

**Datum**

februari 2021

**Aantal pagina's**

1 van 14

**Contactpersoon**

Han Knoeff  
Harm Rinkel  
Helle Larsen  
Marc Hulst

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 8544

**E-mail**

Han.Knoeff@deltares.nl

**Onderwerp**

Rode draad overstrooming bij aanwezigheid van langsconstructies

Door tussen RWS WVL, HWBP en Deltares worden rode draden rondom bekledingen, piping en macrostabiliteit beschreven. In de rode draden documenten wordt een gezamenlijke visie beschreven op deze (initiele) faalmechanismen en de faalpaden die als gevolg van deze faalmechanismen tot overstrooming kunnen leiden. De faalpaden worden gebruikt om overzicht te geven van de huidige stand van zaken van de kennis. Daarbij worden ook de relevante kennisleemtes beschreven. Dit document zoomt na een generieke veiligheidsfilosofie in op stabiliteitsverhogende langsconstructies. In een later stadium kunnen de rode draden voor langsconstructies, die voor andere functies dan macrostabiliteit worden benut, hieraan worden toegevoegd.

Het document geeft aanknopingspunten voor de communicatie met RWS WVL- pd HWBP en waterkeringbeheerders, over initiatieven voor onderzoek rondom langsconstructies. Met dit document wordt beoogd richting te geven aan de vraag welk onderzoek, in welke situatie zinvol is, in verband met de impact, die het onderzoek kan hebben op het faalpad c.q. de overstroomingskans. Bij het opstellen van plannen van aanpak voor Kennis voor Keringen (KvK), de Kennis en Innovatie Agenda (KIA) of het Strategisch onderzoek van Deltares kan op dit document worden aangesloten. Het document moet helpen om te zien waar raakvlakken zijn of om te voorkomen dat zaken dubbel worden gedaan. Door met plannen van aanpak aan te sluiten op dit document kan ook helder worden aangegeven wat de achtergrond van een onderzoeksvoorstel is. Daarnaast kan het document helpen met het afstemmen van de visies en de onderzoeksprogramma's van RWS (Kennis voor Keringen, KvK), HWBP (Kennis en Innovatie Agenda, KIA) en Deltares (Strategisch onderzoek).

Uiteraard kunnen er ook andere overwegingen zijn om een onderzoek op te starten in relatie tot dijkversterkingsprojecten. Dat kan zijn vanuit een LCC-benadering, duurzaamheid, CO<sub>2</sub>-reductie etcetera. In dit document wordt alleen ingegaan op kennis en kennisleemtes ten aanzien van langsconstructies in de context van de overstroomingskansbenadering en de faalpaden-benadering.

Continue worden zowel bij Kennis voor Keringen als HWBP KIA en het SO programma van Deltares diverse onderzoeksvoorstellen ingediend. Deze voorstellen hebben vaak betrekking op verbetering van een individuele schakel in de keten van gebeurtenissen, die leidt tot een overstrooming. Een keten van gebeurtenissen, die tot overstrooming leidt, wordt ook wel een faalpad genoemd. Om de voorstellen op elkaar af te stemmen en ten behoeve van de prioritering van onderzoeksvoorstellen is het van belang om de onderzoeken in de keten te plaatsen. Het overzicht dat hieruit volgt geeft ook inzicht in relevante kennisleemten, die nog niet in de onderzoeksprogramma's worden opgepakt.

De doelgroep van dit memo zijn in eerste instantie experts van Deltares, RWS-WVL, pd HWBP, keringenbeheerders en ingenieursbureau's, die een goede achtergrondkennis van de faalmechanismen bij langsconstructies hebben.

