

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



2015
-15

**MODULE A:
ALGEMEEN
GEDEELTE**

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE A

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

MODULE A: ALGEMEEN GEDEELTE

1.	INSTRUMENTARIUM REGIONALE WATERKERINGEN	4
1.1.	AANLEIDING VOOR EEN NIEUWE LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN	4
1.2.	DEZE LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN	4
1.3.	KENNISONTWIKKELING	7
1.4.	OMGAAN MET NIEUWE KENNIS	7
1.5.	VERWIJZINGEN NAAR VOORSCHRIFTEN, LEIDRADEN EN TECHNISCHE RAPPORTEN	8
1.6.	VRIJWARING	10
1.7.	ONDERSTEUNING BIJ HET GEBRUIK VAN DE LEIDRAAD	10
1.8.	LEESWIJZER	10
2.	BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID	11
2.1.	TOETSSCHEMA ALGEMEEN	11
2.2.	GEBRUIK BESTAAND INZICHT IN DE VEILIGHEID VAN DE WATERKERING	11
2.3.	BEOORDELINGSWIJZE	14
2.4.	BEOORDELINGSSPOREN	15
2.5.	BEHEERDERSOORDEEL	16
2.6.	AFWEGING TECHNISCH OORDEEL EN BEHEERDERSOORDEEL	17
2.7.	VEILIGHEID OP GEBIEDSNIVEAU	18
2.8.	RAPPORTAGE VAN DE VEILIGHEID	18
2.9.	OVERIGE ASPECTEN INZAKE DE BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID	19
	2.9.1. <i>Kwaliteit van de toets op veiligheid</i>	19
	2.9.2. <i>Terrein- en grondonderzoek</i>	19
	2.9.3. <i>Aanwijzingen schematisering</i>	20
	2.9.4. <i>Veiligheidsnormen</i>	21

1. INSTRUMENTARIUM REGIONALE WATERKERINGEN

1.1. Aanleiding voor een nieuwe Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen

Belangrijk onderdeel van het waarborgen van de beveiliging tegen overstroming vormt de toetsing of de veiligheid van de waterkeringen voldoet aan de gestelde norm.

Vanaf 2006 hebben de provinciale staten van de provincies de regionale waterkeringen aangewezen en het beschermingsniveau vastgesteld. Sinds 2006 is door de waterschappen getoetst of de veiligheid van de aangewezen regionale keringen voldoet aan de norm. De actuele stand van zaken in het land verschilt per regio, conform verschillende regionale afspraken over de planning van de uitvoering van de toets op veiligheid.

De beoordeling of de veiligheid aan de norm voldoet is uitgevoerd met behulp van de Leidraad Toetsen op veiligheid regionale keringen (2007). Daarbij is voor boezemkaden vanaf 2010 aanvullend gebruik gemaakt van het Addendum voor boezemkaden (een tussentijdse verbetering van de Leidraad specifiek voor boezemkaden).

De inhoud van de Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen uit 2007 is gebaseerd op inzichten in de (beoordeling van de) veiligheid van primaire waterkeringen per 2006. Toetssporen zijn daarbij op onderdelen soms pragmatisch uitgewerkt of is gekozen om voorlopige handreikingen te geven (bijvoorbeeld ten aanzien van de belastingsituatie droogte, de golfgroeiformule van Young & Verhagen en schematisering van een verkeersbelasting). Hierbij is minder tijd genomen voor kwaliteitsborging dan bijvoorbeeld voor Leidraden zoals die door het ENW worden uitgebracht. Qua status zijn deze producten ook wel aangeduid als zgn. “groene versies”. Voornemen daarbij was de producten te verbeteren na een eerste toepassing, op basis van de opgedane praktijkervaring.

Inmiddels is praktijkervaring met de toepassing van de Leidraad opgedaan bij de uitgevoerde toetsingen en het ontwerpen van verbeteringen. Hierbij zijn verschillende verbeterpunten van de Leidraad geïdentificeerd. Daarnaast is sinds 2006 nieuwe kennis ontwikkeld voor de toets op veiligheid van primaire keringen. Zodoende is besloten tot een actualisatie van de Leidraad.

1.2. Deze Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen

Bij de actualisatie van de Leidraad zijn de geconstateerde verbeterpunten zo veel als mogelijk uitgewerkt en is nieuw ontwikkelde kennis (primaire keringen) zo mogelijk geïntegreerd. Belangrijke aanpassingen ten opzichte van de LTV2007 zijn weergegeven in paragraaf A 1.3. Tabel A.1 presenteert de stand van kennis waarop de verschillende beoordelingssporen gebaseerd zijn.

Bij de start van de 2de fase van het Ontwikkelingsprogramma is betreffende de nieuwe Leidraad voor het toetsen ten aanzien van nieuw ontwikkelde kennis (zie ook paragraaf A 1.4 en A 1.5) is besloten om:

- vast te houden aan de vigerende veiligheidsfilosofie, waarbij de norm is uitgedrukt in een overschrijdingskans en aan aanpassingen van de faalkansverdeling is geen aandacht besteed;
- zo mogelijk rekening te houden met nieuw ontwikkelde kennis, indien:
 - o dit veranderingen van de rekenregels betreft die volgen uit een verbeterd begrip van de fysica van een faalmechanisme;
 - o deze kennis kan leiden tot een significant afwijkend veiligheidsbeeld van een waterkering;
 - o de kennis tijdig (dus voor afronding van de Leidraad) gevalideerd is, of voldoende zekerheid bestaat over de toekomstige validatie;
 - o nieuw ontwikkelde kennis voldoende vrijelijk beschikbaar is.

Tabel A.1 Basis van de beoordelingsmethoden in deze Leidraad

Toetsspoor / faalmechanismen	Beoordelingsmethode
Overlopen / overslag	WTI2011
Piping	WTI2011
stabiliteit binnentalud	VTV2006 *
stabiliteit buitentalud	VTV2006 *
Microstabiliteit	LTV2007 (= VTV2006)
Bekledingen	WTI2011
Stabiliteit voorland	WTI2011

** VTV2006 is vigerend, de nieuwe werkwijze in het WTI2017 kent forse wijzigingen. Gewaarschuwd wordt dat over enkele jaren besloten kan worden ook voor regionale keringen de overgang naar de methode conform het WTI2017 te maken. De methode vergt andere parameters, en daartoe een specifieke uitvoering van laboratoriumproeven naar de sterkte van de grond. Zie voor een nadere toelichting module D en bijlage 10.*

Kennisontwikkeling voor primaire keringen waar in deze Leidraad rekening mee gehouden is (tabel A.1):

- maximaal toelaatbaar overslagdebiet in relatie tot erosiebestendigheid grasbekleding;
- macrostabiliteit;
- piping / zandmeevoerende wellen;
- sterkte van veen in relatie tot de stabiliteit van veenkaden / kaden op veen.

Voor een aantal ontwikkelingen is besloten deze niet te verwerken in deze Leidraad, zoals de beoordeling van microstabiliteit, waterkerende kunstwerken en inzichten in het kader van de verschillende zgn. Project Overstijgende Verkenningen door het HWBP (zoals piping, macrostabiliteit). Belangrijkste reden daarbij was de verwachting (destijds) dat deze ontwikkelingen niet tijdig zouden leiden tot voldoende gevalideerde resultaten.

Gedurende de periode waarin aan deze Leidraad is gewerkt, was sprake van een complexe situatie betreffende kennis over de beoordeling van de veiligheid van waterkeringen. Bij de start in 2011 was de kennis ontwikkeld in het kader van het WTI2011 nog niet beschikbaar. Ook werd gedurende de uitwerking van deze Leidraad veel kennis ontwikkeld voor de beoordeling van primaire keringen, toegespitst op een andere veiligheidsfilosofie (overstromingskans, ten behoeve van het WTI2017) en binnen de zgn. project overstijgende verkenningen van het HWBP. De externe kennisontwikkeling vormde een complicerende factor voor de actualisatie van deze Leidraad, omdat implementatie van de nieuwe kennis gewenst is maar deze kennisontwikkeling een andere doorlooptijd kent. Bij de introductie van de verschillende beoordelingssporen is steeds de stand van kennis (-ontwikkeling) beschreven, ten aanzien van het betreffende beoordelingsspoor.

Tabel A.2 Overzicht veranderingen nieuwe Leidraad

Onderdeel	Omschrijving van de verandering
Toetsschema algemeen	
Waterbergingsgebieden Compartimenteringskeringen Veenkade	Aandachtspunten beoordeling keringen om waterbergingsgebieden Handvaten voor 'behoud veiligheid' compartimenteringskeringen Aanscherping definitie 'veenkade'
Hydraulische Randvoorwaarden	
Golfhoogte Golfoverslaghoogte Promotor	Studie validatie golfgroeiformule Young & Verhagen Implementatie ruwheid grasbekleding bij golfoverslaghoogte (in Promotor) Verbetering van Promotor (voor de probabilistische afleiding van hydraulische randvoorwaarden)
Overige belastingen	
Droogte Stabiliteit Piping en stabiliteit Stabiliteit buitenwaarts	Normafhankelijke schematisering situatie droogte Schematisering verkeersbelasting (wateroverspanning) Beoordeling van de kans op hydraulische kortsluiting Aanscherpen situaties en de optredende belasting
Beoordelingssporen	
Hoogte	Erosiebestendigheid grasbekleding kruin en binnentalud (ivm overslagdebiet) Tijdelijke kruindaling droogtegevoelige kaden door droogte
Stabiliteit	Werkwijze voor aanscherpen restbreedte benadering Kennisonwikkeling sterkte van veen – algemeen (bovenregionale proevenverzameling, protocol uitvoering laboratoriumonderzoek, etc.) Beoordeling horizontaal evenwicht Sterkte van grond bij lage korrelspanning en glijvlakmodellen Procedure voor afleiding schematiseringsfactor
Piping	Vervanging methode Bligh door verbeterde methode Sellmeijer. Toepasbaar maken verbeterde methode Sellmeijer voor regionale keringen. Optimalisaties van de schematisering, gericht op: - eisen aan een deklaag voor functie als kwelweg; - de hydraulische weerstand van dunne deklagen; - de invloed van lokaal van opdrijven van veenbonken uit de waterbodem; - waterstand voor beoordeling piping bij baggeren.
Waterkerende Kunstwerken	Enkele aanvullingen op de Leidraad WK in regionale keringen
NWO's	Vereenvoudigde beoordelingswijze voor bomen Database calamiteiten met kabels & leidingen en bebouwing
Beheerdersoordeel	Aanwijzingen voor onderbouwing beheerdersoordeel

Aanvullend is een voorlopige werkwijze voor de toets op stabiliteit op basis van een ongedraineerde stabiliteitsanalyse volgens zgn. Critical State Soil Mechanics samengesteld. Deze werkwijze vormt niet het formele toetsspoor, maar kan dienen voor de uitwerking van eventuele verkenningen van de consequenties van deze aanpak voor regionale keringen.

Type regionale keringen

Deze Leidraad maakt geen expliciet onderscheid in de verschillende typen regionale waterkeringen, in de zin van afzonderlijke katernen en/of toetsschema's per type waterkering. Wel gelden soms per type waterkering specifieke aandachtspunten bij de toetsing van de veiligheid, bijvoorbeeld voor de afleiding van de hydraulische belastingen of bij de beoordeling van de sterkte van een waterkering. Eventuele specifieke aandachtspunten per type kering zijn bij de beschrijving van de toetssporen gedefinieerd. Verder geeft module C een algemeen overzicht met specifieke aanwijzingen voor de uitvoering van de toets op veiligheid per type waterkering.

Bij de start van de toetsing dient het type regionale waterkering bekend te zijn. Deze Leidraad bevat geen toelichting over het classificeren van een regionale waterkering, de waterkeringbeheerder kent het type waterkering.

1.3. Kennisontwikkeling

Zoals gesteld is bij de uitwerking van deze Leidraad niet met alle door anderen (bijna) ontwikkelde kennis rekening gehouden. En ook de komende tijd zal nog nieuwe kennis worden ontwikkeld, zoals bijvoorbeeld in het kader van de verschillende Project Overstijgende Verkenningen binnen het HWBP.

Het is niet uitgesloten dat voortgaande kennisontwikkeling leidt tot nieuwe inzichten in de beoordeling van de veiligheid. Op deze plaats wordt daarom algemeen aanbevolen de ontwikkeling van nieuwe inzichten in de beoordelingssporen nauwlettend te volgen. Zie verder de volgende paragraaf voor nadere suggesties voor de omgang met nieuwe kennis.

Vooralsnog is het voornemen jaarlijks een kort bericht uit te brengen over (significante) kennisontwikkeling en eventuele wijzigingen van inzichten over de veiligheid van regionale waterkeringen en de toetsing daarvan. De beschikbaarstelling is een voornemen van de IPO/UvW, via de Stuurgroep. Indien nieuwe kennis de aanpassing van een beoordelingsspoor noodzakelijk maakt, is de toezichthouder verantwoordelijk voor het formeel bekend maken hiervan bij de waterkeringbeheerder. De waterkeringbeheerder is verantwoordelijk voor de juiste implementatie van nieuwe kennis en eventuele aanpassingen van beoordelingssporen bij de uitwerking van de veiligheidstoetsing.

1.4. Omgaan met nieuwe kennis

Vanwege de verwachte kennisontwikkeling dient op voorhand helderheid te bestaan over de toepassing van veranderde inzichten en nieuwe kennis bij:

- (een lopende ronde van) een toets op veiligheid;
- het ontwerp van verbeteringen van regionale keringen;
- overige aspecten van de zorg voor regionale keringen, zoals het opstellen van de legger of het verlenen van ontheffingen.

Ten aanzien van de toepassing van nieuwe kennis zijn een aantal aspecten van belang. Van belang zijn de consequenties van nieuwe kennis, waarbij de kennis kan leiden tot een gunstiger of ongunstiger beeld over de veiligheid. Met gunstiger wordt bedoeld dat door de nieuwe kennis kaden vaker worden goedgekeurd of het ontwerp van een kadeverbetering resulteert in een beperktere omvang van de vereiste maatregelen. Bij een ongunstiger beeld is sprake van het omgekeerde.

Verder is de aard van de nieuwe kennis relevant, deze kan variëren van methodisch (betreffende de rekenregels) of de schematisering van uitgangspunten tot de interpretatie van waarnemingen. Dit laatste zal vooral toegepast kunnen worden bij het beheerdersoordeel.

Basisuitgangspunt is dat nieuwe inzichten snel beschikbaar moeten worden gesteld voor gebruik in de adviespraktijk, voor zowel het toetsen van de veiligheid als overige toepassingen. Een belangrijke randvoorwaarde bij de snelle implementatie van nieuwe kennis bij het toetsen is de gewenste standvastigheid (en landelijke uniformiteit) van het toetsinstrumentarium. Zodoende is bij toetsen de implementatie van nieuwe kennis minder snel toegestaan dan bijvoorbeeld bij ontwerpen. Ander argument voor de snelle implementatie bij het ontwerpen van verbeteringen zijn de grotere maatschappelijke consequenties van een ontwerp waarbij geen rekening is gehouden met nieuwe kennis.

Van belang bij de wijze waarop met nieuwe kennis kan worden omgegaan is de fase waarin zich een nieuw inzicht of nieuwe kennis bevindt. Daarbij kunnen een aantal fasen worden onderscheiden, te weten:

- A. moment van identificatie kennisleemte tot start onderzoek;
- B. start onderzoek tot oplevering (gevalideerde) onderzoeksresultaten;
- C. gevalideerd onderzoeksresultaat tot opname in toets- / ontwerpinstrumentarium.

Tabel A.3 presenteert een mogelijkheid voor de omgang met nieuwe kennis bij toetsen, per bovengenoemde fase.

Tabel A.3 Implementatie nieuwe kennis bij toets op veiligheid

Fase	Nieuwe kennis
fase A	Negeren (bij toets op eenvoudig of gedetailleerd niveau)
fase B	Negeren (bij toets op eenvoudig of gedetailleerd niveau)
fase C	Meenemen

Een korte toelichting:

- Nieuw ontwikkelde kennis dient zeker te worden meegenomen indien de uitkomsten van het onderzoek zijn gevalideerd, bijvoorbeeld door het ENW. Opname in een formeel geactualiseerde Leidraad is daarbij niet noodzakelijk. Dit geldt ongeacht de aard van de consequenties van de nieuwe kennis.
- Een nieuw geïdentificeerde kennisleemte, voorgenomen kennisontwikkeling of niet gevalideerde en vastgestelde kennis mag in beginsel niet worden toegepast bij de toets op veiligheid c.q. vormt geen reden voor afwijkingen bij de uitvoering van de toets op veiligheid op eenvoudig of gedetailleerd niveau. Het staat beheerders en hun adviseurs wel vrij om nieuwe inzichten en/of nieuw ontwikkelde kennis te gebruiken bij de toets op veiligheid op geavanceerd niveau of in het beheerdersoordeel.

Een functionele scheidslijn bij de toepassing van nieuwe inzichten en kennis is tenslotte:

- inzicht / kennis is vooral nog slechts indicatief of kwalitatief van aard: in dit geval lijkt uitsluitend toepassing in het beheerdersoordeel mogelijk;
- inzicht / kennis is volledig toepasbaar in een beoordelingsspoor: in dit geval is toepassing in een geavanceerde beoordeling mogelijk.

Ter illustratie:

- *het kwalitatieve inzicht dat de sterkte van een mogelijk gunstiger kan worden geschematiseerd kan alleen in het beheerdersoordeel worden toegepast;*
- *het inzicht in de juiste schematisering van de sterkte van een kan daadwerkelijk worden verwerkt in de berekening van stabiliteit (indien dit een nog niet gevalideerd inzicht is betreft een dergelijke toepassing dan een geavanceerde beoordeling).*

Nieuwe kennis over de sterkte versus veranderingen in de hydraulische belasting

Bij de beveiliging tegen overstromingen gaat het om de verhouding tussen de sterkte van de waterkering enerzijds en de (hydraulische) belasting op de waterkering anderzijds. Ten aanzien van de wijze waarop met nieuwe kennis rekening wordt gehouden dient zodoende niet alleen kennisontwikkeling betreffende de beoordeling van de sterkte (rekenregels) van een waterkering te worden beschouwd, maar zijn ook veranderingen in de (berekende) hydraulische belasting van belang.

1.5. Verwijzingen naar voorschriften, leidraden en technische rapporten

In deze Leidraad wordt op diverse plaatsen verwezen naar andere voorschriften, leidraden, handreikingen en technische rapporten. Dit betreft vaak vastgestelde documenten. Soms ook betreft dit conceptversies of documenten die nog in ontwikkeling zijn (WTI2017). Hiervoor is gekozen vanwege de gewenste implementatie van nieuw ontwikkelde kennis in deze Leidraad. De documenten kunnen door voortschrijdende kennis de komende periode (= tot 2017) nog worden aangepast. Voor enkele Technisch Rapporten of Handleidingen geldt dat deze zelfs binnenkort (in 2015) in een definitieve vorm worden uitgebracht.

Met het verwijzen naar dergelijke documenten in plaats van het vastleggen van de huidige stand van inzichten in deze Leidraad, wordt voorkomen dat deze Leidraad actuele ontwikkelingen niet volgt. Consequentie is wel dat enkele beoordelingssporen betrekkelijk summier zijn beschreven.

Benadrukt wordt dat de verwijzingen in deze Leidraad soms (concept-) versies van de voorschriften, leidraden of technische rapporten betreffen zoals die per uiterlijk begin 2015 bestaan (zo nodig / mogelijk is een versie nummer opgenomen in de Literatuurlijst). Het is niet uitgesloten, en in sommige documenten zelfs aannemelijk, dat zich aanpassingen zullen voordoen. Zodoende wordt algemeen opgemerkt dat de gebruiker van deze Leidraad op de hoogte dient te blijven van nieuwe ontwikkelingen en/of eventuele aanpassingen in nieuwe versies van de rapporten waar naar wordt verwezen.

1.6. Vrijwaring

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben deze Leidraad met grote zorgvuldigheid samengesteld. De inhoud is gebaseerd op de actuele stand van kennis van de beoordeling van de veiligheid van (regionale) waterkeringen, daarbij zijn ook nog niet gevalideerde verwachte inzichten gebruikt. Het is niet uitgesloten dat voortgaande kennisontwikkeling leidt tot nieuwe inzichten in de beoordeling van de veiligheid. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van deze Leidraad en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) deze Leidraad.

1.7. Ondersteuning bij het gebruik van de Leidraad

Gedurende de uitvoering van de toetsing kunnen waterkeringbeheerders of hun adviseurs voor vragen terecht bij de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl of contact@helpdeskwater.nl). Het dient hierbij te gaan om toelichtingen of verduidelijkingen op de Leidraad, beoordeling van specifieke (project-) resultaten behoren niet tot de aangeboden service van de Helpdesk.

1.8. Leeswijzer

De nieuwe leidraad is opgebouwd in modules. In module A wordt in algemene zin ingegaan op de beoordeling van de veiligheid van regionale keringen. Module B gaat nader in op de belastingsituaties en belastingen. Module C beschrijft achtergronden bij de verschillende beoordelingssporen en vervolgens enkele specifieke aanwijzingen voor de beoordeling van de verschillende typen regionale waterkeringen. In module D worden de beoordelingssporen beschreven. Module E gaat in op de niet-waterkerende objecten en Module F op de waterkerende kunstwerken. Ten slotte wordt in module G het beheerdersoordeel behandeld. Belangrijke informatie over de wijzigingen in deze beoordelingssporen ten opzichte van de Leidraad uit 2007 zijn beschreven in voorgaande paragraaf 1.3 van deze module.

2. BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID

2.1. Toetsschema algemeen

Het beoordelen van de veiligheid van een regionale waterkering betreft het zo goed mogelijk bepalen van de verwachte sterkte van een waterkering op de peildatum en het vergelijken daarvan met de optredende belastingen behorende bij de vastgestelde norm. Het eindoordeel, de eindtoets, geeft aan of de sterkte voldoet.

Conform de visie op de regionale keringen [IPO-UvW, 2004] is de veiligheidsnorm voor boezemkaden en keringen langs regionale rivieren uitgedrukt in een gemiddelde overschrijdingskans per jaar waarop elk dijkvak afzonderlijk moet zijn berekend. Deze benadering met afzonderlijke dijkvakken betreft de zogenaamde dijkvakbenadering. Voor compartimenteringskeringen betreft de norm een conditionele kans (gegeven de overstroming van het voorliggende compartiment van een dijkkringgebied).

Bij een toets op veiligheid wordt een regionale waterkering opgedeeld in dijkvakken. Per dijkvak wordt de sterkte vergeleken met de daarbij behorende belasting. De veiligheid wordt daarbij beoordeeld ten aanzien van meerdere faalmechanismen.

Per toetsspoor worden twee oordelen opgesteld: een oordeel volgens de toetsingsregels en het beheerdersoordeel. Beide oordelen worden per toetsspoor samengevoegd. Indien het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregels moet een afweging worden gemaakt om tot de eindscore voor de dijkvak te komen. De veiligheid van een dijkvak voldoet aan de norm indien de veiligheid ten aanzien van alle toetssporen als voldoende is beoordeeld.

Indien sprake is van duidelijke overstromingsgebieden die worden beschermd door een stelsel van waterkeringen, kan als laatste stap de veiligheidsoordelen per dijkvak worden samengevoegd tot een veiligheidsoordeel voor het beschermde gebied. Het slechtste veiligheidsoordeel per dijkvak vormt dan het veiligheidsoordeel voor het beschermde gebied. De veiligheid tegen overstromen van een polder of overstromingsgebied is voldoende wanneer de veiligheid van alle dijkvakken die deel uit maken van het stelsel met waterkeringen om het betreffende gebied voldoen aan de norm.

De volgende paragrafen geven een nadere toelichting bij verschillende onderdelen uit deze korte inleiding.

2.2. Gebruik bestaand inzicht in de veiligheid van de waterkering

Bij een toetsing hoeft niet noodzakelijkerwijs een volledige beoordeling van alle toetssporen volgens de toetsingsregels te worden uitgevoerd. Onder voorwaarden kunnen bestaande inzichten in de veiligheid van een dijkvak worden overgenomen in de beoordeling van de veiligheid, als (gedeeltelijke) vervanging van de eindscore volgens de toetsingsregels, zie ook figuur A.1. Deze Leidraad kent ten aanzien van hoogte en piping enkele wijzigingen in de toetssporen, waarvan het netto effect op het eindoordeel voor piping onbekend is (afhankelijk van de lokale kenmerken). Een eerder oordeel voor piping zal zodoende in ieder geval de komende jaren niet vaak overgenomen kunnen worden.

Het beheerdersoordeel moet altijd opnieuw worden opgesteld. Overname van het beheerdersoordeel is niet toegestaan, dit oordeel dient te worden geactualiseerd voor de nieuwe peildatum.

Gebruik van resultaten van een eerdere beoordeling van de veiligheid

Indien in een eerdere toetsing een oordeel is opgesteld (A in onderstaand toetsschema) kan dit onder voorwaarden worden overgenomen. Overname van een eerder oordeel is vooral relevant indien volgens het eerdere oordeel de veiligheid voldoet aan de norm (B).

Indien de veiligheid niet voldeed, kan de kering zijn verbeterd of kan een verbetering (nog) in uitvoering zijn. In deze situaties kan worden beoordeeld of het ontwerp voldoet aan de veiligheid, volgens de voorwaarden bij stap D. Indien de kering op de peildatum van de toetsing nog niet is verbeterd (of een verbetering nog niet in uitvoering is), dan dient een nieuwe toetsing te worden uitgevoerd conform deze Leidraad.

Indien in een eerdere toetsronde aan een beoordelingsspoor de score 'voldoet' is toegekend, dan moet worden aangetoond dat aan onderstaande voorwaarden wordt voldaan (D):

1. de norm op het betreffende vak niet is veranderd;
2. de geometrie op de peildatum van deze nieuwe toetsronde is niet significant ongunstiger dan de geometrie op de peildatum van de eerdere toetsronde.
3. de hydraulische belastingen zijn niet toegenomen;
4. de toetsingsregels in deze Leidraad zijn niet strenger dan de toetsingsregels bij de eerdere beoordeling volgens LTV2007. Een overzicht van de wijzigingen ten opzichte van de LTV2007 is opgenomen in module A.

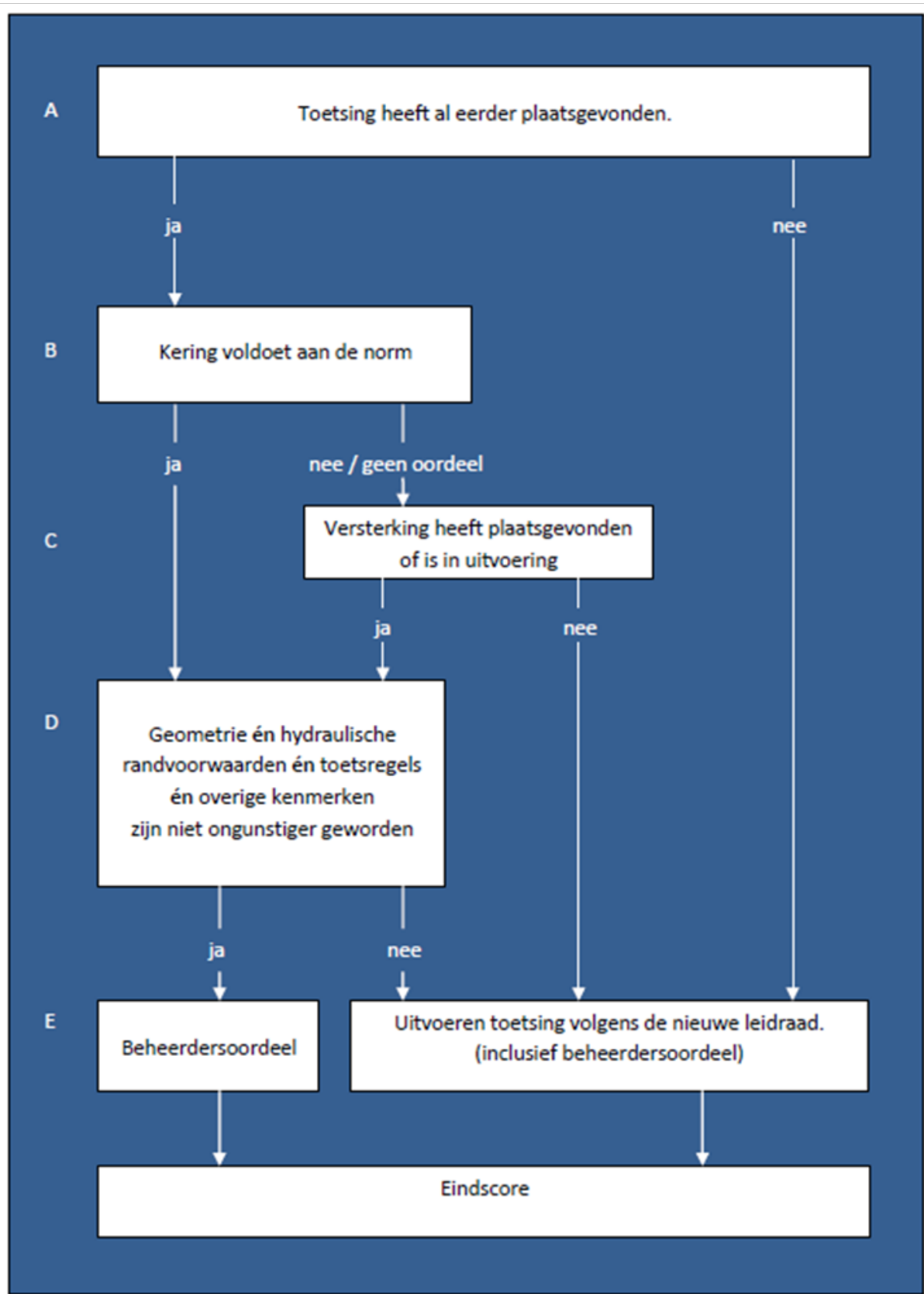
Ad.4 Indien in een voorgaande toetsronde met goedkeuring door de toezichthouder is afgeweken van de regels in de LTV2007, kunnen deze afwijkingen opnieuw zijn toegestaan. Voorwaarde is dat deze afwijkingen ook bij de gewijzigde inzichten in de beoordeling van de veiligheid nog valide zijn. Dergelijke afwijkingen dienen dus opnieuw met de toezichthouder te worden besproken.

Onder toetsingsregel wordt verstaan het beoordelingsspoor inclusief de bijbehorende rekenmethode / -modellen en partiele veiligheidsfactoren.

Aanvullende voorwaarde is dat de beheerder geen twijfel heeft ten aanzien van de eerdere eindscore (E).

Indien aangetoond is dat aan alle voorwaarden is voldaan, mag de eindscore 'voldoet' worden overgenomen. Dit betreft dan de eindscore volgens de toetsingsregels.

Indien niet aan alle voorwaarde is voldaan dient alsnog een volledige beoordeling uitgevoerd te worden volgens de toetsingsregels.



Figuur A.1: toetsschema

Gebruik ontwerp van een dijkverbetering

Situatie kan zijn dat een waterkering na de vorige toetsing is verbeterd, of dat een verbetering van een waterkering voor de peildatum is voorzien. In dat geval kan de veiligheid van de verbeterde waterkering worden beoordeeld op basis van een vergelijking van de gehanteerde ontwerpregels (en overige uitgangspunten, speciaal de hydraulische belastingen) en de toetsingsregels in deze Leidraad.

Indien aangetoond kan worden dat zowel de ontwerpregels als de ontwerprandvoorwaarden tenminste gelijkwaardig of ongunstiger zijn dan de toetsingsregels in deze Leidraad en de hydraulische belastingen op peildatum, kan direct de eindscore 'voldoet' toegekend worden aan de dijkvak.

Indien dit niet aangetoond kan worden, dient alsnog een volledige beoordeling volgens de toetsingsregels in dit voorschrift uitgevoerd dienen te worden.

2.3. Beoordelingswijze

De veiligheid van een regionale waterkering wordt beoordeeld op meerdere faalmechanismen. Enkele faalmechanismen worden getoetst ten aanzien van twee belastingssituaties, te weten de hoogwatersituatie en de situatie langdurige droogte.

De beoordeling per faalmechanisme geschiedt op basis van een toetsspoor. De wijze van beoordeling is beschreven in deze Leidraad. De uitwerking van een toetsspoor resulteert in een (technisch) oordeel over de veiligheid van de waterkering voor het beschouwde faalmechanisme.

De toetssporen zijn zodanig opgesteld dat zo eenvoudig als redelijkerwijs mogelijk een oordeel over de veiligheid betreffende het beschouwde faalmechanisme kan worden toegekend. Hiertoe is de wijze van beoordeling opgedeeld in drie niveau's:

- niveau 1: eenvoudige beoordeling;
- niveau 2: gedetailleerde beoordeling;
- niveau 3: geavanceerde beoordeling.

De beoordeling start normaliter met een uitwerking op een eenvoudig niveau. Op dit niveau is de beoordeling vaak in eerste instantie gericht op een controle of het betreffende faalmechanisme wel kan optreden, waarna vervolgens de veiligheid kan worden ingeschat op basis van evident veilige afmetingen. Deze controle en inschatting worden uitgevoerd aan de hand van enkele eenvoudig toe te passen criteria.

Indien op basis van de eenvoudige beoordeling niet de deelscore "voldoet" kan worden toegekend, volgt een gedetailleerde beoordeling.

Mogelijk blijkt uit een eenvoudige beoordeling reeds voldoende duidelijk dat ook een meer gedetailleerde uitwerking niet zal resulteren in de deelscore "voldoet". In dat geval hoeven niet alle niveau's te worden doorlopen, en kan direct voor het betreffende spoor een eindoordeel worden vastgesteld.

Bij een gedetailleerder uitwerkingsniveau neemt de vereiste (onderzoeks-) inspanning en de benodigde informatie toe. De geavanceerde beoordeling is bijvoorbeeld vaak een nadere uitwerking van de gedetailleerde beoordeling, bijvoorbeeld na verzameling van aanvullende gegevens en met toepassing van bijzondere rekenmethodes. Deze beoordeling vraagt vaak om uitvoering door deskundigen.

Een geavanceerde beoordeling is vaak specifiek op de te beoordelen situatie gericht en zal doorgaans met behulp van specialisten op het betreffende vakgebied moeten worden uitgevoerd.

Bij een geavanceerde beoordeling mag gebruik worden gemaakt van (internationale) kennis die mogelijk niet is vastgesteld of gevalideerd door het ENW. In dat geval moet de waterkering beheerder aantonen dat de methode terecht en correct is toegepast. Voor het inwinnen van advies over het uitvoeren van de geavanceerde beoordeling kan een beroep gedaan worden op de Helpdesk Water.

Naast het (technische) toetsspoor maakt de eigen inschatting van de waterkeringbeheerder over de veiligheid van de waterkering deel uit van de veiligheidstoetsing, dit oordeel betreft het beheerdersoordeel. Hierbij beoordeelt de beheerder de veiligheid van een dijkvak ten aanzien van een faalmechanisme op grond van praktijkervaringen of kennis die niet wordt gebruikt in de toetssporen. Indien het beheerdersoordeel verschilt van het technisch oordeel, is dit in eerste instantie aanleiding voor nader onderzoek. Paragraaf A 2.6 en module G gaan nader in op de afweging tussen het technisch oordeel en het oordeel van de beheerder.

2.4. Beoordelingssporen

De belangrijkste faalmechanismen en bijbehorende beoordelingssporen bij het toetsen van regionale waterkeringen zijn:

- Hoogte
 - o Overlopen
 - o Overslag
- Stabiliteit
 - o Piping en Heave
 - o Macrostabiliteit binnenwaarts
 - o Macrostabiliteit buitenwaarts
 - o Microstabiliteit
 - o Bekleding
 - o Voorland

Aanvullend dient de invloed van eventueel aanwezige niet-waterkerende objecten op de veiligheid van de waterkering te worden beoordeeld. Ook de veiligheid van eventueel aanwezige waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies dient te worden beoordeeld.

De beoordelingssporen zijn beschreven in module D. Enkele specifieke opmerkingen voor de uitwerking van de beoordeling per type waterkering zijn beschreven in module C.

Voor al deze beoordelingssporen moet in ieder geval voor de situatie maatgevend hoogwater worden uitgewerkt. Indien de veiligheid van een waterkering gevoelig is voor de droogte dient in sommige situaties voor de beoordelingssporen hoogte, piping en macro-stabiliteit binnentalud tevens de belastingsituatie langdurige droogte te worden beschouwd. Een overzicht van de belastingsituaties is beschreven in module B.

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de kering wel of niet aan de norm voldoet.

Het is denkbaar dat op basis van een toetsspoor niet tot een technisch oordeel kan worden gekomen, bijvoorbeeld doordat onvoldoende informatie aanwezig is. In die situatie kan de aanduiding “geen score” resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden waarom niet tot een oordeel is gekomen te worden gespecificeerd. In dergelijke gevallen is nader onderzoek nodig, die kan bestaan uit:

- het verzamelen van ontbrekende gegevens, bijvoorbeeld door een uitbreiding van het uitgevoerde onderzoek, waarna alsnog een beoordeling kan worden uitgevoerd;
- een verdieping van de beoordeling (geavanceerde beoordeling).

Indien het na nader onderzoek nog steeds niet mogelijk is om een score toe te kennen zal het eigen oordeel van de beheerder in dergelijke gevallen van belang zijn.

Indien de eindscore “geen score” het gevolg is van een gebrek aan gegevens/tijd/middelen om de gedetailleerde of geavanceerde beoordeling uit te voeren, dient in de rapportage te worden aangegeven waarom van de beheerder niet (redelijkerwijs) kon worden verwacht dat hij dit gebrek aan gegevens heeft verholpen dan wel waarom de beheerder de gedetailleerde of geavanceerde beoordeling niet heeft uitgevoerd.

Valide argument om een gebrek aan gegevens niet te verhelpen en de geavanceerde beoordeling niet uit te voeren is bijvoorbeeld dat bij gunstige gegevens het toetsresultaat naar verwachting ‘voldoet niet’ zal zijn. Module G gaat hier nader in over de bepaling van het nut en de noodzaak om door te toetsen.

2.5. Beheerdersoordeel

Naast het (technische) toetsspoor maakt de inschatting van de waterkeringbeheerder over de veiligheid van de waterkering deel uit van de veiligheidstoetsing, dit oordeel betreft het beheerdersoordeel (zie module G). Hierbij beoordeelt de beheerder de veiligheid van een dijkvak ten aanzien van een faalmechanisme op grond van praktijkervaringen of kennis die niet wordt gebruikt in de toetssporen. Belangrijk aandachtspunt ten aanzien van praktijkervaringen is dat de waarnemingen zoveel mogelijk moeten zijn opgedaan tijdens extreme omstandigheden. Het spreekt voor zich dat dit voor boezemkaden met een lage veiligheidsnorm eenvoudiger is dan voor overige regionale keringen.

Opgemerkt wordt dat het opstellen van een beheerdersoordeel primair de verantwoordelijkheid van de beheerder zelf is. Het staat de beheerder dan ook vrij dit oordeel naar eigen inzicht op te stellen.

Belangrijk nut van het beheerdersoordeel is tenslotte het opsporen van mogelijke tekortkomingen in de verschillende beoordelingssporen, zowel ten aanzien van de toepasbaarheid als de uitkomsten.

In beginsel dient de beheerder voor ieder dijkvak een oordeel op te stellen ten aanzien van elk faalmechanisme. Indien de beheerder instemt met het technische oordeel, kan eenvoudig worden volstaan met de vastlegging van deze constatering. Het is ook mogelijk dat de beheerder niet instemt met het technisch oordeel, bijvoorbeeld doordat:

1. waargenomen gedrag van de kering niet overeenstemt met het technisch oordeel;
2. nieuwe inzichten of kennis ten aanzien van de faalmechanismen en uitwerking van de beoordelingssporen zijn ontwikkeld
3. de hydraulische randvoorwaarden onvoldoende aansluiten op een lokale situatie.

Ad.1: indien het gedrag niet overeenstemt is dit in eerste instantie aanleiding voor nader onderzoek. Dit geldt zowel indien de beheerder de veiligheid gunstiger als ongunstiger dan het technisch oordeel beoordeelt. Als ook na nader onderzoek verschil bestaat tussen het technisch oordeel en het oordeel van de beheerder, dient het beheerdersoordeel goed te worden onderbouwd. Onderbouwing kan bijvoorbeeld door beschrijving van:

- de vermoedelijke oorzaak van het verschil; en:
- zo kwantitatief als redelijkerwijs mogelijk de waarneming waarop het oordeel is gebaseerd, inclusief een indicatie van de omvang van de belastingsituatie waarbij de waarneming is gedaan.

Ad.2: Indien nieuw ontwikkelde kennis of inzichten uitsluitend kwalitatief zijn toegepast dient het resultaat te zijn verwerkt in het beheerdersoordeel. Opgemerkt wordt dat (conform par. 1.4) indien nieuw ontwikkelde kennis is verwerkt in een aanpassing van het beoordelingsspoor cq. uitwerking op geavanceerd niveau het resultaat kan worden verwerkt in het technisch oordeel.

Ad.3 Dit kan zich bij voorbeeld voordoen indien de hydraulische randvoorwaarden in strijd zijn met waarnemingen of gemaakte beheerafspraken.

Tenslotte is het denkbaar dat op basis van een toetsspoor niet tot een technisch oordeel kan worden gekomen, bijvoorbeeld doordat onvoldoende informatie aanwezig is en/of het beoordelingsspoor onvoldoende aansluit op de betreffende situatie. In een dergelijke situatie is het nuttig te beschikken over een beheerdersoordeel wat op een reproduceerbare en transparante wijze is vastgelegd.

2.6. Afweging technisch oordeel en beheerdersoordeel

De beoordeling van de veiligheid resulteert per dijkvak en per toetsspoor in een technisch oordeel en het oordeel van de beheerder. De eindscore wordt opgesteld door een combinatie van beide oordelen. Hierbij zijn de volgende situaties denkbaar:

1. een technisch oordeel is niet toegekend;
2. de oordelen komen overeen;
3. de oordelen komen niet overeen.

Ad.1: indien op basis van een toetsspoor niet tot een technisch oordeel kan worden gekomen doordat onvoldoende informatie aanwezig is (het technisch oordeel “geen score”) wordt de eindscore opgesteld op basis van het beheerdersoordeel.

Ad.2: idealiter komen de oordelen overeen, zo nodig nadat eerst nader onderzoek is uitgevoerd vanwege een aanvankelijk verschil tussen beide oordelen. De eindscore is dan het gezamenlijke oordeel.

Ad.3: indien de oordelen niet overeenkomen dient een afweging te worden gemaakt. Deze afweging is complex. Uitgangspunt bij de afweging is een voorzichtige benadering, dit houdt in dat in eerste instantie:

- het technisch oordeel als eindoordeel wordt toegekend indien geen onvolkomenheden in het toetsspoor worden aangetoond;
- het beheerdersoordeel als eindoordeel wordt toegekend indien waarnemingen, nieuwe inzichten of ontwikkelde kennis duiden op een ongunstiger beeld van de veiligheid dan het technisch oordeel.

Indien het beheerdersoordeel een gunstigere score kent dan het technisch oordeel, is toekenning van het beheerdersoordeel als eindscore niet onmogelijk. Dit kan bijvoorbeeld indien het gunstiger oordeel op basis van waarnemingen, nieuwe inzichten of ontwikkelde kennis kan worden onderbouwd.

De afweging wordt uitgevoerd door de waterkeringbeheerder zelf. Bij keuze voor een afwijkend beheerdersoordeel is het van belang dat de oorzaak van het verschil en de afweging voldoende worden onderbouwd en inzichtelijk worden gerapporteerd. Als onderdeel van de integrale beoordeling van de rapportage van de toets op veiligheid beoordeelt de toezichthouder tevens deze afweging. Het staat de toezichthouder daarbij vrij, al of niet na overleg, een afwijkende conclusie te trekken.

