekomen tot een prioritering van de overgangen en aansluitingen op basis van de mate waarin het van belang is voor de veiligheidstoetsing. Wat betreft de aansluitingen en aansluitconstructies is hieruit de volgende prioritering gekomen:

- aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk-dijk (#36);
- parallelle aansluiting verticale wandconstructie in/op kruin (#46);
- aansluiting raakvlak wandconstructie en bodem (#8);
- loodrechte aansluiting boven kruin uitstekende wandconstructie (#26);
- aansluiting wandconstructie en steenbekleding (#7);
- loodrechte (zonder hoogteverschil) aansluiting kunstwerk op dijk (#40);
- aansluiting wandconstructie op bodem (#28);
- overgang beschermde-onbeschermde bodem voor- en achterland (#35);
- verbinding elementen met verschillende stijfheid binnen civiel deel (#21);
- aansluiting vleugelwand op taludbekleding (#51);
- aansluiting in vorm van dijkconstructie (#22);
- verbinding elementen civiel en bewegend deel (#10).

Met de gekozen definitie van te toetsen aansluitconstructies onder hoogwatercondities (zie paragraaf 2.3.2) zijn dan alleen de volgende relevant:

- aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk (#36)
- loodrechte aansluiting boven kruin uitstekende wandconstructie (#26)
- aansluiting wandconstructie en steenbekleding (#7)
- loodrechte (zonder hoogteverschil) aansluiting kunstwerk op dijk (#40)
- aansluiting vleugelwand op taludbekleding (#51)

B.3 Verdiepingslag belangrijkste typen aansluitconstructies

Na een prioritering op basis van de vraag wat de belangrijkste typen van overgangen of overgangsconstructies zijn, waarbij initiële schade een belangrijke oorzaak van doorbraak van de waterkering kan zijn, zijn de tien als belangrijkste onderkende typen overgangen meer in detail besproken. Vragen die hierbij aan de orde kwamen hadden betrekking op de fysica van het doorbraakproces (opvolgende deelfaalmechanismen van initiële schade tot doorbraak), de hierover bestaande kennis en de kennisleemten om te komen tot toetscriteria.

Een interpretatie van de resultaten uit deze verdiepingslag opgenomen in [SBW-bkl 2012] is in het vervolg van deze bijlage opgenomen.

B.3.1 Aansluiting (met hoogteverschil) rondom kunstwerk (#36, #26)

- oorzaken:
 - contractie van hydraulische belasting bij overloop en golfoverslag.
- initiële schades en bezwijkmechanismen:
 - lokale erosie voor en/of naast kunstwerk door contractie hydraulische belasting;
 - lokaal bezwijken bekleding voor en/of naast kunstwerk door contractie hydraulische belasting.
- doorbraakproces na initiële schade:
 - erosie van zand(kern) voor en/of naast kunstwerk onder invloed van een doorgaande hydraulische belasting.
- gevolgen:
 - doorgaande erosie van zand(kern) gaat in oploopzone niet zo snel, maar onder toetspeil en onder invloed van golven kan een bres ontstaan.
- effectieve maatregelen (doel):
 - lokaal versterkte bekleding en deugdelijke aansluiting (*voorkomen erosie*);
 - gecontroleerde afvoer van overlopend en overslaand water langs kunstwerk (*verlagen hydraulische belasting*).
- voorhanden zijnde rekenregels en/of rekenmodellen (geldigheidsgebied):
 - geen rekenregels en/of rekenmodellen voorhanden.

B.3.2 Aansluiting wandconstructie en steenbekleding (#7)

- oorzaken:
 - zettingsverschillen tussen damwand en steenbekleding;
 - verminderde klemming als gevolg van zettingsverschillen;
 - niet zanddichte aansluiting.
- initiële schades en bezwijkmechanismen:
 - erosie van basis- en filtermateriaal onder invloed van stromingen of golven, mede door verminderde klemming.
- doorbraakproces na initiële schade:
 - versnelde erosie aansluiting na instorten steenbekleding door de concentratie van de hydraulische belasting, en de gebrekkige kleiverdichting tegen de damwand.

- gevolgen:
 - zettingsverschil tussen wand en steenbekleding door uitspoelen van basis- en filtermateriaal uit beschadigde bekleding, leidend tot schade (en bresvorming).
- effectieve maatregelen (doel):
 - ontwerpen van geometrisch dichte aansluiting, die zettingsverschillen toelaat;
 - ontwerp van aansluitingen gemakkelijk uitvoerbaar maken;
 - visuele inspectiemethode (checklist) voor beheerder opstellen;
 - monitoren in de tijd damwandvervorming en zetting bekleding ter plaatse van teen.
- voorhanden zijnde rekenregels en/of rekenmodellen (geldigheidsgebied):
 - alleen voor een perfect uitgevoerde (geometrisch dichte) aansluiting.