## Verschillende functies langsconstructies

Er zijn verschillende functies voor langsconstructies:

1. Langsconstructies, die verantwoordelijkheid dragen voor het toevoegen van extra sterkte aan de kering en de kans op overstromen verkleinen.
  - a. Stabiliteitsverhogende langsconstructies: Dit type constructie staat in geval van binnenwaartse stabiliteit meestal in de zone tussen de binnenkruin en de binnentee van de dijk. Constructies die zorg dragen voor de buitenwaartse stabiliteit staan meestal in de zone tussen de buitenkruin en de buitentee.
  - b. Piping: Onderscheid kan worden gemaakt tussen heaveschermen, kwelwegverlengende-, filter- en drainage constructies. Afhankelijk van de constructie wordt deze in het voor- of achterland aangebracht of ter plaatse van de binnen of buitentee.
  - c. Hoogte: dit type constructie staat meestal op de kruin, maar kan ook voor de kering liggen om golfbelasting te reduceren. Dit type constructie levert alleen een bijdrage in het reduceren van de belasting of het keren van de belasting; de constructie levert verder geen sterkte toe aan de grond.
2. Zelfstandige waterkeringen, die zowel verantwoordelijkheid dragen voor de hoogte van de kering, maar die ook de sterkte van de kering verhogen en daardoor de kans op overstromen door een (of meerdere) specifiek(e) faalmechanisme(n) verkleinen. Dit type constructie staat meestal in de (buiten)kruin van de dijk.
3. Langsconstructies die indirect invloed hebben op de overstromingskans. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen:
  - a. Vervangende langsconstructies, die pas in werking treden bij het falen van onderdelen van de waterkering (o.a. door erosie, afslag, instorten bebouwing, falen leiding).
  - b. Langsconstructies die als NWO bij falen de sterkte van de kering kunnen reduceren zoals kademuren.
4. Langsconstructies die worden aangelegd ten behoeve van andere functies dan waterkeren (bijvoorbeeld damwandschermen die worden aangelegd om schade aan panden door vervormingen van de kering te voorkomen). De eisen vanuit andere functies kunnen zowel zwaarder als lichter zijn dan de eisen die vanuit waterveiligheid aan de kering worden gesteld.

De eisen die aan de langsconstructies worden gesteld zijn afhankelijk van het type en de functie van de langsconstructie. Een uitwerking van de veiligheidsfilosofie in een veiligheidsraamwerk langsconstructies is belangrijk om op een consistente wijze praktische ontwerp- en beoordelingsregels te kunnen afleiden. Op dit moment worden vanuit de verschillende typen langsconstructies en faalmechanismen eigen veiligheidsfilosofieën uitgewerkt. Dit is ongewenst!

Wanneer we inzoomen op stabiliteitsverhogende langsconstructies kan verder onderscheid worden gemaakt in:

1. doorlopende (on)verankerde wanden, waar de onderlinge elementen aansluitend zijn geplaatst en in zekere mate met elkaar zijn doorverbonden
2. discontinue (on) verankerde wanden, waar de constructieve wandelementen niet met elkaar zijn aangesloten in het verlengde van elkaar (er zitten dus openingen met grond tussen de onderlinge wandelementen)
3. Losstaande (onverankerde) elementen; dit zijn constructieve elementen die, wegens de geringere mogelijkheden tot herverdeling, zelfstandig hun werk moeten doen.

Bij zowel de doorlopende wanden als de discontinue wanden wordt herverdeling tussen de onderlinge elementen mogelijk gemaakt via een doorgaande gording. Bij losstaande elementen wordt geen doorgaande gording aangebracht.

## Keten van gebeurtenissen overstroming door falen langsconstructies

Het bezwijken van een langsconstructie leidt (meestal) op zich zelf niet tot een overstroming. Het bezwijken is (meestal) een schakel in een keten van gebeurtenissen met een overstroming als gevolg. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende ketens:

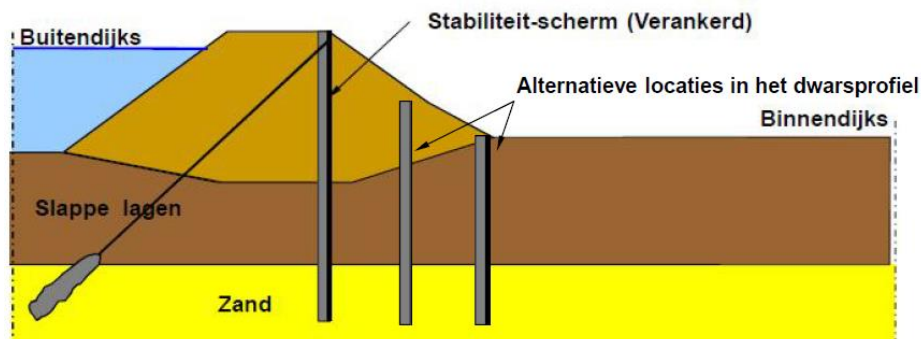
- I. bezwijken langsconstructie – vervolgmecanismen – kruinverlaging – bresgroei – overstroming
- II. Initieel faalmechanisme – bezwijken langsconstructie – vervolgmecanismen – kruinverlaging – bresgroei - overstroming

