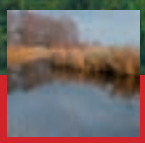
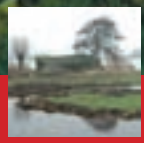
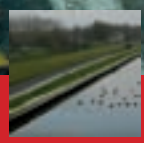
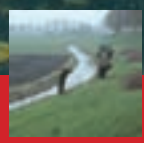
Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen

stowa

LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN

ORK

2007
02

ISBN 978.90.5773.382.6

stowa@stowa.nl WWW.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 231 79 80
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL **078 623 05 00** FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

UITGAVE STOWA, Utrecht 2007

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.
Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.
Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

FOTO'S BESCHIKBAAR GESTELD
mw. E. Reincke (provincie Friesland)
F. Veerman (Hoogheemraadschap Schieland & de Krimpenerwaard)
D.J.F. Lagendijk (provincie Zeeland)
H.N. van Hemert
FUGRO

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

rapportnummer ORK 2007-02
ISBN 978.90.5773.382.6

TEN GELEIDE

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die beveiliging wordt niet alleen verzorgd door de primaire waterkeringen, maar ook door de zogenaamde regionale waterkeringen. Ook deze waterkeringen zijn belangrijk, en daarom heeft het Rijk in de Vierde Nota waterhuishouding (1998) het actiepunt opgenomen dat provincies en waterschappen normen ontwikkelen voor de veiligheid van niet-primaire waterkeringen.

Het InterProvinciaal Overleg (IPO) en de Unie van Waterschappen (UvW) hebben gezamenlijk besloten om de aanpak van de regionale keringen stapsgewijs uit te voeren. De eerste stap betreft het aanwijzen van de waterkeringen en vastleggen van het wenselijke veiligheidsniveau voor het gebied dat door de regionale waterkering wordt beschermd. De tweede stap betreft de toetsing of de veiligheid van de regionale waterkering voldoet aan de gestelde norm. Een derde stap betreft het zonodig verbeteren van de veiligheid, indien de veiligheid van de waterkering niet voldoet aan de norm. Tenslotte geldt dat de waterkeringen moeten worden beheerd teneinde de veiligheid van de waterkering te onderhouden.
Om het proces landelijk zoveel mogelijk uniform uit te kunnen voeren, is besloten het proces te ondersteunen met een systematiek voor de uitvoering van de genoemde stappen voor de verschillende typen regionale waterkeringen. Dit geheel van activiteiten en producten is vastgelegd in het zogenaamde Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen. Het programmamanagement van het Ontwikkelingsprogramma is in handen van de STOWA, en staat onder ambtelijk toezicht van het Kernteam Regionale Waterkeringen. De verschillende projecten van dit programma zijn inhoudelijk begeleid door Begeleidingscommissies.

Volgens een schatting van de STOWA bedraagt de totale lengte aan regionale waterkeringen in Nederland ca. 14.000 km, verspreid over nagenoeg alle provincies en waterschappen. Dit betreft verschillende typen regionale waterkeringen, te weten:

- boezemkaden en keringen langs regionale rivieren;
- compartimenteringskeringen of droge keringen, die pas functioneren na het falen van een primaire waterkering;
- voorlandkeringen en zomerkaden, die buitenwater keren maar geen primaire waterkeringen zijn.

Een groot deel hiervan ondergaat de komende jaren het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren.

Het document dat u thans voor u heeft liggen, betreft de Leidraad Toets op Veiligheid Regionale Waterkeringen. Deze Leidraad vormt een onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma.

Drs. G.H.F. Timmermans
Voorzitter Kernteam regionale waterkeringen

VOORWOORD

Het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen hebben de wens uitgesproken dat het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren van de verschillende typen regionale waterkeringen landelijk zoveel mogelijk uniform wordt uitgevoerd. Vanuit deze wens is de doelstelling geformuleerd het genoemde proces te ondersteunen met een landelijk toepasbare systematiek voor het uitvoeren van de verschillende stappen. Het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen beschrijft de verschillende technische rapporten die daartoe benodigd zijn. Tabel 1 presenteert een overzicht van deze rapporten. Tabel 2 beschrijft de overige producten van het Ontwikkelingsprogramma. Omdat tijdens de uitwerking van het programma aanvullende onderdelen kunnen worden gedefinieerd, is tabel 2 niet noodzakelijkerwijs volledig.

TABEL 1 **OVERZICHT RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA**

Normeren
Richtlijn Normeren Keringen langs regionale rivieren
Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen
Richtlijn Normeren Voorlandkeringen
Toetsen
Leidraad Toets op veiligheid – katern Boezemkaden
Leidraad Toets op veiligheid – Regionale Waterkeringen
Ontwerp & Verbeteren
Handreiking Ontwerpen & Verbeteren – Boezemkaden
Handreiking Ontwerpen & Verbeteren – Keringen langs regionale rivieren
Handreiking Ontwerpen & Verbeteren – Compartimenteringskeringen
Beheer & Onderhoud
Handreiking Beheer & Onderhoud Regionale Waterkeringen
Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale keringen
Leidraad Niet-waterkerende objecten bij regionale keringen

TABEL 2 **OVERIGE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA**

Achtergrondrapporten
Kwaliteitsindicatoren Toets op veiligheid
Materiaalfactoren Boezemkaden

DEZE LEIDRAAD

Deze Leidraad Toets op Veiligheid Regionale Waterkeringen beschrijft de systematiek voor de toets op veiligheid van verschillende regionale waterkeringen, te weten:

- boezemkaden;
- keringen langs regionale rivieren;
- droge of compartimenteringskering.

Deze Leidraad omvat tevens de katern Boezemkaden, die in 2006 al separaat is uitgebracht. Naar aanleiding van proeftoetsingen en reviews is de beschreven systematiek voor de toets op veiligheid van boezemkaden ten opzichte van de katern Boezemkaden op een aantal punten verduidelijkt.

TOTSTANDKOMING

Deze Leidraad is samengesteld door Fugro Ingenieursbureau BV, met medewerking van GeoDelft en inhoudelijke bijdragen van de STOWA zelf. De ontwikkeling van deze Leidraad is begeleid door de Begeleidingscommissies Keringen langs Regionale Rivieren en Compartimenteringskeringen. De samenstelling van deze commissies is onderstaand weergegeven.

Begeleidingscommissie Keringen langs regionale rivieren
- ir. H. Tienstra (voorzitter) – provincie Overijssel
- ir. B. van den Reek / drs.W. Smid – provincie Noord Brabant
- ir. E. Boere / ing. F.J. Hendriks – provincie Gelderland
- ir. A. van Hal – waterschap Aa & Maas
- H. Jalving – waterschap Groot Salland
- ir. N. Nijmeijer – waterschap Rivierenland

Begeleidingscommissie Compartimenteringskeringen
- drs. D.J.F. Lagendijk (voorzitter) – provincie Zeeland
- ing. J. Eikelenboom – provincie Noord – Holland
- ing. P.-J. Hofman – provincie Zuid – Holland
- ir. R. Maljaars – waterschap Zeeuws Vlaanderen
- ir. M.C.W. Nieuwjaar – provincie Flevoland
- P. Polak – waterschap Brabantse Delta
- ing. M. Trompetter / ing. M. Rademaker – waterschap Rivierenland

Secretaris van beide commissies is ir. H. van Hemert (namens STOWA).

Tijdens de test-fase is een zogenaamde proeftoetsing uitgevoerd op basis van een voorlopige versie van de Leidraad. Aan deze testfase is meegewerkt door de waterschappen Zeeuws Vlaanderen, Zeeuwse Eilanden, Brabantse Delta, Hollandse Delta, Rivierenland, Vallei & Eem, Groot Salland, Rijn & IJssel, Velt & Vecht en het wetterskip Fryslân.

In een eerdere fase hebben vijf waterschappen een proeftoetsing uitgevoerd op basis van de katern Boezemkaden. Dit betrof de hoogheemraadschappen Hollands Noorderkwartier, Rijnland, Amstel, Gooi & Vecht, de Stichtse Rijnlanden en Schieland en de Krimpenerwaard.

ALGEMEEN GEDEELTE

DE VEILIGHEID VAN REGIONALE WATERKERINGEN

BESCHERMING TEGEN OVERSTROMEN

De bescherming tegen overstroming vormt een wezenlijk vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die bescherming wordt verzorgd door primaire waterkeringen en regionale waterkeringen. De primaire keringen beschermen overwegend tegen overstromingen vanuit buitenwater, zoals de grote rivieren en de Noordzee. Regionale waterkeringen bieden bescherming tegen overstroming vanuit buitenwater (voorlandkeringen), binnenwater (boezems, kanalen en regionale rivieren) of bij doorbraak van andere waterkeringen (droge of compartimenteringskeringen).

De Wet op de waterkering (1996) schrijft een vijfjaarlijkse veiligheidstoetsing van de primaire waterkeringen voor. Na de totstandkoming van de Wet op de waterkering is geconstateerd dat het eveneens wenselijk is om voor de regionale waterkeringen algemene regels op te stellen ter verzekering van de bescherming tegen overstromingen. Vanwege dit belang heeft het Rijk al in de Vierde Nota waterhuishouding (NW4) het actiepunt opgenomen dat provincies en waterschappen normen ontwikkelen voor de veiligheid van niet-primaire waterkeringen.

In deze Leidraad wordt met veiligheid steeds de beveiliging tegen overstroming bedoeld. Deze veiligheid wordt uitgedrukt als de overschrijdingsfrequentie van een waterstand die de waterkering veilig kan keren.

DE BESCHERMING TEGEN OVERSTROMING DOOR REGIONALE WATERKERINGEN

Het waarborgen van de beveiliging tegen overstroming van de regionale waterkeringen geschiedt in vier stappen. De eerste stap betreft het aanwijzen van de waterkeringen en het vastleggen van veiligheidsnormen. Door middel van deze normering wordt het wenselijke veiligheidsniveau aangegeven voor het gebied dat door regionale waterkeringen wordt beschermd. Dit wenselijke veiligheidsniveau is onder andere gerelateerd aan de economische schade en de slachtoffers die bij het falen van de waterkering kunnen optreden. De tweede stap betreft de toetsing of de regionale waterkering voldoet aan de gestelde norm. Een derde stap betreft het verbeteren van de veiligheid, indien de veiligheid van de waterkering niet voldoet aan de norm. Tenslotte geldt dat de waterkeringen moeten worden beheerd om de veiligheid van de waterkering te behouden.

ONTWIKKELINGSPROGRAMMA REGIONALE WATERKERINGEN

Het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen ondersteunen het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren van de regionale waterkeringen gezamenlijk met de ontwikkeling van enkele richtlijnen, leidraden en handreikingen voor de genoemde stappen. Deze richtlijnen, leidraden en handreikingen worden in beginsel opgesteld voor alle typen regionale waterkeringen, zoals die in de “Visie op regionale waterkeringen” (2004) zijn onderscheiden:

- boezemwaterkeringen;
- waterkeringen langs regionale rivieren;
- droge of compartimenteringskeringen;
- voorlandkeringen.

Deze voorgenomen ondersteuning is nader gedefinieerd in het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen, opgesteld door het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen (februari 2005). De STOWA coördineert de uitwerking van dit Ontwikkelingsprogramma.

TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN

LEIDRAAD VOOR HET TOETSEN OP VEILIGHEID VAN REGIONALE WATERKERINGEN

Het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen omvat onder andere de ontwikkeling van een Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen. Doel van deze Leidraad is te komen tot een landelijk uniforme uitwerking van de toetsing van de actuele veiligheid door de verschillende beheerders. Voorliggende Leidraad vormt het resultaat. Op basis van deze Leidraad kan de veiligheid van regionale waterkeringen worden getoetst aan de gestelde veiligheidsnorm. Hiertoe beschrijft de Leidraad de wijze waarop de beoordeling van de veiligheid uitgevoerd dient te worden.

De Leidraad beschrijft tevens enkele aanbevelingen betreffende de wijze waarop de resultaten van de veiligheidstoetsing bij voorkeur gerapporteerd worden. Deze aanbevelingen dienen om op eenvoudige wijze op landelijk niveau een eenduidig beeld te verkrijgen van de beveiliging van gebieden tegen overstromen en de veiligheid van de waterkeringen.

Regionale waterkeringen vervullen soms meerdere functies. De toets op veiligheid betreft uitsluitend de waterkerende functie van de waterkering.

BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID

De veiligheid van een regionale waterkering wordt beoordeeld op meerdere faalmechanismen. 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 (technische) waardering van de veiligheid van de waterkering voor het beschouwde faalmechanisme. Het is daarbij denkbaar dat op basis van een toetsspoor niet tot een technische score kan worden gekomen, bijvoorbeeld doordat onvoldoende informatie aanwezig is. 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. Hoofdstuk 2 gaat nader in op de afweging tussen het technisch oordeel en het oordeel van de beheerder.

WAARDERING VAN DE VEILIGHEID

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 “onvoldoende” of ”geen oordeel”. De veiligheid van het dijkvak voldoet dan aan de norm. De veiligheid van het dijkvak voldoet niet aan de norm indien één van de toetssporen, zonodig inclusief het beheerdersoordeel, resulteert in de score “onvoldoende” of “geen oordeel”. De veiligheid van een gehele waterkering, bijvoorbeeld de dijkring om een polder of alle compartimenteringskeringen rondom een compartiment, voldoet geheel aan de norm indien alle dijkvakken voldoen aan de norm. De veiligheid voldoet niet aan de norm indien één van de vakken niet aan de norm voldoet.

STATUS VAN DEZE LEIDRAAD: “GROENE VERSIE”

Deze Leidraad is een zogenoemde “groene” versie. De Leidraad is gebaseerd op de huidige stand der techniek, waarbij vanwege geconstateerde leemten in kennis (gedeelten van) enkele toetssporen op pragmatische wijze zijn uitgewerkt. Dit geldt met name voor de toetsing van de belastingsituatie “langdurige droogte”. Naar de invloed van langdurige droogte op de sterkte van veen en de stabiliteit van veenkaden wordt nog onderzoek verricht. In het kader van het Ontwikkelingsprogramma bestaat het voornemen om een definitieve versie van de Leidraad uit te brengen, wanneer de geconstateerde leemten in kennis voldoende zijn ingevuld. Voorzien wordt dat over enkele jaren een definitieve versie van de Leidraad zal worden uitgebracht. Vooralsnog is daarbij het streven om de definitieve versie voor validatie aan het ENW voor te leggen.

De “rijpheid” van de toetsregels voor de verschillende typen regionale waterkeringen verschilt. Voor de boezemkaden is in de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan. De rijpheid van de beschreven toetssporen in de katern boezemkaden is “donkergroen”. Voor de toetsing van keringen langs regionale rivieren is voornamelijk aangesloten bij de toetsing van primaire rivierkeringen. De verschillen tussen (de toetsing van) beide typen keringen is gering, zodat gesteld wordt dat de rijpheid van de toetssporen in de katern keringen langs regionale rivieren “groen” is. De toetssporen voor compartimenteringskeringen zijn in deze Leidraad pas voor het eerst opgesteld. De rijpheid van de toetsingsmethodiek voor de compartimenteringskering is derhalve “licht groen”. Hier dient men van bewust te zijn bij het gebruiken van deze leidraad.

STATUS VAN DE KENNIS IN DEZE LEIDRAAD

Deze Leidraad is in een hoog tempo samengesteld, waarbij minder tijd is genomen voor kwaliteitsborging dan bijvoorbeeld voor de TAW-leidraden. Ook is, in tegenstelling tot wat gebruikelijk is in diezelfde TAW-leidraden, gekozen om voorlopige (niet gevalideerde) handreikingen te geven. Achtergrond hiervan is de wens dat de beheerders snel in de gelegenheid worden gesteld om de toetsing ter hand te nemen en dat de toetsing een realistisch beeld geeft over de veiligheid van de regionale waterkeringen. Consequentie is wel dat bij het beslissen over vergaande maatregelen op basis van de toetsresultaten het verstandig is om op dat moment te kijken wat de ‘state of the art’ kennis is.

VRIJWARING

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

PERIODIEKE VEILIGHEIDSTOETSING

Een veiligheidstoetsing dient periodiek te worden uitgevoerd, omdat enerzijds de randvoorwaarden kunnen wijzigen en anderzijds veranderingen aan de waterkering en de directe omgeving de sterkte van de waterkering kunnen aantasten. Ten aanzien van de frequentie bestaat de keuze om de toets bijvoorbeeld:

- met een vaste frequentie uit te voeren;
- na iedere ingreep in het regionale watersysteem of de (omgeving van de) waterkering waardoor de belasting of sterkte kan zijn gewijzigd;
- een combinatie van beide, na iedere ingreep maar tenminste bijvoorbeeld iedere 5 jaar.

De frequentie van de veiligheidstoetsing wordt vastgesteld door de provincie, in overleg met de waterkeringbeheerder, en opgenomen in de provinciale verordening. Deze leidraad geeft geen aanbevelingen voor de frequentie waarmee de toetsing dient te worden uitgevoerd. Bovenstaande overwegingen zijn ook uitsluitend ter illustratie beschreven.

GEFASEERD OPSTARTEN EERSTE VEILIGHEIDSTOETSING REGIONALE WATERKERINGEN

De totale lengte regionale waterkeringen in Nederland bedraagt ca. 14.000 km. De lengte regionale waterkering per waterkeringbeheerders verschilt sterk. Verschillende waterkeringbeheerders beheren grote lengten regionale waterkeringen, zoals het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (ca. 1.000 km) en het Wetterskip Fryslân (ruim 3000 km). Het uitvoeren van de toetsing, inclusief het verzamelen en afleiden van de vereiste informatie, vergt een aanzienlijke inspanning. Het is denkbaar dat de toetsing daarom gefaseerd over enkele jaren zal worden uitgevoerd. Een eventuele fasering van de veiligheidstoetsing, inclusief de volgorde van de verschillende waterkeringen en de totale doorlooptijd, wordt door de provincies en de verschillende waterkeringbeheerders afzonderlijk in overleg vastgesteld. Om snel een beeld te krijgen over de veiligheid tegen overstromingen, verdient het aanbeveling de toetsing te starten met de belangrijkste regionale waterkeringen.

BENODIGDE RANDVOORWAARDEN VOOR UITVOERING VAN DE VEILIGHEIDSTOETSING

NORM EN TYPE REGIONALE WATERKERINGEN

Alvorens de veiligheidstoetsing van een aangewezen regionale waterkering kan worden uitgevoerd, dient allereerst de veiligheidsnorm voor de waterkering te zijn vastgesteld. Deze vaststelling geschiedt door de provincie. Hierbij dient tevens het type regionale waterkering te worden vastgesteld, aangezien voor de verschillende typen regionale waterkeringen specifieke richtlijnen voor het normeren en leidraden voor de veiligheidstoetsing worden opgesteld.

WATERSTANDEN

Voor uitvoering van de toetsing dient de waterkeringbeheerder te beschikken over Toetspeilen. Dit zijn de maatgevende waterstanden behorende bij de veiligheidsnorm, exclusief lokale toeslagen. Het toetspeil kan op verschillende manieren worden bepaald:

- een statistische analyse van opgetreden afvoerdebieten of waterstanden (indien over meetreeksen wordt beschikt);
- een systeemanalyse.

Een combinatie van beide methoden is eveneens denkbaar. Een uniforme methode voor het vaststellen van de maatgevende waterstanden is (nog) niet voorhanden. Veelal is de benodigde informatie beperkt aanwezig of onnauwkeurig, zoals het afvoerdebiet van verschillende regionale rivieren.
Het maatgevend waterpeil wordt vastgesteld door de provincie, voor zowel de hoogwatersituatie als voor de beschouwing van de situatie droogte. De lokale toeslagen dienen te worden vastgesteld door de waterkeringbeheerder. Bij de toetsing wordt tevens het polderpeil beschouwd, zoals dat kan optreden tijdens zowel de hoogwatersituatie als de situatie droogte. Dit peil dient de waterkeringbeheerder zelf te bepalen.

GOLFRANDVOORWAARDEN EN WINDSNELHEDEN

Bij de toets dient tevens over maatgevend hoge windsnelheden te worden beschikt, zoals die kunnen voorkomen tijdens het optreden van maatgevende waterstanden. Op basis van deze windsnelheden dient de waterkeringbeheerder zelf de golfrandvoorwaarden te berekenen. Zonodig kunnen deze windsnelheden tevens dienen voor berekening van de scheefstand van de boezem of rivier door opwaaiing.

AFLEIDING EN VASTSTELLING VAN DE BENODIGDE RANDVOORWAARDEN

In tabel A zijn de benodigde randvoorwaarden voor de veiligheidstoetsing samengevat. Algemeen geldt dat de afleiding van de verschillende randvoorwaarden bij voorkeur gebeurt in overleg tussen de provincies en de waterkeringbeheerders. Daarbij lijkt het verstandig dat de provincie enkele randvoorwaarden formeel vaststelt en vastlegt, bijvoorbeeld in een bijlage bij de provinciale verordening aangaande de waterkeringen. In deze provinciale verordeningen kunnen tevens de verantwoordelijkheden betreffende de afleiding en vaststelling van de benodigde randvoorwaarden worden vastgelegd.

TABEL- A OVERZICHT BENODIGDE RANDVOORWAARDEN

Benodigde randvoorwaarde	Verantwoordelijk voor afleiding en/of vaststelling
Veiligheidsnorm	Vaststellen door provincie
Maatgevend waterpeil *1	Vaststellen door provincie
Lokale toeslagen op maatgevend waterpeil *1	Afleiden door waterkeringbeheerder
Polderpeil *1	Afleiden door waterkeringbeheerder, op basis van aanwijzingen in de Leidraad
Windsnelheid tijdens maatgevende condities	Vaststellen door provincie*2, desgewenst op gebiedsniveau door waterkeringbeheerder
Golfrandvoorwaarden	Afleiden door waterkeringbeheerder, op basis van aanwijzingen in de Leidraad

*1: vaststelling voor zowel de hoogwatersituatie als de situatie “langdurige droogte”
*2: handreikingen worden gegeven in deze Leidraad

Tenslotte geldt dat verschillende kenmerken van de waterkering en de directe omgeving bekend moeten zijn voor de uitvoering van de toetsing, zoals:

- de bodemopbouw, inclusief grondmechanische en geohydrologische eigenschappen van de grondlagen;
- freatische grondwaterstand, stijghoogte in de watervoerende lagen en de verdeling van de waterspanningen op verschillende diepten in het profiel;
- de geometrie van de waterkering en de directe omgeving;
- en zonodig de toekomstverwachting voor enkele kenmerken, zoals zetting van de waterkering en bodemdaling;
- de niet-waterkerende objecten binnen de beschermingszone of invloedsfeer van de waterkering, inclusief gegevens van deze objecten ten behoeve van de toetsing;
- de waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies, eveneens inclusief de benodigde gegevens ten behoeve van de toetsing.

PRESENTATIE VAN DE VEILIGHEID

RAPPORTAGE VAN DE VEILIGHEIDSTOETSING

De waterkeringbeheerder dient de resultaten van de veiligheidstoetsing van de regionale keringen, op basis van de Leidraad voor het Toetsen van de Veiligheid van Regionale Keringen, te rapporteren aan Gedeputeerde Staten van de provincie. Gedeputeerde Staten bepalen voor de verschillende regionale waterkeringen het tijdstip waarop het rapport over de veiligheid moet worden ingediend.

De algemene doelstelling van het rapport is het bieden van inzicht in de veiligheid van de regionale waterkeringen en de planning van groot onderhoud en eventuele verbeteringsmaatregelen. 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 wensen ten aanzien van de inhoud van dit rapport geformuleerd:

a) kaarten met het toetsresultaat op dijkvakniveau;
b) kaart met de maatgevende belastingsituatie en het kritieke faalmechanisme;
c) beschrijving van de (geotechnische) schematisering van het profiel;
d) tabel met de dijkvakken (nummer en/of naam), de lengte, het toetsresultaat en toetsjaar, en zonodig de planning van het groot onderhoud, eventuele verbeteringswerken of reden waarom niet tot een eindoordeel is gekomen;
e) voor secties met de technische eindscore “geen oordeel” 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;
f) het beheerdersoordeel dient goed te zijn onderbouwd, speciaal wanneer dit afwijkt van de technische score;
g) toelichtende tekst.

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 inzichtelijk 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, golfrandvoorwaarden).

Aanvullend op de rapportage van de veiligheidstoets is het wenselijk dat de beheerder van een regionale waterkering verslag uitbrengt aan Gedeputeerde Staten over de voortgang van het groot onderhoud, verbeteringswerken of ingrepen in het watersysteem die nodig zijn om (voor de eerste maal) te voldoen aan de veiligheidsnorm en de bevindingen van de inspecties van de regionale waterkeringen. Een provincie kan hiertoe afspraken omtrent aanvullende rapportages maken met de waterkeringbeheerders en deze afspraken eventueel vastleggen in de provinciale verordening.

VOORBEELDTABEL: RESULTAAT VEILIGHEIDSTOETSING POLDER.....

Kade (nummer of naam)	Norm	Repr. profiel	Lengte Kade (m)	Resultaat (m)				Resultaat (lengte in m) veiligheidsbeoordeling per toetsingscriterium																NWO			
				totaal				HT				STPH				STBU				STBI	STMI	STBK	STVL	totaal			
				Voldoet aan norm		Voldoet niet	Geen oordeel	Voldoet aan norm		Voldoet niet	Geen oordeel	etc.				etc.				etc.	etc.	etc.	etc.	etc.			
				goed	vol-doende	onvol-doende		goed	vol-doende	onvol-doende																	
1.a			*1000*	*100*	*700*	*100*	*100*	*100*	*800*	*100*	*0*																
1.b			*500*	*100*	*200*	*100*	*100*	*100*	*200*	*200*	*0*																
1.c			*725*	*etc.*				*etc.*																			
2.a			*250*																								
2.b			*300*																								
etc.			…																								
Totaal																											

VOORBEELDTABEL: RESULTAAT VEILIGHEIDSTOETSING KUNSTWERKEN POLDER .....

Kade (nummer of naam)	Norm	Type	Kunstwerk (nummer of naam)	Resultaat				Resultaat veiligheidsbeoordeling per toetsingscriterium																					
				totaal				HT				STCG				STCO				STPH				STVL					
				Voldoet aan norm		Voldoet niet	Geen oordeel	Voldoet aan norm		Voldoet niet	Geen oordeel	Voldoet aan norm		Voldoet niet	Geen oordeel	etc.				etc.				etc.					
				goed	vol-doende	onvol-doende		goed	vol-doende	onvol-doende		goed	vol-doende	onvol-doende															
1.a		Sluis	1		x				x			x																
		Gemaal	2				x		x						x														
1.b		Sluis	1																										
		Gemaal	2																										
		Coupure	3																										
1.c		Sluis	2																										
2.a		etc.																											
etc.																													
Totaal																													

TUSSENTIJDSE RAPPORTAGE TIJDENS DE EERSTE TOETSRONDE

De eerste veiligheidstoetsing zal gedurende meerdere jaren worden uitgevoerd, vanwege de aanzienlijke omvang van de benodigde werkzaamheden. Teneinde snel een eerste indruk te verkrijgen van de beveiliging tegen overstromingen, is het wenselijk om gedurende de uitvoering van de eerste toetsronde het genoemde jaarlijkse verslag over de voortgang van het groot onderhoud of de verbeteringswerken uit te breiden met een stand van zaken betreffende de veiligheidstoetsing. Alle gegevens kunnen bijvoorbeeld worden geïntegreerd in één samenvattende tabel, waarin is aangegeven:

- hoe de veiligheidstoetsing is uitgevoerd, inclusief het eindoordeel;
- de planning van de toetsing, eventueel benodigde verbeteringswerken en/of groot onderhoud.

Een voorbeeld van de tabel is hieronder weergegeven. Uitgangspunt bij dit voorbeeld is dat de keringen (verticaal) zijn gerangschikt op prioriteit van het betreffende dijkvak.

TABEL- B **VOORBEELDTABEL PRESENTATIE "STAND VAN ZAKEN VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN 2007"**

dijk-vak	Veiligheidstoetsing		Planning toetsing, verbetering of groot onderhoud				
	Methode	Oordeel	2008	2009	2010	2011	2012
vak A	Toetsing	V		Gr.Oh.			2de Toets
vak B	Toetsing	V		Gr.Oh.			2de Toets
vak C	Toetsing	G					2de Toets
vak D	Toetsing	O	VERB				2de Toets
vak E	Toetsing	G.O.					2de Toets
vak F	Toetsing	G					2de Toets
vak G	Toetsing	V			Gr.Oh.		2de Toets
vak H	Toetsing	O		VERB			2de Toets
vak I	Beheerdersoordeel	V	TOETS			Gr.Oh.	
vak J	Beheerdersoordeel	V	TOETS			Gr.Oh.	
vak K	Beheerdersoordeel	V	TOETS				Gr.Oh.
vak L	Beheerdersoordeel	O	TOETS	VERB			
…							
vak S	Beheerdersoordeel	O	Gr.Oh.	TOETS			
vak T	Beheerdersoordeel	V		TOETS			Gr.Oh
vak U	Beheerdersoordeel	G		TOETS			
vak …							

G = Goed; V = voldoende; O = onvoldoende; G.O. = geen oordeel; Gr.Oh. = Groot Onderhoud; Verb = Verbetering.

ONTWERPEN EN VERBETEREN REGIONALE KERINGEN

LEIDRAAD TOETSEN VERSUS HANDREIKING ONTWERPEN

Op basis van de veiligheidstoetsing zal de komende jaren een beeld ontstaan van de veiligheid van de regionale waterkeringen. Het is denkbaar dat voor een aantal dijkvakken de veiligheid niet voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm. Na uitvoering van de toetsing zal gewerkt gaan worden aan de verbetering van de veiligheid van de keringen. Om het proces van ontwerpen & verbeteren te ondersteunen, voorziet het Ontwikkelingsprogramma in de ontwikkeling van een handreiking voor het ontwerpen en verbeteren van regionale waterkeringen. Met nadruk wordt opgemerkt dat de toetsregels en -criteria in deze Leidraad specifiek gelden voor het toetsen van de veiligheid van een regionale waterkering, en dus niet bedoeld zijn voor het ontwerpen van eventuele dijkverbetering of nieuwe waterkeringen.

NAAR VEILIGE REGIONALE WATERKERINGEN

Gedeputeerde Staten bepalen na overleg met de beheerder op welk tijdstip de verschillende regionale waterkeringen aan de gestelde veiligheidsnorm moeten voldoen. Het vaststellen van dat tijdstip is bepalend voor de zorgplicht van het waterschap en geschiedt daarom door het provinciaal bestuur. De uitvoering ligt bij de waterschappen. De bevoegdheid tot het bepalen van het tijdstip waarop de waterkeringen op orde moeten zijn, is in handen van Gedeputeerde Staten gelegd. Hierbij is bepaald dat Gedeputeerde Staten overleg voeren met de beheerder alvorens zij een dergelijk besluit nemen.

NAAR VEILIGE DROOGTEGEVOELIGE WATERKERINGEN

Het is denkbaar dat voor enkele droogtegevoelige keringen een voorlopig veiligheidsoordeel resulteert. Het betreffende toetsspoor is pragmatisch uitgewerkt vanwege het nog onvolledige inzicht in de effecten van droogte op de stabiliteit van een kering. Specifiek voor deze keringen (in het bijzonder wanneer de belastingsituatie droogte maatgevend is) geldt dat het te overwegen is eventuele verbetering uit te stellen tot na afronding van een definitieve versie van de Leidraad. Bedenk daarbij dat het verbeteren van dergelijke keringen op basis van het voorlopige, nog onvolledige inzicht mogelijk resulteert in onvoldoende of juist overdimensionering van de maatregelen. Voor dergelijke keringen dient dan gedurende de periode tot een definitieve veiligheidstoetsing bij voorkeur wel een beheersplan te worden opgesteld, zodanig dat de veiligheid van deze keringen tijdens perioden met langdurige droogte voldoende wordt gewaarborgd. De STOWA rapportage |STOWA 2004| bevat enkele praktische aanbevelingen voor een dergelijk plan.

DIJKVERBETERING VRAAGT OM MAATWERK



LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN

INHOUD

TEN GELEIDE
VOORWOORD
ALGEMEEN GEDEELTE

1		REGIONALE WATERKERINGEN	1
	1.1	Inleiding	1
	1.2	Proces van aanwijzen en normeren tot beheren en onderhouden	5
	1.3	De belastingsituatie langdurige droogte	7
	1.4	Afbakening en uitgangspunten	7
	1.5	Kennisvragen	8
	1.6	Selectie te gebruiken katern type waterkering	10
	1.7	Verwijzingen naar voorschriften, leidraden en technische rapporten	10
	1.8	Ondersteuning tijdens de toetsing	10
	1.9	Leeswijzer	10
2		BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID	12
	2.1	Wijze van beoordelen	12
	2.2	Beoordelingssporen	12
	2.3	Beheerdersoordeel	13
	2.4	Waardering van de veiligheid	14
	2.5	Status en waardering van de beoordeling voor de belastingsituatie droogte	15
	2.6	Opzet toetsingsprocedure	16

3		BELASTINGEN	22
	3.1	Inleiding	22
	3.2	Belastingsituaties	22
	3.3	Hydraulische belastingen	23
	3.4	Schematisering waterspanningen	26
	3.5	Overige belastingen	28
4		STERKTE	31
	4.1	Algemeen - faalmechanismen	31
	4.2	Overlopen / overslag	31
	4.3	Piping / Heave	34
	4.4	Macrostabiliteit binnenwaarts	36
	4.5	Macrostabiliteit buitentalud	40
	4.6	Microstabiliteit	41
	4.7	Bekledingen	42
	4.8	Stabiliteit voorland	43
	4.9	Kunstwerken en kerende constructies	43
	4.10	Niet-waterkerende objecten	45
5		BOEZEMKADEN	48
	5.1	Functies en kenmerken boezemkaden / boezemwatersysteem	48
	5.2	Belastingen	49
	5.3	Beoordelingsporen boezemkaden	51
6		KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN	72
	6.1	Functies en kenmerken keringen langs regionale rivieren	72
	6.2	Belastingen	72
	6.3	Beoordelingsporen regionale rivierkeringen	75
7		COMPARTIMENTERINGSKERINGEN	90
	7.1	Functies en kenmerken compartimenteringskeringen	90
	7.2	Belastingen	92
	7.3	Bewezen sterkte	97
	7.4	Beoordelingsporen compartimenteringskeringen waterkerende functie	97
		LITERATUUR	114
		BEGRIPPEN	117

BIJLAGEN

1	BENAMINGEN BOEZEMKADEPROFIEL	B.1.1
2	OVERZICHT MECHANISMEN, BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN	B.2.1
3	EFFECT DROOGTE OP VOLUMIEK GEWICHT	B.3.1
4	OVERZICHTSKAART GEBIEDEN MET MOGELIJK DROOGTEGEVOELIGE KADEN	B.4.1
5	MAATGEVENDE WINDSNELHEID VOOR VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN	B.5.1
6	GRAFIEKEN TER BEPALING VAN DE GOLFOVERSLAGHOOGTE	B.6.1
7	SCHUIFSTERKTE VAN MATERIALEN BIJ DROGE COMPARTIMENTERINGSKERINGEN OF AARDEBANEN	B.7.1
8	MAATGEVEND HOGE WINDSNELHEID KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN	B.8.1

1

REGIONALE WATERKERINGEN

1.1 INLEIDING

De bescherming tegen overstroming vormt een wezenlijk vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die bescherming wordt verzorgd door waterkeringen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen primaire, regionale en overige waterkeringen. Primaire waterkeringen beschermen tegen overstromingen vanuit buitenwater, zoals de grote rivieren en de Noordzee. Deze waterkeringen zijn aangewezen door het Rijk en beschreven in de bijlagen van de Wet op de waterkering (1996). Regionale waterkeringen bieden overwegend bescherming tegen overstroming vanuit binnenwater. Deze waterkeringen zijn niet-primaire waterkeringen die zijn aangewezen op basis van een provinciale verordening en/of zijn opgenomen in de legger / keur van het waterschap.

Op basis van de waterstaatkundige functie van een regionale waterkering zijn in de "Visie op regionale waterkeringen" [IPO & UvW 2004] door het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen de volgende groepen onderscheiden:

- boezemkaden;
- keringen langs regionale rivieren en kanalen;
- compartimenteringskeringen;
- voorlandkeringen en zomerkades.

Boezemkaden, keringen langs regionale rivieren en langs kanalen keren binnenwater. Compartimenteringskeringen functioneren na een doorbraak van een primaire of (andere) regionale waterkering, en keren dan resp. buiten- of binnenwater. Voorlandkeringen en zomerkades zijn keringen die buitenwater keren, maar geen primaire waterkering zijn.

Naast de bescherming tegen overstroming hebben regionale keringen vaak additionele functies, zoals die van weg, recreatiegebied, weiland, aanlegplaats voor de (plezier-) scheepvaart of waardevol landschapselement. In sommige gebieden vormen regionale waterkeringen een belangrijk onderdeel van het woon- en leefmilieu en is langs de waterkering veel bebouwing geconcentreerd. Verder kunnen deze keringen een belangrijke rol vervullen tijdens calamiteiten, bijvoorbeeld als vluchtplaats, evacuatieroute of toegangsroute voor redding, noodmaatregelen en reconstructiewerkzaamheden.

Een landelijke overzichtskaart van alle regionale waterkeringen is nog niet opgesteld. Een globale inventarisatie [STOWA 2002] heeft geresulteerd in een voorlopige schatting van ca. 14.000 km regionale waterkeringen. De lengte van de waterkeringen per beheerder verschilt sterk, beheerders in de provincies Drenthe, Limburg en Flevoland beheren een geringe lengte aan regionale waterkeringen terwijl het Wetterskip Fryslân meer dan 3.500 km boezemkaden beheert.

Onderstaand volgt een korte kenschets van 3 typen regionale waterkeringen. Ten aanzien van de voorlandkeringen wordt uitsluitend algemeen opgemerkt dat deze keringen bescherming bieden aan gebieden die zich buiten een dijkringgebied bevinden. Buitendijkse gebieden komen in alle watersystemen voor, dus zowel langs de grote rivieren als het IJsselmeer en in het kustgebied van de Noord- en Waddenzee. Op dit moment werkt het Rijk aan nationaal beleid inzake deze buitendijkse gebieden.

BOEZEMKADEN

Een belangrijk kenmerk van boezemkaden is de vaak geringe variatie in de waterstand in het boezemsysteem. Met name de boezemkaden in het westen van het land keren een nagenoeg constante waterstand, met een relatief geringe waakhoogte. Dit betekent dat voor veel boezemkaden de kruinhoogtemarge bij normaal voorkomende omstandigheden niet veel groter zal zijn dan bij maatgevende omstandigheden. De geringe variatie van de waterstand komt doordat het boezemsysteem grotendeels reguleerbaar is. Indien een te hoge waterstand dreigt, wordt een maalstop afgekondigd en stopt het lozen van water vanuit aanliggende polders op de boezem. Alleen vrij afwaterende oppervlaktes voeren dan nog water aan. De stijging van de waterstand wordt daarmee aanzienlijk beperkt. Deze reguleerbaarheid van het boezemsysteem vormt een groot verschil met het buitenwater langs de primaire waterkeringen en in mindere mate met de waterstand op regionale rivieren.

Boezemkaden en de ondergrond zijn vaker dan primaire waterkeringen opgebouwd uit slappe grondlagen. In het bijzonder wanneer de kade gedeeltelijk van nature is ontstaan door maaivelddaling of vervening in het achterland, is de kade opgebouwd uit slap materiaal zoals veen. Met name in het Utrechts - Hollandse veenweidegebied zijn boezemkaden sterk onderhevig aan zetting vanwege de slappe ondergrond, en dienen de kaden regelmatig te worden opgehoogd.

FOTO 1.1 **BOEZEMKADE IN FRIESLAND**



Ter beoordeling van de veiligheid van de boezemkaden in Nederland is in de periode 1970-1990 het systematisch boezemkadeonderzoek uitgevoerd. De uitvoering van dit onderzoek heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) destijds opgedragen aan het voormalig Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW), later ondergebracht bij de hoofdafdeling Waterbouw van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat. De meest belangrijke boezemkaden in Nederland zijn in dit kader beoordeeld. De aanpak en kennis is vastgelegd in het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden [TRTB 1993].

In sommige boezemsystemen zijn kunstwerken aanwezig die een compartimentering van de boezem tot stand kunnen brengen. Deze kunstwerken zijn bijvoorbeeld aangebracht als onderdeel van een militaire verdedigingstrategie. Door sluiting van deze kunstwerken bij een doorbraak van een boezemkade kunnen de gevolgen van een overstroming worden gereduceerd door beperking van de hoeveelheid instromend water. Compartimentering voorkomt tevens een daling van de waterstand in de overige compartimenten van de boezem.

KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Regionale rivieren kenmerken zich evenals de grote rivieren door de vaak grote variatie in de waterstand. Deze grotere variatie in waterstand wordt veroorzaakt door pieken in de afvoer van water, de zogenaamde hoogwatergolven. Het aanbod van de hoeveelheid af te voeren water is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag in het afvoergebied. Regionale rivierkeringen worden om die reden veelal slechts incidenteel en dan gedurende een korte periode significant belast. Uitzondering vormen de keringen in de benedenloop van een regionale rivier, waar een gestremde afvoer door hoge waterstanden op de grote rivier wel tot een langdurige hoogwaterperiode kan leiden.

FOTO 1.2 **KERING LANGS EEN REGIONALE RIVIER**



Keringen langs regionale rivieren en primaire rivierkeringen zijn derhalve enigszins vergelijkbaar. De belangrijkste verschillen zijn de kleinere afvoer in de regionale rivieren, de lagere hydraulische belasting en de minder omvangrijke gevolgen bij falen van de kering. Daarnaast is door de kleinere omvang van het afvoergebied van de regionale rivieren het manipuleren van de waterstand in zekere mate mogelijk. In sommige gebieden zijn hiertoe bijvoorbeeld retentiegebieden aangelegd.

De ontstaansgeschiedenis van regionale rivierkeringen is vaak vergelijkbaar met primaire keringen langs de grote rivieren. De keringen zijn beide gevormd door bedijking van de oorspronkelijk natuurlijke loop van de rivieren. Afwateringskanalen worden soms eveneens als regionale rivieren beschouwd. Eventueel aanwezige keringen langs deze gegraven kanalen zijn aangelegd tijdens het graven van het kanaal met de uitkomende grond.

DROGE OF COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Compartimenteringskeringen zijn keringen die bij een overstroming een dijkringgebied of polder in compartimenten verdelen, zodat het overstroomde gebied wordt beperkt. Een voorbeeld is de Knardijk, deze waterkering scheidt Oostelijk en Zuidelijk Flevoland bij een overstroming. Compartimenteringskeringen betreffen bijvoorbeeld oude zeedijken en binnendijken, maar ook andere verhoogde grondlichamen kunnen dienen als compartimenteringskeringen, zoals spoordijken en weglichamen. Daarnaast kunnen de andere typen regionale waterkeringen dienen als compartimenteringskering. Dit zorgt voor een grote verscheidenheid aan compartimenteringskeringen.

De aard van de hydraulische belasting varieert sterk tussen de verschillende compartimenteringskeringen. Bij keringen in het kustgebied is veelal sprake van een periodiek en/of kortdurend optredende belasting, terwijl een kering in het bovenrivierengebied langdurig een aanzienlijke belasting kan optreden. De maatgevende hydraulische belasting volgt uit overstromingsberekeningen. De berekende belasting is afhankelijk van de uitgangspunten bij deze berekeningen. Invloedrijke uitgangspunten zijn de oorzaak waardoor en omvang waarmee de voorliggende primaire kering faalt en de locatie of locaties waar de kering faalt. Dit maakt de hydraulische omstandigheden bij het compartimenteren van een overstroming onzeker. Overstromingsberekeningen worden uitgevoerd in het kader van het normeren van deze keringen. Een methodiek voor de normering en aanbevelingen voor de overstromingsberekeningen is beschreven in de Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen |IPO & UvW 2007a|

Belangrijk kenmerk van compartimenteringskeringen is dat deze overwegend (de zgn. droge compartimenteringskeringen) niet worden belast, of in ieder geval veel minder frequent dan bijvoorbeeld keringen langs de grote rivieren. Hierdoor ontbreekt recent inzicht in het waterkerend vermogen, zowel wat betreft eventuele waarnemingen van vervormingen van de kering als bijvoorbeeld de variatie van waterspanningen. Het bepalen van het waterkerend vermogen is dan ook relatief complex. Vooraleerst vanwege de grote verscheidenheid aan compartimenteringskeringen en de aard van de hydraulische belasting. Ook het gebrek aan inzicht in het waterkerend vermogen draagt hier aan bij. Tenslotte zijn deze keringen niet altijd goed in kaart gebracht, zodat het waterkerend vermogen soms onbedoeld kan zijn aangetast door het aanbrengen van niet-waterkerende objecten.

FOTO 1.3 **KERING MET EEN COMPARTIMENTERENDE FUNCTIE**



1.2 PROCES VAN AANWIJZEN EN NORMEREN TOT BEHEREN EN ONDERHOUDEN

Het waarborgen van de veiligheid van regionale waterkeringen kent een aantal onderdelen:

1. aanwijzen en normeren;
2. toetsen van de veiligheid;
3. ontwerpen en verbeteren;
4. beheren en onderhouden.

AANWIJZEN EN NORMEREN

Waterkeringen met een belangrijke waterstaatkundige functie kunnen worden aangewezen als regionale waterkering. Deze status verkrijgt de waterkering na aanwijzing in een provinciale verordening en/of opname in een legger of keur van de beheerder. De aanwijzing wordt overwegend uitgevoerd door de provincies. Daarbij wordt tevens het maatschappelijk gewenste beschermingsniveau vastgesteld (de veiligheidsnorm). Belangrijk doel van het aanwijzen en normeren is het scheppen van duidelijkheid voor de bewoners van het beschermde gebied, de beheerder van de waterkering en regionale bestuurders.

TOETSEN

Het toetsen van de veiligheid van een waterkering bestaat uit het bepalen van de sterkte van een waterkering en het vergelijken daarvan met de (hydraulische) belastingen behorende bij de veiligheidsnorm. De toets op veiligheid richt zich uitsluitend op de waterkerende functie. Deze Leidraad Toets op Veiligheid Regionale Waterkeringen beschrijft de wijze waarop de sterkte zo goed mogelijk kan worden bepaald. Belangrijk resultaat van de toetsing is het oordeel of de veiligheid van de waterkering aan de vereiste veiligheidsnorm voldoet. Dit oordeel biedt op gebiedsniveau inzicht in de veiligheid tegen overstromen.

ONTWERPEN EN VERBETEREN

Naast regulier of groot onderhoud kunnen verbeteringswerken aan de kade noodzakelijk zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval indien de toets op veiligheid resulteert in het oordeel dat de veiligheid van de waterkering niet aan de norm voldoet. In de praktijk wordt als onderscheid

tussen onderhoud en verbeteren vaak het al of niet veranderen van het leggerprofiel gehanteerd. Wijziging van het profiel kan ook noodzakelijk zijn door initiatieven door derden, bijvoorbeeld voor een wegverbreding.

BEHEER EN ONDERHOUD

Het is de taak van de waterkeringbeheerder om de waterkeringen blijvend te laten voldoen aan de veiligheidsnorm. Hiertoe beheert en onderhoudt de waterkeringbeheerder de waterkering. Onder het beheer van een waterkering verstaan we het geheel van activiteiten dat erop gericht is de bestaande kering zijn functies duurzaam te laten vervullen. Dit beheer betreft in het algemeen:

- (periodieke) inspectie van de waterkering;
- het zonodig uitvoeren van onderhoud;
- het beschermen door een ontheffingen- of vergunningenbeleid, teneinde uit veiligheidsoogpunt ongewenste situaties of ontwikkelingen te voorkomen.

Ten aanzien van de inspecties worden twee situaties onderscheiden:

- reguliere inspecties, gericht op de verkenning van eventuele schade aan de waterkering of de oevervoorzieningen;
- inspectie tijdens maatgevende situaties, gericht op het vroegtijdig signaleren van aanwijzingen voor een naderend bezwijken van de waterkering teneinde noodmaatregelen te treffen.

Onderhoud betreft veelal het onder (legger-) profiel houden van de waterkering, te verdelen in:

- direct noodzakelijk onderhoud, gericht op het herstel van ontstane schade, zoals het aanvullen van een veepad of een kale plek in het buitentalud na storm;
- groot onderhoud, zoals periodiek noodzakelijke ophogingen van de waterkering in gebieden met een slappe ondergrond.

Periodieke uitwerking van normeren en toetsen

De vereiste veiligheidsnorm kan veranderen door een toename van het beschermde belang, bijvoorbeeld door de aanleg van nieuwe woonwijken. Daarnaast kan de hydraulische belasting veranderen, bijvoorbeeld door wijzigingen in het waterbeheer (zowel binnen- als buitendijks) of het verharde oppervlakte. Tenslotte verandert de sterkte van een kering min of meer continu, door:

- verouderingsmechanismen zoals het optreden van zetting door consolidatie en klink, verwering en irreversibele krimp van veen;
- biologische aantasting van de kade, bijvoorbeeld graverij door muskusratten (foto 1.4);
- spoorvorming door verkeer of vee;
- aanpassingen van de waterkering, bijvoorbeeld versteiling als gevolg van ophoogwerkzaamheden;
- aantasting van het buitentalud en/of onderwatertalud door golfslag en erosie.

Deze veranderingen impliceren dat het normeren van de veiligheid van een waterkering, het bepalen van de hydraulische belasting en vervolgens toetsen periodiek dienen te worden uitgevoerd. De veiligheid van de primaire waterkeringen wordt bijvoorbeeld elke vijf jaar getoetst, waarbij tevens steeds de hydraulische randvoorwaarden worden vastgesteld. Op dit moment wordt het normeren en toetsen van de regionale waterkeringen grotendeels voor de eerste keer uitgevoerd. Afspraken over een periodieke uitvoering van deze werkzaamheden zijn nog niet gemaakt.

FOTO 1.4 **VOORBEELD VAN DE OMVANG VAN SCHADE DOOR GRAVERIJ DOOR MUSKUSRATTEN**



1.3 DE BELASTINGSITUATIE LANGDURIGE DROOGTE

Gedurende de droge zomer van 2003 braken twee veenkaden door en vonden op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van veenkaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak voor deze gebeurtenissen. Hiermee is 'langdurige droogte' als een nieuwe belastingsituatie geïdentificeerd. Identificatie van een nieuwe belastingsituatie heeft tevens gevolgen voor het toetsen van de veiligheid van regionale waterkeringen. Deze Leidraad bevat een voorlopige methodiek voor het beoordelen van de veiligheid van een kade ten aanzien van de situatie langdurige droogte. Deze methodiek is mede gebaseerd op de resultaten van het STOWA onderzoeksprogramma Veenkaden |STOWA 2004| en de voorlopige inzichten in de belastingsituatie en de daarbij denkbare faalmechanismen.

1.4 AFBAKENING EN UITGANGSPUNTEN

Uitgangspunt voor de toetsing volgens deze Leidraad is dat zowel de veiligheidsnorm waaraan de waterkeringen moeten voldoen alsmede de daarbij te hanteren hydraulische randvoorwaarden en andere relevante belastingen zijn vastgesteld. De veiligheidsnormering wordt door de provincie vastgesteld.

Om keringen voor de droge situatie te kunnen toetsen dienen net als voor de hoogwatersituatie ook voor deze situatie (normafhankelijke) randvoorwaarden beschikbaar te worden gesteld. Vervolgens dient het effect van de te hanteren droogterandvoorwaarde te worden vertaald naar een effect op de freatische lijn en het polderpeil, alsmede het volumiek gewicht van de grond daarboven. Onderzoek naar droogte-effecten zal op termijn richtlijnen hiervoor moeten opleveren. In deze leidraad zijn echter al voorlopige handreikingen gegeven waarmee een inschatting van het effect van droogte gemaakt kan worden, en dus een voorlopig toetsresultaat voor de belastingsituatie droogte kan worden verkregen. De onderliggende droogterandvoorwaarde van deze droogte-effecten is daarbij niet expliciet gedefinieerd en daarmee ook niet normafhankelijk.

Uitgangspunt voor de toetsing is dat het beheer en onderhoud van de regionale waterkeringen erop gericht is de veiligheidsituatie op een voldoende niveau te houden. Dit is tevens van belang voor de houdbaarheid van het verkregen toetsresultaat.

Indien een regionale kering niet voldoet aan de gestelde norm zal veelal het initiatief worden genomen om de kering te versterken. Daarbij dient bedacht te worden dat de norm voor de toetsing in het algemeen lager ligt dan het economisch optimale veiligheidsniveau, gegeven de noodzaak van dijkversterking. Voor nadere informatie wordt verwezen naar de Richtlijnen voor het Normeren van Boezemkaden |IPO 1999|. Dit gegeven sluit aan op de gangbare aanbeveling voor de primaire waterkeringen van scherp toetsen en robuust ontwerpen. Verder geldt dat het watersysteem in meer of mindere mate beheersbaar is. Als alternatief voor verbetering van de veiligheid door kadeverbetering kan worden overwegen de hydraulische belasting te verlagen door ingrepen in het watersysteem.

1.5 KENNISVRAGEN

Belangrijke randvoorwaarde bij de uitwerking van het Ontwikkelingsprogramma is de tijdige samenstelling van de verschillende producten. Vanuit deze randvoorwaarde is ten aanzien van geconstateerde leemten in kennis alleen gekozen voor kennisontwikkeling indien de projectplanning hierdoor niet werd vertraagd. In overige gevallen is gekozen voor een pragmatische benadering, bijvoorbeeld op basis van veronderstellingen en aannamen. Onderstaand volgt een kort overzicht van geconstateerde leemten in kennis. Aangaande deze kennisvragen wordt bezien of in het kader van de beoogde ontwikkeling van een definitieve versie van deze Leidraad nader onderzoek zal worden verricht.

NORMERING BELASTINGSITUATIE DROOGTE

Evenals de belastingsituatie hoogwater kent de ernst van de belastingsituatie droogte een zekere overschrijdingsfrequentie. Een periode van droogte met een herhalingstijd van 1/10 jaar kent een aanzienlijk kleiner (doorlopend) potentieel neerslagtekort dan een droogte met een herhalingstijd van 1/100 jaar. De schematisering van de situatie droogte is niet normafhankelijk, evenals de uitwerking van de toetssporen. Dit houdt in dat kaden met een veiligheidsnorm van zowel 1/10 als bijv. 1/300 jaar een gelijke schematisering en beoordelingswijze kennen. Deze aanpak is mogelijk conservatief voor kaden met een lage veiligheidsnorm, en is wellicht wat optimistisch voor kaden met een hoge norm. Een resterende kennisvraag betreft de mogelijkheid van (of zelfs noodzaak tot) normering van de situatie droogte, inclusief normafhankelijke schematisering en beoordeling van de veiligheid ten aanzien van de relevante faalmechanismen.

MATERIAALFACTOREN

Bij de afleiding van rekenwaarden voor de sterkte-eigenschappen wordt onder andere gebruik gemaakt van materiaalfactoren. Dergelijke factoren zijn vooralsnog uitsluitend afgeleid voor rivierdijken (voor dijken in het bovenrivierengebied en benedenrivierengebied). In het kader van de Leidraad Rivieren |ENW 2007| zijn nieuwe materiaalfactoren voor het ontwerpen van rivierdijken vastgesteld. In deze Leidraad is gekozen om voor de regionale waterkeringen de oorspronkelijke materiaalfactoren te hanteren zoals vastgesteld voor rivierdijken. Dit is mogelijk een voorzichtige aanpak. Voor boezemkaden wordt op dit moment gewerkt aan de afleiding van een specifieke set materiaalfactoren. Een resterende kennisvraag ten aanzien van de overige typen regionale waterkeringen is allereerst of een eigen set materiaalfactoren wenselijk is. Bij een positief oordeel dienen deze vervolgens te worden afgeleid.

SCHADEFACTOREN

Bij de bepaling van de veiligheid ten aanzien van stabiliteit van het binnentalud wordt de berekende stabiliteitsfactor getoetst aan een vereiste schadefactor. De grootte van de schadefactor is afhankelijk van enkele partiele veiligheidsfactoren, waaronder de vereiste betrouwbaarheid (de veiligheidsnorm van de waterkering) en de lengte van de dijkring.
In het verleden zijn alleen voor boezemkaden schadefactoren vastgesteld. In deze Leidraad is gekozen voor:

- de keringen langs regionale rivieren: de schadefactoren voor boezemkaden over te nemen;
- compartimenteringskeringen: een waarde voor de schadefactor van 1,0 te hanteren.

Een resterende vraag betreft de afleiding van specifieke schadefactoren voor de verschillende typen waterkeringen.

MAATGEVENDE WINDSNELHEID VOOR KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Voor de keuze van een maatgevende hoge windsnelheid is een conservatieve benadering toepasbaar, waarbij een windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk de veiligheidsnorm van de waterkering wordt gehanteerd. In deze Leidraad is voor de keringen langs regionale rivieren een voorzichtige optimalisatie van deze benadering uitgewerkt. Hierbij is tevens rekening gehouden met zeer recente inzichten in het windklimaat. De uiteindelijk voorgestelde maatgevende windsnelheden zijn betrekkelijk arbitrair afgeleid. Een resterende kennisvraag betreft een meer formele optimalisatie van maatgevend hoge windsnelheden mogelijk is.

Een eventuele beslissing omtrent de uitwerking van deze kennisvraag zal mede afhangen van:

- ontwikkeling van kennis over het windklimaat;
- ervaringen met de toets, met name het resulterende toetsoordeel op basis van de voorgesteld windsnelheden;
- eventuele ervaringen met studies naar lokale optimalisatie van de windsnelheden.

EROSIEBESTENDIGHEID ZANDIGE DEKLAAG WATERKERING

Voor de toets van de erosiebestendigheid van de bekleding wordt in deze Leidraad gebruik gemaakt van een beoordelingspoor wat is opgesteld voor primaire waterkeringen. In tegenstelling tot primaire waterkeringen bestaat de bekleding van regionale keringen vaak uit een toplaag met een hoog gehalte zand en/of organische stof. Uit de proeftoetsingen met deze Leidraad is gebleken dat overwegend de score “onvoldoende” resulteert. De hydraulische belasting van een regionale kering is echter overwegend minder zwaar dan bij primaire keringen. Zodoende lijkt een minder erosiebestendige bekleding niet op voorhand onvoldoende sterk of veilig. Kennis om een zandige of humeuze toplaag te kunnen toetsen ontbreekt op dit moment echter. In de Leidraad is zodoende gekozen om bij de toets van de bekleding de mogelijkheid te bieden het oordeel volledig te baseren op het beheerdersoordeel, indien bij een zandige of humeuze toplaag het beoordelingsspoor resulteert in de score “onvoldoende”. Een resterende kennisvraag betreft de toetsing van de erosiebestendigheid van zandige en/of humeuze toplagen.

VERKEERSBELASTING

Inzake de schematisering van de verkeersbelasting wordt in de verschillende Technische Rapporten [o.a. TRWG 2001] verwezen naar de Handreiking Constructief Ontwerpen [HCO 1994]. Volgens deze handreiking mag bij de schematisering van de verkeersbelasting niet gerekend worden met aanpassing van de korrelspanningen in het met water verzadigde gedeelte van de dijk. Dit heeft een sterk nadelige invloed op de berekende stabiliteit van met name boezemkaden. Een resterende kennisvraag betreft de mogelijkheid tot optimalisatie van de schematisering van de waterspanningen ten gevolge van de verkeersbelasting.

1.6 SELECTIE TE GEBRUIKEN KATERN TYPE WATERKERING

In deze Leidraad wordt onderscheid gemaakt in verschillende typen waterkeringen. Dit onderscheid is gebaseerd op verschillen in de relevante kenmerken van de hydraulische belasting van deze waterkeringen. Zodoende wordt bij de beoordeling per type waterkering soms meer of minder aandacht besteed aan een bepaald faalmechanisme. Deze differentiatie vereist dat voorafgaand aan de toetsing het type waterkering vast staat. Naar verwachting gebeurt de typering als onderdeel van de normering. De wijze van normering van de verschillende waterkeringen is namelijk eveneens afhankelijk van het type waterkering, of eigenlijk ook de kenmerken van het watersysteem. Uitgangspunt bij de toetsing is dus dat het type waterkering voorafgaand aan de toetsing is vastgesteld in het kader van de normering (door de provincies), en dat de provincies de typering vastleggen bij de formele aanwijzing van de regionale waterkeringen. Deze Leidraad bevat dan ook geen nadere toelichting omtrent de typering van de verschillende regionale waterkeringen.

1.7 VERWIJZINGEN NAAR VOORSCHRIFTEN, LEIDRADEN EN TECHNISCHE RAPPORTEN

In deze leidraad wordt op diverse plaatsen verwezen naar andere voorschriften, leidraden en technische rapporten. Deze voorschriften, leidraden en technische rapporten kunnen door voortschrijdende kennis en technieken in de loop van de tijd worden aangepast en verbeterd. Verwijzingen in deze leidraad betreffen steeds de versies van de voorschriften, leidraden of technische rapporten per medio 2007.

1.8 ONDERSTEUNING TIJDENS DE TOETSING

Gedurende de uitvoering van de toetsing kunnen de waterkeringbeheerders of hun adviseurs voor vragen terecht bij de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl of contact@helpdeskwater.nl). Zonodig wordt periodiek informatie verspreid over veelgestelde vragen en de antwoorden of over eventuele onvolkomenheden in de Leidraad.

1.9 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt in algemene zin ingegaan op de beoordeling van de veiligheid van regionale keringen. Aandacht is er daarbij voor het overzicht van beoordelingssporen, de gefaseerde aanpak van het toetsonderzoek (de invulling van de ‘van grof naar fijn’ benadering), en de wijze waarop de toetsing en het toetsresultaat kan worden gerapporteerd en gepresenteerd.

In hoofdstuk 3 worden de belastingen behandeld die bij het toetsen van regionale keringen een rol kunnen spelen. De belangrijkste daarbij zijn uiteraard de hydraulische belastingen (waterstanden, golven en neerslag) en de doorwerking daarvan in de geohydrologische situatie. Voor wat betreft de schematisering van de geohydrologische situatie is ook de mogelijkheid van het ontstaan en aanwezig zijn van een hydraulische kortsluiting tussen het water en watervoerende lagen onder de kering van belang. Voorts wordt ingegaan op de belastingsituatie 'droogte'.

In hoofdstuk 4 komt de concrete aanpak van de beoordeling van de sterkte van de kering aan de hand van de onderscheiden beoordelingssporen aan de orde.

Ten aanzien van de boezemkaden geldt dat deze beoordeling ten opzichte van het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden |TRTB 1993| aanmerkelijk uitgebreider is. Niet alleen de hoogte en macrostabiliteit binnenwaarts in de maatgevende hoogwatersituatie moeten worden beschouwd, maar alle mogelijke mechanismen worden behandeld voor zowel de maatgevende hoogwatersituatie als de maatgevende droge situatie. Het is overigens niet zo dat de beoordeling daarmee op voorhand veel bewerkelijker wordt. Bij veel mechanismen zal vaak snel blijken dat deze niet of nauwelijks relevant zijn, maar dit is dan wel expliciet vastgesteld.

In hoofdstukken 5 tot en met 7 wordt dieper ingegaan op de toetsing van de veiligheid van de verschillende regionale keringen. In deze hoofdstukken wordt aandacht besteed aan de voor de betreffende type kering specifieke randvoorwaarden en uitgangspunten, de gestelde eisen en methoden.

De literatuurlijst en een overzicht van gebruikte begrippen zijn aan het einde van dit rapport opgenomen.

DIJK VAN HET JULIANAKANAAL



2

BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID

2.1 WIJZE VAN BEOORDELEN

Het beoordelen van de veiligheid betreft het zo goed mogelijk bepalen van de sterkte van een waterkering en het vergelijken daarvan met de belastingen behorende bij de norm. Deze beoordeling beschouwt meerdere faalmechanismen. Enkele faalmechanismen worden getoetst ten aanzien van twee belastingsituaties, te weten de hoogwatersituatie en de situatie langdurige droogte. Per faalmechanisme is een toetsspoor opgesteld. 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 uitwerkingsniveau'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 beoordeling op eenvoudig niveau niet de deelscore “goed” of “voldoende” kan worden toegekend, volgt de beoordeling op een volgend niveau. Ook indien de beoordeling op een eenvoudig niveau niet kan worden uitgewerkt, volgt de uitwerking op het volgende niveau. Mogelijk blijkt uit een eenvoudige beoordeling reeds voldoende duidelijk dat ook een meer gedetailleerde uitwerking niet zal resulteren in de deelscore “voldoende” of “goed”. In dat geval hoeven niet alle niveaus 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.

2.2 BEOORDELINGSSPOREN

De belangrijkste faalmechanismen en bijbehorende beoordelingssporen bij het toetsen van regionale keringen zijn verzameld in Tabel 2.1. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze in ieder geval voor de situatie hoogwater moeten worden uitgewerkt. Voor de mechanismen piping en macrostabiliteit binnentalud dient in sommige situaties tevens de belastingsituatie langdurige droogte te worden beschouwd. Voor de verschillende type regionale waterkeringen is steeds aangegeven wanneer de situatie droogte beschouwd moet worden.

TABEL 2.1 OVERZICHT BELANGRIJKSTE BEOORDELINGSSPOREN

beoordelingssporen / te beoordelen mechanismen	**Beoordelingsmethode**		
	eenvoudig	**gedetailleerd**	**geavanceerd**
overlopen / overslag (HT)	ruim profiel	methode STOWA criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
Piping (STPI)	ruim profiel uitsluiten opbarsten	methode VTV (piping analyse)	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit binnentalud (STBI - cirkel en hor. afsch.)	ruim profiel	methode VTV criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit buitentalud (STBU)	Criteria t.b.v. bepaling noodzaak beoordeling	methode VTV criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
microstabiliteit (STMI)	controles conform VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
Bekledingen (STBK)	controles conform VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
Stabiliteit voorland (STVL)	controles conform VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)

In de toekomst moet idealiter voor de eenvoudige beoordeling terug kunnen worden gevallen op de legger. Toetsing is dan vergelijken van het aanwezige profiel met het leggerprofiel, dat dan in een eerder stadium is opgesteld.

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van de kering voldoende of onvoldoende voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding “geen oordeel” resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

2.3 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. 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 compartimenteringskeringen.

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 de technische score, bijvoorbeeld doordat:

1. waargenomen gedrag van de kering niet overeenstemt met de technische score;
2. nieuwe inzichten of kennis ten aanzien de faalmechanismen en uitwerking van de beoordelingssporen zijn ontwikkeld.

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 de technische score beoordeeld. Als ook na nader onderzoek verschil bestaat tussen de tech-

nische score 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: In een situatie met nieuw ontwikkelde kennis of inzichten dient de resulterende score te zijn gerapporteerd als beheerdersoordeel, ook als de beoordeling is uitgevoerd na aanpassing (door de beheerder of ingeschakelde adviseur) van het beoordelingsspoor op basis van de nieuwe kennis of inzichten. Een situatie met nieuw ontwikkelde kennis is met name denkbaar ten aanzien van de beoordeling van de belastingsituatie droogte.

Tenslotte is het denkbaar dat op basis van een toetsspoor niet tot een technische score 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.

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.

2.4 WAARDERING VAN DE VEILIGHEID

2.4.1 AFWEGING TECHNISCHE SCORE EN BEHEERDERSOORDEEL

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

1. een technische score 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 technische score kan worden gekomen doordat onvoldoende informatie aanwezig is (de technische score “geen oordeel”) wordt de eindscore opgesteld op basis van het beheerdersoordeel.

Ad.2: idealiter komen de oordelen overeen, zonodig nadat eerst nader onderzoek is uitgevoerd vanwege een aanvankelijk verschil tussen beide oordelen. De eindscore is dan gelijk aan 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:

- de technische score 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 de technische score.

Indien het beheerdersoordeel een betere score kent dan de technische score, 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 gunstiger 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 provincie tevens deze afweging. Het staat de provincie daarbij vrij, al of niet na overleg, een afwijkende conclusie te trekken.

2.4.2 VEILIGHEID OP 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 “onvoldoende” of ”geen oordeel”. De veiligheid van het dijkvak voldoet dan aan de norm. Indien één van de toetssporen, zonodig inclusief het beheerdersoordeel, resulteert in de score “onvoldoende” of “geen oordeel”, dan voldoet de veiligheid van het dijkvak niet aan de norm. De veiligheid van een gebied (bijvoorbeeld een polder of een compartiment) voldoet geheel aan de norm indien alle dijkvakken rondom het gebied (= alle boezemkaden of alle compartimenteringskeringen) voldoen aan de norm. De veiligheid van het gebied voldoet niet aan de norm indien één van de dijkvakken niet aan de norm voldoet.

2.5 STATUS EN WAARDERING VAN DE BEOORDELING VOOR DE BELASTINGSITUATIE DROOGTE

Zoals eerder al aangegeven bestaat nog geen volledig inzicht volgens welke processen of mechanismen droogte de stabiliteit van een kade aantast. Nader onderzoek hiernaar wordt nog uitgevoerd. Het duurt naar verwachting ten minste enkele jaren voordat een definitieve, gevalideerde methodiek of rekenregel voor de beoordeling van de stabiliteit van (veen-)kaden tijdens droogte is vastgesteld. Uiteraard kan niet worden uitgesloten dat gedurende deze periode opnieuw een zomer met langdurige droogte optreedt. Teneinde toch een (voorlopig) beeld te verkrijgen over de veiligheid van kaden ten aanzien van de situatie droogte, is besloten deze belastingsituatie in deze versie van de Leidraad op te nemen. De uitwerking van dit toetsspoor is daarbij gebaseerd op voorlopige inzichten en een pragmatische uitwerking van de geconstateerde kennisleemten.

De pragmatische uitwerking is gebaseerd op enkele realistische uitgangspunten ten aanzien van de schematisering van enkele relevante kenmerken. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de uitwerking van de waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting, op basis van enkele criteria. Voor realistische uitgangspunten is gekozen omdat het hanteren van conservatieve uitgangspunten (het alternatief) resulteert in een sterke overschatting van het aantal potentieel droogtegevoelige kaden en sterke onderschatting van de veiligheid van

die kaden. Dit resulteert in een onrealistisch negatief beeld over de veiligheid van de kaden, dat als onwenselijk wordt beschouwd.

Een belangrijke consequentie van deze pragmatische uitwerking van de toetssporen op basis van realistische uitgangspunten is dat:

- de beoordeling voor de droge situatie in een voorlopig toetsoordeel resulteert: de kade voldoet 'waarschijnlijk wel' of 'waarschijnlijk niet' aan de norm;
- een toekomstige toetsing mogelijk resulteert in een verandering van het oordeel, waarbij het dus niet is uitgesloten dat een kade waarvan de veiligheid volgens het voorlopige toetsspoor waarschijnlijk wel voldoet aan de norm, uiteindelijk niet aan de norm kan blijken te voldoen.

Ondanks deze onzekerheid van het toetsoordeel heeft een realistische uitwerking de voorkeur boven een conservatieve uitwerking.

2.6 OPZET TOETSINGSPROCEDURE

Aanbevolen wordt om bij het onderzoek uit te gaan van een gefaseerde werkwijze, bestaande uit de volgende onderdelen:

1. vooronderzoek, en desgewenst al een eenvoudige beoordeling;
2. nader onderzoek en gedetailleerde beoordeling;
3. zonodig en desgewenst een geavanceerd onderzoek en een geavanceerde beoordeling.

De inhoudelijke behandeling van beoordelingsmethoden komt aan de orde in hoofdstuk 4. Voor de beoordeling van de regionale waterkeringen zal het niet altijd nodig zijn om voor ieder dijkvak alle fasen van het onderzoek geheel te doorlopen. Na iedere fase kan worden beschouwd of het zinvol is om een volgende fase te doorlopen.