C Onderwerpen voor vervolgonderzoek

C.1 Globale wettelijke eisen

In [FGR-ovg 2014] wordt aangegeven dat overgangsconstructies in het algemeen aan de wettelijk gestelde eisen dienen te voldoen. Meestal zijn deze wettelijke eisen globaal, en dus niet specifiek genoeg beschreven. In [FGR-ovg 2014] worden deze als volgt onderscheiden:

- mate waarin waterkerende functie wordt vervuld:
→ weerstand tegen hydraulische belastingen, beperken golfoploop, beperken zettingen;
- mate waarin secundaire functies worden vervuld:
→ weerstand tegen verkeersbelasting;
- mogelijkheid tot inspecteren en toetsen;
- mate waarin vereiste levensduur kan worden gehaald:
→ hoeveelheid regulier onderhoud, beschikbaarheid degradatiemodel;
- mate waarin aan milieuhygiënische aspecten wordt voldaan
- mogelijkheid tot ontwerp, aanleg en onderhoud:
→ beschikbaarheid (standaard) materialen en werkvoorschriften, haalbare toleranties;
- mate waarin economische afweging kan worden gemaakt:
→ beschikbaarheid Life Cycle Cost analyse.

Ondanks dat de bovenstaande criteria in [FGR-ovg 2014] zijn bepaald voor overgangen naar grasbekledingen, stelt [FGR-ovg 2014] dat deze op generieke wijze zijn bepaald en daardoor ook van toepassing kunnen zijn voor andere typen overgangen. En zelfs als leidraad kunnen dienen voor systematisch onderzoek naar de werkelijke sterkte van overgangen...

C.2 Concrete doorontwikkeling

Aan de expertsessie [SBW-bkl 2012] zijn de volgende onderwerpen voor vervolgonderzoek ontleend, waarbij ook naar het bijbehorende item-nummer wordt verwezen.

C.2.1 Analyse

- In kaart brengen exacte oorzaken van initiële schade aan aansluiting en hoe het doorbraakproces verloopt, met name de tijdsafhankelijkheid (#5).
- Kwantificeren van (tijdsafhankelijke) hydraulische belastingen bij golfaanval (lokaal overslagdebiet, pieken, turbulentie, invloed van contractie op de belastingen) (#5).
- Beschrijving van infiltratie is niet betrouwbaar (afhankelijk van grondsamenstelling) en de beoordelingscriteria naar effecten zijn te zacht (#5).
- Gevalideerde analyse van 3D kwelwegen (#5).
- (Theoretisch) beschrijven van het gedrag van een ondeugdelijke aansluiting tussen wand en gezette steenbekleding (#7).
- Morfologisch model waarmee erosieproces voor wandconstructie onder invloed van stroming door scheepschroeven kan worden voorspeld (#8).
- Stabiliteit van (stort)steenbekleding onder invloed van schroefstralen (#8).

C.2.2 Ontwerpen

- Passende ontwerpwaarden van (tijdsafhankelijke) hydraulische randvoorwaarden bij golfaanval (inclusief richting) die op basis van praktijkmetingen zijn gevalideerd (#5, #7).
- Betrouwbare ontwerpmethodiek voor 3D kwelwegen (#5).
- Ontwerpregels dimensionering onder- en achterloopsheidschermen (bv weer invoeren “achterloopsheids scherm door laten lopen tot ongeroerde grond”?) (#5).
- Inventariseren, vastleggen en uitbouwen van praktijkkennis ten aanzien mogelijke ontwerpvarianten voor geometrisch dichte aansluitingen wand-steenbekleding (#7).
- Ontwikkeling (ontwerp)basis om de stabiliteit van steunbermen versterkt met geometrisch open filters mogelijk te maken (#8).

C.2.3 Uitvoering

- Welke maatregelen moeten in de uitvoering worden genomen (om belastingen te weerstaan) zodanig dat niet door uitvoeringsfouten alsnog ongewenste effecten ontstaan? – praktijkregels voor de uitvoering (bv dimensionering schermen) (#5).

C.2.4 Beheer

- Verbeterde uitwerking nut van inspectie/monitoring bij aansluitingsconstructies.
- Meetmethoden om de aanwezigheid en actuele toestand (staat) van een aansluitingsconstructie op een waterkerend kunstwerk te bepalen:
 - aanwezigheid van constructies in de ondergrond in het algemeen (#8), en onder- en achterloopsheidschermen in het bijzonder (#5);
 - afmetingen en goede werking van achterloopsheidschermen (#5)
 - aansluitingen aan kunstwerk (#5);
 - vervorming wandconstructie in combinatie met zetting voorliggende bodem (#7)
- Borgen van controle op (en tijdige reparatie van) ontstane ongewenste afwijkingen aan aansluitingsconstructies tijdens de levensduur (geleidelijk of na extreme (golf)belasting).

