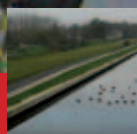




Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden



ADDENDUM OP DE LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID
REGIONALE WATERKERINGEN BETREFFENDE DE BOEZEMKADEN

ORK

2010

22

ISBN 978.90.5773.481.6



COLOFON

Amersfoort, 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2010-22
ISBN 978.90.5773.481.6

TEN GELEIDE

De afgelopen jaren is een forse inspanning geleverd op het onderwerp van de regionale keringen. Door de provincies is de aanwijzing en normering van een belangrijk deel van deze keringen gerealiseerd. Verder is onder regie van de provincies en waterschappen een aantal leidraden, onder meer voor toetsen en ontwerpen, tot stand gebracht.

Inmiddels is door de beherende waterschappen het toetsen en verbeteren opgepakt. De uitdaging om in 2015 resp. 2020 het systeem van deze regionale keringen getoetst en op orde te hebben vraagt om een voortvarende aanpak. Een vereiste voor deze aanpak is het beschikken over de nodige gereedschappen.

Van groot belang is daarbij een Leidraad voor het Toetsen van Boezemkaden. De eerste (zgn. groene) versie kwam enige tijd geleden tot stand. Bij de toepassing daarvan bleek dat op een aantal onderdelen een verbetering zeer wenselijk was. Om hierin een verbeterslag uit te voeren hebben de provincies Noord Holland, Zuid Holland en Utrecht hiertoe gezamenlijk het initiatief genomen.

Gezien de noodzakelijke voortgang van het toetsproces was vanaf het begin duidelijk dat het om een snelle actie moest gaan. Om toch in die korte tijd zoveel mogelijk te bereiken hebben de provincies in overleg met de waterschappen een programma van aandachtspunten opgezet waarvan de meeste toegevoegde waarde verwacht mocht worden. Deze zijn vervolgens in een korte tijd uitgewerkt en hebben geleid tot het nu gepresenteerde addendum.

Het moge duidelijk zijn dat het niet mogelijk was om in de beschikbare tijd een volledige “blauwe” versie te produceren inclusief een bijbehorende ronde in de vorm van het breed informeren en commentariëren in en door de waterkeringswereld.

Niettemin mag worden gesteld dat de gevolgde werkwijze met de betrokken deskundigen en adviesbureau's tot een kwalitatief goed product heeft geleid, dat op een aantal punten een waardevolle aanvulling betekent.

Het voornemen van de provincies om in de komende jaren de nu voorliggende versie tot een “blauwe” versie te brengen, inclusief een brede raadpleging (te denken valt onder meer aan het Expertise Netwerk Waterkeringen) wordt vervolgens met vertrouwen tegemoet gezien.

Ir. P. van den Berg
Voorzitter Stuurgroep

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 daarvoor benodigd zijn. Tabel 1 presenteert een overzicht van deze rapporten. Tabel 2 beschrijft de overige producten van het Ontwikkelingsprogramma.

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

DIT ADDENDUM

Dit Addendum op de Leidraad Toets op Veiligheid Regionale Waterkeringen betreffende de boezemkaden beschrijft enkele aanpassingen voor de toets op veiligheid van boezemkaden, zoals die zijn ontwikkeld in het kader van een tussentijdse verbetering van de Leidraad voortvloeiend op het uitbrengen van een definitieve versie.

TOTSTANDKOMING

Dit Addendum is samengesteld door STOWA, op basis van de resultaten van verschillende deelprojecten betreffende de uitwerking van enkele gewenste verbeteringen van de Leidraad. Deze deelprojecten zijn uitgevoerd door Alterra, Arcadis, Deltares, Fugro, HKV en Movares.

De ontwikkeling van dit Addendum is begeleid door een Begeleidingsgroep (bestaande uit vertegenwoordigers van waterkeringbeheerders uit het gehele land en enkele provincies) en een Stuurgroep (bestaande uit vertegenwoordigers van waterkeringbeheerders, provincies, IPO, Unie van Waterschappen en de STOWA).

DE STOWA IN HET KORT

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 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ADDENDUM OP DE LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN BETREFFENDE DE BOEZEMKADEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	VOORWOORD	
	STOWA IN HET KORT	
1	INSTRUMENTARIUM REGIONALE WATERKERINGEN	1
1.1	Toets op veiligheid	1
1.2	Addendum Leidraad Toetsen op Veiligheid betreffende boezemkaden	2
1.3	Verdere doorontwikkeling in het kader van “groen à blauw”	2
1.4	Verwijzingen naar voorschriften, leidraden en technische rapporten	5
1.5	Status van de kennis in dit Addendum	5
1.6	Vrijwaring	5
1.7	Ondersteuning tijdens de toetsing	5
1.8	Leeswijzer	5
2	BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID	6
2.1	Toetsschema	6
2.2	Aanpassingen belastingsituaties en belastingen	6
2.3	Aanpassingen beoordelingssporen	7
2.4	Overige aspecten inzake de toets op veiligheid	8

3	BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN	9
3.1	Belastingssituaties	9
3.1.1	Situatie langdurige droogte	9
3.1.2	Stabiliteit buitentalud	9
3.2	Hydraulische belastingen	13
3.2.1	Waterpeil	13
3.2.2	Golfrandvoorwaarden	13
3.3	Verminderde hydraulische weerstand van de waterbodem	13
3.4	Verkeersbelasting	17
3.4.1	Beschouwen verkeersbelasting	17
3.4.2	Schematisering van de verkeersbelasting	18
4	BEOORDELINGSSPOREN BOEZEMKADEN	20
4.1	Algemeen - faalmechanismen	20
4.2	Hoogte: overlopen / overslag	21
4.3	Piping / Heave	22
4.4	Macrostabiliteit binnentalud	26
4.5	Macrostabiliteit buitentalud	33
4.6	Microstabiliteit	38
4.7	Bekledingen	38
4.8	Stabiliteit voorland	38
4.9	Niet-waterkerende objecten	38
	REFERENTIES	43
	BIJLAGEN	
1	ONDERZOEKSPROTOCOL WATERSPANNINGEN VERKEERSBELASTING	45
2	VOORBEELDEN METHODE VAN VEILIGE AFMETINGEN	57
3	VOORBEELDEN TOEPASSING RESTBREEDTE BENADERING	65
4	TOETSSCHEMA BOMEN	71

1

INSTRUMENTARIUM REGIONALE WATERKERINGEN

1.1 TOETS OP VEILIGHEID

Vanuit de wens van de provincies en de waterschappen dat het proces van het aanwijzen & normeren, toetsen, ontwerpen & verbeteren en beheren & onderhouden van de regionale waterkeringen landelijk op een uniforme wijze wordt uitgevoerd, heeft de STOWA op verzoek van het InterProvinciaal Overleg (IPO) en de Unie van Waterschappen (UvW) het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen (ORW) uitgewerkt. Een onderdeel van dit ORW betreft de leidraad Toets op Veiligheid – katern Boezemkaden [2006], deze katern is opgenomen in de integrale Leidraad Toets op Veiligheid – regionale waterkeringen.

In 2006 hebben de provinciale staten van de provincies Utrecht, Noord- en Zuid – Holland het beschermingsniveau van de boezemkaden vastgesteld. Vervolgens is door de waterschappen in de periode 2007 tot 2009 de toets op veiligheid van de genormeerde / aangewezen boezemkaden uitgevoerd. Het uitwerkingsniveau van de toets varieert (per provincie, per waterschap en per kade), van globaal en onvolledig (alleen toetsspoor Hoogte) tot soms gedetailleerd en compleet.

Belangrijke conclusie naar aanleiding van het resultaat van de eerste toets op veiligheid is allereerst dat voor een groot deel van de boezemkaden geen oordeel over de veiligheid kan worden opgesteld. Belangrijke oorzaak hiervoor is het gebrek aan een toegespitste beoordelingswijze voor de vele woningen op en aan een boezemkade, bomen en overige niet-waterkerende objecten, zoals wegen, kabels & leidingen, etc.. Daarnaast resulteert de toets vaak in het technisch oordeel dat de veiligheid niet voldoet aan de norm, terwijl de veiligheid volgens de beheerder wel aan de norm voldoet. Dit verschil betreft met name de beoordeling van de stabiliteit binnenwaarts, van veenkaden en voor de situatie droogte. Daarbij is meer algemeen tevens geconstateerd dat de uitwerking van het beheerdersoordeel nog weinig uniform is, evenals de weging van het beheerdersoordeel bij het opstellen van een eindwaardering over de veiligheid.

Naar aanleiding van de ervaringen die zijn opgedaan bij deze eerste toets zijn verschillende verbeterpunten van de Leidraad Toets op Veiligheid geïdentificeerd, variërend van algemene / redactionele opmerkingen (aanvulling van ontbrekende onderwerpen, of verduidelijking / toelichting van de inhoud) tot inhoudelijke opmerkingen over de toetsmethode zelf (identificatie van kennisleemten of toetssporen die ontoereikend zijn voor aangetroffen situaties). Een deel van de benodigde verbeteringen zijn besproken tijdens de gebruikersdag “Dag van de regionale waterkeringen”, op 22 april 2009. Sterk samengevat zijn de belangrijkste constatering:

- 1 algemene aanscherping en vereenvoudiging van de beoordeling stabiliteit binnenwaarts is gewenst;
- 2 verbetering van de beoordeling stabiliteit binnenwaarts tijdens droogte, incl. de classificatie tot veenkade en de beoordeling van de kans op het optreden van hydraulische kortsluiting, is wenselijk;
- 3 een specifieke beoordelingswijze voor niet-waterkerende objecten ontbreekt;
- 4 een beoordelingskader voor het beheerdersoordeel en de eindwaardering van de veiligheid ontbreekt.

1.2 ADDENDUM LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID BETREFFENDE BOEZEMKADEN

Dit Addendum bevat de gewenste tussentijdse verbetering van het toetsinstrumentarium voor de boezemkaden. Hoofddoelstelling is het verkrijgen van een beter beeld van de veiligheid van de boezemkaden. Hiertoe dient de verbeterde toetsmethode voor de boezemkaden aan de waterschappen beschikbaar te worden gesteld. Dit Addendum omvat de volgende verbeteringen:

- 1 verbetering beoordeling stabiliteit binnenwaarts tijdens droogte, tenminste betreffende:
 - a de classificatie tot veenkade (definitie);
 - b de beoordeling van de kans op hydraulische kortsluiting;
- 2 een uitwerking voor de normering van de belastingsituatie droogte.
- 3 toetsschema beter toepasbaar maken voor regionale keringen door:
 - a verdere uitwerking van aanpak met veilige afmetingen in het toetschema;
 - b introductie van een restbreedte benadering voor stabiliteit binnen- en buitenwaarts;
 - c verfijning schematisering van de verkeersbelasting;
- 4 uitbreiding mogelijkheden om de toets op een eenvoudig niveau uit te werken, met:
 - a piping: verduidelijken criteria intredepunt;
 - b stabiliteit buitenwaarts: verduidelijken, kwantificeren en zo mogelijk aanscherpen wanneer dit faalmechanisme niet relevant is;
- 5 specifieke beoordelingswijze voor bomen;
- 6 verbetering van Promotor, als hulpmiddel voor de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden, en de opname van Promotor in het toetsspoor.

1.3 VERDERE DOORONTWIKKELING IN HET KADER VAN “GROEN → BLAUW”

Belangrijke randvoorwaarden bij de uitwerking van het Ontwikkelingsprogramma waren:

- snelheid: de provincies en waterschappen dienden snel in de gelegenheid te worden gesteld de normering en toets op veiligheid ter hand te nemen;
- realistisch veiligheidsbeeld: toepassing van de producten diende tot een realistisch beeld over de beveiliging tegen overstromen te leiden, op basis van realistische veiligheidsnormen enerzijds en een realistische toetsmethode anderzijds.

De inhoud van de Leidraad Toets op Veiligheid regionale keringen is zodoende gebaseerd op de actuele stand van kennis over de veiligheid van regionale waterkeringen. De verschillende methodieken zijn daarbij op enkele onderdelen soms op pragmatische wijze uitgewerkt. Ook is gekozen om zo mogelijk voorlopige handreikingen te geven. Als voorbeelden worden genoemd het opnemen van de belastingsituatie droogte, de introductie van de golfgroei-formule van Young & Verhagen en schematisering van wateroverspanningen ten gevolge van een verkeersbelasting. Hierbij is minder tijd genomen voor kwaliteitsborging dan bijvoorbeeld

voor Leidraden zoals die door ENW worden uitgebracht. Qua status zijn deze producten ook wel aangeduid als zgn. “groene versies”.

Gekoppeld aan de gevolgde werkwijze was het voornemen om op een later tijdstip definitieve (“blauwe”) versies van de producten van het Ontwikkelingsprogramma uit te brengen, bijvoorbeeld wanneer ervaring met de toepassing van de producten is opgedaan en eventueel onderzoek naar de kennisleemten is uitgevoerd. Dit voornemen is aangeduid als het Ontwikkeltraject “Groen naar Blauw”. Een overzicht die in het ontwikkeltraject zijn opgenomen is men is weergegeven in tabel 1.1. Hierbij wordt opgemerkt dat het thans niet zeker is of (al) deze onderzoeksvragen zullen worden uitgewerkt. Dit hangt onder andere af van de beschikbaarheid van het benodigde budget.