Bij aanvang van de toetsronde zal veelal om praktische redenen niet direct gestart kunnen worden met de toets van alle waterkeringen in het beheersgebied. Bij een gefaseerde uitwerking verdient het aanbeveling te starten met de naar verwachting meest risicovolle keringen, uit oogpunt van zowel doorbraakkans als gevolgschade. Een recept voor het vaststellen van een prioriteitenlijst wordt in deze Leidraad niet gegeven, maar algemeen kan worden gesteld dat belangrijke factoren daarbij zijn:

- de geometrie van het dwarsprofiel;
- algemene kennis van samenstelling van kering en ondergrond;
- ervaring met het ‘gedrag’ van de kering;
- de beschermde waarde achter de kering.

2.6.1 VOORONDERZOEK EN EENVOUDIGE BEOORDELING

ALGEMENE GEGEVENS

Het is nuttig om bij aanvang van het onderzoek allereerst de volgende gegevens te verzamelen:

- de maaiveldhoogte en waterstanden in het beschermde gebied;
- de (keur-) afmetingen van de waterkeringen, indien bepaald;
- gegevens van eventueel eerder verricht onderzoek (bijvoorbeeld dwarsprofielen, grondparameters, geohydrologische gegevens);

- gegevens betreffende freatische peilen en stijghoogten in de watervoerende laag (of lagen);
- de aanwezigheid en afmetingen van beschoeiingen of damwanden;
- de ontstaansgeschiedenis van de kade, inclusief historische informatie omtrent het eventueel ontwerp, de aanleg en het gedrag van de waterkering;
- opbouw waterkering (klei-, zand of veen, aanwezigheid van puin) en bodemopbouw;
- eventuele ophoog- of verbeteringswerkzaamheden en eventueel resultaten van berekeningen dienaangaand;
- de aanwezigheid en ligging van kabels, leidingen en overige niet waterkerende objecten (NWO's) alsmede enkele belangrijkste kenmerkende gegevens daarvan;
- kunstwerken;
- weg op de kering;
- bijzondere omstandigheden / bedreigingen in de omgeving van de kering (bijvoorbeeld munitieopslag).

GRONDMECHANISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE ASPECTEN

Het is aan te bevelen een geologische gebiedsbeschrijving te maken, inclusief een voorlopig globaal geotechnisch lengteprofiel [zie ook TRWG 2001]. Het geotechnisch lengteprofiel geeft een eerste indruk van de opbouw van de ondergrond van de kering en de daarin voorkomende variaties. Dit is nuttig bij de indeling van de waterkering in dijkvakken en de vaststelling van de plaats en de diepte van eventueel te verrichten grondonderzoek. Ook is het aan te bevelen om een eerste indruk te krijgen van de geohydrologische kenmerken van de waterkering en de ondergrond, zoals:

- de ligging en variatie van de freatische lijn in de kering en de invloed van variaties in waterstanden en neerslaghoeveelheden hierop;
- de aanwezigheid en diepte van watervoerende zandlagen onder de kering, de (variatie van de) stijghoogte daarin en de eventuele invloed daarop van variaties in waterstanden en neerslaghoeveelheden.

VISUELE VERKENNING

Voor het leren kennen van de waterkering is het nuttig een visuele verkenning van de waterkering uit te voeren. Hierbij kan aandacht worden besteed aan bijvoorbeeld de volgende aspecten:

- Dijkprofielen:
  - vorm en afmetingen van het dwarsprofiel, met taludhellingen, tussenbermen, teen- of kwelsloot, kopsloten etc.;
  - kruinhoogte en hoogteligging achterland;
  - afstanden tot sloten, watergangen, etc..

- Oeververdedigingen:
  - algemene toestand oeververdediging;
  - rietkraag, bestorting.
  - harde oevervoorzieningen, bijvoorbeeld beschoeiing, damwand, keermuur.

- Constructies en niet waterkerende objecten (NWO's), zoals de volgende:
  - coupures;
  - kunstwerken in het watersysteem, bijvoorbeeld sluizen, stuwen, bruggen, noodkeringen;
  - verharding (open of gesloten, op kruin of op binnenberm);

- bebouwing, bomen en struiken, woonboten;
- kabels en leidingen, zowel loodrecht op de waterkering (vaak in het terrein herkenbaar aan de hand van zinkerborden) als in de lengterichting van de kering.

- Schadebeelden:
  - kwelverschijnselen, bijvoorbeeld vochtige tot drassige bodem, moerasachtige vegetatie in het binnentalud, zichtbaar uittredend water c.q. welvorming, drijvend / ontoegankelijk maaiveld achter de kering;
  - beschadigingen van het dijkprofiel;
  - kenmerken van instabiliteit, bijvoorbeeld verzakking, uitspoeling, scheuren in het vegetatiedek of in de weg op de kruin, enigszins dichtgedrukte teensloot.

Het is aan te bevelen de resultaten van de visuele verkenning vast te leggen, bijvoorbeeld door een algemene beschrijving van de waarnemingen, schetsen van aangetroffen profielvormen, etc. Het is nuttig de aantekeningen tevens op een situatietekening aan te geven. Ter verduidelijking kunnen foto's van de waarnemingen worden toegevoegd aan de beschrijving.

TOETSING

Dijk- of kadegedeelten waarvan het evident lijkt dat deze ruim aan de waterstaatkundige eisen voldoen, kunnen op een eenvoudig niveau mogelijk al als voldoende veiligheid worden beoordeeld. Deze dijkvakken behoeven verder geen gedetailleerde toetsing op basis van nader onderzoek. Indien op grond van de eenvoudige methode geen score kan worden bereikt of indien het waargenomen gedrag niet in overeenstemming is met het toetsresultaat, dan gaat de beoordeling verder met nader onderzoek en een meer gedetailleerde beoordeling.

2.6.2 NADER ONDERZOEK

Indeling in dijkvakken en vaststellen representatieve dwarsprofielen

Het is aan te bevelen om eerst een indeling in dijk- of kadevakken te maken op basis van de algemene gegevens van de dijk of kade, het voorlopig geotechnisch lengteprofiel en de resultaten van de visuele verkenning. Een dijkvak wordt gekarakteriseerd door de volgende kenmerken:

- min of meer gelijke hydraulische belastingen;
- uniformiteit ten aanzien van de opbouw van de waterkering en de ondergrond;
- een min of meer uniform dwarsprofiel, dat wil zeggen min of meer gelijke:
  - profielvorm;
  - oevervoorzieningen, voorzover van invloed op de ligging van de freatische lijn, en daardoor op stabiliteit van het binnentalud;
  - constructies en vreemde objecten (verharding en/of bebouwing).

Vervolgens dient per dijkvak één of een beperkt aantal representatieve dwarsprofielen te worden vastgesteld. Indien meerdere representatieve dwarsprofielen worden vastgesteld, vertegenwoordigt elk profiel een gedeelte van het dijkvak. Dijkvakken en representatieve dwarsprofielen die onderling maar weinig verschillen kunnen worden samengevoegd. Dit betekent dat één dwarsprofiel representatief kan zijn voor meerdere, niet noodzakelijk aansluitende, dijkvakken. Dit beperkt de benodigde inspanning bij de uitwerking van de toetsing. Uiteindelijk dient op basis van de aanwezige variatie binnen een dijkvak steeds per faalmechanismen een naar verwachting maatgevend dwarsprofielen te worden geschematiseerd.

Lokaal zullen afwijkingen binnen een dijkvak voorkomen. Afgewogen zal moeten worden of deze afwijkingen een zodanige invloed op het waterkerend vermogen van de kering hebben dat hier een additioneel profiel moet worden geselecteerd. Voorbeelden van lokale afwijkingen zijn:

- plaatsen waar een kopsloot in de binnenteen van de kering eindigt (een kopsloot is een poldersloot die dwars op het dijklichaam is gesitueerd);
- op- en afritten naar het achterland, bijvoorbeeld naar woningen;
- onderbrekingen in de teen- of kwelsloot, zoals dammetjes die al dan niet van duikers zijn voorzien;
- verschil in oeverbeschermingsconstructies, zoals damwanden, steenglooiingen, aanlegsteigers etc. , een damwand kan bijvoorbeeld een afwijkend freatisch vlak tot gevolg hebben.
- een smallere of bredere strook boezem- of voorland voor de kering.

PEIIBUISWAARNEMINGEN

Via peilbuiswaarnemingen kan de ligging van de freatische lijn worden vastgesteld en kan de variatie door neerslag of juist langdurige droogte worden ingeschat. Aan de hand van deze gegevens kan de maatgevende ligging van de freatische lijn ter plaatse van de peilbuizen worden bepaald. De peilbuizen dienen regelmatig te worden afgelezen, speciaal gedurende een periode waarbinnen de maatgevende situaties kunnen worden verwacht (natte winter of juist droge zomer). Gelijktijdig met het aflezen van de peilbuizen dient de waterstand en het peil van de teen- of kwelsloot (indien aanwezig) van het betreffende profiel te worden gemeten.

Voor de geohydrologische schematisering zijn ook de waterspanningen in de watervoerende laag (of lagen) onder de kering van belang. Ook deze kunnen worden gemeten met peilbuizen. Deze gegevens dienen bij voorkeur te worden aangevuld met langjarige gegevens afkomstig uit historische meetreeksen (bijvoorbeeld uit DINO) om zicht te krijgen op de mogelijke mate van variatie van de waterspanningen in de omgeving.

Indien de te onderzoeken keringen lange tijd in rust zijn (dat wil zeggen het consolidatieproces als praktisch beëindigd kan worden beschouwd), zal het waterspanningsverloop in de kering meestal geleidelijk verlopen tussen de freatisch peil bovenin en de waterspanning in de watervoerende laag onderin. Indien nadere informatie over het verloop van de waterspanningen in het dijklichaam gewenst is, bijvoorbeeld indien er sprake kan zijn van resterende wateroverspanningen, kan het nodig zijn om waterspanningsmeters te plaatsen.

GRONDONDERZOEK

Grondonderzoek dient om het (preciezer) vaststellen van de opbouw van de waterkering en de ondergrond. Grondonderzoek bestaat in de praktijk veelal uit handboringen aangevuld met sonderingen waarvan de diepte tenminste tot enkele meters in het watervoerende pakket dient te reiken. Sonderingen (met meting van de kleef) geven in combinatie met boringen een betrouwbaar inzicht in de aard, ligging en de dikte van verschillende bodemlagen.

De benodigde intensiteit van het grondonderzoek is afhankelijk van de variatie in dikte en diepteligging van aanwezige grondlagen en het voorkomen van lokale verstoringen. Daarnaast is de intensiteit afhankelijk van de noodzaak om gedetailleerd en nauwkeurig te rekenen. Voor een beoordeling van evident robuuste keringen kan veelal worden volstaan met een globale bepaling van de laagopbouw en classificatie van de onderscheiden grondlagen.

Veel regionale waterkeringen hebben geringe afmetingen en zijn vaak van een kwetsbare grasmat voorzien. Zwaar materieel kan daarom vaak niet worden ingezet. Het grondonderzoek moet dan worden uitgevoerd met voor dergelijke omstandigheden aangepast materieel (materieel met kleinere afmetingen en een geringer gewicht).

LABORATORIUMONDERZOEK

Door middel van laboratoriumonderzoek kunnen de (sterkte-) eigenschappen van onderscheiden grondlagen worden vastgesteld. Dergelijk onderzoek wordt meestal pas uitgevoerd indien een beoordeling op een eenvoudig niveau met conservatieve waarden voor de grondeigenschappen (bijvoorbeeld een regionale proevenverzameling of waarden volgens de NEN) niet een voldoende resultaat opleveren.

Bijzondere aandacht verdient de beproeving van veen met een laag volumiek gewicht (< 11 kN/m^3) bij lage spanningsniveaus. De CU-triaxiaalproef is in dat geval minder geschikt, en kan, wanneer bij hogere spanningsniveaus verkregen resultaten lineair worden geëxtrapoleerd naar lagere spanningsniveaus, resulteren in een overschatting van de schuifsterkte-eigenschappen. Voor nadere informatie over de classificatie en beproeving van veen wordt verwezen naar het Technisch Rapport Geotechnische classificatie van Veen |TRV 1996|.

Bij veenkaden kan het van belang zijn om variaties in het volumiek gewicht over de diepte in rekening te brengen. Zo is bekend dat de toplaag achter een veenkade over bijvoorbeeld de bovenste 30 cm een hoger volumiek gewicht kan hebben dan het onderliggende veen.

De uitvoering van grond- en laboratoriumonderzoek is onder andere nader beschreven in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies |TRWG 2001|.Voor de classificatie van veen wordt tevens verwezen naar het Technisch Rapport Geotechnische classificatie van Veen |TRV 1996|.

TOETSING

Op basis van de resultaten van het gedetailleerde onderzoek kunnen de benodigde berekeningen volgens het gedetailleerde beoordelingsniveau worden uitgevoerd. Indien, met inachtneming van het waargenomen gedrag, niet tot een score of niet tot de score “voldoende” kan worden gekomen, dan kan worden overgegaan tot geavanceerd onderzoek.

2.6.3 GEAVANCEERD ONDERZOEK

In bijzondere gevallen kan gekozen worden voor een geavanceerd onderzoek. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de voor de primaire keringen ontwikkelde methoden. Een aantal daarvan zijn beschreven in het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken |TRAS 2007|. Daarnaast wordt ook verwezen naar de recente ontwikkelingen in het lopend onderzoek naar boezemkaden, dat in gang is gezet naar aanleiding van de droogteproblematiek (afschuiving veenkade bij Wilnis), zie met name de resultaten van het droogte-onderzoek dat in STOWA-verband is uitgevoerd |STOWA 2004|.

In het geval van primaire waterkeringen is de geavanceerde toetsing in de regel gericht op het aanscherpen van de aanwezige sterkte die in rekening kan worden gebracht. In het geval van regionale waterkeringen kan een geavanceerde toetsing ook worden ingevuld door het aanscherpen (= verlagen) van de in rekening te brengen maatgevende belasting.

De hydraulische belasting kan worden verlaagd door ingrepen in het watersysteem, zoals:

- compartimentering van de boezem;
- het afleiden of overlaten van afvoergolven;
- een wijziging van het peil van de maalstop;
- het vergroten van de bergingscapaciteit;
- het vergroten van de bemalingscapaciteit.

Het beschouwen van de mogelijkheid tot aanpassing van de maatgevende hydraulische belasting kan ook al tijdens de eenvoudige en gedetailleerde beoordeling worden overwogen, bijvoorbeeld wanneer het evident is dat de veiligheid van de waterkering niet aan vereiste norm voldoet.

BOEZEMKADEN IN STEDELIJK GEBIED



3

BELASTINGEN

3.1 INLEIDING

De te hanteren toetsnorm en -periode voor de regionale waterkeringen worden vastgesteld door de provincie. De uitgangspunten voor wat betreft de te hanteren belastingen, welke in meer of mindere mate afhangen van de gehanteerde toetsnorm en -periode, worden bepaald door het waterschap en dienen te worden vastgesteld door de provincie.

Voor wat betreft de hydraulische belastingrandvoorwaarden en de daarmee samenhangende geohydrologische schematisering wordt het onderscheid gemaakt tussen de belastingsituatie 'hoogwater' en de belastingsituatie 'droogte' (zie §3.2).

Een overzicht van de belangrijkste randvoorwaarden voor de hydraulische belasting en de daarmee samenhangende geohydrologische schematisering bij verschillende combinaties van mechanismen en belastingsituaties is gegeven in bijlage 2. In de §3.3 tot en met §3.5 wordt nader inhoudelijk op deze belastingrandvoorwaarden en de geohydrologische schematisering ingegaan.

3.2 BELASTINGSITUATIES

3.2.1 BELASTINGSITUATIE 'HOOGWATER'

Met de belastingsituatie 'hoogwater' wordt de situatie bedoeld waarvan in de bestaande gangbare praktijk bij het beoordelen van de waterkerende veiligheid van waterkeringen wordt uitgegaan: een combinatie van hoge waterstand, hoge windgolven en veel neerslag.

3.2.2 BELASTINGSITUATIE 'DROOGTE'

Gedurende de warme en langdurig droge zomer van 2003 is geconstateerd dat voor bepaalde faalmechanismen de situatie droogte mogelijk maatgevend is ten opzichte van de hoogwatersituatie. Volgens welke processen of mechanismen een periode van droogte de stabiliteit van een (veen-)kade aantast is nog niet volledig duidelijk. Een eerste stap om inzicht te verkrijgen is inmiddels al wel gezet met het onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van beide kadeverschuivingen in Wilnis en Terbregge (in zomer 2003) en het 'Droogte onderzoek veenkaden' [STOWA 2004]. Uit het genoemde onderzoek is gebleken dat de krimp en gewichtsafname van de (veen-)grond in de kering en het achterland, als gevolg van de droogte, een belangrijke (deel-)oorzaak is van de aantasting van de stabiliteit. In het bijzonder de gewichtsafname leidt in belangrijke mate tot een mogelijk maatgevende belastingsituatie ten aanzien van de beoordeling van opdrijven / opbarsten en daarmee ook van de mechanismen piping en binnenwaarts afschuiven.

Op basis van het voorlopige inzicht in de belastingsituatie is droogtegevoeligheid te definiëren als de mate waarin het volumiek gewicht van de grond in een kade ten gevolge van droogte kan afnemen. Veen is bij uitstek droogtegevoelig: het poriënvolume is vaak hoog, soms meer dan 90%, en het volumiek gewicht van de vaste delen is laag. Dit betekent dat het volumiek gewicht van veen zeer sterk wordt gedomineerd door het in het veen aanwezige water (zie ook bijlage 3).

In het kader van het STOWA-onderzoek zijn overzichtskaarten ontwikkeld aan de hand waarvan gebieden met in potentie droogtegevoelige kaden kunnen worden afgeleid. Een recente aanpassing van deze kaart (door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat) is gepresenteerd in bijlage 4.

Beschouwing van de belastingsituatie 'droogte' is uitsluitend relevant indien tijdens of tot korte tijd na een periode met langdurige droogte een betrekkelijk hoge waterstand kan optreden. Deze situatie is dus met name relevant voor boezemkaden en kanaaldijken. Droogte behoeft niet te worden beschouwd indien:

- geen veen of sterk humeuze klei in, onder of achter de kering aanwezig is; of:
- de buitenwaterstand tijdens en korte tijd na droogte lager is dan het maaiveld in het achterland.

In hoofdstukken 5 tot en met 7 is per type waterkering aangegeven wanneer de situatie droogte moet worden beschouwd binnen de toetsing van de veiligheid.

3.3 HYDRAULISCHE BELASTINGEN

3.3.1 WATERPEIL

In deze paragraaf wordt ingegaan op het in rekening te brengen waterpeil voor zowel de situatie 'hoogwater' als de situatie 'droogte'. Daarnaast wordt ook ingegaan op de te hanteren peilen in geval van een val van de waterstand.

SITUATIE HOOGWATER

Het maatgevend hoogwaterpeil wordt vastgesteld op basis van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand en de veiligheidsnorm van de waterkering. De hoogte van het peil hangt dus af van de vastgestelde norm. Voor keringen langs regionale rivieren en compartimenteringskeringen kan het maatgevend hoogwaterpeil en verloop van de hoogwaterstand worden afgeleid op basis van de resultaten van overstromingsberekeningen 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 voldoende compensatie aanwezig te zijn voor onzekerheden in de berekening daarvan. 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).

Eventuele scheefstand van het water (veroorzaakt door wind en eventueel bemaling) kan reeds 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.

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 kade of dijk kan echter enkele maanden duren |STOWA 2004|. Binnen deze periode kan een situatie met veel neerslag optreden, zodat wordt aanbevolen om veiligheidshalve als maatgevende waterstand een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar te hanteren.

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.

VAL VAN DE WATERSTAND

De bijzondere belastingsituatie na een relatief abrupte ‘val’ van de waterstand is mogelijk van belang voor de beoordeling van de veiligheid tegen het optreden van macro-instabiliteit buitenwaarts. Deze situatie kan bijvoorbeeld relevant zijn bij:

- keringen langs een regionale rivier waar een snelle daling van de waterstand mogelijk is;
- een doorbraak van een kering elders langs dezelfde boezem (in hoogwater en/of droge periode), rivier of compartiment.

In hoofdstukken 5 tot en met 7 zijn per type keringen enkele opmerkingen gemaakt ten aanzien van de inschatting van de waarschijnlijkheid van dit fenomeen en noodzaak om dit toetsspoor te beschouwen in de toetsing.

3.3.2 WATERSTANDEN BINNENDIJKS

Indien het waterpeil binnendijks wordt beheerd, is vaak sprake van een polderpeil. Dit peil varieert normaal gesproken rond het vastgestelde streefpeil dat veelal is vastgelegd in het peilbesluit. Dit streefpeil kan voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar verschillend zijn. In het peilbesluit zijn mogelijk door de beheerder ‘gegarandeerde’ hoogste en laagste polderpeilen vastgelegd, die als maatgevende peilen kunnen worden gehanteerd. Eventueel kunnen maatgevende hoogste en laagste polderpeilen worden afgeleid uit meetdata (op basis van een statistische analyse hiervan, bijvoorbeeld de 5% overschrijdings- en onderschrijdingswaterstand).

Bij het gebruik van oudere gegevens dient rekening gehouden te worden met daling van het maaiveld in de loop der tijd. Dit is voornamelijk het geval in veengebieden. Het dalen van het maaiveld heeft mogelijk tot gevolg dat ook het polderpeil is verlaagd in verband met het behoud van een voldoende drooglegging.

Wordt de waterstand binnendijks niet beheerd, dan kunnen de maatgevende hoogste en laagste waterstanden binnendijks worden afgeleid uit meetdata (zonodig na een statistische

analyse hiervan).
Hieronder wordt ingegaan op de in rekening te brengen binnenwaterstand in de verschillende situaties. Benadrukt wordt dat voor het mechanisme piping ongeacht de belastingsituatie bij afwezigheid van een kwelsloot een grondwaterstand gelijk aan het maaiveldniveau maatgevend is. Bij aanwezigheid van een kwelsloot achter de kering is een laag slootpeil maatgevend of, als het een droge sloot betreft, een grondwaterstand gelijk aan de slootbodem.

SITUATIE HOOGWATER

Voor de situatie hoogwater kan worden uitgegaan van een door beheerder aan te geven maximum waterstand in de eventueel aanwezige kwelsloot. Meest conservatieve maar bij een hoogwatersituatie ook niet onwaarschijnlijke uitgangspunt is dat de sloot geheel gevuld is (ofwel slootpeil gelijk aan maaiveld).

SITUATIE DROOGTE

Bij droogte is een lage inschatting van de waterstand binnendijks conservatief. Let op: indien sprake is van een kwelsloot achter de dijk is het uitgangspunt van een drooggevallen sloot niet noodzakelijkerwijs een 'altijd veilige keuze', de grondwaterstand kan immers dalen tot beneden het niveau van de slootbodem.

3.3.3 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 de op het buitentalud brekende 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 golfrandvoorwaarden inbegrepen. De benodigde golfrandvoorwaarden dienen per dijkvak te worden bepaald door de waterkeringbeheerder. Deze bepaling kan bijvoorbeeld met golfgroeiberekeningen, zoals beschreven in Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2: Benedenrivierengebied [LOR2 1989].

De grootte van windgolven is vooral afhankelijk van:
- de windsnelheid en windrichting in relatie tot de ligging van de kering;
- de correlatie met de oorzaak van het hoogwater;
- 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.

Voor de berekening van de golfrandvoorwaarden is informatie over de statistiek van extreem hoge windsnelheden benodigd, aangezien de maatgevende windsnelheden zijn gekoppeld aan de normering. Dergelijke informatie is beschreven in "Windklimaat van Nederland" [Wieringa en Rijkoort 1983] en binnen het Hydra – project uitgevoerd door het KNMI in samenwerking met het RIZA, in opdracht van het RIKZ. Bijlage 5 presenteert enkele voorbeelden van gegevens over extreem hoge windsnelheden. In eerste instantie dient de provincie de maatgevende windsnelheden normafhankelijk vast te stellen. Zonodig kan een waterkeringbeheerder besluiten om op gebiedsniveau een studie naar maatgevende windsnelheden uit te (laten) voeren. In een dergelijke studie kunnen bijvoorbeeld de effecten van de lokale

ruwheid van het landschap (in het bijzonder in stedelijk gebied) worden meegenomen.
Het verdient aanbeveling dat de waterkeringbeheerder over het gebruik van de resultaten van een dergelijke studie bij de veiligheidstoetsing overlegt met de provincie.

De verschillende katernen beschrijven per type waterkering specifieke aanbevelingen inzake de windsnelheid.

3.4 SCHEMATISERING WATERSPANNINGEN

3.4.1 ALGEMEEN

Waterspanningen in dijklichaam en ondergrond vormen een belangrijke belasting van de waterkering [TRW 2004]. Inzicht in de waterspanningen is daarom essentieel bij het toetsen van keringen. Voor elke belastingsituatie dient in eerste instantie een veilige schematisering van waterspanningen door grondwaterstroming te worden gemaakt. Voor de bepaling van de waterspanningen bestaan verschillende methoden:

1. Metingen: het verloop van de stijghoogte in de ondergrond kan worden gebaseerd op metingen met peilbuizen en/of waterspanningsmeters als de maatgevende conditie voldoende wordt benaderd;
2. Rekenmodellen: indien bepaling van de stijghoogte onder maatgevende condities door metingen niet mogelijk is, kan de stijghoogte ook worden berekend met rekenmodellen op basis van de bodemopbouw en de laageigenschappen;
3. Een combinatie van metingen en rekenmodellen.

Voor nadere informatie over de schematisering van waterspanningen in de ondergrond wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterspanningen [TRW 2004]. In verband met nieuwe inzichten wordt hieronder aanvullend op het genoemde rapport nader ingegaan op hydraulische kortsluiting.

3.4.2 HYDRAULISCHE KORTSLUITING

Hydraulische kortsluiting is het ontstaan van een min of meer weerstandsvrije waterstroom tussen het oppervlaktewater en één of meer relatief horizontaal doorlatende grondlagen in of onder de kering. Het ontstaan van hydraulische kortsluiting kan leiden tot een toename van de waterspanningen in die lagen. Dit kan 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 bovenzijde van de beschouwde watervoerende laag).
Denkbare oorzaken van het ontstaan van hydraulische kortsluiting zijn:

1. afwezigheid van slecht doorlatende lagen onder de waterbodem;
2. baggerwerkzaamheden;
3. opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem;
4. horizontaal vervormen van de waterkering en ontstaan van grondbreuk in de waterbodem.

Laatstgenoemde oorzaak heeft een sterke samenhang met verdroging en daarmee gewichtsafname en krimp van de op zichzelf al lichte en krimpgevoelige veenkaden. Gewichtsafname gaat gepaard met vermindering van de schuifweerstand langs potentiële horizontale afschuifvlakken in en onder de kade. Dit kan leiden tot een meer of minder grote horizontale

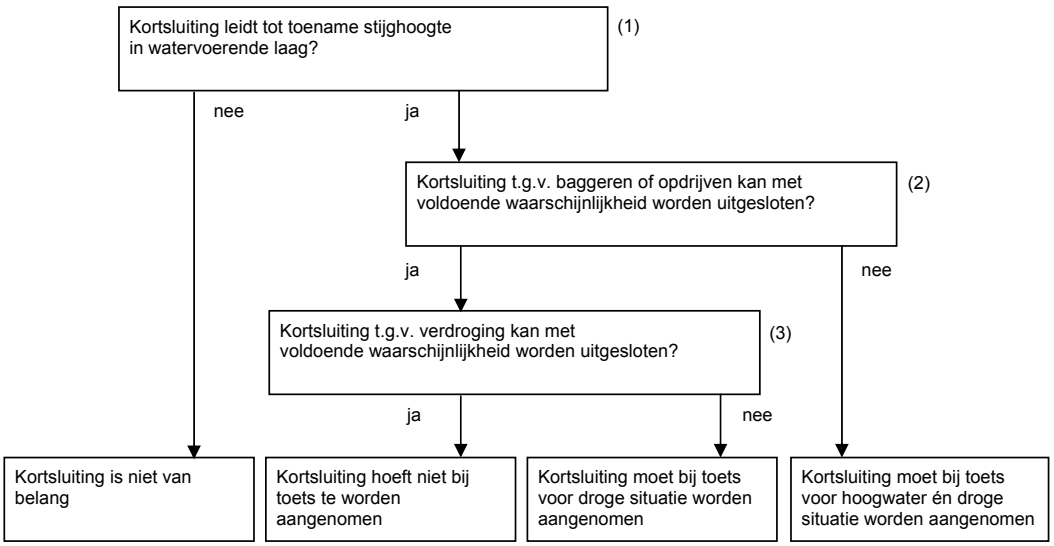
vervorming onder invloed van de altijd aanwezige horizontale vervaldruk. Volumeafname van het grondmassief ten gevolge van krimp werkt eveneens horizontale vervorming onder invloed van de horizontale vervaldruk in de hand. Indien de grond ter plaatse van de waterbodem deze vervorming niet kan opnemen zal dit leiden tot het ontstaan van een scheur, en daarmee mogelijk kortsluiting tussen het oppervlaktewater en waterdoorlatende lagen in de ondergrond.

De aanwezigheid van een hydraulisch dichte beschoeiing kan een zeer ongunstige invloed hebben op de weerstand tegen het ontstaan van kortsluiting. Een (dichte) beschoeiing bevordert verdroging van de kade doordat de infiltratie vanuit het oppervlaktewater wordt belemmerd. Bovendien verbreekt een beschoeiing, over de gehele diepte waarover deze aanwezig is, de samenhang in de ondergrond. Een en ander is overigens afhankelijk van het type beschoeiing en de laagopbouw van de ondergrond.

Op het moment van schrijven van deze leidraad was het onderzoek naar de voorwaarden waaronder het mogelijke optreden van hydraulische kortsluiting met voldoende zekerheid kan worden uitgesloten nog niet uitgevoerd. Om die reden is in het kader van de ontwikkeling van deze leidraad een set voorlopige criteria opgesteld waaronder het ontstaan van een kortsluiting niet waarschijnlijk wordt geacht.

In figuur 3.1 is het stroomschema voor de beoordeling van de relevantie van het optreden van hydraulische kortsluiting weergegeven.

FIGUUR 3.1 **BEOORDELING RELEVANTIE OPTREDEN VAN HYDRAULISCHE KORTSLUITING**



In de volgende toelichting zijn de voorlopige criteria geformuleerd waarbij de stappen (2) en (3) positief kunnen worden beantwoord, en dus het ontstaan van een kortsluiting niet waarschijnlijk wordt geacht.

(1) Kortsluiting leidt tot een toename van de stijghoogte indien het toetspeil hoger is dan de oorspronkelijke stijghoogte in het watervoerende pakket.

(2) Kortsluiting ten gevolge van baggerwerkzaamheden of opdrijven van de waterbodem kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten zolang ter plaatse van de waterbodem sprake is van een voldoende dikke en zware waterremmende laag. Vereist is dat deze laag (beneden een eventueel onderhouds- of baggerprofiel) ten minste 2 m dik is en een gemiddeld volumiek gewicht heeft van ten minste 12 kN/m^3.

(3) Aangenomen mag worden dat verdroging van de waterkering door ingrepen in of achter de kering (zoals installatie van een beschoeiing 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 uitgangspunt van 'goed beheer' uitgesloten. Kortsluiting ten gevolge van verdroging door 'extreme droogte' kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten als:

a. verdroging van de kade slechts in beperkte mate kan optreden; of:
b. sprake is van voldoende weerstand tegen scheurvorming in de wate-bodem tot aan het niveau van de bovenste watervoerende laag.

Aangenomen mag worden dat horizontale vervorming van de kade beperkt zal blijven indien:

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

Indien horizontale vervorming op basis van bovenstaande niet kan worden uitgesloten, dient de mogelijkheid van het ontstaan van een scheur in de waterbodem te worden bepaald. Voorgesteld wordt ervan uit te gaan dat scheurvorming niet optreedt indien:

- de dikte van een waterremmende laag onder de waterbodem of onder de onderkant van de beschoeiing ten minste 5 m bedraagt; of:
- zich in de waterremmende laag een kleilaag bevindt met een minimale dikte van 2 m.

Indien het optreden van kortsluiting bij de toetsing moet worden aangenomen, moet in eerste instantie veiligheidshalve worden aangenomen dat de stijghoogte in de bovenste watervoerende laag toeneemt tot het toetspeil. Als bij deze eenvoudige conservatieve benadering een voldoende veiligheid wordt gevonden is geen verdere beoordeling nodig. Indien geen voldoende veiligheid wordt gevonden, kan de beoordeling als volgt worden aangescherpt:

1. nader onderzoek naar het met voldoende waarschijnlijkheid kunnen uitsluiten van het optreden van kortsluiting;
2. nauwkeuriger berekenen van de respons van de stijghoogte in de bovenste watervoerende laag op het ontstaan van kortsluiting.

De geohydrologische respons op een kortsluiting is afhankelijk van de geohydrologische uitgangssituatie, de plaats en afmetingen van de kortsluiting en van de dikte en doorlatendheid van de watervoerende laag waarmee de kortsluiting is ontstaan. Door middel van een geohydrologische effectanalyse kan inzicht worden verkregen op gevoeligheden en kan de optredende stijghoogte mogelijk worden aangescherpt ten opzichte van het conservatieve uitgangspunt dat deze gelijk is aan toetspeil.

3.5 OVERIGE BELASTINGEN

3.5.1 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 §3.3.3. 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 §4.10.

3.5.2 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.

3.5.3 VERKEER

Verkeersbelasting dient in rekening te worden gebracht bij beoordeling van de stabiliteit van een waterkering. Dit geldt ook indien geen rijweg op de kruin van de kering aanwezig is, aangezien de kans bestaat dat in een dreigende calamiteit transport van zwaar materiaal en materieel over de kruin van de waterkering noodzakelijk is. De toetsing van de stabiliteit kan uitsluitend worden uitgevoerd zonder verkeersbelasting als de beheerder heeft aangegeven dat verkeersbelasting ter plaatse van de kruin is uitgesloten (ook tijdens de maatgevende situatie).

Verkeersbelasting is vrijwel altijd een kortdurende belasting, waarop de grond vrijwel ongedraineerd zal reageren. De grootte van de verkeersbelasting bedraagt 13 kN/m^2 over een strookbreedte van 2,5 m [TRWG 2001]. Indien zich op de kering een verkeersweg bevindt waarop zwaar verkeer is toegestaan (verkeersklasse 60) dient een belasting van 15 kN/m^2 over een strookbreedte van 2,5 m te worden gehanteerd [HCO 1994]. Indien dergelijk zwaar verkeer tijdens de maatgevende hoogwatersituatie niet is toegestaan, volstaat een verkeersbelasting van 13 kN/m^2.

3.5.4 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 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 bij langs de kering gelegen waterpartijen, zoals wielen en strangen, en bij schaardijken. Overbeweiding kan schade aan grastaluds veroorzaken.

3.5.5 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.

3.5.6 AARDBEVINGEN EN AARDSCHOKKEN

De kans op falen van de kering ten gevolge van aardbevingen en aardschokken is te verwaarlozen. Deze belasting hoeft zodoende niet te worden beschouwd.

3.5.7 BODEMONDERZOEK

Onder het uitgangspunt van goed beheer kan de kans op falen van de kering ten gevolge van bodemonderzoek worden verwaarloosd. Onder goed beheer wordt verstaan dat voor activiteiten in of in de directe nabijheid van waterkeringen een keurontheffing nodig is, en dat handhaving voldoende aandacht krijgt.

3.5.8 BELASTING DOOR EIGEN GEWICHT

Belastingen door eigen gewicht van de kering treden langdurend op, en zullen daarom leiden tot zettingen en vervormingen van de kering. Ook opslag van grond op of naast de kering kan leiden tot ongewenste vervormingen of zelfs stabiliteitsverlies van het dijklichaam.

Onder het eerder genoemde uitgangspunt van goed beheer kan de kans op falen van de kering ten gevolge van laatstgenoemde oorzaak worden verwaarloosd.

Eigen gewicht van de kering kan, afhankelijk van het beschouwde mechanisme, soms ook als sterkte opgevat worden. Dit is met name het geval waar het de opbarstveiligheid betreft in verband met de weerstand tegen piping, alsook waar het de veiligheid tegen (horizontaal) binnenwaarts afschuiven betreft (zie ook §4.3 en §4.4). De mogelijke gewichtsreductie die het gevolg kan zijn van langdurige droogte is daarmee voor die mechanismen als sterktereductie op te vatten. In §3.2.2 is dit al nader behandeld.

Uitgangspunt bij de toetsing is dat de te onderzoeken keringen (nagenoeg) de eindstabiliteit bezitten. Afhankelijk van de bodemopbouw betekent dit dat gedurende een lange periode geen ophoog- of verbeteringswerkzaamheden van betekenis mogen zijn uitgevoerd. Indien dit wel het geval is, dient bij het vastleggen van de actuele situatie rekening te worden gehouden met de mogelijke aanwezigheid van wateroverspanningen en restzettingen. Onder een lange periode verstaan we een periode waarbinnen het consolidatieproces als praktisch beëindigd kan worden beschouwd. Deze periode kan variëren van 1 tot 15 jaar, afhankelijk van onder andere de consolidatie-eigenschappen, de dikte van de samendrukbare laag en de grootte van de aangebrachte belasting (dat wil zeggen de dikte van de ophoogslag).

4

STERKTE

4.1 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, mogelijk leidend tot doorbraak. 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;
- nadelig gedrag van niet-waterkerende objecten in, op of langs de kering.

Deze verschillende faalmechanismen worden in de volgende paragraaf behandeld.

4.2 OVERLOPEN / OVERSLAG

4.2.1 ALGEMEEN

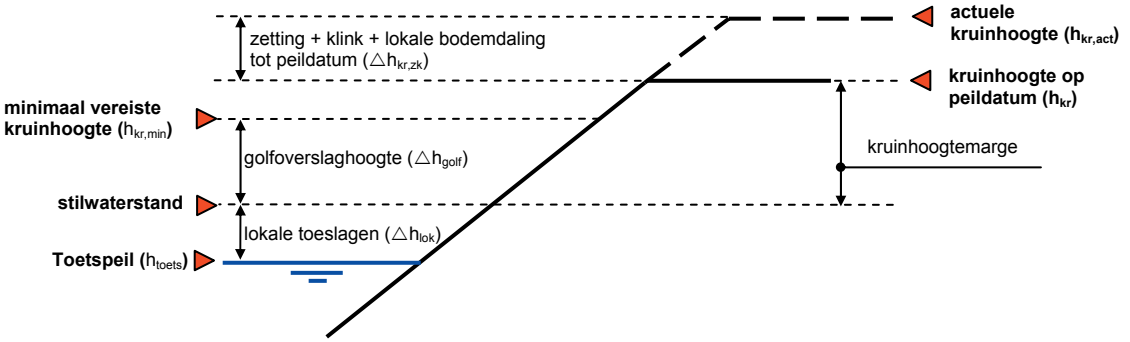
De toets op hoogte betreft het toetsen van de verwachte kruinhoogte op de peildatum aan de minimaal vereiste kruinhoogte, eveneens op peildatum. De kans op het bezwijken van de waterkering door het optreden van overlopen en overslag is voldoende klein, indien de verwachte kruinhoogte op de peildatum groter is dan de minimaal vereiste kruinhoogte.

De verwachte kruinhoogte is meestal de actuele kruinhoogte gereduceerd met de daling die gedurende de toetsperiode wordt verwacht ten gevolge van zetting en klink. De minimaal vereiste kruinhoogte is gelijk aan het toetspeil (maatgevende hoog waterstand) vermeerderd met lokale toeslagen en de golfoverslaghoogte. Voor de vaststelling van de minimaal vereiste kruinhoogte is een aanvullend kenmerk van de sterkte van de waterkering vereist. Dit betreft de weerstand tegen erosie van de kruin en het binnentalud. Deze weerstand bepaalt het toelaatbare overslagdebiet, en daarmee de vereiste waakhoogte om golfoverslag tot het toelaatbare overslagdebiet te beperken. Een schematisch overzicht van de belangrijkste begrippen die een rol spelen bij de beoordeling van de kerende hoogte, is weergegeven in Figuur 4.1.

In aanvulling geldt dat het overslagdebiet geen onaanvaardbare wateroverlast in het beschermde gebied mag veroorzaken. Een lokale aanvullende eis kan zijn dat de waterkering voldoende begaanbaar moet zijn, bijvoorbeeld voor transport van materiaal / materieel ten behoeve van noodmaatregelen of als vluchtweg in geval van evacuatie. Een criterium hiervoor, bijvoorbeeld in termen van een maximaal overslagdebiet per type kruinverharding is

echter niet aanwezig. De eventueel benodigde toetsing van de begaanbaarheid is daardoor kwalitatief. Aangezien deze aanvullende eisen niet de waterkerende functie betreffen zijn deze niet verder uitgewerkt.

FIGUUR 4.1 **DEFINITIE BEGRIPPEN BIJ HOOGTEBEOORDELING**



Er geldt:

$$h_{kr} = h_{kr,act} - \Delta h_{kr,zk}$$
$$h_{kr,min} = h_{toets} + \Delta h_{lok} + \Delta h_{golf}$$

De eis waaraan moet worden voldaan luidt:

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

Waarin:

h_{kr}	:	verwachte kruinhoogte op peildatum (§4.2.2)
$h_{kr,act}$	:	actuele kruinhoogte (met datum van meting)
Δh_{zk}	:	hoogteafname t.g.v. zetting en klink, inclusief momentane verlaging t.g.v. extreme droogte (met name relevant in geval van veen aan of nabij het oppervlak)
$h_{kr,min}$	:	minimaal vereiste kruinhoogte
h_{toets}	:	toetspeil (§3.3.1)
Δh_{lok}	:	lokale toeslagen in verband met scheefstand door opwaaiing en stromingsweerstand
Δh_{golf}	:	golfoverslaghoogte (§4.2.3)

Aanbevolen wordt voor de kruinhoogtemarge een minimale waarde van 0,10 m aan te houden. Tijdens extreme omstandigheden zal de kruinhoogte dan op enkele kritieke locaties waar van weinig golfbeweging sprake is minimaal 0,10 m boven de stilwaterstand zijn gelegen.

4.2.2 KRUINHOOGTE

Voor de vaststelling van de verwachte kruinhoogte op de peildatum dienen allereerst de maatgevende (= laagste) locaties van de kruin op het beschouwde dijkvak te worden vastgesteld op basis van kruinhoogtemetingen op een voldoende kleine onderlinge afstand in langsrichting. Hierbij moet ter indicatie gedacht worden aan een tussenafstand van ordegrootte 25 m, afhankelijk van de aanwezige variatie in kruinhoogte. In de bepaling van de hoogte van de maatgevende punten dient voldoende compensatie aanwezig te zijn voor onzekerheden in de meetmethode. De hoogte van deze punten dient vervolgens te worden verminderd met (een bovengrensschatting van) de verwachte zetting en klink in de toetsperiode. Tevens dient rekening te worden gehouden met eventuele bodemdaling tot aan de peildatum.

Opgemerkt wordt dat perioden van extreme droogte kunnen leiden tot versnelde, deels tijdelijke kruindaling als gevolg van omkeerbare krimp van organisch materiaal. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij het vaststellen van verwachte kruinhoogte op de peildatum. Aanbevolen wordt om bij aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei op geringe diepte beneden maaiveld (1à 2 m) een extra 'droogtemarge' in rekening te brengen (bijvoorbeeld 0,3 m). Ervaringen tijdens eerdere droge perioden kunnen een belangrijke informatiebron zijn om de noodzaak van een dergelijke marge vast te stellen, alsmede de grootte daarvan.

Bij het vaststellen van de kruinhoogte van een dijkvak dienen hoogtegegevens ter plaatse van de buitenkruinlijn te worden gebruikt of eventueel de middenkruinlijn. De hoogte ter plaatse van de binnenkruinlijn mag alleen worden gebruikt indien zeker is dat dit gedeelte van de kruin niet (lokaal) afschuift tijdens maatgevende condities.

Vereist is dat de vastgestelde kruinhoogte over een breedte van ten minste 1,5 m aanwezig is.

4.2.3 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. Dit is de waakhoogte die bovenop het toetspeil, exclusief toeslagen, onder maatgevende omstandigheden in rekening moet worden gebracht om bij gegeven golfrandvoorwaarden het toelaatbare overslagdebiet niet te overschrijden. Deze golfoverslaghoogte hangt naast de golfhoogte onder maatgevende omstandigheden ook af van de eigenschappen van het buitentalud van de kering, met name de begroeiing / bekleding en de taludhelling. De golfoverslaghoogte kan worden berekend volgens het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [TRGG 2002]. Ook kan hiervoor het spreadsheet worden gebruikt, zoals is ontwikkeld en beschikbaar gesteld door het Wetterskip Fryslân (via de website van de STOWA).

Ten behoeve van de berekening van de golfrandvoorwaarden zijn gegevens van maatgevende windsnelheden benodigd. Deze worden vastgesteld door de provincies. Desgewenst kan een waterkeringbeheerder kiezen om de maatgevende windsnelheden nauwkeurig vast te stellen, door een gedetailleerde studie uit te (laten) voeren (zie §3.3.3 en bijlage 5).

Teneinde de inspanning voor de toetsing enigszins te beperken zijn een aantal grafieken ontwikkeld waarvan de benodigde golfoverslaghoogte eenvoudig kan worden afgeleid. Deze grafieken gelden voor onderstaande 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: variërend van 10 tot 5000 m.

De grafieken zijn gepresenteerd in bijlage 6. Deze bijlage presenteert tevens de uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de samenstelling van de grafieken, alsmede de voorwaarden bij het gebruik van de grafieken. In het kader van deze berekeningen zijn tevens golfhoogten berekend voor de genoemde combinaties. Deze golfhoogten zijn eveneens gepresenteerd in bijlage 6.

4.3 PIPING / HEAVE

4.3.1 ALGEMEEN

Stabiliteitsverlies door piping kan ontstaan wanneer teveel gronddeeltjes uit de onderliggende grondlagen worden meegevoerd door een kwelstroom bij (langdurige) hoge waterstanden, zie [TRZW 1999]. Het optreden van deze interne erosie is aan de binnenzijde van de kering zichtbaar, doordat in sloten of op het maaiveld met het opwellende kwelwater zand wordt meegevoerd.

Onder heave wordt het ontstaan van drijfzand bij verticaal uittredend grondwater verstaan. Heave kan optreden in situaties waarbij een geconcentreerde verticale kwelstroming optreedt, bijvoorbeeld achter een kwelscherm aan de binnenzijde van de waterkering.

Voor de aanpak van deze controles wordt verwezen naar de methoden beschreven in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006] en het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TRZW 1999]. Het onderliggende veiligheidsniveau van deze methoden wordt voldoende geacht voor primaire waterkeringen. De methoden kunnen daarmee als voldoende veilig voor de beoordeling van regionale keringen worden beschouwd, ongeacht de veiligheidsnorm van de beschouwde kering.

Indien binnendijks van de waterkering sprake is van een deklaag met zekere dikte, dan is een voorwaarde voor het kunnen optreden van piping en heave dat deze deklaag opbarst. Een logische eerste stap in de controle op piping en heave is daarom een controle op de veiligheid tegen opbarsten. Is deze voldoende, dan is ook de weerstand tegen optreden van piping en heave voldoende. In de volgende paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

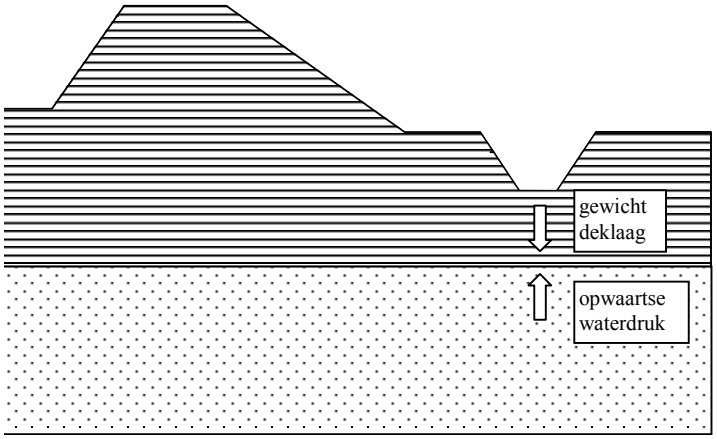
4.3.2 OPDRIJVEN EN OPBARSTEN

Het mechanisme opdrijven of opbarsten is geen bezwijkmechanisme, maar kan wel aanleiding zijn voor het optreden van vooral de bezwijkmechanismen piping en heave. Daarnaast heeft het mechanisme opdrijven of opbarsten ook invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit. Opbarsten treedt op indien het gewicht van het afdekkende pakket gelijk of kleiner is dan de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van het afdekkende pakket, zie Figuur 4.2. In dat geval is de verhouding tussen het gewicht van het afdekkende pakket en de opwaartse waterdruk, zogenaamd de opbarstveiligheid, gelijk of kleiner dan 1,0. Als deze verhouding tussen 1,0 en 1,2 ligt wordt gesproken van opdrijven.

De minimaal vereiste opbarstveiligheid bedraagt:
1,0 indien de stijghoogte gelijk wordt gesteld aan het toetspeil;
1,2 indien de stijghoogte uitsluitend is bepaald op basis van modellen;
1,1 indien de stijghoogte is bepaald op basis van responsmetingen en modellen en de onzekerheid in de stijghoogte klein is of indien de onzekerheid is afgedekt met veilige parameters en modelrandvoorwaarden.

Als de veiligheid tegen opbarsten onvoldoende is, dan moet getoetst worden op het gevaar voor het optreden van piping of heave. Voor nadere informatie wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006].

FIGUUR 4.2 **PRINCIPESCHETS OPBARST- / OPDRIJFVEILIGHEID**



De veiligheid tegen opdrijven / opbarsten verandert door de tijd heen voortdurend omdat het gewicht van de deklaag in de loop der tijd varieert, afhankelijk van met name de weersomstandigheden (nat of droog) alsmede eventuele menselijke ingrepen. Aan de andere kant varieert ook de waterdruk tegen de onderkant van de deklaag in de tijd, in het bijzonder als hydraulische kortsluiting optreedt.

Bij de berekening van de opbarstveiligheid voorafgaand aan de pipinganalyse dient voor zowel de belastingsituatie 'hoogwater' als de belastingsituatie 'droogte' te worden uitgegaan van dezelfde hydraulische randvoorwaarden en geohydrologische schematisering als welke worden aangenomen bij de controle van het mechanisme piping / heave zelf, zie ook bijlage 2.

OPMERKINGEN

- Er dient rekening mee te worden gehouden dat in geval van extreme droogte de freatische waterstand in kering en achterland daalt, en het gewicht van de grond boven de (verlaagde) freatische lijn ten gevolge van verdroging afneemt, en in geval van veen mogelijk zelfs sterk afneemt.

- Onderscheid dient te worden gemaakt tussen niet of wel optreden van hydraulische kortsluiting tussen watervoerende laag onder de kering en het te keren buitenwater (zie §3.4.2).

- Voor de berekening van de veiligheid tegen opdrijven / opbarsten ter plaatse van een binnendijkse sloot dient te worden uitgegaan van het gewicht van de deklaag ter plaatse van de slootbodem vermeerderd met het gewicht van het water in de sloot. Voor zowel voor de situatie hoogwater als de situatie droogte moet een lage (conservatieve) inschatting worden gemaakt van de waterstand in de sloot die redelijkerwijze nog gegarandeerd kan worden. Verder kan voor de berekening onderscheid worden gemaakt tussen een berekening zonder 2D-effect van het deklaaggewicht en een scherpere berekening met 2D-effect van het deklaaggewicht. Voor dit laatste wordt, conform het voorschrift in het VTV 2006 voor primaire waterkeringen, verwezen naar het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (blz. 138) [TRWG 2001].

- Omdat opbarsten leidt tot een beperking van de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van de deklaag is het optreden hiervan voor de macrostabiliteit binnenwaarts mogelijk juist gunstig. Bij controle op macrostabiliteit moet bedacht worden dat vanwege de

samenhang van de grond in de deklaag opbarsten mogelijk pas optreedt bij een opbarstveiligheid kleiner is dan 1,0. Dit resulteert in een hogere waarde van de grenspotentiaal. Een conservatieve benadering wordt gevolgd door in dit geval juist uit te gaan van een hoge schatting van het deklaaggewicht. Tevens moet het 2D-effect van het deklaaggewicht in geval van een sloot altijd in rekening moet worden gebracht, eveneens omdat dit leidt tot een hoge (conservatieve) inschatting van de grenspotentiaal.

- Opmerkzaamheid is geboden ten aanzien van de eventuele aanwezigheid van kabels en leidingen in of achter de kering. Deze liggen meestal in een zandaanvulling in de deklaag, waarmee ter plaatse sprake kan zijn van een lokaal verlaagde opbarstveiligheid of een kortgesloten kwelweg. Aandachtspunten vormen ook de aanwezigheid van een weg (in verband met de aanwezigheid van zand en/of puin in de wegfundering) al dan niet in combinatie met de aanwezigheid van puin in de vooroever waardoor de intreeweerstand wordt verlaagd.

4.4 MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS

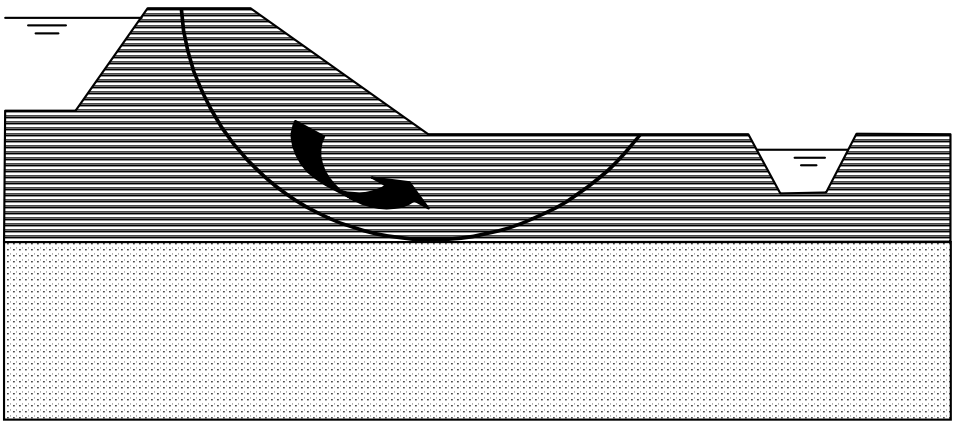
4.4.1 ALGEMEEN

Met macro-instabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld. Dit afschuiven treedt op langs rechte of gebogen glijvlakken, door plastische zones, waarin door overbelasting geen krachtenevenwicht meer aanwezig is. Voor de analyse van de macrostabiliteit zijn de volgende gegevens nodig:

- Geometrie, dat wil zeggen het ingemeten dwarsprofiel van de waterkering;
- Laagopbouw van de ondergrond en het dijklichaam;
- Volumiek gewicht en de (representatieve) sterkte-eigenschappen voor elke laag;
- Belasting: maatgevende ligging van de freatische lijn en waterspanningsverloop in de ondergrond.

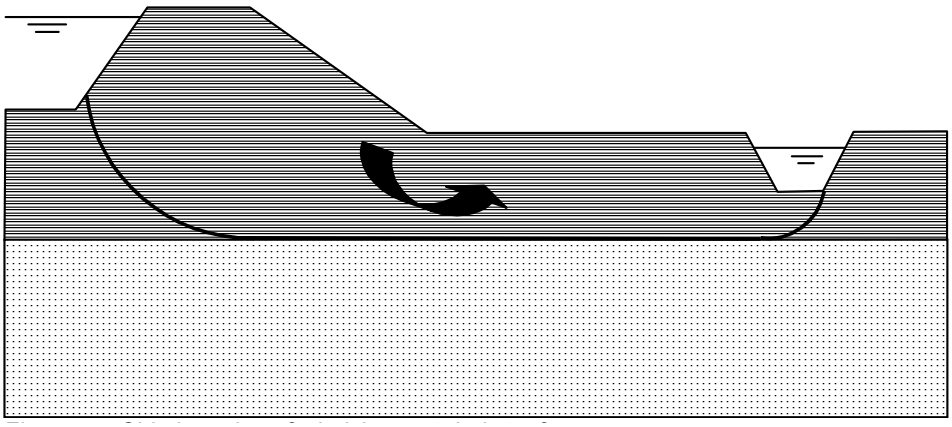
Voor de meeste gevallen zal een glijvlakberekening op basis van cirkelvormige glijvlakken (methode Bishop) volstaan (zie Figuur 4.3).

FIGUUR 4.3 **CIRKELVORMIGE AFSCHUIVING**



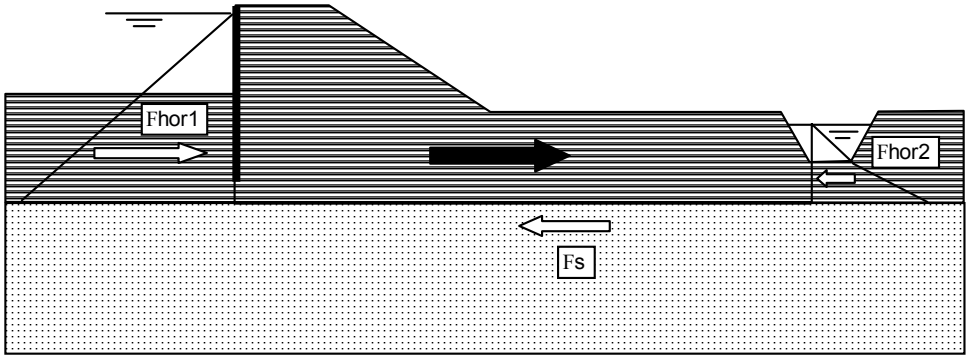
Er zijn echter ook situaties waarbij het afschuiven langs cirkelvormige glijvlakken niet maatgevend is voor de macrostabiliteit van de kering. Hierbij moet worden gedacht aan in de ondergrond aanwezige zeer slappe lagen of aan de invloed van veenlagen. In dergelijke gevallen wordt aangeraden om de stabiliteit ook op basis van niet-cirkelvormige glijvlakken te toetsen (bijvoorbeeld met methode Spencer, zie Figuur 4.4).

FIGUUR 4.4 **CIRKELVORMIGE AFSCHUIVING MET DRUKSTAAF**



Indien sprake is van een droogtegevoelige kering dient voor de beoordeling van stabiliteit tijdens de droge situatie ook een controle op horizontaal evenwicht te worden gemaakt (zie Figuur 4.5).

FIGUUR 4.5 **CONTROLE HORIZONTAAL AFSCHUIVEN**



Ter toelichting op de controle op horizontaal evenwicht worden de volgende opmerkingen gemaakt en aanvullende handreikingen gegeven:

- Voor horizontaal afschuiven is de droge situatie altijd maatgevend.
- Het criterium voor de beoordeling van de veiligheid tegen horizontaal afschuiven is dezelfde als voor de beoordeling van de glijcirkelstabiliteit (zie §4.4.2), de eis luidt dus: $F / (\gamma_m \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d) \geq 1{,}0$. Hierin is de stabiliteitsfactor F gedefinieerd als F = Fs / (Fhor1-Fhor2).
- Verkeersbelasting werkt gunstig op de veiligheid tegen horizontaal afschuiven, en dient in dit geval van de conservatieve aanname te worden uitgegaan dat geen verkeersbelasting aanwezig is.

4.4.2 STABILITEITSEISEN

Voor de stabiliteitsanalyses wordt aanbevolen een semi-probabilistische methode te hanteren. De stabiliteit van een grondlichaam wordt onderzocht door vergelijking van de sterkte en de belasting.

De variabele die de sterkte vertegenwoordigt wordt door γR gedeeld, zodat een veilige rekenwaarde voor de sterkte wordt verkregen. Daarentegen wordt de variabele die representatief is voor de belasting met γ_S vermenigvuldigd.

$\gamma_S = 1$ en $\gamma_R = \gamma_m \gamma_n \gamma_d$

Bij toetsing op macrostabiliteit wordt expliciet getoetst aan een vereiste stabiliteitsfactor. De stabiliteitseis bij gebruik van rekenwaarden voor de sterkte luidt:

$F / \gamma_m \gamma_n \gamma_d \geq 1{,}0$

waarin

- F = stabiliteitsfactor berekend bij rekenwaarden van de sterkte [-]
- γ_n = schadefactor [-]
- γ_d = modelfactor [-] (waarde 1,0 in geval van glijcirkelanalyse met model Bishop)
- γ_m = materiaalfactor [-]

De schadefactor γ_n is het "sluitstuk" in de set van partiële factoren om aan te sluiten op het gewenste veiligheidsniveau, rekening houdend met:

- de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil;
- de oorzaak van grondmechanische instabiliteit;
- de lengte van de waterkeringen rond een dijkring.

Bij het beoordelen van de macrostabiliteit van het binnentalud is een nuancering mogelijk in de te hanteren schadefactor. Niet iedere instabiliteit hoeft direct te leiden tot aantasting van het waterkerend vermogen van de kering. Dit heeft geleid tot een differentiatie van de schadefactor afhankelijk van de ligging van het intredepunt van het glijvlak. Voor nadere informatie wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TRWG 2001].

BOEZEMKADEN

De schadefactor γ_n is afhankelijk van de veiligheidsnorm van de kade, en varieert van 0,8 tot 1,0 bij een overschrijdingsfrequentie van 1/10 tot 1/1.000. Vanwege de afhankelijkheid dient de schadefactor zodoende per polder en/of per kadevak te worden vastgesteld. Tabel 4.1 geeft de relatie tussen de 'oude' COW-eis, de latere eis volgens het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden en de gedifferentieerde stabiliteitseisen behorende bij de IPO-veiligheidsklassen. Bedacht moet worden dat ook de IPO-methode is gebaseerd op minimale trendbreuk, en dus feitelijk nog steeds volgens de filosofie van het systematisch boezemkade-onderzoek is opgezet. In de IPO-methode is gesteld dat de normen moeten worden beschouwd als afkeurgrens, en dat de beheerder zelf moet nagaan of bij dijkverbetering niet direct moet worden overgestapt naar een hoger veiligheidsniveau (dus hogere vereiste stabiliteitsfactor).

TABEL 4.1 **RELATIE STABILITEITSEISEN EN SCHADEFACTOR - BOEZEMKADEN**

COW-stabiliteitseis	Stabiliteitseis TRTB	Stabiliteitseisen behorende bij IPO-veiligheidsklassen		
		IPO-veiligheidklasse	Veiligheidsnorm [1/jr]	Schadefactor γ_n [-]
$F_{COW} \geq 1{,}3$	$F_{TRTB} \geq 1{,}0$ bij $\gamma_n = 0{,}9$	I	1/10	0,80
		II	1/30	0,85
		III	1/100	0,90
		IV	1/300	0,95
		V	1/1.000	1,00

Toelichting:
In de lijst met IPO-veiligheidsklassen is klasse III de gemiddelde klasse. Deze sluit aan op de COW-stabiliteitseis (de stabiliteitsfactor F_{COW} berekend met gemiddelde waarden van de sterkte-eigenschappen, dient ten minste 1,3 te bedragen) alsook de stabiliteitseis uit het TRTB (de stabiliteitsfactor F_{TRTB} berekend met rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen dient ten minste 1,0 te bedragen bij een gehanteerde waarde van de schadefactor van $\gamma_n = 0{,}9$). IPO-veiligheidsklassen IV en V zijn afgedekt is de COW-stabilteitseis en de stabiliteitseis van het TRTB.

KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Voor keringen langs regionale rivieren zijn in het verleden nog geen schadefactoren bepaald. Zodoende zijn voor deze toetsronde voor het eerst schadefactoren afgeleid. Bij de overwegingen tijdens de afleiding van de schadefactoren waren speciaal van belang:

- de schadefactor voor primaire rivierdijken, speciaal:
  - de waarde 1,1 voor rivierdijken in het bovenrivierengebied, met een normfrequentie van 1/1250;
  - de differentiatie van de factor naar (o.a.) de veiligheidsnorm voor rivierdijken in het benedenrivierengebied;
- de waarde van de schadefactor voor boezemkaden, inclusief de differentiatie daarvan naar de veiligheidsnorm.

Uiteindelijk is besloten een schadefactor te hanteren gelijk de waarde voor de boezemkaden. Volledigheidshalve is dit resultaat weergegeven in onderstaande tabel. Indien in heel bijzondere situaties een norm van 1/1250 is toegekend, dient een schadefactor van 1,1 te worden gebruikt.

TABEL 4.2 **MINIMAAL VEREISTE SCHADEFACTOR STABILITEIT BINNENTALUD - KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN**

Normfrequentie waterkering [1/jaar]	Schadefactor [-]
1/10	0,80
1/30	0,85
1/100	0,90
1/300	0,95
1/1000	1,00

COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Ook voor de compartimenteringskeringen geldt dat niet wordt beschikt over formeel vastgestelde schadefactoren. Voor deze toetsronde wordt de schadefactor voor compartimenteringskeringen gelijkgesteld aan de hoogste schadefactor voor boezemkaden en regionale rivierkeringen. Dit betreft de waarde 1,0, welke gelijk staat aan een normfrequentie van 1/1000 voor boezemkaden en keringen langs regionale rivierkeringen. Deze waarde is daarbij niet afhankelijk van de norm van de compartimenteringskering. Voor de waarde 1,0 is gekozen vanwege het betrekkelijk grote belang wat een compartimenteringskering mogelijk beschermd, in combinatie met de aard van het overstromingswater (buitenwater).

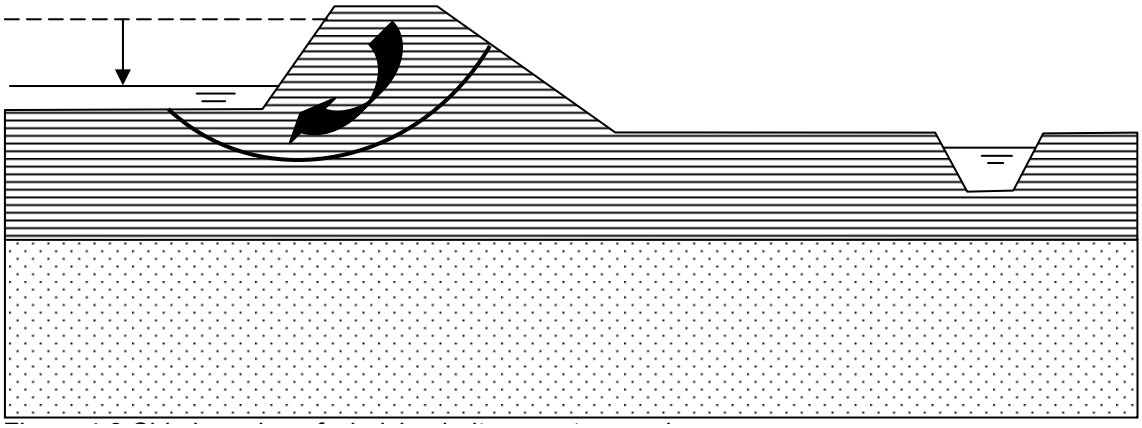
4.5 MACROSTABILITEIT BUITENTALUD

Met macro-instabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld, zoals beschreven in §4.4.1. Voor de analyse van de macro-instabiliteit van het buitentalud zijn dezelfde gegevens van belang als bij macro-instabiliteit van het binnentalud (zie §4.4.1).

Macro-instabiliteit van het buitentalud kan verschillende oorzaken hebben, die overwegend gerelateerd zijn aan een snelle daling van de waterstand, zoals:

1. extreem laagwater door natuurlijke variatie (bij boezemkaden en rivierkeringen);
2. val van het waterpeil door een calamiteit elders;
3. verdieping van waterbodem (baggeren) of vooroever door erosie (stroming of scheepvaart) en schade aan beschoeiing;
4. extreme belastingen, bijvoorbeeld door zwaar verkeer;
5. extreem laagwater door (tijdelijke) verlaging van de waterstand door menselijke activiteiten.

FIGUUR 4.6 **CIRKELVORMIGE AFSCHUIVING BUITENWAARTS NA VAL**



Ad.1: 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.

Ad.2: Met een calamiteit elders wordt voornamelijk gedoeld 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 waterstandsdaling 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.

Ad.3: Aangenomen mag worden dat significante verdieping van de vooroever en/of schade aan de beschoeiing (in de regel door verrotting) oorzaken van mogelijke ondermijning van de buitenwaartse macrostabiliteit zijn die met een voldoende adequaat beheer voorkomen kunnen worden. Hierop hoeft dan niet gerekend te worden. Bij een eerste toetsing is het wel van belang hier aandacht aan te besteden. Ook dient monitoring van 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.

Ad.4: Voor extreme belastingen door zwaar verkeer geldt bij controle van de stabiliteit van het buitentalud hetzelfde als voor de controle van de stabiliteit van het binnentalud. Conform het gestelde in §4.4 dient derhalve ook bij de beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit deze belasting altijd in rekening wordt gebracht, tenzij door de beheerder wordt aangegeven dat verkeersbelasting ter plaatse uitgesloten kan worden.

Ad.5: 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 ontheffingen en vergunningenbeleid van de beheerder, en dat potentieel schadelijke ingrepen worden voorkomen. Het optreden van een dergelijke situatie hoeft daarom niet bij de toets op veiligheid te worden beschouwd.

Het optreden van deze verschillende oorzaken is niet bij alle kadevakken of type waterkeringen realistisch. Ook hoeft het eventuele optreden van de oorzaak en het vervolgens bezwijken van de kaden niet altijd te resulteren in een doorbraak van de betreffende kering. Het is zodoende niet noodzakelijk dit faalmechanisme bij alle dijkvakken te beschouwen. In de hoofdstukken 5 tot en met 7 zijn per type kering criteria uitgewerkt op basis waarvan kan worden vastgesteld of dit faalmechanisme voor het betreffende dijkvak beschouwd dient te worden.

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

4.6 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 micro-instabiliteiten 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;
- 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 keringen met een kleikern speelt microstabiliteit geen rol.

Voor de invulling van deze controle wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006]. Daarbij dient te worden uitgegaan van het toetspeil voor het beschouwde dijkvak, in combinatie met een hoge ligging van de freatische lijn, zie ook bijlage 2.

4.7 BEKLEDINGEN

4.7.1 BUITENTALUD

Voorkomende bekledingstypen van het buitentalud van regionale waterkeringen betreft overwegend grasbekleding, begroeiing (riet) en beschoeiing. Daarnaast komen op strekkingen waarop grotere golfaanval voorkomt (windgolven op grotere wateroppervlakten en/of zwaardere golfaanval door passerende scheepvaart) ook wel steenbestortingen of steenzettingen voor. Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar het Technisch Rapport Steenzettingen [TRS 2003]. Op enkele regionale wateren komt zware scheepvaart voor (containerklasse 5A). 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.

4.7.2 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 conform de beoordeling weergegeven in het VTV 2006.

De uiteindelijke score dient te zijn afgestemd met de gehanteerde uitgangspunten bij de toetsing van de hoogte van de kering.

4.7.3 EROSIEBESTENDIGHEID ZANDIGE BEKLEDINGSLAAG

De bekleding van regionale keringen bestaat vaak uit een toplaag met een hoog gehalte zand en/of organische stof. Dit in tegenstelling tot primaire waterkeringen waar de toplaag veelal bestaat uit een afdekkende kleilaag. Kennis over het toetsen van de bekleding is gebaseerd op de primaire keringen. Uitgangspunt daarbij is een afdekkende kleibekleding, een toplaag met een hoog gehalte zand en/of organische stof resulteert in een slechte beoordeling.

Uit de proeftoetsingen met deze Leidraad is gebleken dat een beoordeling volgens de methode die is opgesteld voor primaire keringen overwegend resulteert in de score “onvoldoende”. De hydraulische belasting van regionale kering is vaak aanzienlijk minder zwaar dan bij primaire keringen, zodat een minder erosiebestendige bekleding niet op voorhand onvoldoende sterk lijkt. Kennis om een meer zandige of humeuze toplaag te kunnen toetsen ontbreekt echter op dit moment.