Indien de beheerder overweegt een afwijkend beheerdersoordeel bepalend te laten zijn voor het veiligheidsoordeel van de dijkvak, dient het beheerdersoordeel te voldoen aan een aantal minimale eisen van goede onderbouwing en tastbaar bewijs. Het is complex om objectieve kwaliteitscriteria op te stellen voor de goede onderbouwing. Module G voorziet in een werkwijze voor het opstellen van het beheerdersoordeel en benoemt waarmee de beheerder rekening kan houden. Het opstellen van het beheerdersoordeel volgens aangegeven methode kan bijdragen aan de acceptatie van het beheerdersoordeel.

Het verdient aanbeveling dat de beheerder het afwijkende oordeel en de onderbouwing daarvan vroegtijdig afstemt met het bevoegd gezag.

2.7. Veiligheid op dijkvak- en gebiedsniveau

Op basis van de scores van alle toetssporen wordt per dijkvak een eindoordeel over de veiligheid opgesteld. Dit eindoordeel betreft de laagste score van één van de toetssporen. Een dijkvak voldoet aan de toetscriteria indien geen van de toetssporen resulteert in de eindscore “voldoet niet” of “nader onderzoek score”. De veiligheid van het dijkvak voldoet dan aan de norm.

Indien één van de toetssporen resulteert in de eindscore “voldoet niet” of “nader onderzoek”, dan kan niet worden aangetoond dat de veiligheid van het dijkvak aan de norm voldoet. Het veiligheidsoordeel is dan resp. “voldoet niet aan de norm” of “nader onderzoek”.

Indien de eindscore “voldoet niet” en “nader onderzoek” beide voorkomen (voor verschillende toetssporen), is evenmin aangetoond dat de veiligheid van het dijkvak aan de norm voldoet en luidt het veiligheidsoordeel “voldoet niet aan de norm”.

Indien sprake is van duidelijk afgebakende polders of overstromingsgebieden, kan de eindscore per dijkvak worden vertaald naar een veiligheidsoordeel voor het gehele beschermde gebied. Hiertoe dienen de eindscores per dijkvak te worden samengevoegd, voor alle dijkvakken die samen het keringenstelsel om het beschermde gebied vormen. Veel regionale keringen vormen echter minder eenduidig een stelsel om een polder of overstromingsgebied dan bijv. de primaire keringen met dijkkringgebieden.

De veiligheid tegen overstromen van een beschermd gebied voldoet geheel aan de norm indien alle dijkvakken rondom het gebied voldoen aan de norm.

2.8. Rapportage van de veiligheid

De waterkeringbeheerder dient de resultaten van de veiligheidstoetsing van de regionale keringen te rapporteren aan Gedeputeerde Staten van de provincie. In de regel is dit vastgelegd in de provinciale verordening. Gedeputeerde Staten bepalen voor de verschillende regionale waterkeringen het tijdstip en frequentie waarop het rapport over de veiligheid moet worden ingediend. De provincie en waterkeringbeheerders maken nadere afspraken over de wijze van verslaglegging.

De algemene doelstelling van het rapport is het bieden van inzicht in de veiligheid van de regionale waterkeringen. Indien de beoordeling van de veiligheid daartoe aanleiding geeft, dient het verslag tevens een omschrijving te bevatten van de voorzieningen die nodig worden geacht, inclusief een termijn waarop deze voorzieningen getroffen zullen zijn. Om de rapportage door de verschillende waterkeringbeheerders te uniformeren, zijn onderstaand enkele suggesties ten aanzien van de inhoud van dit rapport geformuleerd:

- kaarten met het toetsresultaat op dijkvakniveau;
- kaart met de maatgevende belastingsituatie en de faalmechanismen met de score ‘voldoet niet’;
- beschrijving van de (geotechnische) schematisering van het profiel;
- tabel met de dijkvakken (nummer en/of naam), de lengte, het toetsresultaat en toetsjaar, en zo nodig / mogelijk de planning van het groot onderhoud, eventuele verbeteringswerken of reden waarom niet tot een eindoordeel is gekomen;
- voor secties met de technische eindscore “geen score” geeft de beheerder aan om welke redenen niet tot een oordeel kan worden gekomen, en welk onderzoek wordt uitgevoerd om de veiligheid alsnog te kunnen toetsen;
- het beheerdersoordeel dient goed te zijn onderbouwd, speciaal wanneer dit afwijkt van het technisch oordeel;
- toelichtende tekst.

² Benadrukt wordt dat hier een overzicht van de gegevens wordt bedoeld, en niet alle gegevens zelf.

Een belangrijke meerwaarde van de kaarten is dat een geografisch inzicht wordt verkregen in de veiligheid van de regionale waterkeringen en het kritieke faalmechanisme voor een specifiek dijkvak. Deze meerwaarde geldt tevens voor de (reguliere) inspectie van de waterkeringen, dankzij dit inzicht in kritieke faalmechanismen kan gericht op de bijbehorende faalverschijnselen worden geïnspecteerd.

Het is wenselijk dat het rapport (of een bijlage daarvan) tevens een overzicht bevat van de beschikbare grondgegevens (bodemopbouw en sterkte-eigenschappen), de waterspanningen inclusief de gehanteerde meetpunten (freatische grondwaterstand, diepere waterspanningen en het verloop van de waterspanning op verschillende diepten in het profiel) en de gehanteerde en afgeleide hydraulische randvoorwaarden (maatgevende waterstand, windsnelheid, golfbrandvoorwaarden). Doel van een dergelijk overzicht is het faciliteren van een (kwalitatief) inhoudelijke beoordeling van de toetresultaten.

De inhoud van de rapportages is ter vaststelling van de toezichthouder (uitvoeringsbesluit). Ook de onderverdeling van de genoemde suggesties voor de inhoud in bijv. bestuurlijke rapportage, een samenvattend technisch toetrapport en overige bijlagen (generiek of toetsrapportages van diverse projecten) is aan de toezichthouder.

2.9. Overige aspecten inzake de beoordeling van de veiligheid

2.9.1. Kwaliteit van de toets op veiligheid

De uitwerking van de toetsing per type kering is beschreven in deze leidraad. Dit betreft vooral de technische aanpak van de toetsing. Hierbij is het startpunt een duidelijk en representatief dwarsprofiel (schematisering). Hiervoor dienen verschillende kenmerken van de waterkering, de constructies en de omgeving bekend te zijn, zoals:

- geometrie van de kering en het voor- en achterland, incl. waterdiepten;
- bodemopbouw en geotechnische eigenschappen van de grond;
- waterspanningen;
- bekledingen;
- waterstanden;
- (verkeers-) belastingen;
- niet - waterkerende objecten.

De mate van nauwkeurigheid, intensiteit en compleetheid van bovengenoemde informatie bepaalt voor een deel de kwaliteit van de toetsresultaten. De totale lengte regionale waterkeringen is dusdanig groot (circa 14.000 km) dat een beperking van de onderzoeksinspanning veelal gewenst zal zijn. De kwaliteitsborging dient aandacht te besteden aan de beoordeling of een eventuele vereenvoudiging van de onderzoeksinspanning verantwoord is vanuit oogpunt van betrouwbaarheid van (het proces naar) de toetsing (en toetsoordeel) en eventueel risico (en gevolg).

Door een gevoeligheidsanalyse uit te voeren kan de invloed van afwijkingen in de aannames worden vastgesteld. Dit inzicht vormt:

- een belangrijke onderbouwing van de vereiste intensiteit van het (grond-) onderzoek;
- nuttig inzicht in de vereiste nauwkeurigheid bij de schematisering.

2.9.2. Terrein- en grondonderzoek

Een gefaseerde uitvoering van het onderzoek en afstemming van het onderzoek op de schematisatie van de kering wordt aanbevolen. Ter voorbereiding op het veldonderzoek kan worden begonnen met een vooronderzoek bestaande uit een terrein- en kunstwerkeninspectie, met een gestandaardiseerde aandachtspuntenlijst, en een bureaustudie. In de bureaustudie wordt de beschikbare kennis over de

waterkering, inclusief waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies, geïnventariseerd zodat het (grond-) onderzoek gericht plaats kan vinden. Bij deze inventarisatie kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van geologische kaarten, bodemkaarten, grondwaterkaarten, geulenkaarten, (historische) plattegronden, luchtfoto's, ontwerptekeningen van dijk en kunstwerken, kennis van "gebiedsdeskundigen", bestaande dijk-rapporten, inspectierapporten, reeds beschikbaar grondonderzoek, etc..

Het benodigde (grond-) onderzoek is sterk afhankelijk van het soort kering, aanwezige kunstwerken, de ondergrond en de norm. De intensiteit van het grondonderzoek dient zodanig te zijn dat variaties in relevante kenmerken van de bodemopbouw zoveel mogelijk zijn uitgekarteerd. Voor boezemkaden in veengebieden waar Holocene tussenzandlagen kunnen voorkomen is duidelijk een grotere intensiteit nodig dan voor bijvoorbeeld kanaaldijken op zandgronden.

Speciale aandacht dient hierbij te zijn voor onderzoek naar waterspanningen. Bij sommige regionale keringen kan dit een lastige opgave zijn, terwijl de invloed hiervan vaak groot is (denk aan hydraulische kortsluiting, de ligging van de freatische lijn en de stijghoogte in watervoerende zandlagen). Voor meer informatie omtrent de schematisering van waterspanningen in de ondergrond wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [TAW, 2004].

Voor de uitvoering van laboratoriumproeven is, in samenwerking met RWS WVL en in overleg met verschillende grondmechanische laboratoria een protocol opgesteld [Deltares, in STOWA, 2015]. Tevens is de basis gevormd voor de opslag van de resultaten van laboratoriumproeven, ten behoeve van de uitwisseling tussen en vergelijking van resultaten door waterkeringbeheerders onderling. Deze database is verder ontwikkeld door het Hoogheemraadschap van Delfland en waterschap Rivierenland. Het gebruik van dit protocol en de database wordt aanbevolen.

2.9.3. Aanwijzingen schematisering

De uitwerking van de toetsing per type kering is beschreven in deze leidraad. Dit betreft vooral de technische aanpak van de toetsing. Hierbij is het startpunt een duidelijk en representatief dwarsprofiel.

Van groot belang bij een toetsing is de kwaliteit van de schematisering van de geometrie, bodemopbouw, waterspanningen, geotechnische eigenschappen. Complex daarbij is hoe te komen van een dijk of constructie in het veld naar een betrouwbare (maatgevende) schematisering. Voldoende informatie van voldoende kwaliteit dient te worden verzameld. Het standaard definiëren van criteria ten aanzien van voldoende is niet mogelijk. Bovengenoemde gevoeligheidsanalyse naar de invloed van afwijkingen in de aannames is een nuttig middel voor de beoordeling of de onderzoeksinspanning verantwoord is vanuit oogpunt van betrouwbaarheid van de toetsing.

Na het verzamelen van de basisinformatie zal de te toetsen kade in secties/trajecten worden onderverdeeld. Per sectie dient een (of meerdere) representatief (-ve) dwarsprofiel(en) te worden geselecteerd. De intensiteit van de toetsprofielen (aantal kadetrajecten en representatieve dwarsprofielen) varieert per gebied en type waterkering. Indien bepaalde informatie niet beschikbaar is of indien sprake is van veel variatie in de gegevens dan wordt aanbevolen "robuust" te toetsen. Hiermee wordt bedoeld bepaalde keuzes en inschattingen zo goed en nauwkeurig mogelijk te maken, maar wel conservatief.

Voor ieder dwarsprofiel en iedere waterkerende constructie dient per faalmechanisme de juiste (maatgevende) belastingsituatie te worden geschematiseerd. In het algemeen geldt dat één schematisatie niet voor alle faalmechanismen de maatgevende situatie geeft.

Onderbouwing van de uitgangspunten en gemaakte keuzes en voldoende gedetailleerde verslaglegging is nodig, zodat het geheel inzichtelijk en verifieerbaar wordt.

2.9.4. Veiligheidsnormen

Deze Leidraad is gebaseerd op de normklassen die worden gehanteerd volgens de richtlijnen voor het normeren van regionale keringen [IPO, 1998; STOWA, 2007a; STOWA, 2008]. Deze klassen zijn beschreven in onderstaande tabel.

Tabel A.4 Normklassen regionale keringen: boezemkaden en keringen langs regionale rivieren

Normklasse	Overschrijdingskans[per jaar]
IPO – I	1/10
IPO – II	1/30
IPO – III	1/100
IPO – IV	1/300
IPO – V	1/1.000

Voor compartimenteringskeringen geldt een afwijkende normering. De normklassen betreffen:

- Handhaven huidige situatie;
- Conditionele kans 1 op 10;
- Norm op basis van kosten – baten analyse.

REFERENTIES

[IPO, 1998]	Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, 1998.
[IPO-UvW, 2004]	Visie op regionale waterkeringen. Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg, juni 2004.
[Min. I&M, 2007]	VTV, Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.
[Min. I&M, 2012]	Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Min. I&M, RWS Waterdienst, oktober 2012.
[STOWA, 2007a]	LTV2007, Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, ORK2007-02.
[STOWA, 2008]	Richtlijn Normering keringen langs regionale rivieren, augustus 2008.
[STOWA, 2015]	Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.
[TAW, 2004]	Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, TAW richtlijn, september 2004.

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



2015
- 15

**MODULE B:
BELASTINGEN**

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE B

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

MODULE B: BELASTINGEN

1.	BELASTINGSITUATIES ES BELASTINGEN	4
1.1.	BELASTINGSITUATIES	4
1.1.1.	<i>Belastingsituatie 'hoogwater'</i>	4
1.1.2.	<i>Belastingsituatie 'droogte'</i>	4
1.2.	HYDRAULISCHE BELASTINGEN	4
1.2.1.	<i>Relevante componenten hydraulische belasting per beoordelingsspoor</i>	4
1.2.2.	<i>Maatgevend hoogwaterpeil</i>	5
1.2.3.	<i>Val van de waterstand</i>	6
1.2.4.	<i>Windgolven</i>	6
1.3.	BELASTINGDUUR EN VERLOOP HOOGWATER	7
1.4.	VERMINDERDE HYDRAULISCHE WEERSTAND VAN DE WATERBODEM	8
1.5.	OVERIGE BELASTINGEN	11
1.5.1.	<i>Verkeersbelasting</i>	11
1.5.2.	<i>Wind</i>	13
1.5.3.	<i>Ijs</i>	14
1.5.4.	<i>Biologische aantasting</i>	14
1.5.5.	<i>Schepen en drijvende voorwerpen</i>	14
1.5.6.	<i>Aardbeving en aardschokken</i>	14

1. BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN

1.1. Belastingssituaties

1.1.1. Belastingssituatie 'hoogwater'

Met de belastingssituatie 'hoogwater' wordt de situatie bedoeld waarbij sprake is van een maatgevende hoog waterstand op het regionale watersysteem. Deze situatie kan gecombineerd gaan met hoge windgolven en veel neerslag. Dit is de meest gangbare situatie voor het beoordelen van de waterkerende veiligheid van waterkeringen.

1.1.2. Belastingssituatie 'droogte'

Tijdens de warme en langdurig droge zomer van 2003 is geconstateerd dat voor bepaalde faalmechanismen de situatie droogte mogelijk maatgevend is ten opzichte van de hoogwater situatie. Met name krimp en gewichtsafname van veenlagen in de kering en het achterland, als gevolg van de droogte, is een belangrijke oorzaak is van de aantasting van de stabiliteit. Speciaal indien de gewichtsafname leidt tot het opdrijven / opbarsten van de deklaag in het achterland en eventuele vervormingen kunnen leiden tot hydraulische kortsluiting.

Zodoende is ook de situatie droogte als belastingssituatie onderkend. Beschouwing van de 'droogte' is uitsluitend relevant indien een kering droogtegevoelig is en tijdens of tot enkele maanden na een periode met langdurige droogte een buitenwaterstand hoger dan het maaiveld in het achterland kan optreden. Deze situatie is dus met name relevant voor boezemkaden en kanaaldijken.

1.2. Hydraulische belastingen

1.2.1. Relevante componenten hydraulische belasting per beoordelingsspoor

Om een regionale kering te toetsen, moet een goede inschatting gemaakt worden van de extreme situatie die kan optreden onder normomstandigheden. Deze situatie kunnen in het regionale systeem worden gevormd door een aantal componenten, en combinaties daarvan:

- afvoer van (extreme) neerslag;
- aanvoer van water vanuit het poldersysteem/achterland;
- windeffecten (snelheid en richting) die zorgen voor scheefstand, dwarsopwaaiing en golven;
- overstroming van een voorliggende compartiment.

Een bepaalde combinatie van deze componenten zorgt voor de maatgevende hydraulische belasting. De aard van de maatgevende combinatie hangt af van het faalmechanisme.

Overlopen

Voor het beoordelingsspoor overlopen is voornamelijk de waterstand van belang. Voor boezemstelsels en kanalen kunnen hierbij de componenten scheefstand en dwarsopwaaiing meespelen, scheefstand en dwarsopwaaiing zijn gerelateerd aan wind.

Overslag

Voor het beoordelingsspoor overslag is de maatgevende belasting gerelateerd aan zowel een extreme waterstand als een golfbelasting. Ook de duur van de belasting (= de duur van het hoogwater en de duur van de golfbelasting) speelt een rol. Voor kaden langs meren en brede wateren is de faalkans voor dit mechanisme niet per definitie het grootst is bij de hoogste waterstand, omdat de hoogste waterstand niet per definitie gepaard met de grootste golfbelasting.

Macrostabiliteit binnenwaarts

Bij het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts is de waterstand de belangrijkste hydraulische belasting. Voor een meer gedetailleerde beoordeling op basis van niet-stationaire ontwikkeling van de waterspanningen is tevens de duur van de hoge waterstand van belang. Bij boezem- en kanaalkaden kan tevens neerslag van belang zijn. Met neerslag moet bij de schematisering van de waterspanningen wel rekening worden gehouden, maar extreme neerslag vormt geen afzonderlijk te beschouwen situatie.

Macrostabiliteit buitenwaarts

Bij het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts is de snelheid en grootte van de val de waterstand de belangrijkste hydraulische belasting. Voor een meer gedetailleerde beoordeling op basis van niet-stationaire ontwikkeling van de waterspanningen is tevens de duur van de hoge waterstand van belang, voor een goede inschatting van de verzadiging van het dijklichaam en de stijghoogten in de zandondergrond.

Piping

Voor het beoordelingsspoor piping is de maatgevende belasting gerelateerd aan een extreme waterstand. Voor de bepaling van het inleidende mechanische opbarsten is ook de ontwikkeling van de waterspanningen van belang. Deze ontwikkeling is o.a. afhankelijk van de duur en het verloop van de buitenwaterstand. Bij de beoordeling van het mechanisme piping speelt tijdsafhankelijkheid dus wel een rol bij de bepaling van de waterspanningen, maar de verdere beoordeling van de kans op piping op basis van het kritieke verval mechanisme piping is niet tijdsafhankelijk.

Microstabiliteit

Voor het beoordelingsspoor microstabiliteit is de maatgevende belasting gerelateerd aan een extreme waterstand, al dan niet in combinatie met neerslag en/of overslaand water. De stijging van de freatische lijn in de dijk als gevolg van een hoge buitenwaterstand is tijdsafhankelijk. De grondwaterstand in het dijklichaam is relevant voor de beoordeling op microstabiliteit. De duur en het waterstandsverloop van het hoge water zijn daardoor dus van belang.

Bekleding

Het falen van de bekleding is voornamelijk afhankelijk van golfbelastingen en niet uitsluitend bij hoogwateromstandigheden. Bij de beoordeling is de combinatie van de (duur en hoogte van de) waterstand en de (duur en hoogte van de) golfbelasting van belang. De faalkans is niet per definitie het grootst bij de hoogste waterstand en/of bij de zwaarste golfaanval. Het gaat om de maatgevende combinatie van de duur en hoogte van beide belastingen.

Het stapelen van bovengenoemde componenten van de hydraulische belasting leidt tot extreme omstandigheden, zeker indien het gelijktijdig optreden van extreme neerslag of extreme aanvoer en extreme wind niet gecorreleerd is. Daarbij geldt dat elk watersysteem zijn eigen kenmerken heeft, en een eigen dynamiek. Door de ligging en oriëntatie van de kade binnen dat watersysteem zullen verschillende componenten van de belasting (zoals scheefstand, golfaanval) ook weer meer of minder dominant aanwezig zijn. Elk regionaal watersysteem én ook elke kade binnen dat systeem worden gekenmerkt door een unieke maatgevende combinatie van de componenten van de hydraulische belasting. Bovendien zijn er mogelijkheden om de extreme situatie te beperken door bijvoorbeeld inzet van niet natuurlijk te besturen mogelijkheden, zoals spuien en bergen. In module C wordt per type regionale waterkering nader ingegaan op het bepalen van de maatgevende combinatie van hydraulische belastingen.

1.2.2. Maatgevend hoogwaterpeil

In deze paragraaf wordt ingegaan op het in rekening te brengen waterpeil voor zowel de situatie 'hoogwater' als de situatie 'droogte'.

Situatie hoogwater

Het maatgevend hoogwaterpeil wordt (in de regel) vastgesteld door Gedeputeerde Staten op basis van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand en de veiligheidsnorm van de waterkering.

Voor keringen langs regionale rivieren en compartimenteringskeringen kan het maatgevend hoogwaterpeil en verloop van de hoogwaterstand vaak worden afgeleid op basis van de resultaten van (overstromings-) berekeningen die onderdeel vormen van de normeringstudies.

Voor de toetsing dient per dijkvak het toetspeil te zijn vastgesteld op basis van het maatgevend hoogwaterpeil. In dit vastgestelde toetspeil dient rekening te zijn gehouden met onzekerheden in de berekening van het maatgevend hoogwaterpeil. Lokale toeslagen dienen bepaald te worden voor met name:

- een stijging van de waterstand door scheefstand van de boezem, rivier of het compartiment (door wind en eventueel bemaling);
- de onzekerheid over het waterpeil op basis van de mate van beheersbaarheid van het waterpeil tijdens maatgevende condities;
- onzekerheden in de modellen en invoergegevens (eventueel).

Scheefstand

Eventuele scheefstand van het water (veroorzaakt door wind en eventueel bemaling) kan zijn meegenomen bij de afleiding van het maatgevend hoogwaterpeil. Dit is afhankelijk van de wijze van afleiding. Men dient hierop bedacht te zijn. Bij afleiding van het maatgevend hoogwaterpeil op basis van een statistische analyse van meetgegevens van hoge waterpeilen, dient speciaal aandacht te worden besteed aan de eventuele noodzaak bij dit peil nog een lokale toeslag voor eventuele scheefstand in rekening te brengen. Een dubbeltelling van de scheefstand dient te worden voorkomen.

Situatie droogte

Voor de situatie droogte hoeft niet met het maatgevend hoogwaterpeil te worden gerekend, het optreden van het maatgevend hoogwaterpeil tijdens een periode van droogte wordt als onrealistisch beschouwd. Het volledig herstel van een verdroogde kering kan echter enkele maanden duren [STOWA, 2004]. Binnen deze periode kan een situatie met veel neerslag optreden, zodoende dient veiligheidshalve een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar te worden gehanteerd.

Voor dijkvakken waar de maatgevende waterstand voor de situatie droogte lager is dan het niveau van het achterland is het beschouwen van de situatie 'droogte' niet relevant.

1.2.3. Val van de waterstand

Een bijzondere belastingsituatie betreft een relatief abrupte 'val' van de waterstand. Deze situatie is van belang bij de beoordeling van de stabiliteit buitenwaarts. Deze situatie kan bijvoorbeeld relevant zijn bij:

- keringen langs een regionale rivier waar een snelle daling van de waterstand mogelijk is, speciaal indien in korte tijd een 2de hoogwater golf kan optreden;
- boezem- of kanaalkaden, waar een doorbraak van een kering elders langs dezelfde boezem of kanaal kan leiden tot een snelle (al dan niet tijdelijke) daling van de waterstand;
- compartimenteringskeringen nabij de kust, indien de waterstand in een geïnundeerd compartiment onderhevig is aan getijdewerking.

In paragraaf 2.1 zijn enkele opmerkingen gemaakt ten aanzien van de inschatting van de waarschijnlijkheid van dit fenomeen en noodzaak om deze situatie bij de beoordeling van de stabiliteit buitenwaarts te beschouwen.

1.2.4. Windgolven

Golven vormen een directe belasting op het buitentalud, erosie door golfslag kan de veiligheid van een waterkering aantasten. Voorts kunnen tijdens hoge waterstanden bij hogere windsnelheden golven overslag van water veroorzaken. Door overslaand water kan erosie van de kruin of het binnentalud optreden en de freatische lijn worden verhoogd door infiltratie van het water in de kruin en het binnentalud. Beide processen kunnen leiden tot een afname van de stabiliteit. Bij enkele toetssporen zijn zodoende tevens de golfbrandvoorwaarden inbegrepen, te weten bij de beoordeling van de hoogte en de stabiliteit van bekledingen.

De benodigde golfbrandvoorwaarden dienen per dijkvak te worden bepaald, bijvoorbeeld met golfgroeiberekeningen. Hiervoor bestaan verschillende golfgroeiformules, de formules van Bretschneider, Young&Verhagen en Breugem&Holthuijsen zijn in Nederland de meest bekende. In het kader van het

Ontwikkelingsprogramma is een studie verricht naar golfgroeiformules [STOWA, 2015]. De studie doet echter geen definitieve uitspraak over de toe te passen golfgroeiformule. Deze Leidraad houdt vast aan de formule van Bretschneider. Indien de met deze formule berekende golfhoogten leiden tot het afkeuren van de kering, kan worden verkend of een andere formule tot een afwijkend oordeel leidt. Hiervoor wordt de formule van Breugem&Holthuijsen aanbevolen. Voor verdere informatie over golfgroeiformules wordt verwezen naar de bureaustudie validatie golfgroeiformules [STOWA, 2015]. Opgemerkt wordt dat de berekende golfhoogten (en de verschillen tussen de formules) met name op brede wateren (breder dan 100 meter) relevant zijn.

Op smalle wateren (boezems en kanalen) of op afvoer gedomineerde wateren worden overwegend geen hoge golven worden berekend. De keuze voor een golfgroeiformule lijkt zodoende voor de beoordeling op hoogte weinig relevant. Speciaal omdat volgens het beoordelingsspoor de golfhoogte pas relevant wordt bij een golfhoogte groter dan 0,5 m.

De grootte van de te verrekenen windgolven is vooral afhankelijk van:

- de windsnelheid en windrichting;
- de oriëntatie en ligging van de kering;
- de correlatie met de oorzaak van het hoogwater (bijv. scheefstand of een hoge afvoer);
- eventuele reductie van de windsnelheid door bomen en hoge bebouwing / eventuele verhoging in open gebied (open water);
- de geometrie van het water (boezem, rivier of overstroomd compartiment), met name de strijklengte en waterdiepte.

Informatie over de statistiek van extreem hoge windsnelheden is beschreven in het Windklimaat van Nederland [KNMI, 1983], en verder ontwikkeld in het zgn. Hydra – project (zie hiervoor bijvoorbeeld de website van het KNMI).

Module C geeft specifieke aanbevelingen over de windsnelheid per type regionale waterkering.

1.3. Belastingduur en verloop hoogwater

De duur en het verloop van de belasting is belangrijk voor diverse faalmechanismen. Tijdafhankelijke kenmerken van de belasting, zoals de belastingduur en –verloop, zijn echter systeem specifiek en zijn vaak onvoldoende beschikbaar voor gebruik bij de toetsing.

Voor de duur en verloop van de belasting in het regionale systeem kan onderscheid gemaakt worden in een extreme waterstand die ontstaat als gevolg van

1. de duur en het verloop van het hoogwater
2. de duur en het verloop van een storm.

Hoogwater

Regionale systemen verschillen in aard en omvang. Voor sommige systemen bepaalt voornamelijk de afvoer door neerslag de maatgevende waterstand, terwijl voor andere systemen juist de windcomponent dominant is. Binnen een boezemstelsel kan zelfs de ligging en oriëntatie van de kering verschil uitmaken of de maatgevende waterstand meer gedomineerd wordt door wind ofwel door neerslag, en dus de duur van de componenten van de hydraulische belasting.

Stormduur³

Voor regionale systemen zijn landelijk geen belastingverlopen voor wind afgeleid. In de toetsing voor de primaire keringen wordt voor het systeem van de Vechtdelta een maximale stormduur gehanteerd van 48 uur, met een geschematiseerd verloop als een trapeziumvorm met gedurende 23 uur een toename van de wind van 0 m/s naar maximum, twee uur maximaal en in 23 uur weer een afname naar 0 m/s. Voor andere gebieden gelden afwijkende stormduren, variërend van 12 uur tot 35 uur, resp. voor het boven- en het benedenrivierengebied en de delta [Min I&M, 2007]. Indien van toepassing kan de maximale stormduur van 48 uur worden gehanteerd, conform het beschreven verloop. Dit is conservatief. Indien de stormduur en het verloop significante invloed heeft op het toetsoordeel, kan de waterkeringbeheerder in overleg met het

bevoegd gezag een aangepaste stormduur (laten) afleiden.

De windcomponent in de extreme waterstand kan soms aanzienlijk zijn (boezemsystemen en kanalen), terwijl deze component vaak slechts kortdurend optreedt. In dergelijke gevallen kan het nuttig zijn de korte duur van de windcomponent te verdisconteren in de schematisering van de waterspanningen.

1.4. Verminderde hydraulische weerstand van de waterbodem

Deze paragraaf waarschuwt voor gebeurtenissen waardoor zich een hoge stijghoogte in goed doorlatende zandlagen onder de waterkering kan ontwikkelen. Dit is relevant voor de beoordeling op zowel stabiliteit binnenwaarts als piping. Ten aanzien van de beoordeling op piping zijn ten aanzien van deze gebeurtenissen enkele optimalisaties mogelijk. Deze worden beschreven in de paragraaf over piping (par. C 1.3 en D 1.3).

Door vermindering van de hydraulische weerstand van de waterbodem of het voorland neemt de waterstroom tussen het oppervlaktewater en goed (horizontaal) doorlatende grondlagen in of onder de kering toe. Dit kan gepaard gaan met een toename van de waterspanningen in die lagen. In het ergste geval valt de weerstand geheel weg en is er sprake van hydraulische kortsluiting. De verhoogde waterspanningen kunnen een zeer ongunstige invloed hebben op de veiligheid tegen het optreden van verschillende mechanismen, met name de veiligheid tegen piping en tegen afschuiven van het binnentalud als gevolg van het wegvallen van de schuifsterkte langs een horizontaal grensvlak (in dit geval de bovenzijde van de beschouwde watervoerende laag).

De hydraulische weerstand van de waterbodem of een voorland wordt aangetast als de dikte van het pakket slecht doorlatende grondlagen afneemt. Denkbare oorzaken van verminderde hydraulische weerstand zijn:

1. baggerwerkzaamheden;
2. opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem;
3. lekkage langs oeverconstructie;
4. horizontaal vervormen van de waterkering en ontstaan van grondbreuk in de waterbodem.

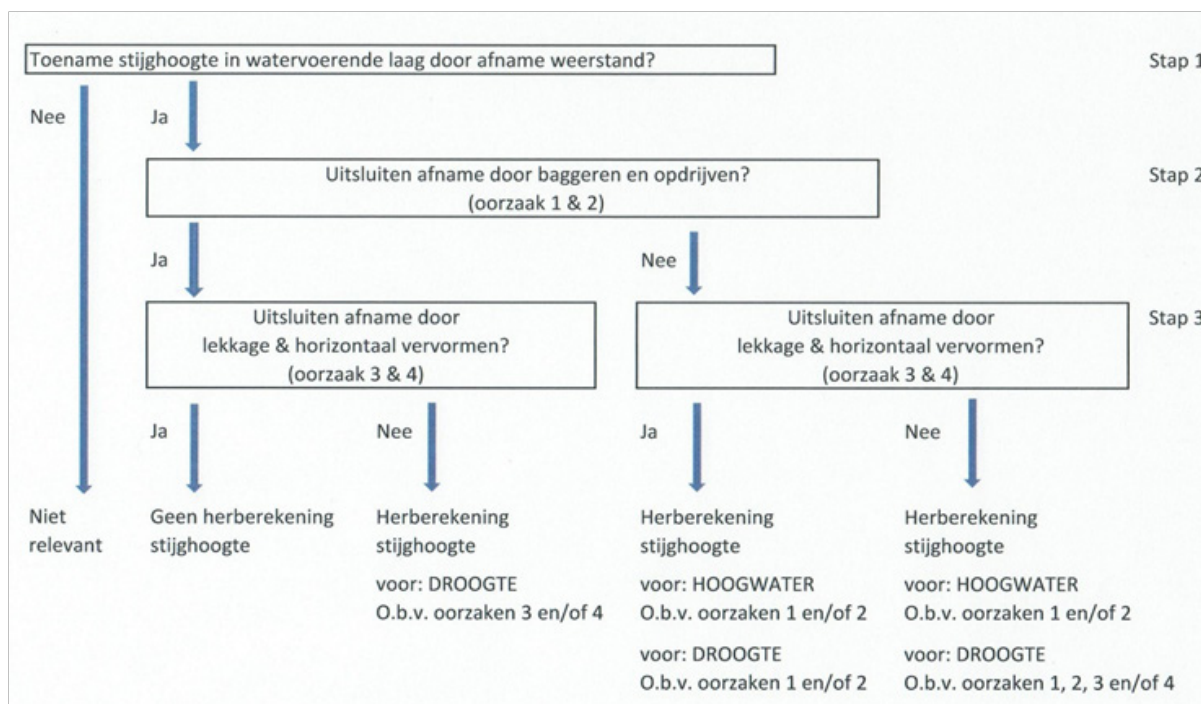
Relevant bij deze beoordeling is de vraag of tijdens het optreden van deze gebeurtenissen de waterkering daadwerkelijk waterkerend is, dan wel in welke mate deze gebeurtenis kan optreden tijdens de normsituatie.

Als een hydraulisch dichte oeverconstructie aanwezig is in de boezem en deze onderworpen wordt aan horizontale bewegingen is het denkbaar dat een verticale lekweg gevormd wordt langs de oeverconstructie. De stijghoogte langs de oeverconstructie neemt dan toe tot maximaal het boezempeil waardoor de hydraulische weerstand eveneens wordt verminderd. Beweging van de oeverconstructie is bijvoorbeeld denkbaar bij meegeven van de verankering, aantasting van de passieve grondzone, en krimp door uitdroging onder en nabij de kruin. Dit laatste wordt door een hydraulisch dichte oeverconstructie nog eens versterkt doordat de infiltratie vanuit het oppervlaktewater wordt belemmerd. Bovendien verbreekt een hydraulisch dichte oeverconstructie, over de gehele diepte waarover deze aanwezig is, de samenhang in de ondergrond. Een en ander is overigens afhankelijk van het type oeverconstructie en de laagopbouw van de ondergrond.

Horizontale vervorming kan een gevolg zijn van de overige genoemde oorzaken maar ook van verdroging. In alle gevallen is daarbij sprake van een zelfversterkend proces: de schuifweerstand onder de kering wordt verminderd (hetzij door hogere waterspanningen hetzij door afnemend gewicht van de kade), de standzekerheid neemt af en de vervormingen nemen toe, waardoor een scheur onder de waterbodem ontstaat of wordt verbreed.

Verdroging kan de horizontale vervorming van de waterkering versterken als door gewichtsafname de schuifweerstand afneemt langs potentiële horizontale afschuifvlakken in en onder de kering.

³ Opgemerkt wordt dat in andere gebieden andere stormduurdefinities voorkomen, en mede daardoor ook andere stormduren.



Onderstaand is het stroomschema voor de beoordeling van de relevantie van het optreden van significante ering van de hydraulische weerstand van de waterbodem weergegeven.

Figuur B.1 Beoordeling relevantie optreden significante vermindering hydraulische weerstand waterbodem

In de volgende toelichting zijn de criteria geformuleerd die de conclusie mogelijk maken dat verminderde hydraulische weerstand van de waterbodem en droogte-effecten geen verdere beschouwing eisen.

STAP (1)

Afname van de hydraulische weerstand leidt niet tot een toename van de stijghoogte indien het toetspeil lager is dan de oorspronkelijke stijghoogte in goed doorlatende lagen onder de waterkering.

STAP (2)

Opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten als:

1. de waterbodem geen mineraal-arme veenlagen bevat; of:
2. aanwezige mineraal-arme veenlagen worden afgedekt met grondlagen (beneden een eventueel onderhouds- of baggerprofiel⁴) met een gezamenlijke gewicht dat voldoende is om een oprijfvermogen van 1 kN/m³ van de mineraal-arme veenlagen te weerstaan.

Indien aanwezige mineraal-arme veenlagen wel kunnen opdrijven dient de diepte van de waterbodem en de dikte (en weerstand) van het pakket slecht doorlatende lagen te worden gecorrigeerd.

Als beneden het laagste niveau dat uit deze beschouwing volgt een waterremmende laag aanwezig is van ten minste 2 m dik en een gemiddeld volumiek gewicht van ten minste 12 kN/m³, dan kan met voldoende waarschijnlijkheid een vermindering van de hydraulische weerstand ten gevolge van baggerwerkzaamheden

⁴ Uitgangspunt hierbij is dat eventueel baggerwerk nauwkeurig wordt uitgevoerd. Indien baggerwerk niet nauwkeurig wordt uitgevoerd (afwijking > 0,25 m), dan dient voor deze analyse als uitgangspunt voor de bodemdikte het baggerprofiel te worden gecorrigeerd met de nauwkeurigheidsmarge van het baggerwerk.

en opdrijven verwaarloosbaar worden geacht. In andere gevallen dient de stijghoogte in de watervoerende grondlaag te worden herberekend.

STAP (3)

De mogelijkheid van verticale lekkage langs oeverconstructie wordt vooralsnog alleen van belang geacht tijdens de situatie 'droogte'. Nangenomen mag worden dat verdroging van de waterkering door ingrepen in of achter de kering (zoals installatie van een oeverconstructie of maatregelen ter verlaging van de freatische waterstand in de kade) door de beheerder wordt voorkomen of in voldoende mate wordt gecompenseerd. Deze oorzaken worden daarmee onder het uitgangspunt van 'goed beheer' uitgesloten.

Een afname van de weerstand ten gevolge van horizontale beweging kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten indien:

- a. horizontale beweging ter plaatse van de waterbodem of een oeverconstructie kan worden uitgesloten, omdat verdroging en vervorming van de kade slechts in beperkte mate kan optreden; of:
- b. sprake is van voldoende weerstand tegen scheurvorming in de waterbodem tot aan het niveau van de bovenste watervoerende laag.

Ad. a: aangenomen mag worden dat horizontale vervorming beperkt zal blijven indien:

- sprake is van een beperkt verval over de kade van kleiner dan 2 m; of:
- geen sprake is van een veenkade (zie definitie in module C); of:
- veen in de kade tegen uitdroging wordt beschermd door een kleilaag van ten minste 1 m dikte en bovendien geen hydraulisch dichte oeverconstructie aanwezig is; of:
- de opdrijfveiligheid in de situatie zonder kortsluiting overal onder de verdroogde kade ten minste 1,2 bedraagt.

Ad.b: de weerstand tegen scheurvorming is voldoende indien onder de waterbodem of onderkant van de oeverconstructie:

- de dikte van een waterremmende laag tenminste 5 meter bedraagt; of:
- zich in de waterremmende laag een kleilaag bevindt met een minimale dikte van 2 meter.

De beoordeling van de mogelijkheid op lekkage langs eventueel aanwezige hydraulisch dichte oeverconstructies kan worden vervolgd door een onderzoek van de mogelijkheid op horizontale beweging ervan. Hiertoe kan dienen een evenwichtsbeschouwing, of ook een visuele beoordeling. Daarbij wordt opgemerkt dat een visuele beoordeling van de kans op lekkage tijdens droogte niet eenvoudig mogelijk is, vooraf echter kan vermoedelijk ook al wel een goede schatting van die kans worden verkregen aan de hand van de toestand van de oeverconstructie. Onder andere zijn op dit oordeel van invloed de belasting op de oeverconstructie door grond en golven, de toestand van de ankers en de passieve grondzone, en de mogelijkheid van krimp van de aansluitende delen van de kade.

NADERE STAPPEN

Indien een substantiële afname van de hydraulische weerstand van de waterbodem op grond van bovenstaande niet kan worden uitgesloten dan moet een berekening worden gemaakt van de toename van de stijghoogte in de watervoerende laag ter plaatse van de teen. Deze toename moet worden verwerkt in de beoordelingssporen piping en stabiliteit binnenwaarts (zie 6.3 en 6.4). De invloed van de verminderde hydraulische weerstand op de waterdrukken in en onder de kade dient met daartoe geschikte grondwaterstromingsmodellen worden berekend, zie hiervoor bijvoorbeeld [TAW, 2004].

Bij de grondwaterstromingsberekeningen mag rekening worden gehouden met het matigende effect van de in het algemeen beperkte breedte van opdrijvende veenpakketten en lekkagespleten langs oeverconstructies. Aanvullend geldt dat voor piping in sommige situaties een verdere optimalisatie mogelijk is, zie hiervoor par. D 1.3.

Het mogelijk opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem dient in deze berekening te worden geschematiseerd met een verdieping tot de onderkant van de mineraal-arme veenlagen die zo ongunstig mogelijk in de waterbodem is gesitueerd (in het algemeen: direct voor de buitenteen of overgang van het onderwatertalud naar de waterbodem). Mogelijke lekkage langs een oeverconstructie dient te worden geschematiseerd met een verdieping tot onderkant oeverconstructie over een breedte die in overeenstemming

is met de mate van de mogelijke horizontale beweging van de oeverconstructie. Minimaal wordt de dikte van de beschoeiingsplanken of 1/5 van de profielhoogte van stalen damwanden genomen, en maximaal het 10-voudige daarvan.

In het geval van mogelijk substantiële horizontale vervorming van de kade tijdens droogte dienen eveneens de beoordelingssporen STPI en STBI te worden gevolgd, waarin het verminderde gewicht en de veranderde waterspanningen (verlaagde freatische lijn, mogelijk onveranderde of verhoogde waterspanningen in watervoerende lagen) worden verwerkt.

1.5. Overige belastingen

1.5.1. Verkeersbelasting

Indien sprake kan zijn van een verkeersbelasting dient deze in rekening te worden gebracht bij beoordeling van de stabiliteit van een waterkering. Van belang daarbij zijn achtereenvolgens:

- het wel of niet moeten beschouwen van verkeersbelasting;
- de grootte van de verkeersbelasting;
- de schematisering van (het effect van) verkeersbelasting.

Wel / niet beschouwen verkeersbelasting

Beschouwd moet worden of een verkeersbelasting in rekening moet worden gebracht bij beoordeling van de stabiliteit van een waterkering. Dit geldt ook indien geen rijweg op de kruin van de kering aanwezig is, omdat de kans bestaat dat in een dreigende calamiteit transport van zwaar materiaal en materieel over de kruin van de waterkering plaatsvindt.

Bij deze beschouwing is tevens van belang door welk type verkeer de belasting wordt gevormd, waarbij valt te denken aan regulier verkeer (indien tijdens hoogwater geen verkeersverbod geldt), transport van materiaal / materieel ten behoeve van noodmaatregelen of voor het uitvoeren van inspecties.

Valide argumenten voor het niet beschouwen van een (zware) verkeersbelasting zijn bijvoorbeeld:

- de verkeersweg staat dergelijk zwaar verkeer niet toe (standaard of middels een verkeersverbod tijdens hoogwater);
- de kruin van de kade is eenvoudig te smal voor voertuigen;
- de toegang tot het kadetraject vormt een belemmering, bijvoorbeeld omdat delen van de kade een smalle kruin hebben, of eventuele waterkerende kunstwerken in de kade dergelijke belastingen niet toestaan;
- het calamiteitenplan voorziet voor het treffen van noodmaatregelen in bepalingen dat het in te zetten materiaal deze belasting niet overschrijdt;
- nabij de kade zijn andere routes aanwezig, bijvoorbeeld een weg op de binnenberm.

De beschouwing of rekening moet worden met een verkeersbelasting tijdens de maatgevende situatie dient in de toets rapportage te zijn beschreven.