TABEL 1.1

OVERZICHT ONDERZOEKSVRAGEN ONTWIKKELTRAJECT "GROEN NAAR BLAUW"

Onderdeel	Onderzoeksvraag
Veiligheidsfilosofie	Herverdelen faalkans (in voordeel van stabiliteit)
	Benutten actuele sterkte bij streefpeil
	Introductie nieuwe materiaalfactoren boezemkaden, incl. procedure voor schematiseringsfactor
	Afleiden schadefactoren stabiliteit buitenwaarts
Toetsschema algemeen	Schematisering natte compartimenteringskering
Hydraulische randv.w.	Onderzoek validatie golfgroeiformule Young & Verhagen
Overige belastingen	Droogte: normafhankelijke schematisering situatie droogte
	Onderzoek schematisering verkeersbelasting (wateroverspanning)
Schematisering	Aanwijzingen voor omgaan met zandcunet in kadelichaam (i.r.t. verschillende FM)
Beoordelingssporen	
Hoogte	Erosiebestendigheid grasbekleding kruin en binnentalud (ivm overslagdebiet)
Stabiliteit binnentalud	Aanscherpen restbreedte benadering (verschillende componenten)
	Kennisontwikkeling sterkte van veen – algemeen
	Kennisontwikkeling stabiliteit van veenkaden tijdens droogte
	Sterkte van grond bij lage korrelspanning
Piping	Monitoren resultaten SBW, de implementatie in WTI2011 en consequenties voor de beoordeling van regionale waterkeringen
Bekleding	Erosiebestendigheid zandige deklaag buitentalud
Overig	Erosie door snelstromend water (in geval calamiteit)
NWO's	Afleiden beoordelingspoor voor overige NWO (bebouwing, kabels & leidingen)

Het is niet uitgesloten dat voortgaande kennisontwikkeling leidt tot nieuwe inzichten in de beoordeling van de veiligheid. Op deze plaats wordt daarom algemeen aanbevolen de eventuele ontwikkeling van nieuwe inzichten in de beoordelingssporen nauwlettend te volgen. Specifiek ten aanzien van voorgenomen kadeverbeteringen wordt daarbij benadrukt met deze onzekerheid verstandig om te gaan, door bijvoorbeeld:

- het ontwerp van een kadeverbetering voldoende robuust te maken voor eventuele wijziging van de inzichten en rekenregels;
- kaden waarvan de veiligheid niet aan de norm voldoet vanwege de score ten aanzien van één faalmechanisme op basis van een aspect wat mogelijk als onderzoeksvraag nog wordt onderzocht, zo mogelijk¹ niet direct te verbeteren maar de nieuwe inzichten af te wachten voor een definitieve beoordeling (en zo nodig een toekomstbestendig ontwerp van de verbetermaatregel).

¹ Dit geldt alleen indien de tekortkoming niet ernstig is, en uitstel van een verbetering uit oogpunt van de veiligheid acceptabel is.

1.4 VERWIJZINGEN NAAR VOORSCHRIFTEN, LEIDRADEN EN TECHNISCHE RAPPORTEN

In dit Addendum 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 dit Addendum betreffen steeds de versies van de voorschriften, leidraden of technische rapporten per eind 2009.

1.5 STATUS VAN DE KENNIS IN DIT ADDENDUM

Dit Addendum is in een hoog tempo samengesteld, waarbij minder tijd is genomen voor kwaliteitsborging dan bijvoorbeeld voor de TAW-leidraden. Achtergrond hiervan is de wens om de beoordelingssporen in de Leidraad vooruitlopend op de ontwikkeling van de definitieve versie tussentijds te verbeteren, zodat deze nog bij de 2^{de} fase van de 1^{ste} toetsronde in west Nederland kunnen worden toegepast. Hoofddoelstelling daarbij is dat die toetsronde een meer realistisch beeld geeft over de veiligheid van de regionale waterkeringen.

1.6 VRIJWARING

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben dit Addendum 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 voorlopige inzichten gebruikt. Het is niet uitgesloten dat voortgaande kennisontwikkeling leidt tot nieuwe inzichten in de beoordeling van de veiligheid. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van dit Addendum en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) dit Addendum.

1.7 ONDERSTEUNING TIJDENS DE TOETSING

Gedurende de uitvoering van de toetsing kunnen waterkeringbeheerders of hun adviseurs voor vragen terecht bij de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl of contact@helpdeskwater.nl).

1.8 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt in algemene zin ingegaan op de beoordeling van de veiligheid van regionale keringen, en een overzicht van de aanpassingen in zowel de belastingsituaties als de beoordeling van de sterkte. Hoofdstuk 3 gaat nader in op de aanpassingen van de belastingsituaties en belastingen. Hoofdstuk 4 beschrijft de wijzigingen van de beoordelingssporen voor de sterkte van de kade.

2

BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID

2.1 TOETSSCHEMA

Op hoofdlijnen kent het toetsschema geen aanpassingen.

Vanwege het belang wordt in deze paragraaf de voorlopige status van het veiligheidsoordeel ten aanzien de situatie droogte benadrukt. Deze status is al beschreven in de huidige Leidraad.

KADER: STATUS OORDEEL BELASTINGSITUATIE DROOGTE

Nader onderzoek naar processen of mechanismen volgens welke droogte de stabiliteit van een kade aantast wordt nog uitgevoerd. In de Leidraad is, teneinde toch een (voorlopig) beeld te verkrijgen over de veiligheid van kaden ten aanzien van de situatie droogte, besloten deze belastingsituatie op te nemen. De uitwerking van de toetssporen is daarbij gebaseerd op voorlopige inzichten en een pragmatische uitwerking van de geconstateerde kennisleemten. Een belangrijke consequentie van deze pragmatische uitwerking 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 niet is uitgesloten dat een kade waarvan de veiligheid volgens het voorlopige toetspootspoor 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.

Teneinde gedurende de periode van kennisontwikkeling gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden tijdens langdurige droogte, wordt verwezen naar het STOWA - rapport Draaiboek Veenkaden (2005-02).

2.2 AANPASSINGEN BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN

Onderstaand overzicht beschrijft de belastingsituaties en belastingen die in dit Addendum zijn aangepast, inclusief een korte toelichting. Hoofdstuk 3 beschrijft deze aanpassingen meer gedetailleerd.

BELASTINGSITUATIE DROOGTE

Op dit moment is wel vastgesteld dat de situatie droogte genormeerd kan worden (incl. indicator), maar de berekeningen naar de mate van verdroging van een kade (daling grondwaterstand en de correlatie met de meteorologische droogte) zijn nog onvoldoende voltooid. Op dit moment kan nog niet worden vastgesteld of bijv. een 1/10 of 1/30 per jaar droogte voldoende verdroging van een kade kan veroorzaken zodanig dat beschouwing van de stabiliteit nodig is.

HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN: GOLFRANDVOORWAARDEN

Een optimalisatie van de golfrandvoorwaarden is gerealiseerd door toepassing van de golf-groei-formule van Young & Verhagen in plaats van Bretschneider. Optimalisatie van de golf-randvoorwaarden is gunstig voor de beoordeling van de hoogte en de bekleding.

HYDRAULISCHE KORTSLUITING

De beoordeling van de waarschijnlijkheid van het optreden van hydraulische kortsluiting is herzien. Belangrijkste wijziging is dat het optreden van hydraulische kortsluiting meer genuanceerd is. De beoordeling richt zich niet meer strikt op de kans op hydraulische kortsluiting (met bijbehorende schematisatie van de stijghoogte), maar op de kans op een afname van de weerstand van de waterbodem. Indien de kans bestaat op een afname van de weerstand (wat dus niet noodzakelijkerwijs ook kortsluiting inhoudt), kan de stijghoogte in watervoerende lagen worden berekend op basis van de nieuwe situatie. Hierbij hoeft dus niet standaard te worden uitgegaan van volledige hydraulische kortsluiting. Een eenvoudig spreadsheet is ontwikkeld ter ondersteuning van deze herberekening van de stijghoogte.

VERKEERSBELASTING

In dit Addendum wordt vooraleerst benadrukt dat onder voorwaarden het beschouwen van een verkeersbelasting ten gevolge van het transport van materiaal / materieel niet verplicht is. Ten aanzien van de grootte van de verkeersbelasting wordt de mogelijkheid geboden (onderbouwd) uit te gaan van lichtere belastingen, maar dient tevens te worden onderbouwd dat geen hogere verkeersbelastingen kunnen optreden. Ten aanzien van de schematisering van de verkeersbelasting geldt verder:

- dat een optimalisatie van de wateroverspanning mogelijk is, voor de onderbouwing is de uitvoering van lokaal onderzoek vereist;
- dat de stijfheid van de wegconstructie en het wegcunet in rekening mag worden gebracht.

2.3 AANPASSINGEN BEOORDELINGSSPOREN

Onderstaande tabel presenteert een overzicht van de aanpassingen van de beoordelings-sporen zoals die in het kader van dit Addendum zijn uitgewerkt. Hoofdstuk 4 beschrijft de aanpassingen meer gedetailleerd.

TABEL 2.1 OVERZICHT AANPASSINGEN BEOORDELINGSSPOREN

Beoordelingsspooren	Aanpassingen	
Overlopen / overslag (HT)	Stap 3.2	Vereenvoudiging toets indien gemiddeld overslagdebiet groter is dan 0,1 l/m/s, maar maximaal 1,0 l/m/s bedraagt
Piping (STPI)	Stap 0	Uitbreiding met een stap 0 waarin wordt gecontroleerd op de aanwezigheid van een intredepunt
	Stap 3.2	Aanvulling van de beoordeling op gedetailleerde niveau met de gedetailleerde bepaling van de ligging van het intredepunt; Vermelding van de toepassingsvoorwaarden van de methode Sellmeijer.
Stabiliteit binnentalud (STBI)	Stap 2.1	Toepassing veilige afmetingen (eenvoudig niveau)
	Stap 2.2	Toepassing restbreedte – benadering (gedetailleerd niveau)
Stabiliteit buitentalud (STBU)	Stap 1	Verduidelijking en aanscherping oorzaken / aanleidingen waarbij beschouwing stabiliteit buitentalud kan worden uitgesloten
	Stap 2	Toepassing restbreedte benadering
Microstabiliteit (STMI)	Geen aanpassingen	
Bekledingen (STBK)	Geen aanpassingen	
Stabiliteit voorland (STVL)	Geen aanpassingen	
Niet-waterkerende objecten (NWO)	Toetsschema voor de beoordeling van bomen	

2.4 OVERIGE ASPECTEN INZAKE DE TOETS OP VEILIGHEID

CLASSIFICATIE VAN VEEN

Gebleken is dat de toekenning van sterkte-eigenschappen van veen complex is. Daarbij is geconstateerd dat het tenminste verstandig is om veen gedetailleerd te classificeren, naar de botanische samenstelling en de verweringsgraad. Deze classificatie is beschreven in het Technisch Rapport Geotechnische Classificatie van Veen [TAW, 1998]. Aanbevolen wordt bij de uitwerking van de toets op veiligheid deze gedetailleerd classificatie toe te passen.

DEFINITIE VEENKADE

Dit Addendum geeft een aanscherping van de definitie van een veenkade. Deze definitie dient voor een eenvoudige vaststelling of sprake is van een veenkade. Dit Addendum introduceert aanvullend de mogelijkheid om op een meer gedetailleerd niveau de droogtegevoeligheid van een veenkade te bepalen.

Aangescherpte definitie ‘veenkade’:

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

- *een verzadigd volumegewicht heeft kleiner dan of gelijk aan 13,5 kN/m³ (conform NEN 5110); OF:*
- *een watergehalte heeft van meer dan 100%.*

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

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

Indien een kade volgens deze definitie als veenkade wordt geclassificeerd, kan vervolgens worden vastgesteld of sprake is van een droogtegevoelige veenkade. In essentie gaat het daarbij om de vraag of de betreffende laag veen of sterk humeuze klei daadwerkelijk verdroogt tijdens langdurige droogte. Een kade is niet droogtegevoelig indien de laag veen of sterk humeuze klei zich bevindt beneden het niveau tot waar de freatische grondwaterstand tijdens langdurige droogte maximaal daalt. Deze voorwaarde vergt goed inzicht in de fluctuaties van de grondwaterstand tijdens droogte, waarbij specifieke geohydrologische berekeningen benodigd zijn. Daarbij geldt dat dit aspect afhankelijk is van enkele kenmerken van de kade zelf (kwelsituatie, aanwezigheid teensloot, etc.), maar ook normafhankelijk is. Bij een 1/1000 per jaar – droogte gebeurtenis zal de grondwaterstand dieper dalen dan tijdens een 1/100 per jaar – gebeurtenis.

3

BELASTINGSITUATIES EN BELASTINGEN

3.1 BELASTINGSITUATIES

3.1.1 STABILITEIT BUITENTALUD

De Leidraad beschrijft onderstaande oorzaken voor macro-instabiliteit van het buitentalud:

- 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.

De Leidraad stelt dat de oorzaken 3 en 5 niet relevant lijken, omdat deze door goed beheer & onderhoud kunnen worden voorkomen. Daarbij geldt ten aanzien van oorzaak 3 dat inspectie gericht moet zijn op het onderwatertalud en -bodem, en dat de toetsing aandacht dient te besteden aan de resultaten van dergelijke inspecties (ofwel: het niet beschouwen van oorzaak 3 zou moeten worden onderbouwd met een opmerking over gemeten of verwachte veranderingen van het onderwaterprofiel).

Ten aanzien van de oorzaken 1, 2 en 4 is de Leidraad weinig specifiek ten aanzien van:

- de wijze waarop de oorzaken uitgesloten kunnen worden;
- de situatie(-s) die beschouwd moet(-en) worden (boezemwaterstand, neerslag, verkeersbelasting).

Onderstaand volgt een toelichting op deze oorzaken, als aanvulling op de Leidraad. De aanvullingen betreffen overwegend een meer kwantitatieve specificatie voor de beoordeling of genoemde oorzaken beschouwd moeten worden.

Oorzaak 1: Een extreem laagwater door natuurlijke² variatie (droogte of extreme afwaaiing). Ten aanzien van deze situatie beveelt de Leidraad aan 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. Dit Addendum stelt dat deze situatie als niet relevant mag worden beschouwd indien de laagwaterstand minder dan 0,3 m beneden streefpeil is. De onderbouwing (uitsluitend kwalitatief) bij dit criterium is dat bij deze geringe daling:

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

2 Laagwater door een niet-natuurlijke oorzaak valt buiten deze beoordelingswijze. Een niet natuurlijke oorzaak betreft bijv. de sterke daling nabij een gemaal bij het inwerking treden.