Bij een zandige of humeuze toplaag kan de toetsing worden uitgevoerd zoals beschreven in de verschillende katernen van deze Leidraad, waarbij veelal wordt verwezen naar de beoordelingswijze voor primaire keringen (inclusief de methodes voor de beoordeling ‘Kwaliteit graszode’). Indien de toetsing niet kan worden uitgevoerd vanwege een hoog gehalte zand en/of organische stof, dan kan de eindscore volledig worden gebaseerd op het beheerdersoordeel. Uitgangspunt voor het beheerdersoordeel “voldoende” is dat op de kruin en het binnen- en buitentalud een redelijk tot goed gesloten grasmat aanwezig is. Verder dient bij boezemkaden het buitentalud te zijn voorzien van een oeververdediging op de waterlijn.

Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op het STOWA-rapport ‘Grond voor kaden’. Volgens dit rapport is, op basis van een inventarisatie van de schade bij boezemkaden, gebleken dat in bovenstaande situatie geen schade aan de kade optreedt die een gevaar zou vormen voor het waterkerend vermogen.

Indien de kwaliteit van de grasmat onvoldoende is, 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 een folie als noodmaatregel tijdens maatgevende omstandigheden.

4.8 STABILITEIT VOORLAND

De stabiliteit van het voorland is voor de beoordeling van regionale waterkeringen in de meeste gevallen geen relevant beoordelingsaspect, eenvoudigweg omdat:

- de breedte en diepte van de boezem of een regionale rivier beperkte afmetingen hebben;
- geen diepe geul of ontgraving aanwezig is.

Op voorhand kan de relevantie van dit faalmechanisme echter niet worden uitgesloten. Zo kan lokaal bijvoorbeeld een diepe zandwinput aanwezig zijn. Zodoende is dit faalmechanisme toch een onderdeel van de toets op veiligheid. In veel gevallen zal voor de beoordeling met een korte opmerking over de afwezigheid van geulen kunnen worden volstaan. Uitsluitend indien een geul aanwezig is met een diepte die groter is dan 9 m dient de stabiliteit van het voorland te worden getoetst. Ontbreekt het voorland, dan dient het buitentalud te worden getoetst. De bepaling van de geuldiepte en de eventuele toetsing kan worden uitgevoerd volgens de beschrijving in het VTV 2006.

4.9 KUNSTWERKEN EN KERENDE CONSTRUCTIES

4.9.1 ALGEMEEN

Bij het door de TAW uitgevoerde systematisch boezemkade-onderzoek is de aanwezigheid van constructies in de kade niet in de toetsing betrokken. Ook in het naar aanleiding daarvan opgestelde Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden [TRTB 1993], is slechts in algemene zin op deze problematiek ingegaan.

In deze leidraad wordt meer uitvoerig op de problematiek met betrekking tot het beoordelen van de invloed van kunstwerken en kerende constructies op de veiligheid van de regionale waterkeringen ingegaan. Daarbij wordt wel, zoveel als mogelijk, gebruik gemaakt van verwijzingen naar reeds beschikbare relevante rapporten.

Aanvullend wordt opgemerkt dat het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen [IPO & UvW 2005] tevens de ontwikkeling beoogt van een Leidraad Waterkerende Kunstwerken voor regionale waterkeringen. In deze Leidraad zal specifiek worden ingegaan op de situatie van de regionale waterkeringen, inclusief de beoordeling van de dergelijke kunstwerken in het kader van de veiligheidstoetsing. Bij de toetsing van waterkerende kunstwerken wordt daarom aanbevolen de vorderingen van het genoemde Ontwikkelingsprogramma na te gaan.

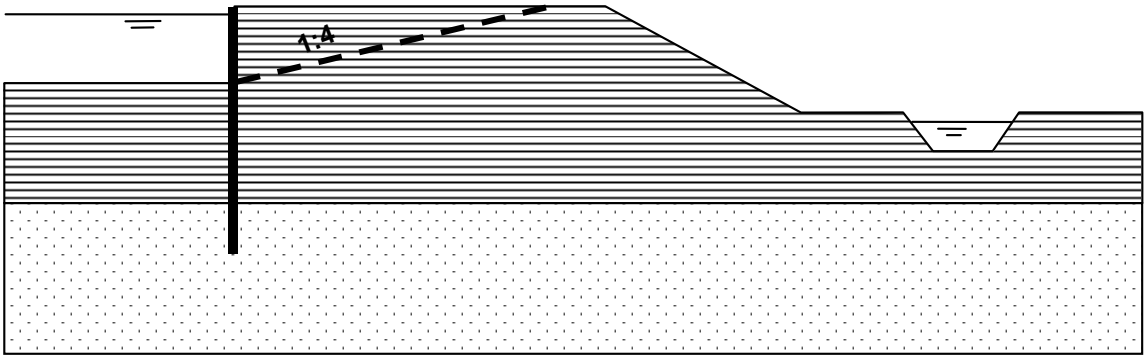
4.9.2 KUNSTWERKEN

Voor de toets van kunstwerken in de regionale waterkering wordt algemeen verwezen naar het VTV 2006 alsmede de daarin veel aangehaalde Leidraad Waterkerende Kunstwerken [LK 2003].

4.9.3 KERENDE CONSTRUCTIES

Kerende constructies, met name houten of stalen damwandconstructies, komen in regionale keringen veelal langs de buitenkant van de waterkering voor, en vormen dan de verticale begrenzing tussen water en kering. Het falen van dergelijke constructies zal normaal gesproken niet tot een overstroming vanuit het buitenwater leiden indien, uitgaande van een buitenwaartse afschuiving onder een helling 1:4 vanuit het niveau van de waterbodem ter plaatse van de constructie, er geen sprake zal zijn van een zodanige kruinverlaging dat deze onder het ter plaatse geldende toetspeil terecht komt, zie Figuur 4.7.

FIGUUR 4.7 **GEOMETRISCHE CONTROLE WATERKERENDE VEILIGHEID NA FALEN DAMWANDCONSTRUCTIE**



Is er na een dergelijke afschuiving wel sprake van een zodanige kruinverlaging dat de kruinhoogte onder het toetspeil terechtkomt, dan dient de constructie op sterkte en stabiliteit te worden getoetst. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van het CUR handboek damwanden [CUR166 2005]. Daarbij dient uit te worden gegaan van veiligheidsklasse 2, tenzij een hogere veiligheidsklasse wordt geëist.

4.10 NIET-WATERKERENDE OBJECTEN

4.10.1 ALGEMEEN

Net als bij kunstwerken en kerende constructies zijn de niet-kerende objecten in de kaden bij het door de TAW uitgevoerde systematisch boezemkade-onderzoek niet in de toetsing betrokkenen, en is in het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden [TRTB 1993] slechts in algemene zin op deze problematiek ingegaan.

In deze leidraad wordt meer uitvoerig op de problematiek met betrekking tot het beoordelen van de invloed van niet-waterkerende objecten op de veiligheid van de regionale waterkeringen ingegaan. Daarbij wordt wel, zoveel als mogelijk, gebruik gemaakt van verwijzingen naar reeds beschikbare relevante rapporten.

Aanvullend wordt opgemerkt dat het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen [IPO & UvW 2005] tevens de ontwikkeling beoogt van een Leidraad Niet-waterkerende objecten voor regionale waterkeringen. In deze Leidraad zal specifiek worden ingegaan op de situatie van de regionale waterkeringen, inclusief de beoordeling van de dergelijke objecten in het kader van de veiligheidstoetsing. Bij de toetsing van niet-waterkerende objecten wordt daarom aanbevolen de vorderingen van het genoemde Ontwikkelingsprogramma na te gaan.

4.10.2 KABELS EN LEIDINGEN

Kabels en leidingen kunnen een bedreiging vormen voor het waterkerend vermogen van de kering, doordat:

- graafwerk leidt tot een geroerde zone in de waterkering, zowel bij het leggen als bij het onderhoud (bijvoorbeeld als gevolg van het opsporen van storingen) en eventuele vervanging. Kabels en leidingen kunnen aanleiding hebben gegeven tot de aanwezigheid van met zand gevulde sleuven in de kering. Deze kunnen een ongunstige invloed hebben op de ligging van de freatische lijn in de kering;
- lekkage van leidingen kan de freatische lijn of waterspanningen op grote dijk-/ kadestrekkingen beïnvloeden.
- ongelijke zakking van leiding en grondlichaam of lekkage van leidingen kunnen leiden tot ruimte onder en/of naast de leiding.
- vervormingen van de kering, bijvoorbeeld na ophoogwerken, leiden tot verhoogde belastingen op de leidingen en daardoor mogelijk tot lekkage of leidingbreuk. Met name wordt hier gewezen op de grote schade die kan ontstaan aan de kering als gevolg van wegstromende vloeistof of ontsnappend gas;
- in langsrichting van de kering gelegen buisleidingen kunnen een vermindering van de passieve weerstand tegen afschuiven van de kering inhouden, aangezien er dan plaatselijk sprake is van een verminderd grondgewicht.

In waterkeringen komen soms zeer veel kabels en leidingen voor. Aanbevolen wordt te beginnen met het maken van een inventarisatie van aanwezige kabels en leidingen, en vervolgens eerst de meest risicovolle leidingen te toetsen. Hiermee worden de grote diameter leidingen ($D \geq 0{,}30$ m) en de hogedrukleidingen ($p \geq 10$ bar) bedoeld. Voor deze toets wordt verwezen naar het VTV 2006, en via dit voorschrift naar de normen NEN 3650 en NEN 3651 (2003).

4.10.3 BEBOUWING

Bebouwing in of nabij de waterkering maakt vaak deel uit van lintbebouwing langs de dijk. In stedelijk gebied komt ook wel aaneengesloten bebouwing voor. Om het effect van bebouwing op het waterkerend vermogen te kunnen bepalen, dient bekend te zijn op welke wijze de bebouwing is gefundeerd en ook hoe de toestand van deze fundering is. Bij een fundering op palen kan ruimte onder de fundering optreden, waardoor piping kan ontstaan. Een op staal gefundeerd gebouw draagt de belasting direct af naar de ondergrond en kan daardoor grotere zettingen of een verandering van de stabiliteit bewerkstelligen.
In veel gevallen zijn keringen met bebouwing zonder nader onderzoek niet te beoordelen. Een uitzondering vormt een kering met een zeer ruim profiel, waarbij eenvoudig kan worden uitgesloten dat de bebouwing het waterkerend vermogen significant kan aantasten.

De algemene aanpak van de beoordeling van bebouwing komt erop neer dat eerst wordt gecontroleerd of de bebouwing in het beoordelingsprofiel van de kering staat. Is dit niet het geval, dan mag ervan uit worden gegaan dat de bebouwing niet tot een significante aantasting van het waterkerend vermogen leidt. Staat de bebouwing wel voor ten minste een deel in het beoordelingsprofiel, dan is een gedetailleerde beoordeling nodig.

Voor nadere informatie aangaande de toetsing van bebouwing wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006], (Katern 10, §4.3).

4.10.4 BOMEN EN BEPLANTING

Bomen en hakhout kunnen naast een positieve invloed op de dijkstabiliteit (de wortels kunnen werken als wapening en daarmee de samenhang in de kering vergroten) ook een nadelige invloed hebben op het waterkerend vermogen van de kering. Oorzaken hiervan zijn:

- extra verdroging van de kering, en daardoor kruindaling en/of stabiliteitsverlies;
- het ontstaan van grote gaten in het dijklichaam door het omwaaien van bomen (windworp);
- 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 dieren in beschutting van ontoegankelijke begroeiing;
- erosie van het dijkoppervlak door het ontbreken van een beschermende grasmat in geval van een dichte begroeiing.

Regionale waterkeringen met bomen en hakhout zijn zonder nader onderzoek niet goed te beoordelen. Een uitzondering vormt een kering met een zeer ruim (beoordelings-)profiel, waarbij het niet goed denkbaar is dat bovengenoemde effecten het waterkerend vermogen significant kunnen aantasten.

FOTO 4.1 **BOMEN IN HET BINNENTALUD VAN DE BOEZEMKADE LANGS DE PIJNACKERSE VAART**



Per geval zal beoordeeld moeten worden of de beplanting een negatief effect kan hebben op de stabiliteit van de kering. Is dit het geval dan zal nader onderzoek moeten worden uitgevoerd.

Voor nadere informatie ten aanzien van de concrete toetsing van begroeiing op de waterkerende veiligheid van de kering wordt verwezen naar het VTV 2006 (Katern 10, §4.2), alsmede naar de STOWA-publicaties over dit onderwerp [STOWA 2000-04] en [STOWA 2000-05].

4.10.5 WEGEN

Wegen op de kering kunnen vanwege de daarmee samenhangende aanwezigheid van een wegfundering een mogelijk ongunstige invloed hebben de waterhuishouding in de kering.

5

BOEZEMKADEN

5.1 FUNCTIES EN KENMERKEN BOEZEMKADEN / BOEZEMWATERSYSTEEM

In het laaggelegen gedeelte van ons land behoren de meeste grote binnenwateren tot een boezemwatersysteem. Dit betreft veelal voormalige afgedamde riviertjes en getijdenstroompjes, die onder andere als gevolg van de voortschrijdende bodemdaling moesten worden bedijkt. Een andere oorsprong hebben de boezemwateren rond de droogmakerijen, of de kanalen die ten behoeve van scheepvaart of afwatering werden gegraven en bedijkt. Boezemkaden zijn dus zowel aangelegd als gedeeltelijk van nature ontstaan door daling van het maaiveld in het achterland. Boezemkaden komen voor in laag Nederland: vooral in de provincies Zuid Holland, Utrecht, Noord Holland en Friesland.

Onder een boezem verstaan we het geheel van (van nature stilstaande) watergangen dat met elkaar is verbonden maar van het buitenwater is afgesloten, waarop het water uit lager gelegen polders wordt uitgeslagen en/of waaruit het water op lager gelegen polders wordt afgelaten en van waaruit water kan worden uitgeslagen of geloosd naar het buitenwater. De hoofdfunctie van de boezem is het beheersen van de waterhuishouding in het hoger gelegen boezemland en in de aangrenzende poldergebieden. Onder een boezemkade verstaan we een langs een boezem gelegen grondlichaam. De twee waterstaatkundige hoofdfuncties van boezemkaden, corresponderend met de zogenaamde taakbelangen van het waterschap, zijn derhalve:

- de bescherming van het achterliggende gebied tegen overstroming;
- de instandhouding van de boezem ten behoeve van de waterhuishouding (en eventueel als vaarweg).

In bijlage 1 is een overzicht gegeven van de onderdelen waaruit een boezemkade kan zijn opgebouwd, met daarbij de meest gebruikte benamingen.

FOTO 5.1 **BOEZEMKADE LANGS DE HOOGMADESE POLDER NABIJ DE JACHTHAVEN VAN HOOGMADE**



Het belang van veel boezemkaden is in de loop der tijd steeds groter geworden. Hiervoor worden onderstaand enkele oorzaken genoemd.

- Het hoogteverschil tussen het boezempeil en het polderpeil neemt steeds toe, en daarmee de kerende hoogte. Dit wordt veroorzaakt door de voortschrijdende maaivelddaling van de polder en het feit dat de peilen in de boezems veelal niet kunnen worden verlaagd, onder meer met het oog op landbouwbelangen, het behoud van houten funderingen, de scheepvaartfunctie van de boezem en dergelijke.
- Door het toenemende hoogteverschil tussen boezempeil en polderpeil kan bij een eventuele overstroming tevens de overstromingsdiepte in het te beschermen gebied toenemen.
- Voorts is op veel plaatsen het belang van het door de boezemkade beschermde gebied gestegen.
- Het belang van de boezem kan zijn toegenomen als vaarweg (met name voor de recreatievaart) en als aan- en afvoerkanaal.
- Tenslotte kan het belang van de kade zelf zijn toegenomen, bijvoorbeeld door gebruik van de kade als weglichaam, voor recreatie, of als landschappelijk waardevol element.

VEILIGHEID VERSUS ANDERE EISEN AAN HET SYSTEEM (WATEROVERLAST)

Een belangrijk kenmerk van boezemkaden is dat de beheerder bij de inrichting van zijn systeem, maar ook bij het nemen van operationele beslissingen, invloed heeft op de hydraulische belastingen. Het gaat hier met name om het voorkomen van ongewenste verhoging van het boezempeil door het kunnen stopzetten van aanvoer van water vanuit aanliggende polders op het boezemsysteem. Het stopzetten van de lozingen van water op de boezem kan wel resulteren in wateroverlast in de betreffende polders, indien daar onvoldoende bergingscapaciteit aanwezig is. Ten aanzien van dergelijke wateroverlast gelden eveneens normen. In de normstelling en dimensionering van het boezemwatersysteem dient een afweging te worden gemaakt tussen enerzijds de veiligheid van de kaden en anderzijds het voldoende binnen de perken houden van wateroverlast in de polders. Het is van belang dat de uitgangspunten die worden gehanteerd bij de toetsing van beide systemen voldoende zijn afgestemd. Dit houdt ook in dat bij voorkeur afspraken zijn gemaakt voor denkbare extreme situaties waarin moet worden gekozen tussen het overschrijden van de veiligheidsnorm door overschrijding van het maatgevend peil of de norm voor wateroverlast in de polder door het afkondigen van een maalstop.

5.2 BELASTINGEN

Voor de belastingen op de boezemkade wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Hieronder worden specifieke aspecten voor boezemkaden met betrekking tot belastingen behandeld.

5.2.1 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De hydraulische randvoorwaarden kunnen worden bepaald volgens §3.3. Aanvullend op §3.3 wordt in de rest van deze paragraaf nader ingegaan op specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in boezems.

TOETSPEIL

Een uniforme methode voor het vaststellen van de maatgevende waterstanden op de boezem is (nog) niet voorhanden. Het toetspeil kan worden afgeleid door een statistische analyse van opgetreden waterstanden (indien over meetreeksen kan worden beschikt). Ook kan het toets-

peil worden vastgesteld door een systeemanalyse, waarbij het Maatgevend Boezem Peil en de scheefstand van de boezem door opwaaiing worden berekend. Een combinatie van beide methoden is eveneens denkbaar.

MAATGEVEND BOEZEM PEIL

Voor de toets bij hoogwater omstandigheden wordt het Maatgevend Boezem Peil (MBP) vastgesteld. Het MBP is te beschouwen als het gemiddelde van de maatgevende hoge waterstanden in de boezem. In het MBP zijn dan ook geen effecten van scheefstand van de boezem (veroorzaakt door wind en bemaling) terug te vinden. In het vastgestelde MBP dient rekening te zijn gehouden met de toelaatbare overschrijdingsfrequentie van dit peil, afhankelijk van de geldende IPO-veiligheidsklasse [IPO 1999].

LOKALE TOESLAGEN

Voor wat betreft het effect van wind op de in rekening te brengen lokale toeslagen wordt opgemerkt dat ook bij een noord – zuid georiënteerd boezemvak, wind uit een westelijke richting een opstuwing van de waterstand kan veroorzaken. Dit betreft een situatie waarbij het betreffende boezemvak zich aan de oostzijde van het boezemsysteem bevindt. Bij het bepalen van de door wind veroorzaakte lokale toeslagen dient dus niet alleen rekening te worden gehouden met de positie van het boezemvak ten opzichte van de windrichtingen, maar tevens met de ligging in het beheersgebied.

Voor de bepaling van de bijdrage van wind aan de in rekening te brengen lokale toeslagen, dient (per normfrequentie) de maatgevende windsnelheid voor het beheergebied of verschillende delen daarvan te worden vastgesteld. Het optreden van een maatgevende windsnelheid is in het algemeen niet volledig gecorreleerd aan het optreden van een maatgevend hoge boezemwaterstand. Eenvoudigheidshalve kan hiervan in eerste instantie wel worden uitgegaan, waarmee een conservatieve benadering wordt gevolgd. Wel wordt opgemerkt dat door de provincie Zuid Holland een methode is ontwikkeld ter bepaling van de opwaaiingsstatistiek voor boezemsystemen [Prov. ZH, 2004].

Bij gegeven maatgevende windsnelheid en windrichting kan een door de wind veroorzaakte bijdrage aan de scheefstand van de boezem onder maatgevende omstandigheden worden berekend.
Meer algemeen wordt voor de berekening van de lokale waterstandsverhoging door opwaaiing en stromingsweerstand (in verband met bemaling) verwezen naar hiervoor geëigende computermodellen.

5.2.2 SCHEMATISERING WATERSPANNINGEN

Voor het schematiseren van de waterspanningen wordt verwezen naar §3.4. Aanvullend op §3.4 wordt in de rest van deze paragraaf nader ingegaan op specifieke aspecten voor het bepalen van de freatische lijn in de boezemkade in de situatie ‘hoogwater’ en ‘droogte’.

SITUATIE ‘HOOGWATER’

Het goed inschatten van de maatgevende ligging van de freatische lijn heeft veel invloed op het resultaat van de stabiliteitsberekening en kan soms lastig zijn. Bijvoorbeeld bij veenkaden kan een kleine verhoging van de freatische lijn al een grote invloed hebben op de stabiliteit, in verband met het lage volumiek gewicht van veen. Daarnaast hebben veenkaden een flauwere taludhelling dan kleikaden, waardoor grotere fluctuaties van de freatische lijn kunnen

optreden ten gevolge van inzijgend regenwater. Om deze gevoeligheid te kunnen inschatten, wordt aanbevolen om de stabiliteit zowel bij de maatgevende als bij de hoogst gemeten ligging van de freatische lijn te berekenen.

SITUATIE 'DROOGTE'

Uit een zevental metingen van de freatische lijn na een periode van extreme droogte (zomer 2003) |STOWA 2004, rapport 38| is gebleken dat de freatische lijn in veenkaden ter plaatse van de buitenkruinlijn kan zijn gedaald tot ca. 1,5 m beneden het boezempeil. Daarnaast is gebleken dat ter plaatse van de kruin in sommige gevallen de freatische lijn zelfs beduidend lager ligt dan ter plaatse van het binnentalud (waar de freatische lijn dus weer wat omhoog komt). De maximaal gemeten diepte van deze kuil in de grondwaterstand bedraagt ca. 70 cm.

Mogelijke oorzaak van dit geconstateerde verloop van de freatische lijn is dat door periodieke ophoogwerkzaamheden de kruin van veenkaden vaak minder doorlatend is dan het binnentalud. Dit heeft tot gevolg dat infiltratie van neerslag ter plaatse van de kruin veel minder gemakkelijk verloopt dan ter plaatse van het (in geval van veenkaden veelal zeer flauwe) binnentalud. Daar komt bij dat in het binnentalud van veenkaden, juist doordat deze vaak minder goed tegen uitdroging zijn beschermd, ten gevolge van droogte krimpscheuren kunnen zijn ontstaan. Dit maakt dat de freatische lijn onder het binnentalud mogelijk extra sterk reageert op neerslag.

Hoewel gebaseerd op een slechts magere set waarnemingen, wordt op grond hiervan aanbevolen om voor veenkaden zonder afdekkende kleilaag (welke de kade enigszins tegen uitdroging kan beschermen) van ten minste 0,5 m dikte over ten minste het gehele kadeprofiel voor de schematisering van de maatgevend lage ligging van de freatische lijn in de situatie droogte uit te gaan van genoemde verlaging tot 1,5 m beneden boezempeil ter plaatse van de buitenkruinlijn. Voor het verdere verloop van de freatische lijn kan worden uitgegaan van een verloop evenwijdig aan het binnentalud tot aan het niveau van het polderpeil. Hierbij moet bedacht worden dat in de droge situatie dit polderpeil mogelijk ook kan zijn verlaagd.

Aanbevolen wordt om voor kaden die mogelijk droogtegevoelig zijn, door middel van monitoring meer zicht te krijgen op het effect van langdurige droogte op de ligging van de freatische lijn.

5.3 BEOORDELINGSPOREN BOEZEMKADEN

5.3.1 ALGEMEEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van boezemkaden zijn verzameld in Tabel 5.1. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze in ieder geval voor de hoogwatersituatie moeten worden uitgewerkt. Voor de mechanismen piping en macro-instabiliteit binnentalud dient daarnaast ook de belastingsituatie van extreme droogte te worden beschouwd.

TABEL 5.1 OVERZICHT BELANGRIJKSTE BEOORDELINGSSPOREN BOEZEMKADEN

beoordelingssporen / te beoordelen mechanismen	**beoordelingsmethode**		
	eenvoudig	**gedetailleerd**	**geavanceerd**
overlopen / overslag (HT)	ruim profiel	methode STOWA criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
piping (STPI)	uitsluiten opbarsten	methode VTV (piping analyse)	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit binnentalud (STBI - cirkel en hor. afsch.)	ruim profiel	methode VTV criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit buitentalud (STBU)	geen eis of ruim boezemland	methode VTV criterium IPO	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
microstabiliteit (STMI)	controles conform VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
bekleding (STBK)	methode VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit voorland (STVL)	methode VTV	methode VTV	state of the art kennis (niet gedefinieerd)

1) In de toekomst moet idealiter voor de eenvoudige beoordeling terug kunnen worden gevallen op de legger. Toetsing is dan vergelijken van het aanwezige profiel met het leggerprofiel.

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van de kering voldoende of onvoldoende voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding “geen oordeel” resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

BIJZONDERE AANDACHTSPUNTEN BIJ GEAVANCEERD ONDERZOEK

Systeemwerking boezem - boezemkaden

In geval van een extreem hoog boezempeil zal de boezemkade op de zwakste plek als eerste falen. Veelal leidt dit tot een daling van het boezempeil, waarmee de kans op nieuwe doorbraken kleiner wordt. De hydraulische randvoorwaarden hangen dus mogelijk sterk samen met de verdeling van de sterkte van de boezemkaden, en zal veelal sterk bepaald worden door de zwakste plek in het stelsel van boezemkaden. Let op: andersom zal in geval tot versterking is besloten het verhogen van relatief lage / onbelangrijke kaden leiden tot hogere boezempeilen, en dus een grotere faalkans voor andere (wellicht belangrijker) kaden.

De bruikbaarheid van bewezen sterkte

Aangezien het maatgevende peil op de boezem vaak niet heel veel hoger is dan het dagelijks voorkomende peil lijkt bewezen sterkte op het eerste gezicht een effectieve toetsmethode. Er moet echter bedacht worden dat toepassing van de methode bewezen sterkte de nodige haken en ogen heeft, aangezien de standzekerheid van de kaden niet alleen wordt bepaald door de te keren waterstand, maar ook door het effect van mogelijk bijkomende overige belastingen, zoals de waterspanningen in de watervoerende laag onder de kade. Ook de mogelijke variatie van de sterkte in de loop der tijd, bijvoorbeeld door bodemdaling en periodieke kruinverhoging, ondermijnt de effectiviteit van bewezen sterkte. Voor nadere informatie met betrekking tot bewezen sterkte wordt verwezen naar het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [TRAS 2007]. In veel gevallen zal bewezen sterkte vooral bruikbaar zijn voor het objectiveren van het beheerdersoordeel.

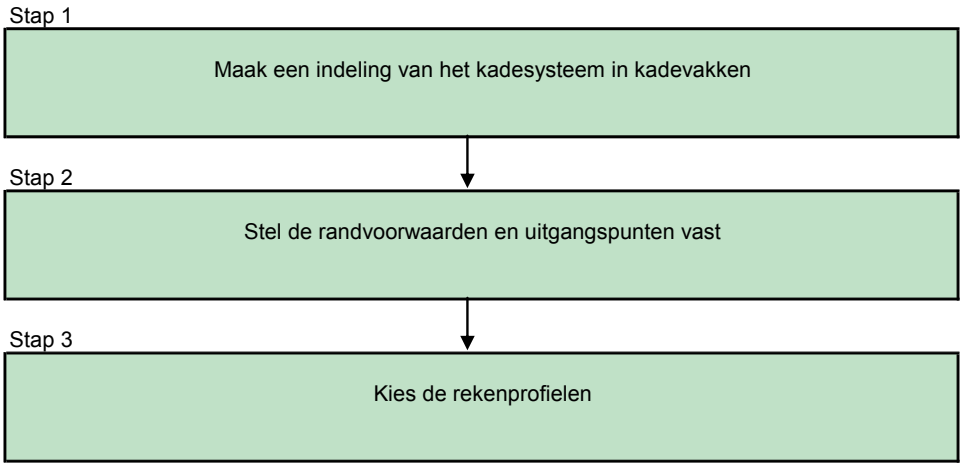
De betrekkelijke kleinschaligheid van het boezemwatersysteem

De beoordeling van de veiligheid van een waterkering in het algemeen hangt af van de gestelde norm, de bijbehorende hydraulische belasting en de sterkte van de waterkering. Een belangrijk verschil tussen een boezemkade en een primaire waterkering is de betrekkelijke kleinschaligheid van het boezemwatersysteem. In tegenstelling tot een primaire kering kan bij een boezemkade binnen bepaalde grenzen de grootte van de belasting (binnen bepaalde grenzen) worden aangepast, door ingrepen in het boezemwatersysteem. Het verdient aanbeveling rekening te houden met deze mogelijkheid bij de uitvoering van de toetsing. De toetsing van de veiligheid van een kade hoeft dus niet noodzakelijkerwijs te worden uitgevoerd tot op een geavanceerd niveau, alvorens denkbare alternatieve maatregelen, zoals aanpassing van de belasting, worden beschouwd.

5.3.2 SCHEMATISERING (KADE)SYSTEEM

De beoordeling van het kadesysteem start in het algemeen met het uitvoeren van de volgende inventariserende werkzaamheden volgens Figuur 5.1.

FIGUUR 5.1 **INVENTARISERENDE WERKZAAMHEDEN**



Stap 1: Maak een indeling van het kadesysteem in kadevakken

Het indelen van het kadesysteem in kadevakken is vooral afhankelijk van:

- typering boezemwater, meer, diepe vaarweg of ringvaart, compartimentering, etc.
- typering kade: grondopbouw, vorm en afmetingen, NWO's, etc.

Stap 2: Stel de randvoorwaarden en uitgangspunten vast

Het vaststellen van de randvoorwaarden en uitgangspunten betreffen onder andere:

- IPO-kadeklasse [IPO 1999]
- maatgevend boezempeil conform §5.2.1
- peilstijging en bodemdaling (afhankelijk van de gekozen toetsperiode) conform §4.2
- polderpeil conform §3.3.2
- freatische lijn door kade (situaties hoogwater en droogte) conform §5.2.2
- verkeersbelasting conform §3.5.3

Stap 3: Kies de rekenprofielen

Het kiezen van de rekenprofielen dient vergezeld te zijn van motivering.

In hoofdstuk 3 en 4 is reeds ingegaan op de diverse hier genoemde aspecten die een rol spelen bij de schematisering van het (kade)systeem. De indeling en belangrijkste randvoorwaarden en uitgangspunten kunnen bijvoorbeeld worden samengevat in een tabel als hieronder.

TABEL 5.2 **OVERZICHT KADESYSTEEM**

kade	(kade)-vak	reken-profiel	IPO-klasse	HBP / MBP	stijg-hoogte	polderpeil		boezem-peil na val	zetting+klink		NWO's, beschoeiing
						min.	max.		kruin	teen	
A	1	1									
	2	1									
		2									
	3	1									
	4	1									
B	1	2									
		1									
		2									
	2	1									
	3	1									

N.B. (kade)vak kan ook kunstwerk betreffen, deze dient ook mee te worden genomen in de inventarisatie.

5.3.3 AANPAK BEOORDELINGEN

De resultaten van de beoordelingen kunnen uiteindelijk per kadevak worden samengevat in een resultatentabel van de volgende vorm:

TABEL 5.3 **RESULTATENTABEL BEOORDELING KADEVAK**

belastingsituatie	kortsluiting	HT	STPI	STBI		STBU	STMI
				F-cirkel	F-hor.		
hoogwater	nee	a	c	a	-	c	c
droogte	ja	a	b	b	-	b	b
	nee	a	c	c	c	-	-
	ja	a	b	b	b	-	-
Eindoordeel							

In de tabel is met coderingen a, b, en c een aanbevolen efficiënte volgorde voor de beoordeling van de diverse mechanismen bij de onderscheiden combinaties van belastingsituatie en al dan niet optreden van kortsluiting aangegeven:

a	altijd te beoordelen
b	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting niet kan worden uitgesloten
c	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting wel kan worden uitgesloten
-	hoeft niet, nooit maatgevend

Afhankelijk van het beschouwde mechanisme en de te onderscheiden belastingsituatie (hoogwater of droogte) dient van een zekere set maatgevende belastingrandvoorwaarden te worden uitgegaan, en dient in samenhang daarmee de maatgevende geohydrologische schematisering te worden vastgesteld. Een overzicht hiervan op hoofdlijnen is weergegeven in bijlage 2.

Bij het uitvoeren van de beoordelingen wordt onderscheid gemaakt tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methoden van beoordeling. Uit oogpunt van efficiëntie zal normaal gesproken worden begonnen met de eenvoudige beoordelingsmethode. Levert dit geen bevredigend resultaat op, maar bestaat wel de verwachting dat met een meer precieze beoordeling wel een positief beoordelingsresultaat zal worden behaald, dan wordt een gedetailleerde of zonodig zelfs een geavanceerde beoordeling uitgevoerd. De benodigde inspanning om tot een oordeel te komen kan sterk toenemen met een toenemend detailniveau van de beoordeling. Het ligt daarom voor de hand om voor de gedetailleerder te beoordelen kadevakken een prioriteitenlijst vast te stellen aan de hand waarvan de fasering van deze beoordelingen ingevuld kan worden. Leidraad bij het vaststellen van een dergelijke prioriteitenlijst zijn de inschatting van het risico in de bestaande situatie alsmede de inschatting van de verwachte kosten die gemoeid zijn met de eventueel benodigde maatregelen om dit risico met een zekere maat te verkleinen.

Het eindoordeel, ofwel het samenvattend toetsoordeel per mechanisme, zal in belangrijke mate worden bepaald door de verwachting of kortsluiting wel of niet zal optreden. Voor de beoordeling hiervan wordt verwezen naar §3.4.2.

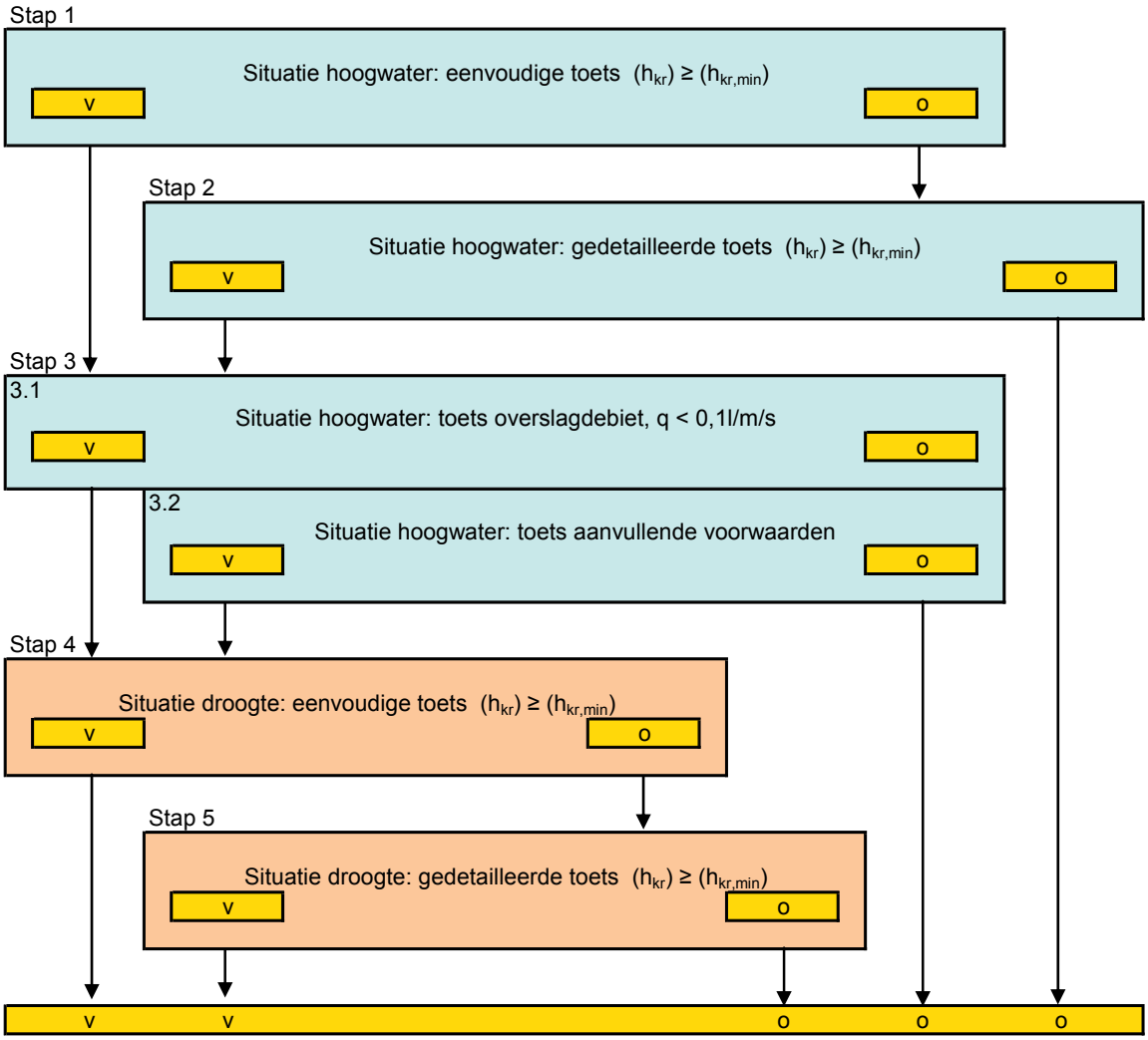
5.3.4 OVERLOPEN / OVERSLAG

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overloop / overslag en toetscriteria wordt verwezen naar §4.2. Beoordeling van de kans op het bezwijken van de kade door het optreden van overlopen en overslag dient te worden uitgevoerd volgens het stroomschema in Figuur 5.2.

FOTO 5.2 **GOLFSLAG TEGEN EEN FRIESE BOEZEMKADE (FOTO VAN E. REINEKE)**



FIGUUR 5.2 BEOORDELING OVERSLAG / OVERLOOP



Stap 1: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie hoogwater met eenvoudige toets

Bij de uitwerking op het eenvoudige niveau wordt de benodigde golfoverslaghoogte afgeleid van de grafieken. Deze methode verwaarloost enkele gunstige aspecten, en is daarmee conservatief.

De kruinhoogte op peildatum (h_{kr}) voor deze stap kan worden bepaald volgens §4.2 en §5.2.1, rekening houdend met zetting (ondergrond) maar exclusief momentane krimp (dit laatste is alleen van belang bij droogtegevoelige kaden). De minimaal benodigde kruinhoogte ($h_{kr,min}$) worden volgens §4.2 en §5.2.1 vastgesteld als het toetspeil vermeerderd met de benodigde golfoverslaghoogte, waarbij de benodigde golfoverslaghoogte grafisch kan worden afgeleid van de grafieken in bijlage 6 (zie ook §4.2.3). De beoordeling bestaat uit het toetsen aan de eis $h_{kr} \geq h_{kr,min}$.

Indien de eenvoudige methode niet resulteert in een voldoende, kan een gedetailleerde methode worden uitgevoerd (stap 2). Stap 2 kan overgeslagen worden als de beoordeling van de kruinhoogte wel voldoende is.

Stap 2: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie hoogwater met gedetailleerde toets
Het gedetailleerde niveau vergt berekening van de golfrandvoorwaarden, waarbij nauwkeurig rekening kan worden gehouden met specifieke kenmerken van de locatie.
Mogelijkheden voor het gedetailleerde toetsen zijn:

- gedetailleerde bepaling van de verwachte kruindaling;
- gedetailleerde berekening van de golfoverslaghoogte, door het in rekening brengen van:
  - de verdeling van de wind over de verschillende windrichtingen, in combinatie met de ligging
  - van de kade ten opzichte van de wind;
  - eventueel aanwezige gunstige kenmerken, zoals riet, een vooroever of een ruwe bekleding van het buitentalud;
- gedetailleerd vaststellen van de maatgevende windsnelheid, door rekening te houden met de lokale ruwheid van het landschap.

Voor wat betreft de aanwezigheid van een rietkraag wordt opgemerkt dat deze de grootte van de golven en daarmee de benodigde golfoverslaghoogte vermindert. Uit een globale analyse blijkt dat het effect voor de winterperiode echter gering is. Indien het gunstige effect van een rietkraag bij de toetsing in rekening wordt gebracht moet zekerheid bestaan dat de betreffende rietkraag met de aangenomen kwaliteit over het gehele kadevak aanwezig is tijdens de maatgevende condities. Bijvoorbeeld doordat een rietkraag af en toe wordt gemaaid hoeft dit niet vanzelfsprekend te zijn.

Dit toetsspoor veronderstelt het samenvallen van een maatgevend hoogwaterpeil met een extreem hoge windsnelheid. Een hoog peil wordt overwegend ook bepaald door de hoge windsnelheid en windrichting, aangezien de belangrijkste oorzaak van een toename van het toetspeil bij hogere veiligheidsniveaus de toename van de scheefstand van de boezem door opwaaiing is. Het is denkbaar dat in bijzondere situaties het optreden van MBP minder sterk gecorreleerd is met de windsnelheid / windrichting. In dat specifieke geval kan worden overwogen de belastingsituatie te splitsen in:

- een situatie met toetspeil en met een lagere windsnelheid;
- een situatie met een maatgevende windsnelheid en met een ‘gemiddeld’ hoog boezempeil.

De toetsing dient dan beide situaties te bevatten. De specifieke randvoorwaarden die bij de toetsing voor beide situaties gehanteerd worden (combinatie waterstand en windsnelheid / windrichting) dienen met de provincie te worden overlegd.

De beoordeling voor de gedetailleerde toets is gelijk aan de eenvoudige toets en bestaat uit het toetsen aan de eis $h_{kr} \geq h_{kr,min}$.

Stap 3.1: Beoordeling overslagdebiet tijdens situatie hoogwater
Het overslagdebiet wordt bepaald aan de hand van §4.2. Is het overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/m/s, dan voldoet de kering in situatie hoogwater aan het mechanisme overlopen en overslag en kan de toets vervolgd worden in stap 4 voor de situatie droogte.
Is het overslagdebiet groter of gelijk aan 0,1 l/m/s dan wordt de beoordeling vervolgd in stap 3.2.

Stap 3.2: Beoordeling aanvullende voorwaarden bij overslagdebiet ≥ 0,1 l/m/s tijdens situatie hoogwater
Indien een overslagdebiet gelijk of groter dan 0,1 l/m/s optreedt, gelden als aanvullende voorwaarden dat:

- de bekleding van de kruin en het binnentalud als voldoende erosiebestendig moeten zijn beoordeeld;

geen onaanvaardbare wateroverlast ontstaat in de polder;

- de kruin voldoende begaanbaar is, indien deze voorwaarde (lokaal) vereist is.

Stap 4: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie droogte met eenvoudige toets
Voer de toets uit conform situatie hoogwater (stap 1) met HBP (= hoge boezempeil) in plaats van MBP. Bij bepaling van hkr moet bovendien rekening gehouden moet worden met momentane krimp voor droogtegevoelige kaden volgens §4.2 en §5.2.1.

Stap 5: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie droogte met gedetailleerde toets
Voer de toets uit conform situatie hoogwater (stap 2) met HBP (= hoge boezempeil) in plaats van MBP. Bij bepaling van hkr moet bovendien rekening gehouden worden met momentane krimp voor droogtegevoelige kaden volgens §4.2 en §5.2.1.

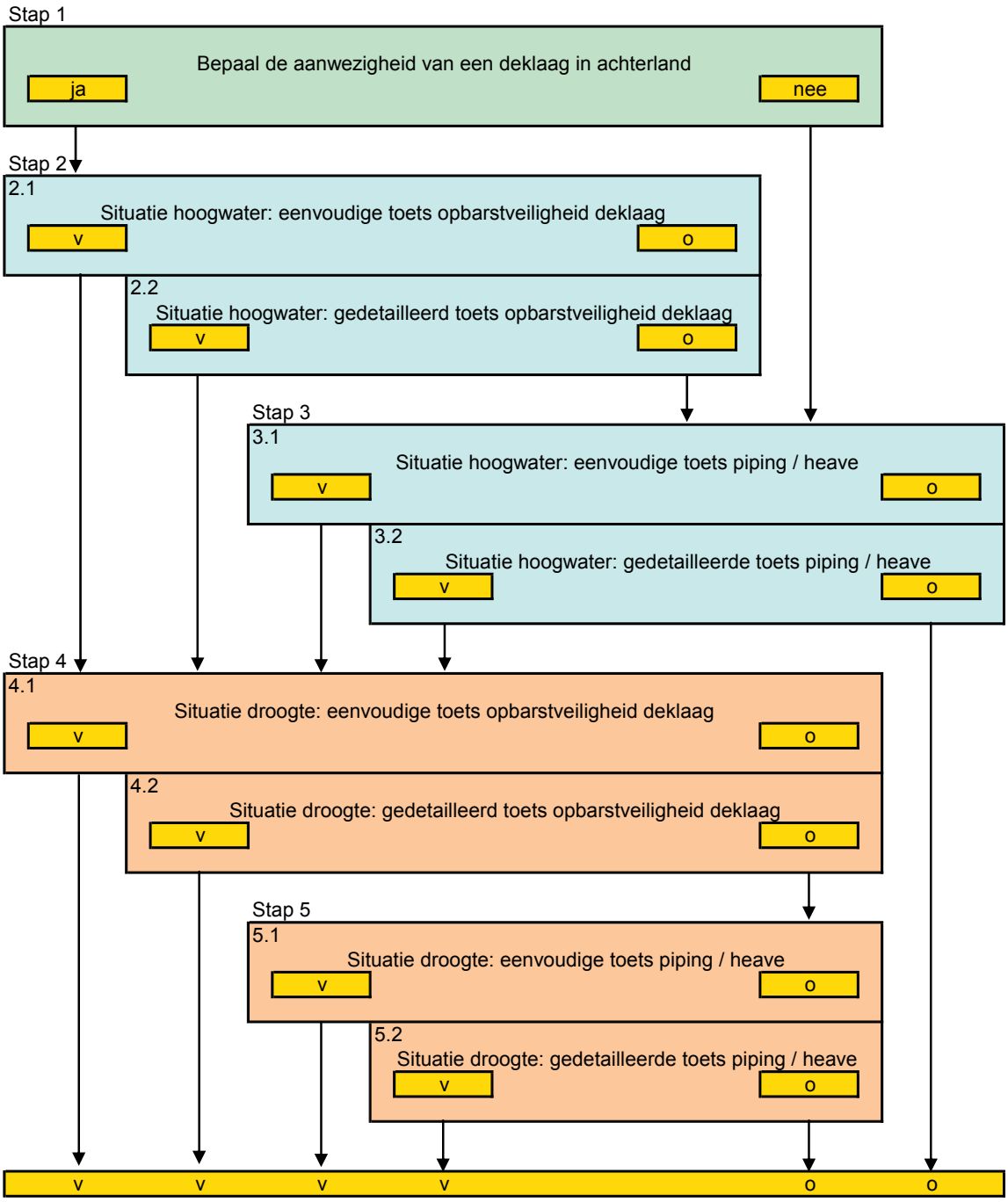
5.3.5 PIPING / HEAVE

Beoordeling van de piping / heave kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.3 worden uitgevoerd. Voor de wijze van berekenen van de opbarstveiligheid en de veiligheid tegen piping / heave wordt verwezen naar §4.3.

FOTO 5.3 **BOEZEMKADE LANGS DE BEEMSTERINGSVAART**



FIGUUR 5.3 **BEOORDELING PIPING / HEAVE**



Stap 1. Bepaling van de aanwezigheid van een deklaag in het achterland

Bij aanwezigheid van een deklaag dient de opbarstveiligheid van deze deklaag te worden gecontroleerd in stap 2. In de overige gevallen is het bepalen van de opbarstveiligheid niet nodig en kan verder worden gegaan met stap 3.

Stap 2.1 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie hoogwater eenvoudige methode

Bij toepassing van de eenvoudige methode wordt het gewicht van de deklaag vastgesteld conform §4.3.2. De stijghoogte in de eerste watervoerende laag wordt gelijk verondersteld aan het toetspeil, uitgaande van optreden van kortsluiting (conservatieve benadering) en volledige respons van de stijghoogtepotentiaal in de gehele watervoerende laag. Er dient een opdrukveiligheid van 1,0 te worden gehanteerd.

Stap 2.2 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie hoogwater gedetailleerde methode
Toepassing van de gedetailleerde methode komt neer op met name aanscherping van de veronderstelde maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk in de watervoerende laag onder het slappe lagenpakket. Hierbij is het van belang onderscheid te maken tussen de situatie zonder en met optreden van een hydraulische kortsluiting.

- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting met voldoende waarschijnlijkheid kan worden uitgesloten, vormt vaststelling van de hydrologische uitgangssituatie de basis voor vaststelling van de maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk. Op basis van statistische analyse van gemeten stijghoogten (afkomstige van grondwaterkaarten en/of directe metingen) kan dan deze maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk worden bepaald. Hierbij dient overigens nog wel rekening te worden gehouden met onzekerheden aangaande mogelijke toekomstige veranderingen in de geohydrologische situatie, bijvoorbeeld door wegvallen van een 'permanente' diepe grondwateronttrekking, of door aanleg van een zandwinput. Uitgangspunten aangaande dergelijke onzekerheden moeten in overleg met de beheerder worden vastgesteld.
- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting niet uitgesloten kan worden neemt de stijghoogte toe tot maximaal het heersende peil op de boezem. De in dat geval daadwerkelijk te verwachten stijghoogte kan veelal nog aanzienlijk worden aangescherpt op basis van een geohydrologische analyse.

Daarnaast kan ter plaatse van de sloot de opbarstveiligheid worden aangescherpt door 2D-effecten mee te nemen (zie ook §4.3.2).

Het overzicht van de berekende veiligheid tegen opdrijven / opbarsten kan worden samengevat in Tabel 5.4. Hierin kunnen ook resultaten voor de situatie droogte worden samengevat. Daarbij wordt opgemerkt dat de waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting sterk bepalend is voor het uiteindelijke resultaat en daarmee dus de relevantie van de verschillende regels in de tabel.

TABEL 5.4 **BEOORDELING OPDRIJF- / OPBARSTVEILIGHEID**

situatie	**kortsluiting**	**n (gewicht deklaag / opwaartse druk tegen onderkant deklaag)**		
		maaiveld	**sloot**	**sloot + 2D**
hoogwater	nee			
	ja			
droogte	nee			
	ja			

Voor de criteria waaronder het optreden van kortsluiting weinig waarschijnlijk mag worden verondersteld, wordt verwezen naar §3.4.2.

Stap 3.1 Beoordeling piping / heave tijdens situatie hoogwater eenvoudige methode
Voor de beoordeling van de veiligheid tegen het optreden van piping wordt de volgende getrapte aanpak aanbevolen:

1. De aanwezige kwelweglengte uitgaande van intreepunt ter plaatse van buitenteen (kortsluiting) is voldoende. Uitgaande van de pipingregel van Bligh moet gelden: $L > C_{creep}$ (ΔH-0,3d) |zie TRZW 1999|. Daarbij wordt uitgegaan van geen intreeweerstand langs het kortsluitkanaal.
2. Aantonen dat er geen intreepunt zal ontstaan, ofwel dat kortsluiting kan worden uitgesloten. Hiervoor wordt verwezen naar §3.4.2.

Let op: het terugvallen op een reeds eerder uitgevoerde toetsing conform TRTB is dus niet voldoende. Controle op veiligheid tegen piping is hierin niet expliciet beschouwd.

Stap 3.2 Beoordeling piping / heave tijdens situatie hoogwater gedetailleerde methode
De gedetailleerde methode omvat de volgende aanvulling van de getrapte aanpak:

1. Bepalen van de korrelverdeling van het zand onder de deklaag en aanpassen van de waarde van C_{creep} of toepassen van de rekenregel van Sellmeijer.
   Controle, door middel van een grondwaterstromingsberekening, of onder maatgevende omstandigheden het uittreeverhang kleiner is dan het kritieke verhang (waarbij voor verticale uittreding in beginsel kan worden uitgegaan van een waarde van het kritieke verhang $i_{cr} = 0,5$). Van verticale uitstroming in een kwelsloot kan bijvoorbeeld worden uitgegaan als hier een (korte) damwand / beschoeiing is toegepast.

Stap 4.1 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie droogte eenvoudige methode
De eenvoudige methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen opdrijven / opbarsten onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 2.1), met dien verstande dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een verlaagd polderpeil, en samenhangend daarmee van een lager gewicht van de deklaag. Als hiervan sprake is zal mogelijk de situatie droogte maatgevend zijn ten opzichte van de hoogwatersituatie waar het de weerstand tegen opdrijven / opbarsten betreft. Voor aanwijzingen aangaande het mogelijke gewichtsverlies van de deklaag ten gevolge van droogte wordt verwezen naar §3.2.2 en §4.3.2. Daarnaast dient uit te worden gegaan van HBP (= hoge boezempeil) in plaats van het toetspeil.

Stap 4.2 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie droogte gedetailleerde methode
Ook de gedetailleerde methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen opdrijven / opbarsten onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 2.2). Wederom wordt hierbij opgemerkt dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een lager polderpeil en daarmee ook van een lager gewicht van de deklaag en een lager boezempeil (HBP in plaats van het toetspeil).

Net als voor de hoogwatersituatie zal het verondersteld al dan niet optreden van hydraulische kortsluiting in het algemeen sterk bepalend zijn voor de gevonden veiligheid tegen opdrijven / opbarsten. Daarnaast zal de situatie droogte maatgevend zijn ten opzichte van de situatie hoogwater indien er sprake is van droogtegevoeligheid van het deklaaggewicht. Omdat de veiligheid tegen optreden van opdrijven / opbarsten ook van invloed is op de binnenwaartse macrostabiliteit, en hiervoor weer veelal de hoogwatersituatie maatgevend is, wordt aanbevolen om toch altijd ook de hoogwatersituatie te beschouwen.

Resultaten van de beoordeling van de opbarstveiligheid in stap 4 kan uiteraard ook in Tabel 5.4 worden samengevat.

Stap 5.1 Beoordeling piping / heave tijdens situatie droogte eenvoudige methode
De beoordeling van de mate van voldoen van de veiligheid tegen piping aan de norm, is voor droge omstandigheden identiek aan die voor hoogwater omstandigheden (stap 3.1), met dien verstande dat in dit geval aanvullend rekening moet worden gehouden met gewichtsverlies van de deklaag ten gevolge van droogte (zie aanwijzingen §4.3.2) en de daardoor veroorzaakte toegevoegde bijdrage aan de kans op het ontstaan van hydraulische kortsluiting. Daarnaast moet worden uitgegaan van een lager boezempeil (HBP in plaats van het toetspeil).

Stap 5.2 Beoordeling piping / heave tijdens situatie droogte gedetailleerde methode
Ook de gedetailleerde methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen piping onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 3.2). Wederom wordt hierbij opgemerkt dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een lager polderpeil en daarmee ook van een lager gewicht van de deklaag en een lager boezempeil (HBP in plaats van het toetspeil).

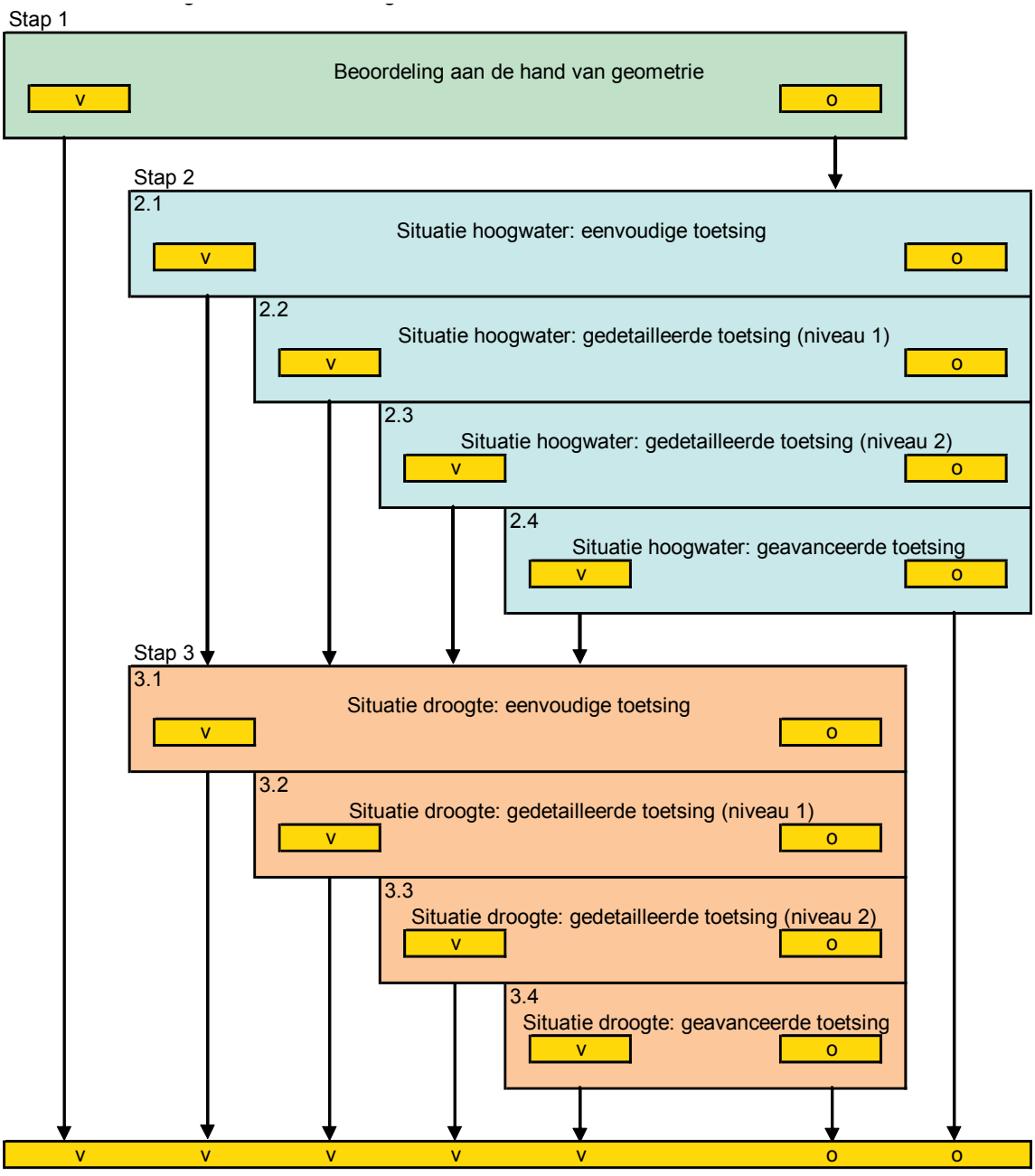
FOTO 5.4 **BOEZEMKADE LANGS DE WAVER**



5.3.6 MACROSTABILITEIT BINNENTALUD

Beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.4 worden uitgevoerd.

FIGUUR 5.4 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD



Stap 1: Beoordeling aan de hand van geometrie

Kaden kunnen in sommige gevallen op basis van uitsluitend een beoordeling van de geometrische situatie een voldoende toetsoordeel krijgen. Dit is het geval indien wordt voldaan aan ten minste één van de volgende criteria die een evident veilige situatie inhouden:

- Geen verval over de kade, de achterliggende polder ligt op minimaal het niveau van het maatgevend toetspeil;
- Geen wateroverlast bij doorbraak (afhankelijk van bergend vermogen polder in relatie tot beschikbare hoeveelheid water vanuit de boezem).

Wordt aan één van de bovenstaande criteria voldaan, dan kan direct de score voldoende worden gegeven. In alle andere gevallen zal doorgegaan moeten worden met stap 2.

N.B. Deze vakken kunnen er in de normering al uitgefilterd zijn.

Stap 2: Beoordeling hoogwatersituatie
In stap 2 wordt de hoogwatersituatie beschouwd. In de beoordeling zijn vier niveaus onderscheiden. Er wordt begonnen bij stap 2.1, eenvoudige toetsing. Als wordt voldaan aan het gestelde criterium kan door worden gegaan naar stap 3. Wordt niet voldaan aan het gestelde criterium, dan wordt doorgegaan met het volgende niveau van stap 2. Wordt op geen enkel niveau voldaan aan de gestelde criteria, dan kan direct de score onvoldoende worden gegeven zonder stap 3 te doorlopen. In alle andere gevallen wordt doorgegaan met stap 3.

Stap 2.1: Eenvoudige toetsing
Voor de eenvoudige toetsing wordt verwezen naar het VTV 2006, katern 5, §4.2.3 (macrostabiliteit binnenwaarts STBI). In stap 1 van deze paragraaf is een eenvoudige geometrische toets opgenomen. In het kort komt deze toets erop neer, dat bij de beoordeling de taludhelling wordt beschouwd waarbij:

- moet worden voldaan aan een opbarstveiligheid > 1,2 (zie ook §4.3.2);
- bij taludhellingen flauwer dan 1:4 er alleen eisen aan het achterland worden gesteld;
- bij steilere taluds dan 1:4 er tevens eisen aan de kruinbreedte worden gesteld.

Wordt aan de gestelde criteria voldaan, dan voldoet de kade aan veiligheidsklasse IPO V (met verkeersbelasting). Deze eenvoudige geometrische toets is niet geschikt voor veenkaden. Veenkaden kunnen niet met deze eenvoudige toetsing worden beoordeeld. Voer hiervoor de beoordeling uit volgens stap 2.2.

Stap 2.2: Gedetailleerde toetsing (niveau 1)
Bij gedetailleerde toetsing op niveau 1 wordt de stabiliteitsanalyse uitgevoerd met veilige waarden voor grondeigenschappen (bijv. op basis van de NEN) of parameters afgeleid uit reeds beschikbaar onderzoek (bijvoorbeeld het COW-onderzoek). Bij gebruikmaking van de veilige waarden dient voor de berekening van rekenwaarden van de schuifsterkteparameters de set materiaalfactoren in rekening te worden gebracht die is vastgesteld voor de spanningsafhankelijke benadering, zie tabel 5.3.2 uit het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TRWG 2001].

Specifiek voor veen wordt voor veilige waarden van het onverzadigd volumiek gewicht verwezen naar het rapport “Grondonderzoek veenkaden” [STOWA 2004].

In het COW-onderzoek zijn in de regel gemiddelde waarden van de sterkte-eigenschappen vastgesteld. Bij gebruikmaking van deze gegevens betreffende de sterkteparameters moet de gestelde norm behorende bij de betreffende IPO veiligheidsklasse worden omgerekend. Hiertoe kan de in rekening te brengen schadefactor worden vermenigvuldigd met de factor 1,45 (= 1,3 / 0,9).

Bij eenvoudige toetsing moet worden uitgegaan van volledige verzadiging van het kadelichaam. Van belang is voorts dat wordt nagegaan of moet worden gerekend met het optreden van hydraulische kortsluiting, en daarmee met een stijghoogte onder de kade gelijk aan het toetspeil, of dat dit kan worden uitgesloten. Voor de vaststelling hiervan wordt verwezen naar §5.3.5.

Toetsing komt neer op het vullen van de regels achter de situatie hoogwater in de volgende tabel (situatie droogte wordt beschreven in stap 3). Daarbij zal afhankelijk van de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting, en daarmee sterk samenhangend de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van opdrijven of opbarsten, in beginsel maar een deel van de cellen ingevuld hoeven te worden.

TABEL 5.5 **VOORBEELD TABEL RESULTATEN TOETSING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD BOEZEMKADEN**

situatie	kortsluiting	Stabiliteitsfactor F, γ					
		Bishop (glijcirkel)		Drukstaafmethode		Hor. afschuiven	
		met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer
hoogwater	nee						
	ja						
droogte	nee						
	ja						

OPMERKINGEN

- Bij de schematisering van het dwarsprofiel ten behoeve van de stabiliteitsberekeningen moet rekening worden gehouden met het volgende:
  Eventuele aanwezigheid van kabels en leidingen. Deze liggen meestal in een zandaanvulling.
- Eventuele aanwezigheid van een wegfundering. Deze bevat vaak zand / puin en heeft daarmee invloed op freatische lijn.
- Verwachte zakking van kade en binnendijks maaiveld in toetsperiode, dit heeft immers invloed op de stabiliteit binnenwaarts en opdrijven. Pas op met misbruik van ‘bewezen sterkte’. De sterkte van de kade kan in de tijd afnemen.
- De hoogwatersituaties bij HBP of MBP voor de situatie zonder kortsluiting en exclusief verkeersbelasting zijn mogelijk al eerder bekeken (COW of TRTB onderzoek). Deze oude resultaten zijn beperkt bruikbaar: indien nodig moet gecorrigeerd worden voor veranderd profiel, zakking maaiveld en verlaging van het polderpeil. Tevens nog aan te vullen met effect verkeersbelasting en effect kortsluiting.

- Naast de 'gewone' glijcirkelanalyse (zie Figuur 4.3) moet ook een drukstaafsom worden gemaakt (zie Figuur 4.4) als de opdrijfveiligheid ergens in het profiel lager wordt dan 1,2.

- Indien kortsluiting onder hoogwater omstandigheden mogelijk is (zie §3.4.2) dient ook getoetst te worden op horizontaal afschuiven. Voor de methode van toetsing op horizontaal afschuiven wordt verwezen naar stap 3.2, eenvoudige toetsing in de droge situatie.

- In situaties met een opdrukveiligheid van kleiner dan 1,0 is het rekenen met de grenspotentiaal (opdrukveiligheid = 1,0) niet op voorhand een voldoende veilige benadering. Treedt er als gevolg van de samenhang van de grond in de deklaag bij deze opdrukveiligheid nog geen opbarsten op, dan kan de potentiaal immers verder toenemen, wat ongunstig is voor de stabiliteit. Naar een voldoende conservatieve waarde voor de opdrukveiligheid

waarbij wel opbarsten aangenomen mag worden moet nog onderzoek worden verricht. Aanbevolen wordt om op dit punt vooralsnog voorzichtigheid in acht te nemen, en in ieder geval uit te gaan van een conservatieve, hoge schatting van het deklaaggewicht.

- Een stabiliteitsberekening bij HBP, aanvullend op de berekening bij MBP, levert uiteraard geen maatgevend resultaat op. Het beschouwen van deze belastingsituatie is echter wel min of meer goede adviespraktijk (zie bijvoorbeeld het systematisch boezemkadeonderzoek) en te beschouwen als een vorm van gevoeligheidsanalyse en controle op de resultaten die worden berekend bij MBP.

- Aanbevolen wordt de stabiliteitsberekening een keer te maken voor zowel de situatie zonder als met verkeersbelasting. Waarmee uiteindelijk rekening moet worden gehouden is een beslissing die door de beheerder moet worden genomen. Voor de waarde van de in rekening te brengen verkeersbelasting wordt verwezen naar §3.5.3.

- Indien sprake is van een kade met ruime afmetingen, die echter niet voldoet volgens de eenvoudige beoordeling volgens stap 2.1, en waarvoor bovendien een te lage stabiliteitsfactor wordt berekend, dan kan mogelijk op basis van een analyse van de restbreedte na afschuiven alsnog een voldoende toetsoordeel worden vastgesteld. Voor nadere informatie over de toepassing van deze methode wordt verwezen naar het Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken [TRAS 2007]. Daarbij dient voor boezemkaden te worden uitgegaan van een minimaal vereiste kruinbreedte van 1,5 m.

Stap 2.3: Gedetailleerde toetsing (niveau 2)
Getailleerde toetsing op niveau 2 omvat het uitvoeren van gedetailleerdere stabiliteitsanalyses. De beoordeling verloopt volgens dezelfde procedure als beschreven in stap 2.2, maar dan met aanscherping op één van de of beide volgende onderdelen:

- Bepaling van de schuifsterkte parameters conform [TRWG 2001]: rekenwaarden uit lokaal onderzoek of proevenverzamelingen. Eventueel inclusief de verfijningsmogelijkheden zoals zijn aangegeven in [TRAS 2007].
- Schematisering van de waterspanningen conform [TRW 2004] (onderdeel boezemkaden). Er zijn meerdere definities van het begrip 'veenkade' in omloop. Vooralsnog is in deze leidraad gekozen voor de door het Hoogheemraadschap van Delfland gehanteerde omschrijving.

> *Kade waarbinnen zich materiaal met een dikte van minimaal 0,5 m bevindt dat kan worden geclassificeerd als veen of als klei met bijbestanddeel 'matig humeus' of 'sterk humeus' (vastgesteld conform NEN 5104 op basis van de organische stof-lutum-silt+zand-driehoek), of kade waarbinnen zich materiaal bevindt met een verzadigd volumegewicht kleiner dan of gelijk aan 16 kN/m^3 (conform NEN 5110) en waarvan de plasticiteitsindex groter is dan of gelijk aan 18 %.*
>
> *In deze definitie omvat de kade het grondmassief dat aan de onderzijde wordt begrensd door het niveau 'polderpeil minus 1 m', aan buitenzijde wordt begrensd door de buitenteen, en aan de binnenzijde wordt begrensd door een kwelsloot of bij ontbreken daarvan door een verticale lijn op een afstand van vier maal de kerende hoogte uit de binnenteen.*

Stap 2.4: Geavanceerde toetsing

Bij geavanceerde toetsing kan gedacht worden aan het toepassen van andere, aanvullende of geavanceerder, laboratoriumproeven ter bepaling van de grondeigenschappen (bijvoorbeeld direct shear) en andere berekeningsmethoden ter bepaling van de weerstand tegen afschuiven (bijvoorbeeld eindige elementen berekening, probabilistische analyses, etc.).

Stap 3: Beoordeling droge situatie

In stap 3 wordt de droge situatie beschouwd. In de beoordeling zijn vier niveaus onderscheiden. Er wordt begonnen bij stap 3.1, eenvoudige beoordeling. Als wordt voldaan aan het gestelde criterium kan direct de score voldoende worden gegeven. Wordt niet voldaan, dan wordt doorgegaan met het volgende niveau van stap 3. Wordt op geen enkel niveau voldaan aan de gestelde criteria, dan kan direct de score onvoldoende worden gegeven. In alle andere gevallen zal de score voldoende zijn.

Stap 3.1: Eenvoudige toetsing

De droge situatie mag vooralsnog als niet maatgevend boven de hoogwatersituatie worden verondersteld indien wordt voldaan aan de beide volgende criteria:

- Hydraulische kortsluiting kan worden uitgesloten (zie §3.4.2);
- De kade is geen veenkade (volgens de omschrijving in de begrippenlijst).

Stap 3.2: Gedetailleerde toetsing (niveau 1)

De toepassing van de gedetailleerde toetsing op niveau 1 komt neer op het uitvoeren van een eenvoudig onderzoek en het maken van een oriënterende stabiliteitsberekening.

De toetsing verloopt volgens stap 2.2, waarbij de volgende toegevoegde opmerkingen gemaakt worden:

- Als kortsluiting niet mag worden uitgesloten is deze altijd maatgevend boven de situatie zonder kortsluiting. De berekening van de situatie zonder kortsluiting geeft dan alleen een goede indruk van de gevoeligheid van de afschuifveiligheid voor het al dan niet ontstaan van een kortsluiting, maar is gen verplicht onderdeel van de toetsing.
- In de schematisering ten behoeve van de stabiliteitsberekeningen wordt uitgegaan van hoog boezempeil (HBP = boezempeil met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar) en laag polderpeil (LPP = gegarandeerd minimaal polderpeil, of anders conservatieve lage schatting van het polderpeil dat in extreem droge omstandigheden kan voorkomen). De stabiliteitsberekeningen worden verder uitgevoerd conform de stabiliteitsberekeningen voor de hoogwatersituatie, rekening houdend met gewichtsafname van de deklaag (zie Tabel B3.1).
- Voor de schematisering van de ligging van de freatische lijn in de situatie van extreme droogte wordt verwezen naar de aanwijzingen die zijn gegeven in §5.2.2.
- Bij beoordeling van de droge situatie dient, indien er sprake is van een droogtegevoelige kade, ook een controle op horizontaal evenwicht te worden gemaakt, zie principeschets in Figuur 4.5. Een kade is droogtegevoelig indien wordt voldaan aan ten minste één van de volgende voorwaarden:

- de situatie droogte kan leiden tot het ontstaan van een hydraulische kortsluiting (zie §3.4.2);
- er is sprake van een veenkade (conform de beschrijving in de begrippenlijst), die niet tegen uitdroging wordt beschermd door een kleilaag van ten minste 0,5 m dikte. Indien dit wel het geval is (er is wel een kleilaag van ten minste 0,5 m dikte aanwezig over het gehele profiel), dan dient in een langdurige droogteperiode nog wel door middel van monitoring te worden vastgesteld dat de kade daadwerkelijk niet teveel verdroogt.