Verkeersbelasting is een vorm van bovenbelasting. Indien tijdens de normsituatie andere bovenbelastingen worden verwacht (zoals het gewicht van tijdelijke noodmaatregelen) dienen deze eveneens in rekeningen te worden gebracht.

Grootte van de verkeersbelasting

De grootte van de verkeersbelasting is afhankelijk van het type verkeersbelasting waar rekening mee gehouden moet worden. Daarbij geldt:

- voor regulier verkeer: uitgaan van de maximaal toegestane belasting conform de verkeersklasse van de betreffende verkeersweg;
- voor inspectievoertuigen: uitgaan van 5 kN/m², over een breedte van 2,5 m;
- voor transport van materiaal / materieel voor noodmaatregelen: uitgaan van de mogelijk optredende maximale belasting.

Indien tijdens de normsituatie meerdere typen verkeer mogelijk zijn, moet worden uitgegaan van de hoogste belasting die kan optreden.

Voor de belasting door transport van materiaal / materieel voor noodmaatregelen is 13 kN/m² [TAW, 1994; TAW, 2001] geen veilige waarde. De belasting door vrachtwagens met zand kan (veel) groter zijn. Uit een inventarisatie blijkt dat de belasting kan oplopen tot meer dan 30 kN/m² (over een breedte van 2,5 m). Zodoende wordt voorgeschreven uit te gaan van de maximale belasting die kan optreden, afhankelijk van de veronderstelde aard van het in te zetten materiaal / materieel en eventueel gestelde beperkingen daaraan.

Voor groene kaden lijkt het onwaarschijnlijk dat zwaar verkeer voor noodmaatregelen over de kruin van de kade zal rijden, ook tijdens dreigende calamiteiten. De gehanteerde grootte van de verkeersbelasting te worden gemotiveerd in de rapportage over de veiligheidstoets. De motivatie kan bijvoorbeeld worden onderbouwd met voorwaarden uit het calamiteitenbestrijdingsplan (en bepalingen inzake handhaving).

Schematisering van de verkeersbelasting

Wateroverspanning

Uit het onderzoek naar verkeersbelasting [in STOWA, 2015] volgen onderstaande waarden voor de resulterende wateroverspanning. Onderstaande tabel presenteert een overzicht met de aanpassingspercentages⁵.

Tabel 3.1 Aanpassingspercentages voor cohesieve grondsoorten

Type kade	Zeere zware belasting [> 13 kN/m ²]		Zware belasting [≈ 13 kN/m ²]		Lichte belasting [≈ 5 kN/m ²]	
	Hoogwater	Droogte	Hoogwater	Droogte	Hoogwater	Droogte
Kade met weg	0%	0%	50%	30%	100%	30%
Kade zonder weg “groene kade”	0%	0%	0%	0%	50%	30%

Pas bij overschrijding van de grensspanning treden significante waterspanningen op. Een kade met een weg reageert nauwelijks ongedraineerd op een lichte belasting.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat in de onverzadigde zone geen wateroverspanning ontstaat, en in niet cohesieve grondsoorten evenmin.

Mogelijkheden voor optimalisatie

Extra spreiding door het wegcunet (dwarsrichting)

De stijfheid van het wegcunet draagt bij aan een gunstige spreiding van de verkeersbelasting. Zodoende wordt aanbevolen bij de schematisering van de verkeersbelasting rekening te houden met de spreiding in de wegconstructie en het wegcunet. Belastingspreiding kan normaliter in rekening gebracht door een spreidingshoek op te geven. Om belastingspreiding in de dwarsrichting als gevolg van een wegcunet in D-Geostability in rekening te brengen wordt aanbevolen om de rekenwaarde van de bovenbelasting handmatig te spreiden over de werkelijke breedte van het wegcunet⁶. Dit komt overeen met de schematisering van een lagere bovenbelasting over een grotere breedte, als correctie voor de extra spreiding door de stijfheid van de wegconstructie en het wegcunet. De aanbevolen hoek voor de belastingspreiding bedraagt:

- zand: 26,6° (spreiding 2:1, Verticaal : Horizontaal)
- klei: 18,3° (spreiding 3:1, Verticaal : Horizontaal)
- veen: 15,9° (spreiding 3,5:1, Verticaal : Horizontaal)

⁵ Let wel: dit betreft aanpassingspercentages, ofwel de afname van de wateroverspanning ten opzichte van de maximale wateroverspanning. Een aanpassingspercentage van 30% houdt dus in dat met 70% wateroverspanning rekening gehouden moet worden. Bij een aanpassingspercentage van 100% treden geen wateroverspanningen op.

⁶ Om te voorkomen dat de bovenbelasting te laag wordt gekozen geldt als bovengrens een breedte van 4 meter, mits deze breedte aanwezig is.

Benadrukt wordt dat deze spreidingen dienen voor de bepaling van de fictieve breedte van de verkeersbelasting. Bij de stabiliteitsberekening kan voor de spreiding van de verkeersbelasting vervolgens een hoek van 0° (= geen spreiding) worden aangehouden.

Individuele vrachtwagen versus oneindig lange rij vrachtwagens

De aangegeven aanpassingspercentages voor wateroverspanning zijn gebaseerd op 2-dimensionale spreiding van de belasting, in de dwarsrichting. Achtergrond daarvan is een “oneindig” lange rij (kop – staart) met zandwagens. Bij een individuele vrachtwagen treedt tevens belastingspreiding op in de lengterichting van het wegcunet. In oriënterende berekeningen (zie Schematisering Verkeersbelastingen, in [STOWA 2015]) resulteert dit in een reductiefactor voor de wateroverspanning van 1,40 tot 1,55 [-], bij een dikte van het wegcunet van resp. 1 en 2 meter.⁷

De schematisering van de verkeersbelasting als een “oneindig” lange rij vrachtwagens is niet onrealistisch vanwege de vaak beperkte lengte (strekking) van een glijvlak bij een regionale kering. Toch mag als optimalisatie van de verkeersbelasting worden uitgegaan van één stilstaande zware vrachtwagen in plaats van een oneindige rij, en rekening worden gehouden met spreiding in de lengterichting. Voorwaarde is dat zware vrachtwagens bij het rijden en stilstaan onderling een minimale afstand gelijk aan de breedte van een karakteristiek glijvlak aanhouden. Globaal kan hiervoor 25 m worden aangehouden. Bij toepassing van deze optimalisatie moet de minimum afstand worden onderbouwd, bijvoorbeeld met bepalingen uit het calamiteitenbestrijdingsplan.

Lokaal onderzoek wateroverspanning / differentiatie in aanpassingspercentage

De mate van wateroverspanning als gevolg van een bovenbelasting verschilt tussen groene en verharde kaden. Bij hoogwater treden ook minder wateroverspanningen op (groter verschil tussen grensspanning en korrelspanning) dan bij droogte. Een goede verklaring voor deze verschillen is de mate van overconsolidatie van de ondergrond. Waarschijnlijk leiden beperkte verkeersbelastingen bij verharde kaden niet tot een overschrijding van de grensspanning, door eerdere (verkeers-) belastingen. De grond vertoont dan overgeconsolideerd gedrag, waardoor minder vervorming en daarmee wateroverspanningen wordt gegenereerd.

Bij kaden die vaker zwaar worden belast (door verkeer of bijv. lage grondwaterstanden in de zomer) treedt mogelijk een lagere wateroverspanning op. Deze verschillen zijn ook tot uiting gebracht in tabel B.1. Aanbevolen wordt bij deze kaden (zo nodig) onderzoek te verrichten. Een protocol voor dergelijk onderzoek is gepresenteerd in [STOWA, 2015].

Schematisering in D-GeoStability bij toepassing CSSM - model

De schematisering van een verkeersbelasting in D-GeoStability vergt enige aandacht indien wordt gerekend met het CSSM model. Zodoende worden onderstaande aanwijzingen beschreven:

- omrekenen aanpassingspercentages naar effectieve spanningsveranderingen;
- de spanningsveranderingen vertalen naar OCR en spanningsratio (hiermee wordt door het model zelf de ongedraineerde schuifsterkte aangepast).

1.5.2. Wind

Wind levert geen significante directe belasting op regionale waterkeringen. Indirect kan wind via opgewekte windgolven wel leiden tot een belasting op de kering. Dit is reeds behandeld in paragraaf 3.2.4 van Module?. Ook kan wind via bomen of constructies (bijvoorbeeld windmolens) een belasting uitoefenen op het grondmassief waarin deze wortelen of staan. De beoordeling van het effect van niet-waterkerende objecten op de veiligheid van de keringen vormt het onderwerp van module E.

⁷ Deze waarden voor spreiding zijn te indicatief bepaald om generiek toe te kunnen passen. Ze dienen ter indicatie van de potentiële optimalisatie. Indien een dergelijke orde grootte van een optimalisatie significant kan zijn voor het oordeel, kan de beheerder besluiten dit lokaal nader te onderzoeken.

1.5.3. Ijs

Belasting door ijs hoeft niet expliciet bij toetsing van regionale keringen in rekening te worden gebracht, omdat de kans op een combinatie van ijs met een hoge waterstand te klein is. Uitgangspunt is dat door ijs veroorzaakte schade tijdig (voor het optreden van een maatgevende situatie) wordt opgemerkt tijdens inspecties en wordt hersteld. IJsgang kan vooral bij keringen grenzend aan open water leiden tot beschadiging van het buitentalud.

1.5.4. Biologische aantasting

Biologische aantasting is niet zozeer een belasting die door waterkeringen moet kunnen worden opgenomen, maar kan wel schade veroorzaken waardoor een kering in sterkte kan afnemen of vatbaarder is voor andere belastingen. Om die reden is biologische aantasting relevant voor de veiligheid van een waterkering. Verondersteld wordt dat de beheerder de waterkering goed beheert en eventuele aantasting adequaat herstelt. Bij de toets kan daarom worden uitgegaan van een situatie zonder aantasting, tenzij de beheerder zelf aangeeft dat op bepaalde dijkvakken moet worden uitgegaan van aantasting, bijvoorbeeld vanwege achterstallig onderhoud.

Waterplanten en dieren kunnen zich op en tussen de bekleding van waterkeringen hechten, maar richten hier in het algemeen weinig schade aan. Wel kunnen de fysische eigenschappen veranderen. De doorlatendheid van open bekledingen kan verminderen. Aangroei op een gladde bekleding kan de ruwheid vergroten. Bitumineuze bekledingen zijn licht gevoelig voor aantasting door uitwerpselen van schapen en runderen. Dieren die gangen en holen graven, zoals ratten, muskusratten, muizen en mollen, kunnen een talud ondermijnen of een afdekkende kleibekleding aantasten of doorgraven. Dit laatste kan tot gevolg hebben dat de freatische lijn in het grondlichaam hoger komt te liggen. Ook is het niet ondenkbaar dat zand uit de kern zal wegspoelen. Gevaar voor ondermijnende graverij door de muskusrat komt vooral voor indien langs de waterkering waterpartijen aanwezig zijn, zoals teensloten, wielen en strangen. Overbeweiding kan schade aan grastaluds veroorzaken.

1.5.5. Schepen en drijvende voorwerpen

Met aanvaringen door schepen hoeft alleen rekening te worden gehouden in buitenbochten met voldoende waterdiepte voor beladen vrachtschepen van bijvoorbeeld meer dan 1.000 ton, en dan alleen indien sprake is van een weinig robuuste kering. Voor een praktische interpretatie hiervan wordt voorgesteld uit te gaan van keringen met een breedte van minder dan 5 m op het niveau van de waterstand.

Drijvend vuil en wrakhout zijn in het algemeen te klein om serieuze schade te veroorzaken. Uitgangspunt is dat eventueel optredende schade voldoende snel wordt hersteld.

1.5.6. Aardbevingen en aardshokken

De kans op falen van de kering ten gevolge van aardbevingen en aardshokken is in Nederland grotendeels te verwaarlozen. Uitzondering hierop vormt de provincie Groningen. Recente inzichten in de aard en omvang van aardbevingen / -shokken maken dat deze belasting relevant is voor de veiligheid van waterkeringen langs wateren die permanent water voeren (kanaal- en boezemkaden). Door de betreffende waterschappen Noorderzijlvest en Hunze & Aa's is initiatief genomen om de standzekerheid van de waterkeringen tijdens een aardbeving te beoordelen, inclusief de ontwikkeling van een beoordelingsmethode.

In deze Leidraad wordt slechts bevestigd dat aardbevingen / -shokken in deze regio een relevante belasting zijn. De veiligheid van de kanaal- en boezemkaden dient ten aanzien van deze belasting te worden beschouwd. Een methodiek voor die beoordeling wordt niet beschreven.

In de overige delen van Nederland hoeft een aardbeving niet te worden beschouwd.

REFERENTIES

- [Min. I&M, 2007] VTV, Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.
- [STOWA, 2004] Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden, januari 2004.
- [STOWA, 2015] Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.
- [TAW, 1994] Handreiking constructief ontwerpen. TAW richtlijn, april 1994.
- [TAW, 2001] TRWG, Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, TAW richtlijn, juni 2001.
- [TAW, 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, TAW richtlijn, september 2004.

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



2015
-15

MODULE E:
NIET- WATER
KERENDE
OBJECTEN

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE E

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

INHOUDSOPGAVE

Blz.

MODULE E: NIET-WATERKERENDE OBJECTEN

1.	NIET-WATERKERENDE OBJECTEN	4
1.1.	EENVOUDIGE BEOORDELING	4
1.2.	GEDETAILEERDE BEOORDELING	5
1.3.	GEAVANCEERDE BEOORDELING	5

REFERENTIES

1. NIET-WATERKERENDE OBJECTEN

Nieuwe ontwikkelingen

In het kader van het ontwikkelingsprogramma is het opstellen van een eenvoudige methode voor de beoordeling van bebouwing nog in uitvoering. Deze module wordt medio 2015 aangevuld, met een eenvoudige werkwijze voor de beoordeling van de bebouwing.

Onder niet-waterkerende objecten worden alle objecten op, in of nabij een waterkering verstaan die niet bijdragen aan het waterkerend vermogen van de waterkering. De aanwezigheid van een niet-waterkerend object kan de veiligheid van de waterkering in gevaar brengen, door:

- verstoring van het grondlichaam: zoals door een ontwortelde boom of een exploderende gasleiding;
- externe belastingen: bijvoorbeeld de windbelasting via een boom of gebouw of het eigengewicht van een gebouw op de kruin;
- waterstroming: een niet doorlatend element in de waterkering vormt een barrière voor grondwaterstroming, en kan door concentratie van grondwaterstroming leiden tot lokaal afwijkende waterspanningen.

Daarnaast geldt dat de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten een belemmering kan vormen voor het beheer en onderhoud van een waterkering, en de inspectie daarvan tijdens extreme situaties.

Om bovengenoemde redenen dient de invloed van een niet waterkerend object op de veiligheid van een waterkering te worden beoordeeld. Hierbij wordt beoordeeld of het niet-waterkerende object de waterkering zodanig kan beïnvloeden dat een onveilige situatie ontstaat.

In deze leidraad wordt beperkt ingegaan op de beoordeling van de invloed van niet-waterkerende objecten op de veiligheid van de regionale waterkeringen. De beoordeling van de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen van een regionale waterkering is grotendeels gebaseerd op de werkwijze zoals beschreven in het VTV2006.

Op dit moment wordt een specifieke leidraad voor de beoordeling van de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op de veiligheid van regionale waterkeringen opgesteld. Die Leidraad richt zich vooral op een filter voor niet-waterkerende objecten, met criteria en randvoorwaarden aan de hand waarvan eenvoudig kan worden vastgesteld welke niet-waterkerende objecten niet beoordeeld hoeven te worden. Zo mogelijk wordt tevens een vereenvoudiging van de beoordeling zelf uitgewerkt. Bij de (toekomstige) toetsing van niet-waterkerende objecten wordt daarom aanbevolen de eisen van de genoemde Leidraad te controleren. Tenslotte wordt getracht een optimalisatie uit te werken voor situaties waarin het niet-waterkerende object en/of de verstoringszone zich wel in het beoordelingsprofiel bevindt, maar dit bij een beperkte omvang op basis van een beschouwing van 3-dimensionale aspecten toch toelaatbaar is.

1.1. Eenvoudige beoordeling

De beoordeling start met de bepaling of de veiligheid van de waterkering zonder de aanwezigheid van een niet-waterkerend object voldoet aan de norm. Indien de waterkering zonder niet-waterkerende object al een score 'voldoet niet' heeft, is toetsing van de niet-waterkerende objecten uit oogpunt van de toets op veiligheid niet nodig.

De (gedetailleerde) beoordeling is gebaseerd op het principe dat een niet-waterkerende object inclusief verstoringszone het zgn. beoordelingsprofiel niet mag doorsneden. Een dergelijke beoordeling is alleen zinvol indien de aanwezige waterkering is overgedimensioneerd. Indien de waterkering niet is overgedimensioneerd bevindt een niet-waterkerend object zich automatisch in het beoordelingsprofiel. Een verdere beoordeling is dan niet benodigd. Het niet-waterkerend object heeft nadelig invloed op de waterkering.

1.2. Gedetailleerde beoordeling

De basis van deze beoordeling vormt het bepalen of het niet-waterkerende objecten inclusief verstoringszone het beoordelingsprofiel doorsnijdt. Dit beoordelingsprofiel is een theoretisch minimum profiel waarbij de veiligheid van de waterkering juist aan de norm voldoet. Voor de bepaling van het beoordelingsprofiel en de verstoringszone per type niet-waterkerend object gelden onderstaande verwijzingen:

- Kabels en leidingen: verwezen wordt naar het VTV 2006, en via dit voorschrift naar de normen NEN 3650 en NEN 3651 (2003).
- Bebouwing: verwezen wordt naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV 2006) en de zogenaamde Vuistregels [PZH, 2009].
- Bomen: verwezen wordt naar het toetschema in bijlage 6.

Specifiek ten aanzien van bomen wordt nog opgenoemd dat naast de (evidente) invloed van een boom andere vormen van nadelige invloed op het waterkerend vermogen van de kering kunnen zijn:

- extra verdroging van de kering;
- het ontstaan van doorgaande holle ruimten door het afsterven van wortels;
- het verweken van de bodem door beweging van de stam;
- aantasting van de kering door (graaf-) dieren in beschutting van ontoegankelijke begroeiing;
- erosie van het dijkoppervlak door het ontbreken van een beschermende grasmat in geval van een dichte begroeiing.
- kortsluiting van grondwaterstroming naar de zandondergrond (bij bomen buitendijks in combinatie met dunne afdekkende pakketten).

Zo nodig moet bij de beoordeling van de veiligheid ook met deze invloeden rekening worden gehouden.

Indien het niet-waterkerende object en verstoringszone het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt, voldoet de veiligheid van de waterkering aan de norm, ondanks de (nadelige) invloed van het niet-waterkerende object.

In gevallen waarbij het beoordelingsprofiel wel wordt doorsneden door verstoringszones is een geavanceerde beoordeling van de invloed van het niet-waterkerend object op de waterkering noodzakelijk.

1.3. Geavanceerde beoordeling

In een geavanceerde beoordeling kan nader worden ingegaan op enerzijds de bepaling van de verstoringszone van het niet-waterkerend object of anderzijds de bepaling van het beoordelingsprofiel en de eventuele reststerkte daarvan indien de verstoring door het niet-waterkerende object daadwerkelijk optreedt. Aanvullend bestaat de mogelijkheid op basis van een 3D – benadering een doorsnijding van het beoordelingsprofiel nader te beoordelen. Een dergelijke aanpak lijkt vooral kansrijk indien het niet-waterkerende object het beoordelingsprofiel maar met een beperkte omvang doorsnijdt, en het profiel van de waterkering aansluitend royaal voldoende veiligheid heeft.

Opgemerkt wordt dat het toetschema voor bomen (bijlage 6) al enkele optimalisaties kent die zijn gebaseerd op deze benadering. Deze benadering krijgt een nadere uitwerking voor de overige typen niet-waterkerende objecten in de Leidraad niet–waterkerende objecten in regionale waterkeringen [STOWA, 2015].

REFERENTIES

- [PZH, 2009] Vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet-waterkerende objecten. Provincie Zuid Holland, mei 2009.
- [STOWA, 2015] Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



MODULE F:
WATERKERENDE
KUNSTWERKEN

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE F

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

MODULE F: WATERKERENDE KUNSTWERKEN

1.	WATERKERENDE KUNSTWERKEN	4
1.1.	AANVULLING OP DE LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE KEREN	4
1.2.	OMGANG MET EEN GEBREK AAN GEGEVENS	4
1.3.	BEOORDELING HOOGTE	11
1.4.	BEOORDELING PIPING	16
1.5.	SCREENINGS- EN PRIORITERINGSTOOL	20
	1.5.1. Screening van te toetsen kunstwerken	21
	1.5.2. Prioritering van te toetsen kunstwerken	21
1.6.	BEHEERDERSORDEEL	22

REFERENTIES

1. WATERKERENDE KUNSTWERKEN

Deze Module gaat beperkt in op het beoordelen van de veiligheid van waterkerende kunstwerken

1.1. Aanvulling op de Leidraad waterkerende kunstwerken in regionale keringen

In algemene zin wordt voor de beoordeling van waterkerende kunstwerken verwezen naar de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen [STOWA, 2011]. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken beschrijft een wijze voor de beoordeling van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen in het kader van de veiligheidstoetsing.

Tot op heden is deze leidraad slechts beperkt gebruikt in de praktijk, omdat de prioriteit heeft gelegen bij het toetsen van de dijken. Als onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma is een proeftoets uitgevoerd met de leidraad. Hieruit zijn een aantal aandachts- en verbeterpunten naar voren gekomen, die in deze module worden behandeld. Dit betreft overwegend aanvullingen op de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken kan dan ook onverkort gebruikt blijven worden. Tezamen met deze module vormt de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen het vigerende toets- en ontwerpinstrumentarium voor de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen.

Toekomstige ontwikkelingen

De Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen verwijst nu veelvuldig naar het VTV2006. Momenteel wordt het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017 (WTI2017) gefaseerd ontwikkeld. Hierin wordt onder meer overgegaan van overschrijdingskans- naar overstromingskansbenadering, en vindt een update plaats van de faalmechanisme modellen. Daarnaast wordt momenteel gewerkt aan een actualisatie van de Leidraad Kunstwerken 2003 [TAW, 2003b]. Op het moment dat het WTI2017 wordt opgeleverd komt het VTV2006 te vervallen. Tegen die tijd is naar verwachting ook de update van de Leidraad Kunstwerken 2003 gereed.

Een eventuele update van de Leidraad WK houdt in dat de 'gereedschapskist' van nieuwe tools moet worden voorzien, terwijl op dat moment het toetsproces van de regionale keringen in volle gang is. Een verandering in het instrumentarium lijkt op dat moment niet wenselijk. Daarom is op dit moment het voornemen om voor de huidige / komende toetsronde voor de regionale keringen (waarin voor het eerst de kunstwerken worden meegenomen) de overschrijdingskansbenadering en het VTV2006 aan te houden. Uitzondering hierop is het gebruik van het model van Bligh, wat conform de nieuwste inzichten niet meer gebruikt mag worden.

1.2. Omgang met een gebrek aan gegevens

Dit is de eerste keer dat de kunstwerken in regionale keringen getoetst worden. Tijdens de proeftoetsen is geconstateerd dat er een grote opgave ligt bij de beheerders aangaande het verzamelen van voldoende gegevens om de toetsing uit te voeren. Indien ondanks de inspanning van de beheerder voor een bepaald toetsspoor onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, dan dient conform paragraaf D 1.2 van de Leidraad de score 'geen score' toegekend te worden. Aanbevolen wordt de toetsing voor de andere toetssporen alsnog te doorlopen, en niet de beoordeling van het kunstwerk te staken na toekenning van een score 'geen score' of 'onvoldoende' op een toetsspoor. Vooraleerst geeft een volledig doorlopen toetsing een realistischer beeld van de veiligheid van een kunstwerk. Bovendien is dit inzicht nuttig bij de motivatie waarom de ontbrekende gegevens niet zijn verzameld. Immers, indien een kunstwerk op meerdere sporen is afgekeurd is de onderbouwing van het niet verzamelen van een ontbrekend gegeven eenvoudiger dan wanneer de score 'geen score' resulteert vanwege het ontbreken van een enkel gegeven bij het eerst beschouwde beoordelingsspoor. Bovendien wordt hiermee inzicht verkregen in het totale gegevenstekort voor het betreffende kunstwerk. Dit inzicht kan bijdragen aan de onderbouwing voor het niet (kunnen) verzamelen van de gegevens. Immers, indien een kunstwerk op meerdere sporen is afgekeurd of 'geen score' heeft gekregen is de onderbouwing van het

niet verzamelen van het minder erg dat een ontbrekend gegeven eenvoudiger niet is ingewonnen dan wanneer de score 'geen score' resulteert vanwege het ontbreken van een enkel gegeven bij het eerst beschouwde beoordelingsspoor. Daarnaast wordt hiermee ook de benodigde inspanning voor het alsnog verkrijgen van de benodigde informatie helder.

1.3. Beoordeling Hoogte

Bij de beoordeling van de hoogte van de dijken in boezemwatersystemen wordt vaak een eenvoudige waakhogtetoets uitgevoerd. Hierbij wordt gekeken of de hoogte van de waterkering groter is dan de maatgevende waterstand vermeerderd met een zekere veiligheidsmarge (de waakhogte). Voor de kunstwerken kan hierbij aangesloten worden. Hierbij kan dezelfde waakhogte worden aangehouden als de bij onderdeel 1 voor de harde kades. Veelal wordt hiervoor een waarde van 0,10 m in afgeschermden kanalen tot 0,40 m bij meren gehanteerd. Zie hiervoor ook de genoemde minimumwaarden in de paragrafen C 1.1 en D 1.2.

Indien gebruik wordt gemaakt van de tabellen in bijlage 1 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [STOWA, 2011] dan kunnen aanwijzingen omtrent de te hanteren windsnelheid uit bijlage 1 van deze Leidraad worden gehaald.

1.4. Beoordeling Piping

In het kader van het Ontwikkelingsprogramma zijn enkele optimalisaties uitgewerkt voor de beoordeling op piping, met name betreffende de hydraulische weerstand van de slecht doorlatende lagen op de waterbodem. Deze optimalisatie is ook toepasbaar voor die kunstwerken waarbij geen (krachtige) uitstroom van water optreedt ²¹. Vooral voor kunstwerken in boezem- en kanaalkaden is dit kansrijk. Maar ook voor kunstwerken in keringen langs regionale rivieren kan de benoemde optimalisatie toepasbaar zijn, bijvoorbeeld indien de watergang buitendijks permanent watervoerend is en een slecht doorlatende (slib-) laag op de bodem heeft. Aanwijzingen voor de wijze waarop de hydraulische weerstand kan worden betrokken in de beoordeling op piping worden beschreven in paragraaf D 1.3.

Een belangrijke wijziging is dat het model van Bligh zoals nu is opgenomen in [TAW, 1999] niet meer toegepast mag worden [Deltares, 2012]. In navolging op die verandering mag bij de toetsing op achterloopsheid voor zuiver horizontale kwelwegen het model van Bligh niet meer worden gebruikt, maar moeten de modellen van Lane en Sellmeijer worden toegepast.

Voorgesteld wordt om voor de keuze ten aanzien van de vigerende modellen aan te sluiten op [Deltares, 2012]. Dit betekent dat voor situaties waarbij sprake is van een kwelweg die verticale componenten bevat het model van Lane of heave wordt gebruikt. Dit is conform de huidige toets- en ontwerppraktijk. Voor situaties waarbij sprake is van een volledig horizontale kwelweg wordt in principe de rekenregel van Sellmeijer toegepast. Alleen bij kunstwerken met achterloopsheidschermen mag voor kwelwegen naast het kunstwerk ook het model van Lane worden gebruikt.

1.5. Screenings- en prioriteringstool

Gezien het enorme aantal kunstwerken in regionale keringen bestaat een grote behoefte aan een aantal criteria om de risicobijdrage van kunstwerken in te schatten en kunstwerken op voorhand weg te screenen als deze geen significante faalkans hebben of als de gevolgen van falen zeer beperkt zijn. Deze kunstwerken worden dan in het geheel niet beoordeeld.

Ten einde inzicht te krijgen in de kunstwerken waarvan op voorhand gesteld kan worden dat deze geen grote faalkans hebben of het gevolg van falen zeer klein is, kan een screening van de kunstwerken te worden uitgevoerd. Met behulp van de resultaten van de screening is het mogelijk om onderbouwd een afweging te

²¹ Dit betekent dat vooral bij gemalen hiermee uiterst terughoudend moet worden omgegaan

maken welke kunstwerken en faalmechanismen wel of niet getoetst moeten worden. Hierbij wordt op basis van enkele (fysieke) kenmerken bepaald of een kunstwerk een substantiële bijdrage aan het overstromingsrisico²² heeft. Indien dit niet het geval is, hoeft niet verder naar het kunstwerk te worden gekeken.

1.5.1. Screening van te toetsen kunstwerken

De beoordeling of een kunstwerk wel of niet getoetst hoeft te worden, gebeurt op basis van de volgende criteria. Deze criteria gelden voor alle watersystemen.

Alle kunstwerken

Indien het instromende debiet onder maatgevende omstandigheden beperkt blijft (beperkte belasting op binnendijkse bodembescherming en dus standzekerheid kunstwerk niet in geding) én deze hoeveelheid water kan zonder noemenswaardige wateroverlast in het achterliggende gebied worden geborgen, dan hoeven kunstwerken in principe niet beoordeeld te worden. Dit geldt voor kunstwerken waarbij het verval in de maatgevende situatie klein is, neem als richtgetal een waarde van 0,2 meter. Denk hierbij aan een kunstwerk waar de binnenwaterstand hoog ligt. Ook een coupure waarvan de drempelhoogte nabij Toetspeil ligt, voldoet aan een dergelijke beschrijving. Opgemerkt wordt dat enigszins terughoudend met deze punten omgegaan moet worden en er een gedegen onderbouwing bij hoort.

Gemalen

Indien de afmetingen van het watervoerende element voldoende klein zijn, hoeft een gemaal in het geheel niet beoordeeld te worden. Bij instroming door falende sluiting of bezwijken keermiddelen bevindt zich nog een pomp in het watervoerende element die zorgt voor enige weerstand waardoor de instroming verder wordt beperkt. In een dergelijke situatie is, bij het ongewenst open staan van het object, de instroming dusdanig klein dat er geen substantiële gevolgen optreden. Een diameter van 0,50 m ($A = 0,20 \text{ m}^2$) wordt hierbij als uitgangspunt aangehouden. Opgemerkt wordt dat het faalmechanisme piping en heave niet direct beïnvloed wordt door de afmetingen van de leiding. Echter bij kleine diameters is de kans groot, dat door de naastliggende grond een eventuele spleet onder de leiding dichtgedrukt wordt.

Aanvullend hoeft voor alle gemalen het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting in principe niet beschouwd te worden. Alleen als er sprake is van enkele risicovolle elementen in configuratie en toepassing, is een beschouwing nodig (bijvoorbeeld bij gemalen die gedurende hoogwater niet uitmalen). Het niet beschouwen van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting bij gemalen is gebaseerd op de volgende overwegingen:

- De meeste gemalen zijn voorzien van minimaal twee keermiddelen, die regelmatig worden bediend.
- Bij een meerderheid van de gemalen sluiten de keermiddelen automatisch als de pomp afslaat. Het gaat dan vaak om een terugslagklep in het buitenhoofd en een afsluiter in de persleiding. De afsluiter (bv vlinderklep) is vaak gekoppeld aan het maalbedrijf, zodat deze open gaat als de pomp aanslaat en sluit als de pomp stopt.
- Indien de sluiting faalt, bevindt zich nog een pomp in het watervoerende element die zorgt voor enige weerstand waardoor de instroming verder wordt beperkt.
- Indien een gemaal bestaat uit meerdere pompeenheden dan kunnen, bij instroming als gevolg van een falende sluiting van één van de pompeenheden, de andere pompeenheden worden ingezet om de gevolgen van de instroming te beperken.

In enkele gevallen kan het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting bij gemalen wel een faalmechanisme zijn dat getoetst moet worden. Te denken valt hierbij aan onder andere de volgende situaties:

- Gemaal met slechts één keermiddel
- Gemaal waarbij één van de keermiddelen niet is gekoppeld aan het maalbedrijf en dat dus niet automatisch sluit
- Gemaal met mogelijkheid tot lozing of inlaten onder vrij verval. Hierbij kunnen keermiddelen zelfs geheel buiten spel gezet worden, zoals bij gemalen waarbij de terugslagklep wordt opgetrokken om water in te laten.

²² Feitelijk past dit niet binnen de overbelastingsbenadering die ten grondslag ligt aan de Leidraad WK. Het ligt echter in lijn der verwachting dat, analoog aan de primaire keringen, ook voor de regionale keringen de omslag gemaakt wordt van overbelastingsbenadering naar overstromingskansbenadering. Om de toetsinspanning te richten en te voorkomen dat nu inspanning wordt gedaan om kunstwerken te toetsen die in de toekomst waarschijnlijk niet getoetst hoeven te worden, is voor deze 'hybride oplossing' gekozen.

Opgemerkt wordt dat in toetsrapporten nog wel eens wordt gemeld dat bij instroming na een falende sluiting de pompen van de betreffende perskoker nog wel kunnen worden opgestart om op deze wijze de waterkering te herstellen. Zonder speciale aanvullende voorzieningen is dit echter in de praktijk meestal niet mogelijk. Denk hierbij aan een voorziening om de as van de pomp, die mee zal draaien onder het instromende water, stil te kunnen zetten om hierna de pomp te kunnen starten.

Een aparte categorie gemalen vormen de vijzelgemalen. Vanwege hun pompkarakteristiek worden vijzelgemalen hoofdzakelijk aangetroffen in boezemwatersystemen met een redelijk constant binnen- en buitenpeil. Vijzelgemalen zijn doorgaans robuuste bouwwerken, die doorgaans alleen op onder- en achterloopsheid beschouwd hoeven te worden:

- voor het toetsspoor hoogte geldt dat dit doorgaans wordt verzorgd door het dijklichaam
- het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting is niet maatgevend. Tot aan het tegenmaaspunt kan alleen water stromen tussen de opleider en de vijzel, deze ruimte is zeer beperkt en zal niet leiden tot een significant instromend debiet. Ook bij waterstanden boven het tegenmaaspunt zal, door de aanwezigheid van de vijzel, het instromend debiet beperkt zijn.
- doorgaans is een vijzelgemaal voorzien van een enkel keermiddel. Indien dit keermiddel faalt (toetsspoor STCO), geldt hetzelfde als hierboven gesteld onder betrouwbaarheid sluiting
- door de aard van de constructie speelt ook de overall-stabiliteit (kantelen, afschuiven, opdrijven, toetsspoor STCG) geen rol. De opleider van de vijzel kan niet onder een zeer steile hoek geplaatst worden. Hierdoor ontstaat automatisch een langwerpige constructie en speelt kantelen en afschuiven geen rol meer. Ook opdrijven speelt geen rol, omdat de constructie onder een hoek ligt.

Schutsluizen

Schutsluizen waarvan beide hoofden het maatgevend hoogwater kunnen keren hoeven eveneens niet beoordeeld te worden op het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting.

In- en uitwateringsduikers, leidingen

Voor in- en uitwateringsduikers en leidingen wordt aangesloten bij hetgeen gesteld is in paragraaf C 2.1 van de Leidraad WK. De maximale leidingdiameter van 0,30 m ($A = 0,07\text{m}^2$) is kleiner gekozen dan bij gemalen, omdat er geen pomp is die het doorstroomoppervlak van het watervoerend element verder beperkt.

1.5.2. Prioritering van te toetsen kunstwerken

De screeningstool kan uitgebreid worden met een prioriteringstool, waarbij aan de hand van enkele parameters op basis van de hoogwaterstatistiek een globale faalkans wordt ingeschat. In het project VNK2 is voor kunstwerken in primaire waterkeringen hiervoor een methode ontwikkeld. Deze methode lijkt voor de boezemwaterkeringen echter minder bruikbaar. Dit komt omdat bij boezemwatersystemen de waterstand bij toetspeil relatief weinig afwijkt van de dagelijkse waterstand en dus de onzekerheid in de belasting erg klein is ten opzichte van de onzekerheid in de sterkte. Bij primaire waterkeringen is dit vaak juist andersom.

Bij regionale rivierkeringen is de situatie veel meer analoog aan de situatie bij primaire waterkeringen. Hier zou wel prioritering plaats kunnen vinden op basis van de VNK2-methodiek. In essentie komt deze methode neer op het berekenen van een kritiek verval over het kunstwerk voor de verschillende toetssporen. Op basis van dit kritieke verval wordt een kritieke buitenwaterstand bepaald, die middels de hoogwateroverschrijdings-frequentielijn wordt vertaald naar een globale faalkans. Achtergrond van de VNK2-methode is vastgelegd in [VNK2, 2013]. Indien de beheerder ervoor kiest om deze methode toe te passen is inzet van een op dit gebied deskundige noodzakelijk.

Indien zelfs de meest basale gegevens van de kunstwerken ontbreken, en de opgave van het waterschap is dermate groot dat de inwinning hiervan voor alle kunstwerken niet verlangd kan worden, kan worden geprioriteerd op type kunstwerk. Aanbevolen wordt in dat geval de toetsinspanning in eerste instantie alleen te richten op de coupures en keersluizen. Hier zitten standaard de grootste risico's omdat deze objecten meestal alleen bij hoogwater bediend worden en vaak slechts één keermiddel hebben.

1.6. Beheerdersoordeel

In paragraaf D 1.1 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen worden aandachtspunten gegeven ten aanzien van het beheerdersoordeel. Indien het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregel, moet voor het veiligheidsoordeel een afweging gemaakt worden tussen beide eindscores. Deze paragraaf beschouwt speciaal de situatie waarbij de beheerder volgens de toetsingsregels tot “geen score” komt en via een beheerdersoordeel toch tot een oordeel wil komen. Maar deze paragraaf is ook relevant indien de beheerder een afwijkend beheerdersoordeel wil motiveren. Ingegaan wordt op:

- de minimale vereisten waar de motivering van het beheerdersoordeel aan moet voldoen;
- mogelijkheden om gebrek aan gegevens met behulp van waarnemingen op te vangen.

De benodigde motivering hangt af van de aanleiding tot het afwijkende beheerdersoordeel. Deze paragraaf richt zich op de onmogelijkheid om tot een (technische) eindscore te komen op grond van de toetsingsregels (de score nader onderzoek/ geen score) door gebrek aan gegevens (en eventueel tijd en/of middelen om deze te verzamelen).

Aanleidingen volgend uit onverenigbaarheid bij de beheerder met de belastingsituatie cq. de hydraulische randvoorwaarden of de (toepasbaarheid van de) beoordelingssporen in de Leidraad worden hier niet beschouwd. Benadrukt wordt dat de beheerders worden gevraagd speciaal onverenigbaarheid van de Leidraad bij STOWA bekend te maken.

In de situatie waarbij de beheerder volgens de toetsingsregels tot “geen score” komt en via een beheerdersoordeel toch tot een oordeel wil komen, dient de beheerder vooraleerst aan te geven waarom van hem niet redelijkerwijs kan worden verwacht dat hij een gebrek aan gegevens, tijd en/of middelen om de gedetailleerde / geavanceerde toets uit te voeren oplost. Als het om een substantieel aantal kunstwerken gaat, wordt aanbevolen deze stap naar een hoger abstractieniveau te tillen en dit op het niveau van het hele kunstwerkenareaal te doen. Hierbij is het van belang dat de beheerder een overzicht maakt van alle kunstwerken met het technisch oordeel ‘geen score’ en vervolgens een prioritering aanbrengt in het doen van nader onderzoek. Bij deze prioritering kan ook direct worden aangegeven waaruit dit nader onderzoek dient te bestaan. Hierbij kan worden gekeken naar aspecten als beschikbaar budget, tijd, risico’s van kunstwerken, andere projecten met raakvlakken binnen de organisatie van de beheerder et cetera. Doel is het richten van de toetsinspanning op de meest risicovolle kunstwerken. Aanbevolen wordt hierin af te stemmen met de toezichthouder.

Bijlage 8 van deze Leidraad geeft een schema waarin op basis van praktijkwaarnemingen een voorzet wordt gedaan voor een mogelijk beheerdersoordeel. Ook indien het niet doelmatig is de aanvullende gegevens te verzamelen kan het schema worden gebruikt. Nadrukkelijk wordt gesteld dat dit schema pragmatisch van aard is en met enige voorzichtigheid gebruikt moet worden. Belangrijke beperking is dat het schema zich vooral richt op de (afwezigheid van) het optreden van faalverschijnselen tijdens (bijna) maatgevende belastingsituaties. De achteruitgang in de sterkte van een kunstwerk gedurende de toetsperiode is daarbij onderbelicht.

Bij de beschrijving van het beheerdersoordeel dient al het achterliggende relevante bewijsmateriaal te worden gegeven, zo kwantitatief en tastbaar mogelijk:

- kwantitatief: meetgegevens van (grond-) waterstanden, profielen, etc.;
- tastbaar: met behulp van foto’s, inspectierapporten, een monitoringsysteem dat over een reeks van jaren inzicht biedt, etc.

Aanvullend dient het verloop van verouderingsprocessen aandacht te krijgen, wellicht kan hierbij gebruik worden gemaakt van kennis opgedaan bij vergelijkbare objecten (bijv. kademuuren). Tevens moet aandacht worden besteed aan de duur van de belasting; deze kan in de waargenomen (bijna) maatgevende situatie beduidend korter zijn geweest dan in de toetssituatie.

Indien de beheerder het afwijkende beheerdersoordeel bepalend wil laten zijn voor het veiligheidsoordeel van een kunstwerk is het omwille van de uiteindelijke acceptatie nuttig dat de beheerder dit voorafgaand afstemt met de betreffende toezichthouder. Uitgangspunt hierbij zou moeten zijn dat dit 'voorlopige beheerdersoordeel' dient om de toetsinspanning in deze eerste toetsronde te richten en in deze eerste toetsronde te focussen op die kunstwerken die ook daadwerkelijk faalverschijnselen vertonen. Over de acceptatie van de toezichthouder van een redenatie of werkwijze kan vooraf geen generieke uitspraak worden gedaan. Per geval dient de toezichthouder te bezien of de onderbouwing van het beheerdersoordeel (en de afweging) voldoende is om deze als veiligheidsoordeel te accepteren.

Het lijkt nuttig valide redenaties en/of werkwijzen onderling uit te wisselen, om enerzijds te leren van slimme werkwijzen en anderzijds te voorkomen dat verschillen ontstaan tussen toezichthouders onderling in de acceptatie van redenaties. Aanbevolen wordt dat een beheerder en/of een toezichthouder een goedgekeurde onderbouwing / motivering aandraagt bij STOWA.

REFERENTIES

- [Deltares, 2012] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, rapport 1202123-003-GEO-0002, maart 2012.
- [STOWA, 2011] Leidraad Waterkerende kunstwerken in regionale Waterkeringen, ORK 2011-15.
- [TAW, 1999] TRZW, Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen. TAW richtlijn, maart 1999.
- [VНК2, 2013] VNК2: Globale faalkansschatting kunstwerken. Kwantitatieve toetsing faalmechanismen op basis van een eenvoudige en praktisch toepasbare methode. Projectbureau VNК2, referentienummer RWS-1931315, april 2013.