Punt I is pragmatisch afgeleid aan de hand van een veronderstelde 'bewezen sterkte'. Hierbij is het van belang dat tot de peildatum van de toetsing de sterkte van het buitentalud niet afneemt, en de belasting niet toeneemt. Voorwaarden bij de toepassing zijn zodoende:

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

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

Oorzaak 2: Val door calamiteit elders

De stabiliteit van het buitentalud bij een val van de waterstand door een calamiteit elders is alleen relevant indien:

- 1 na de calamiteit voldoende water in de boezem resteert om een serieuze belasting voor de kade te vormen; EN;
- 2 de val van de waterstand ter plaatse van de kade groot is.

Dit is bij boezemkaden het geval als:

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

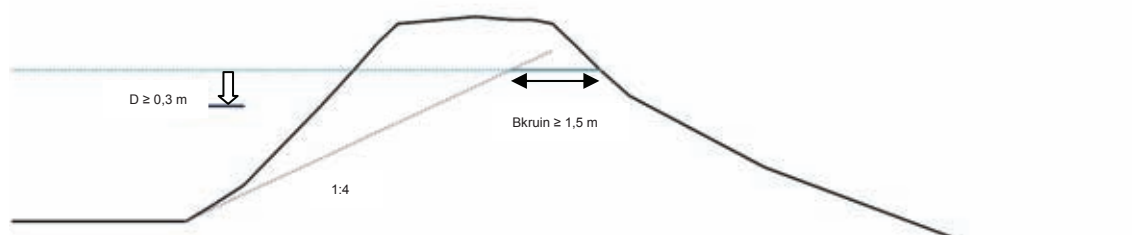
Vertaald in een toetsschema stelt dit Addendum dat oorzaak 2 niet hoeft te worden beschouwd indien wordt voldaan één van de volgende voorwaarden:

- 1 aan dezelfde boezem bevindt zich geen waterbergingsgebied of een polder met een veiligheidsnorm die tenminste een factor 10 lager is;
- 2a een waterbergingsgebied bevindt zich op een dusdanige afstand dat het inzetten van het waterbergingsgebied een daling van de waterstand in de boezem ter plaatse van de beschouwde kade geeft van minder dan 0,3 m;
- 2b een polder met een factor 10 lagere veiligheidsnorm bevindt zich op een dusdanige afstand dat een doorbraak van de polder een daling van de waterstand in de boezem ter plaatse van de beschouwde kade geeft van minder dan 0,3 m;
- 3 een nabij gelegen waterbergingsgebied of polder met lagere veiligheidsnorm heeft een dusdanig grote waterberging dat na overstroming in het boezemstelsel (inclusief eventuele compartimentering) een voldoende lage waterstand resteert. Dit betreft een waterstand van 0,3 m onder het niveau waarbij de restbreedte van de kade tenminste 1,5 m bedraagt. Bij deze restbreedte is geen reserve aanwezig ter compensatie van verdere erosie door golfaanval of langsgstroming, zodat rekening moet worden gehouden met het treffen van (nood-)maatregelen.

Ad. 3. Het niveau waarop de restbreedte van een theoretische kruin nog juist 1,5 m bedraagt kan worden bepaald aan de hand van een theoretisch profiel met een 1:4 helling van het buitentalud vanaf de buitenteen (zie figuur 3.1).

FIGUUR 3.1

BEPALING TOELAATBARE LAGE WATERSTAND



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

Oorzaak 4: Deze oorzaak betreft een extreme belasting door zwaar verkeer.

Voor deze oorzaak geldt:

- voor een groene kade: dat geen rekening hoeft te worden gehouden met zwaar verkeer, mits het calamiteitenplan ten behoeve van noodmaatregelen voorziet in alternatieve transportroutes / methoden voor het transport van materieel / materiaal.
- voor een kade met een verkeersweg: dat altijd rekening dient te worden gehouden met verkeer. Of sprake kan zijn van zwaar verkeer is afhankelijk van de verkeersklasse van de weg en het gebruik van de kade voor transport van materieel / materiaal ten behoeve van noodmaatregelen³.

Samenvattend is het dus denkbaar dat meerdere oorzaken kunnen leiden tot het moeten beschouwen van de stabiliteit van het buitentalud. Het is daarbij niet uitgesloten dat bij deze analyse meerdere situaties beschouwd moeten worden, afhankelijk van de oorzaken die kunnen optreden. Daarbij geldt dat indien zowel de oorzaken 1 en 2 kunnen optreden, de situatie tijdens oorzaak 2 maatgevend is en situatie tijdens oorzaak 1 niet hoeft te worden beschouwd.

Voor bovengenoemde oorzaken gelden de volgende opmerkingen ten aanzien van de schematisering van de verschillende belastingen.

• Situatie 1: laag water door natuurlijke variatie

Qua belasting is sprake van een laag boezempeil. Daarbij geldt dat de freatische lijn in het kadelichaam eveneens laag zal zijn indien de lage waterstand wordt veroorzaakt door droogte. Indien de oorzaak afwaaiing betreft dient te worden uitgegaan van een gemiddelde grondwaterstand. Verder dient alleen voor kaden met een verkeersweg een reguliere (= behorende bij de verkeersklasse) verkeersbelasting te worden gehanteerd, met het transport van materiaal / materieel in het kader van noodmaatregelen hoeft geen rekening te worden gehouden. Eventuele maatregelen voor het herstel van de kaden worden verondersteld na afloop van de laagwaterperiode te worden uitgevoerd (de eventueel bijbehorende verkeersbelasting dienen onder oorzaak 4 te worden beschouwd).

3 Incidenteel / exceptioneel zwaar verkeer wordt daarbij buiten beschouwing gelaten, verondersteld wordt dat voor dergelijk verkeer een ontheffing vereist is en dat de beschouwing van de stabiliteit van de kade onderdeel uitmaakt van de aanvraag van zo'n ontheffing.

- Situatie 2: val door calamiteit elders

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

- Situatie 4: zwaar verkeer

Qua waterstand dient te worden uitgegaan van streefpeil. Daarbij moet worden uitgegaan van een hoge ligging van de freatische lijn in het kadelichaam. Voor kaden met verkeersklasse 60 dient te worden uitgegaan van een belasting van 15 kN/m^2 , over een breedte van 2,5 m. Voor kaden met een lagere verkeersklasse dient te worden uitgegaan van een belasting:

- van 13 kN/m^2 over 2,5 m breed, indien het calamiteitenplan niet uitsluit dat over de kade transport van materiaal / materieel kan plaatsvinden;
- de reguliere verkeersbelasting conform de verkeersklasse, indien het calamiteitenplan in alternatieve transportroutes / methoden voorziet.

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

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

3.2 HYDRAULISCHE BELASTINGEN

3.2.1 WATERPEIL

SITUATIE HOOGWATER

Geen aanpassingen in de methodiek. Het hulpmiddel Promotor voor de afleiding van de hydraulische belasting is op enkele punten verbeterd.

SITUATIE DROOGTE

Geen aanpassingen

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 een doorbraak van een kering elders langs dezelfde boezem. In hoofdstuk 3.2 zijn enkele opmerkingen gemaakt ten aanzien van de inschatting van de waarschijnlijkheid van dit fenomeen en noodzaak om dit toetspoot te beschouwen in de toetsing. Deze opmerkingen zijn enigszins aangepast ten opzichte van de LTR (met name gespecificeerd).

3.2.2 GOLFRANDVOORWAARDEN

Dit Addendum introduceert de golfgroeiformule van Young & Verhagen voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden, naast de golfgroei van Bretschneider. De toepassing van Young & Verhagen resulteert in een lagere waarde van de berekende golfgrootten, wat gunstig is voor de beoordeling van de hoogte en de bekleding. Voornemen is om in het kader van de ontwikkeling van een definitieve versie van de Leidraad nader onderzoek te doen naar de golfgroeiformule van Young & Verhagen. Vooruitlopend op dat onderzoek is echter besloten de golfgroeiformule van Young & Verhagen al in dit Addendum te introduceren, en het gebruik daarvan te ondersteunen met een uitbreiding van de berekeningsmogelijkheden in Promotor.

3.3 VERMINDERDE HYDRAULISCHE WEERSTAND VAN DE WATERBODEM

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

Denkbare oorzaken van verminderde hydraulische weerstand van de waterbodem zijn:

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

De hydraulische weerstand van de waterbodem wordt aangetast als de dikte ervan afneemt door baggerwerkzaamheden en het opdrijven van veenpakketten. De omvang van de verwachte verstoringen mag worden meegewogen: een zeer plaatselijke verdieping zal niet meteen tot instabiliteit leiden.

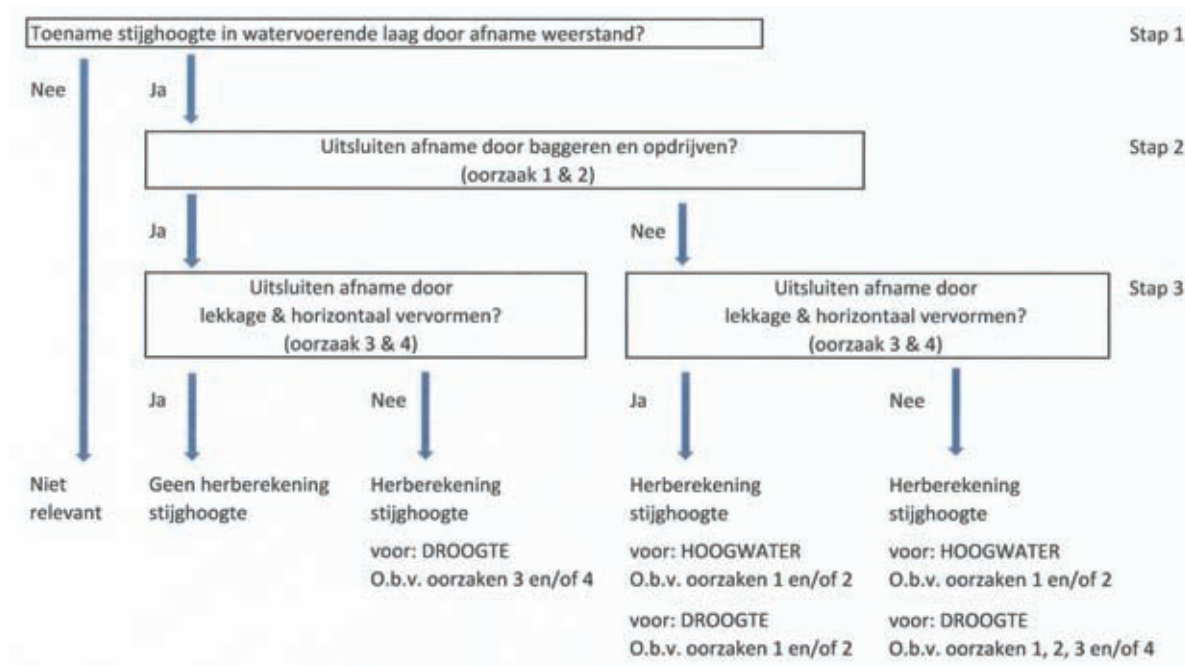
Als een hydraulisch dichte beschoeiing aanwezig is in de boezem en deze onderworpen wordt aan horizontale bewegingen is het denkbaar dat een verticale lekweg gevormd wordt langs de beschoeiing. De stijghoogte langs de beschoeiing neemt dan toe tot maximaal het boezempeil waardoor de hydraulische weerstand eveneens wordt verminderd. Beweging van de beschoeiing is bijvoorbeeld denkbaar bij meegeven van de verankering, aantasting van de passieve grondzone, en krimp door uitdroging onder en nabij de kruin. Dit laatste wordt door een hydraulisch dichte beschoeiing nog eens versterkt doordat de infiltratie vanuit het oppervlaktewater wordt belemmerd. Bovendien verbreekt een hydraulisch dichte 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. De over het algemeen geringe breedte van de lek mag ook hierbij worden meegewogen, al kan de breedte substantieel meer bedragen dan de dikte van de beschoeiingsplanken.

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

Verdroging kan de horizontale vervorming van de waterkering versterken als door gewichtsafname de schuifweerstand afneemt langs potentiële horizontale afschuifvlakken in en onder de kering. Krimp van de kade door verdroging kan scheurvorming tot gevolg hebben. Er wordt van uitgegaan dat dergelijke scheuren beperkt blijven tot het binnentalud, overwegend in de lengterichting van de kade georiënteerd zijn en dus geen invloed is op de hydraulische weerstand van de waterbodem.

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

FIGUUR 3.2 BEOORDELING RELEVANTIE OPTREDEN SIGNIFICANTE VERMINDERING HYDRAULISCHE WEERSTAND WATERBODEM



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

STAP (1)

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

STAP (2)

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

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

Indien aanwezige mineraal-arme veenlagen wel kunnen opdrijven dient de diepte van de waterbodem hiervoor te worden gecorrigeerd.

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

Als beneden het laagste niveau dat uit deze beschouwing volgt een waterremmende laag aanwezig is van ten minste 2 m dik is en een gemiddeld volumiek gewicht van ten minste 12 kN/m^3 , dan kan met voldoende waarschijnlijkheid een vermindering van de hydraulische weerstand ten gevolge van baggerwerkzaamheden en opdrijven verwaarloosbaar worden geacht. In andere gevallen dient de stijghoogte in de watervoerende grondlaag te worden herberekend.

STAP (3)

De mogelijkheid van verticale lekkage langs beschoeiingen wordt vooralsnog alleen van belang geacht tijdens de situatie 'droogte'.

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 het uitgangspunt van 'goed beheer' uitgesloten. Een afname van de weerstand ten gevolge van horizontale beweging kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten indien:

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

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

- sprake is van een beperkt verval over de kade van kleiner dan 2 m; of:
- geen sprake is van een veenkade (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 oprijfveiligheid in de situatie zonder kortsluiting overal onder de verdroogde kade ten minste 1,2 bedraagt.