C.2.5 Toetsen

- Aansluitingsconstructies (en andere overgangen) een duidelijk herkenbare plaats geven in het geheel van ontwikkelingen in WTI.
- Beschikbare praktische richtlijnen uit VS (ervaringen Katrina) omtrent verticale wanden in/op kruin evalueren en opnemen in toetsvoorschrift (#7).

D Checklist visuele inspectie aansluitingen (ter aanvulling)

D.1 Checklist primaire effecten aanwezigheid aansluiting op belasting buitencontour

In stap 1a van het schema voor de eenvoudige toets (zie figuur 4-1) staat de vraag:

“Is er in de ‘externe vormgeving’ van het ontwerp van de aansluiting voldoende rekening mee gehouden dat de aanwezigheid van de aansluitconstructie mogelijk leidt tot een verhoogd effect van de hydraulische belastingen op de buitencontour ter plaatse?”

In het toetsen van de externe vormgeving van (de directe omgeving van) een aansluitconstructie in relatie tot de verhoogde (hydraulische) belasting van de buitencontour leiden de volgende aspecten tot een vermindering van de invloed:

- afronden van scherpe hoeken tussen twee wandconstructies;
- afronden scherpe overgangen tussen binnentalud en binnenberm/vleugelwand;
- geleidelijk beëindigen van wandconstructies boven/onder de buitencontour;
- geleidelijk overbruggen van ruwheidsverschillen tussen aansluiting en omgeving;
- afzetten mogelijke paden voor belopen/berijden van aansluitconstructie;
- zichtbaar versterken gewenst paden voor lopen/berijden naast aansluitconstructie.

D.2 Checklist primaire effecten aanwezigheid aansluiting op sterkte buitencontour

In stap 1b van het schema voor de eenvoudige toets (zie figuur 4-1) staat de vraag:

“Is de sterkte van de ontwerpopplossing voor de aansluiting hoger dan de sterkte van de buitencontour juist naast de aansluitconstructie?”

In het toetsen van de (ontwerp)sterkte van een aansluitconstructie in relatie tot de sterkte van de buitencontour leiden de volgende aspecten (op basis van de detailoplossingen in paragraaf 2.3.4) tot een vermindering van de invloed:

- aanbrengen van verdikking buitencontour met extra materiaal;
- versterken van buitencontour met behulp van ander materiaal;

D.3 Checklist secundaire effecten uitvoering aansluiting op belasting buitencontour

In stap 1c van het schema voor de eenvoudige toets (zie figuur 4-1) staat de vraag:

“Is de aanleg en het beheer & onderhoud van de aansluiting er voldoende op gericht om op de lange termijn geen extra verhoogd effect op de hydraulische belastingen te creëren?”

Bij toetsing moet in feite de staat van de (eventueel) aanwezige voorzieningen in het detailontwerp (zie paragraaf 2.3.4) om de juiste ‘externe vormgeving’ voor de minimalisatie van een verhoogde (hydraulische) belasting in stand te houden – filterconstructies, (met bitumen gevulde) membraanlussen, glijvoegen, penetratie van tapse blokken – worden geïnspecteerd.

Deze inspectie omvat in feite het visueel nagaan of de ontwerpopplossingen uit checklist D1 nog steeds aanwezig zijn en naar behoren werken.

D.4 Checklist secundaire effecten uitvoering aansluiting op sterkte buitencontour

In stap 1d van het schema voor de eenvoudige toets (zie figuur 4-1) staat de vraag:

“Is de aanleg en beheer & onderhoud van de aansluiting er voldoende op gericht om tijdig sterktegradatie van de aansluitconstructie te (kunnen) detecteren en repareren?”

Bij toetsing moet in feite de mate van sterktegradatie van de materialen ter plaatse van de aansluiting ten opzichte van de ontwerpsituatie worden geïnspecteerd.

- Is er sprake van ontoelaatbare sterktegradatie van de grasbekleding door bv:
 - gebrek aan zonlicht?
 - overbemesting i.v.m. geconcentreerde ‘beloop-belasting’ (schapen/honden)?
 - gebrekkig onderhoud doordat onderhoudsmaterieel er niet bij kan?
- Is er sprake van ontoelaatbare sterktegradatie van de asfaltbekleding door veroudering?
- Is er sprake van ontoelaatbare sterktegradatie van steenzetting door tekort aan klemming tussen bekleding en kunstwerk, of door gebrekkig beheer doordat het onderhoudsmaterieel er niet bij kan?