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



2015
-15

MODULE D:
BEOORDELING
VEILIGHEID

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE D

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

MODULE D: BEOORDELING VEILIGHEID

1.	BEOORDELINGSSPOREN	3
1.1.	ALGEMEEN - FAALMECHANISMEN	3
1.2.	HOOGTE	3
1.3.	PIPING / HEAVE	10
1.3.1.	<i>Eenvoudige beoordeling</i>	10
1.3.2.	<i>Gedetailleerde beoordeling</i>	13
1.3.3.	<i>Geavanceerde beoordeling</i>	15
1.4.	MACROSTABILITEIT BINNENTALUD	15
1.4.1.	<i>Eenvoudige beoordeling</i>	15
1.4.2.	<i>Gedetailleerde beoordeling</i>	16
1.4.3.	<i>Beoordeling op geavanceerd niveau</i>	18
1.5.	MACROSTABILITEIT BUITENTALUD	19
1.5.1.	<i>Eenvoudige beoordeling</i>	20
1.5.2.	<i>Gedetailleerde beoordeling</i>	20
1.5.3.	<i>Geavanceerde beoordeling</i>	20
1.5.4.	<i>Grondkerende constructies in het buitentalud</i>	20
1.6.	MICROSTABILITEIT	21
1.7.	BEKLEDINGEN	22
1.7.1.	<i>Buitentalud</i>	22
1.7.2.	<i>Kruin- en binnentalud</i>	23
1.8.	STABILITEIT VOORLAND	23
1.8.1.	<i>Eenvoudige beoordeling</i>	23
1.8.2.	<i>Gedetailleerde / geavanceerde beoordeling</i>	23

REFERENTIES

1. BEOORDELINGSSPOREN

1.1. Algemeen - faalmechanismen

De sterkte van de waterkerende functie van een waterkering wordt bepaald door de hoogte en stabiliteit van de waterkering. Bij een te lage kruinhoogte kan door overloop of golfoverslag te veel water in de polder komen, of kunnen kruin en binnentalud door erosie of verweking worden aangetast waardoor mogelijk een waterkering doorbreekt. Verder kan de stabiliteit van een kering worden aangetast door:

- het optreden van zandmeevoerende wellen (piping) of heave;
- het afschuiven van het binnentalud en/of het buitentalud;
- het uitspoelen van gronddeeltjes uit de kering op het binnentalud of het afdrukken van deze toplaag (micro-instabiliteit);
- aantasting van de bekleding;
- het optreden van een afschuiving of een zettingsvloeiing van de vooroever.

De beoordelingssporen voor deze faalmechanismen zijn beschreven in deze module.

De aanwezigheid van niet-waterkerende objecten in, op of langs de kering kan invloed hebben op de veiligheid. In module E wordt nader ingegaan op de beoordeling van deze invloed.

Tenslotte zijn waterkerende kunstwerken in een waterkering van belang bij de beoordeling van de veiligheid. De werkwijze voor de toetsing is beschreven in de Leidraad waterkerende Kunstwerken in regionale keringen. Module F presenteert enkele aanvullingen op die Leidraad.

1.2. Hoogte

Het beoordelingsspoor Hoogte richt zich primair op de kruinhoogte en de weerstand van de kruin en het binnentalud tegen overslag.

Voorafgaand aan de werkelijke beoordeling moet worden vastgesteld of de hoogte van de kering volgens een eerdere toetsing voldeed aan de norm, of dat een verbetering van de hoogte is ontworpen en uitgevoerd, waarbij:

- die toetsing of het ontwerp is uitgevoerd volgens vigerende, gelijkwaardige of conservatievere rekenregels; EN:
- de hydraulische belasting en overige belastingen niet ongunstiger zijn geworden; EN:
- overige uitgangspunten en kenmerken (norm, geometrie, etc.) nog actueel zijn, of tenminste niet ongunstiger zijn geworden.

Als niet aan bovenstaande voorwaarden wordt voldaan, wordt vervolgd met de werkelijke beoordeling.

Beoordeling

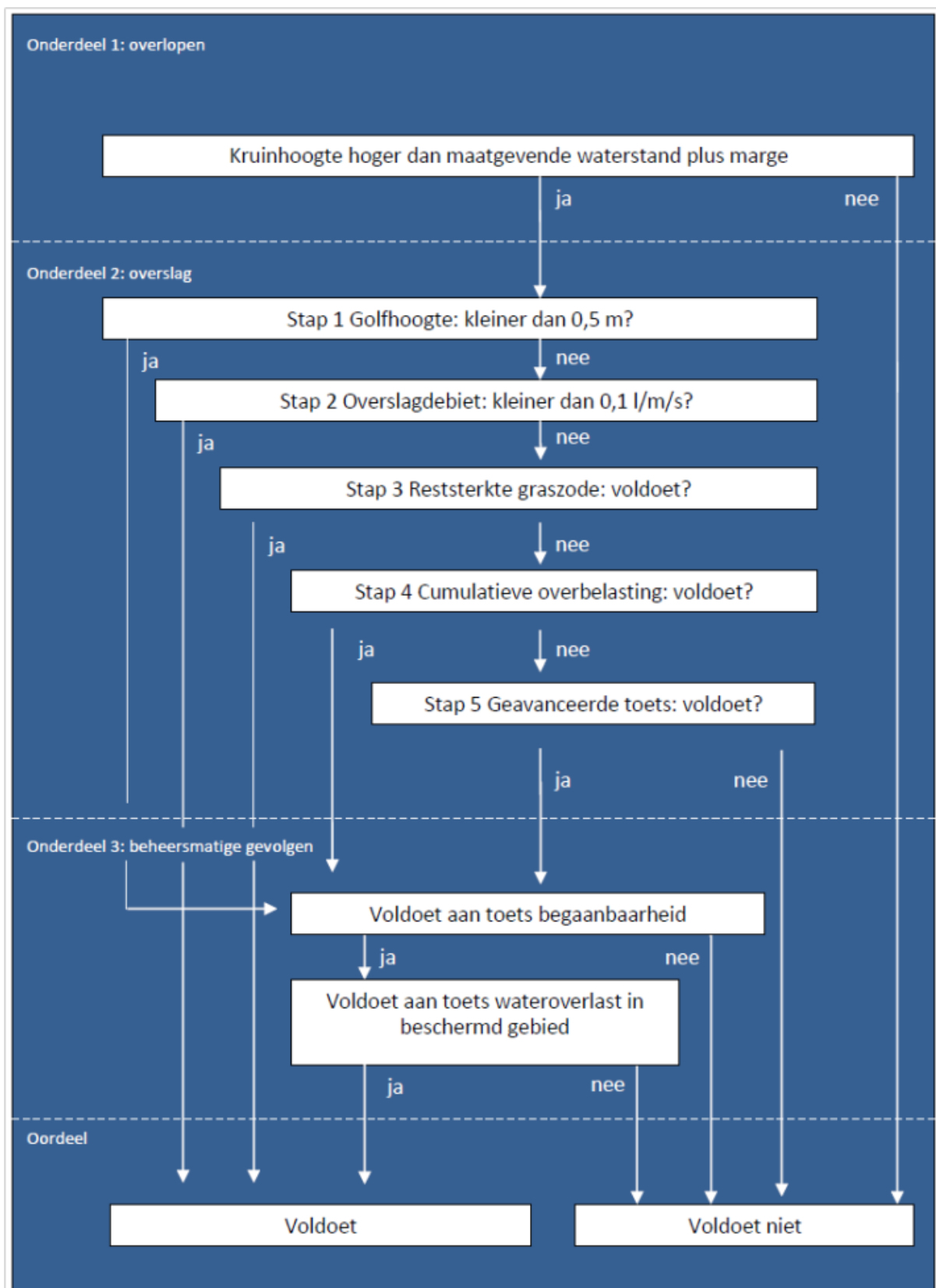
De beoordeling van de hoogte van een waterkering omvat de volgende onderdelen:

- onderdeel 1: beoordeling op overlopen;
- onderdeel 2: beoordeling op overslag;
- onderdeel 3: beoordeling van de beheersmatige gevolgen van overslag.

Indien niet wordt voldaan aan de eis ten aanzien van overlopen, resulteert direct het oordeel 'voldoet niet'. Indien wel wordt voldaan moet de beoordeling worden vervolgd met de beoordeling op overslag.

Indien niet wordt voldaan aan de eisen ten aanzien van overslag, resulteert het oordeel 'voldoet niet'. Indien wel wordt voldaan moet de beoordeling worden vervolgd met de beoordeling van de beheersmatige gevolgen van overslaand water.

Het toetsschema is gepresenteerd in figuur D.1. De beoordelingswijze voor de genoemde onderdelen en de bijbehorende stappen worden onderstaand nader beschreven.



Figuur D.1: Schema hoogtetoets

Onderdeel 1: Beoordeling op overlopen

In dit onderdeel wordt gecontroleerd of sprake kan zijn van het overlopen van de kering. De beoordeling op overlopen betreft een vergelijking van de verwachte kruinhoogte op peildatum met de vereiste kruinhoogte op basis van de maatgevende hoogwaterstand, vermeerderd met een marge. De hoogte van de kering uit oogpunt van overlopen is voldoende indien de verwachte kruinhoogte op peildatum hoger is dan de maatgevende hoogwaterstand plus een marge.

De vereiste marge is van belang omdat de beoordelingswijze voor overslag (onderdeel 2) kan leiden tot het oordeel 'voldoet' bij een zeer gering verschil tussen de maatgevende hoogwaterstand en de verwachte kruinhoogte. De toets op hoogte is zodoende kwetsbaar voor onzekerheden in de afleiding van de hydraulische belastingen. Bij de beoordeling op overlopen gelden daarom minimum eisen voor deze marge.

De vereiste marge is beschreven in tabel D.1. De marge is afhankelijk van de (veronderstelde) beheersbaarheid van de maximum waterstand. De waarden gelden indien de maatgevende hoogwaterstand voldoende betrouwbaar (of conservatief) is afgeleid en de aanwezige kruinhoogte voldoende nauwkeurig is gemeten. Het voldoende betrouwbaar en nauwkeurig zijn kan niet worden gekwantificeerd. Hierbij geldt het oordeel van de beheerder.

Tabel D.1 Vereiste marge tussen maatgevende hoogwaterstand en kruinhoogte

Situatie	Marge [m]
Kaden langs boezems, kanalen en meren met een beheerste maximale waterstand	0,1
Kaden langs boezems, kanalen en meren met een beperkt beheerste waterstand (vrije afvoer)	0,2
Keringen langs regionale rivieren, wateren met een onbeheerste waterstand	0,3
Compartimenteringskeringen	0,5

Volledigheidshalve zijn ook meren genoemd in deze tabel. Vanwege de grote golfhoogten op meren zal echter onderdeel 2 naar verwachting maatgevend zijn voor de beoordeling van de hoogte.

De waarden in tabel D.1 mogen worden aangepast, waarbij zowel een verlaging als een verhoging van de marge mogelijk is. Aanleiding voor een aanpassing is bijvoorbeeld de mate van (on-) zekerheid in de afleiding van de maatgevende waterstanden of aanwezige kruinhoogten. Het is evident dat de betrouwbaarheid van de maatgevende waterstanden bij een grotere overschrijdingskans (= lager beveiligingsniveau) in het algemeen hoger zal zijn dan bij een kleinere overschrijdingskans. Een onderbouwing van een aanpassing kan bijvoorbeeld zijn een minimum waakhogte op basis van een overslagdebiet van 10 l/m/s (op locaties met een maximale golfhoogte van 0,5 m) (zie onderdeel 2). Naast het overslagdebiet kunnen ook andere overwegingen van belang zijn, zoals de begaanbaarheid van de kruin voor inspecties.

De beheerder moet een gekozen marge motiveren. Bij de motivatie dient tenminste aandacht te worden besteed aan de betrouwbaarheid van de afleiding van de maatgevende hoogwaterstand en de nauwkeurigheid van de (verwachte) kruinhoogte op peildatum. De motivatie dient te worden overlegd met het bevoegd gezag, en beschreven in de rapportage.

Onderdeel 2: beoordeling op overslag

De beoordeling op overslag betreft een controle van de erosie van de bekleding van de kruin en het binnentalud en controle op de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud bij overslag. De wijze van deze beoordeling is afhankelijk van bekledingskenmerken op de kruin en het binnentalud (zie par. D 1.7).

De beoordeling op erosie van de bekleding kent een aantal stappen, op verschillende niveaus:

- eenvoudig niveau:
 - o stap 1: beoordeling op basis van een veilige golfhoogte;

- o stap 2a: beoordeling op basis van een veilige waarde voor de golfoverslaghoogte
- gedetailleerd niveau
 - o stap 2b: beoordeling op basis van een berekende waarde voor de golfoverslaghoogte;
 - o stap 3: beoordeling op basis van de sterkte van de grasbekleding;
 - o stap 4: beoordeling op basis van een toetsing van een cumulatieve overslagbelasting aan kritische overslagbelastingswaarde
- geavanceerd niveau
 - o stap 5: nadere afleiding cumulatieve overslagbelasting en kritische overslagbelastingswaarde

Stap 1: beoordeling op basis van een veilige golfhoogte

Deze beoordeling betreft een controle of de golfhoogten op het watersysteem kleiner zijn dan 0,5 m. De beoordeling mag uitsluitend worden toegepast indien sprake is van een open of gesloten graszode. Indien sprake is van een fragmentarische zode of kale grond, dient de beoordeling te worden vervolgd met stap 2.

Bij golfhoogten kleiner dan 0,5 m en een gesloten graszode kan de veiligheid uit oogpunt van overslag als voldoende worden beoordeeld. Bij dergelijk kleine golfhoogten leidt het overslaand water namelijk niet tot erosie van de grasbekleding, omdat de frontsnellheid van het overslaand water de kritische snelheid voor erosie van de grasbekleding niet overschrijdt.

Voor de bepaling van de benodigde golfhoogten kan gebruik worden gemaakt van de volgende mogelijkheden:

1. schatting op basis van de maximale breedte van het water. Op regionale wateren die minder dan 100 m breed zijn, komen invallende golven met een golfhoogte groter dan 0,5 m niet voor;
2. afleiding uit de tabellen in bijlage 5 met golfhoogten;
3. berekening op basis van golfgroeiformules (zie paragraaf B 1.2).

Indien wordt voldaan aan deze eis, kan worden vervolgd met onderdeel 3: controle van de beheersmatige aspecten van het optredende overslagdebiet.

Indien niet wordt voldaan aan deze eis, dient te worden vervolgd met stap 2.

Stap 2: Beoordeling op basis van de benodigde golfoverslaghoogte

Deze beoordeling bestaat uit het toetsen of de kruinhoogte op peildatum hoger is dan de minimaal benodigde kruinhoogte gegeven een maximaal toelaatbaar gemiddeld overslagdebiet. De minimaal benodigde kruinhoogte wordt vastgesteld als het toetspeil vermeerderd met de golfoverslaghoogte.

Stap 2a: beoordeling op basis van een conservatief bepaalde golfoverslaghoogte

In deze stap kan eerst gebruik worden gemaakt van een evident veilige waarde voor de golfoverslaghoogte bij een gemiddeld overslagdebiet van minder dan 0,1 l/m/s. Deze golfoverslaghoogte is eenvoudig af te leiden uit de grafieken en tabellen in bijlage 5.

Indien de verwachte kruinhoogte op peildatum hoger is dan de minimaal vereiste kruinhoogte voldoet de kruinhoogte van de waterkering. Een verdere beoordeling (onderdeel 3) is dan niet benodigd. Indien de kruinhoogte niet voldoet aan deze eis, wordt de beoordeling vervolgd met stap 2b.

Stap 2b: beoordeling op basis van gedetailleerd berekende golfoverslaghoogte

In deze stap wordt de benodigde golfoverslaghoogte specifiek berekend op basis van de lokale kenmerken van de kade, het watersysteem en de maatgevende windsnelheid. Bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte wordt voor niet – afvoer gedomineerde wateren (veel boezems en kanalen) bij voorkeur gebruikt gemaakt van probabilistisch bepaalde hydraulische randvoorwaarden (met behulp van een Promotor [STOWA, 2010]). Een probabilistische aanpak heeft de voorkeur omdat die voor deze wateren minder conservatief is dan een deterministische aanpak, doordat rekening wordt gehouden met:

- de kans van het gelijktijdig voorkomen van hoge waterstanden en hoge windsnelheden (verdeeld over de verschillende windrichtingen);
- het realiteitsgehalte van een scheefstand en een hoge windsnelheid uit een bepaalde windrichting.

Indien de verwachte kruinhoogte op peildatum hoger is dan de minimaal vereiste kruinhoogte voor een maximaal gemiddeld overslagdebiet van 0,1 l/m/s heeft de waterkering een voldoende veilige kruinhoogte. Met dit debiet wordt direct voldaan aan de controle op de beheersmatige aspecten van het overslagdebiet, zodat een verdere beoordeling (onderdeel 3) niet benodigd is. Het oordeel is 'voldoet'.

Indien het gemiddelde overslagdebiet meer dan 0,1 l/m/s bedraagt is een verdere beoordeling benodigd waarbij eisen worden gesteld aan de kwaliteit van de grasbekleding (stap 3 van dit onderdeel).

Stap 3: Beoordeling op basis van de sterkte van de grasbekleding

In deze stap wordt de eventuele sterkte van de aanwezige grasbekleding betrokken in de beoordeling. In geval van enige sterkte van de grasbekleding is een hoger overslagdebiet toelaatbaar. De beoordeling is gebaseerd op de kwaliteit van de graszode. Hierbij zijn drie kwaliteitsniveaus van de graszode onderscheiden:

1. fragmentarisch;
2. open;
3. gesloten.

Voor een toelichting van de definities van de graszode en de bepaling wordt verwezen naar het Handreiking Grasbekleding [Min. I&M, 2012].

Ad. 1 Een fragmentarische zode beschikt niet over enige sterkte, waardoor het oordeel 'voldoet niet' resulteert.

Ad. 2 Een open zode beschikt over voldoende sterkte indien wordt voldaan aan deze eisen:

- het overslagdebiet is kleiner of gelijk aan 1 l/m/s; en:
- de toplaag bestaat niet uit zand; en:
- de deklaag is tenminste 0,4 m dik indien graverij door mollen, muizen, muskusratten of konijnen wordt verwacht.

Ad. 3 Een gesloten zode beschikt over voldoende sterkte indien wordt voldaan aan de eis:

- het overslagdebiet is kleiner of gelijk aan 1 l/m/s; of:
- het overslagdebiet is kleiner of gelijk aan 5 l/m/s en:
 - o de kleilaag is dikker dan 0,4 m of de taludhelling is flauwer dan 1:4; en:
 - o de grootte van objecten (open plekken) is kleiner dan 0,15 x 0,15 m²; met:
 - maximaal 2 objecten en beschadigingen per m²; en:
 - maximaal gemiddeld 25 objecten en beschadigingen per 25 m²; en:
 - o de significante golfhoogte is kleiner dan 3 m.

Indien wordt voldaan aan de eisen resulteert het oordeel 'voldoet'. Indien niet wordt voldaan aan deze eisen wordt de toets voortgezet met stap 4.

Stap 4 Beoordeling op basis van een cumulatieve overslagbelasting

In deze stap wordt de cumulatieve overslagbelasting getoetst aan een kritische waarde van 1000 m²/s². De grasbekleding voldoet indien de optredende cumulatieve overslagbelasting de kritische waarde niet overschrijdt.

De cumulatieve overslagbelasting kan worden afgeleid uit onderstaand figuur D.2, op basis van de volgende kenmerken:

1. de kritische stroomsnelheid;
2. de golfhoogte;
3. het overslagdebiet.

De figuur presenteert de cumulatieve overbelasting per uur. Voor het verkrijgen van de cumulatieve

¹⁶ De eis betreffende de significante golfhoogte is volledigheidshalve overgenomen uit de Handreiking (Min. I&M, 2012), maar is niet relevant voor regionale wateren.

overbelasting gedurende een storm moet de overbelasting worden gesommeerd voor de gehele stormduur. De gesommeerde overbelasting mag de kritische waarde niet overschrijden.

Ad.1 Als veilige schatting van de kritische stroomsnelheid u_c mag een waarde van 4 m/s worden aangenomen, indien wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- De graszode moet gesloten zijn, een open of fragmentarische graszode is niet toegestaan. Ruigte begroeiing en tuintjes voldoen hier zeker niet aan.
- Bij een taludhelling steiler dan 1:4 moet een kleilaag aanwezig zijn van minimaal 0,4 m dikte om uitspoeling van zand van onder de kleilaag door graverij te voorkomen.
- In de stroming mogen geen objecten of beschadigingen staan groter dan 0,15 x 0,15 m², met:
 - o maximaal 2 objecten en beschadigingen per m²;
 - o maximaal gemiddeld 25 objecten en beschadigingen per 25 m²;
- De taludhelling mag niet steiler zijn dan 1:2,3. Dit is de grens van de taludhelling waarbij met golfoverslagproeven ervaring is opgedaan. Opgemerkt wordt dat het bij steilere taluds lastiger zal zijn om te voldoen aan de eis van een 'gesloten zode' en dat ook het mechanisme evenwijdig afschuiven van de bekleding mogelijk dominant wordt.

Ad. 2 De golfhoogte kan eenvoudig worden afgeleid uit de tabellen (zie bijlage 5), of worden berekend met behulp van golfgroeiformules. Voor een beschrijving van de werkwijze wordt verwezen naar de Handreiking Grasbekleding [Min. I&M, 2012].

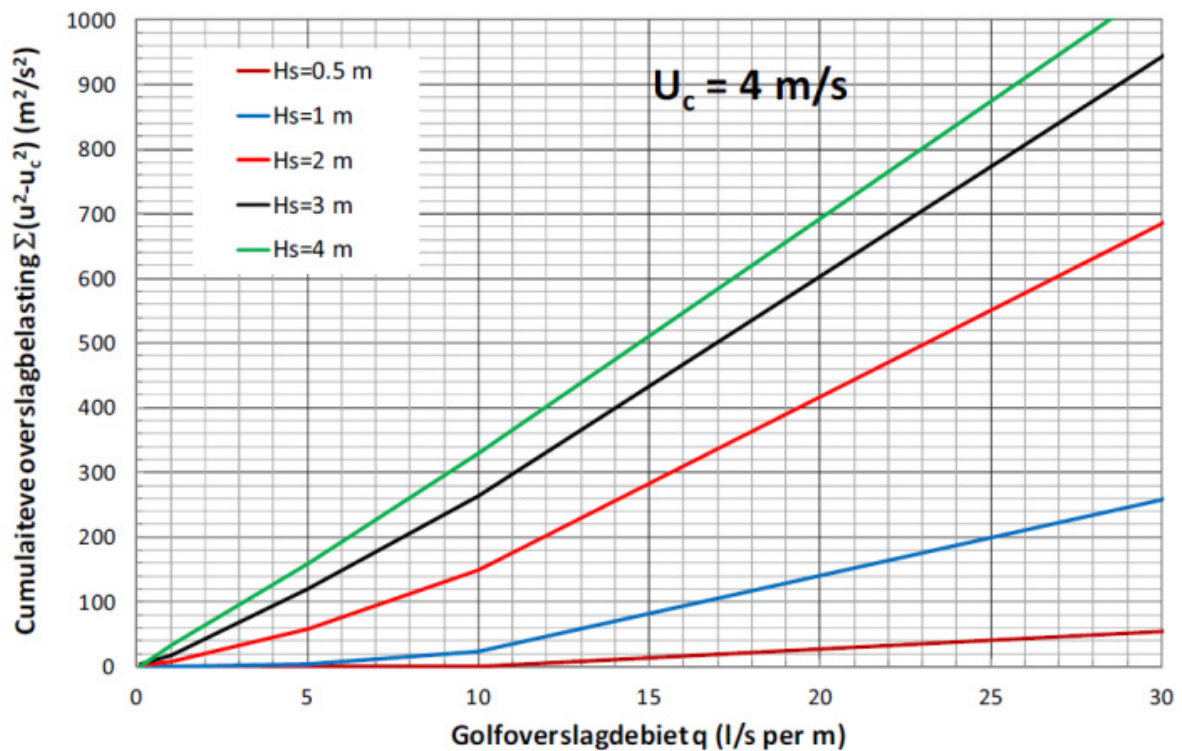
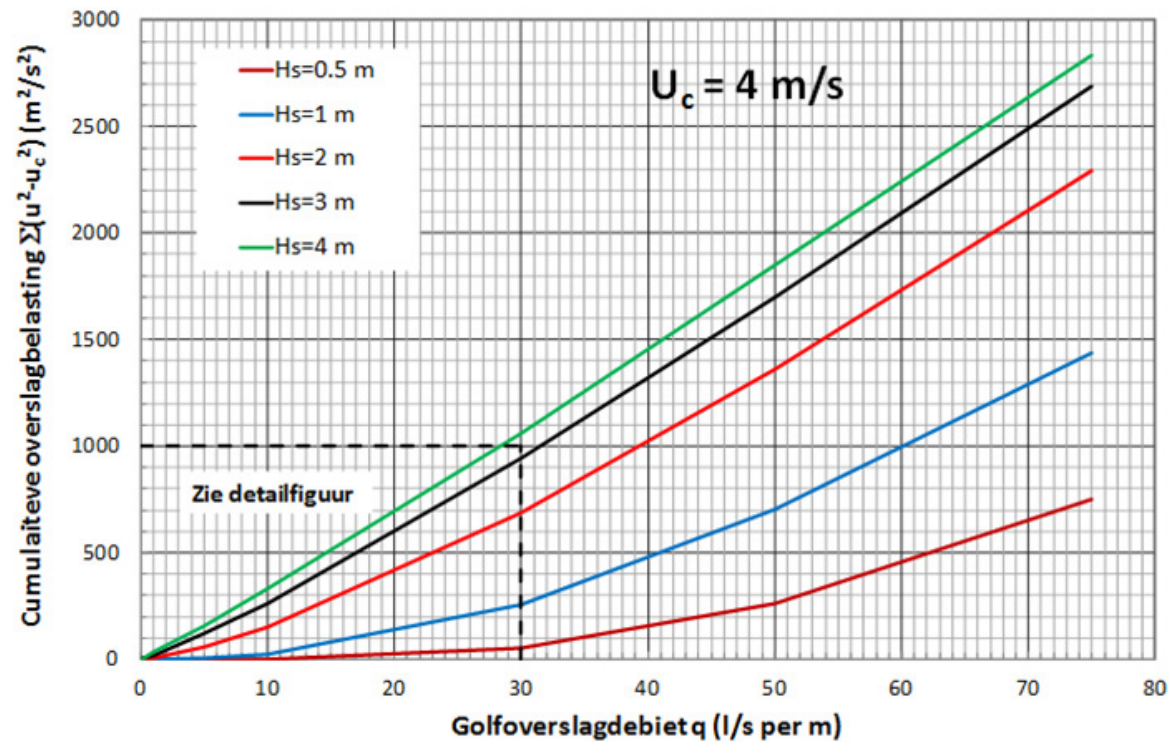
Bij deze beoordeling is tevens de duur van de belasting van belang. Het gaat daarbij om de duur van de periode waarin golfoverslag plaatsvindt. Stormduren en het verloop van de hoge windsnelheid gedurende een storm is voor regionale wateren landelijk niet vastgesteld, vanwege het lokale karakter van deze kenmerken en de verschillen hiervan in de regio's van het land. Een veilige waarde voor de stormduur is 48 uur, met het volgende verloop:

- Van 0 tot 23 uur: toename windsnelheid van nihil tot maatgevend hoge windsnelheid;
- 23 – 25 uur: constante windsnelheid gelijk aan maatgevend hoge windsnelheid;
- 25 – 48 uur: afname windsnelheid van maatgevend hoge windsnelheid naar nihil.

Zo nodig kunnen de beheerder en toezichthouder lokaal een minder conservatieve stormduur en - verloop vaststellen.

De schade bij een bepaalde overbelasting is als volgt gedefinieerd:

- Begin van schade: $\sum (u^2 - u_c^2) = 500 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Meerdere kalen plekken: $\sum (u^2 - u_c^2) = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Bezwijken toplaag: $\sum (u^2 - u_c^2) = 3500 \text{ m}^2/\text{s}^2$



Figuur D.2 en D.3 Cumulatieve overslagbelasting

De figuur presenteert de cumulatieve overslagbelasting per uur als functie van het gemiddeld golfoverslagdebiet voor verschillende golfhogten en een kritische snelheid van 4 m/s [overgenomen uit de Handreiking Grasbekleding, Min. I&M, 2012]. Indien de cumulatieve overbelasting lager is dan de kritische waarde van 1000 m^2/s^2 , resulteert het oordeel 'voldoet'. Indien hier niet aan wordt voldaan wordt de beoordeling vervolgd met een geavanceerde toetsing (stap 5).

Stap 5 geavanceerde analyse

In een geavanceerde analyse kan de rekenmethode voor de beoordeling van een grasbekleding nader worden beschouwd. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gekeken of de belastingduur en –intensiteit nauwkeuriger kunnen worden bepaald, of dat onzekerheden over parameters kunnen worden beperkt.

Dit kan door nader (lokaal) onderzoek te doen, bijvoorbeeld naar:

- de belastingduur en -intensiteit;
- de windsnelheid (o.a. meewegen ruwheid landschap);
- een hogere toelaatbare kritische snelheid;
- de aanwezige graskwaliteit;
- samenstelling en opbouw van de ondergrond;
- golfgroeiformule.

Hierbij kan een nuttige optimalisatie worden behaald met een probabilistische afleiding van de hydraulische randvoorwaarden. Tenslotte bestaat de mogelijkheid om proefbelastingen uit te voeren.

Onderdeel 3: Beheersmatige gevolgen van overslag

Bij grote overslagdebieten (10 l/m/s en hoger) moet worden gecontroleerd op de gevolgen ten aanzien van de begaanbaarheid en het ontstaan van wateroverlast.

Begaanbaarheid

Bij een gemiddeld overslagdebiet van 10 l/m/s of hoger is de kruin bij maatgevende omstandigheden niet begaanbaar voor inspecties en/of reparatiewerkzaamheden. De beheerder dient aan te tonen dat het eventueel onbegaanbaar zijn van de kruin geen gevaar voor de veiligheid oplevert. Als het onbegaanbaar zijn van de kruin de veiligheid wel in gevaar brengt, is volgt het oordeel 'voldoet niet'.

Wateroverlast

Beoordeeld moet worden of overslag kan leiden tot onaanvaardbare wateroverlast in het beschermde gebied. Cruciaal daarbij is de vraag of wateroverlast de veiligheid in gevaar kan brengen. Ten aanzien van het toelaatbare waterbezwaar geldt dat het oordeel 'voldoet niet' uitsluitend volgt indien overslag de veiligheid in gevaar kan brengen, bijvoorbeeld door beperkte berging of afvoermogelijkheden. Het oordeel is 'voldoet' indien:

- overslag geen of acceptabele overlast veroorzaakt; of:
- overslag wel leidt tot onacceptabele overlast, maar de veiligheid niet bedreigt.

De acceptatie van overlast kan bijvoorbeeld volgen uit een toetsing ten aanzien van NBW-normen voor wateroverlast (let wel: dit betreffen een ander soort normen). Het niet voldoen aan deze normen kan een reden zijn tot maatregelen ter verlaging van het overslagdebiet.

1.3. Piping / Heave

De beoordeling op piping en heave volgt het algemene schema in figuur D.4. Het toetsproces kent drie niveau's, die hieronder worden toegelicht.

1.3.1. Eenvoudige beoordeling

De beoordeling op eenvoudig niveau betreft een controle of de opbouw van de dijk en ondergrond gevoelig is voor piping. Van belang daarbij is het aan- of afwezig zijn van een afdekkend en samenhangend slecht doorlatend pakket.

Het mechanisme piping is niet relevant indien wordt voldaan aan één van onderstaande voorwaarden:

- A. De dijk is opgebouwd uit zand, en ligt direct op de zandondergrond;
- B. Een intredepunt is afwezig;
- C. Een uittredepunt is afwezig;
- D. Verticaal zandtransport (heave) treedt niet op.

Bij toepassing van de eenvoudige methode kan voor de beschouwing van de voorwaarden C en D de stijghoogte in de zandondergrond eenvoudig gelijk worden verondersteld aan het toetspeil, uitgaande van een volledige

respons van de stijghoogtepotential in de gehele watervoerende laag. Hierbij mag een opdrukveiligheid van 1,0 worden gehanteerd.

Ad. A: zanddijk direct op zandondergrond

Bij zanddijken direct op de zandondergrond treedt piping niet op. Belangrijk aandachtspunt bij deze voorwaarde is dat zich direct onder de zool van de dijk en in de top van de zandondergrond geen (lokaal aanwezige) slecht doorlatende klei- of veenlagen bevinden. In geval van twijfel over de opbouw van de dijk moet worden uitgegaan van een kleidijk.

Ad B. afwezigheid van een intredepunt

Het intredepunt is het dichtst bij de dijk gelegen punt waar de watervoerende zandondergrond of watervoerende tussenzandlagen in direct contact staan met het oppervlaktewater. Specifiek voor boezem- en kanaalkaden geldt dat een boezem of kanaal soms beperkte breedte heeft. Indien over de volledige breedte op de waterbodem een slecht doorlatend pakket met voldoende hydraulische weerstand altijd aanwezig is, is een intredepunt afwezig. In dat geval bestaat geen gevaar voor piping.

Ten aanzien van dit slecht doorlatend pakket op de waterbodem geldt dat:

1. dit een dikte van tenminste 1,5 m moet hebben;
2. dit voldoende slecht doorlatend is cq. voldoende hydraulische weerstand heeft;
3. moet worden aangetoond dat het niet (gedeeltelijk) zal opdrijven;
4. het optreden van hydraulische kortsluiting kan worden uitgesloten.

Ad.1: de dikte van het slecht doorlatende pakket van 1,5 meter is een minimumeis. Deze dikte is inclusief een marge in verband met de (on-) nauwkeurigheid van baggerwerkzaamheden. Bij de bepaling van de dikte geldt als voorwaarde dat moet worden uitgegaan van de onderhoudsdiepte van de boezem of het kanaal (Leggerprofiel), een eventuele sliblaag ten gevolge van achterstallig baggeronderhoud mag niet worden meegenomen bij de bepaling van de dikte.

Ad.2: hiervoor gelden de volgende eisen aan de textuur:

- het lutumgehalte bedraagt meer dan 20%;
- het zandgehalte bedraagt minder dan 35%.

Ad.3: beoordeeld moet worden of het betreffende pakket kan opdrijven (zie par C 1.2). Deze beoordeling kan worden gecombineerd met de beoordeling van de kans op hydraulische kortsluiting.

Indien een gedeelte van het pakket kan opdrijven moet worden beoordeeld of de resterende dikte voldoet aan bovengenoemde eisen 1 en 2. Indien niet wordt voldaan aan de eisen is sprake van een intredepunt.

Indien de afdekkende slecht doorlatende deklaag geheel kan opdrijven is per definitie sprake van een intredepunt. De controle op aanwezigheid van een intredepunt dient uit te gaan van de dikte van de slecht doorlatende deklaag / waterbodem na eventueel opdrijven. Indien een (na opdrijven resterende) slecht doorlatende laag niet voldoet aan deze eisen, mag bij de beoordeling op gedetailleerd niveau wel rekening worden gehouden met de hydraulische weerstand van deze laag (zie ook Module C).

¹⁷ In deze situatie kan de stijghoogte in de zandondergrond leiden tot een extra hoge freatische grondwaterstand in het dijklichaam. Hiermee dient goed rekening te worden gehouden bij beschouwing van de overige faalmechanismen.

Ad.4 Zie paragraaf B 1.4.

De aanwezigheid van een slecht doorlatend pakket moet worden aangetoond met behulp van lokaal grondonderzoek. Dit kan bestaan uit:

1. direct: bepaling van de bodemopbouw door middel van ondiepe boringen en / of sonderingen vanaf het water;
2. indirect: geohydrologisch onderzoek naar de stijghoogte in de (tussen-) zandlagen, op basis van de stijghoogte kan eveneens een uitspraak worden gedaan over het eventuele hydraulische contact tussen het boezem- of kanaalwater en de watervoerende zandlagen;
3. geofysisch: de aanwezigheid van een slecht doorlatend pakket kan worden aangetoond met geofysische onderzoekstechnieken .

De beheerder dient aan te tonen dat het slecht doorlatende pakket aanwezig blijft.

Ad.C: afwezigheid uittredepunt

Indien in het achterland de deklaag niet opbarst en ook niet anderszins geperforeerd is, is een uittredepunt niet aanwezig. Het uittredepunt ligt in het algemeen bij de binnenteen of een teensloot (indien aanwezig). Bij een aflopend of onregelmatig maaiveld kan het uittredepunt verder van de binnenteen liggen. In dergelijke situaties dient voor meerdere locaties te worden gecontroleerd of sprake is van opbarsten. Wanneer voor elke locatie binnendijks uit deze controle blijkt dat de veiligheid tegen opbarsten voldoende is, en de deklaag niet anderszins geperforeerd is, mag worden aangenomen dat een uittredepunt niet aanwezig is.

Ad.D: geen verticaal zandtransport

Indien wel sprake kan zijn van het opbarsten van een afdekkend slecht doorlatende pakket, of wanneer dit pakket anderszins geperforeerd is, bestaat geen gevaar voor piping indien verticaal zandtransport niet kan optreden. Verticaal zandtransport door een opbarstkanaal of perforatie treedt pas op als het verticaal verhang over het kanaal groter is dan het kritieke verhang. Aan de hand van een beoordeling op heave kan worden gecontroleerd of verticaal zandtransport kan optreden.

Deze controle kan uitgevoerd worden door het kritieke verhang (ic) te berekenen met de volgende formule [Deltares, 2012]:

¹⁸ Hierbij dient zo nodig gecorrigeerd te worden voor de eventuele aanwezigheid van een sliblaag op de waterbodem ten gevolge van achterstallig baggerwerk

¹⁹ In [STOWA, 2015] worden ter informatie enkele technieken beschreven

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{(1-n)(\gamma_p - \gamma_w)}{\gamma_w} \geq \frac{\varphi_o - h_p}{x}$$

Hierin is:

- γ' het ondergedompeld volumegewicht van de grond [kN/m³]
- γ_w het volumegewicht van het (grond)water [kN/m³]
- φ_o de stijghoogte ter plaatse van de onderkant van het kwelscherm [m ten opzichte van referentie] waar het uittreeverhang maximaal is.
- h_p het polderpeil (vrije waterspiegel of maaiveld) [m ten opzichte van referentie]
- n de porositeit [-] in de zandlaag
- γ_p het volumegewicht van het korrelmateriaal [= 26 kN/m³]
- x afstand waar het uittredeverhang maximaal is [m]

Het heave criterium luidt:

$$i_{optr} = \left(\frac{\varphi_o - h_p}{D} \right)_{optr} \leq i_{toel}$$

Waarin i_{optr} het optredend verhang is en i_{toel} een veilige toelaatbare waarde van het verhang. De veilige waarde bedraagt 0,5 [-]. Voor nadere info en mogelijkheden om de toelaatbare waarde aan te passen wordt verwezen naar het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [Deltares, 2012].

Deze voorwaarde betreffende de afwezigheid van verticaal zandtransport geldt niet voor een situatie met horizontaal uittredende grondwaterstroming, zoals in het talud van een teensloot.

1.3.2. Gedetailleerde beoordeling

Indien uit de eenvoudige beoordeling blijkt dat piping een relevant mechanisme is, dient een gedetailleerde beoordeling te worden uitgevoerd. De gedetailleerde beoordeling betreft een nadere controle op opbarsten en heave op basis van een gedetailleerde bepaling van de stijghoogte, en vervolgens een beoordeling op piping aan de hand van de nieuwe rekenregel Sellmeijer zoals beschreven in het onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen [Min. I&M, 2012]. Benadrukt wordt dat de methode Bligh niet is toegestaan.

De gedetailleerde beoordeling betreft de volgende stappen:

- bepaling of sprake kan zijn van heave indien de stijghoogte gedetailleerd wordt berekend;
- bepaling of sprake kan zijn van opbarsten van de afdekkende laag in het achterland indien de stijghoogte gedetailleerd wordt berekend;
- controle of de dijk aan de toetsingsregel voldoet.

Nadere toelichting bij de stappen.

Bij de bepaling van de stijghoogte voor de controle op heave en / of opbarsten is het van belang onderscheid te maken tussen de situatie zonder en met optreden van hydraulische kortsluiting. Indien het optreden van

hydraulische kortsluiting:

- met voldoende waarschijnlijkheid kan worden uitgesloten vormt de geohydrologische uitgangssituatie de basis voor de vaststelling van de maatgevende waarde de stijghoogte en de opwaartse waterdruk;
- niet uitgesloten kan worden dient de stijghoogte en de opwaartse druk te worden gecorrigeerd, tot maximaal de maatgevende hoogwaterstand (deze stijghoogte kan veelal aanzienlijk worden aangescherpt, bijv. door in een nadere geohydrologische analyse de intredeweerstand in rekening te brengen).

Voor criteria wanneer het optreden van kortsluiting als weinig waarschijnlijk mag worden verondersteld, wordt verwezen naar paragraaf B 1.4.

Verder geldt dat de invloed van hydraulische kortsluiting op de stijghoogte in de zandondergrond sterk verschilt per situatie, vooral afhankelijk van de transmissiviteit van de zandpakket. Vooral bij een lage transmissiviteit is de invloed groot.

Uitgangspunten aangaande onzekerheden (zoals diepe grondwateronttrekking, ontgravingen in het voorland, aanleg van nevengeulen, ingrepen in de vaargeul, etc.) moeten in overleg met de beheerder worden vastgesteld.

De controle op opbarsten van de deklaag ter plaatse van de teensloot kan worden aangescherpt door rekening te houden met extra druk van het sloottalud dankzij belastingspreiding. Zie voor de bepaling van de effectieve laagdikte voor opbarsten bij een sloot het TR Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2001].

Veiligheidsfactoren bij controle op piping

De herziene rekenregel Sellmeijer voor de controle op piping kent een normafhankelijke veiligheidsfactor. De partiële veiligheidsfactor is afgeleid voor regionale keringen. De afleiding is gebaseerd op een groot aantal kalibraties met verschillende waarden van de veiligheidsfactor [Deltares, in STOWA, 2015]. Uit de resulterende indruk van de betrouwbaarheid (de faalkans) op dwarsdoorsnedeniveau, is door experts de veiligheidsfactor gekozen. Onderstaande tabel presenteert de waarden van de veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden.

Een situatie met horizontale uittreding valt onder “geen deklaag binnendijks”.

Tabel D.2 Veiligheidsfactor γ_{piping}

Normklasse	Geen of dunne deklaag binnendijks (Dikte < 2 meter)	Met deklaag binnendijks (Dikte $\geq$ 2 meter)
1/10 – 1/100	1,2	1,1
1/300 en 1/1000	1,4	1,3

Ten aanzien van deze waarden gelden enkele opmerkingen.

Faalkansbegroting

Bij de afleiding van deze waarden is uitgegaan van de vigerende faalkansbegroting, daarin is 5% van de faalkansruimte voor stabiliteit toegekend aan piping. Dit is betrekkelijk streng, ter vergelijking: voor primaire keringen wordt in het Ontwerpinstrumentarium 24% toegekend aan piping. Door toekenning van een faalkansruimte van 5% resulteren betrekkelijk hoge waarden voor de partiële veiligheidsfactoren.

Aanwezigheid deklaag binnendijks

De aanwezigheid en dikte van een deklaag binnendijks hebben significante invloed op de berekende faalkans. Dit volgt uit de zgn. 0,3d regel bij de bepaling van het kritieke verval, bij grote dikten van de deklaag heeft deze component een forse invloed op het kritieke verval. Bij de bepaling van de waarde van de veiligheidsfactor is daarom onderscheid gemaakt in het al of niet aanwezig zijn en dikte van de deklaag.

Lengte effect

Een veiligheidsfactor voor het lengte-effect is niet geïntroduceerd, dit wijkt af van de beoordelingswijze voor de primaire keringen. Het verwaarlozen van het lengte-effect heeft als consequentie dat bij de controle op piping veel zorg moet worden besteed aan de selectie van het maatgevende dwarsprofiel. Zie ook module C hierover.

Bewezen sterkte

Uit de kalibratie-berekeningen blijkt dat met name (variaties in) de sterkte van een kering invloed heeft op de betrouwbaarheid. Dit hangt samen met de betrekkelijk geringe variatie in de belasting (zelfs voor keringen langs regionale rivieren). De grote invloed van de sterkte maakt dat de toepassing van een aanpak met bewezen sterkte kansrijk is voor een verbetering van het toetsoordeel. De bewezen sterkte kan zich daarbij richten op de beoordeling op het mechanisme piping zelf, als op bewezen sterkte betreffende gerelateerde verschijnselen (opbarsten deklaag) of uitgangspunten (metingen van de stijghoogte). Deze aanpak behoort tot het geavanceerde niveau, en wordt niet in deze Leidraad beschreven.