Beide ketens kunnen optreden in situaties met en zonder overloop en overslag. De hoogte van de kering bepaalt het overloop en overslagdebiet. Beide scenario's zijn relevant bij stabiliteits- of kruinverhogende langsconstructies. De kans op vervolgmecanismen zal hier zonder of met beperkte overloop / overslag aanzienlijk kleiner zijn dan met overloop / overslag. De mate van overloop en overslag speelt geen rol bij langsconstructies die zijn bedoeld om de weerstand tegen piping te verhogen.

	Met overloop / overslag	Zonder overloop / overslag
Keten I	Stabiliteit, Hoogte	Stabiliteit, Hoogte, Piping
Keten II	Stabiliteit, Hoogte, Piping	Piping

Tabel 1: Verwachte bepalende faalmechanismen voor verschillende sterkte verhogende langsconstructies

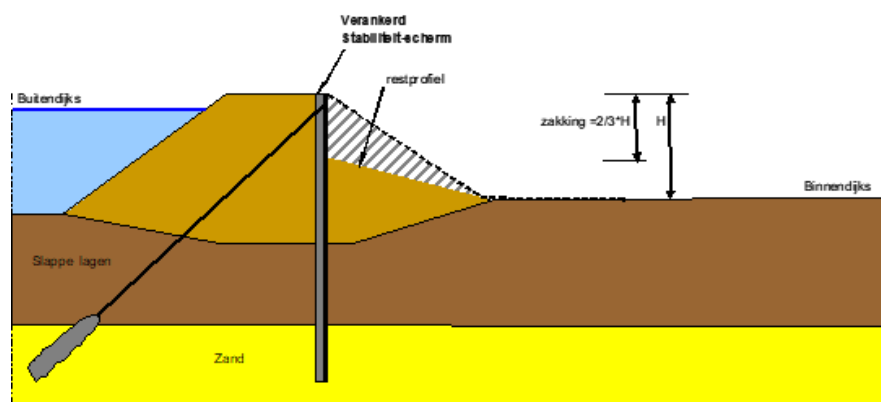
Langsconstructies, die verantwoordelijk dragen voor het toevoegen van extra sterkte aan de kering op gebied van binnenwaartse macrostabiliteit, staan meestal in een zone tussen de buitenkruin en de binnenteen, zie ook [Figuur 1](#).



Figuur 1 Schets locaties langsconstructies die verantwoordelijkheid dragen voor toevoegen van extra sterkte aan de kering t.b.v. het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit. Langsconstructies kunnen eventueel voorzien zijn van een verankering

Bij het toepassen van deze stabiliteitsverhogende langsconstructies wordt geaccepteerd dat het niet altijd mogelijk is om het stabiliteitsprobleem van de gehele dijk te kunnen oplossen.

Het wordt dan geaccepteerd, onder bepaalde voorwaarden, dat de kruin of het talud achter de constructie kan afschuiven zoals weergegeven in **Figuur 2**. In dat geval treedt het zogenaamde 'restprofiel' op.



**Figuur 2** Illustratie 'niet kritieke' instabiliteit (restprofiel) aan de polderzijde van de langsconstructie.

Zolang de kans op vervolgemechanismen (falen langsconstructie evt door erosie tgv overloop / overslag) klein genoeg is, wordt een dergelijke afschuiving ook wel een 'niet kritische instabiliteit' genoemd omdat deze afschuiving niet leidt tot een te grote overstromingskans.

