

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>Belastingssituatie 'hoogwater'</i>	4
1.1.2.	<i>Belastingssituatie '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;
- windefecten (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.

Macrostabiteit binnenwaarts

Bij het faalmechanisme macrostabiteit 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.

Macrostabiteit buitenwaarts

Bij het faalmechanisme macrostabiteit 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.

Microstabiteit

Voor het beoordelingsspoor microstabiteit 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 microstabiteit. 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 overstroemd 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 groundbreuk in de waterbodem.

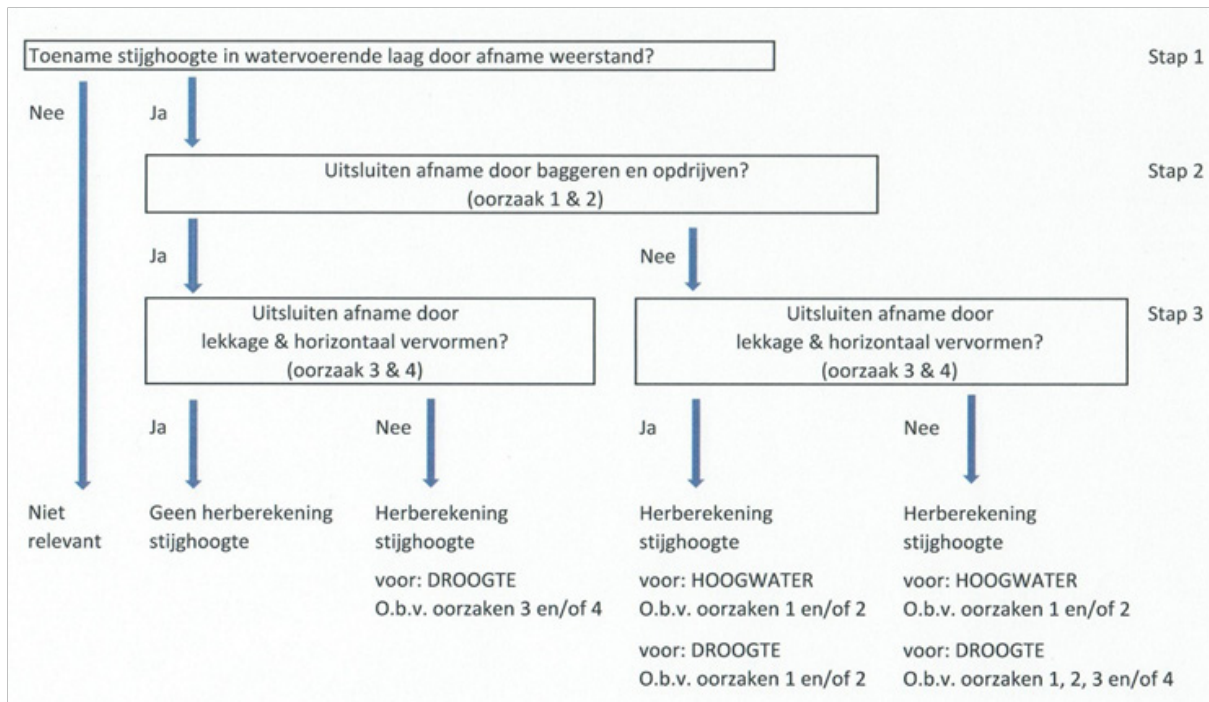
Relevant bij deze beoordeling is de vraag of tijdens het optreden van deze gebeurtenissen de waterkering daadwerkelijk waterkerend is, dan wel in welke mate deze gebeurtenis kan optreden tijdens de normsituatie.

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 oprijfveiligheid 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	Zeer 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. Belasting spreiding kan normaliter in rekening gebracht door een spreidingshoek op te geven. Om belasting spreiding 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 belasting spreiding 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 onderhouden, 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 aardschokken

De kans op falen van de kering ten gevolge van aardbevingen en aardschokken is in Nederland grotendeels te verwaarlozen. Uitzondering hierop vormt de provincie Groningen. Recente inzichten in de aard en omvang van aardbevingen / -schokken 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 / -schokken 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.