Voor aanwijzingen betreffende de beoordeling van heave en opbarsten wordt verwezen naar [Deltares, 2012].

Ten aanzien van de gedetailleerde beoordeling van piping en de bepaling van de stijghoogte gelden de aanwijzingen voor optimalisatie van de uitgangspunten / schematisering zoals opgenomen in module C.

1.3.3. Geavanceerde beoordeling

Indien na een gedetailleerde beoordeling het gevaar voor piping niet kan worden uitgesloten, dient een geavanceerde beoordeling te worden uitgevoerd. In deze beoordeling kan aanvullend rekening worden gehouden met specifieke, al dan niet lokaal aanwezige, kenmerken. Voorbeelden van dergelijke kenmerken zijn:

- niet-stationaire berekening van de grondwaterspanningen, ten behoeve van de controle op opbarsten en heave;
- bewezen sterkte;
- 3D grondwaterstromingsberekeningen.

1.4. Macrostabiliteit binnentalud

In het beoordelingsschema van stabiliteit zijn drie niveaus van toetsing onderscheiden:

- Eenvoudige beoordeling: op dit niveau kan zonder uitgebreid rekenwerk tot een oordeel worden gekomen op basis van een geometrische toets, eerdere toetsresultaten of op basis van een gehanteerde ontwerpmethode;
- gedetailleerde beoordeling: een beoordeling aan de hand van rekenmodellen zoals beschreven in de vigerende leidraden en technische rapporten, op basis van een (meer of minder uitgebreide) gegevensverzameling;
- geavanceerde beoordeling: toetsing op basis van de nieuwste kennis over het faalmechanisme, met geavanceerde rekenmodellen, aanscherping van uitgangspunten, andere benaderingen (reststerkte of bewezen sterkte) of een probabilistische aanpak.

1.4.1. Eenvoudige beoordeling

De beoordeling start met de vraag of de stabiliteit van de kering volgens een eerdere toetsing voldeed aan de norm of een verbetering van de stabiliteit is ontworpen, waarbij:

- die toetsing of het ontwerp²⁰ is uitgevoerd volgens vigerende of gelijkwaardige rekenregels; EN:
- de hydraulische belasting en overige belastingen niet ongunstiger zijn geworden; EN:
- overige uitgangspunten en kenmerken (norm, geometrie, etc.) nog actueel zijn, of tenminste niet ongunstiger zijn geworden.

²⁰ De aanleg van de kering conform het ontwerp moet daarbij worden aangetoond

Indien de kering niet voldoet op basis van eerdere toetsing en/of het ontwerp, betreft de eenvoudige toetsing een aanpak met een beoordeling van de stabiliteit op basis van veilige afmetingen. Een beoordeling op dit niveau is alleen interessant voor keringen die (sterk) zijn overgedimensioneerd.

Globale opzet van zo'n beoordeling is:

1. het bepalen van zgn. veilige afmetingen of een beoordelingsprofiel. Dit beoordelingsprofiel betreft de vereiste geometrie van de kade op basis van de lokaal aanwezige kenmerken, waarbij de stabiliteit van het binnentalud juist voldoet aan de norm;
2. het bepalen of de geometrie van de kering voldoet aan deze veilige afmetingen op de peildatum van de toetsing.

Een generieke methode is niet ontwikkeld, onder andere omdat specifieke kenmerken van de regionale keringen verspreid in het land maken dat een kering al snel buiten het toepassingsgebied van zo'n generieke methode valt of dat zo'n methode te conservatief is en lokale aanscherping wenselijk is. Evident veilige afmetingen dienen zodoende door de waterkeringbeheerder zelf te worden bepaald, waarbij het aanbeveling verdient zo veel mogelijk rekening te houden met de lokale kenmerken van de belasting en sterkte van de betreffende regionale keringen.

Algemeen gesteld dient een methode voor een beoordeling op basis van veilige afmetingen in ieder geval te voldoen aan alle onderstaande eisen:

- Bij het opstellen van de methode is gebruik gemaakt van een volwaardige gedetailleerde toets ter validatie;
- Het is duidelijk welke uitgangspunten in de berekeningen zijn gehanteerd en hoe deze in de berekeningen zijn verdisconteerd. Dit betreft bijvoorbeeld de aanpassingspercentages en belastingspreiding die is aangehouden bij het verrekenen van de verkeersbelasting, ondergrondschematisaties, stijghoogten, etc.;
- Het veilige profiel voor een bepaalde klasse/groep is afgeleid op basis van de meest ongunstige/maatgevende combinatie van uitgangspunten die op de betreffende klasse/groep van toepassing zijn verklaard;
- De methode bevat een duidelijk instructie voor het gebruik, zodat foutief gebruik ten gevolge van onduidelijkheid in het gebruik van de methode (met voldoende zekerheid) uitgesloten kan worden.

Opmerking:

Voor methoden die afwijkend van opzet zijn van bovenstaande eisen wordt de waterkeringbeheerder (in samenwerking met de toezichthouder) de mogelijkheid geboden om de methode te bespreken met STOWA, of (al dan niet via STOWA) in één van de gelieerde expertgroepen of voor advies voor te leggen aan het ENW.

1.4.2. Gedetailleerde beoordeling

De beoordeling op dit niveau betreft een berekening van de stabiliteit aan de hand van rekenmodellen.

Nadere informatie

Veel kennis over de afleiding van de schuifsterkte parameters, de schematisering en de materiaalmodellen en rekenmodellen is beschreven in rapporten die worden samengesteld voor het WT12017. Deze rapporten zijn op dit moment nog in wording, referenties ontbreken. Algemeen wordt aanbevolen voorafgaand aan een toetsing zich op de hoogte te stellen van alle uitgekomen publicaties. Zie hiervoor bijvoorbeeld de Helpdeskwater: www.helpdeskwater.nl.

De gedetailleerde beoordeling van de macrostabiliteit bestaat uit de volgende stappen:

- Stap 1: vaststellen relevante belasting (-en);
- Stap 2: bepalen veilige schematisering;
- Stap 3: berekenen stabiliteit

- Stap 4: toetsen berekende stabiliteitsfactor aan vereiste stabiliteitsfactor.

Onderstaand volgt een toelichting bij de stappen, een nadere toelichting bij enkele specifieke onderdelen van deze stappen is beschreven in deel Sterkte en Schematisering.

Opgemerkt wordt dat het toepassen van een restbreedte benadering (zie bijlage 3 voor een werkwijze) valt onder de gedetailleerde beoordeling. Deze benadering kan alleen worden toegepast bij een beperkt overslagdebiet ($\leq 0,1 \text{ l/m/s}$).

Stap 1: vaststellen belastingsituatie en belastingen

Vastgesteld moet worden voor welke belastingsituaties de stabiliteit berekend moet worden, en welke overige belastingen daarbij kunnen optreden. Aandachtspunten zijn:

- belastingsituatie hoogwater en eventueel droogte;
- hydraulische kortsluiting;
- overige belastingen: verkeer, etc.;

De situatie hoogwater met toetspeil op het regionaal watersysteem moet voor alle keringen worden beschouwd.

De situatie droogte moet aanvullend worden beschouwd indien een waterkering droogtegevoelig is. Of een waterkering droogtegevoelig is kan worden beoordeeld volgens het schema in paragraaf C 2.3. Beschouwing van de situatie droogte is alleen relevant indien tijdens of kort na een periode met langdurige droogte een waterstand in het regionale watersysteem hoger dan het maaiveldniveau in het achterland kan optreden. Alleen in dat geval wordt de verdroogde waterkering hydraulisch belast, en kan aantasting van de waterkering tot overstroming leiden. Hierbij moet worden uitgegaan van een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/1 per jaar. Deze situatie is dus vooral relevant voor boezem- en kanaalkaden. Voor droogtegevoelige waterkeringen dient voor de beoordeling van de stabiliteit tijdens droogte tevens op horizontaal evenwicht te worden gecontroleerd.

Vastgesteld moet worden of hydraulische kortsluiting kan optreden, te beoordelen volgens het schema in module A. Indien hydraulische kortsluiting kan optreden, moet hiermee bij de schematisering van de stijghoogte rekening worden gehouden.

Aanvullend op de belastingsituatie en de hydraulische belastingen daarbij moet worden vastgesteld in welke mate andere belastingen kunnen optreden, zoals genoemd in paragraaf B 1.5 verkeersbelasting, aanvaringen, etc.).

Extreme neerslag hoeft als belastingsituatie niet afzonderlijk te worden beschouwd. Bij de schematisering van de waterspanningen moet wel rekening worden gehouden met neerslag, in een hoeveelheid zoals die tijdens de hoogwatersituatie kan optreden. Aanwijzingen worden beschreven in het TR Waterspanningen bij Dijken [TAW, 2001].

Boezem- en kanaalkaden

Voor boezem- en kanaalkaden kan een verhoogde grondwaterstand door extreme neerslag ook tijdens reguliere waterstanden maatgevend zijn. Deze situatie hoeft niet aanvullend te worden beschouwd.

Tenslotte moet rekening worden gehouden met de grootte van het overslagdebiet. Indien een niet verwaarloosbaar overslagdebiet kan optreden ($> 0,1 \text{ l/m/s}$) dient hiermee bij de schematisering van de waterspanningen rekening te worden gehouden.

Stap 2: bepalen veilige schematisering

Het opstellen van een maatgevend profiel voor een sectie is een belangrijk onderdeel van de toetsing. Van

belang bij de schematisering is achtereenvolgens een goede inventarisatie van aanwezige onzekerheden in de schematisering en de beschouwing van de invloed daarvan op de beoordeling van de stabiliteit. Onzekerheden die significante invloed op de berekende stabiliteit hebben, dienen in beginsel te worden verkleind door nader (grond-) onderzoek uit te voeren. Diverse algemene aanwijzingen voor de omgang met schematiseringsonzekerheden en de wijze waarop deze kunnen worden gereduceerd of zelfs geëlimineerd door nader (grond-) onderzoek worden onder andere beschreven in het Technisch Rapport Grondmechanische Schematisering bij Dijken [ENW, 2012]. Specifieke aanwijzingen voor de schematisering worden beschreven in de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit bij het WTI2017 [i.o.].

Een grove indeling in secties en een opeenstapeling van verschillende conservatieve kenmerken van bijv. de kerende hoogte, taludhelling, bodemopbouw en waterspanningen geeft een onnodig conservatief maatgevend profiel. Dit kan leiden tot het onnodig afkeuren van grote dijkstrekkings, en resulteert in een onrealistisch beeld van de veiligheid.

In combinatie met het bepalen van de veilige schematisering wordt de schematiseringsfactor bepaald. Zie stap 4 en een meer gedetailleerde toelichting in deel Sterkte en Schematisering.

Stap 3: berekenen stabiliteit

Voorafgaand aan de daadwerkelijke berekening van de stabiliteit dient het glijvlakmodel. Aanwijzingen voor de keuze zijn beschreven in module C.

Stap 4: toetsen berekende stabiliteitsfactor aan vereiste stabiliteitsfactor

Voor de gedetailleerde stabiliteitsanalyses wordt een semi-probabilistische methode gehanteerd.

Bij toetsing op macrostabiliteit wordt de berekende stabiliteitsfactor getoetst aan een vereiste stabiliteitsfactor. De stabiliteitseis luidt:

$$F / \gamma_n \gamma_d \gamma_s \geq 1,0$$

Waarin:

F	= stabiliteitsfactor berekend bij rekenwaarden van de sterkte [-]
γ_n	= schadefactor [-]
γ_d	= modelfactor [-]
γ_s	= schematiseringsfactor [-]

Deze stabiliteitseis geldt bij het hanteren van rekenwaarden van de sterkte van de grondlagen. Voor de afleiding van de rekenwaarden moeten de karakteristieke waarden worden gedeeld door de materiaalfactor.

Deze partiële veiligheidsfactoren worden gedetailleerd toegelicht in module C.

1.4.3. Beoordeling op geavanceerd niveau

Indien de gedetailleerde toetsing niet leidt tot het oordeel dat de stabiliteit voldoet aan de norm, wordt de toetsing vervolgd op het zgn. geavanceerde niveau. Indien echter aannemelijk kan worden gemaakt dat een geavanceerde toetsing niet kan leiden tot het oordeel dat de stabiliteit van de kering voldoet aan de norm, hoeft een geavanceerde toets niet verder te worden uitgevoerd. Zodoende dient als eerste stap van een geavanceerde toetsing te worden nagegaan of een geavanceerde toetsing zin heeft (en welke methodes in aanmerking komen). Indien een geavanceerde toets geen zin heeft, dient dit te worden gemotiveerd in het toetsrapport.

Voor macrostabiliteit binnenwaarts bestaan verschillende methodes die een scherpere beoordeling mogelijk maken, zoals bijvoorbeeld:

- aanvullend grondonderzoek, gericht op zowel de bodemopbouw als sterkte-eigenschappen en/of waterspanningen;
- gebruik van zgn. eindige elementen methode (EEM), eventueel in combinatie met geavanceerde materiaalmodellen hierbij kan de werkelijke sterkte beter worden benaderd, door bijvoorbeeld het beter in rekening brengen van de afhankelijkheid van sterkte, vervorming en opbouw

van waterspanningen tijdens vervormen (ongedraineerd gedrag etc.). Bij EEM wordt geen glijvlak opgelegd. Aan het gebruik van dergelijke modellen dient een zorgvuldige parameteranalyse vooraf te gaan;

- het beoordelen van de macrostabiliteit op basis van bewezen sterkte; aanwijzingen voor deze beoordeling worden gegeven in [ENW, 2009];
- het nauwkeuriger voorspellen van het freatisch vlak in de waterkering; dit kan vooral zinvol zijn voor dijken met een relatief kortdurend hoogwater;
- het beter voorspellen van de stijghoogte in watervoerende lagen vooral relevant in geval van opdrijf- of opbarstgevoelige situaties. Hierbij kan worden gedacht aan niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de duur van hoogwater relatief kort is (getijdengebied) of ruimtelijke grondwaterstromingsmodellen (driedimensionaal of quasi driedimensionaal) voor situaties waarbij de geometrie of laagopbouw niet uniform is in de richting van de waterkering of loodrecht op de waterkering;
- voor droogtegevoelige kaden: het optimaliseren van de schematisering van verdroging de generieke aanwijzingen voor de schematisering van verdroging (gericht op niveau freatische grondwaterstand en volumiek gewicht onverzadigde zone) zijn conservatief. Lokaal is optimalisatie van de schematisering denkbaar, speciaal wanneer de kade een lage veiligheidsnorm heeft.
- het aanscherpen / optimaliseren van de partiële veiligheidsfactoren het afstemmen van de partiële veiligheidsfactoren op de lokale situatie en de mate waarin onzekerheden invloed hebben op de berekende stabiliteit van de beschouwde waterkering (vooruitlopend op een eventuele landelijke aanpassing van deze factoren voor de regionale waterkeringen);
- het uitvoeren van een probabilistische stabiliteitsanalyse.

1.5. Macrostabiliteit buitentalud

In het beoordelingsschema van stabiliteit zijn drie niveaus van toetsing onderscheiden:

- Eenvoudig niveau: waarop zonder uitgebreid rekenwerk tot een oordeel kan worden gekomen;
- gedetailleerde niveau: een beoordeling aan de hand van rekenmodellen zoals beschreven in de vigerende leidraden en technische rapporten;
- geavanceerde niveau: toetsing op basis van geavanceerde rekenmodellen, aanscherping van uitgangspunten, andere benaderingen (reststerkte of bewezen sterkte) of een redenering betreffende het niet van belang zijn van dit mechanisme voor de veiligheid van de betreffende waterkering.

De maatgevende situatie voor dit mechanisme vormt de combinatie van een daling van de buitenwaterstand en een hoge freatische grondwaterstand in het dijklichaam, door het hoge water en eventueel neerslag en/of overslag. Voor keringen die normaliter geen water keren, zoals veel keringen langs regionale rivieren en compartimenteringskeringen, is dit een voldoende eenduidige situatie. Voor permanent waterkerende boezem- en kanaalkaden kunnen aanvullende belastingsituaties van toepassing zijn, zie paragraaf C 2.1. Het optreden van deze situaties is niet bij alle kadetrajecten of typen waterkeringen realistisch.

Het optreden van een belastingsituatie en het eventueel bezwijken van de kade daardoor hoeft niet altijd te resulteren in een doorbraak van de betreffende kering (zie geavanceerde beoordeling, paragraaf D 1.5.3). Het is zodoende niet noodzakelijk dit faalmechanisme bij alle dijkvakken te beschouwen.

In dat opzicht kan ook worden overwogen bij de beoordeling vroegtijdig het (ontbreken van het) belang van dit mechanisme voor de veiligheid van de waterkering aan te tonen.

Opgemerkt wordt dat voor de beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit de hoogwater situatie in beginsel altijd maatgevend zal zijn ten opzichte van de droge situatie. Dit houdt in dat voor droogtegevoelige kaden dit faalmechanisme niet voor de situatie droogte getoetst hoeft te worden.

1.5.1. Eenvoudige beoordeling

De beoordeling start met de vraag of de stabiliteit van de kering volgens een eerdere toetsing voldeed aan de norm of een verbetering van de stabiliteit is ontworpen. Zie voor de uitwerking verder de aanwijzingen bij paragraaf D 1.4.1 (stabiliteit binnenwaarts).

Bij de eenvoudige beoordeling kan ook worden ingegaan op de vraag of macro-instabiliteit van het buitentalud een rol speelt in de veiligheid van de waterkering. Indien aangetoond kan worden dat stabiliteit van het buitentalud niet van belang is, kan het oordeel 'voldoet' worden gegeven. Argumenten bij deze beoordeling zijn bijvoorbeeld:

- de genoemde oorzaken (paragraaf C 2.1) voor instabiliteit van het buitentalud treden niet op (met name van toepassing voor boezem- en kanaalkaden);
- de kans op het optreden van een hoog water binnen een periode waarin het herstel van schade aan een afgeschoven buitentalud mogelijk is, in combinatie met de kans dat daardoor een overstroming optreedt (o.b.v. een beoordeling van de sterkte van het resterende profiel na afschuiving).

1.5.2. Gedetailleerde beoordeling

Voor deze beoordeling gelden ten aanzien van de stabiliteitsberekening dezelfde aanwijzingen als voor de beoordeling van de stabiliteit binnenwaarts.

Belangrijkste verschil betreft de belastingssituatie. Zoals gesteld betreft dit voor alle typen regionale waterkeringen de situatie met een daling van de buitenwaterstand na het optreden van de maatgevend hoogwaterstand. Voor permanent waterkerende boezem- en kanaalkaden kunnen aanvullende belastingen (door andere oorzaken dan een hoogwater) ook leiden tot het moeten beschouwen van de stabiliteit van het buitentalud. Het is daarbij niet uitgesloten dat bij deze analyse meerdere situaties beschouwd moeten worden, afhankelijk van de oorzaken die kunnen optreden.

In geval van een beoordeling aan de hand van het resultaat van een stabiliteitsberekening kan in eerste instantie worden getoetst aan dezelfde stabiliteitsnorm als bij macro-instabiliteit binnentalud (zie paragraaf C 2.5). In veel gevallen zullen de gevolgen van macro-instabiliteit van het buitentalud beperkt blijven, en kan wellicht ook een lagere (afhankelijk van de verwachte schade nader te bepalen) schadefactor worden gehanteerd. Een lagere schadefactor specifiek voor stabiliteit buitenwaarts is niet vastgesteld (vanwege alle overige ontwikkelingen cq. veranderingen rondom macrostabiliteit).

1.5.3. Geavanceerde beoordeling

Indien de gedetailleerde toetsing niet leidt tot het oordeel dat de stabiliteit voldoet aan de norm, wordt de toetsing vervolgd op het zgn. geavanceerde niveau. Indien aannemelijk kan worden gemaakt dat een geavanceerde toetsing niet kan leiden tot het oordeel 'voldoet', hoeft een geavanceerde toets niet verder te worden uitgevoerd.

Voor macrostabiliteit buitenwaarts bestaan enkele werkwijzen die een scherpere beoordeling mogelijk maken, zoals ook genoemd in par. C 2.5 voor stabiliteit binnenwaarts. Specifiek genoemd wordt de mogelijkheid van een restbreedte benadering, bijlage 4 presenteert een restbreedte methode voor het buitentalud. Deze is gebaseerd op de restbreedte methode voor het binnentalud, waarbij een aantal aanpassingen en aanvullingen zijn voorgesteld. Belangrijkste aanpassingen zijn (1) het in rekening brengen van een erosietoeslag op het gereduceerde profiel en (2) de minimaal benodigde kruinbreedte.

1.5.4. Grondkerende constructies in het buitentalud

Grondkerende constructies, met name houten of stalen damwandconstructies, komen in regionale keringen veelal langs de buitenkant van de waterkering voor. Bij de beoordeling van de stabiliteit buitenwaarts is het van belang of het falen van dergelijke constructies kan leiden tot een overstroming. Indien het falen van de constructie:

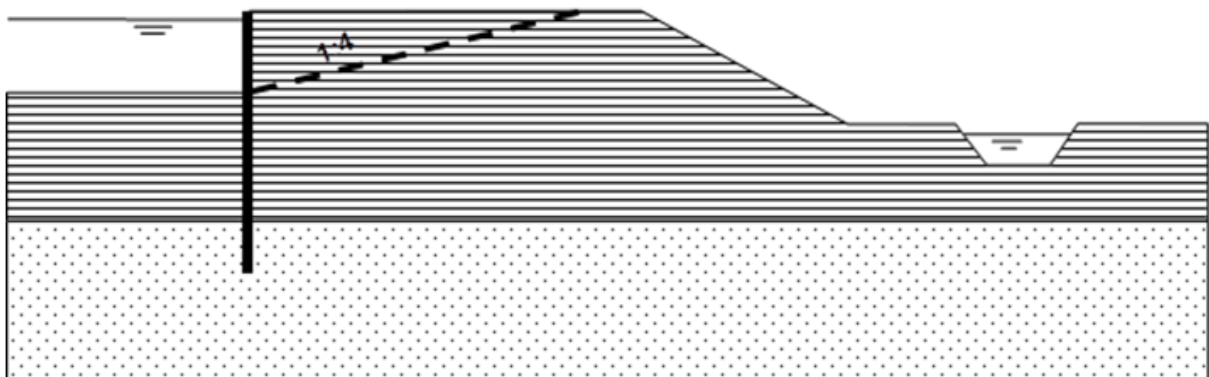
- wel kan leiden tot een overstrooming is de grondkerende constructie nodig voor het waterkerende vermogen van de waterkering, de constructie maakt dan deel uit van de waterkering (als een zgn. bijzondere waterkerende constructie) en dient de sterkte en stabiliteit van de constructie te worden beoordeeld;
- niet kan leiden tot een overstrooming is de grondkerende constructie niet nodig voor het waterkerende vermogen van de waterkering, de constructie maakt dan geen deel uit van de waterkering en hoeft de sterkte en stabiliteit van de constructie niet te worden beoordeeld.

Het falen van een grondkerende constructie leidt niet tot een overstrooming indien ondanks de aantasting van de waterkering de resterende kruinbreedte op het niveau van de vereiste kruinhoogte minimaal 1,5 meter bedraagt. Bij deze beoordeling kan voor de aantasting worden uitgegaan van een afschuiving onder een 1:4 helling, gerekend vanuit het niveau van de waterbodem ter plaatse van de constructie (zie figuur D.5 voor een illustratie). Daarbij geldt ten aanzien van de opbouw van het kadelichaam het volgende:

- indien het kadelichaam is opgebouwd uit klei waarvan de ongedraineerde schuifsterkte c_u [in kPa] groter is dan 3,5 maal de kerende hoogte [in meters], mag worden uitgegaan van een helling van 1:2;
- indien het kadelichaam is opgebouwd uit zand wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking een helling van 1:7 te worden gehanteerd;
- indien sprake is van een heterogeen opgebouwd kadelichaam dient te worden uitgegaan van de maatgevende grondsoort.

Bij deze restbreedte is geen reserve aanwezig ter compensatie van verdere erosie door golfaanval of langsstroming, zodat rekening moet worden gehouden met het treffen van (nood-) maatregelen.

Deze werkwijze kan niet worden toegepast indien bij de beoordeling op macrostabiliteit binnenwaarts een restbreedte – benadering of zonering is toegepast en onvoldoende kruinbreedte resteert.



Figuur D.4 Geometrische controle waterkerende veiligheid na falen damwandconstructie

1.6. Microstabiliteit

Onder micro-instabiliteit wordt verstaan het uitspoelen van zand uit het binnentalud van de kering door uittredend grondwater. Hierdoor wordt het profiel van de kering aangetast. Bij microstabiliteit komt de bedreiging voor de stabiliteit van binnenuit, veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het grondlichaam. Bij dit mechanisme wordt gelet op zeer plaatselijke instabiliteit die echter ook een inleiding tot bezwijken van de gehele waterkering vormt.

Ten gevolge van grondwaterstroming kunnen de volgende vormen van micro-instabiliteit optreden:

- Afdrukken van binnentaludbekleding door waterdrukken in de kern van het dijklichaam bij een minder doorlatende toplaag op een doorlatende kern, bijvoorbeeld een toplaag van klei op een kern van zand.
- Evenwijdig afschuiven van de binnentaludbekleding als gevolg van het stijgen van de freatische lijn in de kering. Uitgegaan wordt van een uniforme opbouw van het dijklichaam (zandkern met een zandige toplaag) en horizontaal uittredend grondwater bij taluds boven water en loodrecht uittredend grondwater bij taluds onder water.
- Uitspoelen van gronddeeltjes uit het binnentalud door uittredend grondwater bij een toplaag van ongeveer dezelfde doorlatendheid als de kern van het dijklichaam, bijvoorbeeld bij een zandige toplaag op een zandkern.

Bij deze beoordeling moet worden uitgegaan van het toetspeil in combinatie met een hoge ligging van de freatische lijn.

Voor deze beoordeling wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [MVenW, 2007]. Voor inhoudelijke informatie over de beoordeling wordt verwezen naar het TR Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2001], en voor aanvullingen betreffende het afschuiven van de deklaag naar de Handreiking Grasbekleding bij Dijken [Deltares, 2012].

1.7. Bekledingen

1.7.1. Buitentalud

Bekledingstype van het buitentalud van regionale waterkeringen betreft overwegend grasbekleding. Op strekkingen waarop een grotere golfaanval voorkomt (windgolven op grotere wateroppervlakten en/of zwaardere golfaanval door scheepvaart) komen ook wel steenbestortingen, steenzettingen of oeverconstructie met damwanden voor. Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar het Technisch Rapport Steenzettingen [TAW, 2003a].

Op enkele regionale kanalen komt zware scheepvaart voor. Verondersteld wordt dat dit, onder reguliere omstandigheden, niet tot aantasting van de bekleding leidt (goed onderhoud). Bij de toetsing van de bekleding tijdens maatgevende omstandigheden dient alleen rekening te worden gehouden met de golfslag door zware scheepvaart indien tijdens deze omstandigheden geen scheepvaartverbod geldt.

De bekleding van het buitentalud kan worden getoetst conform de beoordeling weergegeven in het VTV 2006. Voor aanpassingen specifiek voor de toetsing van grasbekleding wordt verwezen naar de Handreiking Grasbekleding [Deltares, 2012].

Uit proeven [Deltares, 2012] blijkt dat tot een golfhoogte van 0,5 m golfklappen geen erosie van een grasmat veroorzaken, mits sprake is van een gesloten graszode. Dit criterium mag bij de toetsing worden gehanteerd.

Bij de beoordeling van een grasbekleding worden in sommige situaties eisen gesteld aan de samenstelling van de dek- of toplaag. Indien de toetsing niet kan worden uitgevoerd vanwege een hoog gehalte zand en/of organische stof, dan mag de eindscore volledig worden gebaseerd op het beheerdersoordeel. Uitgangspunt voor het beheerdersoordeel "voldoet" is dat op de kruin en het binnen- en buitentalud een open of gesloten grasmat aanwezig is. Nuttige informatie over de onderbouwing van het beheerdersoordeel is te vinden in het STOWA-rapport 'Grond voor kaden' [STOWA, 2008]. Volgens dit rapport is, op basis van een inventarisatie van de schade bij boezemkaden, gebleken dat bij aanwezigheid van een open of gesloten grasmat geen schade aan de kade optreedt die een gevaar zou vormen voor het waterkerend vermogen.

Indien de samenstelling van de top- of deklaag en de kwaliteit van de grasmat beide onvoldoende zijn, dient de beheerder in de rapportage van de toetsing aan te geven welke beheersmaatregelen genomen worden om toch in te kunnen staan voor de veiligheid. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het toepassen van noodmaatregel tijdens maatgevende omstandigheden.

1.7.2. Kruin en binnentalud

De erosiebestendigheid van de bekleding van kruin en binnentalud zijn bepalend voor het toelaatbaar overslagdebiet over de waterkering. Uitgangspunt is dat de bekleding van kruin en het binnentalud in 'goede staat van onderhoud' worden gehouden. Is dit niet het geval dan moet apart bekeken worden of deze aanleiding geeft het vastgestelde toelaatbare overslagdebiet te verlagen. Indien het overslagdebiet kleiner of gelijk is aan 0,1 l/m/s, hoeft de bekleding niet te worden getoetst omdat het geringe debiet geen gevaar vormt voor de bekleding. Bij een hoger overslagdebiet dient de bekleding te worden getoetst.

De beoordeling van bekleding op de kruin en het binnentalud is beschreven in het VTV 2006. Deze beoordeling is aangepast voor grasbekleding, op basis van het Technisch Rapport Grasbekleding [Deltares, 2012]. De aangepaste beoordelingswijze voor grasbekleding is beschreven in par. D 1.2.

De uiteindelijke score dient te zijn afgestemd met de gehanteerde uitgangspunten bij de toetsing van de hoogte van de kering, in casu het gemiddeld overslagdebiet.

1.8. Stabiliteit voorland

De beoordeling van de stabiliteit van het voorland richt zich op twee mechanismen: afschuiving en zettingsvloeiing.

1.8.1. Eenvoudige beoordeling

De toetsing op basis van een eenvoudige beoordeling bestaat uit de stappen:

1. beoordeling of op basis van een eenvoudige vuistregel kan worden gesteld dat zettingsvloeiing en afschuiving zijn uit te sluiten.
2. nagaan in hoeverre op basis van geometrische criteria kan worden uitgesloten dat het eventueel optreden van het mechanisme de waterkering in gevaar kan brengen (schadelijkheidscriterium). Hierbij zijn de diepte van de geul en de afstand tot aan de waterkering van belang.

Vervolgens dient:

- indien wel kan worden uitgesloten dat het mechanisme de waterkering kan bedreigen: op basis van het zgn. bestortingscriterium (stap 3) te worden gecontroleerd of de constructie op lokaal niveau van ontwerp kwaliteit is.
- indien niet kan worden uitgesloten dat het mechanisme de waterkering kan bedreigen: op basis van voornamelijk geometrische criteria worden nagegaan of het mechanisme ook werkelijk op kan treden (optredingscriterium).

Stap 1 is voor beide mechanismen hetzelfde, de uitwerking van stap 2 en 4 verschilt voor de beide mechanismen.

1.8.2. Gedetailleerde / geavanceerde beoordeling

Als op basis van geometrische criteria geen eindscore 'voldoet' kan worden toegekend, is een geotechnische toetsing nodig.

Voor de geotechnische toetsing op Afschuiving bestaat een methode op gedetailleerd niveau. Hierna kan zo nodig de toetsing op geavanceerd niveau worden uitgevoerd.

Voor de geotechnische toetsing op Zettingsvloeiing is alleen een methode op geavanceerd niveau beschikbaar, maar deze beoordeling is alleen nodig als het voorland verwekingsgevoelig materiaal bevat

In navolging van de aanpak bij de verlengde 3de toetsronde voor de primaire keringen geldt voor regionale keringen dat de toepassing van de methodiek in de Handreiking wordt aanbevolen, maar dat de toepassing dient te geschieden als onderdeel van het beheerdersoordeel. Het is daarbij de verwachting dat een beoordeling van het voorland niet vaak nodig zal zijn.

REFERENTIES

- [Deltares, 2012] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, rapport 1202123-003-GEO-0002, maart 2012.
- [ENW, 2012] Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Oktober 2012.
- [Min. I&M, 2012] Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Min. I&M, RWS Waterdienst, oktober 2012.
- [PZH, 2009] Vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet-waterkerende objecten. Provincie Zuid Holland, mei 2009.
- [STOWA, 2008] Grond voor kaden, monitoring proefvakken op de Kleikade en Doespolderkade, 2008-16
- [STOWA, 2010] Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, ORK2010-22
- [STOWA, 2015] Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.
- [TAW, 2001] TRWG, Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, TAW richtlijn, juni 2001.
- [TAW, 2003a] Technisch Rapport Steenzettingen achter gronden. TAW richtlijn, 2003.

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



2015
- 15

MODULE C:
STERKTE

COLOFON

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN - MODULE C

UITGAVE	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
STOWA	STOWA 2015-15
COPYRIGHT	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
DISCLAIMER	Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

MODULE C: STERKTE EN SCHEMATISERING

1.	STERKTE	4
1.1.	HOOGTE	4
1.2.	OPDRIJVEN VAN VEENLAGEN BUITENDIJKS	7
1.3.	PIPING / HEAVE	9
1.4.	MACROSTABILITEIT BINNENTALUD	12
1.5.	MACROSTABILITEIT BUITENTALUD	18
1.6.	STABILITEIT VOORLAND	19
2.	SPECIFIEKE OPMERKINGEN PER TYOPE REGIONALE KERING	21
2.1.	BOEZEM- EN KANAALKADEN	21
2.2.	VEENKADEN	23
2.3.	DROOGTEGEVOELIGE WATERKERINGEN	24
2.4.	KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN	26
2.5.	KERINGEN OM WATERBERGINGSGBIEDEN	27
2.6.	COMPARTIMENTERINGSKERING	31
	2.6.1. <i>Belastingcombinaties natte compartimentskeringen</i>	32
	2.6.2. <i>Hydraulische randvoorwaarden</i>	34
	2.6.3. <i>Belastingssituatie droogte</i>	35
	2.6.4. <i>Beoordeling behoud veiligheid - handhaven huidig profiel</i>	35
2.7.	HOGHE GRONDEN	41
2.8.	NIET GENORMEERDE KERINGEN	42

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 RAAMWERK PARTIELE VEILIGHEIDSFACOREN REGIONALE KERINGEN

BIJLAGE 2 AFLEIDING SCHEMATISERINGSFACTOR

BIJLAGE 3 RESTBREEDTE BENADERING STABILITEIT BINNENWAARTS

BIJLAGE 4 RESTBREEDTE BENADERING STABILITEIT BUITENWAARTS

BIJLAGE 5 GOLFHOOGTEN EN GOLFOVERSLAGHOOGTEN

BIJLAGE 6 BEOORDELING BOMEN

BIJLAGE 7 MATRIX WAARNEMINGEN BEHEERDERSOORDEEL DIJKEN

BIJLAGE 8 MATRIX WAARNEMINGEN BEHEERDERSOORDEEL WATERKERENDE KUNSTWERKEN

BIJLAGE 9 KEUZE MAATGEVENDE WIND

BIJLAGE 10 BEOORDELING ONGEDRAINEERDE STABILITEIT VOLGENS CSSM - MODEL

1. STERKTE

1.1. Hoogte

Nieuwe kennis

In het kader van het WTI2011 is nieuwe kennis ontwikkeld over de erosiebestendigheid van een grasbekleding tegen golfoverslag [Deltares, 2012]. Hierbij is op een aantal dijken onderzoek gedaan met een golfoverslagsimulator. Deze kennis is door DGRW beschikbaar gesteld voor toepassing bij het opstellen van het beheerdersoordeel bij de verlengde derde toetsronde.

De oorspronkelijke beoordeling (VTV2006) is gebaseerd op (uitsluitend) het overslagdebiet, een relatie met de golfhoogte wordt daarbij niet gemaakt. Op basis van de ontwikkelde kennis wordt in de nieuwe beoordeling deze relatie wel gelegd. Hierbij wordt tevens rekening gehouden met de verdeling van golfoverslagvolumes in relatie tot het golfoverslagdebiet en de golfhoogte. Daarbij wordt:

- de belasting gekarakteriseerd door de frontsnelheid van een overslaande golf;
- de sterkte gekarakteriseerd door de kritische snelheid;

De beoordeling van de erosiebestendigheid richt zich op de cumulatieve belasting van alle overslaande golven waarbij de kritische snelheid wordt overschreden, gedurende een beschouwde normsituatie.

Deze benadering maakt onderscheid naar de golfhoogte. Daarbij is het gunstig indien een gemiddeld overslagdebiet wordt veroorzaakt door veel overslaande kleine golven in plaats van enkele grote golven. Omdat op regionale wateren overwegend sprake is van beperkte golfhoogten, is deze nieuwe kennis ook van belang voor de beoordeling van regionale keringen. Zodoende is besloten in deze Leidraad gebruik te maken van deze nieuwe kennis. Het toetsspoor is gebaseerd op bovengenoemde nieuwe kennis.

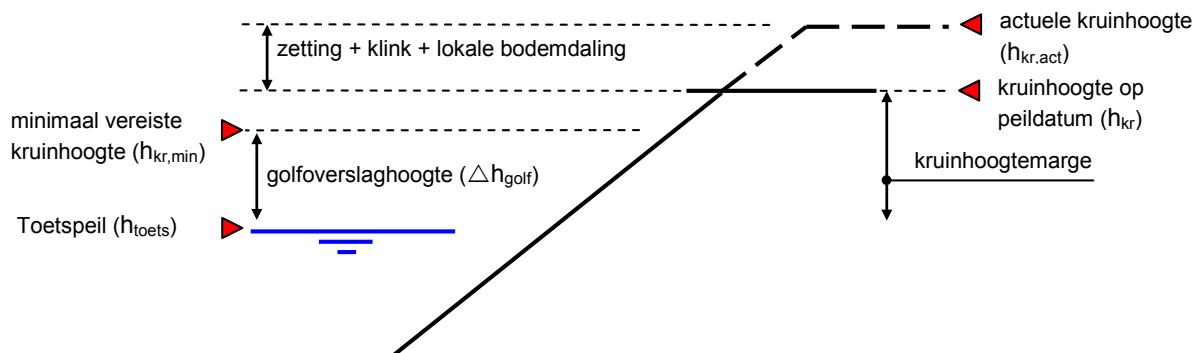
Nadere toelichting

Het beoordelingsspoor Hoogte richt zich primair op de kruinhoogte en de weerstand van de kruin en het binnentalud tegen overslag. Deze weerstand betreft de weerstand tegen erosie en afschuiven van de bekleding. Aanvullend kunnen eisen worden gesteld aan de beheersmatige gevolgen van overslaand water, in verband met mogelijk noodzakelijk ingrijpen onder extreme omstandigheden. De kenmerken van de kering en de aanvullende eisen bepalen in onderlinge samenhang of een kering aan de eisen kan voldoen. Daarbij zijn de beheersmatige gevolgen alleen van belang indien de veiligheid in het geding is.

De wijze van toetsing op erosie en lokaal afschuiven van de bekleding op de kruin en het binnentalud door overslaand water hangt af van het bekledingstype. De stabiliteit van de bekleding van de kruin en het binnentalud wordt apart behandeld in D 1.7.

Grofweg wordt de sterkte bepaald door de dikte en de kwaliteit van de diverse lagen van de bekleding, en de helling van het binnentalud.

Een schematisch overzicht van de belangrijkste begrippen die een rol spelen bij de beoordeling van de kerende hoogte, is weergegeven in Figuur C.1.



Figuur C.1 Definitie begrippen bij beoordeling hoogte

Er geldt:

$$h_{kr} = h_{kr,act} - \Delta h_{kr,zk}$$

$$h_{kr,min} = h_{toets} + \Delta h_{golf}$$

De toets waaraan moet worden voldaan luidt:

$$h_{kr} \geq h_{kr,min}$$

Waarin:

- h_{kr} : verwachte kruinhoogte op peildatum
- $h_{kr,act}$: actuele kruinhoogte (met datum van meting)
- Δh_{zk} : hoogteafname t.g.v. zetting, klink en lokale bodemdaling tot aan peildatum, inclusief momentane verlaging t.g.v. extreme droogte (in geval van veen aan of nabij het oppervlak)
- $h_{kr,min}$: minimaal vereiste kruinhoogte
- h_{toets} : toetspeil
- Δh_{golf} : golfoverslaghoogte

Kruinhoogte

Uitgegaan dient te worden van de verwachte kruinhoogte op peildatum. Hiertoe dient de gemeten kruinhoogte te worden gecompenseerd voor kruindaling gedurende de periode vanaf het inmeten tot de peildatum. Hierbij dient rekening te worden gehouden met zetting (ondergrond), klink en (regionale) bodemdaling (zie paragraaf C 2.6.4, Beoordeling behoud veiligheid). Tijdelijke krimp ten gevolge van droogte is alleen van belang bij droogtegevoelige kaden (zie C 2.3).

Kruindaling droogtegevoelige kaden tijdens droogte

Tijdens droogte kan bij droogtegevoelige kaden sprake zijn van kruindaling door krimp van veen en organische klei. Voor droogtegevoelige kaden moet zodoende tevens de kruinhoogte worden beoordeeld tijdens de situatie droogte. De wijze waarop moet worden beoordeeld of een waterkering droogtegevoelig is, staat beschreven in paragraaf C 2.3. Hierin staat eveneens de kruindaling die moet worden gehanteerd.

Minimale kruinbreedte

De kering moet op het niveau van de vereiste kruinhoogte een kruinbreedte hebben van tenminste 1,5 m. In deze eis zijn aanvullende veiligheidsoverwegingen betrokken, zoals een gewenste onkwetsbaarheid voor zowel langzame aantastingen gedurende het jaar als (on-) voorziene gebeurtenissen tijdens de normsituatie.

Versoepeling van de vereiste breedte voor specifieke situaties en onder strikte voorwaarden is toegestaan. Te denken valt aan situaties waarin de aanvullende veiligheidsoverwegingen minder relevant zijn, bijvoorbeeld bij een geringe kerende hoogte, een flauwe helling van het binnen- en buitentalud, stevig kademateriaal, een beperkte breedte van het regionale water en een hoge frequentie van inspecties op beschadigingen.

Aanscherping vormt een toets op geavanceerd niveau. Aanscherping van de kruinbreedte vergt voldoende motivatie, zulks ter beoordeling van het bevoegd gezag.

Voor overige toepassingen (zoals kadeverbeteringen, ontheffingen / vergunningen, beleid) is aanscherping niet bedoeld, en geldt standaard de minimum eis van 1,5 m kruinbreedte.

Golfoverslaghoogte

Voor de beoordeling van de kruinhoogte van een dijkvak moet de vastgestelde golfhoogte, veelal gekarakteriseerd met de significante golfhoogte, nog worden vertaald naar een minimaal benodigde golfoverslaghoogte. Deze golfoverslaghoogte hangt naast de golfhoogte ook af van de eigenschappen van het buitentalud van de kering, met name de begroeiing / bekleding en de taludhelling.

Ten behoeve van de berekening van de golfrandvoorwaarden is een (maatgevend hoge) windsnelheid benodigd (zie par. B 1.5).