## Keten van gebeurtenissen overstrooming door falen van stabiliteitsverhogende langsconstructie

Alhoewel de verschillende typen langsconstructies voor binnenwaartse macrostabiliteit op verschillende locaties in de dwarsdoorsnede kunnen staan en op verschillende manieren kunnen falen, bestaat de keten van gebeurtenissen op hoofdlijnen uit de volgende gebeurtenissen:

1. Toename van waterspanningen in en onder de kering door een hoge waterstand. De toename is afhankelijk van dijkopbouw, bodemopbouw en verloop van de hoogwatergolf
2. Afschuiving binnentalud of kruin ('niet kritieke instabiliteit'). De grootte van deze afschuiving is o.a. afhankelijk van de locatie van de constructie in de dijk en kan variëren van een meer oppervlakkige afschuiving van het binnentalud tot een grote afschuiving, die meteen de gehele kruin aantast.  
Wanneer sprake is van overloop / overslag vergroot dit de kans op deze gebeurtenis
3. Bezwijken stabiliteitsverhogende langsconstructie. Verschillende mechanismen kunnen, afhankelijk van het type langsconstructie optreden:
  - a. Optreden van een glijvlak (onder de constructie of van het binnentalud (in het geval de constructie laag in het talud staat) of van grondbreuk (achter de constructie).
  - b. falen van anker (verankerde damwand<sup>1</sup>): De staalspanning in het anker wordt overschreden, het anker breekt of het ankerlichaam kan de trekkracht niet meer opnemen en faalt geotechnisch
  - c. Horizontale vervorming wand (onverankerde wand)
  - d. Falen van wand: Damwand<sup>1</sup> buigt uit, krijgt één of meerdere plastische scharnieren. De maximale staalspanning wordt overschreden, damwand kan grond- en waterdruk niet meer opnemen; damwand bezwijkt, de kruin zakt.

<sup>1</sup> Opgemerkt wordt dat een langsconstructie niet altijd een damwand hoeft te zijn. Er bestaan ook andere typen langsconstructies. In deze memo wordt in eerste instantie uitgegaan van een stalen damwand omdat deze de meest toegepaste langsconstructie is in de primaire waterkering. Later kunnen eventueel ook andere typen langsconstructies worden toegevoegd als o.a. betonnen wanden en dijkdeuvels.

- e. Grond stroomt door openingen wand bij discontinue wanden en singuliere elementen: De gronddruk op wand wordt te groot. De grond in de openingen bezwijkt.  
Wanneer sprake is van overloop / overslag vergroot dit de kans op deze gebeurtenissen
- 4. Kruinverlaging, erosie door overloop en bresgroei: Wanneer de vervormingen zo groot zijn dat deze leiden tot kruinverlaging kan water dat over de dijk stroomt erosie en uiteindelijk een bres veroorzaken.

De gebeurtenissen 1-3 worden het initiële mechanisme genoemd. Gebeurtenis 2 wordt niet beschreven in de onderstaande keten van gebeurtenissen omdat deze gebeurtenis in de rode draad van macrostabiliteit wordt beschreven en indien nodig, conform de PPE/PPL in het ontwerp wordt verdisconteerd. In de onderstaande keten van gebeurtenissen wordt gebeurtenis 3 uitgebreid beschreven. In de beschouwde rode draad van macrostabiliteit gaat het vooral om het verhaal van de langsconstructie vanaf gebeurtenis 3.




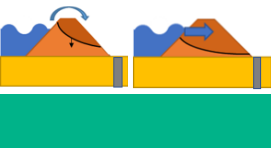

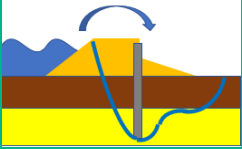
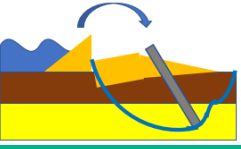