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

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

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

NADERE STAPPEN

Kan een substantiële afname van de hydraulische weerstand van de waterbodem op grond van het bovenstaande niet worden uitgesloten dan dient een berekening te worden gemaakt van de toename van de stijghoogte in de watervoerende laag ter plaatse van de teen, en dient deze

toename te worden verwerkt in de beoordelingssporen STPI en STBI (zie 4.3 en 4.4). Hierbij mag rekening gehouden worden met het matigende effect van de in het algemeen beperkte breedte van opdrijvende veenpakketten en lekkagespleten langs beschoeiingen.

Het mogelijk opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem dient in deze berekening te worden geschematiseerd met een verdieping tot de onderkant van de mineraal-arme veenlagen, waarvan de breedte 1,5 m is, en die zo ongunstig mogelijk in de waterbodem is gesitueerd (in het algemeen langs de binnenzijde van de waterbodem). Mogelijke lek langs een beschoeiing dient te worden geschematiseerd met een verdieping tot onderkant beschoeiing over een breedte die in overeenstemming is met de mate van de mogelijke horizontale beweging van de beschoeiing. Minimaal wordt de dikte van de beschoeiingsplanken of 1/5 van de profielhoogte van stalen damwanden genomen, en maximaal het 10-voudige daarvan.

De invloed van de verminderde hydraulische weerstand op de waterdrukken in en onder de kade dient met daartoe geschikte grondwaterstromingsmodellen worden berekend. In de meeste gevallen zullen de vergelijkingen in de bijlage (**zie werkblad 'theorie' in excelbestand Potentiaalstijging onder kaden door stroming vanuit boezem.xls**) bij deze Leidraad, daartoe toereikend zijn. Hiermee is de toename te berekenen van de waterdruk onder de teensloot als gevolg van grondwaterstroming vanuit de boezem door de waterbodem naar een watervoerende zandlaag onder de kade. De extra waterstroming door de aanwezigheid van een spleet aan de binnenzijde van het buitenwater kan eveneens worden berekend. De vergelijkingen zijn verwerkt in een eenvoudig spreadsheetmodel. (**zie werkblad 'rekenblad' in excelbestand Potentiaalstijging onder kaden door stroming vanuit boezem.xls**)

In het geval van mogelijk substantiële horizontale vervorming van de kade tijdens droogte dienen eveneens de beoordelingssporen STPI en STBI te worden gevolgd, waarin het verminderde gewicht en de veranderde waterspanningen (verlaagde freatische lijn, mogelijk onveranderde of verhoogde waterspanningen in watervoerende lagen) worden verwerkt. Het is echter niet nodig om hierbij persé uit te gaan van verhoogde grondwaterstroming vanuit de boezem naar watervoerende lagen onder de kade. Een voldoende mate van stabiliteit op basis van de toegepaste beoordelingssporen staat borg voor voldoende veiligheid tegen groundbreuk in de waterbodem door droogte-effecten.

3.4 VERKEERSBELASTING

3.4.1 BESCHOUWEN VERKEERSBELASTING

De Leidraad schrijft voor dat bij de beoordeling van de stabiliteit van een kade rekening dient te worden gehouden met een verkeersbelasting. Dit geldt ook voor groene kaden. Achtergrond daarbij is de veronderstelling dat bij een (dreigende) calamiteit transport van zwaar materiaal en materieel over de kruin van de waterkering noodzakelijk is, voor het treffen van noodmaatregelen. 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).

Deze bepaling wordt vaak gezien als verplichting, en behoeft nuancering.

In dit Addendum wordt benadrukt dat een verkeersbelasting niet standaard behoeft te worden beschouwd. Een beheerder mag onderbouwd afzien van een verkeersbelasting, of

rekening houden met een afwijkende grootte van de belasting wanneer over de kade geen transport van materiaal plaatsvindt, maar wel inspectie- of lichte onderhoudsvoertuigen rijden. Voorwaarde voor het niet beschouwen van een verkeersbelasting, of het hanteren van een afwijkende grootte van de belasting, blijft een motivatie op basis van het calamiteitenplan. Valide argumenten bij de onderbouwing zijn bijvoorbeeld:

- de kruin van de kade is eenvoudig te smal voor dergelijk materieel;
- de toegang tot het kadevak vormt een belemmering, bijvoorbeeld omdat delen van de kade een smalle kruin hebben, of eventuele waterkerende kunstwerken in de kade dergelijke belastingen niet toestaan;
- nabij de kade zijn andere routes aanwezig, bijvoorbeeld een weg op de binnenberm.

Ten aanzien van de grootte van de belasting wordt opgemerkt dat de belasting door vrachtwagens veel groter kan zijn dan de 13 kN/m^2 die in de Leidraad wordt genoemd. Uit een inventarisatie blijkt dat de belasting kan oplopen tot meer dan 30 kN/m^2 over een breedte van 2,5 m. Zeker voor groene kaden lijkt het onwaarschijnlijk dat dergelijk zwaar verkeer over de kade zal plaatsvinden, zelfs tijdens dreigende calamiteiten. In dit Addendum blijft voor het transport van materiaal / materieel een maximale belasting van 13 kN/m^2 over 2,5 m breedte van kracht, maar dient de beheerder wel aan te tonen dat tijdens hoogwater geen zwaardere belastingen zullen optreden. Argumenten daarbij zijn bijvoorbeeld:

- dat de verkeersklasse van de verkeersweg dergelijk zwaar verkeer niet toestaat (standaard of middels een verkeersverbod tijdens hoogwater);
- dat in het calamiteitenplan voor het treffen van noodmaatregelen is voorzien in bepalingen dat het in te zetten materiaal deze belasting niet overschrijdt.

Daarnaast biedt dit Addendum de mogelijkheid uit te gaan van lagere belastingen. Lagere waarden dienen te worden gemotiveerd in de rapportage over de veiligheidstoets, zo nodig inclusief onderbouwing met voorwaarden uit het calamiteitenplan (en bepalingen inzake handhaving).

3.4.2 SCHEMATISERING VAN DE VERKEERSBELASTING

WATEROVERSANNING

In de Leidraad wordt gesteld dat een verkeersbelasting vrijwel altijd een kortdurende belasting is, waarop de grond vrijwel ongedraineerd zal reageren. Zodoende beveelt de Leidraad aan om met 100% wateroverspanning rekening te houden (ofwel 0% aanpassing). Uit verkennend onderzoek in het kader van dit Addendum blijkt dat dit uitgangspunt erg conservatief is, een waarde van 70% wateroverspanning (= 30% aanpassing) lijkt meer realistisch. Voor een lichte verkeersbelasting (5 kN/m^2) geldt zelfs dat in de situatie hoogwater mogelijk helemaal geen wateroverspanning optreedt, omdat de belasting beneden de grensspanning blijft. Onderstaande tabel presenteert een overzicht met de aanpassingen⁵. Het verkennend onderzoek is echter ontoereikend als onderbouwing voor een algemeen geldende optimalisatie van het aanpassingspercentage van een verkeersbelasting.

⁵ Let wel: dit betreft aanpassingspercentages, ofwel de mate waarin de wateroverspanning is afgenomen ten opzichte van de maximale wateroverspanning. Een aanpassingspercentage van 30% houdt dus in dat met 70% wateroverspanning rekening gehouden moet worden (waar de Leidraad nog 100% aanbeveelt).

Dit Addendum introduceert wel de mogelijkheid om een afwijkend aanpassingspercentage te hanteren. Voorwaarde hierbij is dat een waterkeringbeheerder lokaal onderzoek naar de wateroverspanning ten gevolge van een verkeersbelasting uitvoert. Dit onderzoek dient per type kade op tenminste 3 locaties te worden uitgevoerd. Een protocol voor dergelijk onderzoek is opgenomen in bijlage 1. Indien dit onderzoek een beeld oplevert wat aansluit bij de waarden in onderstaande tabel, mogen de waarden in de tabel standaard voor alle kaden van het onderzochte type worden gehanteerd. Specifiek voor de onderzochte kade zelf geldt daarbij dat de waarde zoals blijkt uit het onderzoek mag worden gehanteerd.

TABEL 3.1 AANPASSINGSPERCENTAGES

Type kade	Zware belasting [13 kN/m ²]		Lichte belasting [5 kN/m ²]	
	“Hoogwater”	“Droog”	“Hoogwater”	“Droog”
Kade met weg	30 %	30 %	100 %	30 %
Kade zonder weg “groene kade”	< 30 %	< 30 %	< 100 %	< 30 %

SPREIDING IN DE ONDERGROND

Tijdens de expert-meeting is gesteld dat de stijfheid van het wegcunet bijdraagt aan een gunstige spreiding van de verkeersbelasting. Zodoende wordt aanbevolen bij de schematisering van de verkeersbelasting rekening te houden met de spreiding in de wegconstructie en het wegcunet. Dit kan bijvoorbeeld door een fictieve belasting te schematiseren, waarbij de grootte van de belasting is gecorrigeerd voor de extra spreiding door de stijfheid van de wegconstructie en het wegcunet. Zie hiervoor tevens de bijlage 1.

4

BEOORDELINGSSPOREN BOEZEMKADEN

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 top laag (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.

De beoordelingssporen voor deze faalmechanismen zijn beschreven in het LTR [STOWA, 2007]. In dit hoofdstuk worden alleen de wijzigingen van de beoordelingssporen beschreven.

FOTO 4.1

BOEZEMKADE LANGS DE HOOGMADESE POLDER NABIJ DE JACHTHAVEN VAN HOOGMADE



4.2 HOOGTE: OVERLOPEN / OVERSLAG

Het beoordelingsspoor voor de toets op hoogte vormt geen onderdeel van de verbeterpunten in dit Addendum. Wel is in het kader van dit Addendum het model Promotor verbeterd. Dit model betreft een hulpmiddel voor de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden (toetspeil en golfrandvoorwaarden). Tevens kan met behulp van dit model de hoogtetoets worden uitgevoerd.

Een belangrijke aanpassing van Promotor die relevant is voor de hoogtetoets is dat het model de golfrandvoorwaarden berekent aan de hand van de formule van Young & Verhagen. Daarnaast bestaat nog de optie om de golfrandvoorwaarden met Bretschneider te berekenen.

De golfgroeiformule van Young & Verhagen is afgeleid op basis van onderzoek op een ondiep meer, terwijl de formule van Bretschneider is gebaseerd op onderzoek naar golfontwikkeling op volle zee. Young & Verhagen lijkt daarmee beter toepasbaar voor de watersystemen langs regionale waterkeringen. Belangrijk voordeel voor de toets op veiligheid is dat de formule van Young & Verhagen resulteert in kleinere golven, wat gunstig is voor de hoogtetoets en de toets van de bekleding.

De formule van Young & Verhagen is in Nederland niet eerder toegepast (voor zover bekend). Als onderdeel van het programma behorende bij de ontwikkeling van een definitieve versie van de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen is zodoende een onderzoek gericht op de controle van deze golfgroeiformule opgenomen. Vooruitlopend op dit onderzoek is echter al besloten het gebruik van de formule van Young & Verhagen toe te staan.

STAP 1 EN 2: BEOORDELING KRUINHOOGTE TIJDENS SITUATIE HOOGWATER MET EENVOUDIGE & GEDETAILLEERDE TOETS

Geen aanpassingen

STAP 3.1: BEOORDELING OVERSLAGDEBIET TIJDENS SITUATIE HOOGWATER

Geen aanpassingen

STAP 3.2A: BEOORDELING AANVULLENDE VOORWAARDEN BIJ OVERSLAGDEBIET $> 0,1$ EN $\leq 1,0$ L/M/S TIJDENS SITUATIE HOOGWATER

Indien een overslagdebiet groter dan $0,1$ l/m/s en kleiner dan of gelijk aan $1,0$ l/m/s optreedt, is de score voldoende indien wordt voldaan aan de voorwaarden dat:

- een graszode aanwezig is (met kwaliteit tenminste matig);
- het zandgehalte $< 90\%$ is;
- geen obstakels met een diameter groter dan 15 cm aanwezig zijn.
- eventuele obstakels met een diameter kleiner dan 15 cm dienen zich op een onderlinge afstand van tenminste 1 meter te bevinden.

STAP 3.2B: BEOORDELING AANVULLENDE VOORWAARDEN BIJ OVERSLAGDEBIET > 1 L/M/S TIJDENS SITUATIE HOOGWATER

Indien een overslagdebiet groter dan 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 onaantvaardbare 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

Geen aanpassing

STAP 5: BEOORDELING KRUINHOOGTE TIJDENS SITUATIE DROOGTE MET GEDETAILLEERDE TOETS

Indien een overslagdebiet groter dan 0,1 l/m/s en kleiner dan of gelijk aan 1,0 l/m/s optreedt, is de score voldoende indien wordt voldaan aan de voorwaarden dat:

- een graszode aanwezig is (met kwaliteit tenminste matig);
- het zandgehalte < 90% is;
- geen obstakels met een diameter groter dan 15 cm aanwezig zijn.
- eventuele obstakels met een diameter kleiner dan 15 cm dienen zich op een onderlinge afstand van tenminste 1 meter te bevinden.

Indien een overslagdebiet groter dan 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.