De golfoverslaghoogte kan worden berekend volgens het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken [TAW, 2002] met PC Overslag, al dan niet probabilistisch met behulp van Promotor. Voor de uitvoering van een eenvoudige beoordeling is een aantal tabellen en grafieken samengesteld waaruit de golfhoogten en golfoverslaghoogte eenvoudig kunnen worden afgelezen (zie bijlage 5). De golfhoogten en golfoverslaghoogten zijn bepaald voor alle combinaties van onderstaand beschreven variatie van de relevante kenmerken:

- | | | |
|----|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | het overslagdebiet: | 0,1 en 1,0 l/m/s; |
| 2. | de maatgevende windsnelheid: | 16, 22, 24, 26, 28, 30 en 32 m/s; |
| 3. | de waterdiepte: | variërend van 2 tot 10 m; |
| 4. | de helling van het buitentalud: | helling 1:2 en 1:3 (V:H); |
| 5. | de breedte van het water (loodrecht): | variërend van 10 tot 5000 m. |

Minimale waakhoogte

Uit proeven is gebleken dat overslag bij kleine golfhoogten niet snel tot schade aan de grasbekleding zal leiden. Op smalle wateren ontstaan geen hoge windgolven, tot een breedte van 25 m bedraagt de golfhoogte maximaal 0,25 m (bij een hoge windsnelheid van ca. 30 m/s). Zodoende voldoet op smallere wateren de kruinhoogte al bij een gering verschil tussen de kruinhoogte en de optredende waterstand tijdens de normsituatie. Bij beperkte kruinhoogte is dan al bijna sprake van overlopen. De beoordeling van de hoogte wordt zodoende kwetsbaar voor onzekerheden in de afleiding van de hydraulische belastingen. Zodoende moet een robuuste minimum eis voor de waakhoogte worden gehanteerd, afhankelijk van de betrouwbaarheid van de afleiding van de hydraulische belasting. Zie verder onderdeel 1 van de beoordeling in paragraaf D 1.2.

Relatie golfoverslag en overslagdebiet met andere faalmechanismen

Op smalle wateren kan bij een betrekkelijk geringe golfhoogte vanuit het oogpunt van erosie een hoog toelaatbaar overslagdebiet resulteren. Een deel van het overslaande water zal in het dijklichaam infiltreren. Dit kan leiden tot verzadiging van het dijklichaam en het ontstaan van een verzadigde topplaag. Bij een hoog overslagdebiet geldt ten aanzien van de beschouwing van de overige faalmechanismen dat:

- beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts en microstabiliteit rekening moet worden gehouden met een verhoging van de freatische grondwaterstand door infiltrerend water;
- nadrukkelijk gecontroleerd moet worden op evenwijdig afschuiven.

Aanvullend geldt dat bij een hoog overslagdebiet geen gebruik kan worden gemaakt van een benadering op basis van een reststerkte, omdat de resulterende onbedekte grond van de kering door het overslaand water versneld kan eroderen. Dit houdt in dat in combinatie met een overslagdebiet hoger dan 0,1 l/m/s:

- bij de beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts bij toepassing van de restbreedtebenadering en zoneringsmethode aanvullende voorwaarden worden gesteld (tot 1 l/m/s), of deze benaderingen zelfs niet mogen worden toegepast;
- bij de beoordeling van microstabiliteit de benadering met het restprofiel niet mag worden toegepast.

1.2. Opdrijven van veenlagen buitendijks

Indien een voorland overstroomt bij hoge waterstanden kunnen veenpakketten opdrijven. Van waterbodems is bekend dat soms bonken veen losraken en opdrijven, met name na baggeren treedt dit op. Door het opdrijven van veenpakketten of –bonken neemt de hydraulische weerstand van een voorland of waterbodem af, en kan de stijghoogte in zandlagen onder de waterkering toenemen. Een toename van de stijghoogte is van belang voor de beoordeling op opbarsten, piping en macrostabiliteit binnenwaarts.

Opdrijven van veenpakketten in het voorland of uit de waterbodem kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten als:

- de slecht doorlatende laag in het voorland of waterbodem geen mineraal-arme veenlagen bevat; of:
- aanwezige mineraal-arme veenlagen in de slecht doorlatende laag worden afgedekt met grondlagen (beneden een eventueel onderhouds- of baggerprofiel) met een gezamenlijke gewicht dat voldoende is om een opdrijfvermogen van 1 kN/m³ van de mineraal-arme veenlagen te weerstaan.

Opdrijven over grote oppervlakten lijkt alleen op te kunnen treden bij een niet-natuurlijke oorzaak, bijvoorbeeld indien door baggerwerkzaamheden of verdieping van een vaargeul een mineraalarme veenlaag niet meer wordt bedekt door materiaal met een hoger soortelijk gewicht. Spontaan opgedreven zgn. veenbonken of –eilanden hebben beperkte afmetingen (niet gedocumenteerde ervaringen).

Indien aanwezige mineraal-arme veenlagen kunnen opdrijven dient, bij de berekening van de stijghoogte, de dikte van de slecht doorlatende laag te worden gecorrigeerd. Belangrijk onderscheid is of na opdrijven nog een gedeelte van de slecht doorlatende laag resteert, met:

- A. na opdrijven resteert een gedeelte van de afdekkende slecht doorlatende deklaag;
- B. na opdrijven resteert geen slecht doorlatende deklaag.

Ad. A: Hiervan kan sprake zijn indien tussen de opgedreven mineraal-arme veenlaag en de zandondergrond zich nog slecht doorlatende (klei-) lagen bevinden.

**Uitgangspunt hierbij is dat eventueel baggerwerk nauwkeurig wordt uitgevoerd. Indien baggerwerk niet nauwkeurig wordt uitgevoerd (afwijking > 0,25 m), dan dient voor deze analyse als uitgangspunt voor de bodemdikte het baggerprofiel te worden gecorrigeerd met de nauwkeurigheidsmarge van het baggerwerk.*

Ad.B: Hiervan kan sprake zijn indien de zandondergrond zich direct onder de mineraal-arme veenlaag bevindt.

Het opdrijven van veenlagen uit een voorland of de waterbodem met beperkte afmeting leidt tot een geringe toename van de stijghoogte in de zandondergrond onder de dijk (zie kader). Zodoende wordt ten aanzien van het (kunnen) opdrijven van een veenlaag twee situaties onderscheiden:

- het opdrijven van een geheel pakket over een grote oppervlakte;
- het opdrijven van een geheel pakket over een kleine oppervlakte.

Bij de berekening van de stijghoogte gelden de aanwijzingen uit tabel C.1 voor het rekening houden met lokaal opdrijven van veenbonken of –eilanden. Deze aanwijzingen zijn gebaseerd op het veronderstelde effect van lokaal opdrijven, en zijn zodoende afhankelijk van het verschil tussen het toetspeil en de (aanwezige) stijghoogte in de ondergrond.

Tabel C.1 aanwijzingen voor het rekening houden met lokaal opdrijven van veenbonken of –eilanden.

Verskil tussen het toetspeil en de aanwezige stijghoogte in de zandondergrond	Effect lokaal opdrijven op stijghoogte onder de waterkering	Rekening houden met het lokaal opdrijven van veenbonken / -eilanden
< 1 m	Verwaarloosbaar	Nee
Tussen 1 en 2 meter	Verwaarloosbaar bij beperkte afmetingen van een opdrijvende veenbonk / -eiland	Nee, mits aangetoond wordt dat eventuele veenbonken / –eilanden een maximale afmeting van 10 x 10 (L x B, m2) hebben
> 2 meter	Niet zonder meer verwaarloosbaar	Wel rekening mee houden

Indien rekening moet worden gehouden met lokaal opdrijven kan de invloed op de stijghoogte worden berekend met een 2-dimensionale grondwaterstromingsmodel. Dit is een conservatieve aanpak, omdat hierbij wordt uitgegaan van een oneindig brede veenbonk / -eiland. Voor een minder conservatieve aanpak kunnen 3-dimensionale grondwaterstromingsberekeningen worden uitgevoerd.

Gat in afdekkende slecht doorlatende pakket met beperkte omvang

In 3-dimensionale grondwaterstromingsberekeningen is door Acacia [zie STOWA 2015] bepaald in welke mate de stijghoogte in de zandlaag onder en achter de dijk toeneemt bij verschillende afmetingen van een gat in het afdekkende slecht doorlatende pakket.

Deze berekeningen zijn gemaakt bij betrekkelijk ongunstige aannamen, zoals:

1. het gat bevindt zich direct bij de buitenteen van de dijk, waardoor de invloed op de stijghoogte onder dijk het grootst is (ten opzichte van een grotere afstand);
2. een hoge weerstand van het slecht doorlatende pakket (1000 dagen), waardoor een gat een relatief grote toename van de infiltratie van oppervlaktewater heeft;
3. een weerstandsvrij contact tussen het oppervlaktewater en de zandondergrond, de vorming van sliblaag met enige hydraulische weerstand is verwaarloosd.

Uit deze berekeningen blijkt dat de stijghoogte bij een gat met een afmeting tot (L x B) 10 x 10 m² slechts beperkt stijgt (de toename bedraagt minder dan 5 tot 10% van het verschil tussen de oorspronkelijke stijghoogte en de waterstand. Bij grotere afmetingen neemt de toename van de stijghoogte toe. Bij zeer grote afmetingen (60 x 20 m²) bedraagt de toename ca. 45% van het oorspronkelijke verschil.

⁹ Een rekenmethode hiervoor ontbreekt, het aantonen dient te geschieden op basis van (geregistreeerde) afmetingen van waargenomen veenbonken / -eilanden.

NOOT: het eventuele effect van een spleet langs een doorgaande oeverconstructie kan op basis van bovenstaande resultaten niet zonder meer worden verwaarloosd. Wel geeft dit aanleiding te veronderstellen dat het effect in veel situaties gering zal zijn. Een methode om de eventuele lengte van een spleet langs de oeverconstructie te bepalen ontbreekt echter, waardoor in dit geval geen maximale lengte kan worden afgeleid. Zodoende dient voor een spleet (ondanks de beperkte breedte) toch rekening te worden gehouden met het effect daarvan op de stijghoogte. Uitsluitend indien sprake is van een lokale oeverconstructie met een geringe lengte (kleiner dan 10 m) mag het effect van een spleet op de stijghoogte worden verwaarloosd. Voor overige situaties is het effect van een spleet op de stijghoogte met een 2-dimensionale grondwaterstromingsberekening te bepalen.



Foto C.1 Opgedreven veenbonk (foto Hoogheemraadschap Schieland & de Krimpenerwaard)

1.3. Piping / Heave

Het toetsproces van de beoordeling op piping en heave kent drie niveau's. In het eerste (eenvoudige) niveau wordt gecontroleerd of het mechanisme piping voor het betreffende kering relevant is. Op het tweede (gedetailleerde) niveau wordt het gevaar voor piping beoordeeld volgens een vastgestelde methode. Op een derde (geavanceerd) niveau wordt het gevaar voor piping beoordeeld op basis van specifieke methoden of bijzondere (lokale) kenmerken van de belasting en sterkte van de kering.

Voor een beschrijving van beide mechanismen wordt verwezen naar het onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [Deltares, 2012]. Nuttige informatie bij de uitwerking van dit beoordelingsspoor is beschreven in de zgn. Werkwijzer Piping bij Dijken [Min. I&M, 2014] en in de Schematiseringshandleiding die in het kader van het WTI wordt opgesteld.

Droogte

Voor sommige kaden geldt dat de opbarstveiligheid tijdens extreme droogte lager kan zijn dan tijdens de (standaard) beschouwde hoogwater (= natte) situatie. Indien de kering in deze situatie water keert, kan deze situatie uit oogpunt van piping maatgevend zijn ¹⁰. Voor deze kaden dient het gevaar voor piping tevens voor de situatie droogte te worden beoordeeld. Dit betreft kaden:

- I. waar de opbarstveiligheid van het afdekkende pakket afneemt tijdens droogte;
- II. die tijdens perioden van droogte waterkerende zijn.

Ad.II. een kering is waterkerend indien de waterstand tijdens perioden van droogte hoger is dan het maaiveldniveau in het achterland. Voor deze situatie dient te worden uitgegaan van een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar (1/1 per jaar).

Voor een realistische beoordeling van het mechanisme piping is een goede en nauwkeurige schematisering van groot belang. Speciaal vanwege het 2-dimensionale karakter van de beoordeling van piping dient een nauwkeurige en zo nodig gedetailleerde indeling in kadetrajecten te worden gemaakt. Grote variaties binnen een kadetraject in bijvoorbeeld het maaiveldniveau in het achterland of de dikte van de deklaag in zowel het achterland als het voorland of de waterbodem dienen te worden voorkomen. Zo nodig kan met een gevoeligheidsanalyse worden vastgesteld:

- in welke mate aanwezige variaties van invloed zijn op het resulterende oordeel; en op basis daarvan:
- welke mate van variaties binnen één schematisering acceptabel zijn cq. welke mate van verfijning van de indeling kadetrajecten nodig is.

Een generieke schematisering van één maatgevend profiel van een kadetraject voor de beoordeling van alle faalmechanismen is niet mogelijk. Bij de gedetailleerde beoordeling op piping dient het maatgevende profiel specifiek uit oogpunt van piping te worden gekozen. Kennis van de beheerder met het gedrag van de kering dient hierbij nadrukkelijk te worden betrokken. Het onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [Deltares, 2012] noemt enkele aandachtspunten voor veldonderzoek, de selectie en schematisering van een maatgevend dwarsprofiel.

Dit is tevens van belang uit oogpunt van de gekozen veiligheidsfilosofie. Gekozen is namelijk om (op dit moment) geen factor voor het lengte-effect te introduceren bij de beoordeling van piping voor regionale keringen. Deze keuze volgt uit de wens om in deze periode de veiligheidsfilosofie zo min mogelijk te wijzigen. In het kader van de actualisatie van de visie op de regionale keringen (in 2015) zal vooraleerst worden besloten over de aard van de normering (overschrijdingskans of overstromingskans / -risico), waarna een integrale aanpassing van de veiligheidsfactoren zal worden uitgewerkt. Verwaarlozing van het lengte-effect is acceptabel indien met grote zorg een (juist voldoende) veilige schematisering van het maatgevend profiel wordt opgesteld. Van belang daarbij is dat bij de beoordeling op piping het maatgevende profiel specifiek uit oogpunt van piping moet worden geselecteerd. Dit is niet per definitie een generiek gekozen maatgevend profiel. Zo nodig vergt dit een gedetailleerde indeling van een waterkering in kadetrajecten.

Specifiek bij regionale keringen – en speciaal boezem- en kanaalkaden – is een extra aandachtspunt de soms beperkte rol van de buitenwaterstand op de stijghoogte in de zandondergrond. binnendijs. Regionale grondwaterstroming kan een dominante invloed hebben, waardoor het denkbaar is dat bij hoge waterstanden geen (toename van de) grondwaterstroming onder de kade optreedt. Piping kan dan niet optreden. Zodoende wordt voor boezem- en kanaalkaden aanbevolen als onderdeel van de beoordeling op piping een geohydrologische analyse uit te voeren.

Ten aanzien van de gedetailleerde beoordeling van piping en de bepaling van de stijghoogte gelden onderstaande aanwijzingen voor optimalisatie van de uitgangspunten / schematisering.

¹⁰ Opgemerkt wordt dat tijdens perioden van droogte naast een lager gewicht van de deklaag ook sprake kan zijn van een verlaagd polderpeil (deels is dit aan elkaar gekoppeld).

Intredeweerstand voorland of waterbodem

Indien een slecht doorlatend pakket in het voorland of op de waterbodem niet voldoet aan de eisen voor het uitsluiten van een intredepunt, mag de aanwezigheid daarvan wel in rekening worden gebracht bij de nadere beschouwing van opbarsten, heave en piping. Hiertoe bestaan twee mogelijkheden:

- opnemen in de aanwezige kwelweglengte, als een effectieve kwelweglengte in het voorland; het reduceren van het aanwezig verval over de waterkering.

Benadrukt wordt dat deze optimalisaties niet gelijktijdig toegepast mogen worden.

Ad.1 Opnemen in kwelweglengte

Ook bij een geringere dikte heeft zo'n pakket invloed op de controle op piping, doordat het theoretische intredepunt voor de grondwaterstroming in de zandlaag van de dijk af wordt verplaatst (ten opzichte van een situatie zonder voorland cq. verwaarlozing van de aanwezigheid). Hiermee wordt de aanwezige kwelweglengte verlengd. De verlenging kan niet leiden tot een voorlandlengte groter dan de fysiek aanwezige (en beschermde) voorlandlengte.

Bij aanwezigheid van een slecht doorlatende deklaag in het voorland of op de waterbodem kan het intredepunt worden genomen op een afstand $L'1$ van de buitenteen [TAW, 1985]. Deze afstand kan als volgt worden berekend:

$$L'1 = \lambda_1 \tanh(L1/\lambda_1), \text{ met } \lambda_1 = \sqrt{kDc}$$

Met:

- $L1$: lengte voorland waarin afdekkende laag aanwezig is;
- kD de doorlatendheid en dikte van het zandpakket in het voorland;
- c de weerstand van de afdekkende slecht doorlatende laag in het voorland

Ad.2 Door de hydraulische weerstand van de deklaag in het voorland is de stijghoogte in de zandlaag nabij de buitenteen van de dijk lager dan de waarde die resulteert bij een verondersteld weerstandsvrij contact. Hierdoor is eveneens de gradiënt van de stijghoogte in de zandlaag onder de dijk geringer dan de gradiënt die volgt uit het verschil tussen toetspeil en polderpeil of maaiveld binnendijs. Voor de berekening van de stijghoogte in de zandondergrond nabij de buitenteen wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken [TAW, 2004].

Boezem- en kanaalkaden

Bij de uitwerking van deze mogelijkheid is het nuttig te beschikken over metingen van de stijghoogte in de zandondergrond. Aan de hand van deze metingen kan worden vastgesteld welk stijghoogte verloop onder normale omstandigheden aanwezig is, en welke weerstand de deklaag op de waterbodem of in het voorland biedt. Metingen onder dagelijkse / normale omstandigheden kunnen direct dienen voor afleiding van de weerstand en de gradiënt in de zandondergrond, indien geen afname van de intredeweerstand wordt verwacht (bijv. door erosie, opdrijven of baggeren). Indien wel rekening moet worden gehouden met een afname van de intredeweerstand, kunnen de metingen dienen bij grondwaterstromingsberekeningen.

Speciaal voor waterkeringen langs smalle wateren kan de tweede mogelijkheid interessant zijn, omdat de werkelijk aanwezige breedte van de waterbodem de grootte van de optimalisatie beperkt. In dergelijke gevallen zal de tweede mogelijkheid tot een grotere optimalisatie leiden.

¹¹ Opgemerkt wordt dat deze optimalisatie een ongevalideerde toepassing van de rekenmethode is, in onderzoeken naar piping (SBW – programma in het kader van WT12011) is uitgegaan van een weerstandsvrij contact tussen het oppervlaktewater en het grondwater in de zandlaag.

Onderhoudsprofiel tot in zandondergrond

Bij sommige regionale wateren (m.n. kanalen) reikt het onderhoudsprofiel tot in de zandondergrond. Indien bij de beoordeling van opbarsten, heave en piping de situatie na baggeren wordt beschouwd resulteert een schematisering met een weerstandsvrij contact tussen het boezemwater en het grondwater in de zandondergrond. Dit leidt tot een erg conservatieve schematisering bij de beoordeling op piping, omdat:

1. na baggeren de waterbodem betrekkelijk snel dicht slibt, en zich binnen enkele uren al een hydraulische weerstand vormt;
2. baggerwerkzaamheden normaliter niet worden uitgevoerd tijdens maatgevend hoogwatersituaties.

Ad. 1 De snelheid is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid slibdeeltjes in het oppervlaktewater en de aanvoer daarvan, de snelheid van infiltratie, het verschil tussen waterpeil en de stijghoogte in de zandondergrond en de mate waarin het water wordt vertroebeld (bijv. door scheepvaart). Ook de aard van de baggerwerkzaamheden heeft invloed op de vorming van een sliblaag, uit oogpunt van de snelle vorming van een sliblaag is schoon baggeren ongunstig.

Zodoende is voor deze situatie als optimalisatie toegestaan uit te gaan van een waterstand lager dan toetspeil. Deze waterstand dient te zijn onderbouwd met voorwaarden ten aanzien van het baggeren (aan de hand van een waterstand waarbij baggerwerkzaamheden worden stilgelegd).

Indien deze optimalisatie wordt toegepast dient aanvullend op piping te worden gecontroleerd voor de situatie tijdens toetspeil. Bij de berekening van de stijghoogte mag daarbij rekening worden gehouden met een minimale hydraulische weerstand van de waterbodem van 5 dagen.

1.4. Macrostabieliteit binnentalud

Nieuwe kennis

Ten aanzien van de berekening van de macrostabieliteit van waterkeringen is op dit moment sprake van een overgangssituatie. Vigerend (LTV2007, geïnspireerd op het VTV2006) is een gedraineerde stabiliteitsberekening gebaseerd op het Mohr-Coulomb model. Het WT12017 zal waarschijnlijk een nieuw materiaalmodel voor het karakteriseren van het gedrag van grond voorschrijven, gebaseerd op het Critical State Soil Mechanics model (CSSM) en de Stress History And Normalized Soil Engineering Properties (SHANSEP) methode. Voor grondsoorten met een relatief lange hydrodynamische periode in relatie tot de belastingduur dient daarbij de ongedraineerde (bezuig-) sterkte te worden gehanteerd. Voor een nadere toelichting van dit model en de verschillen met de vigerende aanpak wordt verwezen naar [Deltares, 2014a].

Op dit moment is binnen het WT12017 echter nog niet definitief besloten om het huidige Mohr-Coulomb model te vervangen door het nieuwe materiaalmodel. DGRW heeft aangegeven over te willen gaan op het nieuwe materiaalmodel indien wordt voldaan aan enkele voorwaarden die door ENW en WTI coördinatiegroep zijn gesteld. Die voorwaarden betekenen dat een aantal zaken inhoudelijk nog moeten worden uitgewerkt (in 2015), waarna besluitvorming plaats vindt.

Zodoende is het op dit moment niet opportuun om voor de regionale keringen deze overstap al wel te maken. Bovendien ontbreekt hiervoor nog een volledig set partiële veiligheidsfactoren, afgestemd op de veiligheidsfilosofie en de veiligheidsniveau's voor regionale waterkeringen. Een dergelijk set partiële veiligheidsfactoren is voor de primaire keringen in ontwikkeling (geplande oplevering: eind 2015). Definitieve overgang naar het nieuwe materiaalmodel (inclusief een volledige set partiële veiligheidsfactoren) kan voor de regionale waterkeringen waarschijnlijk pas na 2015 plaatsvinden.

Het nieuwe materiaalmodel heeft vergaande consequenties voor de beoordeling van de stabiliteit van een regionale kering. Vooraleerst omdat andere gegevens verzameld moeten worden (andere invulling van het grond- en laboratoriumonderzoek en de parameterbepaling). Maar ook omdat volgens dit model een andere stabiliteitsfactor resulteert. Uit een consequentieanalyse voor primaire keringen is gebleken dat ten opzichte van het Mohr-Coulomb model zowel hogere als lagere stabiliteitsfactor worden berekend [Deltares, 2014a]. Voor boezemkaden worden hogere stabiliteitsfactoren berekend [Geo, 2013]. Deze consequentie analyse betrof echter een beperkt aantal boezemkaden (weliswaar met enige diversiteit), het is zodoende beslist niet zeker dat dit beeld voor alle boezemkaden en de overige regionale waterkeringen geldt.

Het is niet mogelijk om in een beoordelingsschema voor de stabiliteit beide methoden toe te passen, bijv. op de verschillende niveau's van de toetsing. Vooraleerst omdat op voorhand niet zeker is welke methode leidt tot de laagste stabiliteitsfactor. Bovendien dienen verschillende parameters te worden verzameld in het grondonderzoek.

In deze Leidraad blijft vooralsnog de gedraineerde stabiliteitsberekening gebaseerd op het Mohr-Coulomb model vigerend. De sterkte eigenschappen van de grondlagen dienen daarbij te zijn bepaald met triaxiaal- en/of Direct Simple Shear - proeven

Conform ook het advies van het ENW wordt daarbij gewaarschuwd voor de waarschijnlijke overgang naar de methode op basis van de ongedraineerde (bezwijk-) sterkte en het CSSM – model. Vanwege de grote consequenties van een overgang is in deze leidraad een werkwijze voor de beoordeling van de stabiliteit van regionale keringen pragmatisch uitgewerkt. Deze werkwijze vormt geen alternatief voor de nu nog vigerende methode, maar dient om de waterkering beheerder tijdig te informeren over deze ontwikkeling (om desinvesteringen te voorkomen) en eventueel gewenste verkenningen van de consequenties van de nieuwe methode mogelijk te maken met een voorlopig beoordelingsschema. Dit voorlopige beoordelingsschema is beschreven in bijlage 10.

Onderstaand volgt een nadere toelichting bij de stappen 3 en 4 van de gedetailleerde beoordeling, betreffende:

- stap 3:
- keuze glijvlakmodel;
- stap 4:
- Materiaalfactor
- Schadefactor
- Modelfactor
- schematiseringsfactor

Nadere toelichting bij stap 3: keuze glijvlakmodel

Voor de berekening van de stabiliteit van een waterkering kan gebruik worden gemaakt van een analytisch glijvlakmodel of van een eindige elementen methode. In Nederland worden overwegend de glijvlakmodellen Bishop, Lift Van en Spencer - van der Meij toegepast.

Toepassing van een eindige elementen methode kan bijvoorbeeld nuttig zijn indien sprake is van een complexe geometrie van de waterkering met constructieve elementen, of indien gebruik wordt gemaakt van niet-stationair berekende waterspanningen. Bijkomend voordeel van een eindige elementen methode is dat geen glijvlak wordt opgelegd (zoals bij Bishop en UpliftVan), en dat de optredende vervormingen kunnen worden berekend. Aanwijzingen voor de toepassing voor een eindige elementen methode zijn beschreven in het Technisch Rapport Analyse Macro stabiliteit Dijken met Eindige Elementen Methode [Deltares, 2010]. Toepassen van de EEM stelt aanvullende eisen aan de aard en omvang van geotechnische parameters.

Van belang bij een keuze voor een glijvlakmodel is onder andere:

- het opbarsten/opdrijven van een afdekkend pakket slecht doorlatende lagen in het achterland Bishop is dan minder geschikt, en heeft LiftVan en/of Spencer-van der Meij de voorkeur. Indien in deze situatie erg lage veiligheidsfactoren ($<0,5$) resulteren, bijvoorbeeld vanwege de reductie van de sterkte, bestaat echter de kans op een irreëel glijvlak volgens de methode Spencer – van der Meij.
- de aanwezigheid van dunne (relatief) slappe grondlagen Bishop is dan minder geschikt, omdat niet-cirkelvormige glijvlakken door de slappe grondlaag maatgevend kunnen zijn.

Meer informatie over glijvlakmodellen en de keuze daarvan is beschreven in de Schematiseringshandleiding Macrostabiteit (Min. I&M, 2016).

In de modellen Bishop en LiftVan worden niet alle krachten en momenten op de drukstaaf meegenomen. Met name het model Bishop en in mindere mate LiftVan benaderen daardoor de werkelijkheid minder goed dan het model Spencer – van der Meij.

Bij Lift-Van is recentelijk het horizontale- en momentenevenwicht toegevoegd op de drukstaaf. Het gevolg hiervan is dat Lift-Van bij een cirkelvormig glijvlak een andere (veelal lagere) veiligheidsfactor geeft dan Bishop.

Voor de beoordeling van de binnenwaartse stabiliteit van regionale keringen worden de modellen Spencer – van der Meij en UpliftVan aanbevolen. Wanneer twijfel bestaat over de juistheid van een berekening cq. het gevonden maatgevende glijvlak volgens het rekenmodel Spencer – van der Meij, wordt geadviseerd tevens een berekening te doen volgens de methode LiftVan, en visa versa. In dergelijke gevallen verdient het aanbeveling deze uitkomst met een realistisch glijvlak te hanteren als eindresultaat van de stabiliteitsberekening.

Aanwijzingen voor zo'n controle zijn beschreven in [Deltares, 2014b].

Modelkeuze controle op horizontaal evenwicht

Voor de controle van het horizontaal evenwicht van droogtegevoelige waterkeringen moet het glijvlakmodel Spencer – Van der Meij worden gebruikt. Dit model beschouwt voor de afzonderlijke lamellen het volledig krachten- en momentenevenwicht en doet daarmee het meest recht aan de werkelijkheid.

Een analyse op de geschiktheid van de beschikbare rekenmodellen voor de controle op horizontale stabiliteit [Deltares, 2014b] wijst uit dat het rekenmodel Horizontal Balance onvoldoende geschikt is. Het model beschouwt slechts de horizontale waterkrachten en negeert daarbij de gronddrukken (zowel actief als passief) evenals het verticale- en momentenevenwicht. Hierdoor geeft het model een zeer conservatieve ondergrens van de sterkte. Het gebruik van het rekenmodel Horizontal Balance wordt daarom afgeraden voor de controle op het horizontaal evenwicht van regionale waterkeringen.

Nadere toelichting bij stap 4: Materiaalfactor

De materiaalfactor is afhankelijk van de gekozen wijze voor de stabiliteitsanalyse. Onderscheid wordt gemaakt in de vigerende werkwijze conform het Mohr-Coulomb materiaalmodel. Afhankelijk van de gekozen werkwijze moet de juiste set materiaalfactoren worden gehanteerd. Zie hieronder.

Toepassing Mohr-Culomb model met gedraineerde parameters

Op dit moment bestaan verschillende sets materiaalfactoren afgestemd op de gedraineerde stabiliteitsberekeningen volgens het Mohr-Coulomb materiaalmodel. Dit betreft:

1. de groene versie schrijft (gebaseerd op het VTV2006) de materiaalfactoren voor zoals beschreven in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2001]. Deze materiaalfactoren zijn inmiddels aangepast, de aangepaste waarden zijn beschreven in een addendum [ENW, 2007];

2. het Addendum Boezemkaden biedt aanvullend de mogelijkheid om uit te gaan van de materiaalfactoren die specifiek voor boezemkaden zijn afgeleid. Toepassing van deze materiaalfactoren is uitsluitend toegestaan in combinatie met het hanteren van een schematiseringsfactor (zie ook verder in deze paragraaf).

Bij toepassing van het Mohr-Coulomb model moeten de volgende materiaalfactoren worden toegepast:

- keringen langs regionale rivieren: tabel C.2 (conform Add. TRWG [= ENW, 2007]);
- compartimenteringskeringen: tabel C.2 (conform Add. TRWG [= ENW, 2007]);
- boezem- en kanaalkaden : tabel C.3 (conform Addendum LTV [STOWA, 2010]).

Gezien de waarschijnlijke overgang naar een nieuwe methode wordt, om onnodig werk te voorkomen, opgemerkt dat eerder geaccepteerde werkwijzen (bijv. voor boezemkaden met materiaalfactoren conform de groene versie) niet per definitie moeten vervallen. In overleg met de toezichthouder kan worden besloten deze resultaten voorlopig te accepteren.

Tabel C.2 Materiaalfactoren regionale waterkeringen uit het Addendum TRWG [ENW, 2007].

Grondsoort en parameter			Variatie-coëfficiënt V	γ_m
volumieke massa nat/droog		(ρ)		1,0
klei	(TP-CU-5%) - cohesie - inwendige wrijving	(c)	0,45	1,25
		($\tan \phi$)	0,20	1,20
veen	(TP-CU-5%) - cohesie - inwendige wrijving	(c)	0,80	1,50
		($\tan \phi$)	0,25	1,25
zand	(TP-CD) - cohesie - inwendige wrijving	(c)	n.v.t.	n.v.t.
		($\tan \phi$)	0,15	1,20

TP-CU-5% = triaxiaalproef, geconsolideerd en ongedraineerd, met 2 à 5% ver-vorming

TP-CD = triaxiaalproef, geconsolideerd en gedraineerd

Bij aantoonbaar lagere variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kunnen aangescherpte materiaalfactoren worden afgeleid. Bijvoorbeeld in het geval van natuurlijke niet-organische klei, waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk $V_c \leq 0,275$ en $V_\phi \leq 0,15$, geldt $\gamma_{m,c} = 1,15$ en $\gamma_m, \tan \phi = 1,15$

¹² Indien de waterstand op een kanaal afvoergedomineerd is, dienen de kanaalkaden als keringen langs een regionale rivier te worden beschouwd, en de bijbehorende materiaalfactoren te worden gehanteerd.

Tabel C.3 Materiaalfactoren voor boezemkaden (uit: Materiaalfactoren boezemkaden [STOWA, 2009])

Grondsoort en parameter			Variatie-coëfficiënt V	γ_m
alle grondsoorten	Volumieke massa nat/droog	(ρ)		1,0
klei	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,45	1,20
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,20	1,15
veen	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,80	1,35
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,25	1,15
zand	(TP-CD)			
	- cohesie	(c)	n.v.t.	n.v.t.
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,15	1,15

TP-CU-5% = triaxiaalproef, geconsolideerd en ongedraineerd, met 2 à 5% vervorming

TP-CD = triaxiaalproef, geconsolideerd en gedraineerd

Bij aantoonbaar lagere variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kunnen aangescherpte materiaalfactoren worden afgeleid. Bijvoorbeeld in het geval van natuurlijke niet-organische klei, waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk $V_c \leq 0,275$ en $V_\phi \leq 0,15$, geldt $\gamma_{m,c} = 1,10$ en $\gamma_{m,\tan \phi} = 1,10$. Voor veen waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk $V_c \leq 0,45$ en $V_\phi \leq 0,20$, geldt $\gamma_{m,c} = 1,20$ en $\gamma_{m,\tan \phi} = 1,15$.

De materiaalfactor is tevens afhankelijk van de laboratoriumproef. In deze tabellen ontbreekt nog een materiaalfactor voor veen indien de sterkte is bepaald met Direct Simple Shear proeven. Teneinde de toepassing van DSS proeven binnen de vigerende werkwijze mogelijk te maken, zijn materiaalfactoren voor de direct simple shear proeven vastgesteld. De waarden zijn pragmatisch vastgesteld, gebaseerd op overleg met Deltares. De keuze van deze materiaalfactoren (incl. het maximale rekniveau) leidt tot conservatieve (= lage) rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen.

Voor de vaststelling van de rekenwaarden van de schuifsterkte parameters voor veen op basis van DSS proeven (bij max. 40% schuifrek) moet worden uitgegaan van de volgende materiaalfactoren:

- cohesie: 1,5
- tangens ϕ : 1,2

Deze waarden zijn gebaseerd op:

- cohesie: NEN 6740
- tangens ϕ : op basis van:
- γ_{m1} voor de beproevingsmethode: gelijk aan 1,0 gesteld.
- γ_{m2} voor de beschrijving van het materiaalgedrag: volgens TAW-Leidraden

Deze waarden zijn relatief conservatief. Voor een specifieke proevenverzameling is aanscherping mogelijk, dit vergt maatwerk en is niet in deze Leidraad beschreven.

Nadere toelichting bij stap 4: Schadefactor

De schadefactor is afhankelijk van het type regionale waterkeringen en de veiligheidsnorm daarvan. Voor

boezemkaden en keringen langs regionale rivieren varieert de waarde van de schadefactor van 0,8 tot 1,0, bij resp. een overschrijdingsfrequentie van 1/10 tot 1/1.000 (zie tabel C.4).

Voor compartimenteringskeringen geldt een (standaard-) waarde 1,0, deze waarde is niet afhankelijk van de norm van de compartimenteringskering ¹³.

In heel bijzondere situaties is aan regionale keringen een veiligheidsnorm van 1/1250 toegekend, voor deze keringen dient een schadefactor van 1,1 te worden gebruikt.

Tabel C.4 Vereiste schadefactor stabiliteit binnentalud – boezemkaden en keringen langs regionale rivieren

Normfrequentie waterkering [1/jaar]	Schadefactor [-]
1/10	0,8
1/30	0,85
1/100	0,9
1/300	0,95
1/1000	1,0
1/1250	1,1

Nadere toelichting bij stap 4: Modelfactor

De modelfactor is afhankelijk van het rekenmodel en het toegepaste model voor grondgedrag. Bij de huidige werkwijze met gedraineerd grondgedrag wordt aanvullend onderscheid gemaakt in het al dan niet optreden van opdrijven/opbarsten van de deklaag in het achterland. Onderstaande tabel presenteert de modelfactoren.

Tabel C.5 Modelfactoren bij toepassing van het Mohr-Coulomb materiaalmodel (gedraineerd grondgedrag)

Rekenmodel / stabiliteitsanalyse	Modelfactor ¹⁴	Bron
Bishop	1,0	VTV2006 (vigerend)
LiftVan	1,05	VTV2006 (vigerend)
EEM – Mohr Coulomb	1,0	VTV2006 (vigerend)
Spencer – Van der Meij zonder opdrukken	0,95	Concept TR Macro stabiliteit (niet vigerend)
met opdrukken	1,05	Concept TR Macro stabiliteit (niet vigerend)

Nadere toelichting bij stap 4: Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor verdisconteert onzekerheden in de gehanteerde veilige schematisering van uitgangspunten bij de stabiliteitsbeoordeling ten aanzien van de geometrie, bodemopbouw en waterspanningen. De waarde varieert tussen 1,2 en 1,0. Bijlage 2 presenteert een werkwijze voor de afleiding van de schematiseringsfactor voor regionale keringen.

De schematiseringsfactor gaat niet over uitgangspunten maar over schematiseringsfouten/-keuzen.

¹³ Deze waarde is gekozen vanwege het betrekkelijk grote belang wat een compartimenteringskering mogelijk beschermt, in combinatie met de aard van het overstromingswater (buitenwater).

¹⁴ Dit betreft de totale rekenmodelfactor, deze waarde is het product van enerzijds onzekerheden in het rekenmodel en anderzijds een 3D-effect.

1.5. Macrostabiliteit buitentalud

Specifiek voor permanent waterkerende boezem- en kanaalkaden gelden de volgende opmerkingen ten aanzien van de aanvullende oorzaken voor instabiliteit van het buitentalud en de schematisering van de belasting.

- Laag water door natuurlijke variatie

Qua waterstand is sprake van een laag boezempeil. Daarbij geldt dat de freatische lijn in het kadelichaam eveneens laag zal zijn indien de lage waterstand wordt veroorzaakt door droogte. Indien de oorzaak afwaaiing betreft dient te worden uitgegaan van een gemiddelde grondwaterstand. Verder dient alleen voor kaden met een verkeersweg een reguliere (= behorende bij de verkeersklasse) verkeersbelasting te worden gehanteerd, met het transport van materiaal / materieel in het kader van noodmaatregelen hoeft geen rekening te worden gehouden. Eventuele maatregelen voor het herstel van de kaden worden verondersteld na afloop van de laagwaterperiode te worden uitgevoerd.

- Laag water door een val van de buitenwaterstand na een calamiteit elders

Qua waterstand is sprake van een extreem laag boezempeil. Dit betreft het boezempeil zoals dat optreedt tijdens de overstroming zelf, en niet de waterstand die zich uiteindelijk weer instelt na het volledig overstroomd van de polder. De grootte van de daling is met name afhankelijk van de afstand van de kade tot de bres. Meest conservatief is uit te gaan van een zeer geringe waterdiepte in de boezem. Het boezempeil tijdens deze situatie kan door een specifieke berekening worden bepaald. Verder dient voor deze situatie worden uitgegaan van een hoge ligging van de freatische lijn in het kadelichaam (meest conservatief, situatie met een calamiteit tijdens een hoogwatersituatie). Met het transport van materiaal / materieel in het kader van noodmaatregelen dient uitsluitend rekening te worden gehouden indien het calamiteitenplan voor de polder waar de calamiteit is opgetreden voorziet in het transport van materiaal / materieel over de beschouwde kade. In de overige gevallen dient de verkeersbelasting conform de verkeersklasse van de weg te worden gehanteerd. Zie voor de schematisering van de verkeersbelasting de aanwijzingen in par. 1.5.1 van module B.

- Zwaar verkeer

Qua waterstand dient te worden uitgegaan van streefpeil. Daarbij moet worden uitgegaan van een hoge ligging van de freatische lijn in het kadelichaam. Voor de schematisering van de verkeersbelasting gelden de aanwijzingen zoals beschreven in par. 1.5.1 van module B.

Ter overweging wordt de waterkeringbeheerder aanbevolen na te gaan of op enigerlei wijze de situatie met een reguliere verkeersbelasting op een kwalitatieve wijze kan worden beoordeeld, bijvoorbeeld op basis van bewezen sterkte (betreffende een verkeersbelasting). Belangrijke voorwaarden voor de kansen op een succesvolle toepassing hiervan zijn:

- o inspectie van de kade toont de langjarige afwezigheid van faalverschijnselen aan;
- o tot de peildatum neemt de sterkte van het buitentalud niet af;
- o tot de peildatum neemt de belasting van het buitentalud niet toe.

Schadefactor

Een differentiatie tussen de binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit is niet gemaakt. Bij het gedetailleerd toetsen van de stabiliteit buitenwaarts gelden dezelfde schadefactoren als voor de stabiliteit binnenwaarts.

1.6. Stabiliteit voorland

Nieuwe kennis

Het belangrijkste resultaat van kennisontwikkeling in het kader van het WTI2017 is een aanvulling van de gedetailleerde en geavanceerde toetsing voor wat betreft het bepalen van de kans op het falen van een dijk ten gevolge van een zettingsvloeiing. Het gaat daarbij zowel om een bepaling van de kans op het optreden van een zettingsvloeiing als de kans dat de inscharingslengte een kritieke waarde overschrijdt. De statistiek bij deze 'kansbepalingen' is vooral ontleend aan ervaringen / waarnemingen uit Zeeland. De werkwijze in de Handreiking is zodoende weinig bruikbaar voor regionale waterkeringen, bijvoorbeeld omdat:

- de dynamiek van de geulen in een getijdegebied afwijken van de dynamiek van een eventuele geul in een regionaal watersysteem;
- de zandgradatie mogelijk afwijkt van het veelal betrekkelijk fijne zand in Zeeuwse vooroevers.

Voor een toepassing van de Handreiking in andere gebieden dient de methode te worden vertaald. De Handreiking noemt daartoe enkele (voorlopige) voorstellen waarmee de gedetailleerde toetsing vertaald kan worden voor situaties die afwijken van de vooroevers langs de Zeeuwse getijdegeulen.

Instabiliteit van het voorland kan de standzekerheid van een waterkering bedreigen, indien dit leidt tot een inscharing tot in of vlakbij de waterkering. Zodoende vormt een beoordeling van het voorland onderdeel van de toetsing op veiligheid van primaire keringen.

Voor de beoordeling van regionale waterkeringen is instabiliteit van het voorland in de meeste gevallen geen relevant beoordelingsaspect, eenvoudigweg omdat:

- een regionaal watersysteem een beperkte breedte en diepte heeft;
- geen diepe geul of ontgraving aanwezig is.

Op voorhand kan instabiliteit van het voorland echter niet worden uitgesloten, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een diepe zandwininput. Zodoende is het voorland toch onderdeel van de toets op veiligheid van regionale keringen.

In veel gevallen zal de beoordeling betrekkelijk eenvoudig zijn, bijvoorbeeld indien (diepe) geulen afwezig zijn, of indien het voorland geen verwekingsgevoelig materiaal bevat. Uitsluitend indien een geul aanwezig is met een diepte die groter is dan 9 meter dient de stabiliteit van het voorland te worden getoetst.

De beoordeling van de stabiliteit van het voorland richt zich op twee mechanismen: afschuiving en zettingsvloeiing. De beoordeling is voor beide mechanismen vergelijkbaar, en betreft achtereenvolgens een beoordeling of het optreden van beide mechanismen:

- op basis van geometrische kenmerken schadelijk kan zijn;
- op basis van geotechnische kenmerken kan worden uitgesloten.

Benadrukt wordt dat in alle gevallen op afschuiving moet worden getoetst, óók als vaststaat dat het voorland verwekingsgevoelig materiaal bevat. Het is namelijk mogelijk dat het mechanisme afschuiving maatgevend is boven het mechanisme zettingsvloeiing.

Indien een voorland ontbreekt dient de stabiliteit van het buitentalud te worden getoetst (zie par. 6.8).

¹⁵ Enkele ervaringen met zandwinputten uit andere delen van het land zijn wel bekend, maar niet gedetailleerd betrokken in de studie

Ten aanzien van de stabiliteit van het voorland is in het kader van het WTI2011 bestaande kennis geschikt gemaakt voor (de ontwikkeling van) een gedetailleerde toetsregel. Deze kennis is gericht op het mechanisme zettingsvloeiing, en is uitgebracht in een handreiking voor het opstellen van het beheerdersoordeel [MVenW, 2012], omdat deze nieuwe kennis destijds nog niet was vastgelegd in een gevalideerd Technisch Rapport. Uiteindelijk is in het kader van het WTI2011 geen nieuw Voorschrift Toetsen op Veiligheid uitgebracht, evenmin is de kennis in een nieuw Technisch Rapport vastgelegd.