Ter toelichting op de controle op horizontaal evenwicht worden de volgende opmerkingen gemaakt en aanvullende handreikingen gegeven:

- Voor horizontaal afschuiven is de droge situatie altijd maatgevend.
- Het criterium voor de beoordeling van de veiligheid tegen horizontaal afschuiven is dezelfde als voor de beoordeling van de glijcirkelstabiliteit, derhalve luidt de eis: $F / (\gamma_n.\gamma_d) \geq 1,0$. Hierin is de stabiliteitsfactor F gedefinieerd als $F = (Fhor1-Fhor2) / F_s$.
- Voor de schadefactor γn wordt verwezen naar Tabel 4.1.
- Verkeersbelasting werkt gunstig op de veiligheid tegen horizontaal afschuiven, en daarom dient in dit geval van de conservatieve aanname te worden uitgegaan dat er geen verkeersbelasting aanwezig is.

Voor de controle op de aanwezige veiligheid tegen horizontaal afschuiven in de droge situatie kan gebruik worden gemaakt van een drukstaafberekening. Dit is een voor deze situatie benaderende berekening, waarbij het veronderstelde glijvlak van de vorm is als weergegeven in Figuur 4.4. De in Figuur 4.5 weergegeven situatie met beschoeiing (geen schuifsterkte langs de cirkel aan de actieve zijde) kan met de in Figuur 4.4 weergegeven schematisering worden benaderd door aan de deklaag links van het scherm geen sterkte toe te kennen.
De controle op veiligheid tegen horizontaal afschuiven is uitgaande van deze benadering met een drukstaafberekening voor de droge situatie verder feitelijk niet principieel anders dan voor de hoogwatersituatie. Omdat deze benadering voor dit mechanisme nog niet in voldoende mate is geverifieerd moet bij toepassing hiervan een modelfactor γ_d van 1,2 moet worden gehanteerd.
Horizontaal afschuiven is in principe langs glijvlakken op meerdere niveaus (hoogten) mogelijk en hoeft niet specifiek op de overgang boven een watervoerend pakket plaats te vinden. Ook een horizontaal vlak ter hoogte van bijvoorbeeld de teen van een eventueel aanwezige damwand zou maatgevend kunnen zijn als juist op dat niveau sprake is van een laag met een relatief grote horizontale doorlatendheid. Extreme droogte kan in een dergelijk geval mogelijk tot een zodanige gewichtsafname van het bovenliggende grondmassief leiden, dat de vervaldruk op een zeker moment groter wordt dan de wrijvingsweerstand langs de bovenkant van die laag. Het optreden van hydraulische kortsluiting is in dat geval dus niet een noodzakelijke voorwaarde voor het optreden van een horizontale afschuiving. De wijze waarop een dergelijke afschuiving gemodelleerd en getoetst moet worden is nog in ontwikkeling. Ten behoeve van de toetsing wordt daarom aanbevolen om regelmatig de stand van het onderzoek te verifiëren.

Stap 3.3: Gedetailleerde toetsing (niveau 2)
De getailleerde toetsing op niveau 2 voor de situatie droogte omvat het uitvoeren van gedetailleerder stabiliteitsanalyses. Aanscherping kan vooral worden gezocht in de schematisering van de geohydrologische situatie (freatische lijn en spanningswater in doorlatende lagen in of onder de kade).

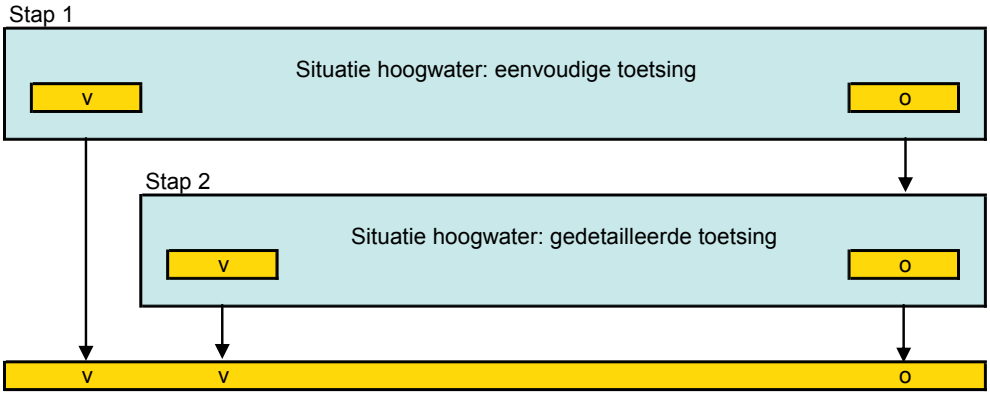
Stap 3.4: Geavanceerde toetsing
Naast de in stap 2.4 reeds genoemde punten, kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van het droogte-onderzoek [STOWA 2004].

Met de resultaten van uitvoering van stap 3 kunnen nu ook de relevante resultaten voor de stabiliteit van het binnentalud (STBI) in de situatie droogte in de onderste twee rijen van Tabel 5.3 worden ingevuld. Daarnaast is ook, indien relevant, de veiligheid tegen optreden van een horizontale afschuiving in deze situatie vastgesteld.

5.3.7 MACROSTABILITEIT BUITENTALUD

Beoordeling van de macrostabiliteit van het buitentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.5 worden uitgevoerd.

FIGUUR 5.5 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BUITENTALUD



Stap 1: Eenvoudige toetsing

Beoordeling van de macro-instabiliteit buitentalud kan achterwege blijven indien alle oorzaken zoals toegelicht in §4.5 uitgesloten kunnen worden, dan wel indien sprake is van een hoog voorland (hoger dan het ter plaatse geldende toetspeil).

Stap 2: Gedetailleerde toetsing

Voor de gedetailleerde beoordeling van de buitenwaartse macrostabiliteit kan gebruik worden gemaakt van de beschreven aanpak in de VTV 2006 (Katern 5, §4.2.4). 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 Tabel 4.1). In veel gevallen zullen de gevolgen beperkt blijven en kan wellicht ook een lagere (afhankelijk van de verwachte schade nader te bepalen) norm worden gehanteerd.

De beoordeling van de veiligheid tegen afschuiven buitentalud komt dan neer op het vullen van de volgende tabel.

TABEL 5.6 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BUITENWAARTS

situatie	kortsluiting	Stabiliteitsfactor F
hoogwater	nee	
	ja	

Opgemerkt wordt dat voor de beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit de hoogwatersituatie in beginsel altijd maatgevend zal zijn ten opzichte van de droge situatie. De situatie droogte hoeft niet te worden beschouwd en komt dus niet voor in het bovenstaande tabel.

5.3.8 MICROSTABILITEIT

Beoordeling van de microstabiliteit kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.6 worden uitgevoerd.

FIGUUR 5.6 BEOORDELING MICROSTABILITEIT



Stap 1: Controle op zand in boezemkade

In veel boezemkaden komt geen zand voor. Het beoordelen van het optreden van micro-instabiliteit is dan in al die gevallen niet relevant. Indien wel sprake is van het voorkomen van zand in de kade dient op veiligheid tegen optreden van micro-instabiliteit te worden gecontroleerd in stap 2.

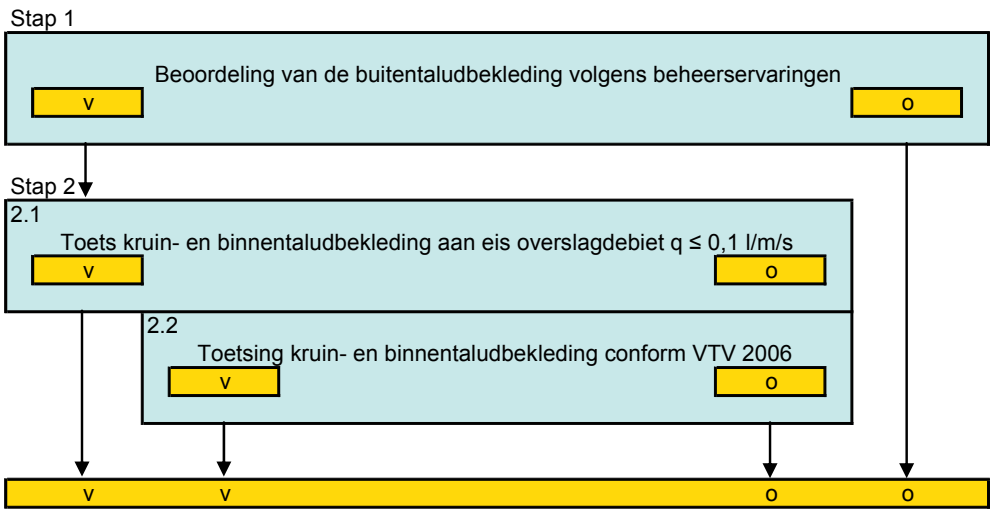
Stap 2: Toetsing conform VTV 2006

Voor de invulling van deze controle wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006] (Katern 5, §4.2.5). Daarbij dient te worden uitgegaan van het toetspeil voor het be-schouwde kadevak, in combinatie met een hoge ligging van de freatische lijn, zie ook bijlage 2.

5.3.9 BEKLEDINGEN

Beoordeling van de bekledingen kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.7 worden uitgevoerd.

FIGUUR 5.7 BEOORDELING BEKLEDINGEN



Stap 1: Beoordeling van buitentalud

Uitgangspunt voor de beoordeling van de bekleding van het buitentalud is dat deze goedgekeurd kan worden indien de beheerervaringen goed zijn (geen overmatig optreden van erosie), en het beheer erop gericht is een goede staat van de bekleding in stand te houden. Indien wel met enige regelmaat erosie of andere schade aan de bekleding wordt geconstateerd, dan voldoet deze niet.

Stap 2: Beoordeling van kruin en binnentalud

De erosiebestendigheid van de bekleding van kruin en binnentalud zijn bepalend voor het toelaatbaar overslagdebiet over de boezemkade. 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 conform de beoordeling weergegeven in het VTV 2006 (katern 8). Indien de toplaag uit teelaarde bestaat, kan hierbij ook de aanwijzingen uit §4.7.3 worden opgevolgd.

De uiteindelijke score dient te zijn afgestemd met de gehanteerde uitgangspunten bij de toetsing van de hoogte van de kade.

5.3.10 STABILITEIT VOORLAND

Beoordeling van het voorland kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 5.8 worden uitgevoerd.

FIGUUR 5.8 BEOORDELING VOORLAND



Stap 1: Controle op geul in voorland

De stabiliteit van het voorland dient uitsluitend te worden getoetst indien zich een geul bevindt met een diepte van ten minste 9 m. Dit zal voor veel boezemkaden niet het geval zijn. Mocht er in het voorland wel een geul van meer dan 9 m diepte aanwezig zijn, dan dient stap 2 te worden uitgevoerd.

Stap 2: Toetsing conform VTV 2006

Indien uit stap 1 blijkt dat er een geul van 9 m diepte in het voorland aanwezig is, dient de toetsing te worden uitgevoerd volgens de beschrijving in het VTV 2006 (Katern 9).

6

KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

6.1 FUNCTIES EN KENMERKEN KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Regionale rivierkeringen zijn de keringen langs regionale wateren waarvan de afvoer van water één van de hoofdfuncties is, en die niet behoren tot de boezem (met daarlangs de boezemkaden) of de hoofdwateren (met daarlangs de primaire waterkeringen). De omvang van de regionale rivieren is in het algemeen beperkt in vergelijking tot die van de 'grote rivieren'. Regionale rivieren maken vaak deel uit een groter stelsel van watergangen of zijn zijtakken van grote rivieren. Om praktische redenen worden ook de keringen langs (afvoer-) kanalen aangewezen als keringen met de status van regionale rivierkeringen.

Regionale rivierkeringen hebben als waterstaatkundige hoofdfunctie het beschermen van het achterliggende gebied tegen de afvoer van water. Daarnaast kunnen regionale rivierkeringen ook andere functies hebben, zoals infrastructuur of recreatiegebied.

Belangrijk kenmerk van een regionale rivier is de vaak grote variatie in waterstand, dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de waterstand in boezemstelsels waarin de fluctuaties van de waterstand beperkt zijn. Oorzaak van dit kenmerkende verschil is de mate waarin het aanbod van water en de afvoer daarvan door menselijk handelen, kan worden gemanipuleerd. Op de boezem is dit groot, op regionale rivieren (afvoerkanalen) veelal veel minder.

De grote variatie in de waterstand op regionale rivieren wordt veroorzaakt door pieken in de afvoer van water, de zogenaamde hoogwatergolven. Het aanbod van de hoeveelheid af te voeren water is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag en/of smeltwater in het afvoergebied. Regionale rivierkeringen worden om die reden veelal slechts incidenteel en dan gedurende een korte periode significant belast. De maatgevende situaties uit oogpunt van de bescherming tegen overstromingen hebben allemaal een relatie met deze hoogwatergolven.

6.2 BELASTINGEN

Voor de belastingen op de regionale rivierkeringen wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Hieronder worden specifieke aspecten voor regionale rivierkeringen met betrekking tot belastingen behandeld.

6.2.1 BELASTINGSITUATIES

De belastingsituaties zijn beschreven in §3.2. Aanvullend op §3.2 wordt in de rest van deze paragraaf nader ingegaan op specifieke aspecten met betrekking tot de belastingsituaties bij regionale rivierkeringen.

BELASTINGSITUATIES 'HOOGWATER' EN 'VAL VAN DE WATERSTAND'

De belastingsituatie 'hoogwater' dient bij rivieren ook de situatie direct na de hoge buitenwaterstand te worden beschouwd.

BELASTINGSITUATIE 'DROOGTE'

Een belangrijk verschil tussen de belastingsituatie 'droogte' bij regionale rivierkeringen en de belastingsituatie 'droogte' bij boezemkaden is dat bij boezemkaden ook in de in de droge situatie de hoogwaterbelasting nog relatief groot is. Het optreden van piping of instabiliteit wordt dan niet zozeer veroorzaakt door de toegenomen belasting, maar door de afgenomen sterkte. In geval van regionale rivierkeringen is het gelijktijdig optreden van langdurige droogte en het optreden van een hoge rivierwaterstand doorgaans uit te sluiten. Regionale rivieren worden immers voornamelijk gevoed met (regionaal gevallen) neerslag. Tijdens een extreem droge periode zal de waterstand van een dergelijke neerslagrivier derhalve laag zijn. De belastingsituatie 'droogte' kan wel maatgevend zijn als een hoge rivierwaterstand tijdens of na droogte niet kan worden uitgesloten.

De situatie droogte dient uitsluitend te worden beschouwd indien:

- het optreden van een maatgevend hoge rivierwaterstand tijdens of tot enkele maanden na een periode van droogte niet kan worden uitgesloten; en:
- zich in of onder de kering veen of sterk humeuze klei bevindt.

6.2.2 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De hydraulische randvoorwaarden kunnen worden bepaald volgens §3.3. Aanvullend op §3.3 wordt in de rest van deze paragraaf nader ingegaan op specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in regionale rivieren en andere hydraulische randvoorwaarden.

RIVIERPEIL

De waterstanden op regionale rivieren variëren naargelang het aanbod van het af te voeren water. Net als op de grote rivieren is er op de regionale rivieren sprake van hoogwatergolven als het wateraanbod groot is. Een verschil tussen hoogwatergolven op de grote rivieren en op de regionale rivieren is dat op de regionale rivieren het wateraanbod in de regel veel sterker bepaald wordt door de regionaal vallende neerslaghoeveelheden, maar ook door hoogwater op de grote rivieren vanwege de afvoermogelijkheden.

De maatgevende hoogwaterstand is afhankelijk van de normfrequentie van de waterkering. De MHW kan op verschillende wijzen worden vastgesteld, bijvoorbeeld door statistische analyse van de frequenties van voorkomen van hoge afvoeren of door berekening op basis van maatgevende neerslaggebeurtenissen en -hoeveelheden. Enkele methoden zijn beschreven in de Richtlijn Normeren Keringen langs regionale rivieren |IPO & UvW 2007b|. De maatgevende hoogwaterstand volgt veelal uit de studie betreffende de normering van de waterkeringen, en zal overwegend door de provincie worden vastgesteld.

Conform het gestelde voor de primaire waterkeringen in het bovenrivierengebied in tabel 4 - 2.1 van de VTV 2006 (§2.2.1 katern 4), hoeven boven op de MHW geen toeslagen in rekening te worden gebracht. Het toetspeil is dus gelijk aan de MHW.

Na het optreden van de MHW zal een daling of zgn. val van de waterstand plaats vinden. Het verloop van deze daling volgt mogelijk eveneens uit de studie behorende tot de normering van de waterkering, mits de normering op een gedetailleerd niveau is uitgewerkt. Indien dit niet het geval is kan gerekend worden met een daling tot een gemiddeld hoge waterstand. Dit kan praktisch worden vertaald als de waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1 per jaar.

Regionale rivierdijken hoeven in beginsel niet te worden getoetst ten aanzien van de situatie tijdens langdurige droge omstandigheden. Een eerste reden hiervoor is het naar verwachting weinig voorkomen van regionale rivierdijken die voor een belangrijk deel uit veen bestaan. Een tweede reden is de in het algemeen sterke samenhang tussen het optreden van hoogwater en het optreden van veel neerslag, waarmee het gelijktijdig optreden van hoogwater en het uitgedroogd zijn van de kering weinig waarschijnlijk is. Indien het toch wenselijk lijkt om de stabiliteit in de situatie van langdurige droogte te beschouwen, kan er worden gerekend met het gemiddeld hoogwater (GHW). GHW kan worden geïnterpreteerd als de waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1 per jaar. Zie ook bijlage 2.2 'Overzicht mechanismen, belastingsituaties en belastingen voor regionale keringen'.

PEIL ACHTERLAND

Het waterpeil in het achterland varieert afhankelijk van verschillende factoren. Als het peil in het achterland wordt gereguleerd dan kan sprake zijn van een streefpeil. Het werkelijke peil zal dan veelal binnen een relatief beperkte bandbreedte variëren tussen een maatgevend laag peil en een maatgevend hoogpeil. Het peil is zonder regulering veelal afhankelijk van natuurlijke omstandigheden, en zal vaak binnen een grotere bandbreedte variëren.

Het in rekening te brengen maatgevende peil in het achterland verschilt afhankelijk van de beschouwde belastingsituatie (hoogwater of droogte) en van het beschouwde mechanisme. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 2.2 'Overzicht mechanismen, belastingsituaties en belastingen voor regionale keringen'.

GOLVEN

Golven vormen een directe belasting op het buitentalud. Daarnaast kunnen golven overslag van water veroorzaken. De waterkeringbeheerder moet de golfrandvoorwaarden zelf bepalen. Handreikingen zijn gegeven in §3.3.3.

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. Bij deze aanpak worden de golfrandvoorwaarden voor een kering met een veiligheidsnorm van 1/100 berekend op basis van een hoge windsnelheid met een frequentie van 1/100. 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.

Een toelichting op deze afleiding van de maatgevend hoge windsnelheid is beschreven in bijlage 8.

Op sommige locaties kunnen golven door zware scheepvaart een maatgevende conditie vormen. In deze gevallen hoeven scheepvaartgolven alleen bij de toetsing te worden beschouwd indien tijdens maatgevende hoogwaterperiode geen vaarverbod geldt.

6.3 BEOORDELINGSPOREN REGIONALE RIVIERKERINGEN

6.3.1 ALGEMEEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van regionale rivierkeringen zijn verzameld in Tabel 6.1. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze in ieder geval voor de hoogwatersituatie moeten worden uitgewerkt. Uitsluitend in specifieke situaties (zie §6.3.5 en §6.3.6) dient voor de mechanismen piping en macro-instabiliteit binnentalud ook de belastingsituatie van extreme droogte te worden beschouwd.

TABEL 6.1 OVERZICHT BELANGRIJKSTE BEOORDELINGSSPOREN REGIONALE RIVIERKERINGEN

beoordelingssporen / te beoordelen mechanismen	**beoordelingsmethode**		
	eenvoudig	**gedetailleerd**	**geavanceerd**
overlopen / overslag (HT)	analoog aan §4.2 en methode VTV katern 5 §4.1 stap 2 en 3	-	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
piping (STPI)	hoogwater: methode VTV katern 5 §4.2.2 droogte: analoog aan §4.3	hoogwater: methode VTV katern 5 §4.2.2 droogte: analoog aan §4.3	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit binnentalud (STBI – cirkel en hor. afsch.)	hoogwater: methode VTV katern 5 §4.2.3 droogte: analoog aan VTV rekening houdend met §6.2.1	hoogwater: methode VTV katern 5 §4.2.3 droogte: analoog aan VTV rekening houdend met §6.2.1	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit buitentalud (STBU)	methode VTV katern 5 §4.2.4	methode VTV katern 5 §4.2.4	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
microstabiliteit (STMI)	methode VTV katern 5 §4.2.5	methode VTV katern 5 §4.2.5	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
bekleding (STBK)	methode VTV katern 8	methode VTV katern 8	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit voorland (STVL)	methode VTV katern 9	methode VTV katern 9	state of the art kennis (niet gedefinieerd)

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van de kering voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding "geen oordeel" resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

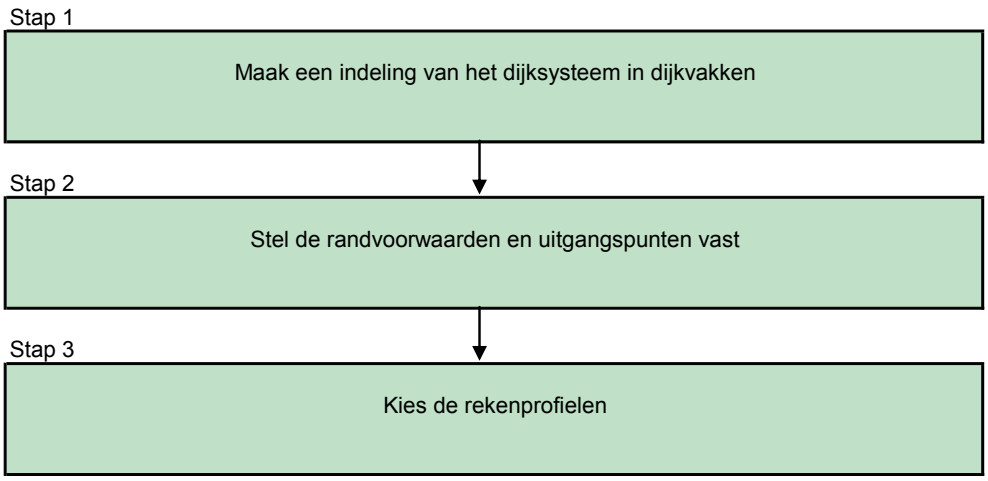
ALGEMENE OPMERKING TEN AANZIEN VAN DE TOETSING

Mocht een toetsing volgens de bovengenoemde methode, bijvoorbeeld door het ontbreken van benodigde informatie, (nog) niet mogelijk zijn, dan wordt aanbevolen een voorlopig eerste oordeel te geven op basis van bewezen sterkte. Dit komt neer op het bepalen van de hoogst bekende waterstand en grootte van golven (en inschatting van de overschrijdingsfrequentie daarvan) die succesvol zijn gekeerd, dus zonder de constatering van (beginnend) optreden van falen. Indien geen voorlopig oordeel kan worden gegeven met behulp van bewezen sterkte, dan dient ten minste een beheerdersoordeel te worden gegeven.

6.3.2 SCHEMATISERING (DIJK)SYSTEEM

De beoordeling van het dijksysteem start in het algemeen met het uitvoeren van de volgende inventariserende werkzaamheden volgens Figuur 6.1.

FIGUUR 6.1 **INVENTARISERENDE WERKZAAMHEDEN**



Stap 1: Maak een indeling van het dijksysteem in dijkvakken

Het indelen van het dijksysteem in dijkvakken is met name afhankelijk van:

- typering te keren water;
- typering dijk: grondopbouw, vorm en afmetingen, NWO's, etc.

Stap 2: Stel de randvoorwaarden en uitgangspunten vast

Het vaststellen van de randvoorwaarden en uitgangspunten betreffen onder andere:

- norm
- maatgevend hoogwaterpeil conform §6.2.2
- windgolven conform §3.3.3 en bijlage 6
- waterpeil in het achterland conform §4.2
- freatische lijn door dijk conform §3.4
- verkeersbelasting conform §3.5.3

Stap 3: Kies de rekenprofielen

Het kiezen van de rekenprofielen dient vergezeld te zijn van motivering.

In hoofdstuk 3 en 4 is reeds ingegaan op de diverse hier genoemde aspecten die een rol spelen bij de schematisering van het (dijk)systeem. De indeling en belangrijkste randvoorwaarden en uitgangspunten kunnen bijvoorbeeld worden samengevat in een tabel als hieronder.

TABEL 6.2 OVERZICHT DIJKSYSTEEM

dijk	(dijk)-vak	reken-profiel	norm	GHW / MHW	stijg-hoogte	peil achterland		rivier-peil na val	zetting+klink		NWO's, beschoei-ing
						min.	max.		kruin	teen	
A	1	1									
	2	1									
	3	2									
		1									
B	1	2									
		1									
		2									
	2	1									
	3	1									

N.B. (dijk)vak kan ook kunstwerk betreffen, deze dient ook mee te worden genomen in de inventarisatie.

6.3.3 AANPAK BEOORDELINGEN

De resultaten van de beoordelingen kunnen uiteindelijk per dijkvak worden samengevat in een resultatentabel van de volgende vorm:

TABEL 6.3 RESULTATENTABEL BEOORDELING DIJKVAK

belastingsituatie	kortsluiting	HT	STPI	STBI		STBU	STMI
				F-cirkel	F-hor.		
hoogwater	nee	a	c	a	-	c	c
	ja	a	b	b	-	b	b
droogte	nee	a	c	c	c	-	-
	ja	a	b	b	b	-	-
Eindoordeel							

In de tabel is met coderingen a, b, en c een aanbevolen efficiënte volgorde voor de beoordeling van de diverse mechanismen bij de onderscheiden combinaties van belastingsituatie en al dan niet optreden van kortsluiting aangegeven:

a	altijd te beoordelen
b	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting niet kan worden uitgesloten
c	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting wel kan worden uitgesloten
-	hoeft niet, nooit maatgevend

Afhankelijk van het beschouwde mechanisme en de te onderscheiden belastingsituatie (hoogwater of droogte) dient van een zekere set maatgevende belastingrandvoorwaarden te worden uitgegaan, en dient in samenhang daarmee de maatgevende geohydrologische schematisering te worden vastgesteld. Een overzicht hiervan op hoofdlijnen is weergegeven in bijlage 2.

Bij het uitvoeren van de beoordelingen wordt onderscheid gemaakt tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methoden van beoordeling. Uit oogpunt van efficiëntie zal normaal gesproken worden begonnen met de eenvoudige beoordelingsmethode. Levert dit geen bevredigend resultaat op, maar bestaat wel de verwachting dat met een meer precieze beoordeling wel een positief beoordelingsresultaat zal worden behaald, dan wordt een gedetailleerde of zonodig zelfs een geavanceerde beoordeling uitgevoerd.
De benodigde inspanning om tot een oordeel te komen kan toenemen sterk met een toenemend detailniveau van de beoordeling. Het ligt daarom voor de hand om voor de gedetailleerder te beoordelen kadevakken een prioriteitenlijst vast te stellen aan de hand waarvan de fasering van deze beoordelingen ingevuld kan worden. Leidraad bij het vaststellen van een dergelijke prioriteitenlijst zijn de inschatting van het risico in de bestaande situatie alsmede de inschatting van de verwachte kosten die gemoeid zijn met de eventueel benodigde maatregelen om dit risico met een zekere maat te verkleinen.

Het eindoordeel, ofwel het samenvattend toetsoordeel per mechanisme, in de onderste regel van Tabel 6.3 in te vullen, zal in belangrijke mate worden bepaald door de verwachting of kortsluiting wel of niet zal optreden. Voor de beoordeling hiervan wordt verwezen naar §3.4.2.

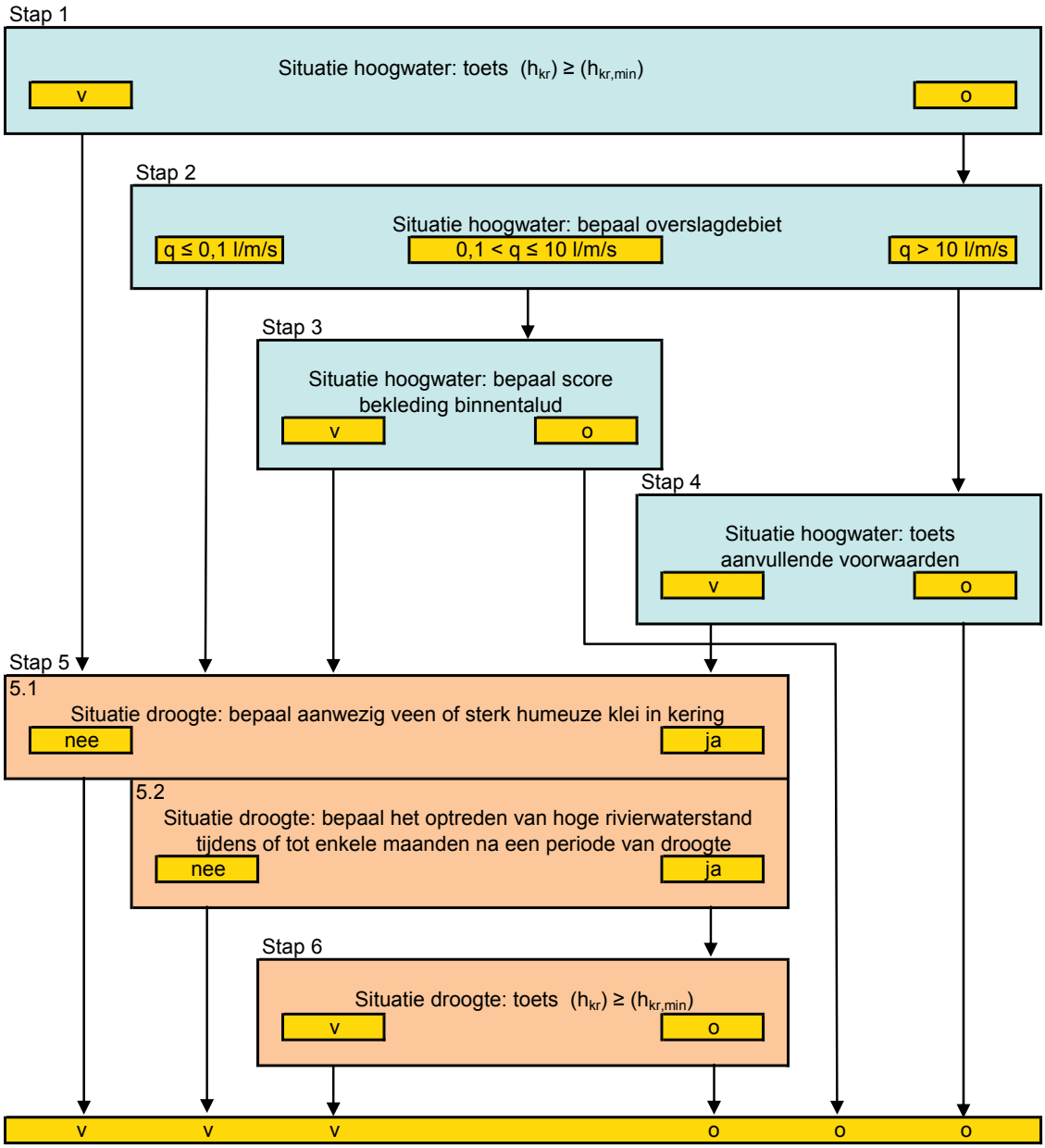
FOTO 6.1 **KERING LANGS DE DOMMEL**



6.3.4 OVERLOPEN / OVERSLAG

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overloop / overslag en toetscriteria wordt verwezen naar §4.2. Beoordeling van de kans op het bezwijken van de kade door het optreden van overlopen en overslag dient te worden uitgevoerd volgens het stroomschema in Figuur 6.2.

FIGUUR 6.2 BEOORDELING OVERSLAG / OVERLOOP



Stap 1: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie hoogwater

De kruinhoogte op peildatum (h_{kr}) voor deze stap kan worden bepaald volgens §4.2 en §5.2.1, rekening houdend met zetting (ondergrond) maar exclusief momentane krimp (dit laatste is alleen van belang bij droogtegevoelige dijken). De minimaal benodigde kruinhoogte ($h_{kr,min}$) worden volgens §4.2 en §6.2.2 vastgesteld als het toetspeil vermeerderd met de benodigde golfoverslaghoogte, waarbij de benodigde golfoverslaghoogte grafisch kan worden afgeleid van de grafieken in bijlage 6 (zie ook §4.2.3). Lokale toeslagen worden niet meegenomen, zie §6.2.2 en VTV 2006. De beoordeling bestaat uit het toetsen aan de eis $h_{kr} \geq h_{kr,min}$.

Als de kering voldoet aan de eis, kan direct naar stap 5 worden gegaan. Voldoet de kering niet, dan vervolgt de toetsing met stap 2.

Stap 2: Bepaal overslagdebiet tijdens situatie hoogwater
Het overslagdebiet wordt bepaald aan de hand van §4.2. Is het overslagdebiet kleiner of gelijk aan 0,1 l/m/s en de kruinhoogtemarge > 0,3 m, dan voldoet de kering in situatie hoogwater aan het mechanisme overlopen en overslag en kan de toets vervolgd worden in stap 5.
Is het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/m/s, maar kleiner of gelijk aan 10 l/m/s, dan gaat de toets verder bij stap 3. Bij een overslagdebiet groter dan 10 l/m/s wordt de beoordeling vervolgd in stap 4.

Stap 3: Bepaal score bekleding binnentalud tijdens situatie hoogwater
Voor de beoordeling van de bekleding op het binnentalud wordt verwezen naar §6.3.9. Voldoet de bekleding op het binnentalud en is de kruinhoogtemarge groter dan 0,3 m, dan krijgt de kering een score 'voldoende'. Voldoet de kering niet aan deze eisen dan scoort deze 'onvoldoende' en moet de maximaal toelaatbare condities worden bepaald voor het vaststellen van de bijbehorende overschrijdingsfrequentie.

Stap 4: Toets aanvullende voorwaarden tijdens situatie hoogwater
Indien het overslagdebiet groter is dan 10 l/m/s, gelden als aanvullende voorwaarden dat:
- de bekleding van de kruin en het binnentalud als voldoende erosiebestendig moeten zijn beoordeeld;
- geen onaanvaardbare wateroverlast ontstaat in de polder;
- de kruin voldoende begaanbaar is, indien deze voorwaarde (lokaal) vereist is.

Voldoet de kering aan deze voorwaarden, dan kan de beoordeling worden vervolgd met stap 5.
Wordt er niet voldaan aan de bovenstaande aanvullende voorwaarden, dan dient de maximaal toelaatbare condities worden bepaald voor het vaststellen van de bijbehorende overschrijdingsfrequentie.

Stap 5.1: Bepaal de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in de kering
Als de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in of onder de keringkan worden uitgesloten, is de kering niet droogtegevoelig en voldoet de kering voor dit toetsspoor.

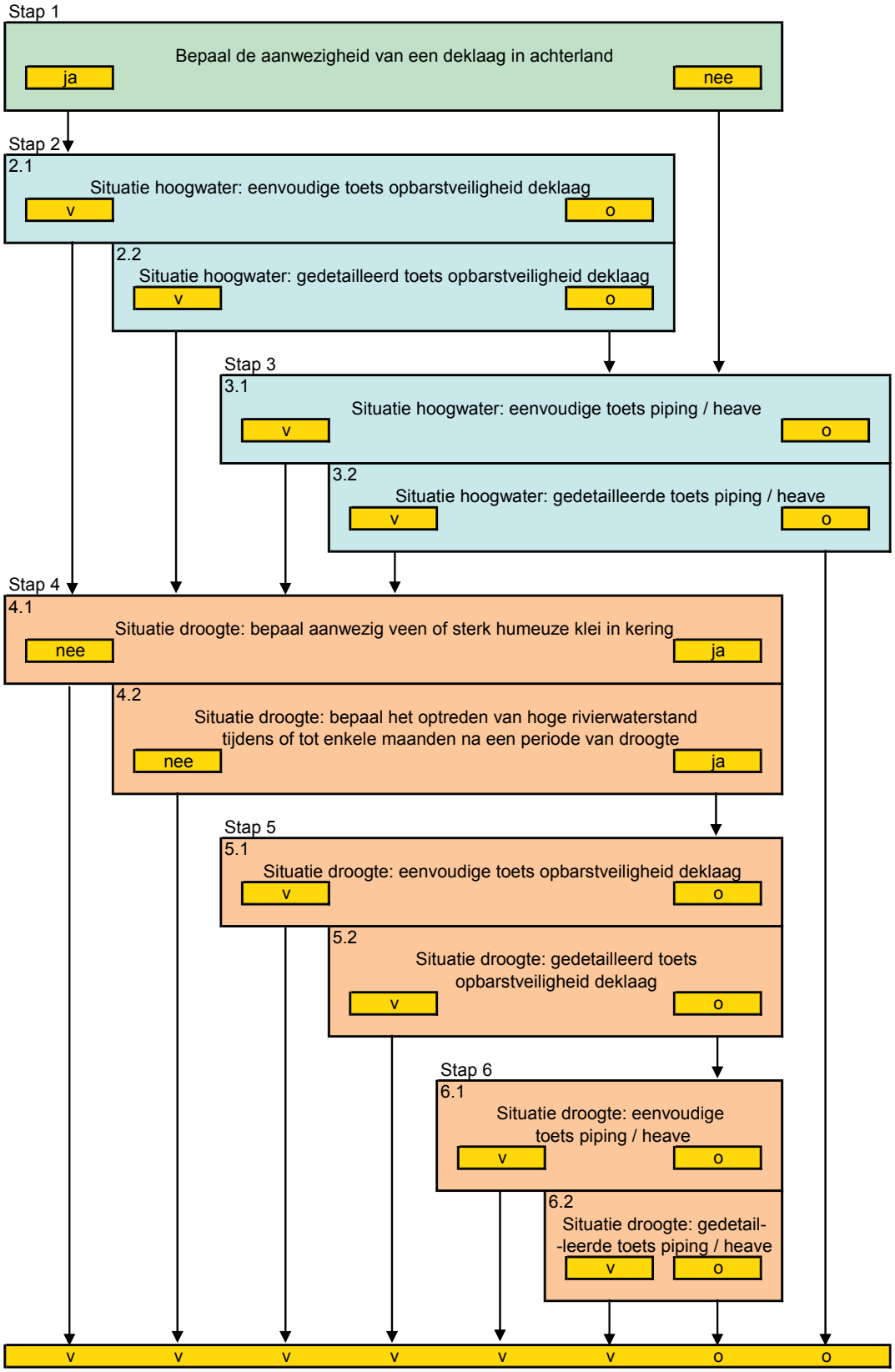
Stap 5.2: Bepaal de mogelijkheid op een combinatie van hoogwater en droogte
Als het optreden van een hoge rivierwaterstand tijdens of tot enkele maanden na een periode van droogte kan worden uitgesloten conform §6.2.1, §4.2 en bijlage 2.2, volgt het oordeel "voldoende"; anders moet worden doorgegaan met stap 6.

Stap 6: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie droogte
Voer de toets uit conform situatie hoogwater (stap 1) met GHW (= gemiddeld hoogwater, overschrijdingsfrequentie 1/1 per jaar) in plaats van MHW. Bij bepaling van h_{kr} moet bovendien rekening gehouden moet worden met momentane krimp voor droogtegevoelige dijken volgens §4.2 en §5.2.1.

6.3.5 PIPING / HEAVE

Beoordeling van de piping / heave kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 6.3 worden uitgevoerd. Voor de wijze van berekenen van de opbarstveiligheid en de veiligheid tegen piping / heave wordt verwezen naar §4.3.

FIGUUR 6.3 BEOORDELING PIPING / HEAVE



Stap 1. Bepaling van de aanwezigheid van een deklaag in het achterland
Bij aanwezigheid van een deklaag dient de opbarstveiligheid van deze deklaag te worden gecontroleerd in stap 2. In de overige gevallen is het bepalen van de opbarstveiligheid niet nodig en kan verder worden gegaan met stap 3.

Stap 2.1 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie hoogwater eenvoudige methode
Bij toepassing van de eenvoudige methode wordt het gewicht van de deklaag vastgesteld conform §4.3.2. De stijghoogte in de eerste watervoerende laag wordt gelijk verondersteld aan het toetspeil, uitgaande van optreden van kortsluiting (conservatieve benadering) en volledige respons van de stijghoogtepotentiaal in de gehele watervoerende laag. Er dient een opdrukveiligheid van 1,0 te worden gehanteerd.

Stap 2.2 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie hoogwater gedetailleerde methode
Toepassing van de gedetailleerde methode komt neer op met name aanscherping van de veronderstelde maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk in de watervoerende laag onder het slappe lagenpakket. Hierbij is het van belang onderscheid te maken tussen de situatie zonder en met optreden van een hydraulische kortsluiting.

- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting met voldoende waarschijnlijkheid kan worden uitgesloten, vormt vaststelling van de hydrologische uitgangssituatie de basis voor vaststelling van de maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk. Op basis van statistische analyse van gemeten stijghoogten (afkomstige van grondwaterkaarten en/of directe metingen) kan dan deze maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk worden bepaald. Hierbij dient overigens nog wel rekening te worden gehouden met onzekerheden aangaande mogelijke toekomstige veranderingen in de geohydrologische situatie, bijvoorbeeld door wegvallen van een 'permanente' diepe grondwateronttrekking, of door aanleg van een zandwinput. Uitgangspunten aangaande dergelijke onzekerheden moeten in overleg met de beheerder worden vastgesteld.
- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting niet uitgesloten kan worden neemt de stijghoogte toe tot maximaal het heersende peil op de rivier. De in dat geval daadwerkelijk te verwachten stijghoogte kan veelal nog aanzienlijk worden aangescherpt op basis van een geohydrologische analyse.

Het overzicht van de berekende veiligheid tegen opdrijven / opbarsten kan worden samengevat in Tabel 6.4. Hierin kunnen ook resultaten voor de situatie droogte worden samengevat. Daarbij wordt opgemerkt dat de waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting sterk bepalend is voor het uiteindelijke resultaat en daarmee dus de relevantie van de verschillende regels in de tabel.

TABEL 6.4 **BEOORDELING OPDRIJF- / OPBARSTVEILIGHEID**

situatie	kortsluiting	n (gewicht deklaag / opwaartse druk tegen onderkant deklaag)		
		maaiveld	sloot	sloot + 2D
hoogwater	nee			
	ja			
droogte	nee			
	ja			

Voor de criteria waaronder het optreden van kortsluiting weinig waarschijnlijk mag worden verondersteld wordt verwezen naar §3.4.2.

Stap 3.1 Beoordeling piping / heave tijdens situatie hoogwater eenvoudige methode
Voor de beoordeling van de veiligheid tegen het optreden van piping wordt de volgende getrapte aanpak aanbevolen:

1. De aanwezige kwelweglengte uitgaande van intreepunt ter plaatse van buitenteen (kortsluiting) is voldoende. Uitgaande van de pipingregel van Bligh moet gelden: $L > C_{creep}$ (ΔH-0,3d), zie Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TRZW 1999]. Daarbij wordt uitgegaan van geen intreeweerstand langs het kortsluitkanaal.
2. Aantonen dat er geen intreepunt zal ontstaan, ofwel dat kortsluiting kan worden uitgesloten. Hiervoor wordt verwezen naar §3.4.2.

Stap 3.2 Beoordeling piping / heave tijdens situatie hoogwater gedetailleerde methode
De gedetailleerde methode omvat de volgende aanvulling van de getrapte aanpak:

2. Bepalen van de korrelverdeling van het zand onder de deklaag en aanpassen van de waarde van C_{creep} of toepassen van de rekenregel van Sellmeijer.
   Controle, door middel van een grondwaterstromingsberekening, of onder maatgevende omstandigheden het uittreeverhang kleiner is dan het kritieke verhang (waarbij voor verticale uittreding in beginsel kan worden uitgegaan van een waarde van het kritieke verhang i_{cr} = 0,5). Van verticale uitstroming in een kwelsloot kan bijvoorbeeld worden uitgegaan als hier een (korte) damwand / beschoeiing is toegepast.

Stap 4.1: Bepaal de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in de kering
Als de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in of onder de keringkan worden uitgesloten, is de kering niet droogtegevoelig en voldoet de kering voor dit toetsspoor.

Stap 4.2: Bepaal de mogelijkheid op een combinatie van hoogwater en droogte
Als het optreden van een hoge rivierwaterstand tijdens of tot enkele maanden na een periode van droogte kan worden uitgesloten conform §6.2.1, §4.2 en bijlage 2.2, volgt het oordeel “voldoende”; anders moet worden doorgegaan met stap 5.

Stap 5.1 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie droogte eenvoudige methode
De eenvoudige methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen opdrijven / opbarsten onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 2.1), met dien verstande dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een verlaagd peil in het achterland, en samenhangend daarmee van een lager gewicht

van de deklaag. Als hiervan sprake is zal mogelijk de situatie droogte maatgevend zijn ten opzichte van de hoogwatersituatie waar het de weerstand tegen opdrijven / opbarsten betreft. Voor aanwijzingen aangaande het mogelijke gewichtsverlies van de deklaag ten gevolge van droogte wordt verwezen naar §3.2.2 en §4.3.2. Daarnaast dient uit te worden gegaan van GHW (gemiddeld hoogwater) in plaats van het toetspeil.

Stap 5.2 Beoordeling opbarstveiligheid tijdens situatie droogte gedetailleerde methode
Ook de gedetailleerde methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen opdrijven / opbarsten onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 2.2). Wederom wordt hierbij opgemerkt dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een lager polderpeil en daarmee ook van een lager gewicht van de deklaag en een lager rivierpeil, namelijk GHW in plaats van het toetspeil.

Net als voor de hoogwatersituatie zal het verondersteld al dan niet optreden van hydraulische kortsluiting in het algemeen sterk bepalend zijn voor de gevonden veiligheid tegen opdrijven / opbarsten. Daarnaast zal de situatie droogte maatgevend zijn ten opzichte van de situatie hoogwater indien er sprake is van droogtegevoeligheid van het deklaaggewicht. Omdat de veiligheid tegen optreden van opdrijven / opbarsten ook van invloed is op de binnenwaartse macrostabiliteit, en hiervoor weer veelal de hoogwatersituatie maatgevend is, wordt aanbevolen om toch altijd ook de hoogwatersituatie te beschouwen.

Resultaten van de beoordeling van de opbarstveiligheid in stap 5 kan uiteraard ook in Tabel 6.4 worden samengevat.

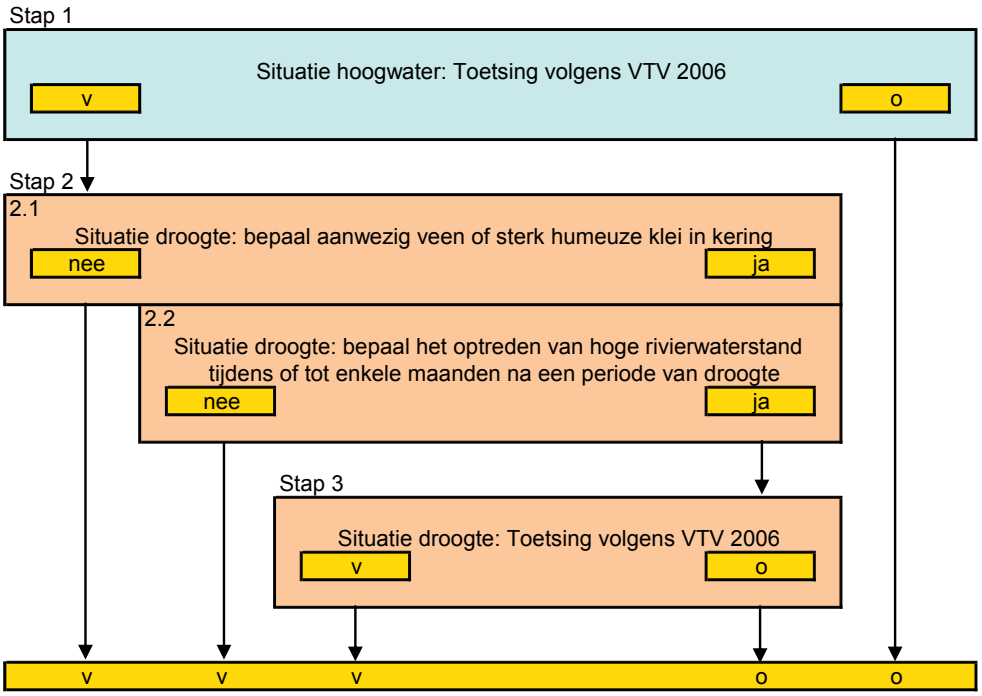
Stap 6.1 Beoordeling piping / heave tijdens situatie droogte eenvoudige methode
De beoordeling van de mate van voldoen van de veiligheid tegen piping aan de norm, is voor droge omstandigheden identiek aan die voor hoogwater omstandigheden (stap 3.1), met dien verstande dat in dit geval aanvullend rekening moet worden gehouden met gewichtsverlies van de deklaag ten gevolge van droogte (zie aanwijzingen §4.3.2) en de daardoor veroorzaakte toegevoegde bijdrage aan de kans op het ontstaan van hydraulische kortsluiting. Daarnaast moet worden uitgegaan van een lager rivierpeil, namelijk GHW in plaats van het toetspeil.

Stap 6.2 Beoordeling piping / heave tijdens situatie droogte gedetailleerde methode
Ook de gedetailleerde methode voor de beoordeling van de veiligheid tegen piping onder droge omstandigheden is identiek aan die voor de beoordeling onder hoogwater omstandigheden (stap 3.2). Wederom wordt hierbij opgemerkt dat onder droge omstandigheden sprake kan zijn van een lager polderpeil en daarmee ook van een lager gewicht van de deklaag en een lager rivierpeil, namelijk GHW in plaats van het toetspeil.

6.3.6 MACROSTABILITEIT BINNENTALUD

Beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 6.4 worden uitgevoerd.

FIGUUR 6.4 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD



Stap 1: Beoordeling hoogwatersituatie

Voor de controle op macro-instabiliteit van het binnentalud in de hoogwatersituatie wordt verwezen naar het VTV 2006, katern 5 §4.2.3. Bij het gedetailleerd toetsen dient minimaal de waarde voor de schadefactor te worden aangehouden zoals aangegeven in §4.4.2. Deze schadefactor is afhankelijk van de veiligheidsnorm van de waterkering.

Stap 2.1: Bepaal de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in de kering

Als de aanwezigheid van veen of sterk humeuze klei in of onder de keringkan worden uitgesloten, is de kering niet droogtegevoelig en voldoet de kering voor dit toetsspoor.

Stap 2.2: Bepaal de mogelijkheid op een combinatie van hoogwater en droogte

Als het optreden van een hoge rivierwaterstand tijdens of tot enkele maanden na een periode van droogte kan worden uitgesloten conform §6.2.1, §4.2 en bijlage 2.2, volgt het oordeel “voldoende”; anders moet worden doorgegaan met stap 3.

Stap 3: Beoordeling situatie droogte

Indien een hoog rivierpeil in combinatie met of direct na een droge situatie niet kan worden uitgesloten, moeten droogtegevoelige keringen ook worden getoetst op macro-instabiliteit van het binnentalud bij droge situaties. De toetsing kan worden uitgevoerd volgens de VTV 2006, katern 5, §4.2.3 en conform de aanwijzingen in §3.2.2. Voor de vereiste stabiliteit dient dan te worden uitgegaan van dezelfde eis als voor de hoogwatersituatie.

Mocht een toetsing volgens de bovengenoemde methoden, bijvoorbeeld door het ontbreken van benodigde informatie, (nog) niet mogelijk zijn, dan wordt aanbevolen een voorlopig eerste oordeel te geven op basis van bewezen sterkte. Dit komt neer op het bepalen van de hoogst bekende waterstand (en inschatting van de overschrijdingsfrequentie daarvan) die succesvol is gekeerd, dus zonder de constatering van (beginnend) optreden van instabiliteit. Met name indien (delen van) de kering in het verleden al waterstanden hebben weerstaan waarbij sprake was van overlopen, dan kan op basis van bewezen sterkte van uit worden gegaan dat deze voldoende stabiel zijn (aangenomen wordt dat de stabiliteitsfactor F van de maatgevende glijcirkel een waarde heeft van minimaal 1,0), ook onder maatgevende omstandigheden. Dit voorlopige eerste oordeel heeft tot doel om een prioritering mogelijk te maken tussen de keringen die eveneens op een dergelijk wijze zijn beoordeeld. Hierdoor kan er toch een totaal beeld worden verkregen van de keringen, ondanks dat sommige keringen niet getoetst zijn.

Bedacht moet worden dat toepassing van de methode bewezen sterkte de nodige haken en ogen heeft, aangezien de standzekerheid van de dijken niet alleen wordt bepaald door de te keren waterstand, maar ook door het effect van mogelijk bijkomende overige belastingen, zoals de waterspanningen in de watervoerende laag onder de dijk. Ook de mogelijke variatie van de sterkte in de loop der tijd, bijvoorbeeld door bodemdaling en periodieke kruinverhoging, ondermijnt de effectiviteit van bewezen sterkte. Daarnaast kan de belastingduur van de belasting van belang zijn, deze is mogelijk korter dan nu als norm wordt gehanteerd. Voor nadere informatie met betrekking tot bewezen sterkte wordt verwezen naar het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [TRAS 2007]. In veel gevallen zal bewezen sterkte vooral bruikbaar zijn voor het objectiveren van het beheerdersoordeel.

Kan geen oordeel worden gegeven met behulp van bewezen sterkte, dan dient ten minste een beheerdersoordeel te worden gegeven voor de weerstand tegen het optreden van instabiliteit van het binnentalud.

Na toetsing kunnen de lege vakken in de volgende tabel worden ingevuld. Daarbij zal afhankelijk van de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting, en daarmee sterk samenhangend de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van opdrijven of opbarsten, in beginsel maar een deel van de cellen ingevuld hoeven te worden.

TABEL 6.5 **VOORBEELD TABEL RESULTATEN TOETSING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD REGIONALE RIVIEREN**

situatie	kortsluiting	Stabiliteitsfactor F					
		Bishop (glijcirkel)		Drukstaafmethode		Hor. afschruiven	
		met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer
hoogwater	nee						
	ja						
droogte	nee						
	ja						

6.3.7 MACROSTABILITEIT BUITENTALUD

ALGEMEEN

Macro - instabiliteit van het buitentalud kan ontstaan door:

- een snelle val van de waterstand na of tijdens het optreden van de maatgevend hoogwaterstand;
- extreme belastingen, bijvoorbeeld door zwaar verkeer;
- erosie van de oever of onderwaterbodem.

Een snelle val van de waterstand kan verschillende oorzaken hebben. Een eventueel resulterende instabiliteit van het buitentalud vormt uitsluitend een gevaar voor de veiligheid indien:

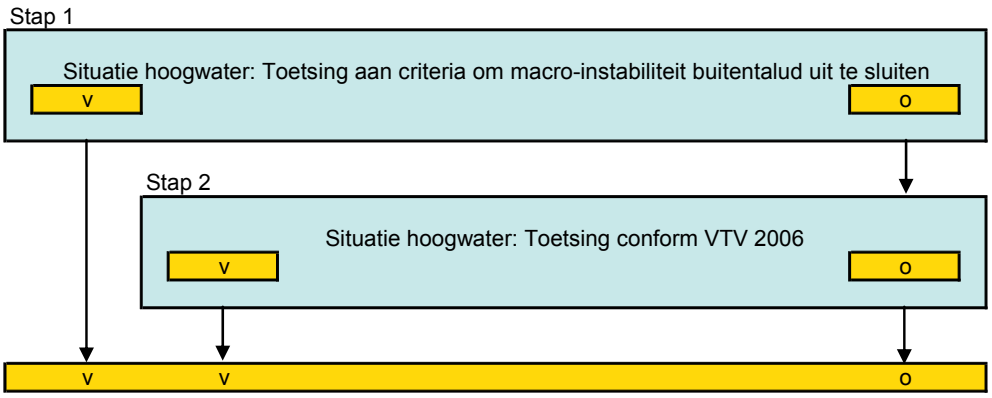
1. de waterstand en het afvoerdebiet van de rivier respectievelijk nog voldoende hoog en groot zijn voor een doorbraak van de kering en overstroming van het achterliggende gebied;
2. zich een nieuwe hoogwatergolf kan voordoen voordat de schade is hersteld.

Situatie 1 zal alleen plaatsvinden indien de instabiliteit optreedt tijdens de maatgevende afvoergolf. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door een doorbraak van een kering elders langs de rivier (bijvoorbeeld met een lagere veiligheidsnorm). Instabiliteit van de kering zonder kans op een doorbraak wordt hierbij beschouwd als een onderhoudskwestie, en behoeft niet te worden beschouwd binnen de toets op veiligheid.

BEOORDELING

Beoordeling van de macrostabiliteit van het buitentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 6.5 worden uitgevoerd.

FIGUUR 6.5 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BUITENTALUD



Stap 1: Toetsing aan criteria om macro-instabiliteit buitenwaarts uit te sluiten

Ten behoeve van de toetsing zijn enkele criteria gedefinieerd waarmee kan worden vastgesteld of een instabiliteit van het buitentalud daadwerkelijk een bedreiging voor de veiligheid vormt en daarmee beschouwd moet worden binnen de veiligheidstoetsing. De beoordeling van de macrostabiliteit van het buitentalud kan achterwege blijven indien:

1. tijdens de maatgevende afvoergolf een doorbraak van een kering elders langs de rivier kan worden uitgesloten, doordat de verschillende keringen een gelijke of hogere veiligheidsnorm hebben;
2. het optreden van een 2de hoogwatergolf kort na het optreden van de maatgevende afvoergolf kan worden uitgesloten.
3. erosie van oever of onderwaterbodem kan worden uitgesloten.

Betreffende situatie 2 dient de kwalificatie “kort” te worden beoordeeld in relatie tot de benodigde periode voor het (al of niet provisorisch) herstel van eventuele schade aan het buitentalud. Dit hangt mede af of sprake is van een beschermd buitentalud (harde bekleding).

Stap 2: Toetsing conform VTV 2006
Voor de controle op macro-instabiliteit van het buitentalud wordt verwezen naar §4.5 en het VTV 2006, katern 5 §4.2.4. Hierbij dient te worden uitgegaan van de toetsingsmethode voor bovenrivierdijken. Bij het gedetailleerd toetsen is de vereiste schadefactor afhankelijk van de normfrequentie van de waterkering. De waarden van de schadefactor γ_n zoals deze geldt voor de stabiliteit van het binnentalud (zie Tabel 4.2) dient te worden aangehouden als minimaal benodigde stabiliteitsfactor.

Om de controle van de stabiliteit van het buitentalud na een val te kunnen maken, dient een inschatting te worden gemaakt van de mate waarin de waterstand kan dalen. De grootte van daling hangt uiteraard sterk af van de reden waarom deze situatie moet worden beschouwd. Indien de noodzaak volgt uit het:

1. denkbaar bezwijken van een kering elders langs de rivier kan de resulterende val snel en aanzienlijk zijn (afhankelijk van de afstand van de doorbraak tot het beschouwde dijkvak);
2. kunnen optreden van een 2de hoogwatergolf zal de grootte en snelheid van de daling geringer zijn, en kan deze mogelijk worden afgeleid uit de studie behorende bij de normering van de waterkering.

Per situatie dient te worden vastgesteld om welke reden dit faalmechanisme dient te worden beschouwd, waarna vervolgens de bijbehorende grootte en snelheid van de daling van de waterstand dient te worden afgeleid.

6.3.8 MICROSTABILITEIT

De beoordeling kan worden uitgevoerd volgens het toetsspoor voor primaire keringen in de VTV 2006. Voor de controle op micro-instabiliteit wordt verwezen naar hoofdstuk 4.6 en het VTV 2006, katern 5 §4.2.5.

6.3.9 BEKLEDING

Voor de controle op de bekleding wordt verwezen naar het VTV katern 8. Voor de duur van de storm kan worden uitgegaan van 12 uur.

6.3.10 STABILITEIT VOORLAND

Beoordeling van het voorland kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 6.6 worden uitgevoerd.

FIGUUR 6.6 BEOORDELING VOORLAND



Stap 1: Controle op geul in voorland

De stabiliteit van het voorland dient uitsluitend te worden getoetst indien zich een geul bevindt met een diepte van ten minste 9 m. Dit zal voor veel regionale rivieren niet het geval zijn. Mocht er in het voorland wel een geul van meer dan 9 m diepte aanwezig zijn, dan dient stap 2 te worden uitgevoerd.

Stap 2: Toetsing conform VTV 2006

Indien uit stap 1 blijkt dat er een geul van 9 m diepte in het voorland aanwezig is, dient de toetsing te worden uitgevoerd volgens de beschrijving in het VTV 2006 (Katern 9).

FOTO 6.2 REGIONALE RIVIER



7

COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

7.1 FUNCTIES EN KENMERKEN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

7.1.1 FUNCTIES

Compartimenteringskeringen hebben als waterstaatkundige hoofdfunctie het beschermen van het achterliggend gebied tegen overstroming nadat het voorliggende gebied is overstroomd, danwel het beperken van de gevolgen van een overstroming na het falen van de hoofdwaterkering. Daarnaast kunnen compartimenteringskeringen ook andere functies hebben, zoals het afleiden van overstromingswater of vertragen van de overstroming, als (vlucht-) weg of recreatiegebied.

De compartimenteringskeringen kunnen in de volgende categorieën worden verdeeld.

- “Droge” compartimenteringskeringen
  ”Droge” compartimenteringskeringen zijn 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
  Deze categorie compartimenteringskeringen vormen de keringen die wel water keren. Deze “natte” compartimenteringskeringen bestaan over het algemeen uit twee keringen met daartussen water, zoals kanaaldijken, boezemkaden of regionale rivierdijken, die tevens zijn aangewezen als compartimenteringskeringen. 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.

In deze Leidraad wordt uitsluitend de waterkerende functie van een compartimenteringskering (het keren van water door een overstroming van het voorliggend gebied) getoetst. Het is daarbij denkbaar dat het in de praktijk wenselijk is de veiligheid van een kering tevens te beoordelen ten aanzien van de overige functies. Belangrijke beperking daarbij is dat sommige functies mogelijke strengere eisen stellen of bepaalde benaderingen niet toestaan. Zo zal bijvoorbeeld voor een evacuatiefunctie waarschijnlijk strengere eisen worden gesteld aan de optredende vervorming van een kering en lijkt een reststerkte benadering bij een gedeeltelijke afschuiving van de kering niet acceptabel. Vanwege de mogelijk afwijkende eisen bij de toetsing van de veiligheid bij de overige functies, wordt benadrukt dat de beoordelingssporen in deze Leidraad zich uitsluitend richten op de waterkerende functie. Voor de natte compartimenteringskeringen die een dubbelfunctie hebben geldt ook dat deze uitsluitend wordt getoetst als compartimenteringskering.

7.1.2 KENMERKEN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Compartimenteringskeringen worden vrijwel nooit als compartimenteringskering belast, zodat ervaring met het werkelijk waterkerend vermogen ontbreekt. In de verschillende paragrafen zijn zodoende specifieke aandachtspunten voor het toetsen van de waterkerende functie van droge of compartimenteringskeringen beschreven. Hierbij is onder andere ingegaan op aandachtspunten ten aanzien van de sterkte van droge of verdroogde waterkeringen en het ontbreken van gegevens over de werkelijke (bewezen) sterkte van de keringen. Bij het formuleren van de aandachtspunten is de huidige stand van de kennis benut. Per aandachtspunt is een algemene paragraaf opgesteld. Zonodig is ook per toetsspoor aangegeven hoe de aandachtspunten in rekening kunnen worden gebracht bij het uitvoeren van de toetsing. Tevens zijn enkele kennisleemten aangegeven.

Verder is het mogelijk dat een compartimenteringskering, afhankelijk van de doorbraaklocatie, water van beide zijde moet kunnen keren (in verschillende situaties).

7.1.3 OPBOUW AARDEBANEN VAN WEGEN EN SPOORWEGEN

Aardebanen van wegen en spoorwegen worden in het algemeen opgebouwd met zand. Het zand wordt laagsgewijs aangebracht totdat de gewenste hoogte is bereikt. Als eerste laag wordt vaak een drainzandlaag aangebracht. Deze drainzandlaag wordt aangebracht om grondwater dat uit de samendrukbare ondergrond wordt geperst als gevolg van de belasting van de aardebaan op de ondergrond, af te voeren naar de sloten. De drainzandlaag bestaat uit grof goed doorlatend zand. De taluds van aardebanen worden afgewerkt met teelaarde om verstuiven van zand te voorkomen en begroeiing op de aardebanen te bevorderen. Deze teelaarde is vaak locaal aanwezige grond van het betreffende project. De teelaardelaag is vaak circa 0,5 m dik. Aan de teelaarde worden geen eisen ten aanzien van de waterkerende functie (o.a. erosiebestendigheid) gesteld.

Bij grotere infrastructuurprojecten worden aardebanen vaak gerealiseerd door zand op te spuiten. Ook dan wordt het zand laagsgewijs aangebracht totdat de gewenste hoogte is bereikt. In zandlichamen waarvan het zand is opgespoten, kunnen stoorlaagjes voorkomen. Deze stoorlaagjes bestaan uit fijner materiaal. Door de stoorlaagjes kan de verticale doorlatendheid van het zandlichaam relatief laag zijn (lager dan de horizontale doorlatendheid). Als gevolg van de stoorlaagjes kunnen zich schijngrondwaterspiegels vormen in het zandlichaam.

In zandlichamen van (spoor-) wegen kan zand met een losse pakking voorkomen. De losse pakking van het zand kan het gevolg zijn van een niet optimale verdichting van het zand tijdens de realisatie van het project. De losse pakking kan ook het gevolg zijn van vervorming van het zandlichaam en de ondergrond. Zand met een losse pakking heeft een lagere mobiliseerbare schuifsterkte dan vastgepakt zand. De pakking van het zand van aardebanen van wegen en spoorwegen is dus een belangrijk gegeven voor het uitvoeren van stabiliteitsanalyses.

Soms worden aardebanen van wegen of spoorwegen of delen van aardebanen uitgevoerd in EPS (polystyreenschuim). EPS-constructies worden toegepast om de zetting van de aardebaan te verminderen. Vooral in zettingsgevoelige gebieden (veenweidegebieden) wordt deze techniek toegepast. EPS-constructies kunnen niet zonder meer fungeren als compartimenteringskeringen, omdat EPS-constructies kunnen gaan drijven.

7.2 BELASTINGEN

Voor de belastingen op compartimenteringskeringen wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Hieronder worden specifieke aspecten voor compartimenteringskeringen met betrekking tot belastingen behandeld.

7.2.1 BELASTINGSITUATIES

De belastingsituaties zijn algemeen beschreven in §3.2. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op specifieke aspecten met betrekking tot de belastingsituaties bij compartimenteringskeringen.

BELASTINGSITUATIE 'HOOGWATER'

De belastingsituatie 'hoogwater' is de situatie in de bestaande gangbare praktijk bij het beoordelen van de waterkerende veiligheid van waterkeringen. Hierbij wordt uitgegaan van een combinatie van hoge waterstand, hoge windgolven, windopzet en veel neerslag, maar ook de situatie direct na de hoge buitenwaterstand.

Tijdens een hoogwatersituatie kan wel sprake zijn van een sterk onverzadigd dijklichaam en onverzadigde bovengrond in het voor- en achterland, met name wanneer de waterstand tijdens de overstroming snel stijgt. Deze situatie treedt dan op bij aanvang van de overstroming (zie ook 7.2.3). Klei in deze onverzadigde zone is dan sterk verbrokkeld, wat nadelig is voor de sterkte – eigenschappen. Het kan zodoende verstandig zijn om (steekproefsgewijs) voor de hoogwatersituatie een onverzadigd dijklichaam te beschouwen. Voor specifieke uitgangspunten ten aanzien van de beschouwing van de schematisering van een onverzadigd of verdroogd dijklichaam en het effect van droogte op het volumiek gewicht wordt verwezen naar §3.1 en bijlage 3. Benadrukt wordt dat deze situatie niet de situatie droogte betreft, maar een aanvullende situatie binnen de belasting hoogwater. Hieronder wordt verstaan:

- maatgevend hoogwater in het overstroomde compartiment;
- een onverzadigd / verdroogd dijklichaam (lage freatische grondwaterstand);
- gereduceerde sterkte – eigenschappen van de grondlagen in de onverzadigde zone (laag / droog volumiek gewicht en eventueel aanpassing van de cohesie en hoek van inwendige wrijving).

BELASTINGSITUATIE 'DROOGTE'

Een compartimenteringskering functioneert alleen wanneer sprake is van een overstroming. In het betreffende compartiment is dan sprake van een hoogwatersituatie. 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 overstroomd compartiment (= hoogwatersituatie) in combinatie met een verdroogd dijklichaam en achterland door droogte. De kans op deze combinatie is echter zeer klein, en kan gezien worden als een boven – normatieve situatie.

Zodoende vormt de belastingsituatie droogte geen bedreiging voor compartimenterings-keringen.

7.2.2 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De hydraulische randvoorwaarden kunnen worden bepaald volgens §3.3. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in de inundatiegebieden, de hydraulische randvoorwaarden en het schematiseren van de waterspanningen.

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.

Het inundatieniveau is mogelijk afhankelijk van eb en vloed bij doorbraak van een zeedijk. Bij de beoordeling op piping kan hier rekening mee gehouden worden door uit te gaan van gemiddeld hoogwater in plaats van het maximale inundatieniveau.

PEIL ACHTERLAND

Het peil in het achterland varieert afhankelijk van verschillende factoren. Als het peil in het achterland wordt gereguleerd dan kan sprake zijn van een streefpeil. Het werkelijke peil zal dan veelal binnen een relatief beperkte bandbreedte variëren tussen een maatgevend laag peil en een maatgevend hoogpeil. Indien geen sprake is van regulering van het peil in het achterland zal het peil afhankelijk zijn van natuurlijke omstandigheden en vaak binnen een grotere bandbreedte variëren.

Bij beoordeling van piping in de hoogwatersituatie kan worden uitgegaan van het streefpeil of van het gemiddelde peil indien geen sprake is van peilregulatie. Bij macrostabiliteit van het binnentalud in de hoogwatersituatie is een hoog peil in het achterland maatgevend.

GOLVEN

Golven vormen een directe belasting op het buitentalud. Daarnaast kunnen golven overslag van water veroorzaken. De waterkeringbeheerder moet de golfrandvoorwaarden bepalen. Handreikingen zijn gegeven in de §3.3.3 en bijlage 5. Ten aanzien van de te hanteren windsnelheid gelden voor compartimenteringskeringen onderstaande aanbevelingen.

Indien de normering gebaseerd is 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.

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.