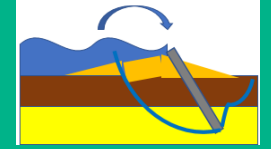
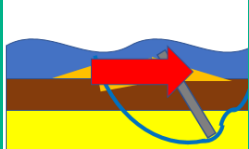
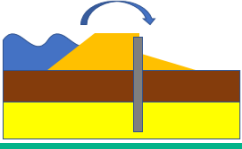
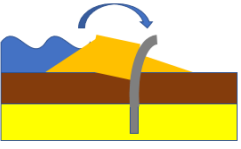
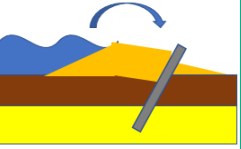

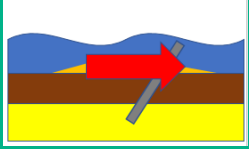
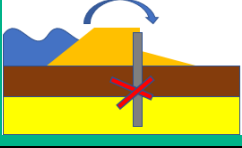
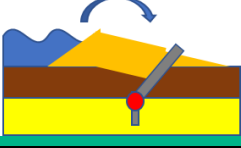
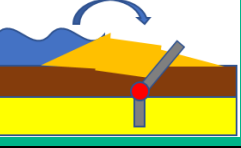

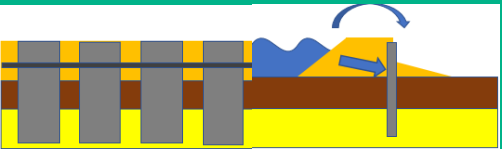
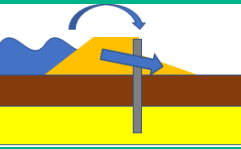
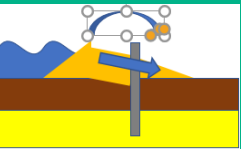
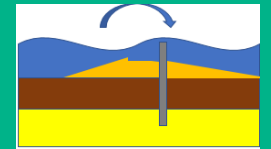
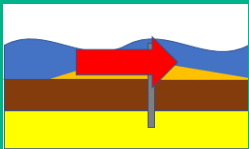


3 Initiele mechanismen Optreden van is afhankelijk van locatie en dimensies langsconstructie, hoogte kering en verloop waterspanningen		4 Vervolgprocessen bij verankerde (dis)continue wand: Optreden is afhankelijk van belastingduur, type constructie, restprofiel dat na optreden initieel mechanisme ontstaat, opbouw dijk (zand of klei) en uniformiteit daarvan			
a1					
a2					
b1					
b2					
d					
e					

Tabel .. Overstroming door falen verankerde stabiliteitsverhogende langsconstructie

Datum  
3 juni 2020

Pagina  
8 van 14

3 Initiele mechanismen Optreden van is afhankelijk van locatie en dimensies langsconstructie, hoogte kering en verloop waterspanningen		4 Vervolgprocessen bij verankerde (dis)continue wand:				
a1						
a2						
c						
d						
e						

Tabel .. Overstroming door falen onverankerde stabiliteitsverhogende langsconstructie



In het kader van de prioritering van onderzoeksvragen voor Kennis voor Keringen wordt op basis van de keten van gebeurtenissen nagegaan welke fasen (initiatie, of vervolgproces) en gebeurtenissen dominant zijn voor de overstromingskans. In het algemeen geldt dat wanneer sprake van overloop en overslag de overstromingskans voornamelijk wordt bepaald door het initiële mechanisme. Afhankelijk van type constructie en initiële mechanisme kan bresgroei een rol spelen. Verder kan een relevante bijdrage van vervolgmechanismen bij kleidijken, waar (de duur van) overloop / overslag beperkt is, worden verwacht. Vervolgmechanismen zijn bepalend voor de overstromingskans wanneer er geen overloop en overslag optreedt.

Een langsconstructie wordt vanuit waterveiligheid alleen toegepast wanneer het grondlichaam zelf onvoldoende weerstand biedt tegen een hydraulische belasting. Dat betekent dat het initiële mechanisme altijd relevant en in de meeste gevallen maatgevend zal zijn voor de overstromingskans.