Op dit moment is de aanpak in het VTV2006 dus vigerend voor de beoordeling van de stabiliteit van het voorland. Zodoende wordt in deze Leidraad verwezen naar de beschrijving in het VTV2006, met een enkele verwijzing naar de nieuw ontwikkelde kennis.

Het toetsschema voor beide mechanismen kent drie niveau's. Onderstaand volgt een korte samenvatting van de werkwijzen per niveau. Voor een uitgebreide beschrijving van de werkwijze wordt verwezen naar het VTV2006.

2. SPECIFIEKE OPMERKINGEN PER TYPE REGIONALE KERING

2.1. Boezem- en kanaalkaden

Belastingssituatie voor beoordeling stabiliteit buitentalud

Macro-instabiliteit van het buitentalud kent een aantal denkbare oorzaken:

1. extreem laagwater door natuurlijke variatie (bij boezemkaden en rivierkeringen);
2. val van het waterpeil door een calamiteit elders;
3. verdieping van waterbodembodem of vooroever (door baggeren en/of erosie) en schade aan oeverconstructie;
4. extreme verkeersbelasting;
5. extreem laagwater door (tijdelijke) verlaging van de waterstand door menselijke activiteiten.

Deze situaties worden onderstaand nader beschreven.

Extreem laagwater door natuurlijke variatie

Een extreem laagwater door natuurlijke variatie kan voorkomen in perioden met geringe neerslag of droogte, in combinatie met extreme afwaaiing. Omdat dan de steundruk van het water tegen het buitentalud minimaal is kan deze situatie mogelijk maatgevend zijn voor de buitenwaartse macrostabiliteit. Hierbij wordt opgemerkt dat extreme droogte juist ook weer een gunstig effect kan hebben op de macrostabiliteit omdat dit normaal gesproken leidt tot een lagere ligging van de freatische lijn in de waterkering. Aanbevolen wordt om voor de bepaling van het laagwater uit te gaan van een laag waterpeil, met een onderschrijdingsfrequentie van eens per jaar, verminderd met een toeslag voor extreme afwaaiing (deze toeslag dient lokaal te worden bepaald specifiek voor het betreffende watersysteem, door de beheerder).

Deze situatie mag als niet relevant worden beschouwd indien de laagwaterstand minder dan 0,3 m beneden streefpeil is. De onderbouwing (uitsluitend kwalitatief) bij dit criterium is dat bij deze geringe daling:

1. de stabiliteit in enige mate bewezen is, omdat geringe dalingen vaker voorkomen;
2. naar verwachting sprake zal zijn van kleine glijcirkels, en daarmee een geringe aantasting van het waterkerend vermogen van de kade bij een eventuele afschuiving.

Punt 1 is pragmatisch afgeleid. Hierbij is het van belang dat tot de peildatum de sterkte van het buitentalud niet afneemt, en de belasting niet toeneemt. Voorwaarden bij de toepassing zijn zodoende:

- ter plaatse van het buitentalud zijn gedurende meerdere tenminste 5 jaren geen faalverschijnselen waargenomen die duiden op onvoldoende stabiliteit buitenwaarts;
- tot de peildatum wordt geen afname van de sterkte verwacht, zoals bijvoorbeeld een versteiling van het buitentalud of verdieping van de bodem;
- tijdens de extreem laag water situatie is de bovenbelasting niet hoger dan onder normale omstandigheden;
- tot de peildatum wordt geen toename van de bovenbelasting verwacht.

Indien niet aan deze voorwaarden wordt voldaan, dient voor deze oorzaak de stabiliteit wel te worden beschouwd.

Val van het waterpeil door een calamiteit elders

Met een calamiteit elders wordt voornamelijk bedoeld op een dijkbreuk elders. Om de controle van de stabiliteit van het buitentalud na een val door dijkbreuk elders te kunnen maken dient een inschatting te worden gemaakt van de mate waarin het waterpeil na een dergelijke gebeurtenis kan dalen. Indien deze situatie relevant is, zal de waterstandsval door deze oorzaak veelal maatgevend zijn boven die door natuurlijke waterstandsvariatie. Dit is bijvoorbeeld bij boezemkaden het geval als aan dezelfde boezem polders grenzen met een lagere IPO-klasse en als niet of onvoldoende op mogelijkheden tot compartimentering van de boezem kan worden gerekend bij falen.

De stabiliteit van het buitentalud bij een val van de waterstand door een calamiteit elders is alleen relevant indien de val van de waterstand ter plaatse van de kade groot is. Daarbij moet dan tevens de resterende waterstand na de calamiteit een serieuze belasting voor de kade vormen. Dit kan het geval zijn indien:

- in de nabijheid van de beschouwde kade (en aan hetzelfde boezem- / kanaalstelsel) zich kleine waterbergingsgebieden bevinden, of zich kleine polders bevinden met een veiligheidsnorm die tenminste 2 normklassen lager is (een factor 10 in overschrijdingskans); en;
- niet of onvoldoende op mogelijkheden tot compartimentering van de boezem of het kanaal kan worden gerekend.

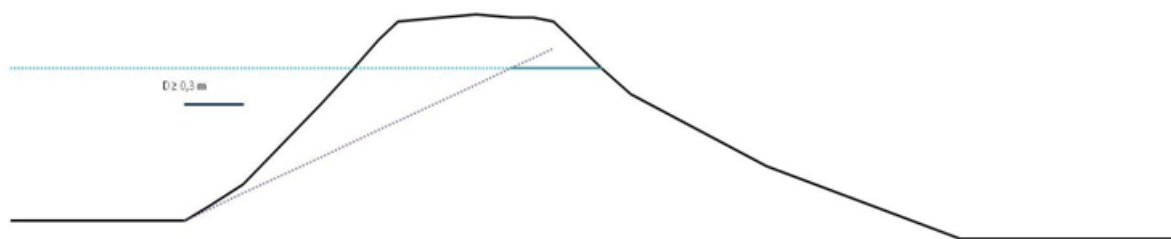
Vertaald in een toetsschema hoeft een val van het waterpeil door een calamiteit elders niet te worden beschouwd indien wordt voldaan aan één van de volgende voorwaarden:

1. aan dezelfde boezem of kanaal bevindt zich geen waterbergingsgebied (of een polder) met een veiligheidsnorm die tenminste een factor 10 lager is;
2. de daling van de waterstand ter plaatse van de beschouwde kade is minder dan 0,3 m, doordat een waterbergingsgebied of een polder met lagere veiligheidsnorm zich op een voldoende grote afstand bevindt;
3. een nabij gelegen waterbergingsgebied of polder met lagere veiligheidsnorm heeft een dusdanig grote waterberging dat na resp. de inzet of overstrooming in het boezemstelsel (inclusief eventuele compartimentering) een voldoende lage waterstand resteert.

Ad.3 Een waterstand is voldoende laag indien deze zich 0,3 m bevindt onder het niveau waarbij de restbreedte van de kade tenminste 1,5 m bedraagt. Het niveau waarop de restbreedte van een theoretische kruin nog juist 1,5 m bedraagt kan worden bepaald aan de hand van een theoretisch profiel met een 1:4 helling van het buitentalud vanaf de buitenteen of eventueel aanwezige oeverconstructie (zie figuur C.2). Daarbij geldt ten aanzien van de opbouw van het kadelichaam het volgende:

- indien het kadelichaam is opgebouwd uit klei waarvan de ongedraineerde schuifsterkte c_u [in kPa] groter is dan 3,5 maal de kerende hoogte [in meters], mag worden uitgegaan van een helling van 1:2;
- indien het kadelichaam is opgebouwd uit zand wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking een helling van 1:7 te worden gehanteerd;
- indien sprake is van een heterogeen opgebouwd kadelichaam dient te worden uitgegaan van de maatgevende grondsoort.

Bij deze restbreedte is geen reserve aanwezig ter compensatie van verdere erosie door golfaanval of langsgstroming, zodat rekening moet worden gehouden met het treffen van (nood-) maatregelen.



Figuur C.2 Bepaling toelaatbare lage waterstand

Benadrukt wordt dat met de resterende lage waterstand bedoeld is de waterstand na volledige overstrooming van het waterbergingsgebied of de polder, en niet de waterstand in de boezem tijdens het volstromen van het waterbergingsgebied of de polder.

Verdieping van waterbodem of vooroever

Significante verdieping van de vooroever kan ondermijning van de buitenwaartse macrostabiliteit veroorzaken. Aangenomen mag worden dat dit met een voldoende adequaat beheer wordt voorkomen. Hiermee hoeft zodoende geen rekening te worden gehouden.

Bij een eerste toetsing is het wel van belang hier aandacht aan te besteden. Ook dient monitoring van de waterbodem en het onderwatertalud onderdeel uit te maken van de reguliere inspectie van de waterkering, in het bijzonder op die trajecten waarvan bekend is dat erosie van het onderwatertalud plaatsvindt, bijvoorbeeld door stroming of scheepvaart. Dit houdt in dat inspecties gericht moeten zijn op het onderwatertalud en – bodem, en dat de toetsing aandacht dient te besteden aan de resultaten van dergelijke inspecties. Ofwel, het niet relevant zijn van deze oorzaak dient onderbouwd te worden in de rapportage, aan de hand van metingen en/of verwachte veranderingen van het onderwaterprofiel.

Extreme verkeersbelasting

Bij de beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit dient deze belasting niet in rekening te worden gebracht, tenzij door de beheerder wordt aangegeven dat verkeersbelasting ter plaatse tijdens de normsituatie niet uitgesloten kan worden. Aldus geldt ten aanzien van extreme verkeersbelasting:

- algemeen: dat het calamiteitenplan ten behoeve van noodmaatregelen dient te voorzien in alternatieve transportroutes / methoden voor het transport van materieel / materiaal.
- kaden met een verkeersweg: dat tijdens de normsituatie een verkeersverbod moet gelden.

Extreem laagwater door (tijdelijke) verlaging van de waterstand door menselijke activiteiten

Voor bijvoorbeeld onderhoud of kadeverbetering komt het voor dat de waterstand in een boezem of een kanaal tijdelijk wordt verlaagd. Uitgangspunt is dat de eventuele gevolgen van dergelijke ingrepen voor de waterkering worden beoordeeld op basis van het aanvragen van een ontheffing, en dat potentieel schadelijke tijdelijke verlagingen hiermee worden voorkomen. Het optreden van een dergelijke situatie hoeft daarom niet bij de toets op veiligheid te worden beschouwd.

2.2. Veenkaden

Definitie veenkade

Deze Leidraad geeft een aanscherping van de definitie van een veenkade, voor de vaststelling of sprake is van een veenkade. Voorts wordt de mogelijkheid geïntroduceerd om op een meer gedetailleerde wijze te bepalen of een veenkade droogtegevoelig is.

Aangescherpte definitie ‘veenkade’

Kade waarbinnen zich materiaal met een dikte van minimaal 0,5 m bevindt dat kan worden geclassificeerd als veen of als klei met bijbestanddeel ‘sterk humeus’ of bijmenging van veensporen (vastgesteld conform NEN 5104 op basis van de organische stof-lutum-silt+zand-driehoek), waarbij geldt dat het materiaal:

- een verzadigd volumegewicht heeft kleiner dan of gelijk aan 13,5 kN/m³ (conform NEN 5110); OF:
- een watergehalte heeft van meer dan 120%.

In deze definitie blijft de afmeting van kade ongewijzigd, zijnde het grondmassief dat wordt begrensd:

- aan de onderzijde: door het niveau ‘polderpeil minus 1 m’;
- aan de buitenzijde: door de buitenteen;
- aan de binnenzijde: door een kwelsloot, danwel bij ontbreken daarvan door een verticale lijn op een afstand van vier maal de kerende hoogte uit de binnenteen.

Classificatie van veen

Gebleken is dat de toekenning van sterkte-eigenschappen van veen complex is. Daarbij is geconstateerd dat het verstandig is om veen gedetailleerd te classificeren, rekening houdend met de botanische samenstelling en de verweringsgraad. Deze classificatie is beschreven in het Technisch Rapport Geotechnische Classificatie van Veen [TAW, 1996]. Aanbevolen wordt bij grondonderzoek deze gedetailleerde classificatie toe te passen. Bij de uitwerking van de toets op veiligheid (de schematisering van de bodemopbouw en de indeling van een regionale proevenverzameling) is een gedetailleerde indeling in veensoorten geen vereiste.

Sterkte van veen

In de afgelopen periode is veel kennis ontwikkeld omtrent de sterkte van veen en de stabiliteit van dijken op veen, o.a. in opdracht van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijkswaterstaat. In het STOWA Veenkaden onderzoek en het Ontwikkelingsprogramma zelf is eveneens aandacht besteed aan de sterkte van veen. In een samenwerking tussen een aantal provincies, waterschappen, de TU Delft en marktpartijen, wordt gestreefd deze nieuwe kennis (en andere inzichten) te valideren in een praktijkproef, door het laten bezwijken van een boezemkade op veen in de Leendert de Boerspolder.

Het verdient aanbeveling de sterkte van veen in het laboratorium te bepalen met zgn. Direct Simple Shear – proeven. Voor een goede uitvoering van deze (en andere) proeven is een protocol voor de uitvoering van dergelijke proeven opgesteld [STOWA, 2015]. Ook is een notitie opgesteld voor waterkeringbeheerders voor een goed begrip van deze proeven [STOWA, 2015].

Veel van deze aanwijzingen zijn, al dan niet geactualiseerd op basis van o.a. de consequentie analyse ongedraineerde stabiliteitsanalyses, overgenomen in de zgn. Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit (uit te brengen in het kader van het WTI2017) en de handleiding Parameterbepaling Macrostabiliteit [Deltares/RWS, i.o.].

Tenslotte is een structuur voor een database opgesteld, voor de opslag van resultaten van laboratoriumproeven. Doel van deze database is de gemeenschappelijke opslag en interpretatie van laboratoriumproeven, door verschillende waterkeringbeheerders. Voor nadere informatie over deze database en het gebruik daarvan wordt verwezen naar de Expertgroep Geotechniek (contact STOWA).

2.3. Droogtegevoelige waterkeringen

Normering belastingsituatie droogte

In het Ontwikkelingsprogramma is vastgesteld dat de situatie droogte genormeerd kan worden (incl. indicator, zie ORK, 2015). Echter, voor elke duur van een periode van droogte geldt een andere ernst van de droogte. De berekening van de verdroging van een kade (daling grondwaterstand) kan niet goed worden gekoppeld aan een genormeerde meteorologische droogte, omdat niet duidelijk is welke duur van de droogteperiode moet worden aangehouden. Dit komt voort uit de beperkte inzichten (en meetgegevens) over de snelheid waarmee een droogtegevoelige kade uitdroogt tijdens een periode van droogte. Zodoende is het niet mogelijk een duur van de droogte aan de mate (norm) van droogte te koppelen. Hierdoor kan op dit moment nog niet worden vastgesteld of de verdroging van een kade tijdens een droogte met een kans van optreden van bijvoorbeeld 1/10 of 1/30 per jaar de stabiliteit van een kade kan aantasten.

Ter illustratie: een enkele zeer extreem droge dag (bijv. met een kans van 1/10.000 per jaar) zal een verwaarloosbare verdroging van een kade veroorzaken, terwijl een weinig extreme droogteperiode van 6 maanden (bijv. 1/300 per jaar) dat zeer zeker wel zal doen. Vooralsnog is onbekend welke tijdsduur moet worden gehanteerd. Waarschijnlijk is die tijdsduur ook kadespecifiek, afhankelijk van enkele (geohydrologische) eigenschappen van de kade.

Zodoende dient voor alle droogtegevoelige kaden de situatie droogte te worden beschouwd. Een normafhankelijk differentiatie naar de ernst van de droogte kan daarbij niet worden gemaakt, niet bij de bepaling van de droogtegevoeligheid van een kade en niet bij de schematisering van de uitgangspunten (speciaal: verlaging grondwaterstand en het volumiek gewicht van verdroogde veenlagen) voor beschouwing van de situatie droogte.

Desalniettemin wordt beheerders, bijvoorbeeld als onderdeel van het beheerdersoordeel, aanbevolen voor kaden met een lage veiligheidsnorm zo mogelijk de ernst van de situatie droogte te betrekken in de beoordeling. Het beschikbaar zijn van inzicht in de verlaging van de grondwaterstand tijdens perioden met

droogte is hierbij essentieel. Meting van grondwaterstanden wordt zodoende eveneens aanbevolen.

Droogtegevoelig

Langdurige droogte vormt een belastingsituatie voor veenkaden. Indien een kade volgens bovenstaande definitie als veenkade wordt geclassificeerd, moet vervolgens worden vastgesteld of sprake is van een droogtegevoelige veenkade. In essentie gaat het daarbij om de vraag of de betreffende laag veen of sterk humeuze klei daadwerkelijk verdroogt tijdens langdurige droogte. Een kade is niet droogtegevoelig indien:

1. een deklaag van klei (volumiek gewicht > 13,5 kN/m³) met een dikte van 0,5 m aanwezig is;
2. de laag veen of sterk humeuze klei zich bevindt beneden het niveau tot waar de freatische grondwaterstand tijdens langdurige droogte maximaal daalt.

Ad. 2 Deze voorwaarde vergt goed inzicht in de fluctuatie van de grondwaterstand tijdens droogte, waarbij metingen en/of geohydrologische berekeningen benodigd zijn. Daarbij geldt dat dit aspect afhankelijk is van enkele kenmerken van de kade zelf (kwelsituatie, aanwezigheid teensloot, etc.), maar ook normafhankelijk is. Bij een 1/1000 per jaar – droogte gebeurtenis zal de grondwaterstand dieper dalen dan tijdens een 1/30 per jaar – gebeurtenis. Een daling tot 1,5 m beneden polderpeil vormt een veilige aanname.

Een gedetailleerde rekenmethode is getest (zie [Deltares, 2014c]) maar nog onvoldoende gekalibreerd voor een generieke / landelijke aanscherping van droogtegevoeligheid. Dit komt grotendeels voort uit onvoldoende inzicht in de snelheid waarmee een kade uitdroogt tijdens een periode van droogte.

Kruindaling droogtegevoelige kaden

Tijdens droogte kan door krimp van veen en organische klei sprake zijn kruindaling van droogtegevoelige waterkeringen.

Uit onderzoek [STOWA, 2015] blijkt dat kruindaling door droogte altijd minder dan 15 cm bedraagt. Voorwaarde is dat sprake is van een situatie met reguliere grasbegroeiing. Indien op de waterkering bomen aanwezig zijn, kan een grotere kruindaling optreden. Kruindaling ten gevolge van bomen dient te worden beschouwd bij de toets van de bomen, als niet waterkerend object.

Als veilige aanname voor de kruindaling mag de maximale waarde van 15 cm worden toegepast bij de beoordeling van de hoogte van droogtegevoelige waterkeringen. De situatie droogte kan uitsluitend maatgevend zijn voor de beoordeling van de hoogte indien het verschil tussen het toetspeil en de waterstand tijdens droogte (zie paragraaf B 1.1) kleiner is dan 15 cm. Naar verwachting is dit voor weinig kaden het geval. Voor situaties waar de situatie droogte bij een kruindaling van 15 cm wel maatgevend is voor de kruinhoogte, is een nadere nuancering van de kruindaling mogelijk. Deze nuancering is gebaseerd op enkele kenmerken van een (droogtegevoelige) kering die invloed hebben op de mate van verdroging en resulterende kruindaling. Dit betreft de volgende kenmerken:

- de initiële grondwaterstand;
- de mate waarin nalevering van vocht vanuit het grondwater optreedt;
- de grondwaterstands daling tijdens droogte.

De aanwezigheid van een deklaag van klei is geen onderscheidend kenmerk. Een deklaag vermindert de verdroging, maar het hogere gewicht van klei veroorzaakt (in de berekeningen) meer samendrukking van het veen. Het netto effect is gering, en valt binnen de gekozen afronding. Daarbij zij opgemerkt dat bij aanwezigheid van een deklaag van klei met een dikte van 0,5 m de kade sowieso niet als droogtegevoelig wordt geclassificeerd.

Tabel C.7 presenteert waarden voor de kruindaling, deze waarden vormen een bovengrens. Deze waarden zijn afgerond op 2,5 centimeter, verschillen tussen de varianten vallen daardoor vaak weg. Een differentiatie naar de veiligheidsklasse van de kaden is niet gemaakt.

Ervaringen tijdens eerdere droge perioden kunnen een belangrijke informatiebron zijn om de noodzaak van een dergelijke marge vast te stellen, alsmede de grootte daarvan.

Tabel C.7 Kruindaling tijdens droogte

Daling grondwaterstand tijdens droogte	Nalevering	Niveau gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)		
		60 cm - mv	90 cm - mv	120 cm - mv
Verwaarloosbaar (= nihil)	Ja	5 cm	10 cm	10 cm
	Nee	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
Gemiddeld (30 cm)	Ja	10 cm	10 cm	12,5 cm
	Nee	10 cm	12,5 cm	12,5 cm
Aanzienlijk (100 cm)	Ja	12,5 cm	15 cm	15 cm
	Nee	12,5 cm	15 cm	15 cm

Nadere toelichting bij de kenmerken in de tabel.

Daling grondwaterstand en niveau gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)

De daling van de grondwaterstand in de kade tijdens droogte betreft de verwachte daling van de grondwaterstand beneden het niveau van de GLG.

Nalevering

Door capillaire werking wordt het bodemvocht in de onverzadigde zone vanuit het grondwater aangevuld. Of sprake is van nalevering, en de mate waarin, is afhankelijk van de grondsoort waaruit de kern van de waterkering is opgebouwd, en eventuele gelaagdheid van het dijklichaam. In het algemeen zal vooral sprake zijn van nalevering indien de grondwaterstand zich bevindt in een klei of veenlaag, vanuit zandlagen vindt nauwelijks of geen nalevering plaats. Ook de aanwezigheid van horizontale zandlagen (cunet, eerdere ophogingen van de kade, etc.) in de onverzadigde zone verstoort nalevering.

Zodoende wordt aanbevolen standaard uit te gaan van de kruindaling zonder nalevering. Desgewenst kan de kruindaling worden geoptimaliseerd door eventueel optredende nalevering wel in rekening te brengen. Deze aanname dient te worden onderbouwd. Nadere informatie over capillaire werking en nalevering zijn beschreven in [CV, 1988].

2.4. Keringen langs regionale rivieren

Hoge windsnelheid

Voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden is een maatgevende hoge windsnelheid benodigd. Een veilige benadering voor de afleiding van een maatgevende hoge windsnelheid is de keuze voor een hoge windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de veiligheidsnorm van de kering. Deze benadering veronderstelt het samenvallen van een 1/100 jaar afvoergolf met een 1/100 storm. Voor keringen langs regionale rivieren is dit conservatief, aangezien het optreden van een hoogwatergolf niet is gecorreleerd aan het optreden van hoge windsnelheden. Als optimalisatie is voor de toetsing van keringen langs regionale rivieren een maatgevend hoge windsnelheid afgeleid. De maatgevend hoge windsnelheid is onafhankelijk van de veiligheidsnorm van de kering. De windsnelheid bedraagt:

- 12 m/s: uit de hoek van N (360°) tot ZO (135°);
- 15 m/s: uit de hoek van ZW (225°) tot W (270°);

In de tussenliggende windrichtingen verloopt de windsnelheid gelijkmatig:

- van 12 tot 15 m/s: hoek ZO (135°) tot ZW (225°);
- van 15 tot 12 m/s: hoek van W (270°) tot N (360°).

Indien geen rekening wordt gehouden met de verdeling van de wind over de verschillende windrichtingen dient een maximale windsnelheid van 16 m/s te worden gehanteerd.

Een belangrijke voorwaarde bij de (maatgevende) snelheden is dat ze alleen gebruikt mogen worden ingeval de afvoer dominant is boven de wind, wat er ruwweg gezegd op neerkomt dat een hoge waterstand meer bepalend is voor de benodigde kruinhoogte dan de windsnelheid. Praktisch gezien kan voor regionale rivieren als vuistregel worden aangehouden dat de decimeringswaarde van de waterstand ten gevolge van de afvoer minstens 0,5 m bedraagt (dus: een afvoer met een factor 10 kleinere overschrijdingsfrequentie moet een waterstandsverhoging van minstens 0,5 m opleveren). Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, dient toch de windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk de norm van de waterkering te worden gebruikt. Voor deze situaties kan als optimalisatie ook een probabilistische benadering voor afleiding van de maatgevende combinatie van beide belastingen worden uitgevoerd.

2.5. Keringen om waterbergingsgebieden

Waterbergingsgebieden betreffen vooraf aangewezen gebieden die tijdens hoge waterstanden op een regionaal watersysteem (kunnen) worden gebruikt om tijdelijk water te bergen, om de waterstanden op het watersysteem te verlagen. Uit een inventarisatie van waterkeringen om waterbergingsgebieden blijkt dat (per 2012) ca. 200 km van dergelijke keringen voorkomt, rond ca. 60 waterbergingsgebieden verspreid over het land.

Keringen om waterbergingsgebieden betreffen vaak kleine keringen, in uiteenlopende situaties. Van belang bij een eventuele normering en de toets op veiligheid is een goede balans tussen het nut van de kering en de benodigde inspanning van een eventuele normering en toetsing daarvan. Dit vergt maatwerk, afgestemd op de lokale situatie.

Algemeen gesteld stelt de toezichthouder in overleg met de beheerder vast in hoeverre sprake is van een regionale kering, en of aanwijzing (en normering) nodig is. Bij aanwijzing (en normering) kan deze Leidraad worden toegepast voor de beoordeling of de veiligheid aan de norm voldoet. Daarbij wordt opgemerkt dat voor keringen rond waterbergingsgebieden afwijkende belastingen kunnen optreden of dat aanvullende eisen kunnen worden gesteld ten opzichte van een 'gewone' regionale waterkering

Deze Leidraad beschrijft geen specifieke aanpak voor dit type keringen. In deze paragraaf worden wel enkele specifieke aandachtspunten en aanwijzingen ten aanzien van het toetsen van waterkeringen rond waterbergingsgebieden beschreven, inclusief de te beschouwen hydraulische belastingsituaties. Tevens worden enkele opmerkingen ten aanzien van de normering gemaakt, vanwege de relatie met de optredende belasting. Een uitgebreide beschouwing van keringen rond waterbergingsgebieden is beschreven in de studie Waterkeringen om waterbergingsgebieden [STOWA, 2015].

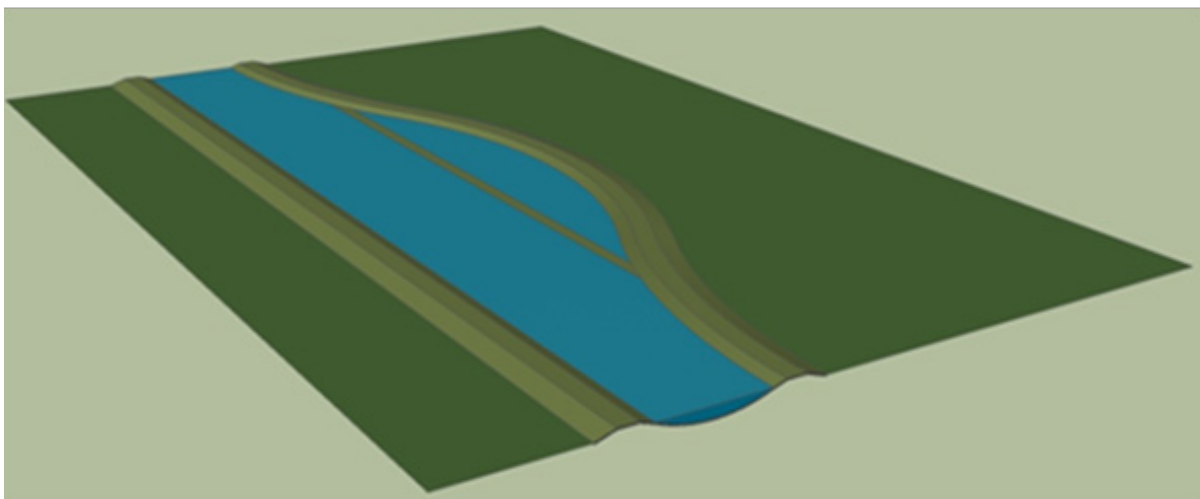
Indien een kering rond een waterbergingsgebied moet worden getoetst, dient de beheerder in overleg met de toezichthouder vast te stellen met welke bijzondere aandachtspunten en / of afwijkingen rekening moet worden gehouden.

In deze paragraaf worden uit oogpunt van de eisen aan de waterkering drie verschillende typen waterbergingsgebieden gedefinieerd:

- I. zomerpolder;
- II. volledige polder;
- III. polderdeel.

Ad. I Zomerpolder

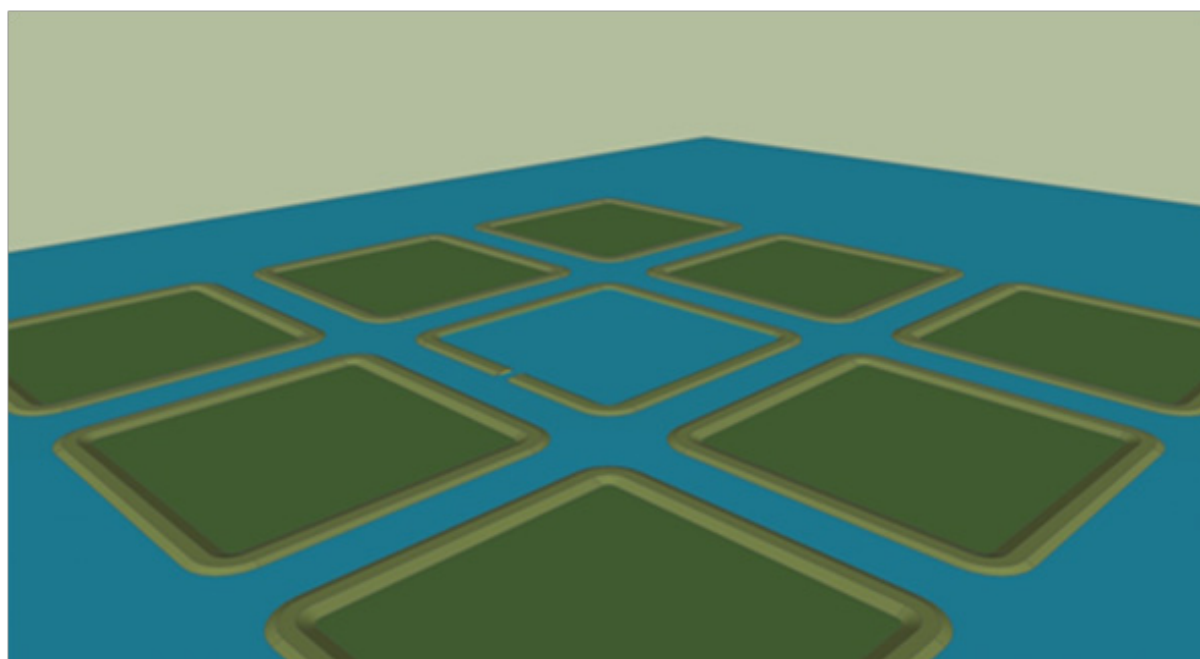
Dit betreft waterbergingsgebieden die direct naast de boezem of regionale rivier liggen, gescheiden door een kering. Voorbeelden zijn uiterwaarden, zomerpolders en boezemlanden. Deze gebieden zullen bij hoog water de boezem of rivier onderlopen en daarna direct deel uitmaken van het regionale watersysteem. Figuur C.3 geeft een schets van een zomerpolder (ingezet als waterberging).



Figuur C.3 Zomerpolder als waterberging

Ad.II: Volledige polder of overstromingsgebied

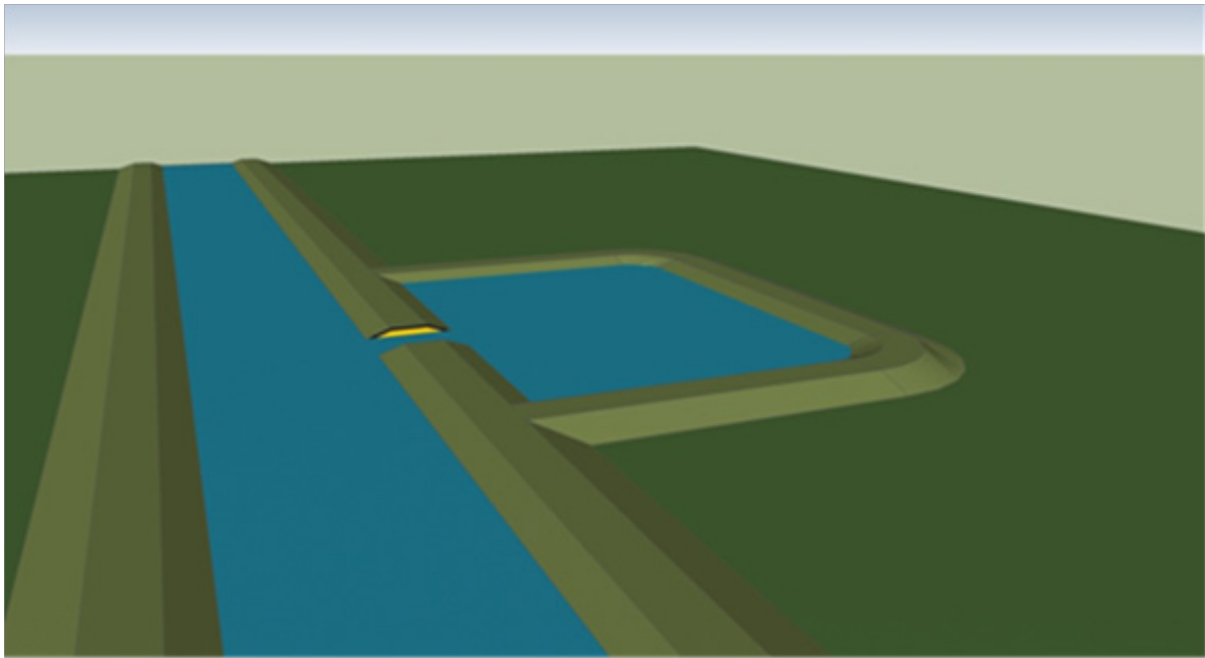
Dit betreft waterbergingsgebieden die een gehele polder (boezem) of overstromingsgebied (regionale rivieren) omvatten (zie figuur C.4). De waterkeringen rond een dergelijk waterbergingsgebied beschermen het gebied tot het moment van de inzet van de waterberging. Na het inzetten van de waterberging zal aan weerszijden van de kering water staan, afhankelijk in hoeverre (lage delen van) de polder gevuld zijn.



Figuur C.4 Waterberging in volledige polder (middelste vlak)

Ad.III: Gedeelte van een polder of overstromingsgebied

Dit betreft waterbergingsgebieden die slechts een deel van het (beschermde) achterland vormen. Het waterbergingsgebied wordt daarbij begrensd door een waterkering (en/of natuurlijke hoogten). Figuur C.5 geeft een schets van een waterbergingsgebied als gedeelte van een polder of overstromingsgebied (in dit voorbeeld volledig begrensd door een waterkering).



Figuur C.5 Waterberging in gedeelte van een polder over overstromingsgebied

Inzet waterbergingsgebied

Een waterbergingsgebied kan op verschillende manieren worden ingezet:

- doordat een deel van de kering min of meer 'automatisch' overloopt indien de waterstand in het regionale watersysteem de kruinhoogte overschrijdt;
- door het openen van een inlaatkunstwerk in de waterkering;
- door het weggraven van een deel van de waterkering.

De wijze van inzet heeft invloed op de hydraulische belastingen op de kering rond het waterbergingsgebied, en de mate waarin de waterstand in het waterbergingsgebied regelbaar is. Bij een volledig open verbinding is de waterstand in het waterbergingsgebied gelijk aan de waterstand in het regionale watersysteem (exclusief wat demping en/of naijling), en is deze niet regelbaar. Bij gebruik van een afsluitbaar inlaatwerk is het mogelijk in het waterbergingsgebied een andere waterstand te hanteren dan de waterstand op het regionale watersysteem. Dit kan zowel een lagere waterstand zijn, als een hogere (indien de verbinding gesloten wordt bij het dalen van de waterstand in het regionaal watersysteem).

Bij een volledig open verbinding tussen het regionale watersysteem en de waterberging wordt de waterkering tussen de waterberging en het beschermde achterland onderdeel van het stelsel regionale keringen.

Bij een regelbare (en afsluitbare) verbinding tussen het regionale watersysteem en het waterbergingsgebied zijn de gevolgen van een eventuele doorbraak van de kering om het waterbergingsgebied kleiner. De omvang van de overstroming van het achterland wordt beperkt door het aanwezige volume water in het waterbergingsgebied.

Toetsen

Rond een waterbergingsgebied zijn verschillende typen waterkeringen te identificeren:

- A. de kering op de gemeenschappelijke grens tussen het watersysteem en het waterbergingsgebied; die:
 - i. bij inzet van het waterbergingsgebied een kerende werking verliezen, of:
 - ii. bij inzet van het waterbergingsgebied een (beperkte) kerende werking houden, indien sprake is van een verschil in waterstand tussen het regionale watersysteem en het waterbergingsgebied;

- B. de kering tussen het waterbergingsgebied en het beschermde achterland, die:
- i. bij inzet van het waterbergingsgebied een kerende werking krijgen, en vanwege een open verbinding onderdeel gaan uitmaken van het stelsel regionale keringen;
 - ii. bij inzet van het waterbergingsgebied een kerende werking krijgen, maar dankzij een regelbare afsluiting van het regionale watersysteem een beperkt belang hebben.

Vanwege dit verschil kennen deze typen keringen verschillende belastingen, en worden aan deze keringen verschillende eisen gesteld. Dit kunnen zowel eisen uit oogpunt van de veiligheid van het beschermde gebied betreffen, als (aanvullende) eisen vanuit het onderhoud van de kering zelf. Voorbeelden zijn:

- de kruin moet bestand zijn tegen overstromend water, om grote herstelkosten na een hoogwater te voorkomen;
- de kering moet voldoen bij een 'omgekeerde' belasting na afloop van het hoogwater, wanneer de waterstand in het regionale watersysteem al lager is dan de waterstand in de waterberging.

Voor type A.i is een toets van de veiligheid uit oogpunt van de functie voor het waterbergingsgebied niet nodig. Indien het waterbergingsgebied wel beschermd moet worden tot een bepaalde veiligheidsnorm, dient de veiligheid uiteraard wel getoetst te worden (aan de bijbehorende norm).

Voor type B.i dient een volledige toets op veiligheid te worden uitgevoerd. Daarvoor kan deze leidraad worden gebruikt.

Voor de typen A.ii en B.ii kan de veiligheid eveneens worden getoetst. Deze leidraad is daarvoor bruikbaar, maar waarschijnlijk behoeven niet alle beoordelingssporen te worden doorlopen omdat ze niet of minder relevant. Ook kunnen aanpassingen vereist zijn. Bijvoorbeeld de toets op hoogte als de kering bij een bepaalde waterstand juist moet overstromen. Het staat het waterschap vrij om voor deze typen keringen deze Leidraad slechts gedeeltelijk toe te passen. Zulks in overleg met het bevoegd gezag.

Door onderscheid te maken tussen enerzijds waterkeringen tussen het watersysteem en de waterberging en anderzijds waterkeringen tussen de waterberging en het achterland kan helder onderscheid worden gemaakt in de wijze waarop de waterkeringen getoetst kunnen worden. De wijze waarop de waterberging wordt ingezet vormt daarbij een nuttige differentiatie.

Bij een toetsing gelden enkele specifieke aandachtspunten, ten aanzien van de relevante belastingen en de sterkte van de kering. Onderstaand volgt een opsomming van enkele aandachtspunten.

Belastingen

Bij een eventuele toetsing wordt aanbevolen te bekijken of bijzondere belastingsituaties moeten worden beschouwd, zoals:

1. het overlopen van water over de kruin (voor de kering tussen waterbergingsgebied en watersysteem);
2. de 'omgekeerde' belasting (indien de waterstand in het bergingsgebied hoger is dan de waterstand in het regionale watersysteem;
3. een snelle daling van de waterstand in het waterbergingsgebied.

Ad. 3 Een relevante belasting voor de regionale kering kan zijn het snel leegstromen van het waterbergingsgebied. Normaliter zal de waterstand in het waterbergingsgebied niet sneller dalen dan de waterstand in het watersysteem. Alleen indien bij een omgekeerde belasting de kering tussen het waterbergingsgebied en het watersysteem faalt, kan een snelle daling van de waterstand in het waterbergingsgebied optreden. Dit kan een bedreiging vormen voor de buitenwaartse stabiliteit van de regionale kering.

Opgemerkt wordt dat beschadiging van de kering tussen het watersysteem en waterbergingsgebied tijdens of na afloop van de inzet van het waterbergingsgebied overwegend geen (direct) gevaar vormt voor de veiligheid van het beschermde gebied. Beschadigingen door het overlopen of de 'omgekeerde' belasting van de kering is vooral relevant voor het beheer en onderhoud van de betreffende kering zelf.

Daarbij gelden enkele uitzonderingen. Beschadiging, het afschuiven en/of het gedeeltelijk verdwijnen van de kering tussen het waterbergingsgebied en het watersysteem kan leiden tot een toename van de hydraulische belasting op de kering die het achterland beschermd. Bijvoorbeeld doordat:

- een weggeslagen of beschadigde kering minder effectief golven reduceert (alleen relevant indien golfreductie van belang is voor de veiligheid van het beschermde gebied)
 - een snelle daling van de waterstand in het waterbergingsgebied een bedreiging vormt voor de buitenwaartse stabiliteit van de regionale kering.
- Deze uitzonderingen kunnen relevant zijn voor de veiligheid van het beschermde gebied, omdat na een eerste hoogwater een tweede hoogwater kan komen.

Tot slot wordt opgemerkt dat de hydraulische belasting in het waterbergingsgebied kan afwijken van de belastingen op het regionale watersysteem. De waterstand kan hoger zijn door mogelijke scheefstand binnen het waterbergingsgebied. Ook kan de golfbelasting lokaal groter zijn, door golfgroei in de geïnundeerde zomerpolder. Maar bij een breed watersysteem is de golfhoogte lokaal mogelijk juist kleiner, indien de zomerkade als golfbreker fungeert.

Aanvullende eisen / functies

Afhankelijk van de gewenste wijze waarop de polder als waterberging wordt ingezet, kunnen aanvullende eisen worden gesteld, zoals bijvoorbeeld:

- om een (te) snelle inundatie te voorkomen de eis dat de kering niet mag doorbreken door gebrek aan stabiliteit, tot een waterstand waarbij de waterberging wordt ingezet;
- het willen vasthouden van het water in het waterbergingsgebied (bij een regelbaar inlaatkunstwerk), zodat de waterstand in het regionaal watersysteem sneller kan dalen. In de waterberging is de waterstand dan hoger dan in het regionale watersysteem. Indien het vasthouden van water een beoogde functie van het waterbergingsgebied is, dient deze belasting te worden beschouwd bij een eventuele beoordeling van de kering.

Voor de veiligheid van de kering zijn deze eisen en de bijbehorende belastingen niet relevant, zodoende vormen ze geen onderdeel van de beoordeling van de veiligheid.

Verdroging van de waterkering

Indien onder normale omstandigheden geen water tegen de kering staat kan verdroging leiden tot uitdroging van de toplaag en scheurvorming. Dit stelt m.n. voorwaarden aan de aanleg van dergelijke keringen, qua verdichting van het dijkmateriaal.

2.6. Compartimenteringskering

De compartimenteringskeringen kunnen in de volgende categorieën worden verdeeld.