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

WINDOPZET

Bij inundatie van een gebied kan de 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 zonodig rekening gehouden te worden met een maatgevende windopzet. Voor de berekening van de lokale waterstandverhoging door opwaaiing wordt verwezen naar hiervoor geëigende rekenmodellen [o.a. LOR2 1989]. Soms is de berekende windopzet onderdeel van de overstromingsberekeningen. Ten aanzien van de te hanteren windsnelheid gelden de aanbevelingen zoals bovenstaand beschreven bij het onderdeel windgolven.

7.2.3 SCHEMATISERING WATERSPANNINGEN

Voor een gedetailleerde of geavanceerde toetsing is een goede inschatting van het freatisch vlak en de stijghoogten noodzakelijk. Vooral bij droge compartimenteringskeringen en aardebanen als compartimenteringskering kunnen de waterspanningen een grote variatie in de resultaten opleveren.

FREATISCHE LIJN

De freatische lijn van natte compartimenteringskeringen kan bepaald worden aan de hand van §3.4. Bij droge compartimenteringskeringen is het verloop van de freatische lijn vaak minder duidelijk te bepalen. Dit wordt hieronder uiteengezet.

Onder normale omstandigheden keren (droge) compartimenteringskeringen geen water. Zodoende zal overwegend sprake zijn van een droog dijklichaam, aangezien de kering beschouwd kan worden als een plaatselijke verhoging in het landschap waarbij de freatische lijn niet wordt gevoed door open water dat tegen de kering staat. Dit geldt tevens voor veel primaire keringen. Voor sommige dijken geldt echter dat het freatisch vlak onder gemiddel-

de omstandigheden al heel hoog ligt. Dit betreft overwegend slecht doorlatende klei- of veendijken, of dijken met een breed grondlichaam. Het is daarbij mogelijk dat het freatisch vlak in normale omstandigheden al hoger ligt dan dat het freatisch vlak bij een eventuele inundatie zou kunnen worden. Het niveau van het freatisch vlak wordt bepaald door de breedte van de dijk, materiaaleigenschappen van de dijk en van de ondergrond en de aanwezigheid van sloten. Het niveau van het freatisch vlak kan op eenvoudige wijze worden bepaald met de formule van Dupuit. De formule van Dupuit is een eenvoudige formule, waarmee op basis van de gemiddelde waterstanden ter weerszijden van de kering, het gemiddelde neerslagdebiet, de doorlatendheid van het materiaal van de kering en het niveau van de ondoorlatende bodem de gemiddelde hoogteligging van het freatisch vlak kan worden geschat. Uitgangspunt hierbij is dat het volledige neerslagdebiet infiltreert. Wanneer het niveau van het freatisch vlak wordt bepaald, kan meteen een uitspraak worden gedaan over de omvang van de gestructureerde zone in de dijk (zie bijlage 7).

De freatische lijn tijdens het keren van water is moeilijk vast te stellen. Een dergelijke situatie treedt zelden of nooit op, metingen zullen normaliter niet beschikbaar zijn. Bijkomend probleem is dat slechts met beperkte nauwkeurigheid te voorspellen is hoe de freatische lijn in een droge kering zich zal ontwikkelen als er water tegen de kering staat. Door scheuren of doorlopende poriën in de grond kan de kering in korte tijd geheel verzadigd raken. Een conservatieve aanname van de ligging van de freatische lijn bij compartimenteringskeringen tijdens de belastingsituatie ‘hoogwater’ is uitgaan van een volledig verzadigde dijk tot op inundatieniveau.

Gedurende de langdurige overstroming treedt een verzadiging van het aanvankelijk droge dijklichaam op. Zowel de droge als verzadigde situatie kan maatgevend zijn, dit is afhankelijk van de lokale situatie en bijvoorbeeld de aanwezigheid van veen in de kering of de ondiepe ondergrond. Teneinde de veiligheid van de kering gedurende de gehele overstroming juist te beoordelen, dienen zowel een situatie met een droog als verzadigd dijklichaam te worden beschouwd bij de relevante faalmechanismen (piping en macrostabiliteit binnenwaarts).

Het freatisch vlak in aardebanen van wegen en spoorwegen bereikt bij een situatie met een hoge waterstand tegen de aardebaan zeer snel een stationaire toestand, omdat deze aardebanen vaak uit zand bestaan. De veilige schematisaties uit de VTV kunnen hiervoor worden toegepast [Delft Cluster 2003a]. Het is hierbij verstandig niet te vertrouwen op het functioneren van drainageconstructies in de aardebaan. De drainageconstructies worden vooral aangelegd voor het afvoeren van water tijdens de bouwfase. In de gebruiksfase worden drainageconstructies meestal niet onderhouden.

Voor het freatisch vlak van een binnendijk die is opgebouwd in klei of veen wordt bij een situatie met een hoge waterstand tegen de dijk de stationaire toestand ook snel bereikt. De structuurvorming in de klei boven het gemiddelde niveau van het freatisch vlak zorgt ervoor dat de doorlatendheid van de klei hoog is. In de kluiten zelf past de waterspanning zich niet snel aan de verandering van de waterspanning in de scheuren tussen de kluiten aan. Voor stabiliteitsanalyses waarin grotere glijvlakken worden beschouwd, is dit echter minder relevant. De ontwikkeling van de waterspanning in de dijk als gevolg van een hoge waterstand tegen de dijk is afhankelijk van de geometrie en de materiaaleigenschappen van de klei of het veen in de dijk.

Indien in de kering of de ondergrond veen of sterk humeuze klei aanwezig is, dient bij de beschouwing van een droog dijklichaam uit te worden gegaan van een verdroogde situatie: een lage grondwaterstand in de kering (zie §3.2.2). Hoofdstuk 3 bevat enkele aanwijzingen voor de schematisering van de freatische grondwaterstand voor een verdroogde situatie.

OPWAARTSE WATERDRUK ONDERKANT DEKLAAG

Inundatie van het voorgelegen gebied kan leiden tot een hogere stijghoogte in de zandlagen in de ondergrond ter plaatse van de kering en het achterland. De schematisering van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag is bij compartimenteringskeringen niet anders dan bij primaire en regionale waterkeringen.

Belangrijke vraag bij de schematisering is of zandlagen en/of het watervoerende pakket onder het voorgelegen geïnundeerd gebied kortsluiting maken met het inundatiewater en of deze zandlagen onder de compartimenteringskering doorlopen naar het achterland. Deze vraag is vaak moeilijk te beantwoorden door middel van metingen, een dergelijke situatie treedt immers onder normale omstandigheden niet op. Een conservatieve aanname is dat er sprake is van een hydraulische kortsluiting tijdens inundatie van het voorliggend gebied.

Een punt van aandacht is de aanpassing van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag bij een inundatie van een gebied waar een ondoorlatende deklaag aanwezig is. Door het gewicht van het water dat in een gebied instroomt bij een inundatie neemt de stijghoogte in de watervoerende zandlaag toe. Deze toename van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag is gelijk aan de waterstand in het geïnundeerde gebied. De verhoging van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag in een geïnundeerd gebied leidt aan de rand van het geïnundeerde gebied (dus bij de compartimenteringskering) tot dissipatie van waterdruk in de watervoerende zandlaag. Als gevolg hiervan neemt de stijghoogte in de watervoerende zandlaag achter de compartimenteringskering ook toe. In deze situatie is er geen direct contact tussen het water in het geïnundeerde gebied en de watervoerende zandlaag en toch wordt de stijghoogte in de watervoerende zandlaag beïnvloedt door het water in het geïnundeerde gebied. De grootte van de verhoging is afhankelijk van enerzijds de snelheid van de stijging van het waterpeil in het overstroomde compartiment en anderzijds de weerstand van afdekkende klei- en veenlagen in het voor- en achterland en de transmassiviteit van de zandlagen cq. het watervoerende pakket. De theorie van de ontwikkeling van de stijghoogte in een watervoerende zandlaag in situaties met een slecht doorlatende deklaag aan de buitenzijde van een waterkering wordt beschreven in [TRW 2004].

De stijghoogte in deze zandlagen kan dusdanig hoog zijn, dat de opwaartse waterdruk vanuit het zand de deklaag aan de achterzijde van de kering doet opdrijven of opbarsten. Door opdrijven of opbarsten kan er piping ontstaan. Daarnaast heeft opdrijven of opbarsten een negatief effect op de macrostabiliteit van de dijk.

SCHEMATISATIE WATERSPANNINGEN BIJ STERK TIJDSAFHANKELIJKE WATERSTANDEN

Bij de eenvoudige toetsing wordt voor de schematisering van waterspanning in en rondom waterkeringen uitgegaan van een stationaire waterstand voor de dijk. Dit leidt ertoe dat waterspanningen worden overschat als een waterkering slechts tijdelijk water keert. Dit is in sommige situaties het geval bij compartimenteringskeringen, met name in het kustgebied door de getijbeweging van het buitenwater.

In dergelijke gevallen wordt verwezen naar §4.5.2 van het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TRZW 1999]. Hierin wordt het volgende aanbevolen:
"Hoewel theoretisch goed onderbouwde rekenmodellen ontbreken om de invloed van fluctuaties op het erosieproces af te schatten, kan bij sterke demping nabij het uittreepunt overwogen worden om slechts een deel van de getij-amplitude in rekening te brengen bij de berekening van het aanwezige verval over de waterkering. Aanbevolen wordt om hierbij deskundigen te raadplegen."

7.3 BEWEZEN STERKTE

Bij veel waterkeringen die permanent of zo nu en dan water keren, hebben zich gedurende de levensduur van deze waterkeringen al meerdere hoge waterstanden voorgedaan. Voor sommige waterkeringen geldt zelfs dat in het verleden een hogere buitenwaterstand is opgetreden dan de huidige maatgevende waterstand (toetspeil). Voor veel andere waterkeringen geldt dat de maatgevende waterstand nog niet is opgetreden, maar wel waterstanden die bijvoorbeeld 1 m lager zijn dan de maatgevende waterstand. Wanneer hoge waterstanden optreden, levert het gedrag van de waterkering onder die omstandigheden informatie op, die voor de beheerder van belang is bij de beoordeling van deze waterkeringen. Op basis van deze informatie kan een beheerder zich een oordeel vormen over mogelijke zwakke plekken in de dijkring. Bij de toetsing op veiligheid van primaire waterkeringen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV 2006] wordt de informatie over hoge waterstanden, die door waterkeringen zijn gekeerd, gebruikt voor de toetsing. Bij alle toetssporen wordt in het VTV de vraag gesteld hoe het gedrag van de waterkering is. Het oordeel over een waterkering dat een beheerder geeft op basis van zijn ervaring met een waterkering (beheerdersoordeel) kan zelfs afwijken van het oordeel dat is verkregen door middel van onderzoek (metingen en berekeningen). Voor de geavanceerde toetsing van de verschillende faalmechanismen bestaan rekenmethoden waarmee de faalkans van een waterkering kan worden berekend, gegeven het feit dat een bepaalde hoge waterstand door een waterkering is overleefd.

Deze ervaring met bewezen sterkte ontbreekt meestal voor compartimenteringskeringen. Voor binnendijken kan soms worden teruggegaan naar gegevens van watersnoodrampen (onder andere van 1916 en 1953). Uit archiefgegevens (bijvoorbeeld verslagen en luchtfoto's) kan worden afgeleid welke infrastructuur destijds aanwezig was en welke gebieden ondergelopen zijn. Hieruit kan iets geleerd worden van het functioneren van aardebanen. Voor aardebanen van wegen en spoorwegen die in de laatste 50 jaar zijn aangelegd is deze informatie niet aanwezig. Bij de beoordeling van de waterkerende functie van deze categorie infrastructuur moet daarom enige voorzichtigheid in acht worden genomen.

7.4 BEOORDELINGSPOREN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN WATERKERENDE FUNCTIE

7.4.1 ALGEMEEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van compartimenteringskeringen zijn verzameld in Tabel 7.1. Deze beoordelingssporen dienen voor de situatie hoogwater te worden uitgewerkt. Verder geldt dat de stabiliteit van het buitentalud in veel situaties niet relevant is.
De belastingcombinaties van "natte" compartimenteringskeringen verschillen enigszins ten opzichte van de "enkele" keringen. Deze worden daarom apart behandeld in §7.4.12.

TABEL 7.1 **OVERZICHT BELANGRIJKSTE BEOORDELINGSSPOREN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN**

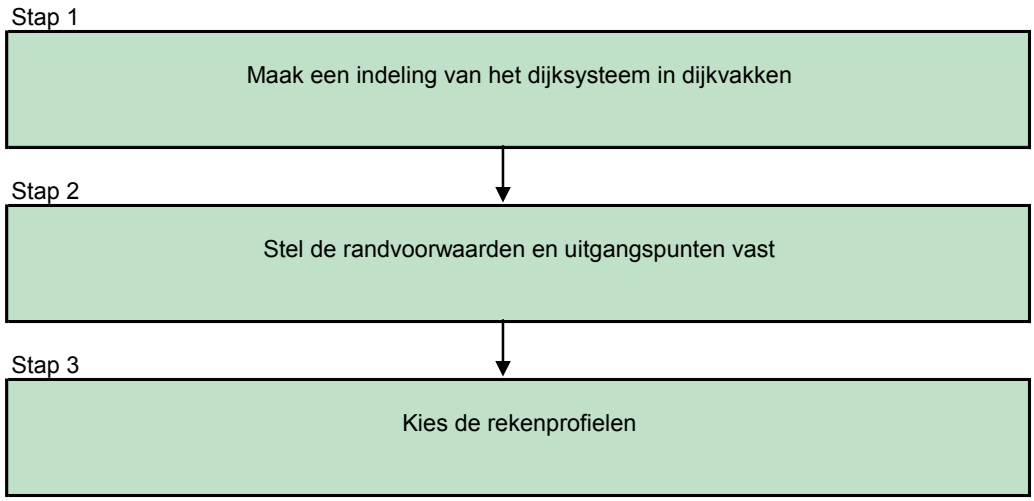
beoordelingssporen / te beoordelen mechanismen	**beoordelingsmethode**		
	Eenvoudig	**gedetailleerd**	**geavanceerd**
overlopen / overslag (HT)	analoog aan §4.2	methode VTV katern 5 §4.1 stap 2 en 3	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
Piping (STPI)	methode VTV katern 5 §4.2.2	methode VTV katern 5 §4.2.2	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit binnentalud (STBI - cirkel en hor. afsch.)	methode VTV katern 5 §4.2.3	methode VTV katern 5 §4.2.3	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit buitentalud (STBU)	Filter: noodzaak beoordeling; methode: VTV katern 5 §4.2.4	methode VTV katern 5 §4.2.4	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
microstabiliteit (STMI)	methode VTV katern 5 §4.2.5	methode VTV katern 5 §4.2.5	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
Bekleding (STBK)	methode VTV katern 8	methode VTV katern 8	state of the art kennis (niet gedefinieerd)
stabiliteit voorland (STVL)	methode VTV katern 9	methode VTV katern 9	state of the art kennis (niet gedefinieerd)

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van de kering voldoende of onvoldoende voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding “geen oordeel” resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

7.4.2 SCHEMATISERING DIJKSYSTEEM

De beoordeling van het dijksysteem start in het algemeen met het uitvoeren van de volgende inventariserende werkzaamheden volgens Figuur 7.1.

FIGUUR 7.1 **INVENTARISERENDE WERKZAAMHEDEN**



Stap 1: Maak een indeling van het dijksysteem in dijkvakken
Het indelen van het dijksysteem in dijkvakken is met name afhankelijk van:
- typering te keren water;
- typering dijk: grondopbouw, vorm en afmetingen, NWO's, etc.

Stap 2: Stel de randvoorwaarden en uitgangspunten vast
Het vaststellen van de randvoorwaarden en uitgangspunten betreffen onder andere:
- Overschrijdingsfrequentie
- Toetspeil op basis van het optredende inundatieniveau volgt uit de faalkans- en gevolg-analyses van de voorliggende (primaire) waterkeringen
- windgolven en windopzet conform §7.2.3 en §7.2.4
- peilstijging en bodemdaling (afhankelijk van de gekozen toetsperiode) conform §4.2
- polderpeil conform §3.3.2 en §7.2.2
- freatische lijn door dijk conform §5.2.2 en 7.4.2.
- opwaartse waterdruk onderkant deklaag conform §7.4.
- overige belastingen zoals verkeer conform §3.5

Stap 3: Kies de rekenprofielen
Het kiezen van de rekenprofielen dient vergezeld te zijn van motivering.

In hoofdstuk 3 en 4 is reeds ingegaan op de diverse hier genoemde aspecten die een rol spelen bij de schematisering van het (dijk)systeem. De indeling en belangrijkste randvoorwaarden en uitgangspunten kunnen bijvoorbeeld worden samengevat in een tabel als hieronder.

TABEL 7.2 OVERZICHT DIJKSYSTEEM

dijk	(dijk)-vak	reken-profiel	norm	Toets-peil	stijg-hoogte	peil achterland		peil na val	zetting+klink		NWO's, beschoei-ing
						min.	max.		kruin	teen	
A	1	1									
	2	1									
		2									
	3	1									
	4	1									
		2									
		3									
B	1	1									
	2	2									
	3	1									

N.B. (dijk-) vak kan ook kunstwerk betreffen, deze dient ook mee te worden genomen in de inventarisatie.

7.4.3 AANPAK BEOORDELINGEN

De resultaten van de beoordelingen kunnen uiteindelijk per dijkvak worden samengevat in een resultatentabel van de volgende vorm:

TABEL 7.3 **RESULTATENTABEL BEOORDELING DIJKVAK**

belasting-situatie	kortsluiting	HT	STPI	STBI		STBU	STMI
				F-cirkel	F-hor.		
hoogwater	nee	a	c	a	-	c	c
	ja	a	b	b	-	b	b
Eindoordeel							

In de tabel is met coderingen a, b, en c een aanbevolen efficiënte volgorde voor de beoordeling van de diverse mechanismen bij de onderscheiden combinaties van belastingsituatie en al dan niet optreden van kortsluiting aangegeven:

a	altijd te beoordelen
b	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting niet kan worden uitgesloten
c	aanvullend te beoordelen indien kortsluiting wel kan worden uitgesloten
-	hoeft niet, nooit maatgevend

Afhankelijk van het beschouwde mechanisme dient van een zekere set maatgevende belastingrandvoorwaarden te worden uitgegaan, en dient in samenhang daarmee de maatgevende geohydrologische schematisering te worden vastgesteld. Een overzicht hiervan op hoofdlijnen is weergegeven in bijlage 2.

Bij het uitvoeren van de beoordelingen wordt onderscheid gemaakt tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methoden van beoordeling. Uit oogpunt van efficiëntie zal normaal gesproken worden begonnen met de eenvoudige beoordelingsmethode. Levert dit geen bevredigend resultaat op, maar bestaat wel de verwachting dat met een meer precieze beoordeling wel een positief beoordelingsresultaat zal worden behaald, dan wordt een gedetailleerde of zonodig zelfs een geavanceerde beoordeling uitgevoerd.
Aangezien de benodigde inspanning om tot een oordeel te komen sterk kan toenemen met een toenemend detailniveau van de beoordeling, ligt het voor de hand om voor de gedetailleerder te beoordelen kadevakken een prioriteitenlijst vast te stellen aan de hand waarvan de fasering van deze beoordelingen ingevuld kan worden. Leidraad bij het vaststellen van een dergelijke prioriteitenlijst zijn de inschatting van het risico in de bestaande situatie alsmede de inschatting van de verwachte kosten die gemoeid zijn met de eventueel benodigde maatregelen om dit risico met een zekere maat te verkleinen.

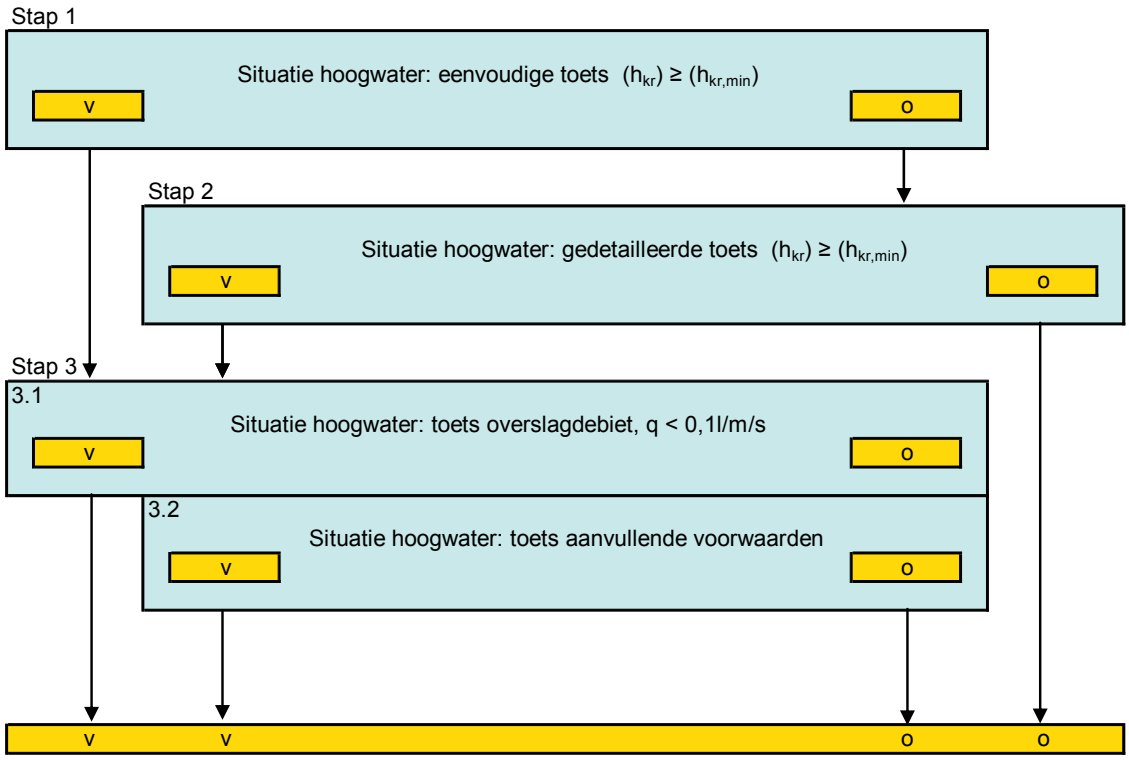
Het eindoordeel, ofwel het samenvattend toetsoordeel per mechanisme, in de onderste regel van Tabel 7.3 in te vullen, zal in belangrijke mate worden bepaald door de verwachting of kortsluiting wel of niet zal optreden. Voor de beoordeling hiervan wordt verwezen naar §3.4.2.

De beoordeling volgens het in dit hoofdstuk beschreven recept levert het technisch oordeel over de mate waarin de veiligheid tegen het optreden van de beschouwde mechanismen voldoet aan de norm. Conform de aanpak voor de toetsing van de primaire waterkeringen moet dit oordeel naast het beheerdersoordeel worden gelegd. In het geval dat beide oordelen onderling strijdig zijn, dient zonodig nader onderzoek te worden verricht.

7.4.4 OVERLOPEN / OVERSLAG

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overloop / overslag en toetscriteria wordt verwezen naar §4.2. Beoordeling van de kans op het bezwijken van de kade door het optreden van overlopen en overslag dient te worden uitgevoerd volgens het stroomschema in Figuur 7.2.

FIGUUR 7.2 BEOORDELING OVERSLAG / OVERLOOP



Stap 1: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie hoogwater met eenvoudige toets

Na inundatie van een gebied kunnen de waterdiepte (inundatiediepte) en in het bijzonder de strijklengte groot zijn. Hierdoor moet bij de beoordeling van de kruinhoogte van compartimenteringskeringen rekening worden gehouden met aanzienlijke golfoploop. Bij de uitwerking op het eenvoudige niveau wordt de benodigde golfoverslaghoogte afgeleid uit de grafieken van bijlage 6 (zie ook §4.2.3). Deze methode verwaarloost enkele gunstige aspecten, en is daarmee conservatief.

De kruinhoogte op peildatum (h_{kr}) voor deze stap kan worden bepaald volgens §4.2 en §7.2.2, rekening houdend met zetting en klink (van de ondergrond). De minimaal benodigde kruinhoogte ($h_{kr,min}$) worden volgens §4.2 en §7.2.2 vastgesteld als het toetspeil vermeerderd met de benodigde golfoverslaghoogte, waarbij de benodigde golfoverslaghoogte grafisch kan worden afgeleid van de grafieken in bijlage 6 (zie ook §4.2.3). De beoordeling bestaat uit het toetsen aan de eis $h_{kr} \geq h_{kr,min}$.

Indien de eenvoudige methode niet resulteert in een voldoende, kan een gedetailleerde methode worden uitgevoerd (stap 2). Stap 2 kan overgeslagen worden als de beoordeling van de kruinhoogte wel voldoende is.

Stap 2: Beoordeling kruinhoogte tijdens situatie hoogwater met gedetailleerde toets
Het gedetailleerde niveau vergt berekening van de golfrandvoorwaarden, waarbij nauwkeurig rekening kan worden gehouden met specifieke kenmerken van de locatie.

Mogelijkheden voor het gedetailleerde toetsen zijn:
- gedetailleerde bepaling van de verwachte kruindaling;
- gedetailleerde berekening van de golfoverslaghoogte, door het in rekening brengen van:
  - de verdeling van de wind over de verschillende windrichtingen, in combinatie met de ligging
  - van de dijk ten opzichte van de wind;
  - eventueel aanwezige gunstige kenmerken, zoals riet, een vooroever of een ruwe bekleding van het buitentalud;
- gedetailleerd vaststellen van de maatgevende windsnelheid, door rekening te houden met de lokale ruwheid van het landschap.

Voor wat betreft de aanwezigheid van een rietkraag wordt opgemerkt dat deze de grootte van de golven en daarmee de benodigde golfoverslaghoogte vermindert. Uit een globale analyse blijkt dat het effect voor de winterperiode echter gering is. Indien het gunstige effect van een rietkraag bij de toetsing in rekening wordt gebracht moet zekerheid bestaan dat de betreffende rietkraag met de aangenomen kwaliteit over het gehele kadevak aanwezig is tijdens de maatgevende condities. Bijvoorbeeld doordat een rietkraag af en toe wordt gemaaid hoeft dit niet vanzelfsprekend te zijn.

Dit toetsspoor veronderstelt het samenvallen van een maatgevend hoogwaterpeil met een extreem hoge windsnelheid. Een hoog peil wordt overwegend ook bepaald door de hoge windsnelheid en windrichting, aangezien de belangrijkste oorzaak van een toename van het toetspeil bij hogere veiligheidsniveaus de toename van de scheefstand van de boezem door opwaaiing is. Het is denkbaar dat in bijzondere situaties het optreden van toetspeil minder sterk gecorreleerd is met de windsnelheid / windrichting. In dat specifieke geval kan worden overwogen de belastingsituatie te splitsen in:
- een situatie met toetspeil en met een lagere windsnelheid;
- een situatie met een maatgevende windsnelheid en met een ‘gemiddeld’ hoog boezempeil.

De toetsing dient dan beide situaties te bevatten. De specifieke randvoorwaarden die bij de toetsing voor beide situaties gehanteerd worden (combinatie waterstand en windsnelheid / windrichting) dienen met de provincie te worden overlegd.

De beoordeling voor de gedetailleerde toets is gelijk aan de eenvoudige toets en bestaat uit het toetsen aan de eis $h_{kr} \geq h_{kr,min}$.

Stap 3.1: Beoordeling overslagdebiet tijdens situatie hoogwater
Het overslagdebiet wordt bepaald aan de hand van §4.2. Is het overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/m/s, dan voldoet de kering in situatie hoogwater aan het mechanisme overlopen en overslag. Is het overslagdebiet groter of gelijk aan 0,1 l/m/s dan wordt de beoordeling vervolgd in stap 3.2.

Stap 3.2: Beoordeling aanvullende voorwaarden bij overslagdebiet ≥ 0,1 l/m/s tijdens situatie hoogwater
Indien een overslagdebiet gelijk of groter dan 0,1 l/m/s optreedt, gelden als aanvullende voorwaarden dat:

- de bekleding van de kruin en het binnentalud als voldoende erosiebestendig moeten zijn beoordeeld;

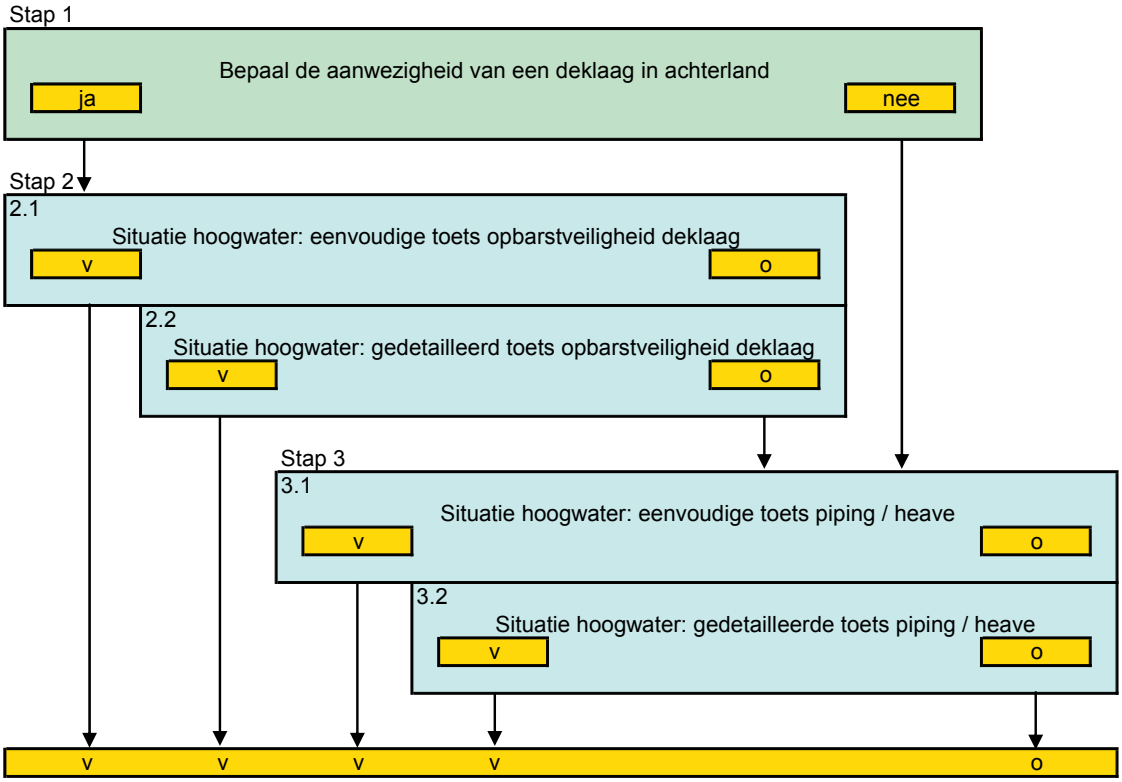
geen onaanvaardbare wateroverlast ontstaat in de polder;

- de kruin voldoende begaanbaar is, indien deze voorwaarde (lokaal) vereist is.

7.4.5 PIPING /HEAVE

Beoordeling van de piping / heave kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 7.3 worden uitgevoerd. Voor de wijze van berekenen van de opbarstveiligheid en de veiligheid tegen piping / heave wordt verwezen naar §4.3.

FIGUUR 7.3 **BEOORDELING PIPING / HEAVE**



Stap 1. Bepaling van de aanwezigheid van een deklaag in het achterland
Bij aanwezigheid van een deklaag dient de opbarstveiligheid van deze deklaag te worden gecontroleerd in stap 2. In de overige gevallen is het bepalen van de opbarstveiligheid niet nodig en kan verder worden gegaan met stap 3.

Stap 2.1 Beoordeling opbarstveiligheid eenvoudige methode
Bij toepassing van de eenvoudige methode wordt het gewicht van de deklaag vastgesteld conform §4.3.2. De stijghoogte in de eerste watervoerende laag wordt gelijk verondersteld aan het toetspeil, uitgaande van optreden van kortsluiting (conservatieve benadering) en volledige respons van de stijghoogtepotentiaal in de gehele watervoerende laag. Er dient een opdrukveiligheid van 1,0 te worden gehanteerd.

Stap 2.2 Beoordeling opbarstveiligheid gedetailleerde methode

Toepassing van de gedetailleerde methode komt neer op met name aanscherping van de veronderstelde maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk in de watervoerende laag onder het slappe lagenpakket. Hierbij is het van belang onderscheid te maken tussen de situatie zonder en met optreden van een hydraulische kortsluiting.

- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting met voldoende waarschijnlijkheid kan worden uitgesloten, vormt vaststelling van de hydrologische uitgangssituatie de basis voor vaststelling van de maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk. Op basis van statistische analyse van gemeten stijghoogten (afkomstige van grondwaterkaarten en/of directe metingen) kan dan deze maatgevende waarde van de opwaartse waterdruk worden bepaald. Hierbij dient overigens nog wel rekening te worden gehouden met onzekerheden aangaande mogelijke toekomstige veranderingen in de geohydrologische situatie, bijvoorbeeld door wegvallen van een 'permanente' diepe grondwateronttrekking, of door aanleg van een zandwinput. Uitgangspunten aangaande dergelijke onzekerheden moeten in overleg met de beheerder worden vastgesteld.
- Indien het optreden van hydraulische kortsluiting niet uitgesloten kan worden neemt de stijghoogte toe tot maximaal het heersende peil op de rivier. De in dat geval daadwerkelijk te verwachten stijghoogte kan veelal nog aanzienlijk worden aangescherpt op basis van een geohydrologische analyse.

Het overzicht van de berekende veiligheid tegen opdrijven / opbarsten kan worden samengevat in Tabel 7.4. Daarbij wordt opgemerkt dat de waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting sterk bepalend is voor het uiteindelijke resultaat en daarmee dus de relevantie van de verschillende regels in de tabel.

TABEL 7.4 **BEOORDELING OPDRIJF- / OPBARSTVEILIGHEID**

situatie	**kortsluiting**	**n (gewicht deklaag / opwaartse druk tegen onderkant deklaag)**		
		maaiveld	**sloot**	**sloot + 2D**
hoogwater	nee			
	ja			

Voor de criteria waaronder het optreden van kortsluiting weinig waarschijnlijk mag worden verondersteld wordt verwezen naar §3.4.2.

Stap 3.1 Beoordeling piping / heave eenvoudige methode

Voor de beoordeling van de veiligheid tegen het optreden van piping wordt de volgende getrapte aanpak aanbevolen:

1. De aanwezige kwelweglengte uitgaande van intreepunt ter plaatse van buitenteen (kortsluiting) is voldoende. Uitgaande van de pipingregel van Bligh moet gelden: $L > C_{creep}$ (ΔH-0,3d), zie Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TRZW 1999]. Daarbij wordt uitgegaan van geen intreeweerstand langs het kortsluitkanaal.
2. Aantonen dat er geen intreepunt zal ontstaan, ofwel dat kortsluiting kan worden uitgesloten. Hiervoor wordt verwezen naar §3.4.2.

Stap 3.2 Beoordeling piping / heave gedetailleerde methode

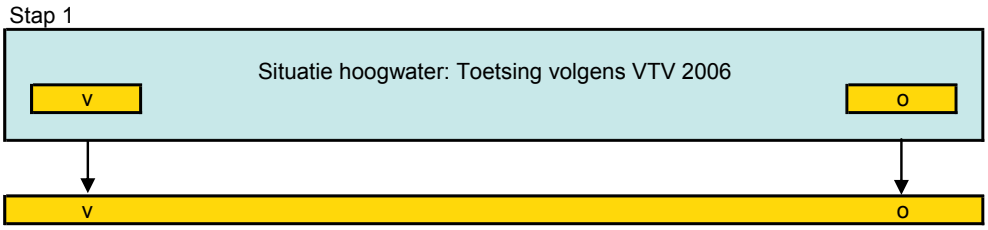
De gedetailleerde methode omvat de volgende aanvulling van de getrapte aanpak:

1. Bepalen van de korrelverdeling van het zand onder de deklaag en aanpassen van de waarde van C_{creep} of toepassen van de rekenregel van Sellmeijer.
   Controle, door middel van een grondwaterstromingsberekening, of onder maatgevende omstandigheden het uittreeverhang kleiner is dan het kritieke verhang (waarbij voor verticale uittreding in beginsel kan worden uitgegaan van een waarde van het kritieke verhang icr = 0,5). Van verticale uitstroming in een kwelsloot kan bijvoorbeeld worden uitgegaan als hier een (korte) damwand / beschoeiing is toegepast.

7.4.6 MACROSTABILITEIT BINNENTALUD

Beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 7.4 worden uitgevoerd.

FIGUUR 7.4 BEOORDELING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD



Stap 1: Beoordeling hoogwatersituatie

Voor de controle op macro-instabiliteit van het binnentalud in de hoogwatersituatie wordt verwezen naar het VTV 2006 katern 5 §4.2.3.

Conform de VTV 2006 kan voor de beoordeling van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts een geometrische toetsing worden uitgevoerd. Deze geometrische toetsing is bedoeld voor waterkeringen die in hoogte of breedte zijn overgedimensioneerd. Met behulp van een aantal grafieken kan worden beoordeeld of de resterende kruinbreedte na een binnenwaartse afschuiving voldoende is. Deze aanpak is voor compartimenteringskeringen ook toepasbaar.

Bij het gedetailleerd toetsen dient voor de schadefactor voorlopig een waarde van 1,0 te worden aangehouden (zie ook §4.4.2).

Daarnaast is in bijlage 7 meer informatie verzameld over de schuifsterkte-eigenschappen van verschillende uitgedroogde materialen.

Na toetsing kunnen de lege vakken in de volgende tabel worden ingevuld. Daarbij zal afhankelijk van de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting, en daarmee sterk samenhangend de (on)waarschijnlijkheid van het optreden van opdrijven of opbarsten, in beginsel maar een deel van de cellen ingevuld hoeven te worden.

TABEL 7.5 **VOORBEELD TABEL RESULTATEN TOETSING MACROSTABILITEIT BINNENTALUD COMPARTIMENTERINGSKERINGEN**

situatie	kortsluiting	Stabiliteitsfactor F, γ					
		Bishop (glijcirkel)		Drukstaafmethode		Hor. afschuiven	
		met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer	met verkeer	zonder verkeer
hoogwater	nee						
	ja						

7.4.7 MACROSTABILITEIT BUITENTALUD

Algemeen

Macro-instabiliteit van het buitentalud kan ontstaan door een snelle val van de buitenwaterstand en een relatief hoog freatisch vlak in de kering. Een snelle val van de waterstand kan verschillende oorzaken hebben:

1. getijdenwerking door eb en vloed;
2. snelle afname van de windopzet door veranderende windsnelheid en/of –richting.

Daarnaast kan macro-instabiliteit van het buitentalud worden veroorzaakt door extreme belastingen, bijvoorbeeld door zwaar verkeer.

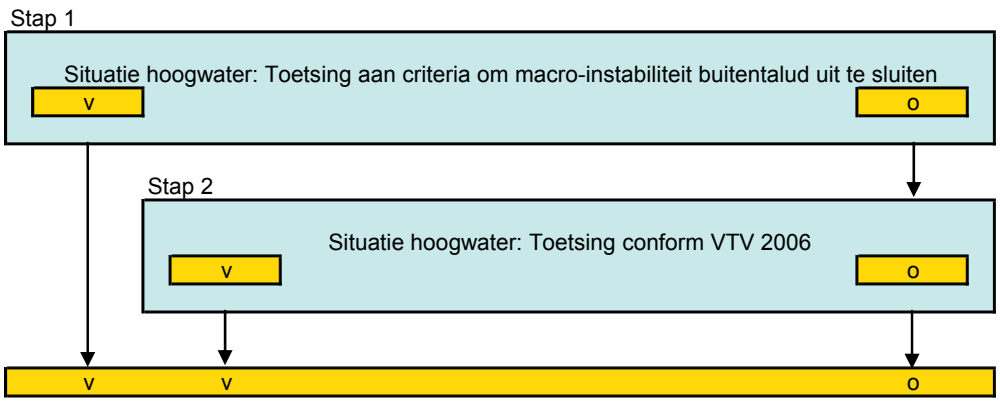
Ad.1: In het kust gebied kan door getijdenwerking steeds een betrekkelijke snelle fluctuatie in de waterstand optreden. De grootte van de fluctuatie is afhankelijk van de verhouding van de grootte van de bres / het stroomgat en de oppervlakte van het overstroomde compartiment.

Ad.2: Bij grote compartimenten met een forse strijklengte kan een aanzienlijke windopzet optreden. Bij een verandering van de windrichting of het snel afnemen van de windsnelheid, kan de windopzet in korte tijd verdwijnen.

Beoordeling

Beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 7.5 worden uitgevoerd.

FIGUUR 7.5 **BEOORDELING MACROSTABILITEIT BUITENTALUD**



Stap 1: Toetsing aan criteria om macro-instabiliteit buitenwaarts uit te sluiten
Een snelle val van de waterstand is voor compartimenteringskeringen buiten het kustgebied overwegend weinig waarschijnlijk. Het lijkt onwaarschijnlijk dat het water in korte tijd uit het overstroomde compartiment verdwijnt.

Beoordeling van de macrostabiliteit buitentalud kan achterwege blijven indien:
- bij een doorbraak van een compartimenteringskering elders langs het compartiment een snelle daling van de waterstand onwerkelijk is, bijvoorbeeld doordat:
  - het achterliggende compartiment een kleine berging heeft ten opzichte van het overstroomde compartiment;
  - voldoende aanvoer van water kan optreden;
- in het compartiment geen sprake is van een fluctuatie van de waterstand door getijdenwerking, of de fluctuatie is gering (< 1,5 m);
- de eventuele maximale windopzet gering is, vooralsnog bijv. minder dan 1,5 m.
- De beoordeling behoeft evenmin te worden uitgevoerd indien sprake is van een hoog voorland of hoog achterland (= maaiveldniveau hoger dan het toetspeil).

Stap 2: Toetsing conform VTV 2006
Voor de controle op macro-instabiliteit van het buitentalud wordt (voorlopig) verwezen naar het VTV katern 5 §4.2.4. Ga hierbij uit van de toetsingsmethode voor bovenrivierdijken. Bij het gedetailleerd toetsen dient voorlopig een schadefactor van 1,0 te worden aangehouden zoals ook bij stabiliteit binnentalud (§7.4.6), tenzij de provincie een andere schadefactor voor de betreffende compartimenteringskering heeft bepaald.

Om de controle van de stabiliteit van het buitentalud na een val te kunnen maken, dient een inschatting te worden gemaakt van de mate waarin de waterstand kan dalen. De grootte van daling hangt uiteraard sterk af met de veronderstelde oorzaak:
- een doorbraak van een kering elders
- getijdenwerking;
- afname van de windopzet.

Per situatie dient te worden vastgesteld om welke reden dit faalmechanisme dient te worden beschouwd, waarna de bijbehorende grootte van de daling van de waterstand kan worden afgeleid.

7.4.8 MICROSTABILITEIT
Het faalmechanisme microstabiliteit kan alleen optreden als er in de kering zand aanwezig is. Bij keringen bestaande uit klei of veen is microstabiliteit niet relevant. Microstabiliteit is daarom vooral van belang bij de beoordeling van aardebanen van wegen en spoorwegen, die veelal uit zand bestaan.

Het freatisch vlak in aardebanen van wegen en spoorwegen bereikt zeer snel een stationaire toestand, omdat deze aardebanen vaak uit zand bestaan. De veilige schematisaties uit de VTV [VTV 2006] kunnen hiervoor worden toegepast. Het uittredepunt volgens de veilige schematisaties kan ook als uitgangspunt voor de beoordeling van microstabiliteit worden gehanteerd. Omdat aardebanen van (spoor-) wegen vaak breed zijn, is het verhang van het freatisch vlak klein. Hierdoor treedt niet of nauwelijks erosie op. Gevaar voor micro-instabiliteit is daarom over het algemeen gering. Indien toch erosie zou optreden, zijn de aardebanen vaak zo breed, dat de erosie niet tot falen van de waterkerende functie leidt. Bij smalle aardebanen van zand

kan micro-instabiliteit dus wel een gevaar vormen |Delft Cluster 2003a|. Het schadeprofiel dat ontstaat als gevolg van erosie bij een talud kan worden bepaald volgens de VTV 2006.

Bij de aanleg van aardebanen van wegen en spoorwegen wordt als eerste laag vaak een drainzandlaag aangebracht. Wanneer een aardebaan bij een inundatie een waterkerende functie moet vervullen, kan de opbouw van waterspanning in de aardebaan zeer snel verlopen als gevolg van de hoge doorlatendheid van deze drainzandlaag. Mogelijk zijn de debieten en stroomsnelheden in de drainzandlaag zelfs zo groot, dat uitspoeling van deeltjes plaats vindt (interne erosie).

De beschouwde drainageconstructies worden vooral aangelegd voor het afvoeren van water tijdens de bouwfase. In de gebruiksfase worden drainageconstructies niet altijd onderhouden of geïnspecteerd. Zodoende ontbreekt vaak inzicht in het functioneren van een drainageconstructie. Daartegenover geldt echter dat sommige drainageconstructies gedurende tientallen jaren goed zijn blijven functioneren zonder enige vorm van onderhoud.

Indien informatie over het functioneren van de drainageconstructie ontbreekt, is het bij de toetsing van aardebanen op microstabiliteit verstandig om:

- niet te vertrouwen op het goed functioneren van de drainageconstructie, indien dit functioneren een gunstige invloed heeft op de toetsing, bijvoorbeeld een veronderstelde verlaging van de freatische lijn in het grondlichaam;
- niet te vertrouwen op het niet meer functioneren van de drainageconstructie, indien dit functioneren een ongunstige invloed heeft op de toetsing, bijvoorbeeld de snelle opbouw van waterspanningen binnen het grondlichaam.

BEOORDELING

Voor de controle op micro-instabiliteit wordt (voorlopig) verwezen naar §4.6.

7.4.9 BEKLEDING

ALGEMEEN

De belasting op de bekleding van compartimenteringskeringen kan zeer hoog zijn. Bij een eventuele inundatie van een gebied kan de waterdiepte (inundatiediepte) en de wateroppervlakte (strijklengte) groot zijn. Hierdoor kan een aanzienlijke golfbelasting op het buitentalud van een compartimenteringskering optreden. Bij een eventuele inundatie van een gebied kan bij een compartimenteringskering ook sprake zijn van een groot debiet door overslag of overlopen van de kering. Door dit grote debiet wordt de bekleding op de kruin en op het binnentalud van de kering zwaar belast.

De bekleding zelf zal vaak van matige of slechte kwaliteit zijn. Het beoordelen van de kwaliteit van de bekleding van compartimenteringskeringen is daarom een van de belangrijkste onderdelen van de toetsing van deze keringen. Bij buitentaluds gaat het om de toetsing op erosie door golfbelasting. Bij binnentaluds gaat het om de toetsing van erosie en afschuiven van de bekleding door overslag of overloop.

GRASBEKLEDING

Bij de beoordeling van de grasbekledingen van aardebanen van wegen- en spoorwegen op erosie zal vaak blijken, dat deze bekledingen een matig tot slechte erosiebestendigheid hebben |Delft Cluster 2003b|. Het zandgehalte van het talud bedraagt vaak meer dan 50%. Daarnaast is het beheer van het gras niet gericht op het verkrijgen van een sterke graszode.

Bij aardebanen van wegen- en spoorwegen is geen bescherming bij de teen van de taluds aanwezig. Als sprake is van langsstromend water kan juist bij de teen van taluds veel erosie optreden.

Ten aanzien van de bekleding van taluds van aardebanen moet ook rekening worden gehouden met afschuiven van de bekleding. De taluds van aardebanen van wegen- en spoorwegen worden afgewerkt met teelaarde om verstuiven van zand te voorkomen en begroeiing op de aardebanen te bevorderen. Deze teelaarde is vaak locaal aanwezige grond van het betreffende project. De teelaardelaag is vaak circa 0,5 m dik. Aan de teelaarde worden geen eisen ten aanzien van de waterkerende functie gesteld. Wanneer de taludbekleding afschuift, kan het zand van de aardebaan gemakkelijk eroderen.

Binnendijken kunnen eveneens een matig tot slechte kwaliteit graszode hebben. Het materiaal van de dijk zal over het algemeen waarschijnlijk behoorlijk kleiig zijn. De erosiebestendigheid van de taluds zelf is dus redelijk. Echter ook voor binnendijken geldt vaak dat het beheer van het gras niet gericht is op het verkrijgen van een sterke graszode.

Zowel bij wegen en spoorwegen als bij binnendijken kunnen er kale plekken in de grasbekleding zijn door schadelijke activiteiten van dieren. Dit gaat om gaten van muizen en mollen en slechte plekken in de grasmat als gevolg van beweiding en begrazing. Bij beweiding en begrazing kan het ook gaan om groot vee (koeien en paarden).

BEOORDELING

Voor de controle op de bekleding wordt (voorlopig) verwezen naar hoofdstuk 4 en VTV katern 8. Onderstaand volgen enkele aanbevelingen voor de beoordeling die specifiek gelden voor compartimenteringskeringen.

Ten aanzien van de te hanteren windsnelheid wordt verwezen naar §7.2.3. De duur van de storm is afhankelijk van het gebied waar de compartimenteringskering zich bevindt. Onderstaand is voor de verschillende gebieden aangegeven van welke stormduur kan worden uitgegaan.

Locatie compartimenteringskering	Stormduur [uur]
merengebied	35
Noordzee / estuaria	35
Waddenzee	45
bovenrivierengebied	12
benedenrivierengebied	12

7.4.10 STABILITEIT VOORLAND

Beoordeling van het voorland kan aan de hand van het stroomschema in Figuur 7.6 worden uitgevoerd.

FIGUUR 7.6 BEOORDELING VOORLAND



Stap 1: Controle op geul in voorland

De stabiliteit van het voorland dient uitsluitend te worden getoetst indien zich een geul bevindt met een diepte van ten minste 9 m. Dit zal voor veel compartimenteringskeringen niet het geval zijn. Mocht er in het voorland wel een geul van meer dan 9 m diepte aanwezig zijn (zandwinput, kanaal, enz.), dan dient stap 2 te worden uitgevoerd.

Stap 2: Toetsing conform VTV 2006

Indien uit stap 1 blijkt dat er een geul van 9 m diepte in het voorland aanwezig is, dient de toetsing te worden uitgevoerd volgens de beschrijving in het VTV 2006 (Katern 9).

7.4.11 NIET-WATERKERENDE OBJECTEN

Niet-waterkerende objecten komen in grote aantallen voor bij binnendijken en aardebanen van wegen en spoorwegen. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Bebouwing (vaak lintbebouwing);
- Bomen (of bomenrijen), struiken, volkstuinen;
- Pijpleidingen en kabels (o.a. riolering en open mantelbuizen).

Locaties met niet-waterkerende objecten moeten worden aangemerkt als potentieel zwakke plekken in de compartimenteringskeringen. Voor niet-waterkerende objecten bij aardebanen en binnendijken geldt waarschijnlijk vrijwel altijd dat bij het ontwerp van deze objecten geen rekening is gehouden met de waterkerende functie van de compartimenteringskeringen. Op locaties met bebouwing of bomen zijn geen erosieschermen aanwezig, die de waterkerende functie verzorgen. Bij pijpleidingen en kabels die de compartimenteringskeringen kruisen, zullen meestal geen erosieschermen of kleikisten zijn aangebracht. Mantelbuizen die de compartimenteringskeringen kruisen, zullen vaak een ruime diameter hebben, zodat deze mantelbuizen capaciteit hebben voor het doorvoeren van extra kabels in de toekomst. Deze mantelbuizen zullen meestal niet afgesloten zijn aan beide einden. Calamiteitenplannen voor het afsluiten van gas- en waterleidingen die compartimenteringskeringen kruisen zullen meestal ook niet beschikbaar zijn. Deze zaken zullen dus eerst geregeld moeten zijn, voordat de binnendijken, grondlichamen, enz. als compartimenteringskering dienst kunnen doen.

7.4.12 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.

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

6. Een enkele directe kering aangewezen als compartimenteringskering.
7. Een enkele indirecte kering aangewezen als compartimenteringskering.
8. Een dubbele kering aangewezen als compartimenteringskering.

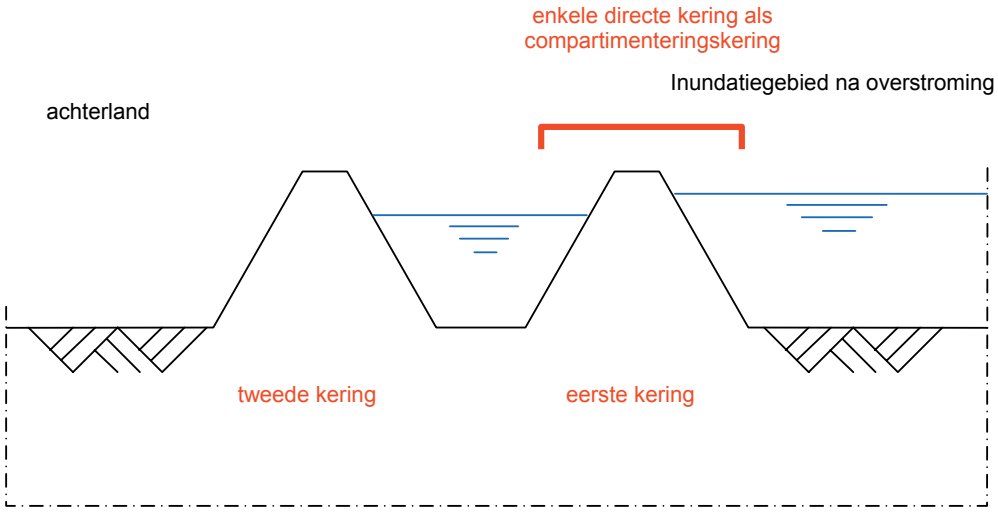
De belastingcombinaties van deze “natte” compartimenteringskeringen worden hieronder nader toegelicht.

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

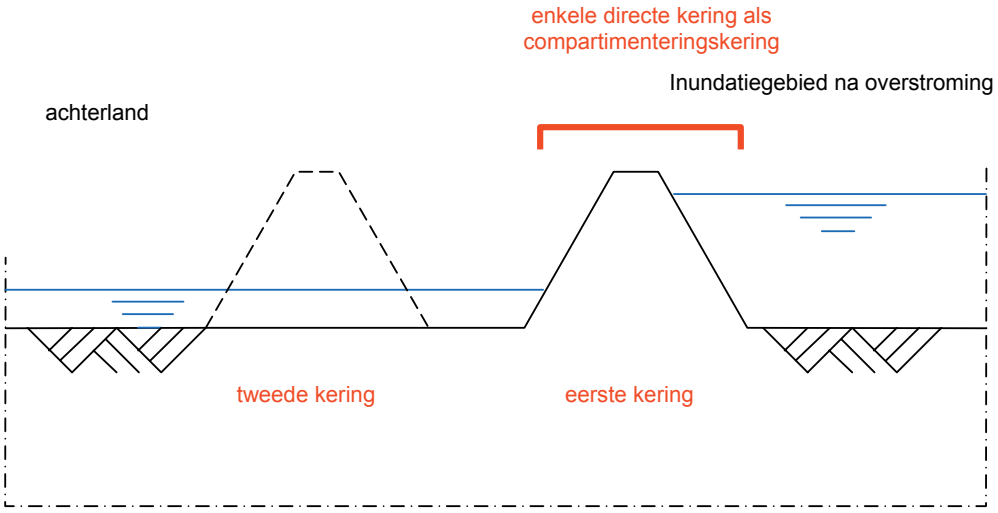
Deze enkele directe kering moet het water ten opzichte van de normale situatie uit de tegenovergestelde richting keren (zie Figuur 7.7).

FIGUUR 7.7 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 overstroming. 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 veiligheidniveau. Het waterpeil in de binnenwaartse zijde van de eerste kering is dan lager. Zie ook Figuur 7.8.

FIGUUR 7.8 BEOORDELING VAN EEN ENKELE DIRECTE KERING ALS COMPARTIMENTERINGSKERING WAARBIJ DE TWEEDE KERING ALS NIET AANWEZIG WORDT BESCHOUWD

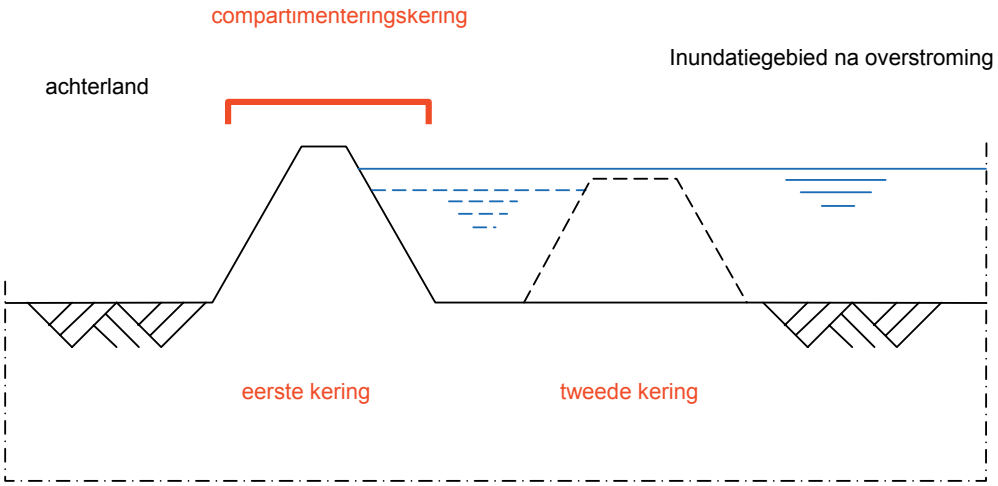


De beoordeling van deze enkele directe kering is verder conform §7.4 met dien verstande dat de te hanteren waterstand aan de binnenzijde gelijk is aan het bodemniveau van de boezem, rivier of kanaal of als aangetoond kan worden dat bij afwezigheid van de tweede kering (na falen van de tweede kering) het water hoger zal staan, dit hogere peil.

EEN ENKELE DIRECTE KERING AANGEWEZEN ALS COMPARTIMENTERINGSKERING

De enkele indirecte kering keert het water uit dezelfde richting als de normale situatie (zie Figuur 7.9).

FIGUUR 7.9 DEFINITIE VAN EEN ENKELE INDIRECTE KERING ALS COMPARTIMENTERINGSKERING

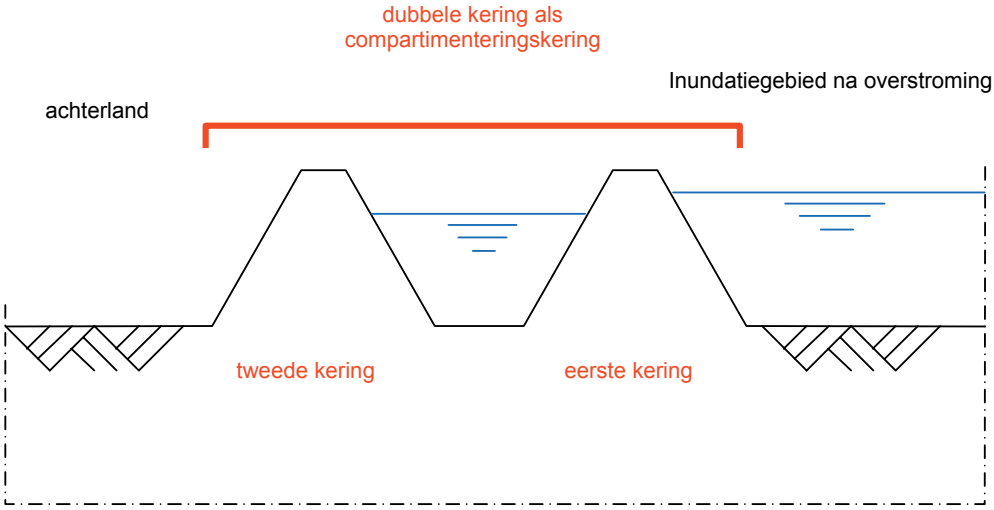


De tweede kering, die niet is aangewezen als compartimenteringskering, moet als afwezig worden beschouwd. Deze tweede kering hoeft ook niet te worden getoetst. De beoordeling van deze enkele indirecte kering is verder conform §7.4. Let hierbij op dat de stijghoogte mogelijk ongunstiger kan zijn door hydraulische kortsluiting ter plaatse van het geinundeerde 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.

EEN DUBBELE KERING AANGEWEZEN ALS COMPARTIMENTERINGSKERING

Als beide keringen zijn aangewezen als compartimenteringskering (zie Figuur 7.10), dienen beide keringen als geheel te worden getoetst als compartimenteringskering. Hierbij is de eerste kering de kering die direct het inundatiewater moet keren en de tweede kering de kering die indirect het inundatiewater moet keren.

FIGUUR 7.10 **DEFINITIE VAN EEN DUBBELE KERING ALS COMPARTIMENTERINGSKERING**



Bij de beoordeling dient expliciet rekening gehouden te worden met het water tussen de beide keringen. Bij de toetsing wordt uitgegaan van het lage waterpeil van het water tussen beide keringen of een lagere peil dat door het boezem- /kanaalsysteem gegarandeerd kan worden. De beoordeling van deze dubbele kering is verder conform §7.4 met dien verstande dat de tweede kering niet getoetst hoeft te worden voor de mechanismen Overslag / Overloop (HT), Macrostabiliteit buitentalud (STBU), Microstabiliteit (STMI) en Bekleding (STBK). Let hierbij op dat de stijghoogte zowel onder de eerst kering als onder de tweede kering mogelijk ongunstiger kan zijn door hydraulische kortsluiting ter plaatse van het geinundeerde gebied.

FOTO 7.1 **COMPARTIMENTERINGSKERING IN ZEELAND**



LITERATUUR

[Barends 1995]
Barends, F.B.J., Syllabus Grondwatermechanica, collegedictaat b90, Technische Universiteit Delft, september 1995.

[CUR162 1993]
Handboek Construeren met grond. Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond, CUR-rapport 162, 1993

[CUR166 2005]
Handboek Damwanden, CUR-rapport 166, 2005

[Delft Cluster 2001]
Proefvak Actuele Sterkte, Analyse bestaande meetgegevens waterspanning in dijken, Fase 4, GeoDelft, rapport CO-710301/201, april 2001.

[Delft Cluster 2003a]
Effectiviteit tweede waterkeringen, Fase 5.1: Toetsen waterkerend vermogen van (spoor) wegen en slaperdijken, Delft Cluster, Rapportnummer 02.03.01-40, Mei 2003.

[Delft Cluster 2003b]
Effectiviteit tweede waterkeringen, Fase 5.2: Verbeterde beoordelingssystematiek, Delft Cluster, Rapportnummer 02.03.01-50, Mei 2003.

[ENW 2007]
Leidraad Rivieren, ENW, juli 2007

[GeoDelft 2001]
Onderzoek problematiek voorland, GeoDelft, rapportnummer CO-386930/20, december 2001.

[HCO 1994]
Handreiking Constructief Ontwerpen, TAW, april 1994

[IPO 1999]
Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, IPO, 1999

[IPO & UvW 2004]
Visie op regionale waterkeringen, IPO & Unie van Waterschappen, 2004

[IPO & UvW 2005]
Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen, IPO & Unie van Waterschappen, 2005

[IPO & UvW 2007a]
Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen, 2007

[IPO & UvW 2007b]
Richtlijn Normeren Keringen langs Regionale Rivieren

[Lefebvre 1987]
Lefebvre, G., Paré, J.J., & Dascal, O. Undrained shear strength in the surficial weathered crust. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 24(1), pp. 23-24, 1987.

[Leroueil e.a. 1990]
Leroueil, S., J.-P. Magnan, F. Tavenas, Embankments on soft clays, 1990.

[Lubking 1997]
Lubking, P., Soft Soil correlaties, Bagt 569, november 1997.

[LK 2003]
Leidraad Kunstwerken, TAW, 2003

[LOR2 1989]
Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 2, Benedenrivierengebied, TAW, september 1989

[Prov. ZH, 2004]
Methode ter bepaling van opwaaiingsstatistiek voor boezemsystemen

[Smits et.al. 2001]
Geographical presentation of annual return levels, based on the conditional Weibull distribution, I. Smits, et.al., 2001

[STOWA 2000-04]
Bomen op en nabij boezemkaden, Stowa, rapportnummer 2000-04, 2000

[STOWA 2000-05]
Handreiking bomen op en nabij boezemkaden, Stowa, rapportnummer 2000-05, 2000

[STOWA 2002]
Quick-scan niet-primaire keringen, Stowa, rapportnummer 2002-34, 2002

[STOWA 2004]
STOWA-cassette Droogteonderzoek Veenkaden, STOWA, 2004

[TRAS 2007]
Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken, ENW, 2007

[TRGG 2002]
Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, TAW, mei 2002

[TRS 2003]
Technisch Rapport Steenzettingen, TAW, 2003

[TRTB 1993]
Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden, TAW, juni 1993

[TRV 1996]
Technisch Rapport Geotechnische Classificatie van Veen, TAW, juni 1996

[TRW 2004]
Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, september 2004

[TRWG 2001]
Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW, juni 2001

[TRZW 1999]
Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, TAW, 1999

[USACE 2003]
U.S. Army Corps of Engineers (2003). Engineering and Design - SLOPE STABILITY.
Washington, DC 20314-1000. Manual No. 1110-2-1902 31. October 2003.

[VTV 2004]
De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland - Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, januari 2004

[VTV 2006]
Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006 – 2011 (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007

[Wieringa en Rijkoort 1983]
Windklimaat van Nederland, Staatsuitgeverij, Den Haag

BEGRIPPEN

Aanleghoogte	Kruinhoogte van de waterkering onmiddellijk na het gereedkomen ervan.
Aansluitconstructie	Constructieve aansluiting op de overgang van het ene type waterkering op het andere type waterkering (dijk, duin, hoge gronden of een kunstwerk).
Achterland	Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering.
Achterloopsheid	Lekstroom achter een constructie om.
Actuele sterkte	Huidige werkelijke sterkte.
Afschuiving	Verplaatsen van een deel van een grondlichaam door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.
Aquifer	Watervoerende zandlaag.
Artesisch water	(Grond)water met een wateroverspanning ten opzichte van een hydrostatische waterspanningsverdeling, waarbij de wateroverspanning het gevolg is van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.
Beheer	Het geheel van activiteiten dat erop gericht is de bestaande boezemkade zijn functies duurzaam te laten vervullen.
Beheerder	Overheid waarbij de waterkering in beheer is.
Beheersgebied	In de legger gespecificeerd areaal, dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.
Beheersregister	Document met de beschrijving van de feitelijke toestand van de waterkering, met de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie.
Bekleding	Zie 'taludbekleding'.
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
Beoordelingsprofiel	Denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen dat binnen het werkelijk aanwezige profiel van een waterkering moet passen. Dit profiel wordt gebruikt ten behoeve van het beoordelen van de veiligheid van bestaande waterkeringen op de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten. Het mag in het algemeen niet worden doorsneden door verstoringszones van niet-waterkerende objecten.
Beschermingszone	In de legger aangegeven beheerszone ter weerszijde van de waterkering.
Betrekkingslijn	Lijn die weergeeft welke waterstanden met gelijke overschrijdingsfrequentie aan twee peilstations met elkaar overeenkomen.
Bezwijken	Optreden van verlies van inwendig evenwicht (b.v. afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (b.v. verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen.
Bezwijkmechanisme	Wijze waarop een constructie bezwijkt (bijvoorbeeld afschuiven, piping, verweken).
Binnenberm	Extra verbreding aan de binnendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om zandmeevoerende wellen te voorkomen.
Binnendijks	Aan de kant van het land of het binnenwater.
Binnentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
Binnenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
Bres	Gat in de waterkering.
Buitenberm	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren.
Buitendijks	Aan de kant van het te keren water of buitenwater.
Buitenkruinlijn	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud, waarlangs de toetsing op hoogte plaatsvindt.

Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
Buitenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
Bijzondere water-kerende constructie	Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuren, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen.
Boezem	Het geheel van (van nature stilstaande) met elkaar verbonden watergangen die van het buitenwater zijn afgesloten, waarop water uit lager gelegen polders wordt uitgeslagen en/of waaruit water op lager gelegen polders wordt afgelaten en van waaruit het water kan worden uitgeslagen of geloosd naar het buitenwater.
Boezemkade	Een langs een boezem gelegen grondlichaam, dat enerzijds de lager gelegen poldergebieden beschermt tegen hoger liggend boezemwater en anderzijds de boezem in stand houdt.
Boezemland	Direct op de boezem afwaterend gebied.
Boezempeil	Waterstand in de boezem.
Coupure	Onderbreking in de waterkering voor de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge buitenwaterstanden afsluitbaar is.
Dijk	Waterkerend grondlichaam.
Dijktafelhoogte	Minimaal vereiste kruinhoogte, zoals aangegeven in de legger.
Drukstaaf-methode	Methode om de stabiliteit van de dijk te benaderen onder inachtneming van de vervorming van het slappe grondpakket achter de dijk, dat hiertoe als een door druk belaste staaf wordt opgevat (opdrijven).
Filter	Tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.
Freatisch vlak	Vrije grondwaterspiegel.
Golfhoogte	De verticale afstand tussen dal en top van een golf.
Golfoploop	De verticaal gemeten maximale hoogte boven het stilwaterniveau, die door een tegen het talud oplopende watertong bereikt wordt.
Golfoploop	Hoogte boven toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, seiches of slingeringen tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt (de 2% golfoploop wordt door 2% van de golven overschreden).
Golfoverslag	Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
Golfperiode	Tijdsduur tussen twee opeenvolgende neergaande passages van de middenstand van een golf.
Golfspectrum	Verdeling van de golfenergiedichtheid als functie van de periode (bij een breed spectrum zijn de golfperioden van de windgolven onderling sterk verschillend).
Golfsteilheid	Verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
Grenspotentiaal	Stijghoogte in de aquifer die in evenwicht is met het gewicht van het afdekkende pakket.
Grensprofiel	Profiel dat na duinafslag tijdens maatgevende omstandigheden nog minimaal als waterkering aanwezig moet zijn.
Grenstoestand	Toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
Grondbreuk	Zie 'hydraulische grondbreuk'.
Heave	Situatie waarbij verticale korrelspanningen in een zandlaag wegvallen onder invloed van een verticale grondwaterstroming; ook fluïdisatie of de vorming van drijfzand genoemd.
Herstel	Maatregelen, noodzakelijk om de kwaliteit van de boezemkade, met name met betrekking tot het waterkerend vermogen, op het vereiste peil te brengen.
Hydraulische grondbreuk	Verlies van korrelcontact in de grond als gevolg van te hoge wateroverspanningen; in geval van een cohesieve afdekkende grondlaag leidt dit tot opdrijven en opbarsten, in geval van een niet cohesieve grondlaag tot heave.
Hydraulische kortsluiting	Min of meer weerstandsvrije waterstroom tussen de boezem en één of meer grondlagen in of onder de dijk met een relatief grote horizontale doorlatendheid.