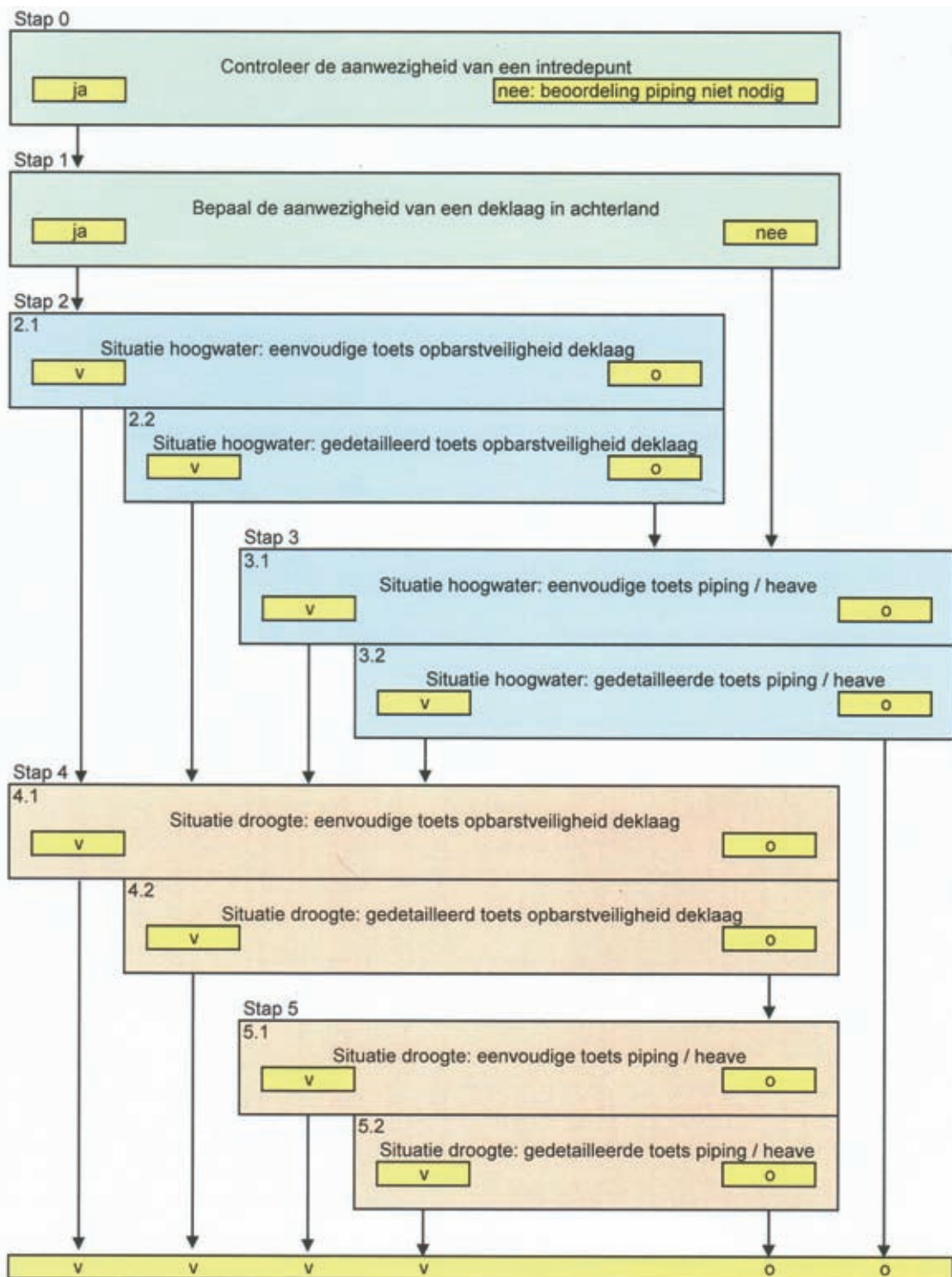
4.3 PIPING / HEAVE

Beoordeling van de piping / heave kan aan de hand van het stroomschema in figuur 4.1 worden uitgevoerd. Voor de wijze van berekenen van de opbarstveiligheid en de veiligheid tegen piping / heave wordt verwezen naar par. 4.3 van de LTR. Aanpassingen van dit beoordelingsspoor betreffen:

- 1 uitbreiding met een stap 0 waarin wordt gecontroleerd op de aanwezigheid van een intredepunt;
- 2 aanvulling van de beoordeling op gedetailleerde niveau (in stap 3.2) met de gedetailleerde bepaling van de ligging van het intredepunt;
- 3 vermelding van de toepassingsvoorwaarden van de methode Sellmeijer (in stap 3.2).

Het nieuwe beoordelingsspoor is weergegeven in figuur 4.1. Een toelichting bij de aanpassingen volgt daarna.

FIGUUR 4.1 BEOORDELING PIPING / HEAVE



STAP 0: CONTROLEER DE AANWEZIGHEID VAN EEN INTREDEPUNT

Het intredepunt is een punt waar de watervoerende zandondergrond of watervoerende tussenzandlagen in direct contact staan met het boezem- of kanaalwater. Een boezem of kanaal heeft soms beperkte breedte. Indien over de volledige breedte op de bodem een slecht doorlatend pakket met voldoende hydraulische weerstand aanwezig is, is geen intredepunt aanwezig. In dat geval bestaat geen gevaar voor piping.

Voorwaarden

Ten aanzien van de dikte van het slecht doorlatende pakket geldt vooraleerst een minimum-eis van tenminste 1,5 m. Deze dikte is inclusief een extra toplaag van 0,5 m dikte (direct onder het onderhoudsprofiel), in verband met de nauwkeurigheid van baggerwerkzaamheden. Bij de bepaling van de dikte geldt als voorwaarde dat moet worden uitgegaan van de onderhoudsdiepte van de boezem of het kanaal (Leggerprofiel), een eventuele sliblaag ten gevolge van achterstallig baggeronderhoud mag niet worden meegenomen bij de bepaling van de dikte.

Voorts moet worden aangetoond dat het betreffende pakket niet zal opdrijven en geen hydraulische kortsluiting kan ontstaan. Deze beoordeling kan worden gecombineerd met de beoordeling van de kans op hydraulische kortsluiting (de werkwijze is beschreven in paragraaf 3.4). Indien het pakket wel kan opdrijven of hydraulische kortsluiting kan ontstaan, dient het gevaar voor piping nader te worden beoordeeld volgens de stappen 1 t/m 5.

Een slecht doorlatend pakket heeft uit oogpunt van de bepaling van de kwelweglengte voldoende hydraulische weerstand indien:

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

De aanwezigheid van een slecht doorlatende pakket in het voorland of de waterbodem moet worden aangetoond met behulp van lokaal grondonderzoek. Dit kan bestaan uit:

1. direct: bepaling van de bodemopbouw door middel van ondiepe boringen en / of sonderingen vanaf het water of ter plaatse van de kade aan de overzijde van de boezem;
2. indirect: geohydrologisch onderzoek naar de stijghoogte in de (tussen-) zandlagen, op basis van de stijghoogte kan eveneens een uitspraak worden gedaan over het eventuele hydraulische contact tussen het boezem- of kanaalwater en de zandvoerende lagen. Hierbij dient speciale aandacht te worden besteed aan de eventuele aanwezigheid van een sliblaag op de waterbodem ten gevolge van achterstallig baggerwerk.

De beheerder moet kunnen garanderen (Keur) dat het slecht doorlatende pakket aanwezig blijft.

STAP 1 EN 2 (2.1 EN 2.2)

Deze stappen kennen geen wijzigingen ten opzichte van de beschrijving in de LTR. Opgemerkt wordt dat indien geen deklaag aanwezig is (stap 1), na de score 'voldoende' bij stap 3 (hoogwater) direct stap 5 (droogte) dient te worden beschouwd.

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: $L > C_{\text{creep}} (\Delta H - 0,3d)$ [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 (uit de LTR) en §3.3 (dit Addendum).

Punt 2 komt nu te vervallen, dit aspect wordt nu al in stap 0 beschouwd.

STAP 3.2 BEOORDELING PIPING / HEAVE TIJDENS SITUATIE HOOGWATER GEDETAILLEERDE METHODE

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

- 1 Gedetailleerd bepalen van de locatie van het intredepunt.
- 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.
- 3 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.

Ad. 1 Gedetailleerd bepalen van de locatie van het intredepunt

Dit betreft een extra mogelijkheid om op gedetailleerd niveau de beoordeling op piping aan te scherpen.

Het intredepunt is het dichtst bij de dijk gelegen punt waar de watervoerende zandondergrond of watervoerende tussenzandlagen in direct contact staan met het boezem- of kanaalwater. De locatie van het intredepunt is afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van een slecht doorlatend pakket in het voorland of op de onderwaterbodem van de boezem of het kanaal. Bij aanwezigheid van zo'n slecht doorlatend pakket kan het voorland cq. de onderwaterbodem, althans deels, in de berekening van de kwelweglengte worden meegenomen. Om dit punt te bepalen moet de aanwezigheid van een slecht doorlatende kleilaag in het voorland of de waterbodem worden onderzocht. Hiertoe dient grondonderzoek te worden uitgevoerd, bestaande uit ondiepe boringen en / of sonderingen vanaf het water.

Bij de bepaling van een theoretisch of denkbeeldig intreepunt is het van belang dat rekening wordt gehouden met het effect van inzijging door de afdekkende laag. Dit effect zorgt ervoor dat, afhankelijk van de geohydrologische kenmerken, niet het volledige voorland als kwelweglengte mag worden meegenomen. In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen is aangegeven op welke wijze het theoretisch intreepunt (rekening houdend met inzijging) bepaald kan worden.

Voorwaarden

Een afdekkende laag op het voorland of de onderwaterbodem van de boezem of het kanaal mag worden beschouwd als verlenging van de kwelweglengte indien wordt voldaan aan voorwaarden zoals genoemd bij stap 0.

Ad.2. Toepassingsvoorwaarden Sellmeijer

Als aanvulling op de LTR worden in dit Addendum de vigerende toepassingsvoorwaarden voor Sellmeijer genoemd, zoals deze zijn beschreven in het TRWG en TRZW.

- 1 De methode Sellmeijer is geldig indien de kwelweglengte groter is dan tien maal het verval over de waterkering.
- 2 De regel van Sellmeijer is niet gevalideerd voor omstandigheden waarbij de verhouding tussen de dikte van de zandlaag en de lengte van de (horizontale) kwelweg relatief groot is, bijvoorbeeld groter dan 1.
- 3 De methode Sellmeijer kan bij een uitsluitend horizontale kwelweg worden toegepast, indien een kunstwerk op palen is gefundeerd, mag de horizontale kwelweg niet in rekening worden gebracht. De methode Sellmeijer is dan niet van toepassing.

- 4 De methode Sellmeijer is toepasbaar indien de watervoerende zandlaag een homogene doorlatendheid en constante dikte heeft, en zich uitstrekt tot ver voorbij het uittredepunt.
- 5 Het model is ook toepasbaar bij afwijkende samenstellingen mits het product van laagdikte en doorlatendheid van de zandlaag in het model zo gekozen wordt, dat de kwelstroming in de prototypesituatie wordt gesimuleerd.

Aanbevelingen bij de toepassing

Bij piping-analyses met de regel van Sellmeijer moet gewerkt worden met een lage karakteristieke waarde van d_{70} , te bepalen volgens de procedure in Appendix II van het TRZW.

STAP 4 (4.1 EN 4.2) EN 5 (5.1 EN 5.2)

Deze stappen kennen geen wijzigingen ten opzichte van de beschrijving in de LTR.

4.4 MACROSTABILITEIT BINNENTALUD

Aan dit beoordelingsspoor zijn twee mogelijkheden toegevoegd:

- op eenvoudig niveau: een aanpak op basis van veilige afmetingen;
- op gedetailleerd niveau: een restbreedte - benadering.

Beide aanvullingen zijn toepasbaar tijdens zowel de situatie hoogwater als de situatie droogte. Daarbij gelden wel specifieke toepassingsvoorwaarden. Onderstaand volgt een nadere beschrijving van beide methoden.

De LTR [STOWA, 2007] geeft aan voor de berekening van rekenwaarden van de schuifsterkteparameters uit te gaan van de materiaalfactoren zoals beschreven in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TRWG 2001]. Dit Addendum biedt aanvullend de mogelijkheid om uit te gaan van de materiaalfactoren die specifiek voor boezemkaden zijn afgeleid (beschreven in de Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden [STOWA, 2009]). Toepassing van deze materiaalfactoren is uitsluitend toegestaan in combinatie met het hanteren van een schematiseringsfactor. Voor deze schematiseringsfactor geldt een waarde van 1,2. Deze waarde kan worden verlaagd tot max. 1,0, op basis van een gedetailleerde uitwerking gelijk de benadering zoals die voor primaire waterkeringen geldt

STAP 1: BEOORDELING AAN DE HAND VAN GEOMETRIE

Deze stap kent geen wijzigingen.

STAP 2: BEOORDELING HOOGWATERSITUATIE

STAP 2.1: EENVOUDIGE TOETSING

In deze stap kan het aantrekkelijk zijn een aanpak op basis van veilige afmetingen toe te passen. Voor een beoordeling op basis van veilige afmetingen wordt verwezen naar het VTV2006. In sommige gevallen is het niet wenselijk of mogelijk om de genoemde beschikbare methode te gebruiken, bijvoorbeeld omdat de gebiedseigen situatie buiten het toepassingsgebied van de methode valt of aanscherping van een beschikbare methode wenselijk is. In dat geval kan een nieuwe methode worden afgeleid.

Een specifiek voor boezemkaden afgeleide methode, waarmee een beoordeling op basis van veilige afmetingen kan worden uitgevoerd, dient in ieder geval te voldoen aan alle van de volgende eisen:

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

Voorbeelden van dergelijke specifiek voor boezemkaden afgeleide methoden zijn:

- een aangepaste en aangescherpte versie van de geometrische toets zoals beschreven in de Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006). Hiertoe zijn de grafieken van f_a en f_k afgeleid voor gebiedsspecifieke type kaden. Voor het afleiden van de grafieken is gekozen om op basis van stabiliteitberekeningen de benodigde kruinbreedte en breedte van het achterland (slootafstand) te bepalen. De stabiliteitssommen zijn uitgevoerd conform de LTR. Deze methode is nader beschreven in bijlage 2.1 van dit Addendum.
- Een toets van de binnenwaartse stabiliteit op basis van een beoordelingsprofiel, dat specifiek is vastgesteld voor een bepaald kadevak op basis van de lokaal aanwezige kenmerken van de kade. Dit beoordelingsprofiel betreft de vereiste geometrie van de kade waarbij de stabiliteit van het binnentalud juist voldoet aan de norm. Deze aanpak vormt een bijzondere uitwerking van de eenvoudige toetsing (stap 2) volgens de LTR. Deze methode is nader beschreven in bijlage 2.2 van dit Addendum.