- "Droge" compartimenteringskeringen
Keringen die niet langs een watergang of oppervlaktewater zijn gelegen. Onder normale omstandigheden keren deze keringen geen water. Het betreft veelal oude zeedijken (in het kustgebied). De compartimenterende functie is vaak ontstaan doordat voor een zeedijk of rivierdijk een nieuwe kering is gebouwd. Soms ook zijn compartimenteringskeringen gebouwd om een bepaald gebied (bijvoorbeeld een stad) te beschermen of een gebied te verdelen zodat niet het gehele gebied overstroomt bij een overstroming.
- "Natte" compartimenteringskeringen
Keringen die langs een watergang of oppervlaktewater zijn gelegen en dagelijks of tenminste frequent water

keren. Natte compartimenteringskeringen betreffen over het algemeen twee keringen met daartussen water, zoals kanaaldijken, boezemkaden of regionale rivierdijken, waarvan één kering tevens is aangewezen als compartimenteringskering. Door deze dubbelfunctie kan een bijzondere situatie ontstaan waarbij de natte compartimenteringskering aan twee zijden water keert of aan één zijde zowel het “reguliere” water als het water door overstroming van het voorliggende gebied. Daarnaast kan het zijn dat bij inundatie van een compartiment één van beide keringen bezwijkt, maar dat de tweede kering nog intact blijft, waardoor de functie als compartimenteringskering nog voldoet. Met de eerste kering wordt de kering aan de zijde van de inundatie bedoeld, de tweede kering is de kering die grenst aan het tegenovergelegen te beschermen compartiment. Hierdoor ontstaat er een grote verscheidenheid aan mogelijke belastingcombinaties. De belastingcombinaties van deze “natte” compartimenteringskeringen verschillen enigszins ten opzichte van de “enkele” keringen.

- Grondlichamen

Naast de bovenstaande waterkeringen is het denkbaar dat de grondlichamen van auto- of spoorwegen worden aangewezen als compartimenteringskering. Het waterkerend vermogen van dergelijke constructies zal normaal gesproken vaak beduidend minder zijn, omdat ze niet zijn ontworpen voor een waterkerende functie. Daarnaast kunnen zich in aardebanen coupures, onderdoorgangen, enz. bevinden.

Compartimenteringskeringen worden vrijwel nooit als compartimenteringskering hydraulisch belast, zodat ervaring met het werkelijk waterkerend vermogen ontbreekt. Dit gebrek aan inzicht vergt speciale aandacht bij de schematisering in het kader van de beoordeling ten aanzien van de verschillende beoordelingssporen.

2.6.1. Belastingcombinaties natte compartimenteringskeringen

De belastingcombinaties van de “natte” compartimenteringskeringen verschillen enigszins ten opzichte van de “droge” keringen, omdat twee keringen en twee te keren wateren aanwezig zijn. Daarnaast kan één van de twee keringen of beide keringen als compartimenteringskering zijn aangewezen. Verder is het mogelijk dat een compartimenteringskering, afhankelijk van de doorbraaklocatie, water van beide zijde moet kunnen keren (in verschillende situaties).

Bij natte compartimenteringskeringen kunnen zich de onderstaande drie scenario's voordoen met betrekking tot de aanwijzing:

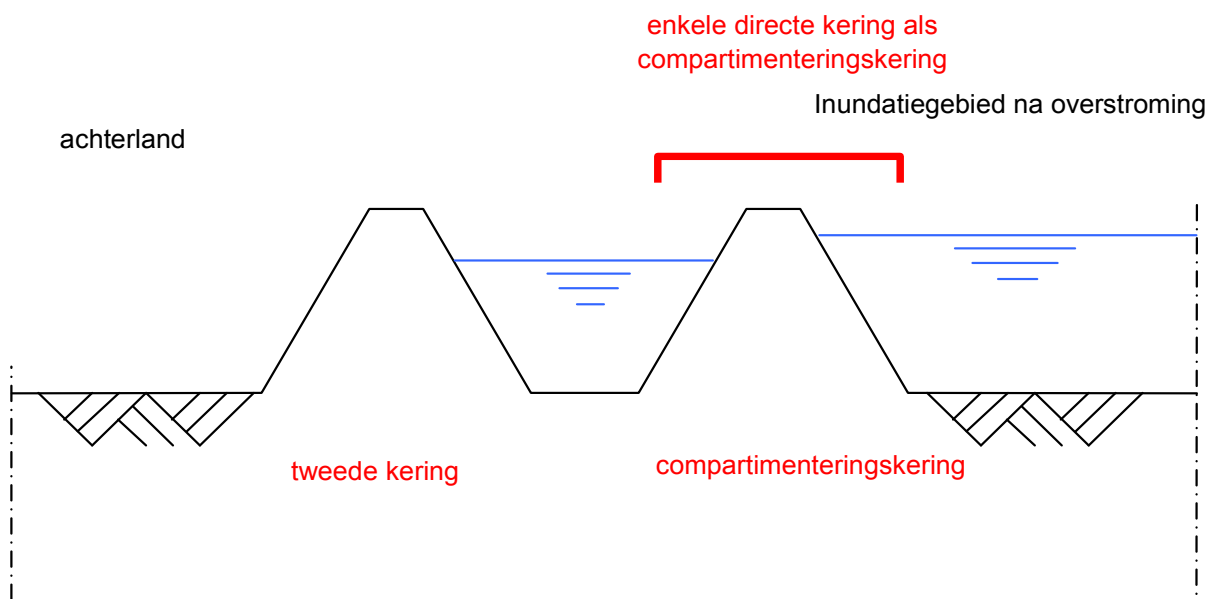
1. Een enkele directe kering aangewezen als compartimenteringskering.
2. Een enkele indirecte kering aangewezen als compartimenteringskering.
3. Een dubbele kering aangewezen als compartimenteringskering.

De belastingcombinaties van deze “natte” compartimenteringskeringen worden hieronder nader toegelicht.

In het algemeen geldt dat de aangewezen kering moet voldoen aan de toetsing als waterkering voor het aanwezige water (boezem, rivier, kanaal) tussen de keringen. Voldoet deze niet als waterkering voor het tussenliggende water, dan voldoet de kering ook niet als compartimenteringskering.

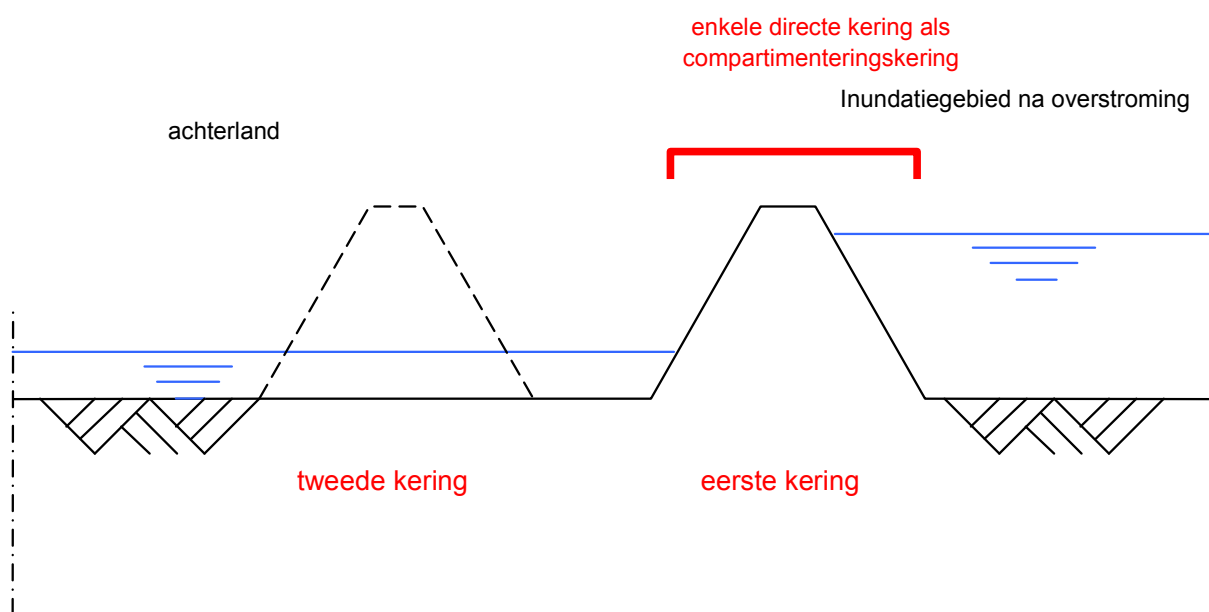
Een enkele directe kering aangewezen als compartimenteringskering

Een enkele directe kering moet het water tijdens de normsituatie keren uit de tegenovergestelde richting ten opzichte van de normale situatie (zie Figuur C.6).



Figuur C.6 Definitie van een enkele directe kering als compartimenteringskering

De tweede kering in dit scenario hoeft niet als compartimenteringskering te worden getoetst, maar heeft wel invloed op de hydraulische randvoorwaarden bij toetsing van de enkele directe kering als compartimenteringskering. Bij de beoordeling van de eerste kering dient de tweede kering veiligheidshalve als afwezig te worden beschouwd, omdat niet kan worden uitgesloten dat deze kering faalt door de gewijzigde (geohydrologische) situatie tijdens de overstrooming. De tweede kering is immers niet aangewezen als compartimenteringskering, zodat ook geen rekening gehouden kan worden met deze tweede kering bij de voor de compartimenteringskering te beschouwen veiligheidsniveau. Het waterpeil in de binnenwaartse zijde van de eerste kering is dan lager. Zie ook Figuur C.7.



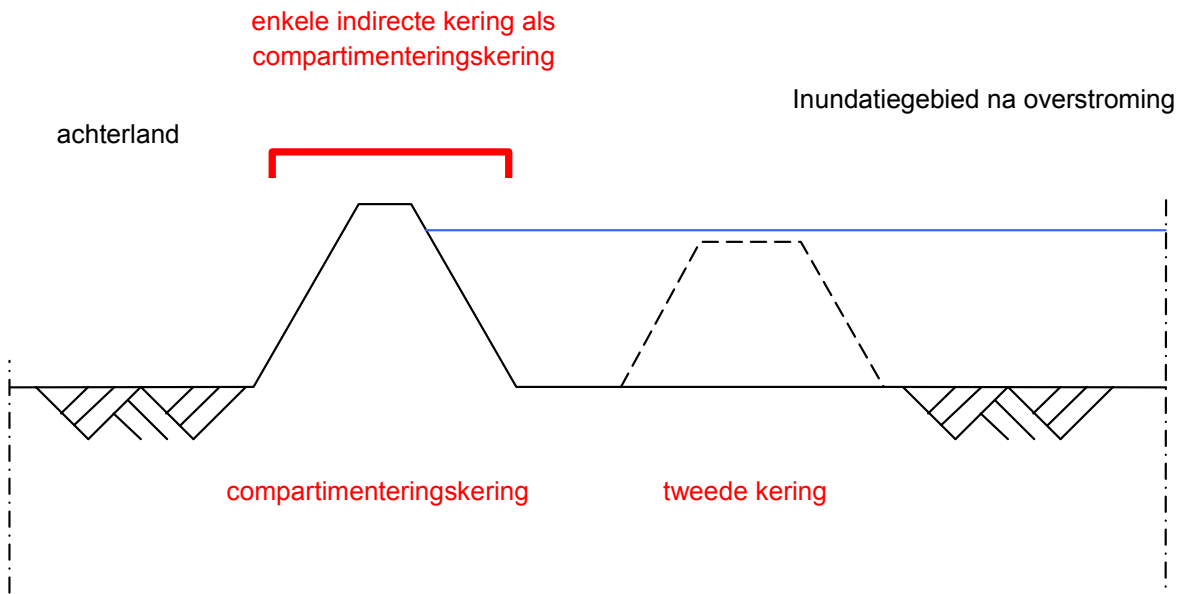
Figuur C.7 Beoordeling van een enkele directe kering als compartimenteringskering waarbij de tweede kering als niet aanwezig wordt beschouwd

De beoordeling van deze enkele directe kering is verder conform module D met dien verstande dat de te

hanteren waterstand aan de binnenzijde gelijk is aan het bodemniveau van de boezem, rivier of kanaal. Alleen indien aangetoond kan worden dat na falen van de tweede kering het water hoger zal staan, mag worden uitgegaan van dit hogere peil.

Een enkele indirecte kering aangewezen als compartimenteringskering

Een enkele indirecte kering keert het water uit dezelfde richting als de normale situatie (zie Figuur C.8).



Figuur C.8 Definitie van een enkele indirecte kering als compartimenteringskering

De tweede kering, die niet is aangewezen als compartimenteringskering, moet als afwezig worden beschouwd. Deze tweede kering hoeft ook niet te worden getoetst. De beoordeling van deze enkele indirecte kering is verder conform module D. Let hierbij op dat de stijghoogte mogelijk ongunstiger kan zijn door hydraulische kortsluiting ter plaatse van het geïnundeerde gebied. Indien de hydraulische belasting voor de compartimenterende functie geringer is dan de belasting als “natte” kering, dan kan de veiligheid direct als voldoende worden beoordeeld.

2.6.2. Hydraulische randvoorwaarden

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in de inundatiegebieden en de resulterende hydraulische randvoorwaarden voor een compartimenteringskering.

Maatgevend hoogwaterstand / inundatieniveau

Het optredende inundatieniveau volgt uit overstromingsberekeningen die normaliter worden uitgevoerd in het kader van de normering van de betreffende compartimenteringskering. De maatgevende waterstand hangt direct af van een gekozen overschrijdings- of normfrequentie. Bij de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden dient tevens rekening te worden gehouden met de windopzet. Soms maakt deze verhoging van de waterstand door opwaaiing (windopzet) onderdeel uit van de overstromingsberekening. In de overige situaties dient de waterkeringbeheerder deze lokale toeslag te bepalen.

In kustgebieden is het inundatieniveau mogelijk afhankelijk van eb en vloed. Bij de schematisering van de waterspanningen kan zodoende rekening worden gehouden met een (al dan niet gedempte) fluctuatie van de waterstand.

Windgolven

Ten aanzien van de windsnelheid is het van belang of de overstroming van het inundatiegebied wordt veroorzaakt door een hoogwatersituatie op het buitenwater die gecorreleerd is aan het optreden van een storm. Indien de normering niet is gebaseerd op een overstroming door een hoogwatersituatie die gecorreleerd is aan het optreden van een storm, dan dient te worden uitgegaan van een windsnelheid behorende bij normfrequentie van compartimenteringskering.

Indien de normering wel is gebaseerd op een overstroming door een hoogwatersituatie die gecorreleerd is aan het optreden van een storm, dan dient voor de maatgevend hoge windsnelheid te worden uitgegaan van:

- een windsnelheid overeenkomend met de normfrequentie van de voorliggende hoofdwaterkering, indien in het compartiment binnen een korte tijd (< 18 uur) de maatgevende waterstand ontstaat;
- een maatgevende windsnelheid overeenkomend met de normfrequentie van de compartimenteringskering, indien in het compartiment niet binnen een korte tijd (dus na 18 uur) de maatgevende waterstand ontstaat.

De eerste situatie betreft met name compartimenteringskeringen in het bovenrivierengebied, de tweede situatie betreft met name keringen in het kust-, benedenrivieren- en grote merengebied.

Windopzet

Bij inundatie van een gebied kan wind zorgen voor windopzet. Een ongunstige richting van de wind zorgt voor een hogere waterstand voor de compartimenteringskering. Bij het beoordelen van de compartimenteringskering dient zo nodig rekening gehouden te worden met een maatgevende windopzet.

Ten aanzien van de te hanteren windsnelheid gelden de aanbevelingen zoals bovenstaand beschreven bij het onderdeel windgolven.

2.6.3. Belastingssituatie droogte

Een compartimenteringskering functioneert alleen wanneer sprake is van een overstroming. In het betreffende compartiment is dan sprake van een hoogwater situatie. Deze situatie treedt uitsluitend op na het bezwijken van een primaire waterkering. Het lijkt uitgesloten dat een primaire kering bezwijkt ten gevolge van een periode met langdurige droogte, omdat algemeen wordt aangenomen dat dit type waterkering niet is opgebouwd uit veen.

Theoretisch is het niet ondenkbaar dat een overstroming optreedt kort na of juist voorafgaand aan een periode van langdurige droogte. In dat geval kan sprake zijn van een overstromd compartiment (= hoogwatersituatie) in combinatie met een verdroogd dijklichaam en achterland door droogte. De kans op deze combinatie is echter zeer klein, en mag gezien worden als een boven – normatieve situatie. Zodoende vormt de belastingssituatie droogte geen bedreiging voor compartimenteringskeringen.

2.6.4. Beoordeling behoud veiligheid – handhaven huidig profiel

Bij de uitwerking van enkele case-studies die gedaan zijn voor de Richtlijn Normering

Compartimenteringskeringen is geconstateerd dat sommige regionale compartimenteringskeringen:

- wel een nuttige functie vervullen bij een doorbraak van een primaire waterkering door (tijdelijke) compartimentering van een dijkkring;
- maar dat een verbetering van deze keringen op voorhand als economisch onrendabel (en/of maatschappelijk onacceptabel) kan worden ingeschat.

Daarbij wordt aantasting van het huidige profiel van deze keringen als onwenselijk beschouwd, zodat deze keringen beschermd moeten worden. Aantasting van het huidige profiel is bijvoorbeeld onwenselijk indien het verwijderen van de kering nadelige effecten heeft op:

- het slachtoffer risico in het achterliggend gebied bij falen van de primaire kering, en/of;
- het schaderisico in het achterliggend gebied, en/of;
- de evacuatie fracties in een door overstroming getroffen gebied, omdat vluchtroutes in deze situaties niet meer (goed/langdurig) begaanbaar zijn; en/of;
- de mogelijkheid om te anticiperen op nieuwe inzichten en nieuwe functies van deze waterkering.

Deze keringen worden genormeerd tot 'handhaven huidig profiel'. Deze norm is geen getalsmatige norm, maar een behoudsnorm.

Behoud huidige veiligheid

In de Wet op de Waterkering (1996) is voor de primaire keringen van de categorie C de term 'behoud huidige veiligheid' geïntroduceerd. Behoud huidige veiligheid is uit oogpunt van het beheer van de waterkering echter een moeilijk handhaafbare norm, omdat:

1. geen nadelige wijzigingen in het watersysteem mogen optreden (de belasting behorende bij de norm mag niet toenemen);
2. de waterkering (incl. beschermingszone) mag niet worden aangetast (de sterkte mag niet afnemen).

Aan deze voorwaarden kan de waterkeringbeheerder moeilijk voldoen, omdat dit watersysteem het buitenwater betreft en autonome ontwikkelingen als kruin- of maaiveld daling een afname van de veiligheid kunnen vormen. In de Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen is daarom deze term aangescherpt tot 'behoud huidig profiel'.

Theoretisch is getalsmatige normering mogelijk door (kwantitatief) vast te stellen welke hydraulische belasting de kering in de huidige toestand kan weerstaan. Dit zogenaamde 'inverse toetsen' is praktisch gezien echter zeer complex, bijvoorbeeld omdat voor verschillende faalmechanismen andere belastingen van toepassing zijn.

Bij lokale overdimensionering van de kering dient bovendien niet noodzakelijkerwijs de gehele waterkering te worden beschermd, bijvoorbeeld doordat mogelijk:

- niet alle faalmechanismen even kritiek zijn
- een vergraving direct bij de binnenteen hoeft bijvoorbeeld niet tot een afname van de sterkte te leiden indien de kruinhoogte ruimschoots onvoldoende is;
- niet alle dijkvakken even kritiek zijn
- een geringe aantasting van de waterkering op een dijkvak met een robuuster dwarsprofiel dan de nabijgelegen dijkvakken geeft geen afname van de veiligheid voor het beschermde gebied achter de kering.

Dit bemoeilijkt de waterbouwkundige motivatie van de bescherming van de waterkering aan derden, bijvoorbeeld in het kader van de verlening van vergunningen of ontheffingen.

Daarnaast impliceert deze werkwijze dat een toekomstige toename van het toetspeil tot afkeuren en hiermee tot een verbeteropgave leidt, terwijl op voorhand al ingeschat is dat (grootschalige) verbetering vanuit maatschappelijk en economisch perspectief niet wenselijk is.

Bij de uitwerking van de norm is daarom niet de huidige veiligheid of huidige sterkte van de kering als uitgangspunt genomen, maar het huidige profiel en de inpassing in de bestaande omgeving. Daarbij dient te worden beschouwd welke (autonome) ontwikkelingen te verwachten zijn en in hoeverre dit invloed heeft op het vast te stellen minimaal en benodigde profiel

Overlaat of 'overloop waterkering'

Een bijzonder type compartimenteringskering is de overloopwaterkering. Dit type compartimenteringskering houdt bij een overstrooming het water alleen tijdelijk tegen. De hoogte van de overloopwaterkering is gemaximeerd om de waterdiepte in het overstroomde compartiment te beperken. Een overloopwaterkering mag soms wel doorgraven worden en vraagt dus om een eigen aanpak. De overloopwaterkering is hier daarom niet uitgewerkt.

Uitwerking

Aan de uitwerking van het behoud van het huidige profiel kan op verschillende wijzen invulling gegeven worden. De toegestane mate van "aantasting" van de buitencontour is een keuze die gemaakt wordt tijdens dit proces. Het resultaat is een leggerprofiel voor de keringen, waaraan de buitencontour getoetst wordt. Toetsing is niet meer dan het vergelijken van de buitencontour met het leggerprofiel. Toetsing vindt plaats aan de hand van een handhavingss dossier of met behulp van profielen die ontleend zijn aan nieuwe beelden of technieken.

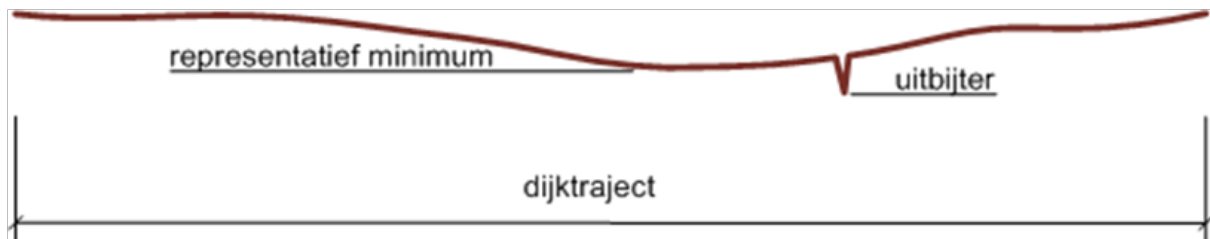
In onderstaande uitwerkingsvarianten is weergegeven op welke wijzen het waterschap tot een leggerprofiel kan komen, en welke effecten die stappen hebben op het gebruik van de kering. De uitwerkingsstappen zijn:

1. Afleiden basisprofielen
2. Bepalen van profiel van vrije ruimte
3. Vaststellen normprofiel/leggerprofiel

Onderstaand volgt een nadere toelichting bij deze stappen.

Stap 1 Afleiden basisprofielen

Onder een basisprofiel verstaan we het dwarsprofiel van de kering ter plaatse van het representatief minimum in een dijktraject. Het representatief minimum is het laagste, steilste en/of smalste dijkprofiel behoudens duidelijke uitbijters (figuur C.9).



Figuur C.9 Bepaling van het representatief minimum binnen een dijktraject, op basis van hoogte

Deze schematisatie geldt voor deze benadering, en is niet per definitie een goede schematisering voor andere doeleinden.

Bij het afleiden van de basisprofielen kan ervoor gekozen worden om een generalisatie toe te passen door het dijktraject langer te maken. Bij een langer dijktraject ligt het voor de hand dat het basisprofiel gemiddeld lager wordt dan bij kortere dijktrajecten. Daardoor ontstaat meer ruimte voor vergunningverlening in de dijk. Tegelijkertijd wordt hiermee meer toegegeven op het huidige veiligheidsniveau. In de praktijk zal het vrijwel altijd gaan om een combinatie van langere en kortere dijktrajecten. Het is aan de beheerder om deze trajecten slim te kiezen zodat zowel veiligheid als ruimte voor ontwikkelingen optimaal worden gediend. We onderscheiden hiervoor drie methoden:

A. Korte dijktrajecten als conservatieve benadering, nadruk op veiligheid

Bij de conservatieve benadering is er nauwelijks sprake van dijktrajecten: de huidige contour van de kering wordt aangehouden. De basisprofielen worden om de 10-50 meter ingemeten vanuit de buitencontour op basis van hoogtemetingen zoals het Actueel Hoogtebestand Nederland 2. Vervolgens wordt op deze profielen een (visuele) controle uitgevoerd om te controleren of er elementen in zitten die buiten de basisprofielen gehouden moeten worden. Dit zijn bijvoorbeeld op- en afritten, bebouwing, bruggen, constructies, begraafplaats, terpen, gronddepots, etc.. Deze methode is goed te automatiseren en vereist weinig inhoudelijke deskundigheid. Met name in situaties waarin het onwenselijk is dat activiteiten het beschouwde dijktraject plaatsvinden, is deze variant goed werkbaar. Bij een vergunningaanvraag zal echter nog steeds gekeken moeten worden naar het profiel ter hoogte van de aanvraag in verhouding tot de profielen in de omgeving.

B. Dijktrajecten gedifferentieerd naar geometrische kenmerken kering, zoeken naar balans

De dijktrajecten worden bepaald op basis van de karakteristieken van de dijk zoals: de geometrie, bodemopbouw (voor zover bekend) en oriëntatie. Dit leidt tot een traject met een lengte van bijvoorbeeld 1 tot 5 km. Per dijktraject wordt de buitencontour bekeken en een basisprofiel bepaald voor dat traject. Het verschil met de conservatieve aanpak is, dat op plaatsen waar de kering relatief robuust is, meer toegestaan kan worden voor vergunningen. Deze methode zorgt voor balans tussen aansluiting bij het huidige veiligheidsniveau en houdt tegelijk enige ruimte voor vergunningen.

C. Dijktrajecten gedifferentieerd naar gevolgen bij een overstroming, nadruk op het bieden van ruimte

De dijktrajecten worden ingedeeld op basis van de te verwachten verschillen in overstromingspatronen bij doorbraak van de compartimenterende kering. Elk deel van de kering waarvan het overstromingspatroon anders is dan het naastgelegen deel, wordt een apart dijktraject. De overstromingspatronen kunnen

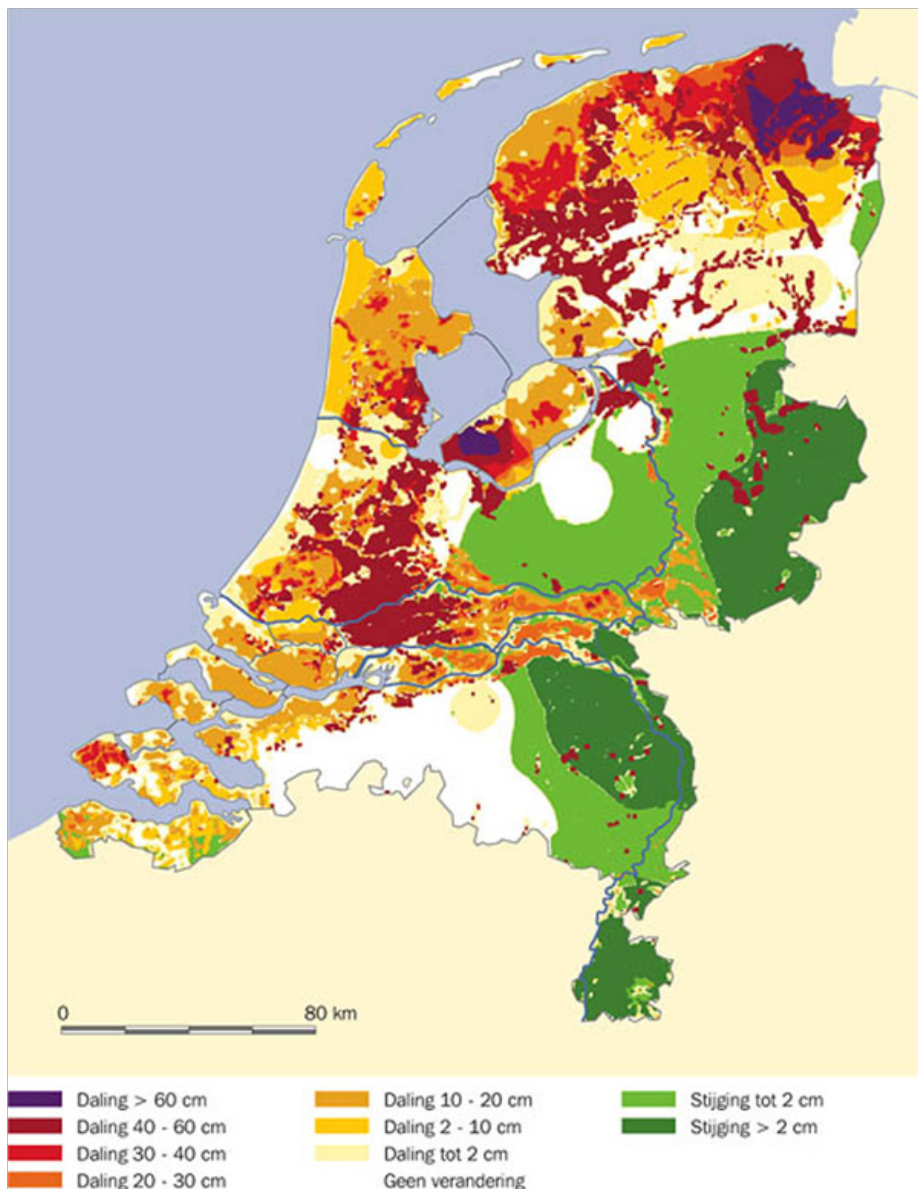
worden afgeleid van de beschikbare overstromingsberekeningen en met behulp van lokale kennis van landschapselementen en hun effect op het overstromingsverloop. De verschillen in overige geometrische kenmerken van de kering spelen een ondergeschikte rol.

Deze methode is te verkiezen bij een complex systeem van compartimenteringskeringen.

Deze aanpak vormt een goede inhoudelijke onderbouwing van de indeling in trajecten en afleiding van het basisprofiel. Indien dit leidt tot lange dijktrajecten is deze aanpak mogelijk streng, en leidt deze tot een basisprofiel met beperkte afmetingen. Hierdoor kan het uiteindelijke beschermingsniveau af gaan wijken van het bestaande veiligheidsniveau. Deze aanpak is geschikt wanneer veel ontwikkelingen nabij de waterkering worden verwacht en het waterschap ook ruimte voor deze ontwikkelingen wil geven.



Figuur C.10 Dijkring met complex systeem van compartimenterende keringen



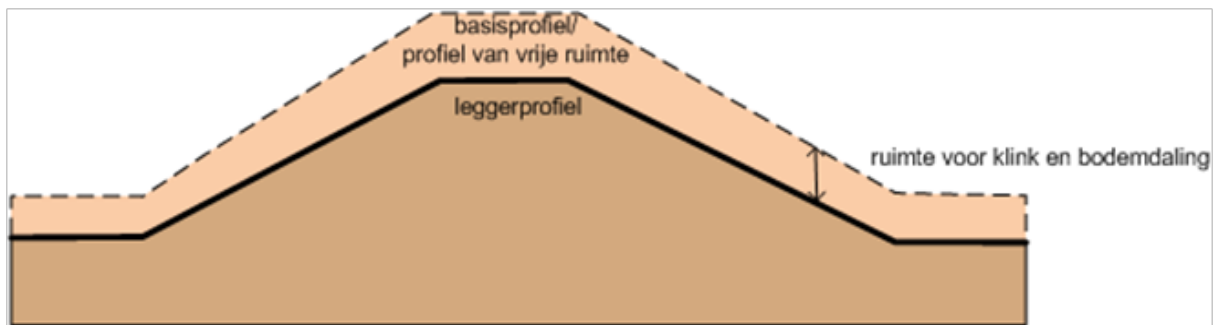
Figuur C.11 Verwachte bodemdaling in Nederland tussen 1995 en 2050 (Bron: RWS)

Stap 2 Bepalen van profiel van vrije ruimte voor klink en bodemdaling

Wanneer het basisprofiel rechtstreeks in de legger zou worden opgenomen, dient de kering na enkele millimeters klink of bodemdaling te worden afgekeurd. Dat is juist niet de bedoeling van de norm 'handhaven huidig profiel'. Daarom wordt een profiel van vrije ruimte gereserveerd voor autonome processen als klink en bodemdaling. De hoeveelheid ruimte die gereserveerd dient te worden is afhankelijk van de tijdshorizon die wordt aangehouden. Om niet elke toetsing het normprofiel te hoeven bijstellen, kan uitgegaan worden van een tijdshorizon van bijvoorbeeld 30-50 jaar, afhankelijk van de plaatselijke bodemsamenstelling. Op basis van ervaringscijfers kan de keringbeheerder het benodigde profiel van vrije ruimte bepalen. Daarnaast kan het zo zijn dat de keringbeheerder ruimte wil reserveren voor ontwikkelingen in de normeringssystematiek of voor eventuele lokale versterking van de dijk, boven de huidige buitencontour. Hoewel integraal voldoen aan een getalsnorm economisch onhaalbaar is, kan het zo zijn dat lokaal versterken van de kering ter plaatse van een uitbijter ten behoeve van een vluchtroute of vluchtplaats wenselijk en economisch te verdedigen is.

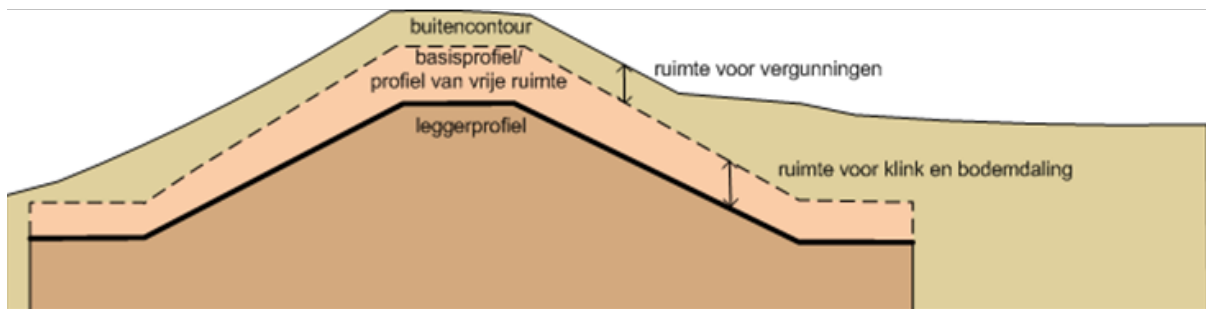
Stap 3 Profielen in de legger

Het basisprofiel vormt de buitenkant van het profiel van vrije ruimte. De reservering voor autonome processen zoals klink en bodemdaling bepaalt het uiteindelijke leggerprofiel (zie figuur C.12).



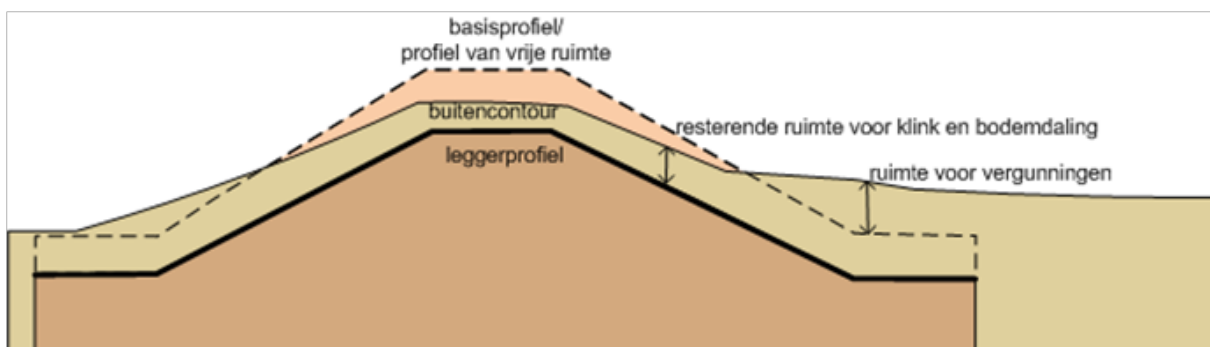
Figuur C.12 Leggerprofiel met profiel van vrije ruimte

De ruimte tussen het profiel van vrije ruimte en de buitencontour van de kering ter plaatse van een vergunningaanvraag is beschikbaar voor vergunningverlening (figuur C.13). Bij compartimenteringskeringen waarvan bekend is dat ze alleen vertragend werken en vrijwel zeker zullen overstromen (zgn. overloopwaterkeringen, zie kader) kan de beheerder ervoor kiezen minder beperkingen op te leggen. De mogelijkheden voor vergunningen worden dan alleen beperkt door de eisen om de kering niet te verlagen en niet te doorgraven.



Figuur C.13 Ruimte voor vergunningverlening tussen profiel van vrije ruimte en de buitencontour

Na verloop van jaren kan het zo zijn dat de buitencontour door bodemdaling en klink binnen het profiel van vrije ruimte komt te liggen (figuur C.14). Dit is ook het geval ter plaatse van een uitbijter in het dijktraject (Figuur C.9), omdat daar het basisprofiel al direct boven de buitencontour ligt. Er is dan weinig tot geen ruimte voor vergunningverlening op deze locatie.



Figuur C.14 Situatie wanneer buitencontour binnen het profiel van vrije ruimte valt

Vervolgstap: nader onderzoek voor meer inzicht in de kering

Bij het aanwijzen met als norm 'handhaven huidig profiel' is een vergelijking gemaakt van

1. de huidige situatie; met
2. de situatie dat de compartimenteringskering zo hoog en sterk is dat deze niet faalt; en
3. de situatie dat de compartimenteringskering afwezig is.

Wanneer verhogen/versterken onhaalbaar is en weghalen niet acceptabel, is gekozen voor handhaven huidig profiel. Het is echter de vraag of 'niet weghalen' van de dijk gelijkgesteld mag worden aan 'het huidig profiel moet behouden blijven'. Bij het bepalen van de norm is uitgegaan van deze aanname. Het zou kunnen zijn dat een kleine versterking of een kleine verlaging een betere bescherming biedt dan de huidige situatie. Een verfijningsronde kan meer inzicht bieden.

Op basis van kennis van het overstromingsverloop aan beide kanten van de kering en de samenstelling van de kering kan voor relevante trajecten iets verder gekeken worden naar de hoogte en de duur van de belasting tegen de kering. Ook kan op basis van de grondsamenstelling een inschatting worden gemaakt van de belangrijkste faalmechanismen. Hierop kan het basisprofiel worden aangepast. Trajecten kunnen relevant zijn omdat zich veel economische waarde op dit dijktraject bevindt, of omdat het traject een vluchtroute of vluchtplaats bevat of omdat het verschil in basisprofielen tussen verschillende trajecten erg groot is.

Economische waarde

Bij een dijktraject waar veel economische activiteit op de dijk plaatsvindt, zoals een dorpskern of een bedrijventoneel, kan behoud van het huidig profiel deze functies in de weg zitten als het profiel 'op slot zit'. Tegelijkertijd levert bezwijken van dat deel van de kering ook veel economische schade op. Dan is het zinvol te kijken hoeveel ruimte gegeven kan worden zonder de standzekerheid te laten afnemen. Welk effect het overstromen van de kering heeft, dient tevens bekeken te worden. Afhankelijk van de bodemopbouw van de kering en welke faalmechanismen mogelijk relevant zijn voor deze kering kan het actuele veiligheidsniveau worden ingeschat en kan gekeken worden welke ruimte lokaal beschikbaar gemaakt kan worden voor vergunningverlening.

Vluchtroute

Het handhaven van een vluchtroute is op zichzelf geen taak van het waterschap. De Nederlandse veiligheidsregio's zijn verantwoordelijk voor evacuatie bij overstromingen. Daarbij kan een compartimenteringskering zeer goed van pas komen als vluchtroute of vluchtplaats. In overleg met de veiligheidsregio kan de keringbeheerder kijken naar de begaanbaarheid van de compartimenteringskering met de behoudsnorm bij een doorbraak van de primaire kering(en). Daarbij moet uitgegaan worden van verkeersbelasting op de compartimenteringskering. Eventueel kan voor (een deel van) een kering die dient als vluchtroute alsnog een tijd tot bezwijken als richtlijn worden aangehouden.

2.7. Hoge gronden

In sommige situaties zullen regionale keringen aansluiten op natuurlijke hoge delen in het landschap die niet overstroomd bij maatgevend hoogwater op het regionale watersysteem. Dit zal met name optreden in de hogere delen van het land. Hoge grond vormt geen onderdeel van het stelsel regionale keringen om een beschermd gebied, en hoeft niet te worden beoordeeld bij de toets op veiligheid. Het is daarbij wel van belang dat hoge grond niet wordt afgegraven of doorgraven. De controle hierop is de verantwoordelijkheid van de provincie.

Lokaal hooggelegen delen in het landschap zoals in stedelijk gebied, haventerreinen of spoor- of snelweglichamen, worden niet als hoge grond beschouwd. Dergelijke delen maken wel onderdeel uit van het stelsel dat een beschermd gebied omsluit. Zodoende worden lokaal hooggelegen delen aangemerkt als waterkering, en dienen deze als zodanig getoetst te worden. Hierbij is dan sprake van een zgn. verholten waterkering. Vaak zal kunnen worden volstaan met een eenvoudige beoordeling.

De aansluiting van een regionale kering op hoge grond kan worden getoetst aan de hand van enkele aanwijzingen die zijn beschreven in het VTV2006.

2.8. Niet genormeerde keringen

In enkele specifieke gevallen zijn regionale keringen wel aangewezen, maar niet van een norm voorzien. Een beoordeling van veiligheid van deze keringen conform deze Leidraad is niet goed mogelijk. Enerzijds ontbreekt hiertoe een maatgevende waterstand behorende bij de norm. Anderzijds lijkt de vereiste inspanning voor zo'n beoordeling geen recht doen aan het ogenschijnlijk geringe belang van deze keringen.

In het buitenland is veel vaker sprake van niet genormeerde keringen, zoals in Engeland en Frankrijk. In beide landen worden methodieken toegepast voor een kwalitatieve beoordeling van de toestand van de kering, vaak op basis van visueel waarneembare kenmerken. Voor nadere informatie over kwalitatieve methoden voor de beoordeling van waterkeringen wordt verwezen naar het International Levee Handbook [CIRIA, 2013].

REFERENTIES

[Deltares, 2011]	Analyse Macrostablieit Dijken met de Eindige Elementen Methode, rapport 1202121-012-GEO-0005, december 2011, i.o.v. RWS Waterdienst,
[Deltares, 2012]	Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, rapport 1202123-003-GEO-0002, maart 2012.
[Deltares, 2014a]	Memo Ongedraineerde schuifsterkte bij toetsspoor macrostablieit in WTI 2017 - informatie voor besluitvormingsproces. Deltares memo met kenmerk 1209434-006-GEO-000711, juli 2014.
[Deltares, 2014b] ongedraineerde	Rapport Modelonzekerheidsfactoren Spencer-Van der Meij model en schuifsterkte Programma WTI 2017, rapport 1207808-001-GEO-0005, Versie 02, Deltares, 17 december 2014.
Deltares, 2014c	droogtegevoeligheid/verdroging
[ENW, 2007]	Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.
[Geo, 2013]	Van Duinen, T.A., en Van Hemert, H. (2013). Stablieitsanalyses met ongedraineerde schuifsterkte voor regionale waterkeringen. Geotechniek, december 2013.
[Min. I&M, 2014]	Werkwijzer Piping bij Dijken, Min. I&M, RWS Water, Verkeer en Leefomgeving, november 2014
[STOWA, 2007a]	LTV2007, Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, ORK2007-02.
[STOWA, 2009]	Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, ORK 2009-06.
[STOWA, 2010]	Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, ORK2010-22
[STOWA, 2015]	Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.
[TAW, 2001]	TRWG, Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, TAW richtlijn, juni 2001.
[TAW, 2002]	Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken. TAW richtlijn, mei 2002.
[TAW, 2004]	Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, TAW richtlijn, september 2004.