Hydrostatische waterspanning	(Grond)waterspanning in een punt in de (onder)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.
Infiltratie	Indringen van water in de bodem of het grondlichaam van bovenaf.
Inspectie	Het inwinnen, verwerken en interpreteren van informatie met het doel om de momentane toestand van de boezemkade vast te stellen.
Intreepunt	(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.
Invloedsgebied	Gebied waarbinnen het bezwijken of falen van een waterkerend kunstwerk, bijzondere constructie of niet-waterkerend object merkbaar is. Denk hierbij aan de ontgrondingskuil rond een bezweken leiding of een ontwortelde boom.
Invloedslijn	Begrenzing van de invloedszone.
Invloedszone	Tot de waterkering behorende gronden, die daadwerkelijk bijdragen aan het waarborgen van de stabiliteit, zowel aan de binnen als aan de buitenzijde van de waterkering.
Kade	Een kleine dijk.
Kadevak	Een deel van de kade dat kan worden gekarakteriseerd door uniformiteit ten aanzien van de ondergrond en een min of meer eenduidig dwarsprofiel.
Karakteristieke belasting	Belasting met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
Karakteristieke sterkte	Sterkte met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
Karakteristieke waarde	Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
Kernzone	Waterkering en een gebied dat zich uitstrekt tot waar bezwijkmechanismen van de waterkering reiken. Denk hierbij aan het uittreepunt in het maaiveld van een glijcirkel.
Keur	Verordening van het waterschap, waarin gebods- en verbodsbepalingen zijn opgenomen en waarvan de naleving door sancties kan worden afgedwongen.
Keurgebied	Gebied waarop de keur van toepassing is.
Keurzone	Zie 'keurgebied'.
Kopsloot	(Polder)sloot die dwars op de dijk of kade is gesitueerd.
Kritiek verval	Waarde van het verval, c.q. de lengte van de maatgevende kwelweg, waarbij juist geen piping of heave optreedt.
Kritieke dichtheid	Grenswaarde van de dichtheid van zand tussen losse- en vaste pakking.
Kruin	1. Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn; 2. Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam; 3. Buitenkruinlijn.
Kruinhoogte	Hoogte van de waterkering.
Kruinhoogtemarge	Het verschil tussen de kruinhoogte op de peildatum en toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, seiches of slingeringen.
Kruip	Als functie van de tijd doorgaande verticale vervorming van grondlagen, bij gelijkblijvende korrelspanning.
Kwel	Uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied.
Kwelscherm	Ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg.
Kwelsloot	Sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.
Kwelweg	Mogelijk pad in de grond dat het kwelwater aflegt, van het intreepunt naar het uittreepunt.
Kwelweglengte	Lengte van de kwelweg.
Legger	Document, waarin de beschrijving is opgenomen van de minimale eisen waaraan de (primaire) waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingen worden aangegeven.
Lokale opwaaiing	Opwaaiing tussen de locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarde wordt gegeven en de waterkering.

Maatgevend boezempeil	Gemiddelde waterstand in de boezem tijdens maatgevende omstandigheden.
Maatgevende waterstand	Waterstand tijdens maatgevende omstandigheden, exclusief het effect van stroming en/of opwaaiing en eventueel andere waterstandsverhogende oorzaken.
Macrostabiliteit	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
Materiaalfactoren	Partiële factoren, die op de karakteristieke materiaalparameters worden toegepast om onzekerheden in de grondeigenschappen te verdisconteren.
Microstabiliteit	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittredend water.
Modelfactor	Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd.
NAP-daling	Daling van het NAP-vlak als gevolg van onderlinge bewegingen in de aardkorst. Wegens het ontbreken van een meetbaar referentiepunt kan deze daling niet zelfstandig, maar alleen in combinatie met de getijhoogwaterstijging gekwantificeerd worden.
Niet-primaire (water)kering	Zie 'regionale (water)kering'.
Niet-waterkerend object	Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals leidingen, woningen en bomen.
Normaal onderhoud	Vast en variabel onderhoud dat tijdig uitgevoerd wordt door de beheerder, waardoor het kwaliteitsniveau van de onderdelen van de kering boven het vastgestelde minimum blijft.
Oeverconstructie	De grondkerende constructies ter instandhouding van de gronden gelegen aan een waterloop.
Onderhoud	Technische activiteiten om functievervulling van de boezemkade gedurende de levensduur mogelijk te maken.
Onderloopsheid	Lekstroom onder een constructie door.
Ontgronding	Erosie van de waterbodem als gevolg van stroming en golfbeweging.
Ontwerpkwaliteit	Het voldoen aan ontwerpcriteria bij gebruik van vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Ontwerpkwaliteit bij toetsen: de waterkering voldoet aan ontwerpcriteria met gebruikmaking van toetsuitgangspunten en toetsrandvoorwaarden.
Ontwerplevensduur	Zie 'planperiode'.
Ontwerppeil	Toetspeil vermeerderd met de verwachte waterstandstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de ontwerplevensduur (planperiode).
Ontwerpwaarde	In het ontwerp te hanteren waarde van een belastings- of sterkteparameter (rekenwaarde).
Opbarsten	Bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
Opdrijfzone	Zone achter de dijk waar de grenspotentiaal wordt bereikt bij maatgevende omstandigheden.
Opdrijven	Opdrukken van het afdekkend pakket door het bereiken van de grenspotentiaal.
Opdrukveiligheid	Verhouding tussen het gewicht van het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen (klei / veen) en de opwaartse waterdruk direct er onder, uitgedrukt in de parameter 'n'.
Open keerhoogte	1. De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare afsluitmiddelen bij open afsluitmiddel; 2. De kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater.
Open keerpeil	Buitenwaterstand welke bij open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt.
Overbelasting	Overschrijden van het vastgestelde overslagcriterium.
Overhoogte	Extra hoeveelheid grond die wordt aangebracht met het doel om na zetting van de ondergrond en klink van de aangebrachte grond het gewenste profiel te bereiken.
Overlopen	Verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de kruin.
Overschrijdingsfrequentie	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
Partiële factor	Factor waarmee een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) wordt ter verkrijging van de rekenwaarde. De partiële factoren dienen om onzekerheden in belastingen, materiaaleigenschappen, rekenmethodes, gevolgen van falen en de overschrijdingskans van grenstoestanden in rekening te brengen.

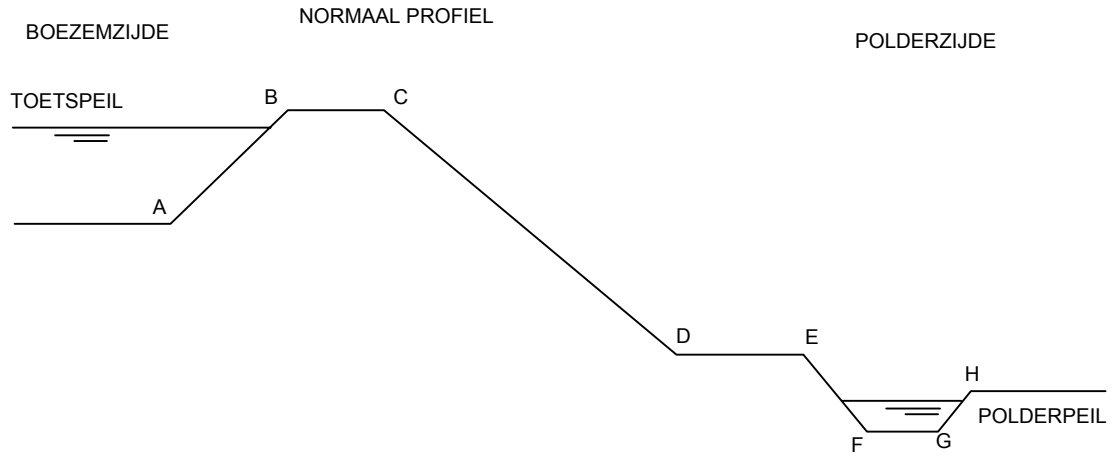
Piping	Verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.
Planperiode	Periode waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering (voor dijken meestal 50 jaar; voor kunstwerken meestal 100 of 200 jaar).
Polder	Op de boezem uitslaand of lozend gebied met geregelde waterstand.
Polderpeil	Peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
Potentiaal	Stijghoogte in een aquifer.
Primaire waterkering	Waterkering, zoals aangegeven op Bijlage I bij de Wet op de waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkringgebied is gelegen.
Primaire zetting	Verticale vervorming van grondlagen tijdens de hydrodynamische periode, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting.
Proevenverzameling	Verzameling / steekproef van in het terrein gemeten of in het laboratorium bepaalde waarden van grondeigenschappen, ingedeeld naar geologische / geotechnische formatie.
Profiel van vrije ruimte	Vrij te houden ruimte voor het blijvend kunnen realiseren van de waterkerende functie van een kering, ook in de toekomst.
Randvoorwaarde-locatie	Locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarden worden gegeven.
Regionale (water)kering	Niet-primaire waterkering. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
Rekenprofiel	Geselecteerd dwarsprofiel waarvoor een stabiliteitsberekening moet worden uitgevoerd.
Rietschoot	Moerassig land, begroeid met riet.
Representatieve waarde	Waarde die de werkelijke waarde van een parameter met voldoende zekerheid representeert. In veel gevallen wordt de karakteristieke waarde gebruikt als representatieve waarde.
Risicoanalyse	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.
Rivierdijk	Dijk langs een rivier.
Schaardijk	Rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.
Schadefactor	Partiële factor waarin de gevolgen van bezwijken zijn betrokken.
Seculaire zetting	Zie 'secundaire zetting'.
Secundaire zetting	Verticale vervorming van grondlagen na de hydrodynamische periode. Ook wel 'seculaire zetting' genoemd.
Signaleringspeil	Verwachte of geconstateerde waterstand, waarbij beheerders worden gewaarschuwd en inlichtingen wordt verschaft, opdat tijdig maatregelen kunnen worden genomen.
Significante golfhoogte	Gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van de golven.
Sluitpeil	Waterstand waarbij de kering wordt gesloten.
Spectrum	Zie 'golfspectrum'.
Squeezing	Plotseling optredende grote horizontale, van de as van de grondconstructie af gerichte, verplaatsingen in de ondergrond onder de grondconstructie.
Stabiliteitsfactor	Factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt.
Stijghoogte	Niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
Stilwaterstand	Waterstand zonder golfbeweging.
Stoppeil	Vastgestelde waterstand in de boezem waarbij het lozen op de boezem door de inliggende polders moet worden gestaakt.
Strijklengte	Lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
Talud	Gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.

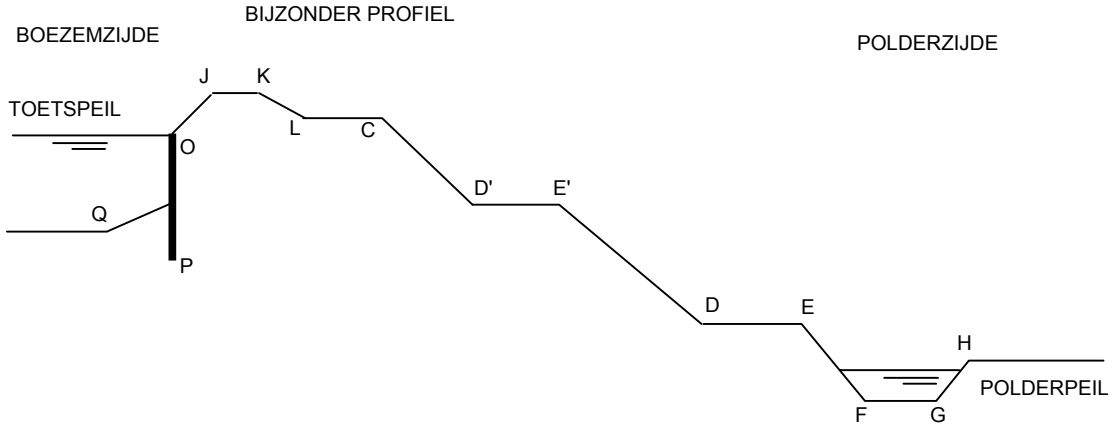
Taludbekleding	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
Toetspeil	Waterstand (exclusief locale toeslagen) met een zekere overschrijdingsfrequentie die gebruikt wordt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen.
Uittreepunt	Locatie aan de landzijde waar kwelwater het eerst aan het oppervlak treedt.
Uittreeverhang	Verhang in het grondwater ter plaatse van het uittreepunt.
Veenkade (ook andere beschrijvingen komen voor).	Kade waarbinnen zich materiaal met een dikte van minimaal 0,5 m bevindt dat kan worden geclassificeerd als veen of als klei met bijbestanddeel 'matig humeus' of 'sterk humeus' (vastgesteld conform NEN 5104 op basis van de organische stof-lutum-silt+zand-driehoek), of Kade waarbinnen zich materiaal bevindt met een verzadigd volumegewicht kleiner dan of gelijk aan 16 kN/m^3 (conform NEN 5110) en waarvan de plasticiteitsindex groter is dan of gelijk aan 18 %. In deze definitie omvat de kade het grondmassief dat aan de onderzijde wordt begrensd door het niveau 'polderpeil minus 1 m', aan buitenzijde wordt begrensd door de buitenteen, en aan de binnenzijde wordt begrensd door een kwelsloot danwel bij ontbreken daarvan door een verticale lijn op een afstand van vier maal de kerende hoogte uit de binnenteen.
Veiligheidsnorm	Eis waaraan een waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
Veiligheidszone	Tot de waterkering behorende gronden, die daadwerkelijk bijdragen aan het waarborgen van de stabiliteit, zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde van de waterkering.
Verhang	Verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
Verval	Verschil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.
Verweking	Verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).
Voorland	Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaardijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven toetspeil.
Vooroever	Waterbodem in de zone vlak voor de teen van een dijk.
Waakhoogte	Hoogte van de kruin boven de maatgevende waterstand.
Waterkerende kunstwerk	Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere functie, die de waterkering kruist (b.v. schutten, spuien).
Waterkering	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
Waterkeringszone	Zie 'keurgebied'.
Waterover- / onderspanning	Verschil tussen de aanwezige waterspanning en de hydrostatische waterspanning.
Waterspanning	Druk in het grondwater.
Waterstandsnorm	Zie 'veiligheidsnorm'.
Wel	Geconcentreerde uitstroming van kwelwater.
Windgolven	Golven, ontstaan door de wrijving van de lucht over het water.
Windopzet	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
Zandmeevoerende wel	Wel die zand meevoert uit de ondergrond.
Zetting	Verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.
Zettingsvloeiing	Verschijnsel dat een verzadigde zandmassa zich gedraagt als een vloeistof als gevolg van het wegvallen van de korrelspanning.

BIJLAGE 1

BENAMINGEN BOEZEMKADEPROFIEL

In deze bijlage is de meest voorkomende vorm van het dwarsprofiel van de boezemkade weergegeven, met daarbij de gebruikelijke benamingen van de daarin voorkomende elementen.





AB	= buitentalud
BC	= kruin
CD	= binnentalud
DE	= binnenberm
D'E'	= tussenberm
EFGH	= teen- of kwelsloot
OJKL	= tuimelkade
OPQ	= oeverconstructie
A	= buitenteen
B	= buitenkruinlijn
C	= binnenkruinlijn
D	= hiel

BIJLAGE 2

OVERZICHT MECHANISMEN, BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN

BIJLAGE 2.1: BELASTINGRANDVOORWAARDEN EN GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING BIJ VERSCHILLENDE COMBINATIES VAN MECHNISME EN BELASTINGSITUATIE VOOR BOEZEMKADEN

Mechanisme	**Belastingsituatie**	**Hydraulische belastingrandvoorwaarden**			**Geohydrologische schematisering**		Verkeersbelasting
		Boezempeil	**Polderpeil**	**Windgolven**	**Freatische lijn**	Opwaartse druk onderkant deklaag	
Overlopen / overslag Piping	hoogwater	Toetspeil (MBP [3])+ lokale toeslagen)	niet relevant	bij norm-windsnelheid	niet relevant	niet relevant	niet relevant
	hoogwater	Toetspeil (MBP [3])+ lokale toeslagen)	streefpeil	niet relevant	niet relevant	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet relevant
Macro-instabiliteit binnentalud	droogte [1]	Hoog Boezempeil (HBP) [2]	laag polderpeil	niet relevant	niet relevant	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet relevant
	hoogwater	Toetspeil (MBP [3])+ lokale toeslagen)	hoog polderpeil	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
	droogte [1]	Hoog Boezempeil (HBP) [2]	laag polderpeil	niet relevant	lage ligging	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet meenemen
Macro-instabiliteit buitentalud	hoogwater	Laag boezempeil of peil na val	niet relevant	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
Micro-instabiliteit	hoogwater	Toetspeil (MBP [3])+ lokale toeslagen)	niet relevant	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	niet relevant	niet relevant

(1) De belastingsituatie droogte kan voor de mechanismen Piping en Macro-instabiliteit binnentalud ook een sterktereductie inhouden als gevolg van vermindering van het volumiek gewicht van de grond in de onverzadigde zone.
(2) Hoog Boezempeil (HBP) mag worden geïnterpreteerd als het peil met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar.
(3) MBP = Maatgevend Boezem Peil

BIJLAGE 2.2: OVERZICHT MECHANISMEN, BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN REGIONALE RIVIERKERINGEN

BELASTINGRANDVOORWAARDEN EN GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING BIJ VERSCHILLENDE COMBINATIES VAN MECHANISME EN BELASTINGSITUATIE VOOR REGIONALE RIVIERKERINGEN

Mechanisme	**Belastingsituatie**	**Hydraulische belastingrandvoorwaarden**			**Geohydrologische schematisering**		**Verkeersbelasting**
		Rivierpeil	**Peil achterland**	**Windgolven**	**Freatische lijn**	**Opwaartse druk onderkant deklaag**	
Overlopen / overslag	hoogwater	Toetspeil (MHW [3])	niet relevant	bij norm-windsnelheid	niet relevant	niet relevant	niet relevant
Piping	hoogwater	Toetspeil (MHW [3])	streefpeil / gemiddeld peil	niet relevant	niet relevant	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet relevant
	droogte [1]	Gemiddeld hoogwater (GHW)	laag peil	niet relevant	niet relevant	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet relevant
Macro-instabiliteit binnentalud	hoogwater	Toetspeil (MHW [3])	streefpeil / gemiddeld peil	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
	droogte [1]	Gemiddeld hoogwater (GHW)	laag peil	niet relevant	lage ligging	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet meenemen
Macro-instabiliteit buitentalud	hoogwater	Gemiddeld laag water (GLW) of val na MHW [3]	niet relevant	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
Micro-instabiliteit	hoogwater	Toetspeil (MHW [3])	niet relevant	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	niet relevant	niet relevant

(1) De belastingsituatie droogte kan voor de mechanismen Piping en Macro-instabiliteit binnentalud ook een sterktereductie inhouden als gevolg van vermindering van het volumiek gewicht van de grond in de onverzadigde zone.
(2) Gemiddeld Hoog Water (GHW) en Gemiddeld Laag Water (GLW) mag worden geïnterpreteerd als het peil met respectievelijk een overschrijdingsfrequentie en onderschrijdingsfrequentie van eens per jaar.
(3) MHW = Maatgevend Hoog Water

BIJLAGE 2.3: OVERZICHT MECHANISMEN, BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

BELASTINGRANDVOORWAARDEN EN GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING BIJ VERSCHILLENDE COMBINATIES VAN MECHANISME EN BELASTINGSITUATIE VOOR COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Mechanisme	**Belastingsituatie**	**Hydraulische belastingrandvoorwaarden**			**Geohydrologische schematisering**		**Verkeersbelasting**
		Waterstand	**Peil achterland**	**Windgolven**	**Freatische lijn**	**Opwaartse druk onderkant deklaag**	
Overlopen / overslag	hoogwater	Toetspeil	niet relevant	bij norm-windsnelheid	niet relevant	niet relevant	niet relevant
Piping (1)	hoogwater	Toetspeil	gemiddeld peil of streefpeil	niet relevant	niet relevant	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	niet relevant
Macro-instabiliteit binnentalud (1)	hoogwater	Toetspeil	hoog peil	niet relevant	geheel verzadigd (1)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
Macro-instabiliteit buitentalud	hoogwater	val na Toetspeil	niet relevant	niet relevant	hoge ligging (incl. neerslageffect)	hoog (kortsluiting evt. aannemen)	meenemen tenzij uit te sluiten
Micro-instabiliteit	hoogwater	Toetspeil	niet relevant	niet relevant	geheel verzadigd	niet relevant	niet relevant
Bekleding	hoogwater	Toetspeil	niet relevant	Norm: primaire of com-partimenteringskering	hoge ligging (incl. neerslageffect)	niet relevant	niet relevant

(1) Voor de mechanismen Piping en Macro-instabiliteit binnentalud dient ook het onverzadigd of verdroogd dijklichaam te worden beschouwd als een dergelijke situatie van toepassing is. Dat houdt o.a. in een sterktereductie als gevolg van vermindering van het volumiek gewicht van de grond in de onverzadigde zone (zie verder §7.2).

BIJLAGE 3

EFFECT DROOGTE OP VOLUMIEK GEWICHT

EFFECT DROOGTE OP VOLUMIEK GEWICHT (STERKTE EIGENSCHAP)

In hoofdstuk 3 is reeds opgemerkt dat met name veen droogtegevoelig is, wat zich uit in een relatief sterke afhankelijkheid van het volumiek gewicht van veen in het kadeprofiel van de heersende belastingsituatie ('hoogwater' of 'droogte'). Voor de beoordeling van de veiligheid tegen piping en de beoordeling van de veiligheid tegen binnenwaartse macro-instabiliteit is een laag volumiek gewicht, zoals in de belastingsituatie 'droogte' kan ontstaan, mogelijk maatgevend. In deze paragraaf zijn handreikingen gegeven voor het te hanteren effect van langdurige droogte op het volumiek gewicht van veen in het kadeprofiel. Dit volumiek gewicht kan in de onverzadigde zone, afhankelijk van de positie ten opzichte van het maaiveld en de freatische waterstand mogelijk afnemen tot waarden van 2 à 5 kN/m^3.

In Tabel B3.1is een algemene indicatie gegeven van de variatie van de volumieke gewichten van veen tijdens droge omstandigheden. Deze afleiding is gebaseerd op:

- grondonderzoek veenkaden, incl. bepaling volumiek gewicht;
- monitoring vochtigheid veenkaden;
- algemene gegevens over het vochtgehalte in (veen-)grond.

Aan de hand van de resultaten van het grondonderzoek, wat door STOWA in september 2003 op enkele veenkaden is uitgevoerd, is het (oven-)droog en verzadigd volumiek gewicht voor de verschillende veensoorten afgeleid. Het verloop van het vochtgehalte over de diepte tijdens zowel droge als hoogwatersituaties is afgeleid van de monitoring van het vochtgehalte, zoals dat vanaf najaar 2003 tot eind augustus 2004 ter plaatse van 7 kaden is uitgevoerd. Door combinatie van deze representatieve vochtgehalten op de verschillende diepten en algemene gegevens over het verloop van het vochtgehalte bij verschillende zuigspanningen (pF-curve; Staringreeks) is vervolgens het volumiek gewicht van enkele veensoorten voor verschillende niveaus in de onverzadigde zone bepaald. De resultaten zijn vermeld in de volgende tabel.

TABEL B3.1 **VOLUMIEK GEWICHT VEEN**

VEEN soort	Verzadigd	Onverzadigd: situatie DROOGTE			Onverzadigd: situatie HOOGWATER		
	[kN/m^3]	GWS-zone [kN/m^3]	Overgangszone [kN/m^3]	Maaiveld [kN/m^3]	GWS-zone [kN/m^3]	Overgangszone [kN/m^3]	Maaiveld [kN/m^3]
Mineraalarm - slap	10,5	8,0	4,5	2,0	10,0	9,0	8,5
Mineraalarm - matig vast	11,5	8,5	5,5	3,0	10,5	10,0	9,0
Zandig	13,0	9,0	7,0	4,0	12,0	11,0	10,0
Kleiig	13,0	10,0	7,5	4,0	12,0	11,0	10,0

- GWS-zone: Capillaire zone boven grondwater, tot een hoogte van 0,5 m boven grondwater;
- Overgangzone: Zone tussen maaiveldzone en GWS-zone (dikte afhankelijk van niveau grondwaterstand);
- Maaiveldzone: Zone van bovenste 0,4 m onder het maaiveld.

Ten aanzien van het gebruik van de waarden uit deze tabel wordt opgemerkt dat voor de berekening in eerste instantie dient te worden uitgegaan van aanwezige informatie, met name betreffende het verzadigd volumiek gewicht. Indien deze waarden sterk afwijken van de waarden in de tabel, wordt aanbevolen de waarden verhoudingsgewijs aan te passen.

Indien de grondwaterstand zich op een diepte van minder dan 0,4 m beneden maaiveld bevindt, dient voor de onverzadigde zone een volumiek gewicht corresponderend met de zone 'maaiveld' te worden gehanteerd. Volledigheidshalve wordt aanvullend opgemerkt dat de overgangszone uitsluitend aanwezig is bij een minimale diepte van de grondwaterstand van 0,9 m minus maaiveld.

BIJLAGE 4

OVERZICHTSKAART GEBIEDEN MET MOGELIJK DROOGTEGEVOELIGE KADEN

OVERZICHTSKAART DROOGTEGEVOELIGE GEBIEDEN

De “Globale aandachtsgebiedenkaart” is door GeoDelft samengesteld uit diverse basisgegevens en hieruit afgeleide gegevens. Als basisgegevens zijn de kaart met Geo-provincies in Nederland van TNO, de bodemkaart van Nederland (1:250.000), globale gegevens omtrent boezempeilen en de algemene hoogtekaart van Nederland gebruikt. Uit de basisgegevens is een kaart met het potentiële veenkade verspreidingsgebied afgeleid. De veenkaden in dit gebied zijn geclassificeerd naar globale grondopbouw van de kade en de ondergrond. Tevens is een kaart van de kerende hoogte over de potentiële veenkade gemaakt. Door de gegevens van de grondopbouw te combineren met de kerende hoogtekaart zijn gebieden gedefinieerd waar een wateroverdruk in een zandlaag onder de kade kan ontstaan na het optreden van kortsluiting tussen de boezem en deze zandlaag. Vervolgens is door de afgeleide gegevens te combineren de globale aandachtsgebiedenkaart ontstaan. Gezien het grove schaalniveau waarop de bepaling van de aandachtgebieden is uitgevoerd, mag deze informatie in geen geval worden gebruikt om de grondopbouw op bepaalde locaties te definiëren.

In deze aandachtsgebiedenkaart zijn op basis van risicobepalende factoren verschillende veengebieden gedefinieerd. Deze risicobepalende factoren zijn; samenstelling toplaag en afdeklaag, kerende hoogte en vorming van een wateroverdruk bij het optreden van kortsluiting tussen boezem en de onderliggende zandlaag. Bij veenkaden met een toplaag van veen is uitdroging en gewichtsreductie een risico. Het uitdrogingsrisico is kleiner bij veenkaden met een toplaag bestaande uit klei. De aanwezigheid van zandlagen onder de kade die gevoelig zijn voor vorming van wateroverdruk bij het optreden van kortsluiting vormt een risico voor de stabiliteit van de veenkade. In het algemeen is bij een grote kerende hoogte het risico van instabiliteit groter.

In de aandachtsgebiedenkaart zijn de wateroverdruk bij kortsluiting en de kerende hoogte geclassificeerd in klassen met een hoge en een lage waarde. Voor wat betreft de waterkerende hoogte van eventueel aanwezige kaden, is de grens tussen hoog en laag gelegd op 3 m en voor de wateroverdruk na kortsluiting op 30 kPa. In de grijs getinte gebieden met veen of klei in de toplaag, worden geen hoogtekerende boezem- of polderkaden en geen wateroverdruk na kortsluiting van enige betekenis verwacht.

Gebieden waaraan een *hoge prioriteit* moet worden toegekend zijn;

- De rode *gebieden*, waarin de toplaag uit veen bestaat en waar kaden met een hoge kerende hoogte kunnen voorkomen alsmede waar een hoge wateroverdruk na optreden van kortsluiting kan ontstaan.
- De oranje *gebieden*, waarin de toplaag eveneens uit veen bestaat en kaden met een hoge kerende hoogte kunnen voorkomen, maar waar een lage wateroverdruk na optreden van kortsluiting wordt verwacht.

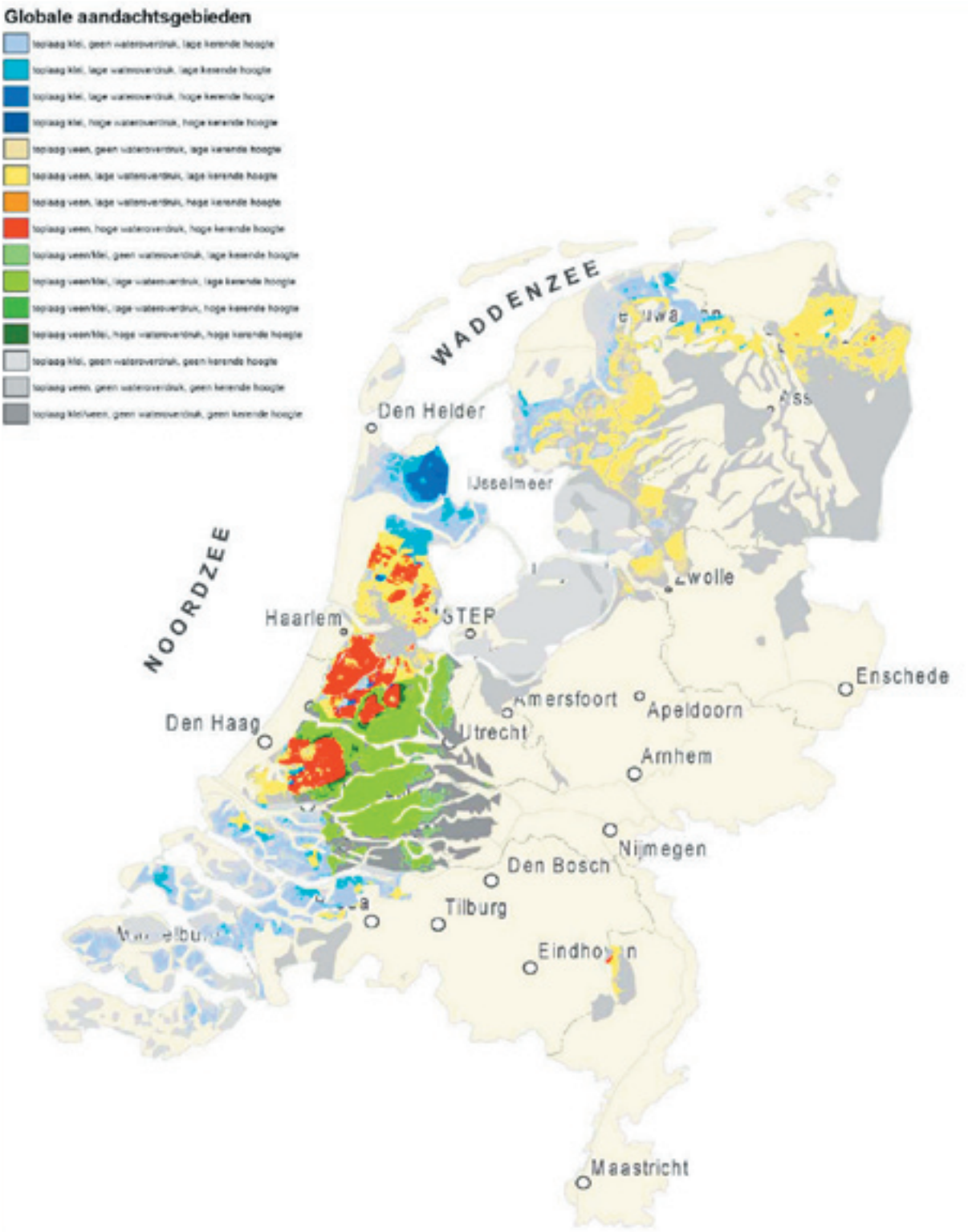
- De gebieden aangemerkt met de *donkerste kleur* groen grenzen direct aan de rode gebieden en hebben een toplaag van veen of klei. In deze gebieden kunnen kaden voorkomen met een hoge kerende hoogte en waar na optreden van kortsluiting een hoge wateroverdruk kan ontstaan.
- De gebieden met een *donkere kleur* groen komt slechts sporadisch voor (enkele pixels op de kaart) en grenzen aan de donkerste kleur groen. De toplaag bestaat hier uit veen of klei, de waterkerende hoogte van eventuele kaden in dit gebied is groot, maar daarentegen wordt een lage wateroverdruk na optreden van kortsluiting verwacht.
- Het gebied welke met de *donkerste kleur* blauw is aangegeven, betreft een klein gebied met klei in de toplaag gelegen midden in de Wieringermeer. Het overgrote deel van de Wieringermeer heeft een donkere kleur blauw, waar wel kaden met een hoge kerende hoogte kunnen voorkomen, maar waar de wateroverdruk na optreden van kortsluiting laag zal zijn.

Aan de gebieden met een lage wateroverdruk en lage kerende hoogte, zoals het grote groene gebied behorende tot het westelijk deel van de geologische provincie riviervlakten, alsmede de gele en blauwe gebieden welke tot de geologische provincie kustvlakten behoren, kan een lagere prioriteit worden toegekend.

Opgemerkt moet worden dat de verschillende kleuren niet altijd even duidelijk op de kaart zijn terug te vinden. Zoals uit het voorgaande blijkt zijn in de legenda ook die gebieden opgenomen welke als enkele pixels (kleine gebieden) voorkomen. Daarnaast komen door mogelijk onnauwkeurigheden in hoogteverschillen een aantal aandachtgebieden voor (Oost-Groningen, de Peel) welke mogelijk ten onrechte als risicovol zijn aangegeven. In Oost Groningen ligt bijvoorbeeld een klein rood gebied, waar het maaiveld plaatselijk op ongeveer NAP-3 m ligt en het omringende land op ongeveer NAP+0 m. Boezem- of polderkaden komen echter in dit rode gebied niet voor.

Op de kaart is aangegeven dat de aandachtsgebiedenkaart een globaal beeld geeft van mogelijke risicovolle gebieden en dus ook alleen op globale schaal kan worden toegepast. Bij gedetailleerde risicobeschouwingen op lokaal niveau is vanzelfsprekend ook gedetailleerde kennis van de grondopbouw en het verloop van de waterspanningen over de betreffende veenkadetrajecten noodzakelijk. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld gegevens worden gebruikt uit in het verleden uitgevoerd onderzoek door het v.m. Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW) en het v.m. Laboratorium voor Grondmechanica (LGM). Van veel boezemkaden in de risicovolle gebieden is informatie over de grondopbouw in en onder de kade bekend. Uit deze gegevens blijkt dat in de gebieden met hoge prioriteit ook veenkadetrajecten voorkomen waarvan de prioriteit op basis van lokale gegevens kan worden verlaagd.

Voor informatie over de aandachtsgebiedenkaart kunt u contact opnemen met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.


Globale aandachtsgebieden
WADDENZEE
NOORDZEE
Den Helder
IJsselmeer
Haarlem
Den Haag
Utrecht
Apeldoorn
Enschede
Arnhem
Nijmegen
Den Bosch
Tilburg
Maastricht

BIJLAGE 5

MAATGEVENDE WINDSNELHEID VOOR VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN

Voor veel watersystemen is de wind de drijvende kracht achter verhogingen van waterstanden en de opwekking van golven. De verwachte toeslag voor scheefstand van de boezem en de golfhoogten zijn dan ook nauw gerelateerd aan de verwachte extreme windcondities. Voor het bepalen van de hydraulische belastingen is de statistiek van extreem hoge windsnelheden essentieel. Bij uitvoering van de veiligheidstoetsing bestaan twee mogelijkheden ten aanzien van de maatgevende windsnelheid:

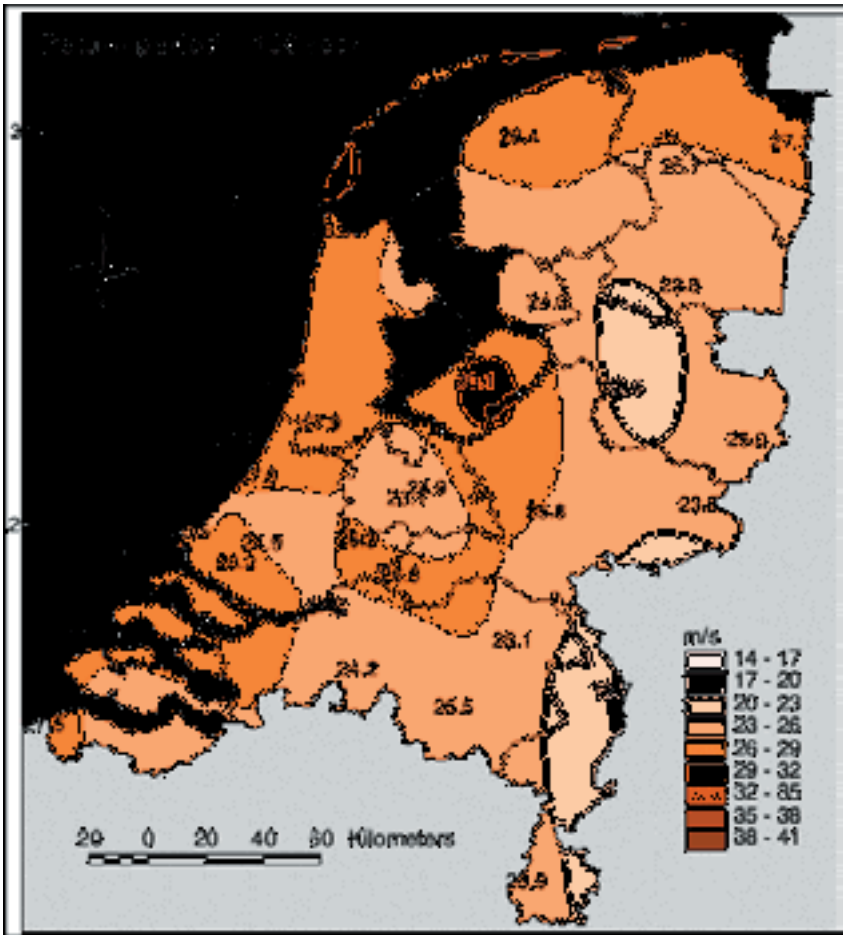
1. het hanteren van één maatgevende windsnelheid zonder onderscheid naar windrichting;
2. het hanteren van een maatgevende windsnelheid per windrichting.

Uitsluitend ter informatie worden in deze bijlage enkele voorbeelden van bovengenoemde windsnelheden gepresenteerd. Deze informatie dient tevens om het verschil in grootte tussen beide windsnelheden aan te duiden. De informatie is afkomstig van het KNMI (verkrijgbaar via de website van het KNMI -HYDRA project: www.knmi.nl/samenw/hydra).

Ten aanzien van de veiligheidstoetsing wordt nog opgemerkt dat de maatgevende windsnelheid dient te worden vastgesteld door de provincie. Desgewenst kan een waterkeringbeheerder de maatgevende windsnelheid gedetailleerd (laten) vaststellen door een studie op gebiedsniveau.

Figuur B5.1 geeft een voorbeeld van de presentatie van een frequentieafhankelijke maatgevende windsnelheid zonder onderscheid naar windrichting.

FIGUUR B5.1 **FREQUENTIEAFHANKELIJKE MAATGEVENDE WINDSNELHEDEN IN NEDERLAND (KNMI)**



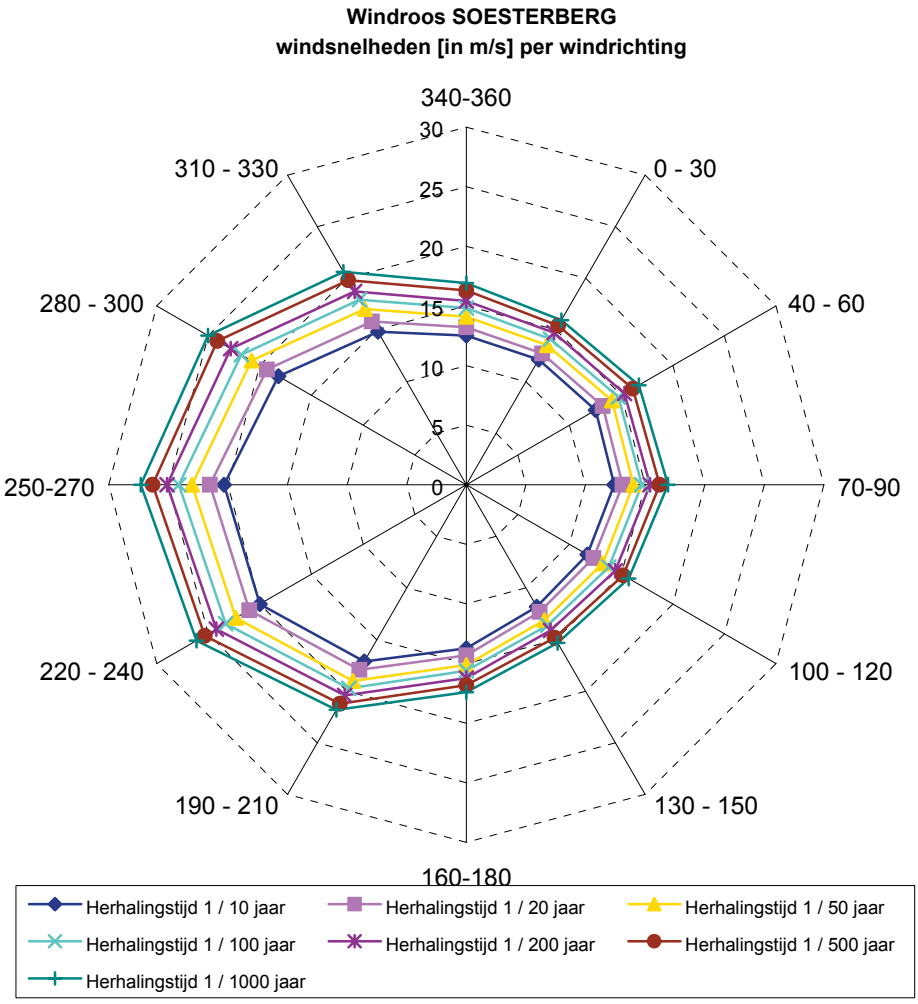
Ad.1: Eén maatgevende windsnelheid

Indien één maatgevende windsnelheid wordt gehanteerd, wordt geen rekening gehouden met de windrichting waaruit de wind waait. Bij de statistische afleiding van extreem hoge windsnelheden zijn alle gemeten windsnelheden gehanteerd, ongeacht de windrichting. Dit is een erg ongunstig uitgangspunt en derhalve conservatief. Een geografisch overzicht van de maatgevende windsnelheid is weergegeven in figuur B5.1 |figuur afkomstig uit I. Smits, et.al. 2001|.

Ad.2: Maatgevende windsnelheid per windrichting

In werkelijkheid is de wind verdeeld over verschillende windrichtingen. De optredende windsnelheden zijn daarbij niet gelijk verdeeld over de windrichtingen. Indien bij de statistische afleiding van extreem hoge windsnelheden wel rekening wordt gehouden met de verdeling over de windrichtingen, wordt per windrichting een maatgevende windsnelheid vastgesteld. Ook een dergelijke verdeling van maatgevende van de windsnelheid is locatiespecifiek. In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van de verdeling van de maatgevende windsnelheid over windrichtingen voor de locatie Soesterberg, gepresenteerd in de vorm van een windroos.

FIGUUR B5.2 **WINDROOS SOESTERBERG (KNMI)**



TABEL B5.1 **DATA BIJ WINDROOS SOESTERBERG (KNMI)**

Windrichting	Windsnelheden [in m/s] bij verschillende herhalingstijd [1 / X jaar]						
[in ° tov Noord]	10	20	50	100	200	500	1000
0 - 30	12,1	12,7	13,5	14,1	14,7	15,4	15,9
40 - 60	12,5	13,2	14,1	14,7	15,3	16,1	16,7
70 - 90	12,4	13,1	14,0	14,7	15,4	16,2	16,9
100 - 120	11,7	12,3	13,2	13,8	14,4	15,2	**15,7**
130 - 150	11,8	12,3	13,1	13,6	14,1	14,8	**15,3**
160 - 180	13,7	14,3	15,1	15,6	16,2	16,8	17,4
190 - 210	17,1	17,9	19,0	19,7	20,4	21,2	21,8
220 - 240	20,0	21,0	22,3	23,3	24,2	25,3	26,1
250 - 270	20,3	21,5	23,0	24,1	25,1	26,3	**27,3**
280 - 300	18,2	19,3	20,8	21,8	22,8	24,1	25,0
310 - 330	14,8	15,8	17,0	17,9	18,7	19,8	20,6
340 - 360	12,5	13,2	14,1	14,8	15,4	16,3	16,9
OMNI	21,1	22,2	23,5	24,5	25,5	26,7	**27,5**

VERSCHIL ONDERSCHEID NAAR WINDRICHTING

Algemeen resulteert een lagere maatgevende windsnelheid indien rekening wordt gehouden met de verdeling van de wind over de windrichtingen. Uit de windroos voor Soesterberg blijkt bijvoorbeeld bij een norm van 1/1000 een maatgevende windsnelheid van 27,3 m/s uit een (zuid-)westelijk richting, terwijl de maatgevende windsnelheid vanuit het (zuid-)oosten ca. 15 m/s bedraagt. Indien geen onderscheid wordt gemaakt naar windrichting (omni-directional) bedraagt de maatgevende windsnelheid 27,5 m/s. Ook uit de resultaten van stations in IJmuiden en Schiphol blijkt een dergelijk verschil: maximale waarden van respectievelijk 28,3 en 31,1 m/s bij de frequentie 1/1000 indien geen onderscheid wordt gemaakt naar windrichting, terwijl de windsnelheid varieert respectievelijk van 17,1 tot 27,5 m/s (voor IJmuiden) en van 19,3 m/s tot 30,5 m/s (voor Schiphol) indien wel rekening wordt gehouden met de verdeling over de windrichtingen.

Ten aanzien van de veiligheidstoetsing resulteert dus een gunstigere randvoorwaarde indien rekening wordt gehouden met de verdeling van de wind over de windrichtingen in combinatie met de ligging van de kade ten opzichte van de wind.

BIJLAGE 6

GRAFIEKEN TER BEPALING VAN DE GOLFOVERSLAGHOOGTE

B6.1 INTRODUCTIE

Ten behoeve van de toetsing is een aantal grafieken ontwikkeld waaruit de benodigde golfoverslaghoogte eenvoudig kan worden afgeleid. De grafieken zijn samengesteld voor een aantal realistische combinaties van de relevante kenmerken, zoals weergegeven in onderstaande tabel. Deze bijlage presenteert de grafieken, alsmede de gehanteerde uitgangspunten bij de samenstelling en enkele voorwaarden bij het gebruik daarvan.

TABEL B6.1 **PARAMETERS IN GRAFIEKEN VOOR DE BEPALING VAN DE OVERSLAGHOOGTE**

Variabele	Aanduiding	Beschouwde variatie
het overslagdebiet	Q	0,1 en 1,0 l/m/s
de maatgevende windsnelheid	u	16, 22, 24, 26, 28, 30 en 32 m/s
de waterdiepte	D	2, 3, 4, 5 7,5 en 10 m
de helling van het buitentalud	T	helling 1:2 en 1:3 (V:H);
de breedte van de boezem	B	variërend van 10 tot 5000 m

Iedere grafiek presenteert steeds de golfoverslaghoogte voor één combinatie van een overslagdebiet en windsnelheid, aldus zijn in totaal 8 grafieken samengesteld. In de grafiek is de benodigde golfoverslaghoogte uitgezet tegen de breedte van de boezem, voor verschillende combinaties van de waterdiepte en helling van het buitentalud. De verschillende lijnen in de grafiek betreffen steeds één combinatie van waterdiepte (D) en helling van het buitentalud (T), waarbij de toevoeging in de legenda overeenkomt met de gehanteerde waarde van de variabele. Zo staat bijvoorbeeld:

- T2D4 voor de combinatie van een 1:2 helling van het buitentalud en 4 m waterdiepte;
- T3D7,5 voor de combinatie van een 1:3 helling van het buitentalud en 7,5 m waterdiepte.

B6.2 UITGANGSPUNTEN

Bij de ontwikkeling van de grafieken zijn ten aanzien van de beschouwde variabelen de onderstaande uitgangspunten gehanteerd.

OVERSLAGDEBIET

Beschouwd is een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1 en 1 l/m/s. Voor een groter overslagdebiet is een geavanceerde beoordeling benodigd, waarbij rekening wordt gehouden met de veiligheid van het binnentalud, eventuele toegankelijkheid van de kade voor (nood-) maatregelen en de overlast voor de polder.

WINDSNELHEID

De grafieken houden geen rekening met de ligging van de kade ten opzichte van de windrichtingen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een maatgevende windsnelheid, die waait vanuit alle windrichtingen. Met de specifieke verdeling van de maatgevende windsnelheden over de verschillende windrichtingen is geen rekening gehouden.

WATERDIEPTE

De waterdiepte betreft de waterdiepte, zoals die tijdens de toetssituatie optreedt. Met totale waterdiepte wordt bedoeld het verschil tussen de waterbodem en het toetspeil, dus inclusief de lokale toeslagen.

HELLING VAN BUITENTALUD

In de gehanteerde schematisering heeft het buitentalud een uniforme taludhelling van kruinniveau tot op de waterbodem. Eventueel aanwezige elementen die een gunstige invloed hebben op de hoogte van golven (zoals een rietkraag, een onderwater dam of een ondiepe vooroever) zijn niet beschouwd.

STRIJKLENGTE EN BREEDTE VAN HET WATER

Bij de berekeningen is een breedte van het water beschouwd variërend van 10 tot 5000 m. De bijbehorende strijklengte vanuit verschillende invalshoeken is berekend op basis van het uitgangspunt van een rechtlijnige boezem, kanaal of regionale rivier, waarbij de keringen evenwijdig aan elkaar lopen.

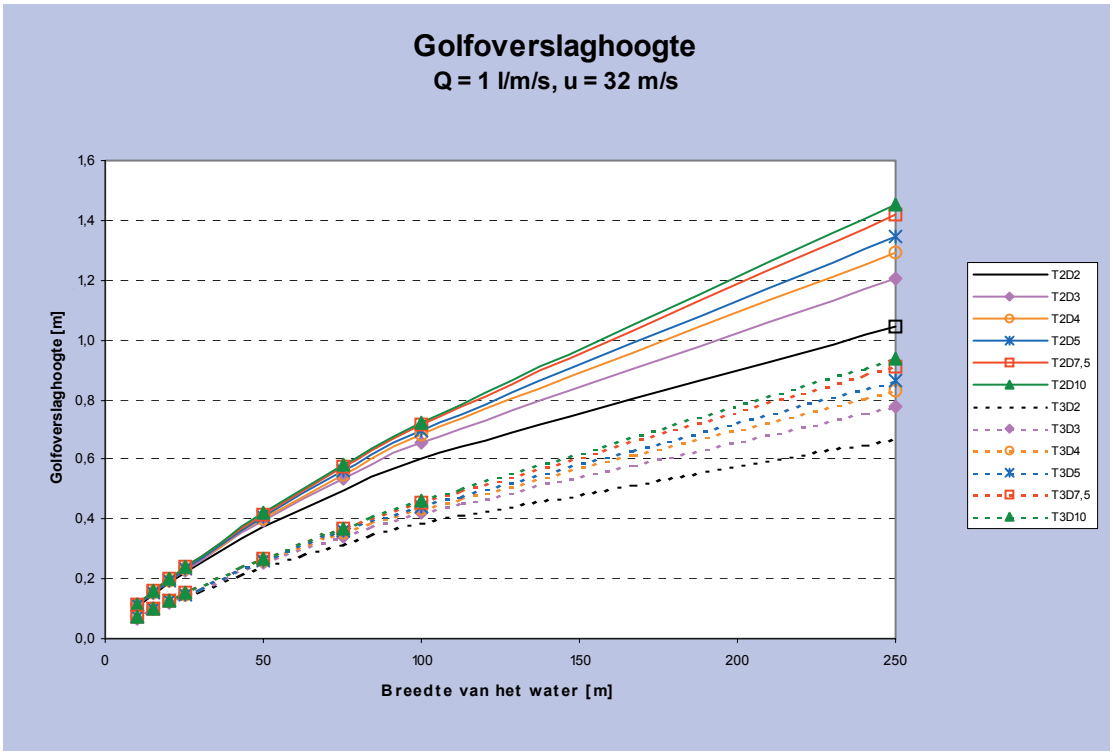
BEKLEDING BUITENTALUD

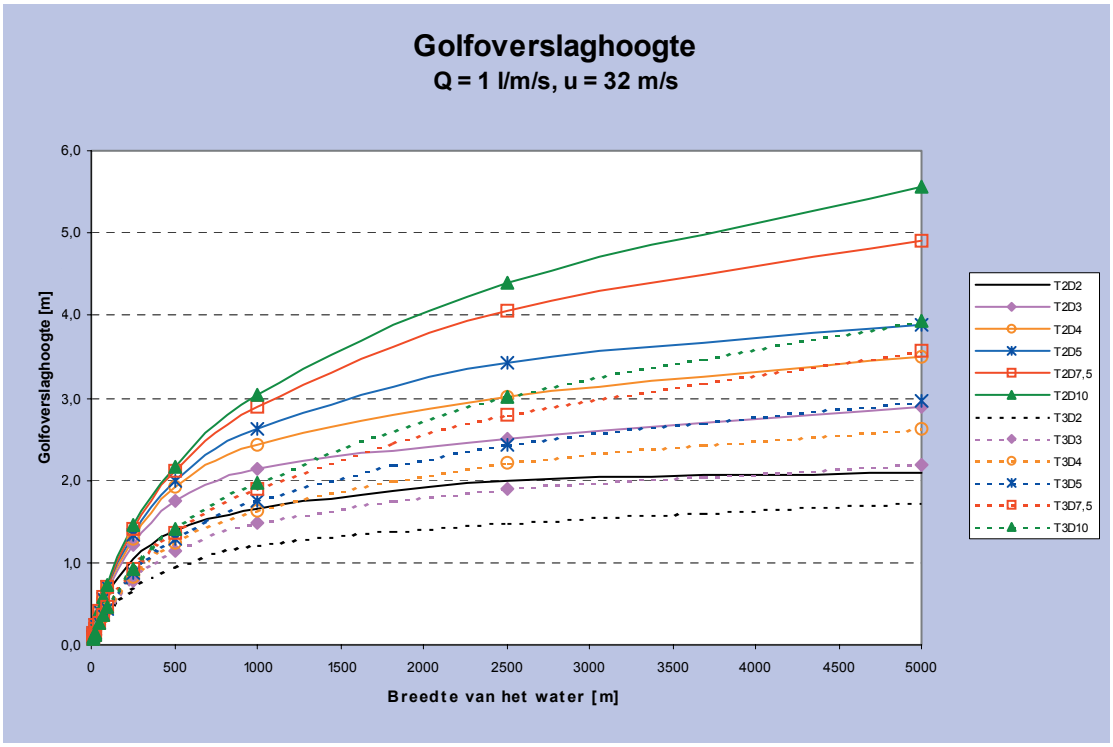
Gehanteerd uitgangspunt is daarnaast dat de bekleding van het talud wordt gevormd door een goed ontwikkelde grasmat. De gehanteerde invloedsfactor voor de ruwheid van het gras is afhankelijk gesteld van de golfhoogte, en neemt met afnemende golfhoogte af van ca. 1,0 tot 0,51 [-]. Ook voor sommige soorten harde bekleding geldt dat in werkelijkheid de invloedsfactor afhankelijk is van de golfhoogte, maar dit effect is sterk afhankelijk van de aard van de bekleding. Bij breuksteen speelt dit effect bijvoorbeeld in veel sterkere mate dan bij asfalt (als er al enig effect is). Hierdoor kan niet worden aangenomen dat een harde bekleding in alle situaties een lagere invloedsfactor heeft dan de gehanteerde factor voor gras. De grafieken kunnen zodoende niet worden toegepast indien het buitentalud een harde (steen)bekleding heeft. Naar verwachting is dit slechts een geringe beperking voor de praktijk, aangezien harde bekleding met name wordt toegepast indien hoge golfhoogten kunnen optreden.

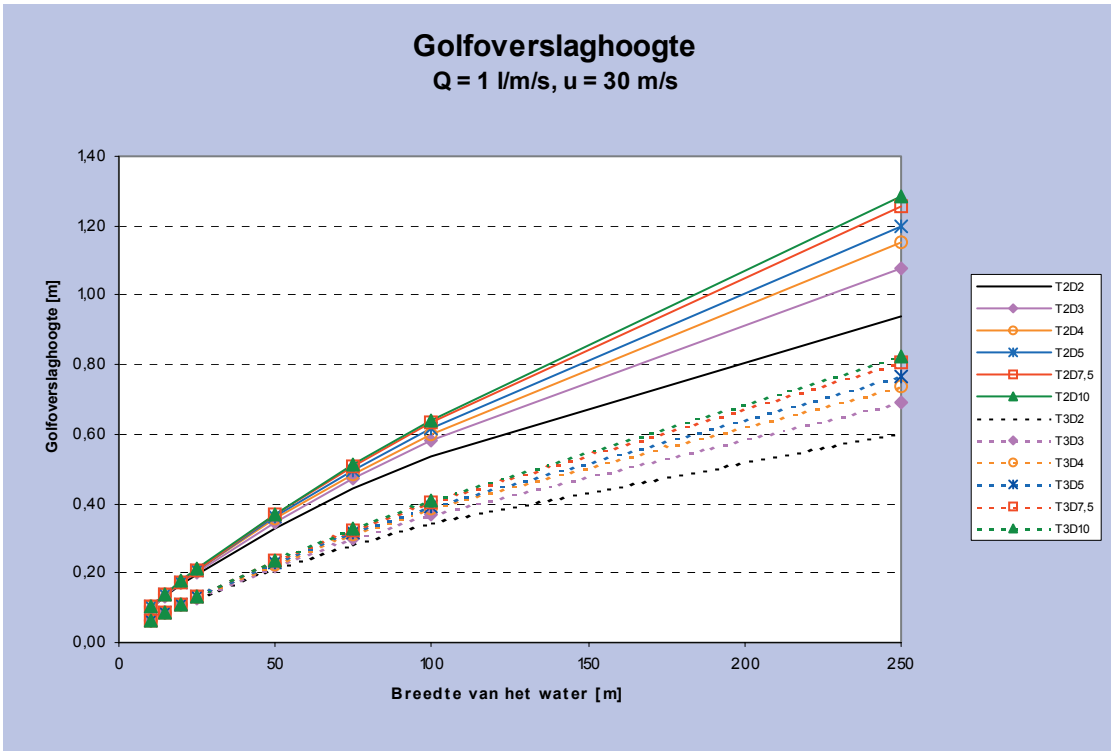
B6.3 GRAFIEKEN

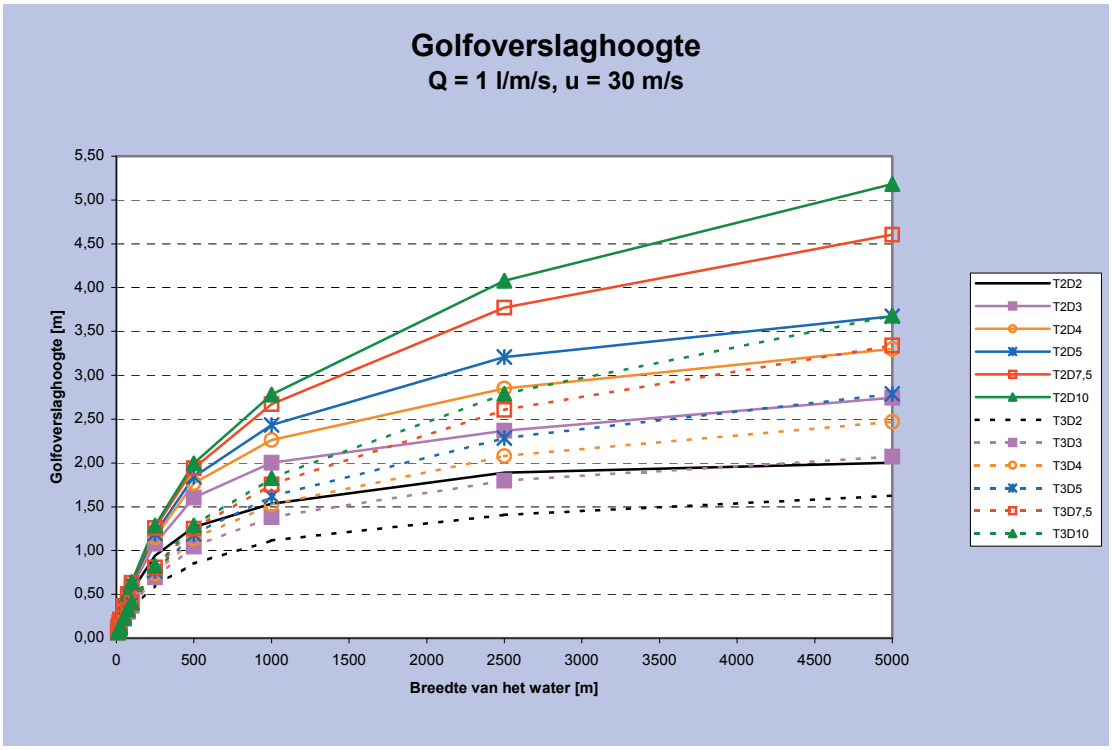
In deze paragraaf zijn de grafieken verzameld waaruit de in rekening te brengen golfoverslaghoogte kan worden afgelezen. De numerieke resultaten van de berekeningen die aan deze grafieken ten grondslag liggen zijn verzameld in paragraaf B6.5.

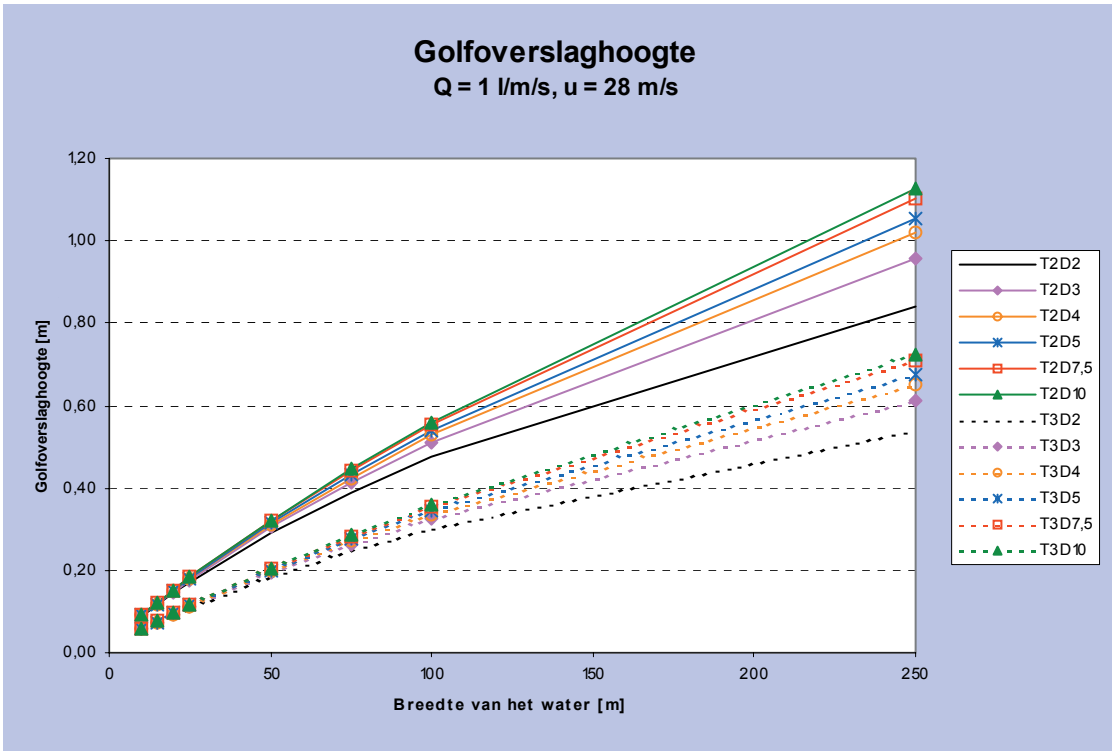
FIGUREN B6.3 **GOLFOVERSLAGHOOGTE ALS FUNCTIE VAN DE PARAMETERS Q, U, D, T EN B**

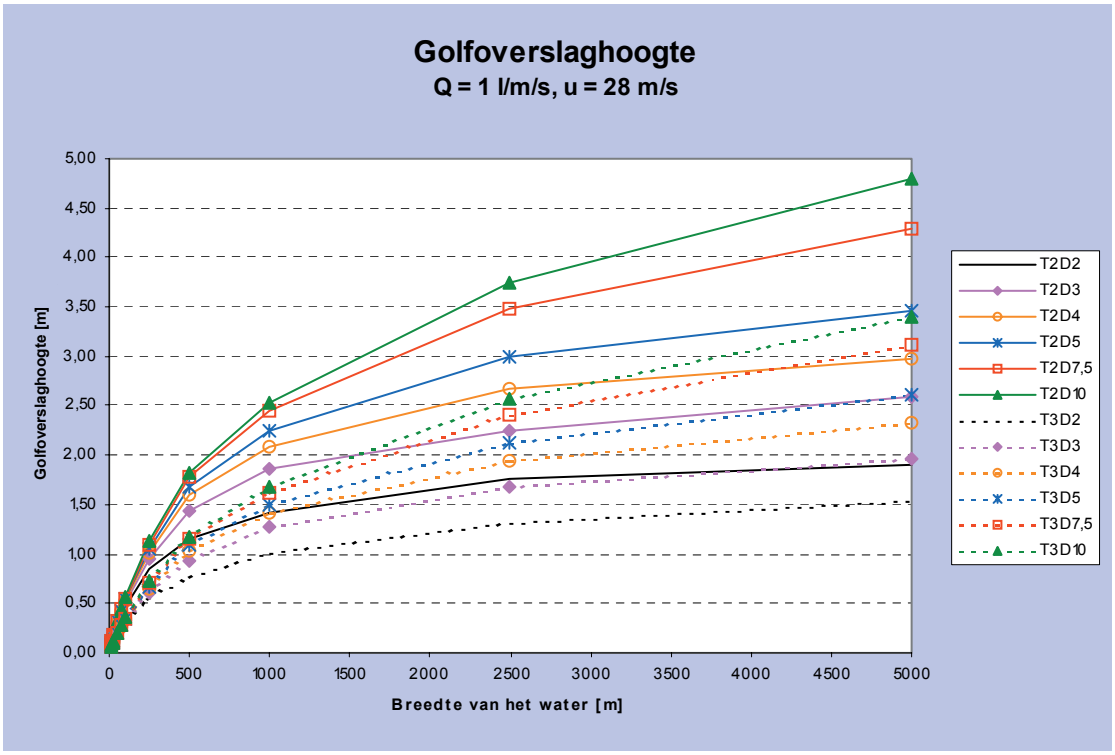


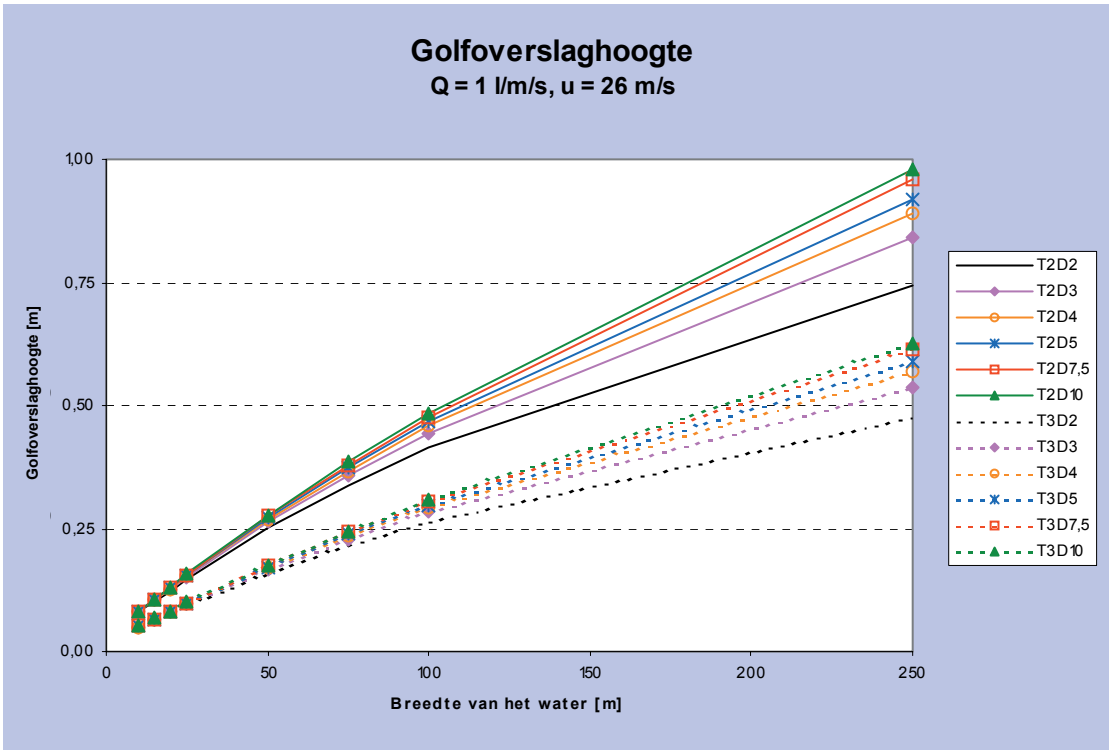


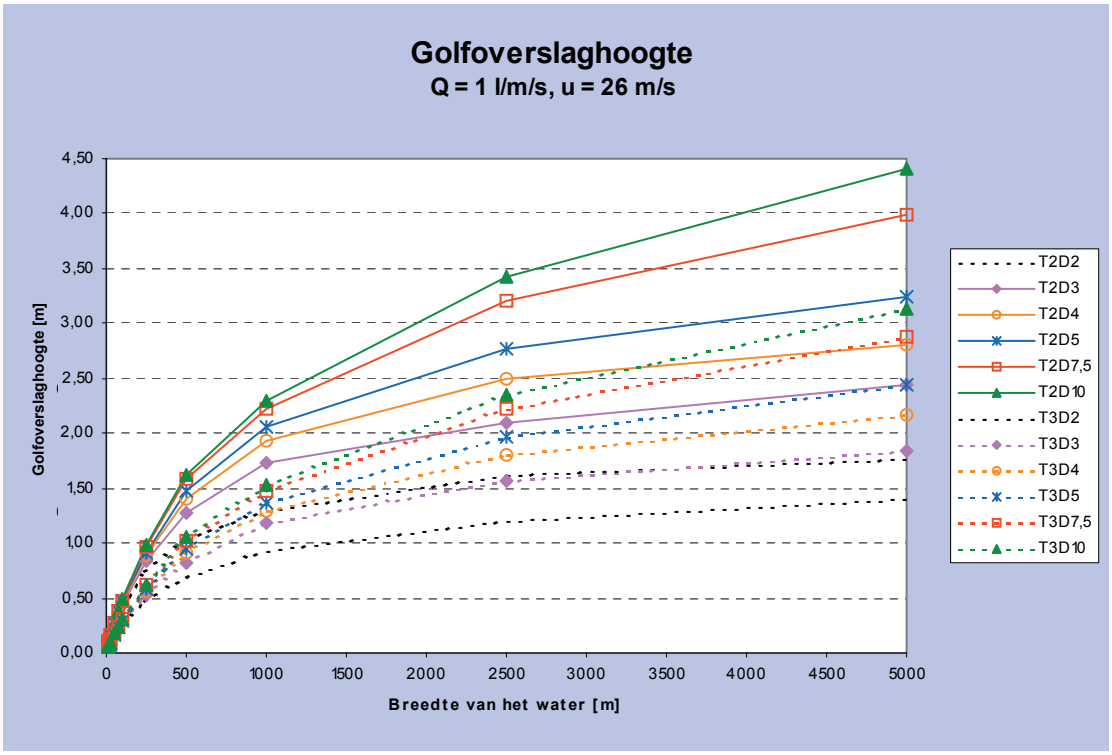

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 30 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