Opmerking:

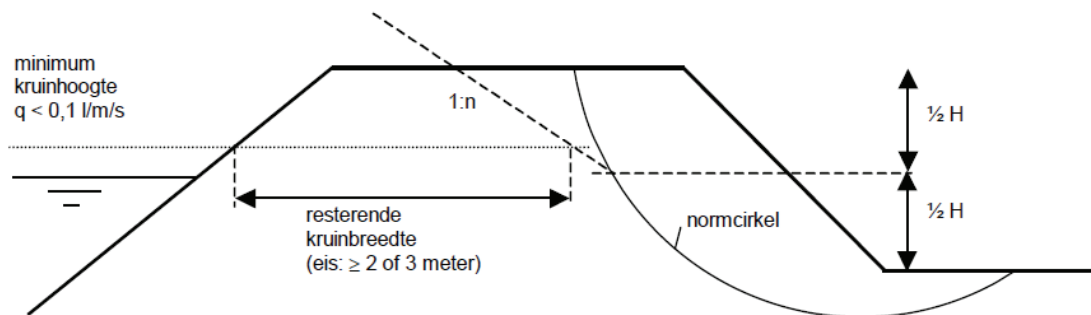
Voor methoden die dermate afwijkend van opzet zijn dat een toetsing aan bovenstaande eisen niet goed mogelijk is, wordt de waterkeringbeheerder (in samenwerking met de toezichthoudende provincie) de mogelijkheid geboden om de methode aan STOWA ter inhoudelijke toetsing voor te leggen.

STAP 2.2: GEDETAILLEERDE TOETSING (NIVEAU 1)

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. Op het moment is geen restmethode beschikbaar die specifiek is toegespitst op boezemkaden. Voor primaire keringen is er wel een restmethode beschikbaar, welke is beschreven in het TRAS. Een principe schets van de methode uit het TRAS is gegeven in figuur 4.2.

FIGUUR 4.2

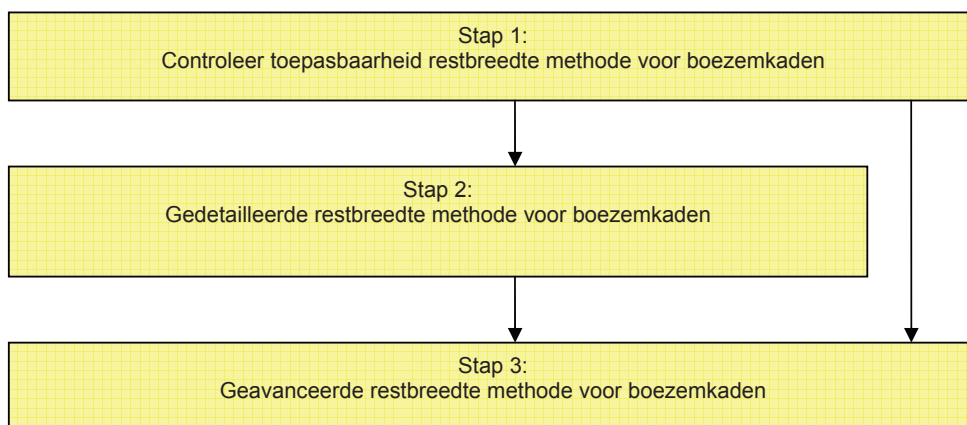
PRINCIPESCHETS 'RESTBREEDTE-BIJ-OVERHOOGTE' METHODE VOLGENS HET TRAS



Teneinde over een restbreedte methode te kunnen beschikken die specifiek betrekking heeft op boezemkaden, wordt voorgesteld om het schema uit figuur 4.3 toe te passen. Dit schema zal hierna worden toegelicht.

FIGUUR 4.3

STAPPENPLAN RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN



STAP 1: CONTROLEER TOEPASBAARHEID RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN

Voor de toepassing van de restbreedte voor boezemkaden dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt met voorwaarden die gelden voor de gedetailleerde methode en voor de geavanceerde methode. De voorwaarden voor het toepassen van de restbreedte methode voor boezemkade zijn in principe gelijk aan die volgens de 'restbreedte-bij-overhoogte' methode volgens het TRAS. Hier worden eisen gesteld met betrekking tot oprijfsituaties, objecten in de waterkering, overslagdebit en stabiliteitsfactor. Hoe met deze zaken bij boezemkaden moet worden omgegaan komt hierna aan de orde.

Oprijven van de deklaag

Voor oprijfsituaties dienen eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. Oprijfsituaties vallen buiten de gedetailleerde methode. In de geavanceerde methode kunnen oprijfsituaties eventueel wel beschouwd worden.

Objecten in de waterkering

Voor objecten in de waterkering dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de waterkering mogen zich dus geen objecten bevinden, die bij een primaire of secundaire afschuiving de waterkerende functie van de waterkering in gevaar brengen. Dit betreft bijv. pijpleidingen die door een ontploffing of lekkage de sterkte van de kering aantasten. De aanwezigheid van kabels met een beperkte diameter (zoals telefoon- of glasvezelkabels) brengt de waterkerende functie niet gevaar.

Overslagdebiet $q < 0,1 \text{ l/m/s}$

Deze eis is gerelateerd aan de minimaal vereiste kruinhoogte. Ook hier dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de gedetailleerde situatie dient het overslagdebiet kleiner te zijn dan $0,1 \text{ l/m/s}$. Van deze eis mag in de geavanceerde methode (beargumenteerd) worden afgeweken.

Stabiliteitsfactor $\gamma \geq 1,0$

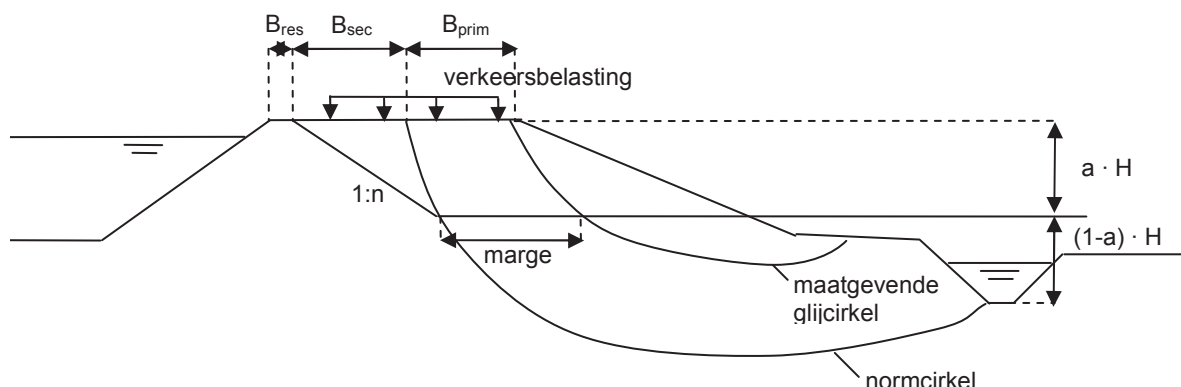
Deze stabiliteitseis komt voor boezemkaden te vervallen. Immers, voor boezemkaden varieert de vereiste stabiliteitsfactor van 0,8 tot 1,0 voor IPO-klassen I tot V. Dit betekent wel dat in de beoordeling alleen de waterkerende functie wordt beschouwd. Andere functies dienen apart beschouwd te worden. Merk op dat voor bijvoorbeeld verkeersfuncties in sommige gevallen een zwaardere eis kan gelden dan voor de waterkerende functie.

STAP 2: GEDETAILLEERDE RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN

Voorgesteld wordt om voor de gedetailleerde restbreedte methode voor boezemkaden de 'restbreedte-bij-overhoogte' uit het TRAS als basis te gebruiken, waarbij een aantal aanpassingen en aanvullingen worden voorgesteld.

Voorgesteld wordt om de principeschets, zoals weergegeven in figuur 4.4, voor boezemkaden toe te passen. Hierin is de primaire kruindaling gesteld op $a \cdot H$ in plaats van standaard op $0,5 \cdot H$, en wordt ook de marge tussen maatgevende en normcirkel expliciet benoemd.

FIGUUR 4.4 PRINCIPESCHETS VOORSTEL RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN



In de gedetailleerde beoordeling kunnen voor de parameters in figuur 4.4 de waarden conform de gedetailleerde 'restbreedte-bij-overhoogte' methode uit het TRAS worden toegepast, waarbij voor de in TRAS aangegeven standaard waarden op een aantal punten kan worden afgeweken.

Overslagdebiet

De minimaal vereiste kruinhoogte wordt bepaald uitgaande van een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van $q = 0,1 \text{ l/m/s}$ bij Toetspeil of bij het ontwerppeil voor de bepaling van de kruinhoogte. Hier kan in de geavanceerde methode (beargumenteerd) van worden afgeweken. Merk op dat bij boezemkade zelden een significante overhoogte aanwezig is, dus dat in de meeste gevallen de actuele kruinbreedte zal worden getoetst. De minimum kruinhoogte is in figuur 4.4 daarom verondersteld samen te vallen met de actuele kruinhoogte.

Minimaal vereiste kruinbreedte

De minimaal vereiste kruinbreedte voor primaire keringen is 2 m (voor zee- en meerdijken) of 3 m (voor rivierdijken). Voor boezemkaden wordt voorgesteld om, conform de LTR, een minimaal vereiste kruinbreedte van 1,5 m te hanteren. Deze eis hangt samen met 'normaal beheer'. Hierbij moet bedacht worden dat voor deze 'abnormale omstandigheden' een verdere nuancering van de minimaal vereiste kruinbreedte mogelijk is, hier wordt in de geavanceerde methode nader op ingegaan.

Benadrukt wordt dat de vereiste kruinbreedte daadwerkelijk aanwezig moet zijn, ofwel het betreffende gedeelte van de kruin moet voldoende stabiel zijn uit oogpunt van macrostabiliteit buitenwaarts. Een gelijktijdige toepassing van een restbreedte benadering voor zowel het binnen- als buitentalud is wel mogelijk, maar vergt speciale aandacht voor het voldoende stabiel zijn van het betreffende gedeelte van de kruin.

Secundaire afschuiving

De toeslag om het effect van een secundaire afschuiving in rekening te brengen dient te worden bepaald door de factor 'n' uit het TRAS toe te passen:

- voor klei waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$: n = 2
- voor veen waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$: n = 4
- voor goed verdicht zand waarvoor $\varphi > 22$ graden : n = 4

Waarbij:

c_u	=	ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
H	=	kerende hoogte	[m]
φ	=	hoe van inwendige wrijving	[°]

Hierbij dient voor een heterogeen pakket uit te worden gegaan van de maatgevende grondsoort. Indien sprake is van zand waarvoor $\phi > 22$ graden, maar wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking $n = 7$ te worden gehanteerd. Voor alle andere gevallen dient de kruinhoogte na de primaire afschuiving gelijk te worden gesteld aan de bovenzijde van de afschuivende grondmoot na de primaire afschuiving.

In de geavanceerde methode wordt een handreiking gegeven om (beargumenteerd) van deze waarden af te kunnen wijken.

Verkeersbelasting

Voor de te hanteren verkeersbelasting dienen de handreikingen uit dit Addendum te worden gehanteerd. Hierbij dient ook aandacht te worden besteedt aan de vraag of de verkeersfunctie aangetast mag worden door de eerste afschuiving én aan de vraag of in het restprofiel, na het optreden van de eerste afschuiving, nog rekening gehouden dient te worden met een verkeersbelasting.

Glijcirkel

Voor de glijcirkel behorend bij de primaire afschuiving wordt de benadering volgens TRAS gevolgd. In de gedetailleerde beoordeling uitgegaan van de normcirkel. In een geavanceerde beoordeling kan hier beargumenteerd van worden afgeweken.

Verplaatsing afschuivende grondmoot

In de gedetailleerde methode wordt een waarde van $a = 0,5$ gehanteerd, conform de gedetailleerde methode in het TRAS. Deze waarde is in TRAS nader onderbouwd, waarbij wordt opgemerkt dat deze waarde mogelijk (zeer) conservatief is. In de geavanceerde methode kan dan ook (beargumenteerd) van deze waarde worden afgeweken.

STAP 3: GEAVANCEERDE RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN

In de geavanceerde restbreedte methode voor boezemkaden kan met 'state-of-the-art' kennis een geavanceerde analyse worden uitgevoerd. In het TRAS zijn al een aantal mogelijkheden aangegeven waarop aanscherping ten opzichte van de gedetailleerde toets plaats zou kunnen vinden. Hieronder zal op enkele mogelijkheden, specifiek voor boezemkaden, nader worden ingegaan. Een werkwijze hiervoor is in het kader van deze tussentijdse verbetering van de Leidraad niet uitgewerkt. Dergelijk onderzoek is wel opgenomen in het programma voor de ontwikkeling van een definitieve versie van de LTR.

Verplaatsing afschuivende grondmoot

Zoals eerder opgemerkt kan de waarde van 0,5 voor de factor 'a' uit figuur 4.4 geoptimaliseerd worden.

Overslagdebiet

In sommige gevallen kan wellicht een hoger toelaatbaar overslag debiet worden toegestaan.

Resterende kruinbreedte

De resterende kruinbreedte na een eerste afschuiving dient groter te zijn dan de minimaal vereiste resterende kruinbreedte:

$$B_{\text{rest}} \geq B_{\text{min}}$$

Waarin:

B_{rest} = Resterende kruinbreedte na een eerste afschuiving;

B_{min} = Minimaal vereiste resterende kruinbreedte.

Als standaard waarde voor de minimaal vereiste resterend kruinbreedte kan $B_{\text{min}} = 1,5$ m worden gehanteerd, zie de voorgaande subparagraaf.