Voor het bepalen van de kans van optreden van vervolgmechanismen kan gebruik worden gemaakt van de kennis (ontwikkeling) van de faalpaden zonder constructie. Daarbij dient wel rekening te worden gehouden met de extra taaiheid van de stabiliteitsverhogende langsconstructie. Die taaiheid is van invloed op vervolgmechanismen, erosie van het restprofiel en bresgroei. De taaiheid leidt in het algemeen waarschijnlijk vaker tot kleinere bressen en uiteindelijk minder grote gevolgen in het achterland. Van vervolgprocessen zijn alleen kwalitatieve beschrijvingen bekend.

## Overzicht kennis rondom langsconstructies

Om overzicht van beschikbare kennis te hebben wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende ontwikkelfasen. Daarbij wordt aangesloten bij de TRL niveau's. De vertaling van de TRL fasen naar kennis en (product) innovatie ontwikkeling voor hoogwaterbescherming is in onderstaande figuur gegeven.

Deze rode draad beoogt overzicht te geven van de kennis om een overstromingskans door falen van langsconstructies. Voor de beschrijving van de beschikbare kennis wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Theorie: de theoretische beschrijvingen van het fysisch proces
- Model: de vertaling theorie naar model (toepasbare formule)
- Ontwerp realisatie: het afregelen/kalibreren model voor specifieke toepassingen
- Implementatie: het ontsluiten van kennis in instrumenten

TRL	kennis	product	
1	Concept van technologie is beschreven basisprincipes zijn bekend	Geobserveerd gedrag vastgelegd	theorie
2	Het concept is uitgewerkt <b>Theorie beschreven</b>	Hypothese geformuleerd	
3	Werking concept aangetoond <b>Model beschikbaar</b>	1 <sup>e</sup> bewijs van functioneren vastgelegd	ontwikkel
4	De technologie is gevalideerd <b>Toepasbaarheid model is bekend</b>	Prototype getest op laboratoriumschaal	
5	De technologie is getest <b>Veiligheidsformat uitgewerkt</b>	Valisatie onderzoek uitgevoerd (maakbaarheids-, grote schaalproef)	ontwerp/realisatie
6	De werking is gedemonstreerd <b>Groene versies van tools beschikbaar</b>	Pilot full scale	
7	De technologie is geïntegreerd in <b>Best practices</b>	Full scale toepassing in praktijk	implementatie
8	De technologie presteert naar behoren <b>Geïntegreerd in instrumentarium</b>	Werking naar behoren, praktijkhandreikingen opgesteld	
9	Klaar voor toepassing	Klaar voor toepassing	

Nieuwe (generieke) kennis landt uiteindelijk in (basis)instrumenten waarmee veiligheidsanalyses voor beoordelen en ontwerpen kunnen worden uitgevoerd. Voor stabiliteitsverhogende langsconstructies bestaat het basisinstrumentarium uit de volgende instrumenten:

- Software ...
- Schematiseringshandreiking ...
- Technische Leidraden met achtergrondinformatie.

Op dit moment is de theorieontwikkeling van het fysische proces, rondom vervolprocessen, niet accuraat genoeg. Ook voor enkele initiële mechanismen ontbreekt fundamentele kennis waardoor bepaalde langsconstructies beperkt kunnen worden toegepast. De theorie rondom vervormingen van een constructie in een grondlichaam is niet uitgewerkt, waardoor onverankerde damwanden nauwelijks worden toegepast. Ook zijn er geen modellen waarmee het persen of stromen van grond door openingen in de constructie kwantitatief kan worden beschouwd. Daarnaast ontbreekt een generieke veiligheidsfilosofie op basis waarvan ontwerp en beoordelingskaders kunnen worden afgeregeld en op basis waarvan de betreffende overstromingskansen kunnen worden ingevuld. Tenslotte ontbreekt een goede monitoringsfilosofie om het gedrag in de praktijk te monitoren. In onderstaande tabel is de huidige stand van zaken van de aanwezige kennis (zwart) en de stand van zaken van kennisleemten en benodigde ontwikkeling van software (rood) weergegeven. De stand van zaken rondom de initiële mechanismen 3a-3e is in onderstaande tabel weergegeven.