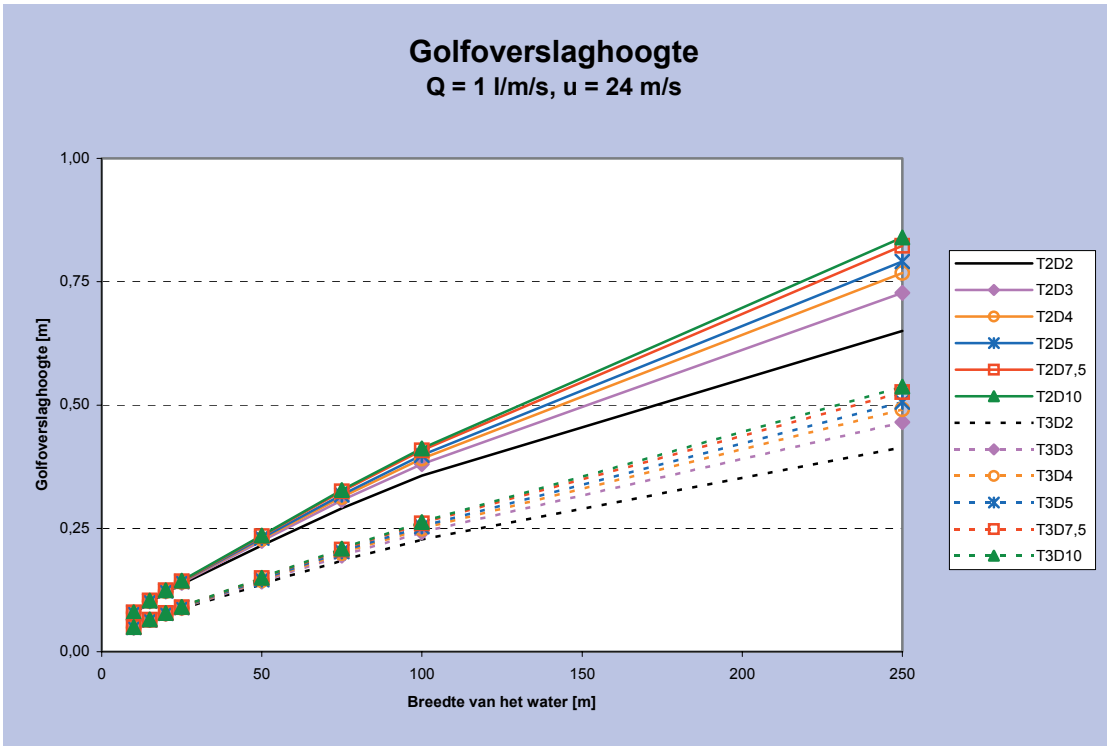

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 30 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
5,50
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

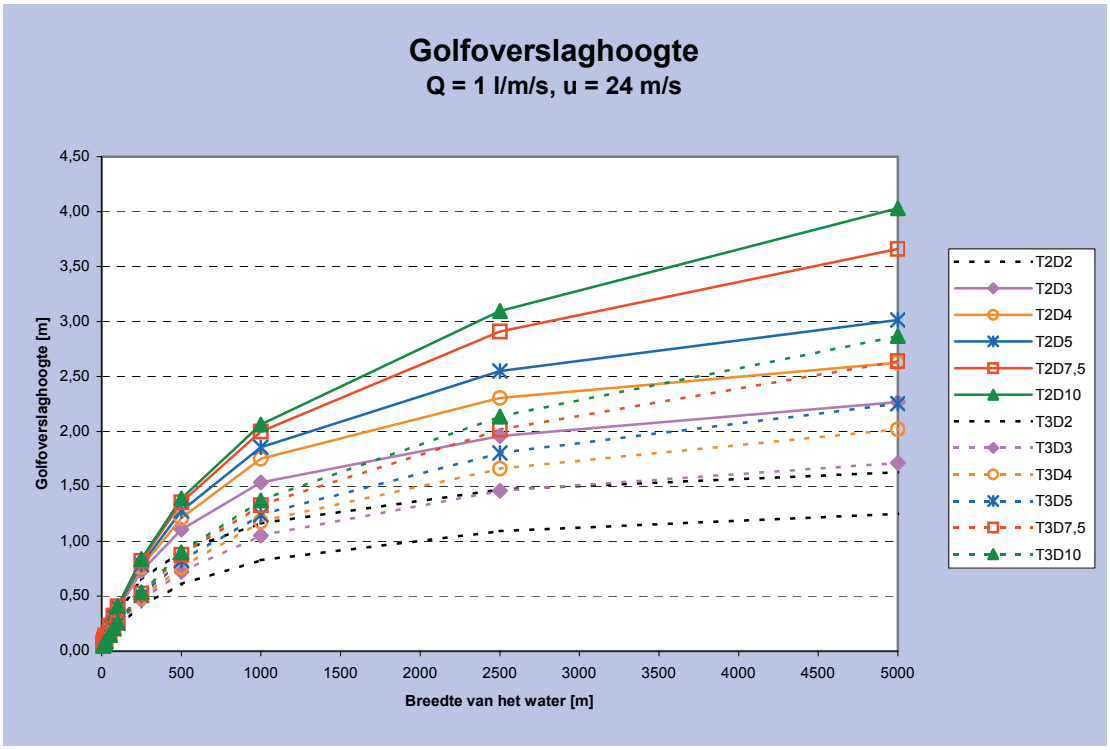

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 28 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

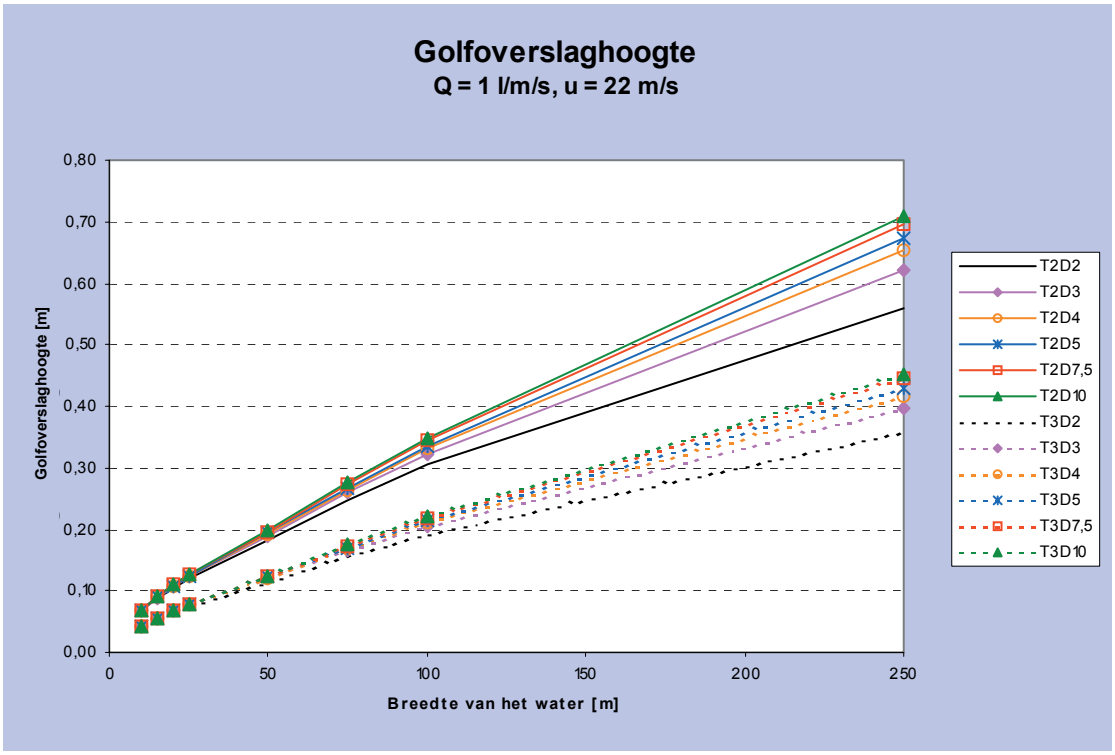

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 28 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

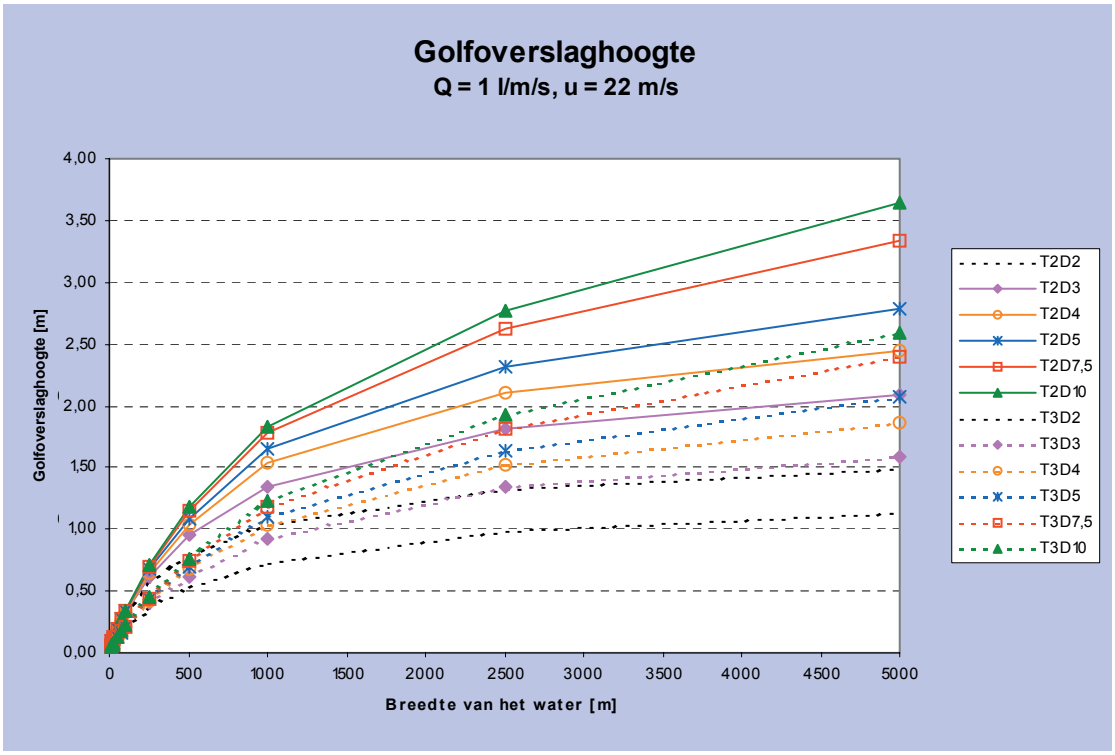

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 26 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

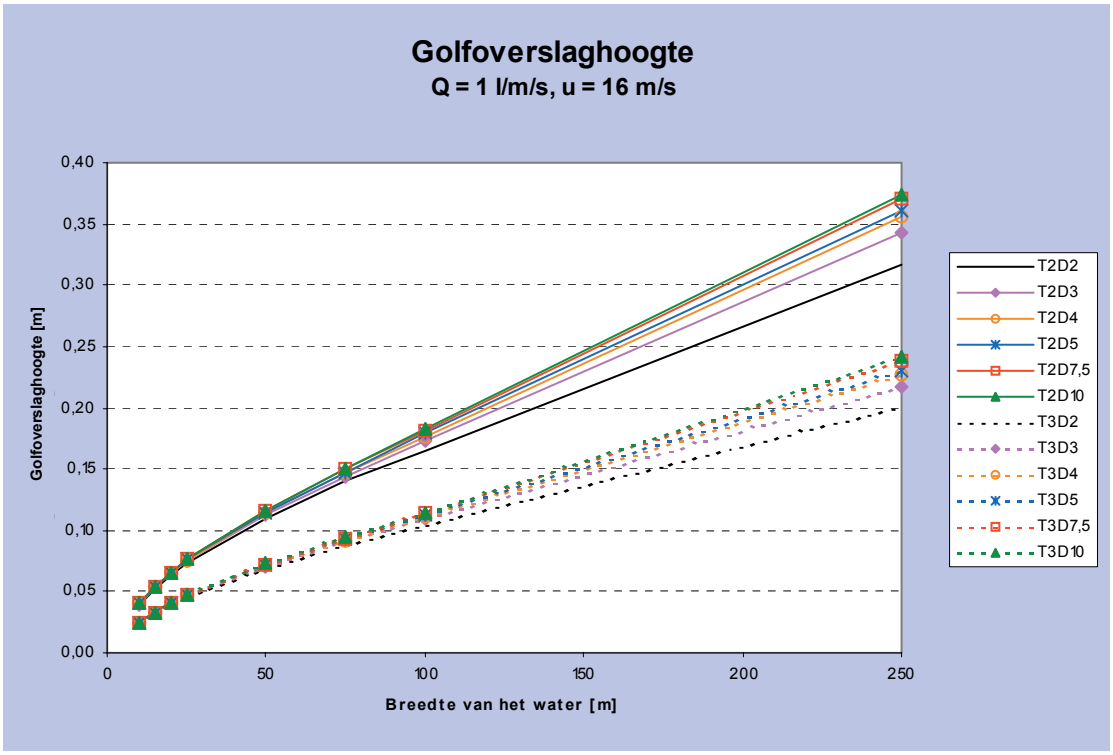

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 26 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

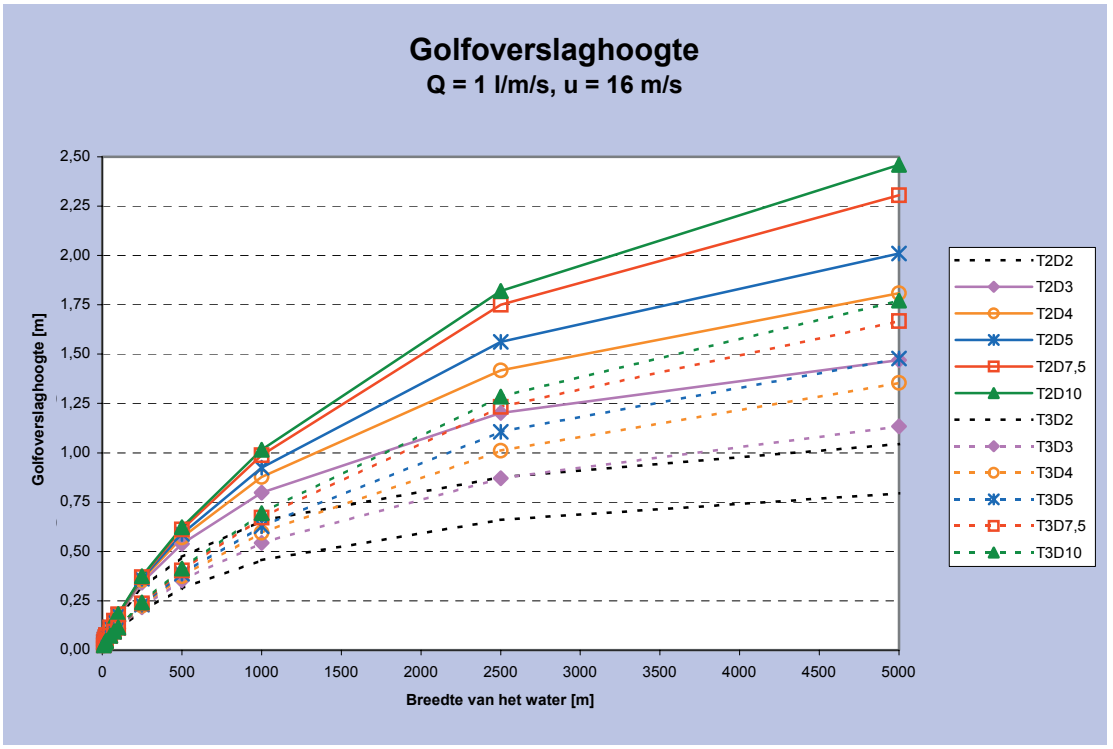

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 24 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

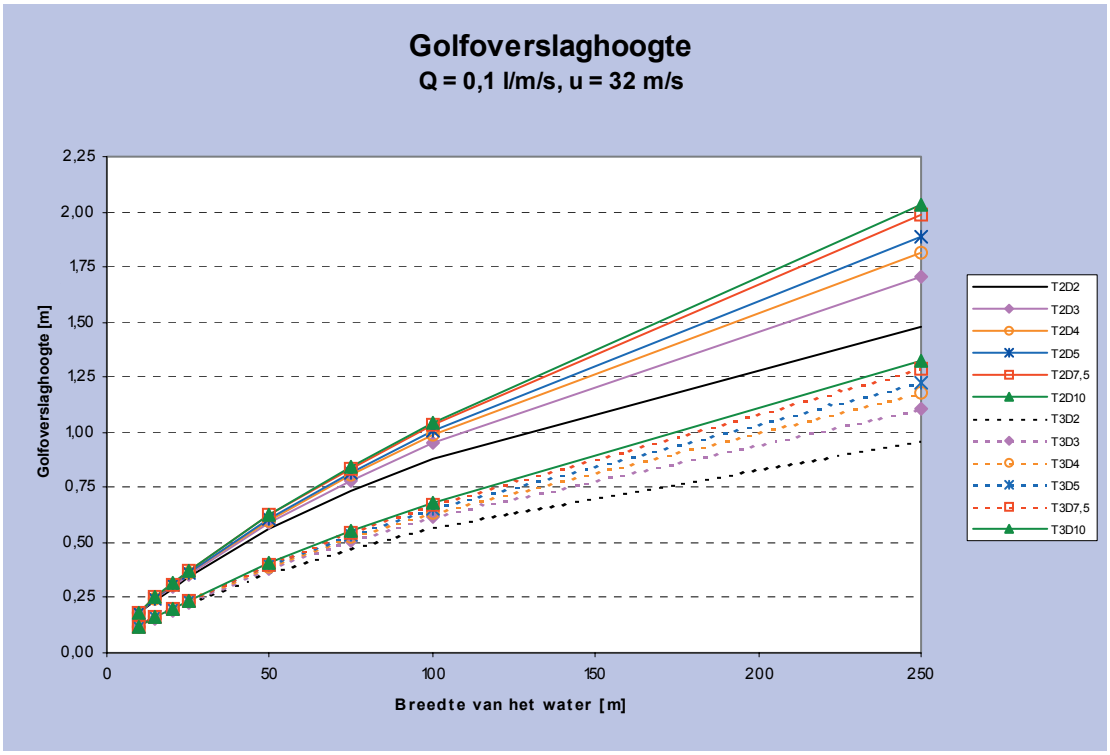

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 24 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

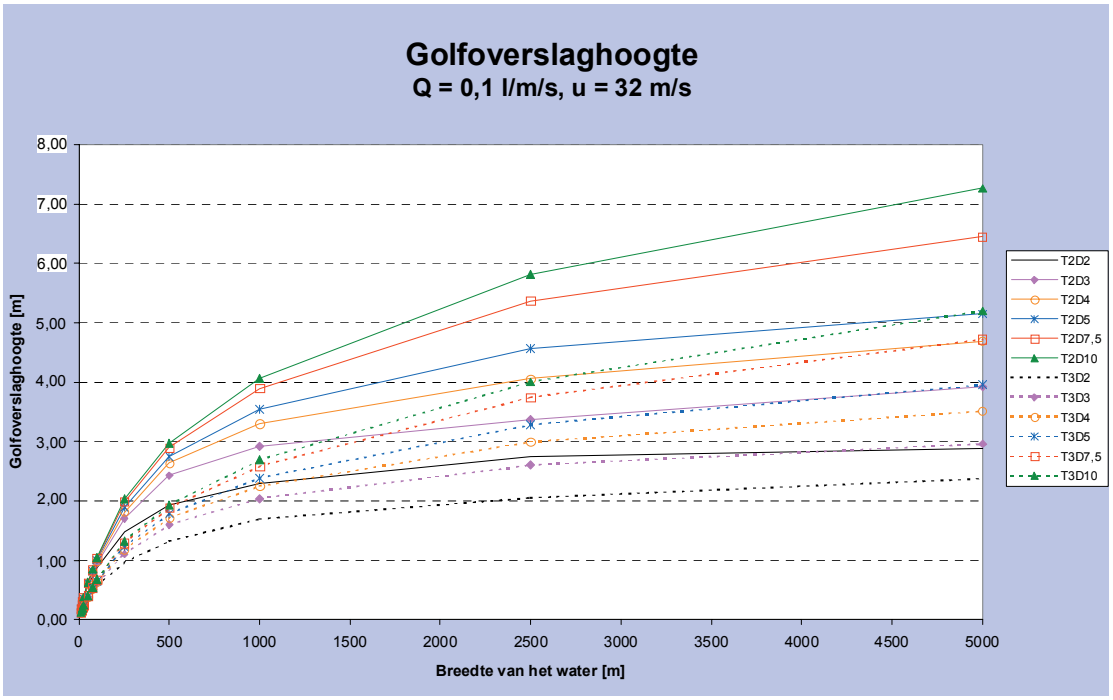

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 22 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

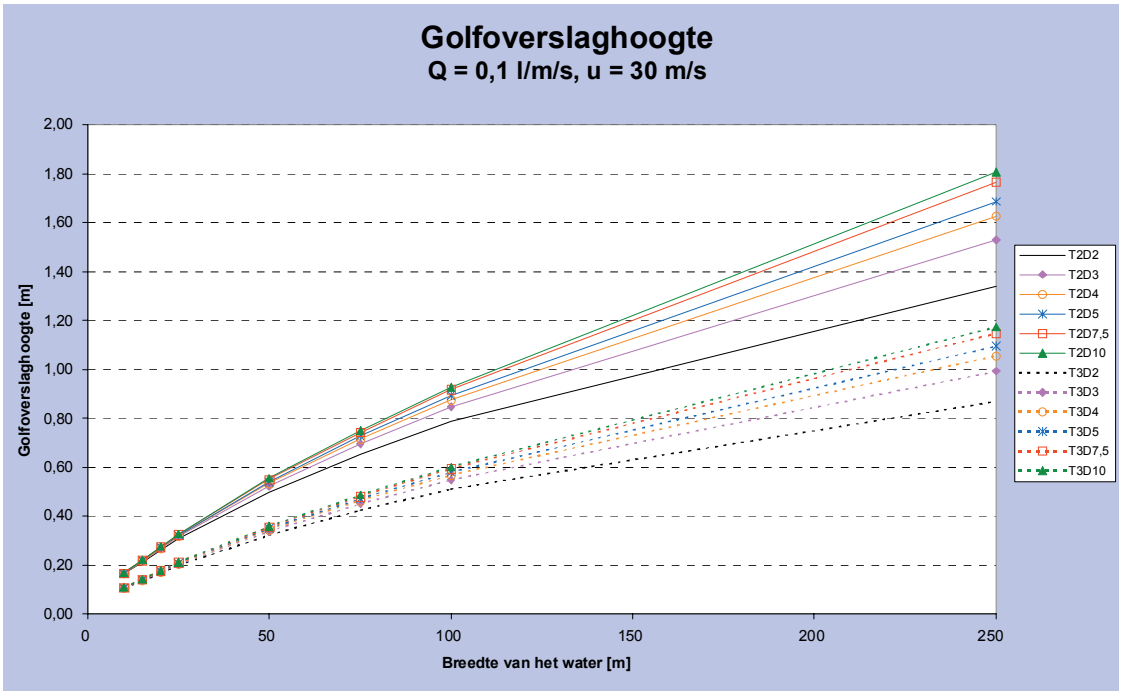

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 22 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

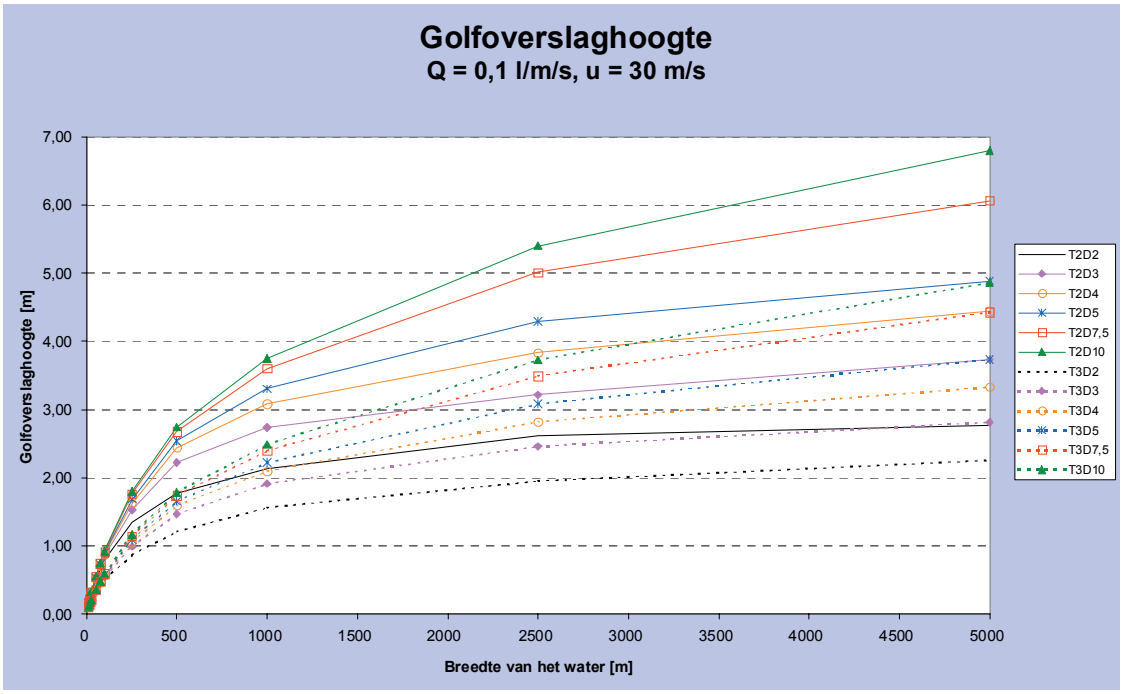

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 16 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

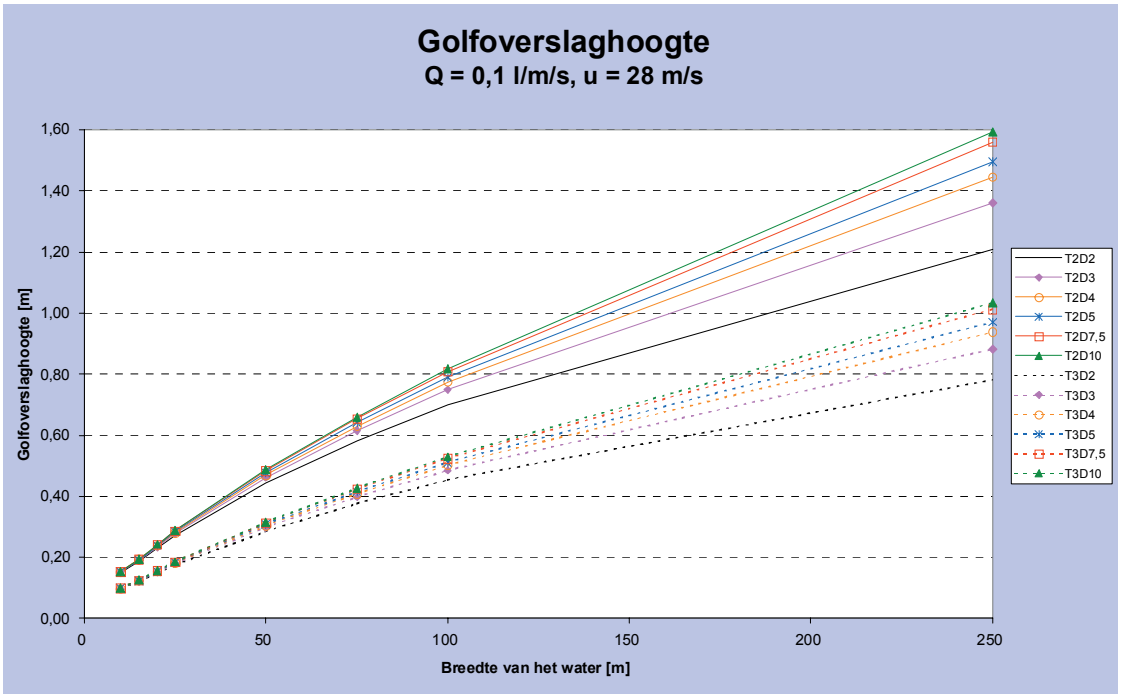

Golfoverslaghoogte
Q = 1 l/m/s, u = 16 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
2,50
2,25
2,00
1,75
1,50
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

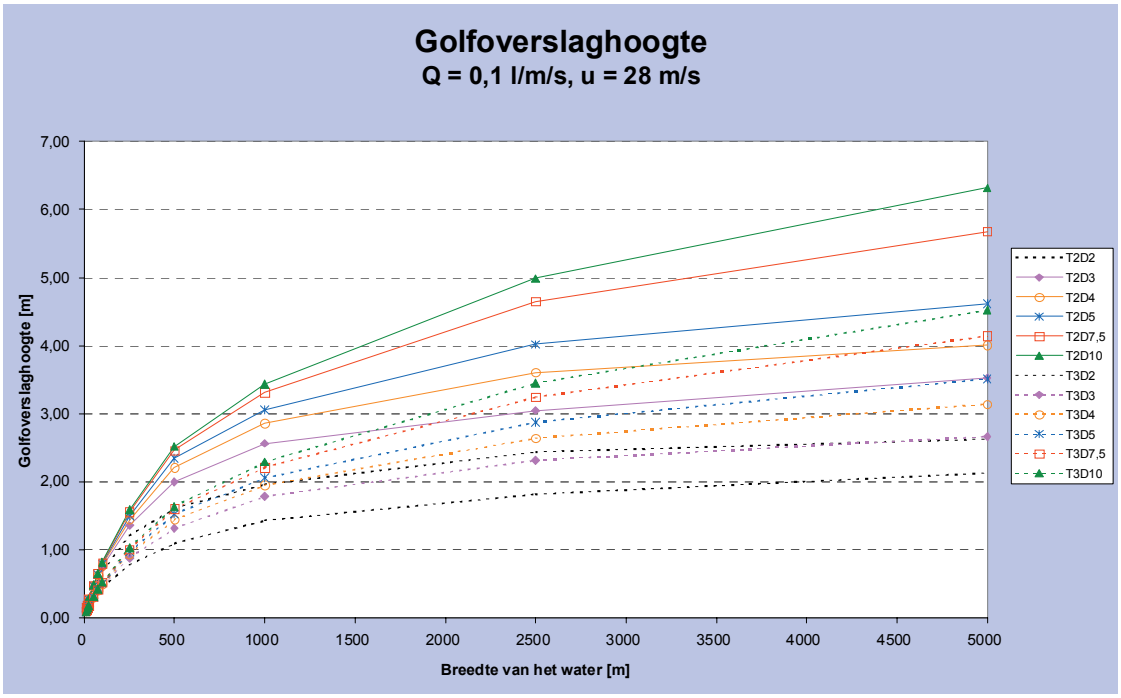

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 32 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
2,25
2,00
1,75
1,50
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

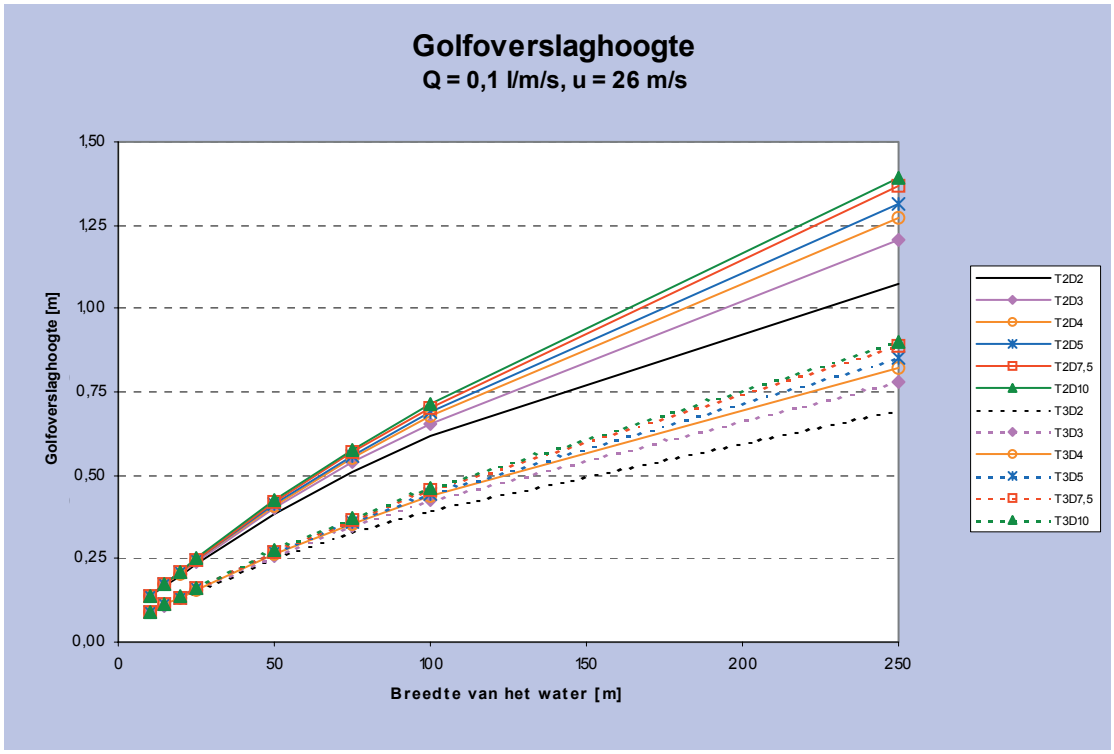

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 32 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

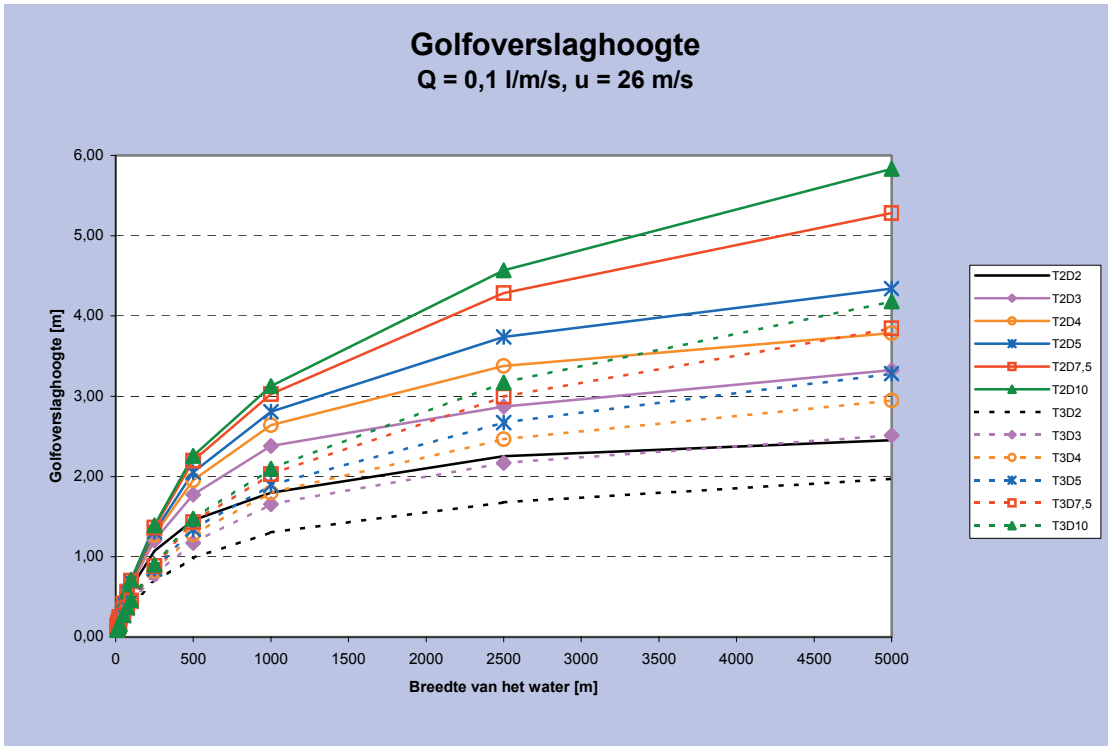

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 30 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
2,00
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

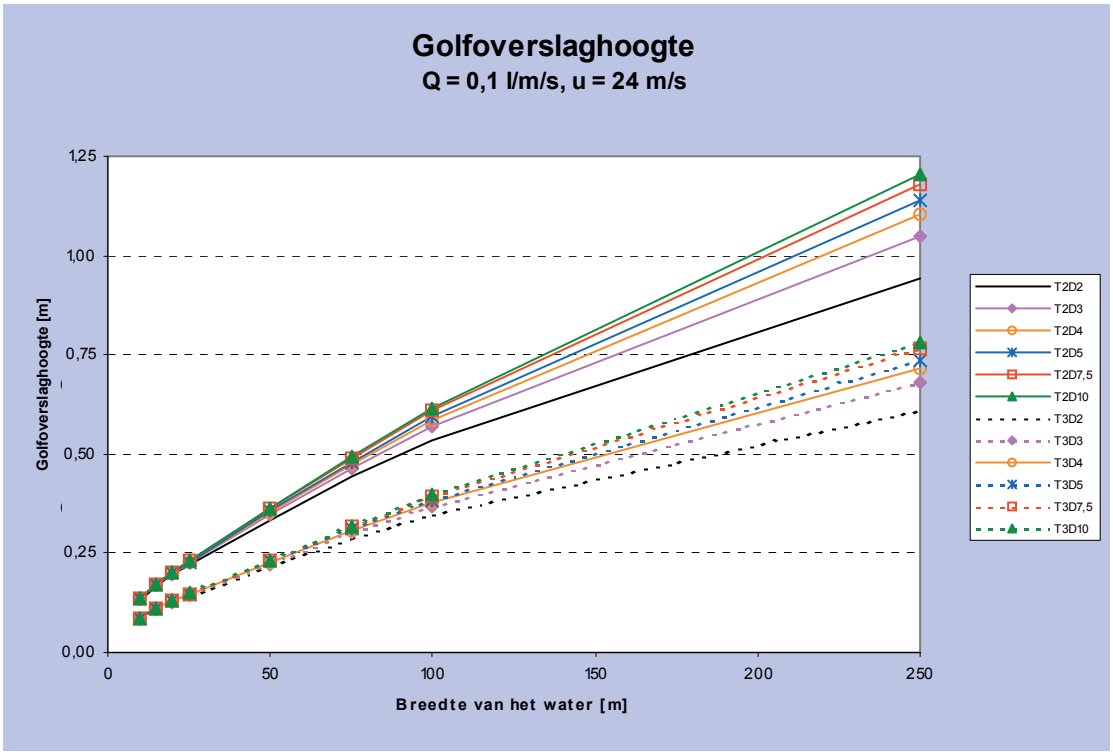

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 30 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

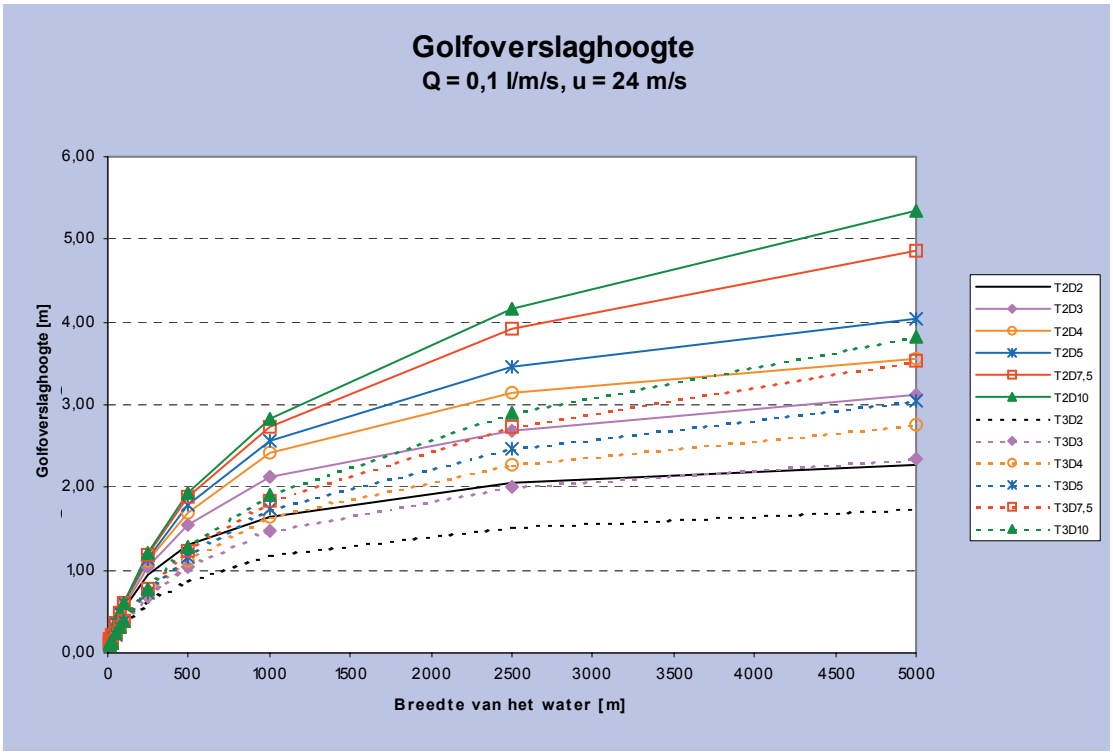

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 28 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

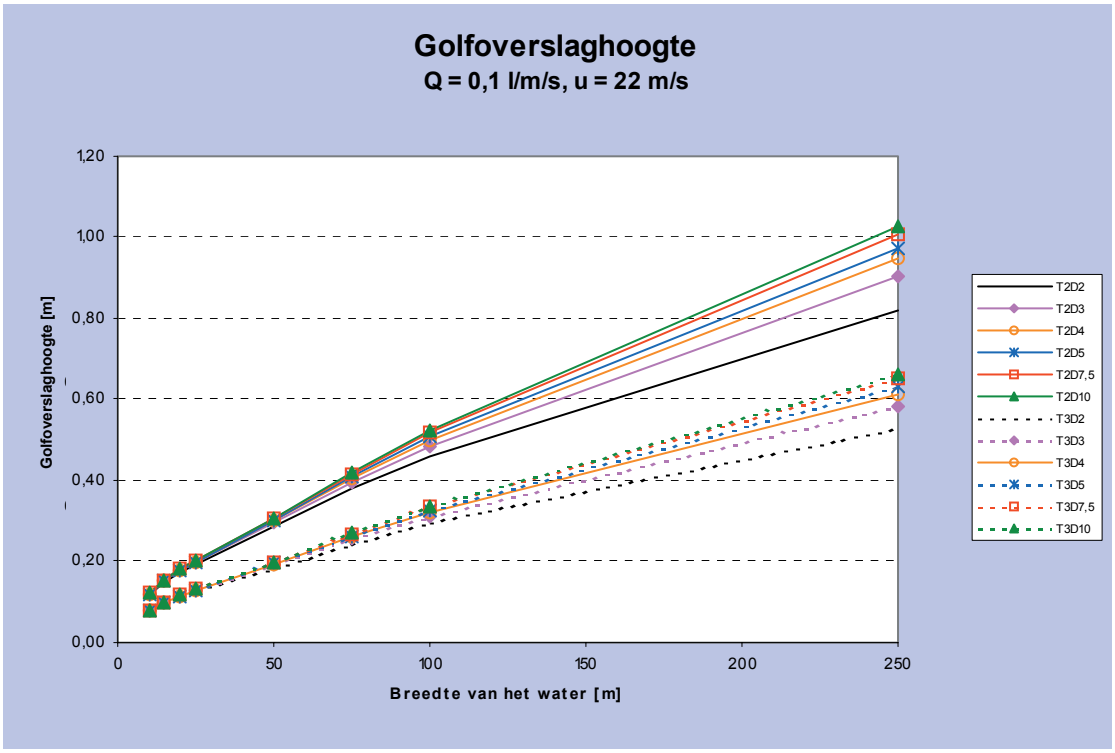

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 28 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

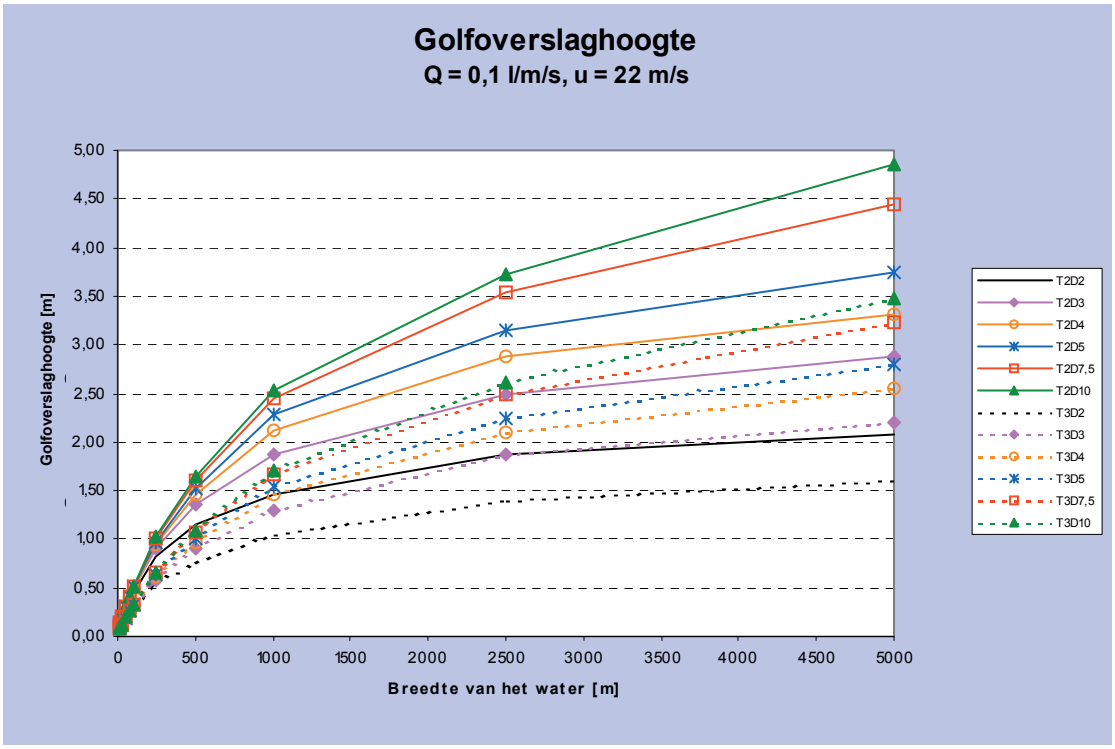

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 26 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,50
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

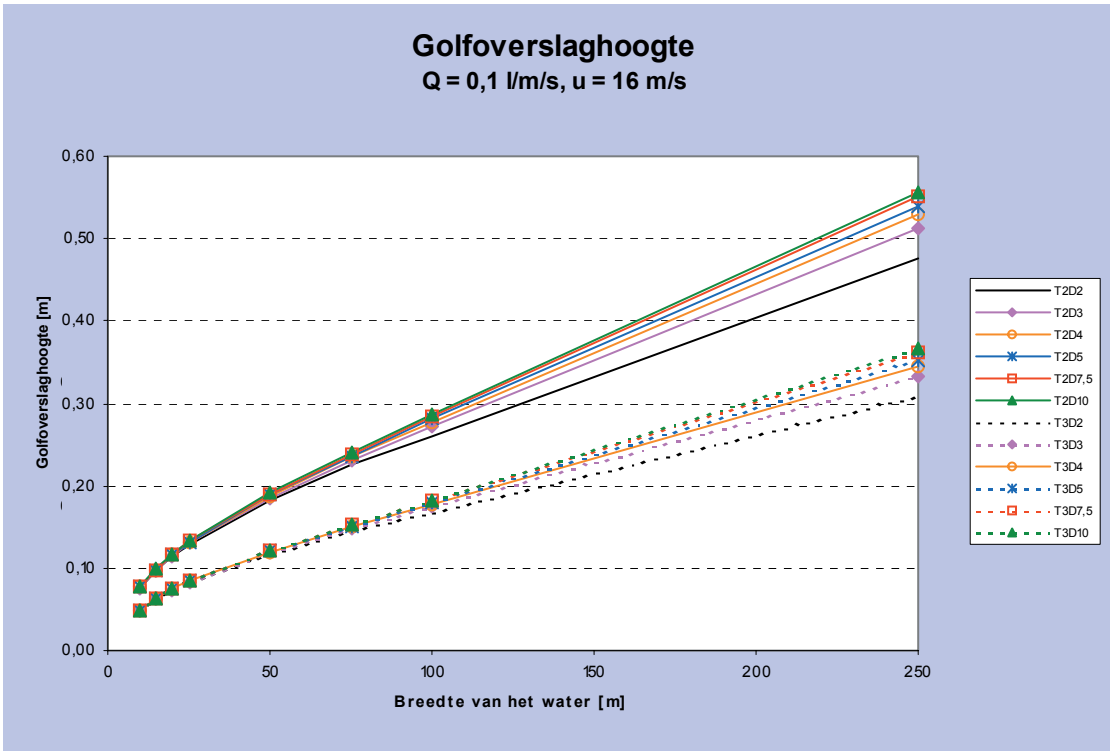

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 26 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

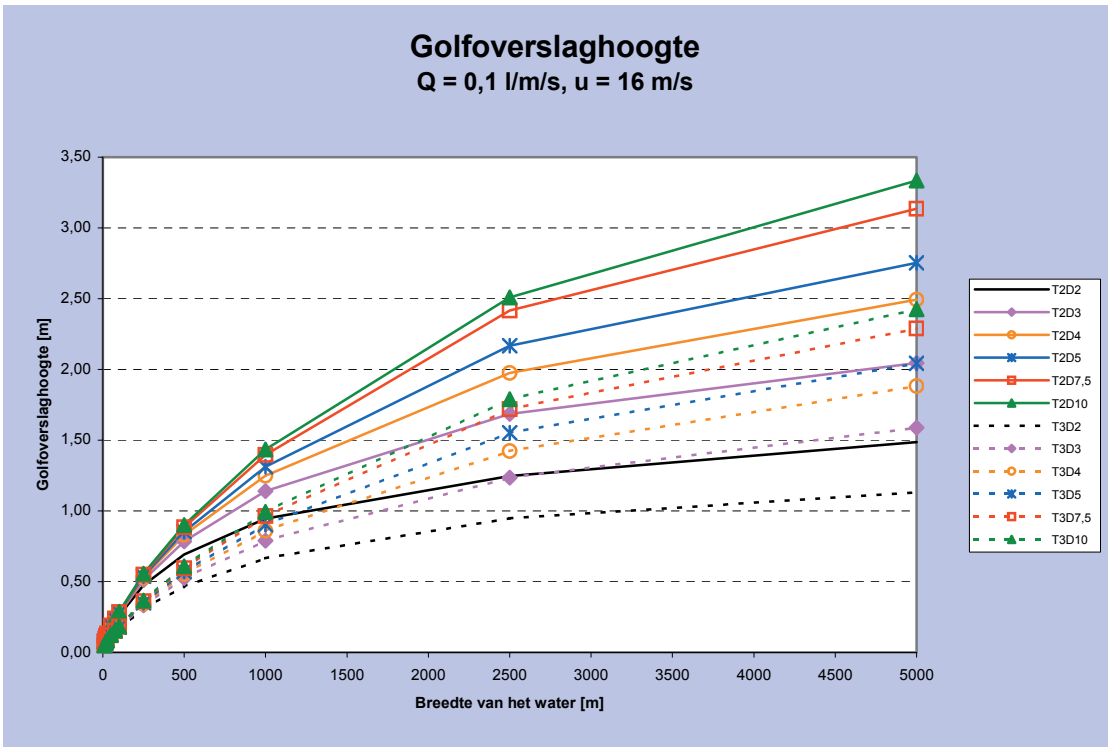

Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 24 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10


Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 24 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10


Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 22 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10


Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 22 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10


Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 16 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
50
100
150
200
250
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10


Golfoverslaghoogte
Q = 0,1 l/m/s, u = 16 m/s
Golfoverslaghoogte [m]
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
Breedte van het water [m]
T2D2
T2D3
T2D4
T2D5
T2D7,5
T2D10
T3D2
T3D3
T3D4
T3D5
T3D7,5
T3D10

B6.4 TOELICHTING BIJ HET GEBRUIK VAN DE GRAFIEKEN

TOELAATBAAR OVERSLAGDEBIET

Een overslagdebiet van maximaal 0,1 l/m/s vormt een verwaarloosbaar overslagdebiet. Dit vormt geen bedreiging voor de stabiliteit van de kade. Indien een toelaatbaar overslagdebiet van 1,0 l/m/s of hoger wordt gehanteerd dient tevens de stabiliteit van de bekleding op de kruin en het binnentalud te worden getoetst. Hiervoor wordt verwezen naar §4.8.2 en de VTV 2006.

MAXIMALE WINDSNELHEID

Voor de te hanteren maatgevende windsnelheid worden de volgende drie mogelijkheden genoemd:

- Het hanteren van één maatgevende windsnelheid, desgewenst per deel van het beheersgebied (zie bijlage 5). In dit geval dient voor de afleiding van de golfoverslaghoogte de grafiek te worden gekozen die behoort bij deze maximale windsnelheid. Deze aanpak is het meest eenvoudig, maar conservatief in twee opzichten: de windsnelheid is (iets) hoger dan wanneer rekening wordt gehouden met de verdeling over de windrichtingen en waait bovendien uit alle richtingen.
- Desgewenst kan bij de berekening van de golfoverslaghoogte wel rekening worden gehouden met de ligging van de kade ten opzichte van de windrichting en de verdeling van de wind over de verschillende richtingen. Hierbij resulteert een gunstigere windsnelheid. In dit geval kan de benodigde golfoverslaghoogte echter niet grafisch worden afgeleid maar is een gedetailleerde berekening van de golfrandvoorwaarden en de golfoverslaghoogte nodig, bijvoorbeeld op basis van de Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 2 [LOR2 1989], het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken [TRGG 2002] of het spreadsheet van het Wetterskip Fryslân. Deze benadering wordt beschouwd als onderdeel van de gedetailleerde methode.
- Als alternatief kan een semi-gedetailleerde methode worden toegepast waarbij gedeeltelijk rekening wordt gehouden met de ligging van de kade ten opzichte van de wind en toch gebruik kan worden gemaakt van de grafieken. Hierbij wordt de maximale maatgevende windsnelheid geselecteerd vanuit alle denkbare hoeken van inval op de kade, en wordt op basis van deze maatgevende windsnelheid de golfoverslaghoogte grafisch afgeleid.

Een voorbeeld van deze derde mogelijkheid is verderop in deze bijlage gegeven.

WATERDIEPTE

De waterdiepte betreft de totale waterdiepte, zoals die tijdens de toetssituatie optreedt. In beginsel dient de golfoverslaghoogte te worden bepaald op basis van de maximale waterdiepte. Indien deze waterdiepte slechts op een zeer gering gedeelte over de totale strijklengte voorkomt, kan worden overwogen een geringere waterdiepte te hanteren. Een dergelijke optimalisatie dient in voldoende mate te worden onderbouwd.

HELLING BUITENTALUD

Bij het gebruik van de grafieken dient de taludhelling te worden gehanteerd zoals die voorkomt op het buitentalud, over een hoogte op het talud van ca. $1{,}5 * H_s$ beneden het toetspeil tot ca. $1{,}0 * H_s$ boven het toetspeil. Indien een flauwer talud dan 1:3 aanwezig is, kan desgewenst gebruik worden gemaakt van 1:3. Dit is een conservatief uitgangspunt en overschat de benodigde golfoverslaghoogte en dus de vereiste kruinhoogte.

STRIJKLENGTE

Bij de grafische afleiding van de golfoverslaghoogte dient voor een kadevak de maatgevende breedte van de boezem tijdens maatgevende condities te worden geselecteerd. De bijbehorende strijklengte vanuit de verschillende hoeken van inval is berekend met als uitgangspunt een rechte boezem. Het is aannemelijk dat de vorm van een boezem lokaal afwijkt van de gehanteerde rechte boezem. Bij geringe afwijkingen kan de maatgevende breedte worden bepaald aan de hand van figuur B6.2. Bij grote variatie binnen het kadevak kan deze worden ingedeeld in kleinere subvakken.
Een denkbare methode om de grafieken bij sterk onregelmatige vorm van de boezem toch te kunnen toepassen is door middel van het afleiden van een equivalente breedte van de boezem. Hierbij dient voor de verschillende hoeken van inval de strijklengte te worden bepaald, welke vervolgens dient te worden omgerekend naar een equivalente breedte van de boezem. Uit de verschillende resulterende breedten dient vervolgens de grootste of maatgevende breedte te worden geselecteerd.

De equivalente breedte kan worden berekend volgens:

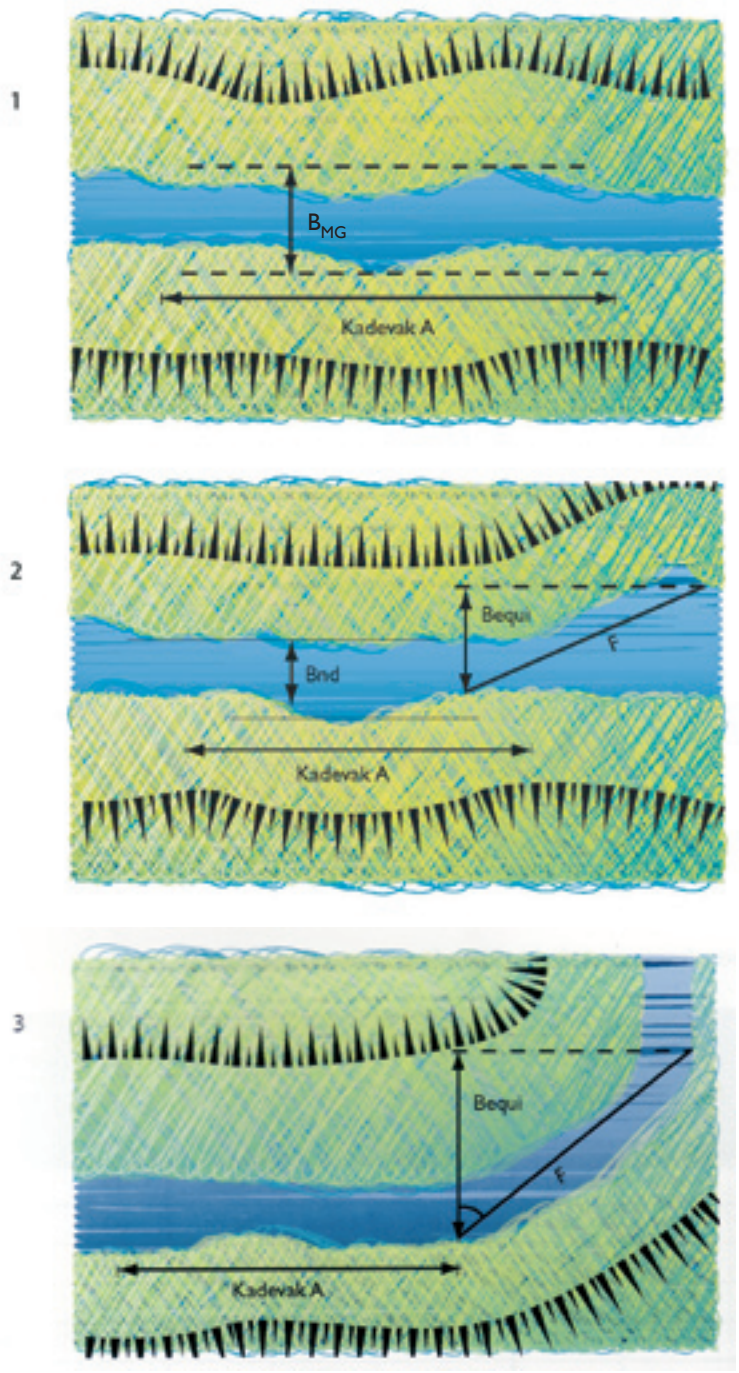
$B_{equivalent} = F * \cos \alpha$

Waarin:

$B_{equivalent}$ = breedte boezem loodrecht op kade [m]
F = strijklengte [m]
α = invalshoek ten opzichte van normaal op de kade [°]

Een toelichting is gegeven in figuur B6.2

FIGUUR B6.2 **AFLEIDING MAATGEVENDE STRIJKLENGTE**



Deze werkwijze is conservatief en resulteert in een overschatting van de golfoverslaghoogte. Veelal zal dit alleen resulteren in het toetsoordeel 'voldoende' indien sprake is van een ruime overdimensionering van de kruinhoogte.

EEN VOORBEELD

Beschouwd zij een regionale waterkering in Soesterberg (IPO-klasse V: 1/1000 jaar) die is gericht op het (oost-) zuidoosten (de hoek van de normaal van de kering t.o.v. Noord is 120 graden). De kering heeft een buitentalud met een helling van 1:2 en een goede grasmat met een toelaatbaar overslag debiet van 1 l/m/s. Het water heeft een maximale waterdiepte van 3 m en een maximale breedte van 50 m.

Voor dit gebied is door de provincie een maatgevende windsnelheid vastgesteld van 28,5 m/s. Op basis van het toelaatbare overslagdebiet en de windsnelheid dient de grafiek met Q = 1 en u = 30 te worden gehanteerd voor de afleiding van de golfoverslaghoogte. Uit deze grafiek kan voor de beschouwde kade (de lijn 'T2D3') bij een breedte van 50 m een benodigde golfoverslaghoogte worden afgelezen van 0,35 m (zie ook tabel B5.5).

Uitgaand van een toetspeil van NAP +0,1 m (op basis van een Maatgevende Boezempeil van NAP −0,2 m en lokale toeslagen bij deze normfrequentie ter grootte van 0,3 m) kan op basis van de afgelezen golfoverslaghoogte een minimaal benodigde kruinhoogte worden vastgesteld van NAP +0,45 m. Bij een verwachte daling van de kruinhoogte door zetting en bodemdaling gedurende de toetsperiode van 0,05 m, kan de hoogte van de kade als goed worden beoordeeld bij een actuele kruinhoogte van minimaal NAP +0,50 m.

Indien de aanwezige kruinhoogte lager is, kan worden gekozen 'eenvoudig' rekening te houden met de ligging van de kade ten opzichte van de wind. Hierbij wordt als maatgevende windsnelheid de maximale wind uit de verschillende invalshoeken op de kade geselecteerd. Uitgaand van een ligging van de kade op het (oost-) zuidoosten (hoek t.o.v. noord = 120º) wordt de maximale windsnelheid geselecteerd vanuit de range invalshoeken van 30 tot 210º (= 120 ± 90º). Op basis van de windroos die is weergegeven in bijlage 4 kan een maatgevende windsnelheid van 21,8 m/s worden vastgesteld. Aldus resulteert uit de grafiek met Q = 1 en u = 26 (de grafiek met de eerst hogere windsnelheid) een benodigde overslaghoogte van 0,26 m en daarmee een benodigde kruinhoogte van NAP +0,36 m (exclusief zetting). Indien de actuele kruinhoogte lager is, kan vervolgens de overslaghoogte gedetailleerd worden berekend door vanuit iedere hoek van inval de werkelijke strijklengte en bijbehorende maatgevende windsnelheid te beschouwen.