In de restbreedte methode wordt de kruinbreedte aangetast door de primaire en de secundaire afschuiving, beide bepaald met een zelfs voor primaire keringen voldoende conservatieve benadering. Het is de vraag of deze opstapeling van veiligheidsmarges voor vaak minder belangrijke boezemkaden in alle gevallen noodzakelijk is. Onderstaand worden twee benaderingen gegeven die kunnen leiden tot nuanceren van de eis:

- 1 Ligging normcirkel (F_{norm}) ten opzichte van maatgevende cirkel ($F_{\text{maatgevend}}$);

In de restbreedte methode wordt uitgegaan van de normcirkel. De maatgevende cirkel zal een grotere kans van optreden en daarnaast een stabiliserend effect op het restprofiel hebben. Er is dus een zogenaamde marge tussen de maatgevende cirkel en de normcirkel, zie ook figuur 4.4. Deze marge kan ondermeer de onzekerheid in de ligging van de maatgevende cirkel verdisconteren. Er is echter wat voor te zeggen om een reductie op deze marge toe te passen. Deze kan onder andere afhangen van de grootte van, en de stabiliteitsfactor (of kans)

behorend bij, de maatgevende glijcirkel.

De eis zou dan als volgt worden genuanceerd:

$$B_{\text{rest}} + R_{\text{marge}} \cdot \text{marge} \geq B_{\text{min}}$$

Als standaard waarde voor een reductiefactor op de marge lijkt als eerste inschatting een waarde $R_{\text{marge}} = 0,5$ reëel.

Wellicht is het differentiëren van deze factor voor verschillende IPO-veiligheidsklassen wenselijk, waarbij voor de hogere klassen een lagere reductiefactor (dus meer reductie) kan worden toegepast.

2 Verschil maatgevende stabiliteitsfactor ($F_{\text{maatgevend}}$) met vereiste stabiliteitsfactor (F_{norm})

Indien de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel groter of gelijk is aan de stabiliteitsfactor bij de normcirkel, betekent dit dat de kade voldoet en er géén restbreedte benodigd is. Op het moment dat de kade (net) niet voldoet, wordt er plotseling wel een zware eis aan de resterende kruinbreedte gesteld. In feite moet dan plotseling gelden:

$$B_{\text{kruin}} \geq B_{\text{min}} + B_{\text{sec}} + B_{\text{prim}}$$

Waarin:

$$\begin{aligned} B_{\text{kruin}} &= \text{Totale kruinbreedte } (B_{\text{kruin}} = B_{\text{res}} + B_{\text{sec}} + B_{\text{prim}}); \\ B_{\text{min}} &= \text{Minimaal vereiste resterende kruinbreedte (standaard 1,5 m)} \\ B_{\text{sec}} &= \text{Aangetaste kruinbreedte tengevolge van de secundaire afschuiving} \\ B_{\text{prim}} &= \text{Aangetaste kruinbreedte tengevolge van de primaire afschuiving} \end{aligned}$$

Voor situaties waarbij de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel richting de waarde van de norm cirkel gaat, ofwel $F_{\text{d;maatgevend}} / F_{\text{d;norm}}$ gaat naar 1,0, lijkt het echter logisch dat het in rekening brengen van een zeer beperkte restbreedte al voldoende is. Indien de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel en de normcirkel immers aan elkaar gelijk zijn, ofwel $F_{\text{d;maatgevend}} / F_{\text{d;norm}} = 1,0$, is er helemaal geen restbreedte benodigd.

Voorgesteld wordt om een reductiefactor toe te passen op de breedte van de secundaire afschuiving en/of de minimaal vereiste resterende kruinbreedte. Dit leidt tot:

$$B_{\text{kruin}} \geq R_{\text{B;min}} \times B_{\text{min}} + R_{\text{B;sec}} \times B_{\text{sec}} + B_{\text{prim}}$$

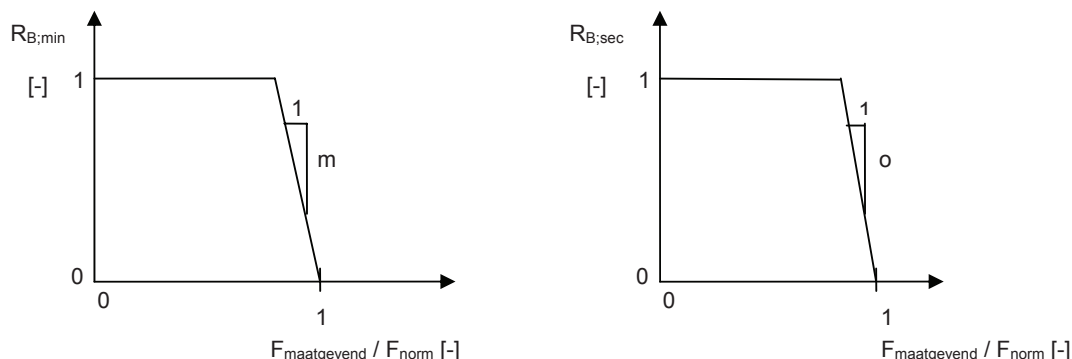
Waarin:

$$\begin{aligned} R_{\text{B;min}} &= \text{Reductiefactor op de minimaal vereiste resterende kruinbreedte;} \\ R_{\text{B;sec}} &= \text{Reductiefactor op de aangetaste kruinbreedte tengevolge van de} \\ &\quad \text{secundaire afschuiving;} \end{aligned}$$

Voor het bepalen van $R_{\text{B;min}}$ en $R_{\text{B;sec}}$ wordt verwezen naar figuur 4.5. Als standaard waarde voor 'm' en 'o' lijkt als eerste inschatting een waarde van $m = o = 10$ reëel.

Wellicht is het differentiëren van deze factor voor verschillende IPO-veiligheidsklassen wenselijk, waarbij voor de lagere klassen een lagere factor voor m en/of o (dus meer reductie) kan worden toegepast.

FIGUUR 4.5 BEPALING REDUCTIEFACTOREN $R_{B,MIN}$ EN $R_{B,SEC}$



Aanbevolen wordt om deze beide reductiemogelijkheden in 'kans termen' nader te onderbouwen en een protocol op te stellen voor het op eenvoudige wijze (al dan niet in combinatie) toepassen van deze reductiemogelijkheden.

STAP 3: BEOORDELING DROGE SITUATIE

Deze beoordeling kent geen aanpassingen.

Benadrukt wordt dat ook in deze stap aanvullend een methode op basis van veilige afmetingen kan worden toegepast, evenals een restbreedte benadering. Voorwaarden daarbij zijn dat:

- de veilige afmetingen specifiek zijn afgeleid voor deze situatie;
- voor de restbreedte goed gezocht wordt naar de maatgevende ligging van de beschouwde cirkels, dit vergt naast een beschouwing van de methode Bishop ook controles op basis van de methode LiftVan en Spencer, in situaties met een oprijfveiligheid lager dan 1,2.

4.5 MACROSTABILITEIT BUITENTALUD

Aan dit beoordelingsspoor is de mogelijkheid toegevoegd om op gedetailleerd niveau een restbreedte – benadering toe te passen. Deze benadering is toepasbaar tijdens zowel de situatie hoogwater als de situatie droogte. Daarbij gelden wel specifieke toepassingsvoorwaarden.

STAP 1: EENVOUDIGE TOETSING

De beoordeling van de macrostabiliteit van het buitentalud kan achterwege blijven indien alle oorzaken zoals genoemd in de Leidraad uitgesloten kunnen worden. Daarbij wordt opgemerkt dat indien er geen speciale aanleiding aanwezig is (laag water, de kans op calamiteiten elders of een zware verkeersbelasting), de stabiliteit van het buitentalud niet hoeft te worden beschouwd. Een berekening van de stabiliteit van het buitentalud tijdens toetspeil zonder verdere bijzonderheden ten aanzien van een val van de boezemwaterstand of verkeersbelasting, is dus niet nodig.

Dit betreft geen aanpassing van de Leidraad, maar wordt nogmaals benadrukt. In paragraaf 3.2.2 zijn de oorzaken die een beschouwing van de stabiliteit van het buitentalud vereisen nader beschreven. Deze beschrijving is meer specifiek dan de beschrijving in de Leidraad, en geeft enkele kwantitatieve criteria voor het kunnen uitsluiten van genoemde oorzaken.

STAP 2: GEDETAILLEERDE TOETSING

Aan deze stap wordt de mogelijkheid betreffende de toepassing van een restbreedte benadering toegevoegd. Voor het beoordelen van de buitenwaartse stabiliteit met behulp van een restbreedte methode is, voor zover bekend, geen enkele methode beschikbaar. In dit Addendum is een restbreedte methode, specifiek voor het buitentalud van boezemkaden, gepresenteerd. Deze is gebaseerd op de eerder in dit rapport gepresenteerde restbreedte methode voor het binnentalud, waarbij een aantal aanpassingen en aanvullingen zijn voorgesteld. Belangrijkste aanpassingen zijn (1) het in rekening brengen van een erosietoeslag op het gereduceerde profiel en (2) de minimaal benodigde kruinbreedte.

Gezien de overeenkomsten tussen de binnen- en de buitenwaartse methode, verdient het aanbeveling om de optimalisatie voorstellen die voor die methode genoemd zijn, nader uit te werken. Daarnaast is er behoefte aan een eerste 'filter' om het al dan niet moeten toepassen van de erosietoeslag efficiënt te kunnen beoordelen.

Op een zoneringsmethode voor boezemkaden is niet nader ingegaan, aangezien zonering een veralgemenisering is van een restbreedte methode. Aanbevolen wordt om eerst de restbreedte methode voor boezemkaden nader uit te werken en een parallel initiatief voor het ontwikkelen van een zoneringsmethode af te wachten, voordat een zoneringsmethode verder wordt uitgewerkt.

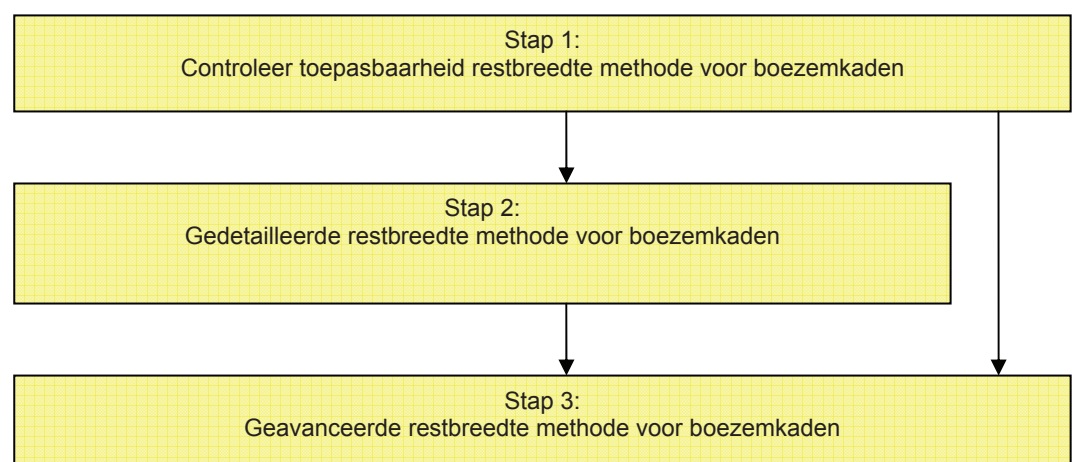
Restbreedte beoordeling

Op het moment in geen restmethode beschikbaar voor de beoordeling van het buitentalud. In het vorige hoofdstuk is wel een (nieuwe) methode voor het binnentalud van boezemkaden beschreven. Voorgesteld wordt om deze methode ook toe te passen voor het buitentalud, waarbij de invloed van erosie van het aangetaste profiel nog toegevoegd dient te worden.

Teneinde over een restbreedte methode te kunnen beschikken die specifiek betrekking heeft op het buitentalud van boezemkaden, wordt voorgesteld om het schema uit figuur 4.3 toe te passen. Dit schema komt overeen met het schema voor de beoordeling van het binnentalud. De inhoud van de stappen verschilt echter wel op enkele punten, welk hierna zullen worden toegelicht.

FIGUUR 4.7

STAPPENPLAN RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN



STAP 1: CONTROLEER TOEPASBAARHEID RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN

Voor de toepassing van de restbreedte voor boezemkaden dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt met voorwaarden die gelden voor de gedetailleerde methode en voor de geavanceerde methode. De voorwaarden voor het toepassen van de restbreedte methode voor boezemkade zijn in principe gelijk aan die volgens de 'restbreedte-bij-overhoogte' methode volgens het TRAS. Hier worden eisen gesteld met betrekking tot opdrijfsituaties, objecten in de waterkering, overslagdebiet en stabiliteitsfactor. Hoe met deze zaken bij het buitentalud van boezemkaden moet worden omgegaan komt hierna aan de orde.

Opdrijven van de deklaag

Opdrijven van de deklaag is voor de beoordeling van het buitentalud niet relevant en vormt derhalve ook geen beperkende voorwaarde voor het toepassen van de methode.

Objecten in de waterkering

Voor objecten in de waterkering dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de waterkering mogen zich dus geen objecten bevinden, die bij een primaire of secundaire afschuiving de waterkerende functie van de waterkering in gevaar brengen. Dit betreft bijv. pijpleidingen die door een ontploffing of lekkage de sterkte van de kering aantasten. De aanwezigheid van kabels met een beperkte diameter (zoals telefoon- of glasvezelkabels) brengt de waterkerende functie niet gevaar.

Overslagdebiet $q \leq 0,1 \text{ l/m/s}$

Deze eis is afgeleid voor een beoordeling van de binnenwaartse stabiliteit van een aangetast profiel. Voor een beoordeling van het buitentalud is het niet nodig om een eis aan dit overslagdebiet te stellen. Derhalve vervalt de eis aan het maximale overslagdebiet voor het toepassen van een restbreedte methode voor het buitentalud.