	TRL	3a Geotechnische stabiliteit	3b Falen anker (verankerde wand)	3c Horizontale vervorming (onverankerde damwand)	3d Falen van de wand	3e grond stroomt door openingen wand
Theorie	1	Theorie en rekenmodel beschikbaar. <b>Er is een beter onderbouwd</b>	Theorie en rekenmodel beschikbaar. Deze worden toegepast bij reguliere constructies. <b>Modellen om aging processen mee te nemen zijn onvoldoende onderbouwd. Dat geldt zowel voor een</b>	<b>Naast het veiligheids-raamwerk ook geschikte modellen nodig om het gedrag van de combinatie van grond en constructie betrouwbaar te kunnen berekenen voor wat betreft vervormingen.</b>	<b>Theorie en rekenmodel beschikbaar. Naast het veiligheids-raamwerk ook geschikte modellen nodig om het gedrag van de combinatie van grond en constructie betrouwbaar te kunnen berekenen bij niet-lineair constructiegedrag.</b>	Theorie en rekenmodel beschikbaar. Naast het veiligheidsraamwerk ook geschikte modellen nodig voor wat betreft snijden van grond door openingen in de constructies. 3D modellen zijn (nog) onvoldoende nauwkeurig om het proces voldoende nauwkeurig te kunnen beschrijven.
	2	<b>veiligheidsraamwerk nodig voor het beoordelen van de combinatie van grond en langsconstructies. Dit was ook het belangrijkste ENW advies op de PPL/PPE. Een dergelijk veiligheidsraamwerk is onmisbaar om veilig te kunnen optimaliseren in veiligheidsfactoren en eisen<sup>2</sup>. Deze opmerkingen gelden voor alle genoemde mechanismen in deze tabel.</b>	<b>hoogwatersituatie als voor de eventuele invloed van het effect van kruipende grond op de wand en de ankerstangen.</b>	<b>Modellen om aging processen in horizontale richting mee te nemen zijn niet beschikbaar. Ook is de vraag hoe veel invloed de overgangsconstructie heeft op de vervorming door een hoogwaterbelasting en wat de invloed is van openingen in de constructie bij grotere vervormingen.</b>	<b>Dit betreft het benutten van de plastische wandcapaciteit bij stalen onderdelen. Het toelaatbaar benutten van deze extra capaciteit in het staal hangt sterk samen met het eerst benodigde inzicht in het veiligheids-raamwerk en de daarbij horende set van factoren..</b>	
Model	3					
	4					
Ontwerp	5	Bestaande ontwerpeisen en -regels (groene tools van PPE/PPL) reguliere constructies overgenomen / aangepast.	Bestaande ontwerpeisen en -regels (groene tools van PE/PPL) reguliere constructies overgenomen / aangepast.	Bestaande ontwerpeisen en -regels (groene tools PPE/PPL) reguliere constructies overgenomen / aangepast.	Bestaande ontwerpeisen en -regels (groene tools PPE/PPL) reguliere constructies overgenomen / aangepast.	Er ontbreken aanwijzingen en voorbeelden voor hoe een 3D-analyse uitgevoerd moet worden bij meer 3D-achtige constructies.

<sup>2</sup> Optimalisatie is misschien mogelijk, maar dat vraagt wel een onderbouwing op basis van een volledig veiligheidsraamwerk. De invloed van belangrijke onzekere parameters op de faalkans moet daarbij zichtbaar worden gemaakt.

Met dit veiligheidsraamwerk kan vervolgens ook worden bepaald welke optimalisaties in veiligheidsfactoren en eisen verantwoord mogelijk zijn.