B6.5 NUMERIEKE RESULTATEN VAN DE BEREKENDE GOLFOVERSLAGHOOGTEN

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
32	2	2	10	0,18	0,11	0,24	21	0,18	1,12	42
32	2	2	15	0,24	0,15	0,31	31	0,22	1,23	42
32	2	2	20	0,30	0,19	0,37	41	0,24	1,32	42
32	2	2	25	0,35	0,22	0,42	52	0,27	1,39	42
32	2	2	50	0,56	0,37	0,64	104	0,34	1,63	42
32	2	2	75	0,73	0,50	0,81	155	0,40	1,78	42
32	2	2	100	0,88	0,60	0,94	207	0,44	1,89	42
32	2	2	250	1,48	1,04	1,43	518	0,58	2,29	42
32	2	2	500	1,94	1,39	1,82	1036	0,67	2,61	42
32	2	2	1000	2,30	1,66	2,15	2071	0,74	2,93	42
32	2	2	2500	2,75	1,99	2,44	2549	0,76	3,02	0
32	2	2	5000	2,89	2,09	2,57	5097	0,79	3,33	0
32	2	3	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	3	15	0,24	0,15	0,31	31	0,22	1,24	42
32	2	3	20	0,30	0,19	0,37	41	0,25	1,33	42
32	2	3	25	0,36	0,23	0,43	52	0,27	1,40	42
32	2	3	50	0,59	0,40	0,67	104	0,36	1,65	42
32	2	3	75	0,78	0,53	0,86	155	0,42	1,81	42
32	2	3	100	0,95	0,66	1,02	207	0,46	1,93	42
32	2	3	250	1,70	1,21	1,65	518	0,63	2,35	42
32	2	3	500	2,43	1,76	2,21	1036	0,78	2,71	42
32	2	3	1000	2,92	2,13	2,61	2071	0,91	3,08	42
32	2	3	2500	3,38	2,49	3,00	5178	1,03	3,57	42
32	2	3	5000	3,92	2,89	3,30	5097	1,03	3,56	0
32	2	4	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	4	15	0,25	0,16	0,31	31	0,22	1,25	42
32	2	4	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,34	42
32	2	4	25	0,36	0,23	0,44	52	0,27	1,41	42
32	2	4	50	0,60	0,40	0,68	104	0,36	1,66	42
32	2	4	75	0,81	0,55	0,88	155	0,42	1,83	42
32	2	4	100	0,99	0,68	1,05	207	0,47	1,95	42
32	2	4	250	1,82	1,29	1,75	518	0,66	2,39	42
32	2	4	500	2,63	1,91	2,37	1036	0,83	2,76	42
32	2	4	1000	3,30	2,43	2,89	2071	1,01	3,17	42
32	2	4	2500	4,06	3,02	3,49	5178	1,20	3,71	42
32	2	4	5000	4,70	3,50	3,83	5097	1,20	3,71	0
32	2	5	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	5	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,25	42
32	2	5	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,34	42
32	2	5	25	0,36	0,24	0,44	52	0,27	1,42	42
32	2	5	50	0,61	0,41	0,69	104	0,36	1,67	42
32	2	5	75	0,82	0,56	0,89	155	0,43	1,84	42
32	2	5	100	1,01	0,70	1,07	207	0,48	1,96	42
32	2	5	250	1,89	1,35	1,82	518	0,68	2,41	42
32	2	5	500	2,74	1,99	2,46	1036	0,87	2,80	42
32	2	5	1000	3,55	2,62	3,07	2071	1,07	3,23	42
32	2	5	2500	4,56	3,42	3,84	5178	1,33	3,82	42
32	2	5	5000	5,15	3,88	4,31	10357	1,47	4,26	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
32	2	7,5	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,14	42
32	2	7,5	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,26	42
32	2	7,5	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,35	42
32	2	7,5	25	0,37	0,24	0,44	52	0,27	1,42	42
32	2	7,5	50	0,62	0,42	0,70	104	0,37	1,68	42
32	2	7,5	75	0,84	0,57	0,91	155	0,43	1,85	42
32	2	7,5	100	1,03	0,72	1,09	207	0,48	1,98	42
32	2	7,5	250	1,99	1,42	1,90	518	0,70	2,45	42
32	2	7,5	500	2,90	2,11	2,58	1036	0,91	2,86	42
32	2	7,5	1000	3,90	2,89	3,31	2071	1,16	3,32	42
32	2	7,5	2500	5,37	4,05	4,40	5178	1,53	3,98	42
32	2	7,5	5000	6,45	4,91	5,19	10357	1,79	4,50	42
32	2	10	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,14	42
32	2	10	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,26	42
32	2	10	20	0,31	0,20	0,39	41	0,25	1,35	42
32	2	10	25	0,37	0,24	0,45	52	0,27	1,43	42
32	2	10	50	0,63	0,42	0,71	104	0,37	1,69	42
32	2	10	75	0,85	0,58	0,92	155	0,43	1,86	42
32	2	10	100	1,05	0,73	1,10	207	0,49	1,99	42
32	2	10	250	2,03	1,45	1,94	518	0,71	2,47	42
32	2	10	500	2,97	2,17	2,64	1036	0,93	2,89	42
32	2	10	1000	4,06	3,03	3,43	2071	1,20	3,37	42
32	2	10	2500	5,82	4,40	4,70	5178	1,64	4,07	42
32	2	10	5000	7,26	5,55	5,74	10357	1,99	4,64	42
32	3	2	10	0,12	0,07	0,16	21	0,18	1,12	42
32	3	2	15	0,15	0,10	0,20	31	0,22	1,23	42
32	3	2	20	0,19	0,12	0,24	41	0,24	1,32	42
32	3	2	25	0,22	0,14	0,28	52	0,27	1,39	42
32	3	2	50	0,36	0,24	0,43	104	0,34	1,63	42
32	3	2	75	0,47	0,32	0,54	155	0,40	1,78	42
32	3	2	100	0,57	0,39	0,63	207	0,44	1,89	42
32	3	2	250	0,96	0,67	1,00	518	0,58	2,29	42
32	3	2	500	1,33	0,94	1,33	1036	0,67	2,61	42
32	3	2	1000	1,69	1,21	1,66	2071	0,74	2,93	42
32	3	2	2500	2,05	1,48	1,96	5178	0,79	3,33	42
32	3	2	5000	2,38	1,72	2,16	5097	0,79	3,33	0
32	3	3	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	3	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,24	42
32	3	3	20	0,20	0,12	0,25	41	0,25	1,33	42
32	3	3	25	0,23	0,15	0,29	52	0,27	1,40	42
32	3	3	50	0,38	0,25	0,45	104	0,36	1,65	42
32	3	3	75	0,51	0,34	0,57	155	0,42	1,81	42
32	3	3	100	0,62	0,42	0,68	207	0,46	1,93	42
32	3	3	250	1,11	0,78	1,13	518	0,63	2,35	42
32	3	3	500	1,60	1,14	1,58	1036	0,78	2,71	42
32	3	3	1000	2,04	1,48	1,94	2071	0,91	3,08	42
32	3	3	2500	2,60	1,91	2,39	5178	1,03	3,57	42
32	3	3	5000	2,96	2,18	2,68	10357	1,07	3,91	42
32	3	4	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	4	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,25	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
32	3	4	20	0,20	0,12	0,25	41	0,25	1,34	42
32	3	4	25	0,23	0,15	0,29	52	0,27	1,41	42
32	3	4	50	0,39	0,26	0,45	104	0,36	1,66	42
32	3	4	75	0,52	0,35	0,59	155	0,42	1,83	42
32	3	4	100	0,64	0,44	0,70	207	0,47	1,95	42
32	3	4	250	1,18	0,83	1,20	518	0,66	2,39	42
32	3	4	500	1,71	1,23	1,67	1036	0,83	2,76	42
32	3	4	1000	2,25	1,64	2,10	2071	1,01	3,17	42
32	3	4	2500	2,99	2,21	2,69	5178	1,20	3,71	42
32	3	4	5000	3,51	2,61	3,10	10357	1,29	4,12	42
32	3	5	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	5	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,25	42
32	3	5	20	0,20	0,13	0,25	41	0,25	1,34	42
32	3	5	25	0,24	0,15	0,29	52	0,27	1,42	42
32	3	5	50	0,40	0,26	0,46	104	0,36	1,67	42
32	3	5	75	0,53	0,36	0,60	155	0,43	1,84	42
32	3	5	100	0,65	0,45	0,71	207	0,48	1,96	42
32	3	5	250	1,23	0,87	1,25	518	0,68	2,41	42
32	3	5	500	1,79	1,28	1,72	1036	0,87	2,80	42
32	3	5	1000	2,38	1,74	2,21	2071	1,07	3,23	42
32	3	5	2500	3,28	2,44	2,91	5178	1,33	3,82	42
32	3	5	5000	3,96	2,96	3,42	10357	1,47	4,26	42
32	3	7,5	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,14	42
32	3	7,5	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,26	42
32	3	7,5	20	0,20	0,13	0,26	41	0,25	1,35	42
32	3	7,5	25	0,24	0,15	0,30	52	0,27	1,42	42
32	3	7,5	50	0,40	0,27	0,47	104	0,37	1,68	42
32	3	7,5	75	0,54	0,37	0,61	155	0,43	1,85	42
32	3	7,5	100	0,67	0,46	0,73	207	0,48	1,98	42
32	3	7,5	250	1,29	0,91	1,30	518	0,70	2,45	42
32	3	7,5	500	1,88	1,36	1,80	1036	0,91	2,86	42
32	3	7,5	1000	2,58	1,90	2,36	2071	1,16	3,32	42
32	3	7,5	2500	3,74	2,80	3,25	5178	1,53	3,98	42
32	3	7,5	5000	4,72	3,57	3,98	10357	1,79	4,50	42
32	3	10	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,14	42
32	3	10	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,26	42
32	3	10	20	0,20	0,13	0,26	41	0,25	1,35	42
32	3	10	25	0,24	0,15	0,30	52	0,27	1,43	42
32	3	10	50	0,41	0,27	0,47	104	0,37	1,69	42
32	3	10	75	0,55	0,37	0,61	155	0,43	1,86	42
32	3	10	100	0,68	0,46	0,74	207	0,49	1,99	42
32	3	10	250	1,32	0,94	1,33	518	0,71	2,47	42
32	3	10	500	1,93	1,40	1,84	1036	0,93	2,89	42
32	3	10	1000	2,69	1,98	2,44	2071	1,20	3,37	42
32	3	10	2500	4,01	3,01	3,44	5178	1,64	4,07	42
32	3	10	5000	5,20	3,94	4,32	10357	1,99	4,64	42
30	2	2	10	0,16	0,10	0,22	21	0,17	1,09	42
30	2	2	15	0,21	0,13	0,27	31	0,20	1,20	42
30	2	2	20	0,26	0,17	0,33	41	0,23	1,28	42
30	2	2	25	0,31	0,20	0,38	52	0,25	1,35	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
30	2	2	50	0,50	0,33	0,58	104	0,32	1,58	42
30	2	2	75	0,66	0,44	0,73	155	0,37	1,73	42
30	2	2	100	0,79	0,54	0,85	207	0,41	1,84	42
30	2	2	250	1,34	0,94	1,31	518	0,54	2,22	42
30	2	2	500	1,77	1,27	1,69	1036	0,64	2,53	42
30	2	2	1000	2,13	1,54	2,01	2071	0,71	2,85	42
30	2	2	2500	2,62	1,89	2,34	2549	0,73	2,95	0
30	2	2	5000	2,77	2,00	2,48	5097	0,76	3,25	0
30	2	3	10	0,17	0,10	0,22	21	0,17	1,09	42
30	2	3	15	0,22	0,13	0,28	31	0,20	1,20	42
30	2	3	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,29	42
30	2	3	25	0,32	0,20	0,39	52	0,25	1,36	42
30	2	3	50	0,52	0,35	0,60	104	0,33	1,60	42
30	2	3	75	0,70	0,47	0,77	155	0,39	1,75	42
30	2	3	100	0,85	0,58	0,91	207	0,43	1,87	42
30	2	3	250	1,53	1,08	1,49	518	0,59	2,28	42
30	2	3	500	2,22	1,60	2,05	1036	0,73	2,63	42
30	2	3	1000	2,74	2,00	2,48	2071	0,86	2,99	42
30	2	3	2500	3,22	2,37	2,88	5178	0,99	3,48	42
30	2	3	5000	3,73	2,74	3,17	5097	0,98	3,47	0
30	2	4	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	4	15	0,22	0,14	0,28	31	0,20	1,21	42
30	2	4	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,30	42
30	2	4	25	0,32	0,21	0,39	52	0,25	1,37	42
30	2	4	50	0,54	0,36	0,61	104	0,33	1,61	42
30	2	4	75	0,72	0,49	0,79	155	0,39	1,77	42
30	2	4	100	0,88	0,60	0,94	207	0,44	1,89	42
30	2	4	250	1,63	1,15	1,58	518	0,62	2,32	42
30	2	4	500	2,45	1,77	2,22	1036	0,78	2,68	42
30	2	4	1000	3,08	2,26	2,72	2071	0,95	3,08	42
30	2	4	2500	3,84	2,85	3,32	5178	1,15	3,61	42
30	2	4	5000	4,44	3,30	3,65	5097	1,14	3,61	0
30	2	5	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	5	15	0,22	0,14	0,28	31	0,21	1,21	42
30	2	5	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,30	42
30	2	5	25	0,32	0,21	0,40	52	0,25	1,37	42
30	2	5	50	0,54	0,36	0,62	104	0,34	1,62	42
30	2	5	75	0,73	0,49	0,80	155	0,40	1,78	42
30	2	5	100	0,90	0,61	0,96	207	0,44	1,90	42
30	2	5	250	1,69	1,20	1,64	518	0,63	2,34	42
30	2	5	500	2,55	1,84	2,31	1036	0,81	2,72	42
30	2	5	1000	3,31	2,44	2,89	2071	1,01	3,13	42
30	2	5	2500	4,30	3,21	3,65	5178	1,26	3,71	42
30	2	5	5000	4,89	3,67	4,12	10357	1,41	4,15	42
30	2	7,5	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	7,5	15	0,22	0,14	0,28	31	0,21	1,22	42
30	2	7,5	20	0,28	0,17	0,34	41	0,23	1,31	42
30	2	7,5	25	0,33	0,21	0,40	52	0,25	1,38	42
30	2	7,5	50	0,55	0,37	0,63	104	0,34	1,63	42
30	2	7,5	75	0,74	0,51	0,82	155	0,40	1,79	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
30	2	7,5	100	0,92	0,63	0,98	207	0,45	1,92	42
30	2	7,5	250	1,77	1,26	1,70	518	0,65	2,38	42
30	2	7,5	500	2,68	1,94	2,41	1036	0,85	2,77	42
30	2	7,5	1000	3,61	2,67	3,10	2071	1,09	3,22	42
30	2	7,5	2500	5,01	3,77	4,15	5178	1,44	3,86	42
30	2	7,5	5000	6,07	4,60	4,93	10357	1,70	4,37	42
30	2	10	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	10	15	0,22	0,14	0,29	31	0,21	1,22	42
30	2	10	20	0,28	0,18	0,35	41	0,23	1,31	42
30	2	10	25	0,33	0,21	0,40	52	0,25	1,38	42
30	2	10	50	0,56	0,37	0,63	104	0,34	1,64	42
30	2	10	75	0,75	0,51	0,82	155	0,40	1,80	42
30	2	10	100	0,93	0,64	0,99	207	0,45	1,93	42
30	2	10	250	1,81	1,29	1,74	518	0,66	2,40	42
30	2	10	500	2,75	1,99	2,46	1036	0,86	2,81	42
30	2	10	1000	3,75	2,78	3,21	2071	1,12	3,27	42
30	2	10	2500	5,40	4,08	4,42	5178	1,54	3,95	42
30	2	10	5000	6,80	5,18	5,42	10357	1,87	4,50	42
30	3	2	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,09	42
30	3	2	15	0,14	0,08	0,18	31	0,20	1,20	42
30	3	2	20	0,17	0,10	0,22	41	0,23	1,28	42
30	3	2	25	0,20	0,13	0,25	52	0,25	1,35	42
30	3	2	50	0,32	0,21	0,39	104	0,32	1,58	42
30	3	2	75	0,42	0,28	0,49	155	0,37	1,73	42
30	3	2	100	0,51	0,34	0,57	207	0,41	1,84	42
30	3	2	250	0,87	0,60	0,92	518	0,54	2,22	42
30	3	2	500	1,21	0,85	1,23	1036	0,64	2,53	42
30	3	2	1000	1,56	1,12	1,54	2071	0,71	2,85	42
30	3	2	2500	1,95	1,41	1,88	5178	0,76	3,25	42
30	3	2	5000	2,26	1,63	2,07	5097	0,76	3,25	0
30	3	3	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,09	42
30	3	3	15	0,14	0,08	0,19	31	0,20	1,20	42
30	3	3	20	0,17	0,11	0,22	41	0,23	1,29	42
30	3	3	25	0,20	0,13	0,26	52	0,25	1,36	42
30	3	3	50	0,34	0,22	0,40	104	0,33	1,60	42
30	3	3	75	0,45	0,30	0,52	155	0,39	1,75	42
30	3	3	100	0,55	0,37	0,61	207	0,43	1,87	42
30	3	3	250	0,99	0,69	1,03	518	0,59	2,28	42
30	3	3	500	1,47	1,04	1,46	1036	0,73	2,63	42
30	3	3	1000	1,91	1,38	1,84	2071	0,86	2,99	42
30	3	3	2500	2,46	1,80	2,28	5178	0,99	3,48	42
30	3	3	5000	2,82	2,07	2,57	10357	1,03	3,82	42
30	3	4	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	4	15	0,14	0,09	0,19	31	0,20	1,21	42
30	3	4	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,30	42
30	3	4	25	0,21	0,13	0,26	52	0,25	1,37	42
30	3	4	50	0,35	0,23	0,41	104	0,33	1,61	42
30	3	4	75	0,46	0,31	0,53	155	0,39	1,77	42
30	3	4	100	0,57	0,38	0,63	207	0,44	1,89	42
30	3	4	250	1,06	0,74	1,09	518	0,62	2,32	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
30	3	4	500	1,59	1,14	1,57	1036	0,78	2,68	42
30	3	4	1000	2,10	1,52	1,98	2071	0,95	3,08	42
30	3	4	2500	2,82	2,08	2,56	5178	1,15	3,61	42
30	3	4	5000	3,33	2,47	2,96	10357	1,24	4,01	42
30	3	5	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	5	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,21	42
30	3	5	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,30	42
30	3	5	25	0,21	0,13	0,26	52	0,25	1,37	42
30	3	5	50	0,35	0,23	0,41	104	0,34	1,62	42
30	3	5	75	0,47	0,32	0,54	155	0,40	1,78	42
30	3	5	100	0,58	0,39	0,64	207	0,44	1,90	42
30	3	5	250	1,10	0,77	1,13	518	0,63	2,34	42
30	3	5	500	1,66	1,19	1,62	1036	0,81	2,72	42
30	3	5	1000	2,22	1,62	2,08	2071	1,01	3,13	42
30	3	5	2500	3,08	2,28	2,76	5178	1,26	3,71	42
30	3	5	5000	3,74	2,79	3,26	10357	1,41	4,15	42
30	3	7,5	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	7,5	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,22	42
30	3	7,5	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,31	42
30	3	7,5	25	0,21	0,13	0,27	52	0,25	1,38	42
30	3	7,5	50	0,36	0,23	0,42	104	0,34	1,63	42
30	3	7,5	75	0,48	0,32	0,55	155	0,40	1,79	42
30	3	7,5	100	0,60	0,40	0,66	207	0,45	1,92	42
30	3	7,5	250	1,15	0,81	1,17	518	0,65	2,38	42
30	3	7,5	500	1,74	1,25	1,69	1036	0,85	2,77	42
30	3	7,5	1000	2,40	1,75	2,22	2071	1,09	3,22	42
30	3	7,5	2500	3,50	2,60	3,07	5178	1,44	3,86	42
30	3	7,5	5000	4,43	3,34	3,77	10357	1,70	4,37	42
30	3	10	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	10	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,22	42
30	3	10	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,31	42
30	3	10	25	0,21	0,13	0,27	52	0,25	1,38	42
30	3	10	50	0,36	0,24	0,42	104	0,34	1,64	42
30	3	10	75	0,49	0,33	0,55	155	0,40	1,80	42
30	3	10	100	0,60	0,41	0,66	207	0,45	1,93	42
30	3	10	250	1,17	0,83	1,20	518	0,66	2,40	42
30	3	10	500	1,79	1,28	1,73	1036	0,86	2,81	42
30	3	10	1000	2,49	1,83	2,29	2071	1,12	3,27	42
30	3	10	2500	3,73	2,79	3,24	5178	1,54	3,95	42
30	3	10	5000	4,86	3,68	4,08	10357	1,87	4,50	42
28	2	2	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,05	42
28	2	2	15	0,19	0,11	0,25	31	0,19	1,16	42
28	2	2	20	0,23	0,14	0,29	41	0,21	1,24	42
28	2	2	25	0,27	0,17	0,34	52	0,23	1,30	42
28	2	2	50	0,44	0,29	0,52	104	0,30	1,53	42
28	2	2	75	0,58	0,39	0,66	155	0,35	1,67	42
28	2	2	100	0,70	0,47	0,77	207	0,38	1,78	42
28	2	2	250	1,21	0,84	1,19	518	0,51	2,15	42
28	2	2	500	1,61	1,15	1,55	1036	0,60	2,46	42
28	2	2	1000	1,97	1,41	1,87	2071	0,68	2,77	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
28	2	2	2500	2,44	1,76	2,20	2549	0,70	2,86	0
28	2	2	5000	2,63	1,90	2,37	5097	0,73	3,16	0
28	2	3	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	3	15	0,19	0,12	0,25	32	0,19	1,17	42
28	2	3	20	0,23	0,15	0,30	41	0,21	1,25	42
28	2	3	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,32	42
28	2	3	50	0,46	0,30	0,54	104	0,31	1,55	42
28	2	3	75	0,61	0,41	0,69	155	0,36	1,70	42
28	2	3	100	0,75	0,51	0,82	207	0,40	1,81	42
28	2	3	250	1,36	0,96	1,34	518	0,55	2,21	42
28	2	3	500	2,00	1,43	1,86	1036	0,69	2,55	42
28	2	3	1000	2,57	1,87	2,34	2071	0,81	2,90	42
28	2	3	2500	3,05	2,24	2,75	5178	0,94	3,38	42
28	2	3	5000	3,53	2,59	3,02	5097	0,94	3,37	0
28	2	4	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	4	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,17	42
28	2	4	20	0,24	0,15	0,30	41	0,21	1,25	42
28	2	4	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,32	42
28	2	4	50	0,47	0,31	0,55	104	0,31	1,56	42
28	2	4	75	0,63	0,42	0,71	155	0,36	1,71	42
28	2	4	100	0,77	0,53	0,84	207	0,41	1,83	42
28	2	4	250	1,45	1,02	1,42	518	0,58	2,24	42
28	2	4	500	2,21	1,60	2,04	1036	0,73	2,60	42
28	2	4	1000	2,86	2,09	2,56	2071	0,89	2,98	42
28	2	4	2500	3,61	2,67	3,15	5178	1,09	3,51	42
28	2	4	5000	4,01	2,98	3,49	10357	1,19	3,90	42
28	2	5	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	5	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,17	42
28	2	5	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	5	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,33	42
28	2	5	50	0,48	0,32	0,56	104	0,31	1,56	42
28	2	5	75	0,64	0,43	0,72	155	0,37	1,72	42
28	2	5	100	0,79	0,54	0,85	207	0,41	1,84	42
28	2	5	250	1,50	1,06	1,47	518	0,59	2,27	42
28	2	5	500	2,35	1,69	2,14	1036	0,75	2,63	42
28	2	5	1000	3,06	2,24	2,70	2071	0,94	3,04	42
28	2	5	2500	4,02	2,99	3,45	5178	1,19	3,60	42
28	2	5	5000	4,62	3,46	3,92	10357	1,34	4,03	42
28	2	7,5	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,07	42
28	2	7,5	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,18	42
28	2	7,5	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	7,5	25	0,29	0,18	0,36	52	0,24	1,33	42
28	2	7,5	50	0,48	0,32	0,56	104	0,31	1,57	42
28	2	7,5	75	0,65	0,44	0,73	155	0,37	1,74	42
28	2	7,5	100	0,81	0,55	0,87	207	0,42	1,86	42
28	2	7,5	250	1,56	1,10	1,52	518	0,60	2,30	42
28	2	7,5	500	2,46	1,78	2,24	1036	0,79	2,69	42
28	2	7,5	1000	3,31	2,44	2,89	2071	1,01	3,12	42
28	2	7,5	2500	4,65	3,49	3,89	5178	1,35	3,74	42
28	2	7,5	5000	5,68	4,30	4,65	10357	1,61	4,24	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
28	2	10	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,07	42
28	2	10	15	0,19	0,12	0,26	31	0,19	1,18	42
28	2	10	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	10	25	0,29	0,18	0,36	52	0,24	1,34	42
28	2	10	50	0,49	0,32	0,57	104	0,31	1,58	42
28	2	10	75	0,66	0,45	0,73	155	0,37	1,74	42
28	2	10	100	0,82	0,56	0,88	207	0,42	1,87	42
28	2	10	250	1,59	1,13	1,54	518	0,61	2,32	42
28	2	10	500	2,52	1,82	2,28	1036	0,80	2,71	42
28	2	10	1000	3,44	2,54	2,98	2071	1,04	3,16	42
28	2	10	2500	4,99	3,75	4,12	5178	1,43	3,83	42
28	2	10	5000	6,32	4,80	5,08	10357	1,76	4,37	42
28	3	2	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,05	42
28	3	2	15	0,12	0,07	0,16	31	0,19	1,16	42
28	3	2	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,24	42
28	3	2	25	0,17	0,11	0,23	52	0,23	1,30	42
28	3	2	50	0,29	0,18	0,35	104	0,30	1,53	42
28	3	2	75	0,38	0,25	0,44	155	0,35	1,67	42
28	3	2	100	0,45	0,30	0,52	207	0,38	1,78	42
28	3	2	250	0,78	0,54	0,84	518	0,51	2,15	42
28	3	2	500	1,10	0,77	1,13	1036	0,60	2,46	42
28	3	2	1000	1,43	1,02	1,43	2071	0,68	2,77	42
28	3	2	2500	1,82	1,31	1,77	5178	0,73	3,17	42
28	3	2	5000	2,13	1,53	1,96	5097	0,73	3,16	0
28	3	3	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	3	15	0,12	0,07	0,17	31	0,19	1,16	42
28	3	3	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,25	42
28	3	3	25	0,18	0,11	0,23	52	0,23	1,32	42
28	3	3	50	0,30	0,19	0,36	104	0,31	1,55	42
28	3	3	75	0,40	0,26	0,46	155	0,36	1,70	42
28	3	3	100	0,49	0,33	0,55	207	0,40	1,81	42
28	3	3	250	0,88	0,61	0,93	518	0,55	2,21	42
28	3	3	500	1,32	0,93	1,33	1036	0,69	2,55	42
28	3	3	1000	1,79	1,28	1,73	2071	0,81	2,90	42
28	3	3	2500	2,32	1,69	2,17	5178	0,94	3,38	42
28	3	3	5000	2,67	1,95	2,45	10357	0,99	3,72	42
28	3	4	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	4	15	0,12	0,08	0,17	32	0,19	1,17	42
28	3	4	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,25	42
28	3	4	25	0,18	0,11	0,23	52	0,23	1,32	42
28	3	4	50	0,30	0,20	0,37	104	0,31	1,56	42
28	3	4	75	0,41	0,27	0,47	155	0,36	1,71	42
28	3	4	100	0,50	0,34	0,57	207	0,41	1,83	42
28	3	4	250	0,94	0,65	0,98	518	0,58	2,24	42
28	3	4	500	1,45	1,03	1,44	1036	0,73	2,60	42
28	3	4	1000	1,95	1,41	1,86	2071	0,89	2,98	42
28	3	4	2500	2,64	1,94	2,42	5178	1,09	3,51	42
28	3	4	5000	3,14	2,33	2,81	10357	1,19	3,90	42
28	3	5	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	5	15	0,12	0,07	0,17	31	0,19	1,17	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
28	3	5	20	0,15	0,10	0,20	41	0,21	1,26	42
28	3	5	25	0,18	0,11	0,24	52	0,23	1,33	42
28	3	5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,31	1,56	42
28	3	5	75	0,42	0,28	0,48	155	0,37	1,72	42
28	3	5	100	0,51	0,34	0,58	207	0,41	1,84	42
28	3	5	250	0,97	0,68	1,01	518	0,59	2,27	42
28	3	5	500	1,53	1,09	1,51	1036	0,75	2,63	42
28	3	5	1000	2,06	1,49	1,95	2071	0,94	3,04	42
28	3	5	2500	2,88	2,12	2,60	5178	1,19	3,60	42
28	3	5	5000	3,51	2,62	3,09	10357	1,34	4,03	42
28	3	7,5	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,07	42
28	3	7,5	15	0,13	0,08	0,17	31	0,19	1,18	42
28	3	7,5	20	0,16	0,10	0,21	41	0,21	1,26	42
28	3	7,5	25	0,19	0,12	0,24	52	0,24	1,33	42
28	3	7,5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,31	1,57	42
28	3	7,5	75	0,42	0,28	0,49	155	0,37	1,74	42
28	3	7,5	100	0,52	0,35	0,59	207	0,42	1,86	42
28	3	7,5	250	1,01	0,71	1,05	518	0,60	2,30	42
28	3	7,5	500	1,60	1,15	1,57	1036	0,79	2,69	42
28	3	7,5	1000	2,21	1,61	2,07	2071	1,01	3,12	42
28	3	7,5	2500	3,25	2,41	2,88	5178	1,35	3,74	42
28	3	7,5	5000	4,14	3,11	3,55	10357	1,61	4,24	42
28	3	10	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,07	42
28	3	10	15	0,13	0,08	0,17	31	0,19	1,18	42
28	3	10	20	0,16	0,10	0,21	41	0,21	1,26	42
28	3	10	25	0,19	0,12	0,24	52	0,24	1,34	42
28	3	10	50	0,32	0,21	0,38	104	0,31	1,58	42
28	3	10	75	0,43	0,28	0,49	155	0,37	1,74	42
28	3	10	100	0,53	0,36	0,59	207	0,42	1,87	42
28	3	10	250	1,03	0,72	1,07	518	0,61	2,32	42
28	3	10	500	1,64	1,17	1,61	1036	0,80	2,71	42
28	3	10	1000	2,29	1,67	2,14	2071	1,04	3,16	42
28	3	10	2500	3,45	2,57	3,03	5178	1,43	3,83	42
28	3	10	5000	4,52	3,41	3,83	10357	1,76	4,37	42
26	2	2	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,01	42
26	2	2	15	0,17	0,10	0,23	31	0,17	1,12	42
26	2	2	20	0,20	0,12	0,26	41	0,19	1,19	42
26	2	2	25	0,24	0,15	0,30	52	0,21	1,26	42
26	2	2	50	0,39	0,25	0,46	104	0,28	1,47	42
26	2	2	75	0,51	0,34	0,59	155	0,32	1,61	42
26	2	2	100	0,62	0,41	0,68	207	0,35	1,72	42
26	2	2	250	1,07	0,74	1,07	518	0,48	2,08	42
26	2	2	500	1,46	1,03	1,41	1036	0,57	2,38	42
26	2	2	1000	1,80	1,29	1,72	2071	0,64	2,69	42
26	2	2	2500	2,25	1,61	2,05	2549	0,66	2,78	0
26	2	2	5000	2,46	1,77	2,23	5097	0,70	3,07	0
26	2	3	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	3	15	0,17	0,10	0,23	31	0,17	1,12	42
26	2	3	20	0,20	0,13	0,27	41	0,19	1,20	42
26	2	3	25	0,24	0,15	0,31	52	0,21	1,27	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
26	2	3	50	0,40	0,26	0,48	104	0,28	1,49	42
26	2	3	75	0,54	0,36	0,61	155	0,33	1,64	42
26	2	3	100	0,66	0,44	0,72	207	0,37	1,75	42
26	2	3	250	1,20	0,84	1,20	518	0,51	2,14	42
26	2	3	500	1,77	1,27	1,68	1036	0,64	2,46	42
26	2	3	1000	2,38	1,72	2,20	2071	0,76	2,81	42
26	2	3	2500	2,87	2,10	2,61	5178	0,89	3,28	42
26	2	3	5000	3,33	2,43	2,87	5097	0,89	3,27	0
26	2	4	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	4	15	0,17	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	4	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,21	42
26	2	4	25	0,24	0,15	0,31	52	0,21	1,27	42
26	2	4	50	0,41	0,27	0,49	104	0,28	1,50	42
26	2	4	75	0,55	0,37	0,63	155	0,33	1,65	42
26	2	4	100	0,68	0,46	0,74	207	0,38	1,76	42
26	2	4	250	1,27	0,89	1,26	518	0,53	2,17	42
26	2	4	500	1,95	1,40	1,82	1036	0,68	2,51	42
26	2	4	1000	2,64	1,92	2,39	2071	0,83	2,88	42
26	2	4	2500	3,38	2,49	2,98	5178	1,03	3,40	42
26	2	4	5000	3,79	2,81	3,32	10357	1,13	3,79	42
26	2	5	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	5	15	0,17	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	5	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,21	42
26	2	5	25	0,25	0,16	0,31	52	0,22	1,28	42
26	2	5	50	0,41	0,27	0,49	104	0,29	1,51	42
26	2	5	75	0,56	0,37	0,63	155	0,34	1,66	42
26	2	5	100	0,69	0,47	0,75	207	0,38	1,78	42
26	2	5	250	1,31	0,92	1,30	518	0,54	2,19	42
26	2	5	500	2,06	1,48	1,91	1036	0,70	2,54	42
26	2	5	1000	2,81	2,05	2,51	2071	0,88	2,93	42
26	2	5	2500	3,74	2,77	3,24	5178	1,12	3,49	42
26	2	5	5000	4,34	3,24	3,71	10357	1,27	3,91	42
26	2	7,5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,15	1,03	42
26	2	7,5	15	0,18	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	7,5	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,22	42
26	2	7,5	25	0,25	0,16	0,32	52	0,22	1,28	42
26	2	7,5	50	0,42	0,28	0,50	104	0,29	1,52	42
26	2	7,5	75	0,57	0,38	0,64	155	0,34	1,67	42
26	2	7,5	100	0,70	0,48	0,77	207	0,38	1,79	42
26	2	7,5	250	1,37	0,96	1,34	518	0,55	2,22	42
26	2	7,5	500	2,20	1,58	2,02	1036	0,73	2,59	42
26	2	7,5	1000	3,03	2,22	2,68	2071	0,94	3,01	42
26	2	7,5	2500	4,29	3,20	3,63	5178	1,26	3,62	42
26	2	7,5	5000	5,28	3,98	4,37	10357	1,51	4,11	42
26	2	10	10	0,14	0,08	0,20	21	0,15	1,03	42
26	2	10	15	0,18	0,11	0,24	31	0,17	1,14	42
26	2	10	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,22	42
26	2	10	25	0,25	0,16	0,32	52	0,22	1,29	42
26	2	10	50	0,42	0,28	0,50	104	0,29	1,52	42
26	2	10	75	0,58	0,38	0,65	155	0,34	1,68	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
26	2	10	100	0,71	0,48	0,77	207	0,38	1,80	42
26	2	10	250	1,39	0,98	1,36	518	0,56	2,23	42
26	2	10	500	2,26	1,63	2,07	1036	0,74	2,62	42
26	2	10	1000	3,13	2,30	2,75	2071	0,96	3,05	42
26	2	10	2500	4,57	3,42	3,83	5178	1,33	3,70	42
26	2	10	5000	5,83	4,42	4,75	10357	1,64	4,22	42
26	3	2	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,01	42
26	3	2	15	0,11	0,06	0,15	31	0,17	1,12	42
26	3	2	20	0,13	0,08	0,17	41	0,19	1,19	42
26	3	2	25	0,15	0,09	0,20	52	0,21	1,26	42
26	3	2	50	0,25	0,16	0,31	104	0,28	1,47	42
26	3	2	75	0,33	0,22	0,39	155	0,32	1,61	42
26	3	2	100	0,40	0,26	0,46	207	0,35	1,72	42
26	3	2	250	0,69	0,48	0,75	518	0,48	2,08	42
26	3	2	500	0,99	0,69	1,03	1036	0,57	2,38	42
26	3	2	1000	1,30	0,92	1,31	2071	0,64	2,69	42
26	3	2	2500	1,68	1,20	1,65	5178	0,70	3,08	42
26	3	2	5000	1,97	1,41	1,83	5097	0,70	3,07	0
26	3	3	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	3	15	0,11	0,07	0,15	31	0,17	1,12	42
26	3	3	20	0,13	0,08	0,18	41	0,19	1,20	42
26	3	3	25	0,16	0,10	0,21	52	0,21	1,27	42
26	3	3	50	0,26	0,17	0,32	104	0,28	1,49	42
26	3	3	75	0,35	0,23	0,41	155	0,33	1,64	42
26	3	3	100	0,43	0,28	0,49	207	0,37	1,75	42
26	3	3	250	0,78	0,54	0,83	518	0,51	2,14	42
26	3	3	500	1,17	0,82	1,20	1036	0,64	2,46	42
26	3	3	1000	1,66	1,18	1,62	2071	0,76	2,81	42
26	3	3	2500	2,17	1,58	2,05	5178	0,89	3,28	42
26	3	3	5000	2,51	1,84	2,33	10357	0,95	3,61	42
26	3	4	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	4	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	4	20	0,13	0,08	0,18	41	0,20	1,21	42
26	3	4	25	0,16	0,10	0,21	52	0,21	1,27	42
26	3	4	50	0,27	0,17	0,32	104	0,28	1,50	42
26	3	4	75	0,36	0,23	0,42	155	0,33	1,65	42
26	3	4	100	0,44	0,29	0,50	207	0,38	1,76	42
26	3	4	250	0,82	0,57	0,88	518	0,53	2,17	42
26	3	4	500	1,28	0,90	1,29	1036	0,68	2,51	42
26	3	4	1000	1,80	1,29	1,74	2071	0,83	2,88	42
26	3	4	2500	2,47	1,80	2,28	5178	1,03	3,40	42
26	3	4	5000	2,95	2,18	2,66	10357	1,13	3,79	42
26	3	5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,20	1,21	42
26	3	5	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,28	42
26	3	5	50	0,27	0,17	0,33	104	0,29	1,51	42
26	3	5	75	0,36	0,24	0,43	155	0,34	1,66	42
26	3	5	100	0,45	0,30	0,51	207	0,38	1,78	42
26	3	5	250	0,85	0,59	0,90	518	0,54	2,19	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
26	3	5	500	1,34	0,95	1,35	1036	0,70	2,54	42
26	3	5	1000	1,90	1,37	1,82	2071	0,88	2,93	42
26	3	5	2500	2,67	1,96	2,44	5178	1,12	3,49	42
26	3	5	5000	3,29	2,44	2,92	10357	1,27	3,91	42
26	3	7,5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,03	42
26	3	7,5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	7,5	20	0,14	0,08	0,18	41	0,20	1,22	42
26	3	7,5	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,28	42
26	3	7,5	50	0,27	0,18	0,33	104	0,29	1,52	42
26	3	7,5	75	0,37	0,24	0,43	155	0,34	1,67	42
26	3	7,5	100	0,46	0,30	0,52	207	0,38	1,79	42
26	3	7,5	250	0,89	0,61	0,93	518	0,55	2,22	42
26	3	7,5	500	1,43	1,02	1,43	1036	0,73	2,59	42
26	3	7,5	1000	2,03	1,47	1,93	2071	0,94	3,01	42
26	3	7,5	2500	2,99	2,21	2,69	5178	1,26	3,62	42
26	3	7,5	5000	3,85	2,88	3,33	10357	1,51	4,11	42
26	3	10	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,03	42
26	3	10	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,14	42
26	3	10	20	0,14	0,08	0,18	41	0,20	1,22	42
26	3	10	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,29	42
26	3	10	50	0,27	0,18	0,33	104	0,29	1,52	42
26	3	10	75	0,37	0,25	0,44	155	0,34	1,68	42
26	3	10	100	0,46	0,31	0,53	207	0,38	1,80	42
26	3	10	250	0,90	0,63	0,95	518	0,56	2,23	42
26	3	10	500	1,48	1,05	1,47	1036	0,74	2,62	42
26	3	10	1000	2,10	1,52	1,98	2071	0,96	3,05	42
26	3	10	2500	3,17	2,35	2,82	5178	1,33	3,70	42
26	3	10	5000	4,18	3,14	3,58	10357	1,64	4,22	42
24	2	2	10	0,13	0,08	0,19	21	0,13	0,97	42
24	2	2	15	0,17	0,10	0,23	31	0,16	1,07	42
24	2	2	20	0,20	0,12	0,26	41	0,18	1,15	42
24	2	2	25	0,22	0,14	0,29	52	0,19	1,21	42
24	2	2	50	0,33	0,22	0,41	104	0,25	1,42	42
24	2	2	75	0,44	0,29	0,51	155	0,29	1,55	42
24	2	2	100	0,54	0,36	0,60	207	0,33	1,66	42
24	2	2	250	0,94	0,65	0,96	518	0,44	2,01	42
24	2	2	500	1,30	0,92	1,28	1036	0,53	2,30	42
24	2	2	1000	1,64	1,16	1,58	2071	0,61	2,60	42
24	2	2	2500	2,06	1,47	1,89	2549	0,63	2,69	0
24	2	2	5000	2,27	1,63	2,08	5097	0,67	2,97	0
24	2	3	10	0,14	0,08	0,19	21	0,13	0,98	42
24	2	3	15	0,17	0,10	0,23	31	0,16	1,08	42
24	2	3	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	3	25	0,23	0,14	0,29	52	0,19	1,22	42
24	2	3	50	0,35	0,22	0,42	104	0,26	1,44	42
24	2	3	75	0,47	0,31	0,54	155	0,30	1,58	42
24	2	3	100	0,57	0,38	0,64	207	0,34	1,68	42
24	2	3	250	1,05	0,73	1,06	518	0,47	2,06	42
24	2	3	500	1,56	1,11	1,50	1036	0,59	2,37	42
24	2	3	1000	2,13	1,54	1,99	2071	0,71	2,71	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
24	2	3	2500	2,69	1,96	2,46	5178	0,85	3,17	42
24	2	3	5000	3,11	2,27	2,71	5097	0,84	3,16	0
24	2	4	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,98	42
24	2	4	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,08	42
24	2	4	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	4	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	4	50	0,35	0,23	0,43	104	0,26	1,44	42
24	2	4	75	0,47	0,31	0,55	155	0,31	1,59	42
24	2	4	100	0,58	0,39	0,65	207	0,34	1,70	42
24	2	4	250	1,11	0,77	1,11	518	0,49	2,09	42
24	2	4	500	1,70	1,21	1,61	1036	0,62	2,42	42
24	2	4	1000	2,42	1,75	2,22	2071	0,77	2,78	42
24	2	4	2500	3,14	2,31	2,79	5178	0,96	3,29	42
24	2	4	5000	3,55	2,63	3,14	10357	1,07	3,66	42
24	2	5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,98	42
24	2	5	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	5	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	5	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	5	50	0,36	0,23	0,43	104	0,26	1,45	42
24	2	5	75	0,48	0,32	0,55	155	0,31	1,60	42
24	2	5	100	0,59	0,40	0,66	207	0,35	1,71	42
24	2	5	250	1,14	0,79	1,14	518	0,50	2,11	42
24	2	5	500	1,79	1,28	1,69	1036	0,64	2,45	42
24	2	5	1000	2,56	1,86	2,32	2071	0,81	2,83	42
24	2	5	2500	3,45	2,55	3,02	5178	1,05	3,37	42
24	2	5	5000	4,05	3,01	3,49	10357	1,20	3,78	42
24	2	7,5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,99	42
24	2	7,5	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	7,5	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,17	42
24	2	7,5	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	7,5	50	0,36	0,23	0,43	104	0,26	1,46	42
24	2	7,5	75	0,49	0,32	0,56	155	0,31	1,61	42
24	2	7,5	100	0,61	0,41	0,67	207	0,35	1,72	42
24	2	7,5	250	1,18	0,82	1,18	518	0,51	2,13	42
24	2	7,5	500	1,89	1,36	1,77	1036	0,66	2,49	42
24	2	7,5	1000	2,74	2,00	2,46	2071	0,86	2,90	42
24	2	7,5	2500	3,91	2,91	3,36	5178	1,17	3,49	42
24	2	7,5	5000	4,87	3,66	4,07	10357	1,41	3,96	42
24	2	10	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,99	42
24	2	10	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	10	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,17	42
24	2	10	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,24	42
24	2	10	50	0,36	0,24	0,43	104	0,26	1,46	42
24	2	10	75	0,49	0,33	0,56	155	0,31	1,62	42
24	2	10	100	0,61	0,41	0,67	207	0,35	1,73	42
24	2	10	250	1,20	0,84	1,19	518	0,51	2,15	42
24	2	10	500	1,94	1,39	1,81	1036	0,67	2,52	42
24	2	10	1000	2,82	2,06	2,52	2071	0,88	2,94	42
24	2	10	2500	4,15	3,09	3,53	5178	1,23	3,56	42
24	2	10	5000	5,34	4,03	4,40	10357	1,52	4,07	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
24	3	2	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,97	42
24	3	2	15	0,11	0,06	0,15	31	0,16	1,07	42
24	3	2	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,15	42
24	3	2	25	0,14	0,09	0,19	52	0,19	1,21	42
24	3	2	50	0,22	0,14	0,27	104	0,25	1,42	42
24	3	2	75	0,29	0,18	0,35	155	0,29	1,55	42
24	3	2	100	0,35	0,23	0,41	207	0,33	1,66	42
24	3	2	250	0,61	0,41	0,67	518	0,44	2,01	42
24	3	2	500	0,88	0,61	0,93	1036	0,53	2,30	42
24	3	2	1000	1,18	0,83	1,20	2071	0,61	2,60	42
24	3	2	2500	1,54	1,09	1,52	5178	0,67	2,98	42
24	3	2	5000	1,74	1,25	1,70	10357	0,69	3,24	42
24	3	3	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	3	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,08	42
24	3	3	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	3	25	0,15	0,09	0,20	52	0,19	1,22	42
24	3	3	50	0,22	0,14	0,28	104	0,26	1,44	42
24	3	3	75	0,30	0,20	0,36	155	0,30	1,58	42
24	3	3	100	0,37	0,24	0,43	207	0,34	1,68	42
24	3	3	250	0,68	0,47	0,74	518	0,47	2,06	42
24	3	3	500	1,03	0,72	1,07	1036	0,59	2,37	42
24	3	3	1000	1,48	1,05	1,47	2071	0,71	2,71	42
24	3	3	2500	2,02	1,46	1,93	5178	0,85	3,17	42
24	3	3	5000	2,36	1,72	2,20	10357	0,91	3,50	42
24	3	4	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	4	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,08	42
24	3	4	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	4	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	4	50	0,23	0,15	0,28	104	0,26	1,44	42
24	3	4	75	0,31	0,20	0,37	155	0,31	1,59	42
24	3	4	100	0,38	0,25	0,44	207	0,34	1,70	42
24	3	4	250	0,72	0,49	0,77	518	0,49	2,09	42
24	3	4	500	1,12	0,76	1,14	1036	0,62	2,42	42
24	3	4	1000	1,65	1,18	1,62	2071	0,77	2,78	42
24	3	4	2500	2,28	1,66	2,13	5178	0,96	3,29	42
24	3	4	5000	2,75	2,02	2,51	10357	1,07	3,66	42
24	3	5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	5	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,09	42
24	3	5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	5	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	5	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,45	42
24	3	5	75	0,31	0,20	0,37	155	0,31	1,60	42
24	3	5	100	0,38	0,25	0,45	207	0,35	1,71	42
24	3	5	250	0,74	0,51	0,79	518	0,50	2,11	42
24	3	5	500	1,17	0,82	1,19	1036	0,64	2,45	42
24	3	5	1000	1,73	1,24	1,68	2071	0,81	2,83	42
24	3	5	2500	2,46	1,80	2,28	5178	1,05	3,37	42
24	3	5	5000	3,05	2,25	2,74	10357	1,20	3,78	42
24	3	7,5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,99	42
24	3	7,5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,16	1,09	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
24	3	7,5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,17	42
24	3	7,5	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	7,5	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,46	42
24	3	7,5	75	0,32	0,21	0,38	155	0,31	1,61	42
24	3	7,5	100	0,39	0,26	0,46	207	0,35	1,72	42
24	3	7,5	250	0,76	0,53	0,82	518	0,51	2,13	42
24	3	7,5	500	1,24	0,88	1,26	1036	0,66	2,49	42
24	3	7,5	1000	1,85	1,33	1,78	2071	0,86	2,90	42
24	3	7,5	2500	2,74	2,02	2,49	5178	1,17	3,49	42
24	3	7,5	5000	3,54	2,64	3,11	10357	1,41	3,96	42
24	3	10	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,99	42
24	3	10	15	0,11	0,07	0,16	31	0,16	1,09	42
24	3	10	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,17	42
24	3	10	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,24	42
24	3	10	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,46	42
24	3	10	75	0,32	0,21	0,38	155	0,31	1,62	42
24	3	10	100	0,40	0,26	0,46	207	0,35	1,73	42
24	3	10	250	0,78	0,54	0,83	518	0,51	2,15	42
24	3	10	500	1,28	0,90	1,29	1036	0,67	2,52	42
24	3	10	1000	1,90	1,37	1,82	2071	0,88	2,94	42
24	3	10	2500	2,89	2,14	2,61	5178	1,23	3,56	42
24	3	10	5000	3,83	2,87	3,32	10357	1,52	4,07	42
22	2	2	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,93	42
22	2	2	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,03	42
22	2	2	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,10	42
22	2	2	25	0,19	0,12	0,26	52	0,17	1,16	42
22	2	2	50	0,29	0,18	0,35	104	0,23	1,36	42
22	2	2	75	0,38	0,25	0,45	155	0,27	1,49	42
22	2	2	100	0,46	0,30	0,53	207	0,30	1,59	42
22	2	2	250	0,82	0,56	0,84	518	0,40	1,93	42
22	2	2	500	1,14	0,80	1,14	1036	0,49	2,21	42
22	2	2	1000	1,46	1,04	1,43	2071	0,57	2,50	42
22	2	2	2500	1,86	1,32	1,73	2549	0,59	2,59	0
22	2	2	5000	2,09	1,49	1,92	5097	0,64	2,87	0
22	2	3	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	3	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,03	42
22	2	3	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,11	42
22	2	3	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,17	42
22	2	3	50	0,30	0,19	0,36	104	0,23	1,38	42
22	2	3	75	0,40	0,26	0,47	155	0,27	1,51	42
22	2	3	100	0,49	0,32	0,55	207	0,31	1,61	42
22	2	3	250	0,91	0,62	0,93	518	0,43	1,98	42
22	2	3	500	1,35	0,95	1,32	1036	0,54	2,28	42
22	2	3	1000	1,88	1,35	1,78	2071	0,66	2,61	42
22	2	3	2500	2,49	1,81	2,31	5178	0,79	3,06	42
22	2	3	5000	2,89	2,10	2,54	5097	0,79	3,05	0
22	2	4	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	4	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,04	42
22	2	4	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,11	42
22	2	4	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,17	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
22	2	4	50	0,30	0,19	0,37	104	0,24	1,38	42
22	2	4	75	0,41	0,26	0,47	155	0,28	1,52	42
22	2	4	100	0,50	0,33	0,56	207	0,31	1,63	42
22	2	4	250	0,95	0,65	0,97	518	0,44	2,00	42
22	2	4	500	1,46	1,04	1,41	1036	0,57	2,32	42
22	2	4	1000	2,13	1,53	1,98	2071	0,71	2,67	42
22	2	4	2500	2,88	2,11	2,60	5178	0,90	3,16	42
22	2	4	5000	3,31	2,44	2,95	10357	1,01	3,53	42
22	2	5	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	5	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,04	42
22	2	5	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,12	42
22	2	5	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,18	42
22	2	5	50	0,30	0,19	0,37	104	0,24	1,39	42
22	2	5	75	0,41	0,27	0,48	155	0,28	1,53	42
22	2	5	100	0,51	0,34	0,57	207	0,31	1,64	42
22	2	5	250	0,97	0,67	0,99	518	0,45	2,02	42
22	2	5	500	1,53	1,08	1,47	1036	0,58	2,35	42
22	2	5	1000	2,28	1,65	2,11	2071	0,74	2,72	42
22	2	5	2500	3,15	2,32	2,80	5178	0,97	3,24	42
22	2	5	5000	3,75	2,78	3,27	10357	1,12	3,64	42
22	2	7,5	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	7,5	15	0,15	0,09	0,22	31	0,14	1,04	42
22	2	7,5	20	0,18	0,11	0,25	41	0,16	1,12	42
22	2	7,5	25	0,20	0,13	0,27	52	0,18	1,18	42
22	2	7,5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,24	1,40	42
22	2	7,5	75	0,42	0,27	0,48	155	0,28	1,54	42
22	2	7,5	100	0,52	0,34	0,58	207	0,32	1,65	42
22	2	7,5	250	1,01	0,70	1,02	518	0,46	2,04	42
22	2	7,5	500	1,61	1,14	1,54	1036	0,60	2,39	42
22	2	7,5	1000	2,45	1,78	2,24	2071	0,78	2,78	42
22	2	7,5	2500	3,54	2,62	3,08	5178	1,07	3,35	42
22	2	7,5	5000	4,45	3,33	3,77	10357	1,30	3,81	42
22	2	10	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,95	42
22	2	10	15	0,15	0,09	0,22	31	0,14	1,05	42
22	2	10	20	0,18	0,11	0,25	41	0,16	1,12	42
22	2	10	25	0,20	0,13	0,27	52	0,18	1,19	42
22	2	10	50	0,31	0,20	0,37	104	0,24	1,40	42
22	2	10	75	0,42	0,28	0,49	155	0,28	1,55	42
22	2	10	100	0,52	0,35	0,58	207	0,32	1,66	42
22	2	10	250	1,03	0,71	1,03	518	0,46	2,06	42
22	2	10	500	1,65	1,17	1,57	1036	0,61	2,42	42
22	2	10	1000	2,52	1,83	2,30	2071	0,80	2,82	42
22	2	10	2500	3,74	2,77	3,22	5178	1,12	3,42	42
22	2	10	5000	4,85	3,64	4,05	10357	1,40	3,91	42
22	3	2	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,93	42
22	3	2	15	0,10	0,05	0,14	31	0,14	1,03	42
22	3	2	20	0,11	0,07	0,16	41	0,16	1,10	42
22	3	2	25	0,13	0,08	0,18	52	0,17	1,16	42
22	3	2	50	0,18	0,12	0,24	104	0,23	1,36	42
22	3	2	75	0,24	0,16	0,30	155	0,27	1,49	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
22	3	2	100	0,30	0,19	0,36	207	0,30	1,59	42
22	3	2	250	0,53	0,36	0,59	518	0,40	1,93	42
22	3	2	500	0,77	0,53	0,83	1036	0,49	2,21	42
22	3	2	1000	1,05	0,73	1,08	2071	0,57	2,50	42
22	3	2	2500	1,39	0,99	1,39	5178	0,64	2,88	42
22	3	2	5000	1,60	1,14	1,57	10357	0,66	3,14	42
22	3	3	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	3	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,03	42
22	3	3	20	0,11	0,07	0,16	41	0,16	1,11	42
22	3	3	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,17	42
22	3	3	50	0,19	0,12	0,24	104	0,23	1,38	42
22	3	3	75	0,26	0,16	0,31	155	0,27	1,51	42
22	3	3	100	0,31	0,20	0,38	207	0,31	1,61	42
22	3	3	250	0,59	0,40	0,65	518	0,43	1,98	42
22	3	3	500	0,90	0,62	0,94	1036	0,54	2,28	42
22	3	3	1000	1,30	0,92	1,31	2071	0,66	2,61	42
22	3	3	2500	1,86	1,34	1,80	5178	0,79	3,06	42
22	3	3	5000	2,19	1,59	2,07	10357	0,86	3,38	42
22	3	4	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	4	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	4	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,11	42
22	3	4	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,17	42
22	3	4	50	0,19	0,12	0,25	104	0,24	1,38	42
22	3	4	75	0,26	0,17	0,32	155	0,28	1,52	42
22	3	4	100	0,32	0,21	0,39	207	0,31	1,63	42
22	3	4	250	0,61	0,42	0,67	518	0,44	2,00	42
22	3	4	500	0,96	0,67	1,01	1036	0,57	2,32	42
22	3	4	1000	1,45	1,03	1,45	2071	0,71	2,67	42
22	3	4	2500	2,09	1,52	1,98	5178	0,90	3,16	42
22	3	4	5000	2,54	1,86	2,35	10357	1,01	3,53	42
22	3	5	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	5	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	5	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	5	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,18	42
22	3	5	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,39	42
22	3	5	75	0,26	0,17	0,32	155	0,28	1,53	42
22	3	5	100	0,33	0,21	0,39	207	0,31	1,64	42
22	3	5	250	0,63	0,43	0,69	518	0,45	2,02	42
22	3	5	500	1,01	0,70	1,04	1036	0,58	2,35	42
22	3	5	1000	1,55	1,11	1,53	2071	0,74	2,72	42
22	3	5	2500	2,25	1,64	2,11	5178	0,97	3,24	42
22	3	5	5000	2,81	2,07	2,55	10357	1,12	3,64	42
22	3	7,5	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	7,5	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	7,5	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	7,5	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,18	42
22	3	7,5	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,40	42
22	3	7,5	75	0,27	0,17	0,33	155	0,28	1,54	42
22	3	7,5	100	0,33	0,22	0,40	207	0,32	1,65	42
22	3	7,5	250	0,65	0,45	0,71	518	0,46	2,04	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
22	3	7,5	500	1,06	0,74	1,10	1036	0,60	2,39	42
22	3	7,5	1000	1,66	1,19	1,63	2071	0,78	2,78	42
22	3	7,5	2500	2,49	1,82	2,29	5178	1,07	3,35	42
22	3	7,5	5000	3,24	2,40	2,88	10357	1,30	3,81	42
22	3	10	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,95	42
22	3	10	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,05	42
22	3	10	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	10	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,19	42
22	3	10	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,40	42
22	3	10	75	0,27	0,17	0,33	155	0,28	1,55	42
22	3	10	100	0,34	0,22	0,40	207	0,32	1,66	42
22	3	10	250	0,66	0,45	0,72	518	0,46	2,06	42
22	3	10	500	1,09	0,77	1,12	1036	0,61	2,42	42
22	3	10	1000	1,71	1,23	1,67	2071	0,80	2,82	42
22	3	10	2500	2,61	1,92	2,39	5178	1,12	3,42	42
22	3	10	5000	3,49	2,60	3,06	10357	1,40	3,91	42
16	2	2	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	2	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,88	42
16	2	2	20	0,11	0,06	0,17	41	0,11	0,94	42
16	2	2	25	0,13	0,07	0,19	52	0,12	0,99	42
16	2	2	50	0,18	0,11	0,24	104	0,16	1,17	42
16	2	2	75	0,23	0,14	0,28	155	0,19	1,28	42
16	2	2	100	0,26	0,17	0,32	207	0,21	1,37	42
16	2	2	250	0,48	0,32	0,53	518	0,29	1,66	42
16	2	2	500	0,69	0,47	0,74	1036	0,37	1,92	42
16	2	2	1000	0,95	0,66	0,97	2071	0,44	2,18	42
16	2	2	2500	1,25	0,88	1,26	5178	0,52	2,53	42
16	2	2	5000	1,49	1,04	1,42	5097	0,51	2,52	0
16	2	3	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	3	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,88	42
16	2	3	20	0,12	0,06	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	3	25	0,13	0,07	0,19	52	0,12	1,00	42
16	2	3	50	0,19	0,11	0,24	104	0,16	1,18	42
16	2	3	75	0,23	0,14	0,29	155	0,19	1,30	42
16	2	3	100	0,27	0,17	0,33	207	0,22	1,38	42
16	2	3	250	0,51	0,34	0,56	518	0,31	1,70	42
16	2	3	500	0,79	0,54	0,82	1036	0,39	1,97	42
16	2	3	1000	1,14	0,80	1,14	2071	0,49	2,26	42
16	2	3	2500	1,69	1,20	1,63	5178	0,62	2,66	42
16	2	3	5000	2,05	1,47	1,95	10357	0,69	2,96	42
16	2	4	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	4	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	4	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	4	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,00	42
16	2	4	50	0,19	0,11	0,25	104	0,16	1,18	42
16	2	4	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,30	42
16	2	4	100	0,28	0,18	0,33	207	0,22	1,39	42
16	2	4	250	0,53	0,36	0,58	518	0,31	1,72	42
16	2	4	500	0,83	0,57	0,86	1036	0,41	2,00	42
16	2	4	1000	1,25	0,88	1,24	2071	0,52	2,31	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
16	2	4	2500	1,98	1,42	1,87	5178	0,68	2,75	42
16	2	4	5000	2,49	1,81	2,31	10357	0,79	3,08	42
16	2	5	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	5	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	5	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	5	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	5	50	0,19	0,11	0,25	104	0,16	1,19	42
16	2	5	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,31	42
16	2	5	100	0,28	0,18	0,34	207	0,22	1,40	42
16	2	5	250	0,54	0,36	0,59	518	0,32	1,73	42
16	2	5	500	0,85	0,59	0,88	1036	0,41	2,02	42
16	2	5	1000	1,31	0,93	1,29	2071	0,53	2,34	42
16	2	5	2500	2,17	1,56	2,03	5178	0,72	2,80	42
16	2	5	5000	2,75	2,01	2,51	10357	0,86	3,17	42
16	2	7,5	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,81	42
16	2	7,5	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	7,5	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,96	42
16	2	7,5	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	7,5	50	0,19	0,12	0,25	104	0,16	1,19	42
16	2	7,5	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,32	42
16	2	7,5	100	0,29	0,18	0,34	207	0,22	1,41	42
16	2	7,5	250	0,55	0,37	0,60	518	0,32	1,75	42
16	2	7,5	500	0,89	0,61	0,91	1036	0,42	2,05	42
16	2	7,5	1000	1,40	0,99	1,37	2071	0,55	2,39	42
16	2	7,5	2500	2,42	1,75	2,23	5178	0,77	2,89	42
16	2	7,5	5000	3,14	2,31	2,80	10357	0,96	3,30	42
16	2	10	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,81	42
16	2	10	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	10	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,96	42
16	2	10	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	10	50	0,19	0,12	0,25	104	0,16	1,20	42
16	2	10	75	0,24	0,15	0,30	155	0,20	1,32	42
16	2	10	100	0,29	0,18	0,34	207	0,22	1,42	42
16	2	10	250	0,56	0,37	0,60	518	0,32	1,76	42
16	2	10	500	0,90	0,62	0,92	1036	0,43	2,07	42
16	2	10	1000	1,44	1,02	1,40	2071	0,56	2,42	42
16	2	10	2500	2,51	1,82	2,30	5178	0,80	2,94	42
16	2	10	5000	3,34	2,46	2,94	10357	1,02	3,37	42
16	3	2	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	2	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,88	42
16	3	2	20	0,07	0,04	0,11	41	0,11	0,94	42
16	3	2	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	0,99	42
16	3	2	50	0,12	0,07	0,16	104	0,16	1,17	42
16	3	2	75	0,15	0,09	0,19	155	0,19	1,28	42
16	3	2	100	0,17	0,10	0,22	207	0,21	1,37	42
16	3	2	250	0,31	0,20	0,37	518	0,29	1,66	42
16	3	2	500	0,47	0,31	0,53	1036	0,37	1,92	42
16	3	2	1000	0,67	0,46	0,73	2071	0,44	2,18	42
16	3	2	2500	0,95	0,66	0,99	5178	0,52	2,53	42
16	3	2	5000	1,13	0,79	1,16	10357	0,55	2,77	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
16	3	3	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	3	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,88	42
16	3	3	20	0,07	0,04	0,11	41	0,11	0,95	42
16	3	3	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	1,00	42
16	3	3	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,18	42
16	3	3	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,30	42
16	3	3	100	0,17	0,11	0,23	207	0,22	1,38	42
16	3	3	250	0,33	0,22	0,40	518	0,31	1,70	42
16	3	3	500	0,53	0,35	0,59	1036	0,39	1,97	42
16	3	3	1000	0,79	0,54	0,84	2071	0,49	2,26	42
16	3	3	2500	1,24	0,87	1,25	5178	0,62	2,66	42
16	3	3	5000	1,59	1,13	1,57	10357	0,69	2,96	42
16	3	4	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	4	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	4	20	0,07	0,04	0,12	41	0,11	0,95	42
16	3	4	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	1,00	42
16	3	4	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,18	42
16	3	4	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,30	42
16	3	4	100	0,18	0,11	0,23	207	0,22	1,39	42
16	3	4	250	0,35	0,23	0,41	518	0,31	1,72	42
16	3	4	500	0,55	0,37	0,62	1036	0,41	2,00	42
16	3	4	1000	0,86	0,60	0,91	2071	0,52	2,31	42
16	3	4	2500	1,42	1,01	1,42	5178	0,68	2,75	42
16	3	4	5000	1,88	1,35	1,82	10357	0,79	3,08	42
16	3	5	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	5	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	5	20	0,07	0,04	0,12	41	0,11	0,95	42
16	3	5	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	5	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,19	42
16	3	5	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,31	42
16	3	5	100	0,18	0,11	0,23	207	0,22	1,40	42
16	3	5	250	0,35	0,23	0,41	518	0,32	1,73	42
16	3	5	500	0,57	0,39	0,63	1036	0,41	2,02	42
16	3	5	1000	0,90	0,63	0,95	2071	0,53	2,34	42
16	3	5	2500	1,55	1,11	1,53	5178	0,72	2,80	42
16	3	5	5000	2,04	1,48	1,95	10357	0,86	3,17	42
16	3	7,5	10	0,05	0,02	0,09	21	0,08	0,81	42
16	3	7,5	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	7,5	20	0,08	0,04	0,12	41	0,11	0,96	42
16	3	7,5	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	7,5	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,19	42
16	3	7,5	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,32	42
16	3	7,5	100	0,18	0,11	0,24	207	0,22	1,41	42
16	3	7,5	250	0,36	0,24	0,42	518	0,32	1,75	42
16	3	7,5	500	0,60	0,40	0,66	1036	0,42	2,05	42
16	3	7,5	1000	0,96	0,67	1,00	2071	0,55	2,39	42
16	3	7,5	2500	1,72	1,23	1,68	5178	0,77	2,89	42
16	3	7,5	5000	2,29	1,67	2,14	10357	0,96	3,30	42
16	3	10	10	0,05	0,03	0,09	21	0,08	0,81	42
16	3	10	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-	Buiten-	Water-	Breedte	Bij overslagdebiet Q =		Golf-	Effectieve	Golfhoogte	Golfperiode	Invalshoek
snelheid	talud	diepte	water	0,1 l/m/s	1 l/m/s	oploop z2%	strijklengte	bij de kade	Tm-1,0	golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[°]
16	3	10	20	0,08	0,04	0,12	41	0,11	0,96	42
16	3	10	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	10	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,20	42
16	3	10	75	0,15	0,09	0,20	155	0,20	1,32	42
16	3	10	100	0,18	0,11	0,24	207	0,22	1,42	42
16	3	10	250	0,37	0,24	0,43	518	0,32	1,76	42
16	3	10	500	0,61	0,41	0,67	1036	0,43	2,07	42
16	3	10	1000	0,99	0,69	1,03	2071	0,56	2,42	42
16	3	10	2500	1,79	1,28	1,74	5178	0,80	2,94	42
16	3	10	5000	2,43	1,77	2,25	10357	1,02	3,37	42

BIJLAGE 7

SCHUIFSTERKTE VAN MATERIALEN BIJ DROGE COMPARTIMENTERINGSKERINGEN OF AARDEBANEN

B7.1 SCHUIFSTERKTE VAN KLEI EN VEEN

Voor een gedetailleerde of geavanceerde toetsing van de binnenwaartse macrostabiliteit is een goede inschatting van de schuifsterkte van de grond nodig. De bepaling van de sterkte van de grond kan op dezelfde wijze plaats vinden als voor primaire of regionale waterkeringen. Er zijn enkele aandachtspunten.

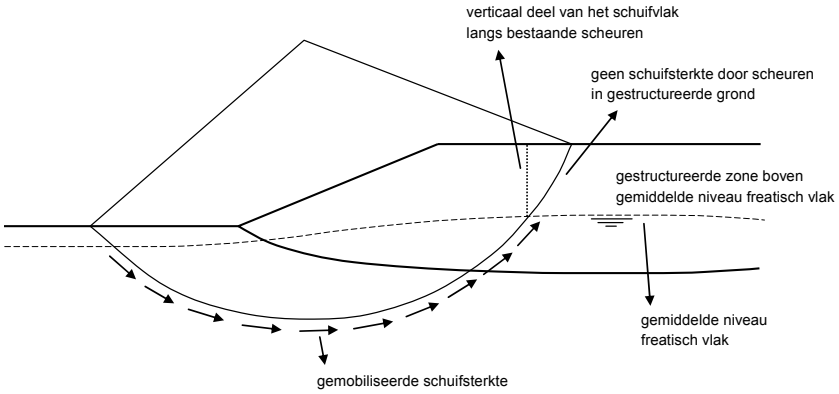
In kleigrond boven het gemiddeld laagste freatisch vlak vinden bodemvormende processen plaats, waardoor structuren in de grond worden gevormd. Deze structuurvorming is onder andere van groot belang voor de sterkte van de klei. De sterkte van uitgedroogde gestructureerde klei vertoont de eigenschappen van overgeconsolideerde klei. De schuifsterkte van de structuren (kluiten) is zeer hoog ten opzichte van de sterkte van verzadigde (normaal geconsolideerde) klei. De schuifsterkte op de schuifvlakken tussen de structuren (dus langs de bestaande scheuren in de klei) kan echter substantieel lager zijn. Wanneer de gestructureerde klei door een langdurig hoog freatisch vlak verzadigd raakt, kan de schuifsterkte van de klei (kluiten) weer sterk afnemen. Bij het uitvoeren van sonderingen in gestructureerde klei laat de conusweerstand zeer hoge gemiddelde waarden zien. De spreiding van de gemeten conusweerstand is echter ook zeer groot.

De sterkte van de gestructureerde klei boven het gemiddeld laagste freatisch vlak kan als volgt in rekening worden gebracht:

- Een veilige keuze is de sterkte van de gestructureerde klei boven het freatisch vlak buiten beschouwing te laten. Bij een afschuiving van een talud kan het bovenste verticaal georiënteerde actieve deel van het schuifvlak min of meer horizontaal vervormen, waardoor nauwelijks of geen schuifsterkte in de bestaande scheuren tussen de structuren wordt gemobiliseerd (zie Figuur B7.1) |Leroueil e.a. 1990|.
- De gemeten sterkte (in situ gemeten met sondering of vinproef) van de gestructureerde klei boven het freatisch vlak kan worden verlaagd met een reductiefactor. Voor de reductiefactor kan de waarde 3 worden gekozen |Leroueil e.a. 1990|. Wanneer het schuifvlak niet alleen verticaal maar ook horizontaal door de gestructureerde klei gaat, kan deze aanpak worden gekozen.
- De sterkte van de gestructureerde klei boven het freatisch vlak kan ook gelijk worden gekozen aan de gemeten sterkte (normaal geconsolideerde sterkte; in situ bepaald met sondering of vinproef of in het laboratorium bepaald met triaxiaalproef) van de verzadigde niet-gestructureerde klei onder het freatisch vlak |Lefebvre 1987| en |USACE 2003|. Voorwaarde hierbij is uiteraard dat deze klei van dezelfde samenstelling betreft. Dit is

de gebruikelijke aanpak in de Nederlandse adviespraktijk. Wanneer een grote gestructureerde zone (bij een laag freatisch vlak) een grote bijdrage levert aan de gemobiliseerde schuifsterkte kan niet worden uitgesloten dat deze aanpak onveilig is.

FIGUUR B7.1 **VEILIGE SCHEMATISATIE VAN DE SCHUIFSTERKTE VAN GESTRUCTUREERDE KLEIGROND BOVEN HET GEMIDDELD LAAGSTE FREATISCH VLAK EN DE SCHUIFSTERKTE VAN VERZADIGDE KLEIGROND ONDER HET GEMIDDELD LAAGSTE FREATISCH VLAK**



Voor compartimenteringskeringen waar veen voorkomt boven het gemiddelde niveau van het freatisch vlak kan de schuifsterkte boven het freatisch vlak op dezelfde wijze worden benaderd. Het freatisch vlak kan in een lange droge periode ook dalen, zodat het veen uitdroogt en sterkte verliest.

Het gemiddelde niveau van het freatisch vlak kan worden bepaald met de formule van Dupuit |Barends 1995|.

B7.2 SCHUIFSTERKTE VAN ZAND

In aardebanen van (spoor-) wegen kan zand met een losse pakking voorkomen. De losse pakking van het zand kan het gevolg zijn van een niet optimale verdichting van het zand tijdens de realisatie van het project. De losse pakking kan ook het gevolg zijn van vervorming van het zandlichaam en de ondergrond. Zand met een losse pakking heeft een lagere mobiliseerbare schuifsterkte dan vastgepakt zand. De pakking van het zand van aardebanen van wegen en spoorwegen is dus een belangrijk gegeven voor het uitvoeren van stabiliteitsanalyses.

De schuifsterkte van zand kan worden afgeleid uit de conusweerstand (qc) van sonderingen. Volgens vele onderzoekers (Robertson en Campanella, Janbu en Senneset, Dogunoghu en Mitchell, Marchetti, Chen en Yuang) is er een direct verband tussen enerzijds de hoek van inwendige wrijving (ϕ') en anderzijds de Nq^*-waarde of de combinatie van conusweerstand en verticale effectieve spanning (σv') |Lubking 1997|. De Nq^*-waarde staat voor het quotiënt van de conusweerstand en de verticale effectieve spanning ($Nq^* = qc / \sigma v'$). De correlaties van de genoemde onderzoekers zijn onderbouwd door theorieën en grote reeksen metingen.

Andere onderzoekers (o.a. Castro, Teferra en Schmertmann, SCW) volgen een indirecte methode, waarin eerst een schatting van de relatieve dichtheid (Re) wordt gemaakt op basis van de conusweerstand |Lubking 1997|. Vervolgens wordt een relatie tussen de relatieve dichtheid en de hoek van inwendige wrijving toegepast. Eventueel wordt hierbij rekening gehouden met de korrelvorm, de korrelverdeling of de mineralogische samenstelling. Ook deze relaties zijn vastgesteld op basis van zeer veel zorgvuldig verzamelde meetgegevens.

BIJLAGE 8

MAATGEVEND HOGE WINDSNELHEID KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Deze bijlage presenteert een toelichting bij de afleiding van de te hanteren maatgevende hoge windsnelheid voor de berekening van de golfhoogten bij de toetsing van keringen langs regionale rivieren. Op basis van deze toelichting heeft de begeleidingscommissie besloten de voorgestelde optimalisatie op te nemen in de Leidraad.

SITUATIE: CONSERVATIEVE BENADERING VOOR TE HANTEREN MAATGEVEND HOGE WINDSNELHEID

Ten behoeve van de toetsing van de Hoogte en van het buitentalud dient de waterkeringbeheerder de golfrandvoorwaarden te bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een maatgevende hoge windsnelheid. Volgens de huidige benadering dient een maatgevende windsnelheid te worden gehanteerd met een overschrijdingsfrequentie gelijk de veiligheidsnorm van de kering.
Voor een kering met een veiligheidsnorm van 1/100 wordt de hoogte en de bekleding getoetst aan golven die worden veroorzaakt door een windsnelheid met een frequentie van 1/100. Dit veronderstelt dus het samenvallen van een 1/100 jaar afvoergolf met een 1/100 storm (en stapelt kans op kans). Deze benadering is afkomstig van de toetsing van boezemkaden, en is wat de hoogte betreft voor keringen langs regionale rivieren conservatief (voor bekledingen is de 1/100 storm niet conservatief, omdat in dit geval ook lage, dus vaak voorkomende waterstanden relevant zijn).

Voor de toetsing op hoogte is een optimalisatie van de te hanteren maatgevende hoge windsnelheid wenselijk. Hiervoor bestaan 2 mogelijkheden:

1. probabilistische benadering voor afleiding maatgevende combinatie van beide belastingen;
2. voorschrijven van een maximale hoge windsnelheid.

Optie 1 is voor de boezemkaden in west-Nederland uitgewerkt. Voor de meeste regionale rivieren is dit minder nuttig, omdat wind bij een gemiddelde of lage waterstand geen bedreiging vormt (geen opstuwing waterstand en eventuele golven vallen de waterkering niet aan maar de rivieroever). Zodoende heeft een uitwerking van de gewenste optimalisatie volgens optie 2 de voorkeur.

NADERE TOELICHTING VOORKEURSOPTIE: VOORSCHRIJVEN VAN EEN MAXIMALE HOGE WINDSNELHEID

De essentie betreft dus een optimalisatie van de maatgevend hoge windsnelheid ten opzichte van de windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk de veiligheidsnorm. Een vergelijking kan worden gemaakt met primaire rivierdijken in het rivierengebied. Hiervoor wordt een maatgevend hoge windsnelheid voorgeschreven van 9 tot 12 à 13 m/s (LOR1):

- de range van 9 tot 12 of 13 geldt voor de verschillende windrichtingen, waarbij de max. windsnelheid optreedt uit de hoek van ZW t/m W;

- de maxima van 12 en 13 m/s gelden voor 2 verschillende deelgebieden, het westelijk en oostelijk bovenrivierengebied.

Ten aanzien van deze ontwerpwaarden geldt het volgende:

1. afgeleid van de stations Deelen (oostelijk) en Herwijnen (westelijk), waarbij geldt dat de overschrijdingsfrequentie van deze windsnelheden voor deze stations orde 10 tot 20 keer per jaar bedraagt [Verkaik et al, 2003] (12 en 13 m/s is windkracht 6 Beaufort);
2. een recente, niet gepubliceerde beschouwing door het RIZA wijst op hogere windsnelheden (max. toename ca. 5 m/s);
3. geldt voor samenvallen met een maatgevende afvoergolf; een verschil met de regionale keringen is dat de duur van de afvoergolf op een regionale rivier kleiner is, zodat de kans op hoge windsnelheid tijdens maatgevende afvoersituatie kleiner is.

VOORSTEL

Op basis van deze gunstige en ongunstige verschillen is het verstandig globaal een iets hogere waarde voor de hoge windsnelheid te kiezen. Arbitrair worden de volgende waarden voorgesteld:

- indien rekening wordt gehouden met variabele windsnelheid per windrichting:
  - windsnelheid uit de hoek van N (360º) t/m ZO (135º): 12 m/s;
  - windsnelheid uit de hoek van ZW (225º) t/m W (270º): 15 m/s;
  - de windsnelheid verloopt gelijkmatig uit de windrichtingen tussen deze grenzen;
- indien geen rekening wordt gehouden met de variabele windsnelheid per windrichting (toetsing op eenvoudig niveau):
  - een windsnelheid van 16 m/s (zgn. omni-directioneel).

Dit betreft een netto verhoging van de maximale windsnelheid t.o.v. het bovenrivierengebied met 3 m/s.

Ter vergelijking, 15 m/s heeft bij de stations Deelen, Volkel, Eindhoven, Gilze-Rijen en Herwijnen een overschrijdingsfrequentie variërend van 2 tot 5 keer per jaar volgens de nieuwe inzichten uit het RIZA – KNMI project Hydra [Verkaik et al, 2003].

Een belangrijke kanttekening bij de hier voorgestelde keuze van de (maatgevende) snelheden is dat ze alleen gebruikt mogen worden ingeval de afvoer dominant is boven de wind, wat ruwweg gezegd er op neerkomt dat de afvoer aanzienlijk bepalender 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).

ANALYSE VAN DE CONSEQUENTIES

Voorgestelde optimalisatie resulteert in een aanzienlijke verlaging van de vereiste waakhoogte. Uit enkele berekeningen blijkt bijvoorbeeld dat bij een toelaatbaar overslagdebiet Q van 1 l/m/s, een breedte van de regionale rivier van 100 m en een gemiddelde waterdiepte van 5 m bij een buitentalud van 1:2 de benodigde waakhoogte afneemt van 0,6 (1/1000= 30 m/s) à 0,35 m (1/10 = 22 m/s) tot 0,2 m (16 m/s). Bij een buitentalud van 1:3 neemt de benodigde waakhoogte af van 0,4 (1/1000= 30 m/s) à 0,2 m (1/10 = 22 m/s) tot 0,1 m (16 m/s). Bij een toelaatbaar overslagdebiet Q van 0,1 l/m/s is de afname (absoluut) groter.

Opgesteld door:
H. van Hemert (STOWA), met verificatie door C. Geerse (HKV)

[Verkaik et al, 2003]
Wind Climate Assessment of the Netherlands 2003: Extreme value analysis and spatial interpolation methods for the determination of extreme return levels of wind speed. KNMI-Hydra project: Phase report 9. J.W. Verkaik, A. Smits, J. Ettema. KNMI De Bilt, the Netherlands, april/may, 2003.