	6	Geen veiligheids format vanuit overstromings-normen beschikbaar..	Geen veiligheids format vanuit overstromings-normen beschikbaar..	Geen veiligheids format vanuit overstromings-normen beschikbaar..	Geen veiligheids format vanuit overstromings-normen beschikbaar..	Bij damwanden met openingen is pragmatische keuze gemaakt van beperkte openingen. Optimalisatie lijkt mogelijk. Geen veiligheids format vanuit overstromings-normen beschikbaar..
Implementatie	7	De technologie is via de PPL/PPE geïntegreerd in best practices; Onduidelijk welk faalkans wordt bereikt.	Ankers worden in de praktijk veelvuldig toegepast, niet alleen in waterkeringen. Maar ankers in de waterkeringen worden waarschijnlijk zwaarder belast. Geen veiligheidsformat vanuit overstromingsnormen beschikbaar. Onduidelijk welk faalkans wordt bereikt.	De technologie is via de PPL/PPE geïntegreerd in best practices; Onduidelijk welk faalkans wordt bereikt.	Geen veiligheidsformat vanuit overstromingsnormen beschikbaar. Onduidelijk welk faalkans wordt bereikt. Met name voor het beoordelen is de eventuele sterkte direct na constructief falen van belang. Is er dan gelijk sprake van een overstroming of is er dan nog een bepaalde sterkte (taaiheid) aanwezig die van belang is voor het bepalen van de overstromingskans.	De technologie is via de PPL/PPE geïntegreerd in best practices; Onduidelijk welk faalkans wordt bereikt.
	8					
	9					

## Rode lijnen

Uit voorgaande kunnen vier rode draden worden afgeleid voor stabiliteitsverhogende langsconstructies:

- **Veiligheidsraamwerk en format voor langsconstructies** is nodig om te kunnen werken met overstromingskansnormen. Zonder veiligheidsraamwerk blijft het een 'voldoet / voldoet niet' verhaal om aan te tonen dat een waterkering niet faalt bij een bepaalde hydraulische belasting. In de overstromingskansbenadering mag de kering falen (ook onder dagelijkse omstandigheden). Specifiek voor stabiliteitsverhogende langsconstructies is het momenteel niet duidelijk welke faalkans correspondeert met de in de PPL voorgeschreven partiële factoren en eisen.

Een probabilistisch rekenmodel is een voorwaarde voor het afleiden van een veiligheidsformat. Het probabilistisch rekenmodel geeft ook inzicht in de relatieve bijdrage van de verschillende onzekerheden aan de overstromingskans. Met deze informatie is het mogelijk gericht vervolgonderzoek te plannen.

- **Geschikte modellen** om het gedrag van de combinatie van grond en constructie te simuleren. Er is heel weinig bekend rondom stromen van grond door openingen in de constructies ('snijden'), belasting van zakkende grond op ankerstangen en niet-lineair constructiegedrag. Vervormingsmodellen zijn nodig om het werkelijke gedrag van stabiliteitsverhogende langsconstructies te analyseren, waardoor bijvoorbeeld (vaker) onverankerde of niet continue damwanden kunnen worden toegepast.
- **Monitoring en levensduurverwachting** (meetdata om modellen te verbeteren en levensduur te verlengen). Metingen tijdens de uitvoering en tijdens de gebruiksfase. Deze metingen zijn enerzijds nodig voor doorontwikkeling en validatie van de modellen. Anderzijds kunnen de metingen ook helpen bij het bepalen van de actuele sterkte van de constructie in de dijk en bij het optimaal benutten van de sterkte van de constructie in de tijd.<sup>3</sup>
- **Kwalitatieve beschouwing vervolgprocessen.** Met gevoeligheidsanalyses kan worden nagegaan of en welke vervolgmechanismen een relevante invloed kunnen hebben op de overstromingskans. Wanneer de invloed significant is kan deze worden gebruikt voor minder strenge eisen aan langsconstructies.

Naast de bovengenoemde vier rode draden ontbreken er nog aanwijzingen voor:

- het ontwerpen van o.a. constructies op palen, keerwanden die op staal/palen zijn gefundeerd, hybride constructies en kistdammen

buitenwaartse stabiliteit. Vragen daarbij zijn: welke scenario's moeten worden doorgerekend, welke kans op overstroming geven falen moet daarbij worden aangenomen, hoe moet het restprofiel worden ingevuld, welk stappenplan moet in plaxis worden gevolgd en wat is eventuele invloed van horizontale kruip.

---

<sup>3</sup> Dit aspect lijkt erg belangrijk bij langsconstructies omdat het vervangen/uitbreiden van een langsconstructie erg complex kan zijn. Daarnaast vraagt het op termijn vervangen van een langsconstructie waarschijnlijk opnieuw een grote investering in verhouding tot het uitbreiden van een versterking in grond.