Stabiliteitsfactor $\gamma \geq 1,0$

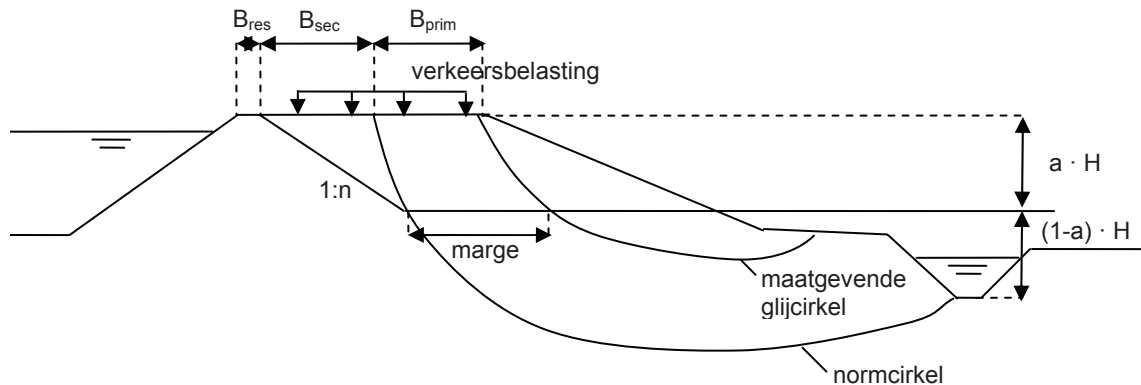
Deze stabiliteitseis komt voor boezemkaden te vervallen. Immers, voor boezemkaden varieert de vereiste stabiliteitsfactor van 0,8 tot 1,0 voor IPO-klassen I tot V. Dit betekent wel dat in de beoordeling alleen de waterkerende functie wordt beschouwd. Andere functies dienen apart beschouwd te worden. Merk op dat voor bijvoorbeeld verkeersfuncties in sommige gevallen een zwaardere eis kan gelden dan voor de waterkerende functie.

Stap 2: gedetailleerde restbreedte methode voor boezemkaden

Voorgesteld wordt om voor de gedetailleerde restbreedte methode voor de buitenwaartse stabiliteit van boezemkaden te baseren op de methode voor binnenwaartse stabiliteit zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Hierbij worden een aantal aanpassingen en aanvullingen voorgesteld.

Voorgesteld wordt om de principeschets, zoals weergegeven in figuur 4.8, voor boezemkaden toe te passen. Hierin is de primaire kruindaling gesteld op $a \cdot H$ in plaats van standaard op $0,5 \cdot H$, en wordt ook de marge tussen maatgevende en normcirkel expliciet benoemd.

FIGUUR 4.8 PRINCIPESCHETS VOORSTEL RESTBREEDTE METHODE VOOR BOEZEMKADEN



In de gedetailleerde beoordeling kunnen voor de parameters in figuur 4.8 de waarden conform de gedetailleerde 'restbreedte-bij-overhoogte' methode uit het TRAS worden toegepast, waarbij alleen voor de resterende kruinbreedte en minimum kruinhoogte $h_{kr,min}$ een afwijkende waarde wordt voorgesteld. Op de 'standaard' waarden voor de gedetailleerde restbreedte methode voor boezemkaden worden de volgende waarden voorgesteld.

Minimum kruinhoogte

Voor de buitenwaartse stabiliteit is, in tegenstelling tot de binnenwaartse stabiliteit, het overslagdebiet geen invloedsparameter voor het bepalen van de minimum kruinhoogte. Macro-instabiliteit van het buitentalud kan verschillende oorzaken hebben, die overwegend gerelateerd zijn aan een snelle daling van de waterstand. Het is daarom onwaarschijnlijk dat direct na het buitenwaarts bezwijken van een kade binnen korte tijd een (zeer) hoge boezemwaterstand optreedt. Voor de minimum kruinhoogte lijkt daarom in eerste instantie een gemiddeld boezempeil, plus lokale toeslagen in verband met scheefstand door opwaaiing en stromingsweerstand en de golftoeslag.

Erosie

In tegenstelling tot de binnenwaartse stabiliteit dient bij de restbreedte methode voor de buitenwaartse stabiliteit ook de invloed van erosie te worden beschouwd. Deze erosie kan in rekening worden gebracht door een extra toeslag B_{er} op het gereduceerde profiel in rekening te brengen. De erosietoeslag hangt sterk af van de (maatgevende) stroming- en/of golfcondities. Indien de stromingssnelheid en golfhoogte lager zijn dan kritische waarden zal de erosie verwaarloosbaar zijn. Achtergronden en formules met betrekking tot erosie worden bijvoorbeeld gegeven in [SBW, 2009].

Schadefactor

Voor de buitenwaartse stabiliteit worden vaak lagere schadefactoren gehanteerd dan voor de binnenwaartse stabiliteit. In de praktijk wordt wel eens een (niet onderbouwde) 10% lagere schadefactor gehanteerd.

Minimaal vereiste kruinbreedte

Voor boezemkaden geldt conform de LTR een minimaal vereiste kruinbreedte van 1,5 m. Deze eis hangt samen met 'normaal beheer'. Hierbij moet bedacht worden dat voor deze 'abnormale omstandigheden' een verdere nuancering van de minimaal vereiste kruinbreedte mogelijk is, hierop kan in een geavanceerde methode nader worden ingegaan.

Benadrukt wordt dat de vereiste kruinbreedte daadwerkelijk aanwezig moet zijn, ofwel het betreffende gedeelte van de kruin moet voldoende stabiel zijn uit oogpunt van macrostabiliteit binnenwaarts. Een gelijktijdige toepassing van een restbreedte benadering voor zowel het binnen- als buitentalud is wel mogelijk, maar vergt speciale aandacht voor het voldoende stabiel zijn van het betreffende gedeelte van de kruin.

Secundaire afschuiving

De toeslag om het effect van een secundaire afschuiving in rekening te brengen dient te worden bepaald door de factor 'n' uit het TRAS toe te passen:

- voor klei waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$: $n = 2$
- voor veen waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$: $n = 4$
- voor goed verdicht zand waarvoor $\varphi > 22$ graden : $n = 4$

Waarbij:

c_u	=	ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
H	=	kerende hoogte	[m]
φ	=	hoe van inwendige wrijving	[°]

Hierbij dient voor een heterogeen pakket uit te worden gegaan van de maatgevende grondsoort. Indien sprake is van zand waarvoor $\varphi > 22$ graden, maar wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking $n = 7$ te worden gehanteerd. Voor alle andere gevallen dient de kruinhoogte na de primaire afschuiving gelijk te worden gesteld aan de bovenzijde van de afschuivende grondmoot na de primaire afschuiving.

In de geavanceerde methode wordt een handreiking gegeven om (beargumenteerd) van deze waarden af te kunnen wijken.

Verkeersbelasting

Voor de te hanteren verkeersbelasting dienen de handreikingen uit dit Addendum te worden gehanteerd. Hierbij dient ook aandacht te worden besteedt aan de vraag of de verkeersfunctie aangetast mag worden door de eerste afschuiving én aan de vraag of in het restprofiel, na het optreden van de eerste afschuiving, nog rekening gehouden dient te worden met een verkeersbelasting.

Glijcirkel

Voor de glijcirkel behorend bij de primaire afschuiving wordt de benadering volgens TRAS gevolgd. In de gedetailleerde beoordeling uitgegaan van de normcirkel. In een geavanceerde beoordeling kan hier beargumenteerd van worden afgeweken.

Verplaatsing afschuivende grondmoot

In geval van afschuiven zal de afschuivende grondmoot (primaire afschuiving) afschuiven totdat het aanvankelijke hoogteverschil H tussen de bovenbegrenzing van het actieve gedeelte (oorspronkelijke kruinhoogte of het niveau waar het glijvlak insnijdt in het binnentalud) en het passieve gedeelte (oorspronkelijke bodem van de boezem) is afgenomen met een factor 'a'.

In de gedetailleerde methode wordt een waarde van $a = 0,5$ gehanteerd, conform de gedetailleerde methode in het TRAS. Deze waarde is in TRAS nader onderbouwd, waarbij wordt opgemerkt dat deze waarde mogelijk (zeer) conservatief is. In de geavanceerde methode kan dan ook (beargumenteerd) van deze waarde worden afgeweken.

4.6 MICROSTABILITEIT

Geen aanpassing, toetsing conform LTR.

4.7 BEKLEDINGEN

Geen aanpassingen, toetsing conform LTR.

4.8 STABILITEIT VOORLAND

Geen aanpassingen, toetsing conform LTR.

4.9 NIET-WATERKERENDE OBJECTEN

Dit Addendum geeft alleen een aanpassing voor de beoordeling van niet-waterkerende objecten waar het bomen betreft. Voor de overige niet-waterkerende objecten blijft de beoordelingswijze conform de LTV2006.

FOTO 4.2

BOMEN IN HET BINNENTALUD VAN DE BOEZEMKADE LANGS DE PIJNACKERSE VAART



Bij de opzet van de beoordeling van bomen op boezemkaden is getracht de toetsing zo praktisch mogelijk in te steken. De beoordeling van de bomen borduurt voort op gegevens die normaliter al beschikbaar zijn uit de toetsing van het grondlichaam zelf.

Voor zowel de eenvoudige als de gedetailleerde beoordeling van de bomen zijn alleen locaties en globale afmetingen vereist. Dit is mogelijk door de berekening van de kans op het omwaaien van een boom achterwege te laten. Deze stap komt pas terug in een eventuele geavanceerde beoordeling.

Het beoordelingschema voor bomen is weergegeven in bijlage 4. Onderstaand is een toelichting bij het schema en de stappen beschreven.

Toelichting op beoordelingsschema

Stap 1: Waterkering voldoende zonder boom voldoende veilig?

Stap 1 bestaat conform de gebruikelijke toetsmethodiek bij NWO's uit de beschouwing of het fysiek aanwezige profiel zonder boom voldoende veilig is.

Stap 2: Waterkering is goedgekeurd op basis van "veilige afmetingen", stabiliteit speelt geen rol, of boom staat buiten het beoordelingsprofiel?

Als een kade op basis van "veilige afmetingen" is goedgekeurd (score voldoende) en de rand van de ontgrondingskuil bevindt zich tenminste 2 m binnendijks van de buitenkruinlijn, dan voldoet de kade ook met boom, omdat deze beoordelingsmethode uitgaat van een restprofiel en dus van een instabiele kade. Of dat met of zonder boom is maakt niet uit. Als stabiliteit geen rol speelt (verheelde kade, of een kade met een talud met een kerende hoogte van max. 0,5 m of een taludhelling flauwer dan 1:8) is de score direct goed.

Beoordeling van een boom kan ook op basis van een beoordelingsprofiel, conform het VTV. Indien de boom buiten het beoordelingsprofiel staat is de score direct "voldoende", bij bomen op de kruin of de bovenzijde van het binnen of buitentalud moet wel worden nagegaan of een door de boom geïnduceerde afschuiving het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt, indien dit naar verwachting het geval is moet vervolgt worden met stap 3.

Stap 3 Boomhoogte

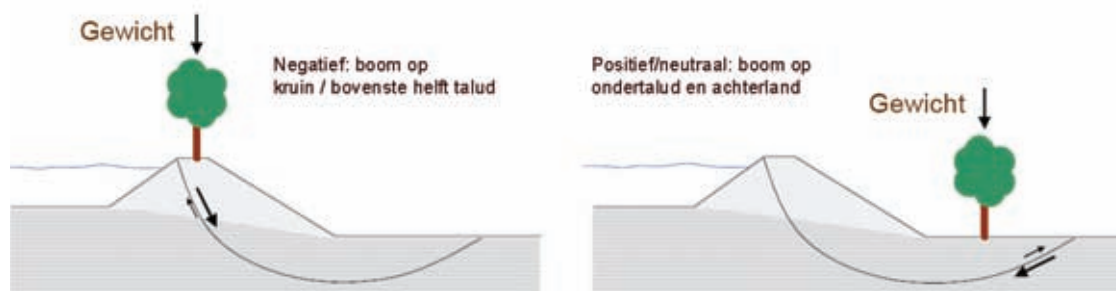
Is de hoogte van de boom kleiner dan 5 meter, dan is de score direct goed. Voor bomen van meer dan 5 meter wordt de beoordeling vervolgd in stap 4.

Stap 4 Bomen > 5 meter

Bij de beoordeling van bomen op boezemkaden worden zeven verschillende zones onderscheiden. Op welke faalmechanismen beoordeeld moet worden is afhankelijk van de zone waarin de boom zich bevindt. Dit is gebaseerd op tabel 10.4.1 uit het VTV en specifiek toegespitst op boezemkaden. Per faalmechanisme is een korte toelichting gegeven op de aanpak. Bij de beoordeling van macrostabiliteit is afgeweken van dit schema, onderstaand is een toelichting gegeven op de gevolgde aanpak.

Er is onderscheid gemaakt in invloed op de macrostabiliteit door belasting van de boom in combinatie met windbelasting en invloed door een ontgrondingskuil. Het gewicht en de windbelasting worden alleen geacht een negatieve invloed te hebben indien de boom op de kruin staat of op de bovenste helft van het binnen of buitentalud. Zie figuur 4.9.

FIGUUR 4.9 (BRON: FUGRO BOMENWACHT, TEKST AANGEPAST)



Daarnaast kan een ontgrondingskuil de macrostabiliteit negatief beïnvloeden. Dit wordt geacht alleen een negatieve invloed te hebben op de onderste helft van het binnen of buitentalud en binnen 5 meter vanaf de teen van de waterkering. Zie figuur 4.10. Op een afstand van meer dan 5 meter neemt de invloed sterk af, alleen een relatief diepe en daarmee ook brede glijvlak kan deze ontgrondingskuil snijden. Op deze afstand is het glijvlak zodanig breed dat de invloed minimaal is, bovendien blijft het gewicht aanwezig. Op de kruin en op de bovenste helft van het talud is de invloed positief/neutral, door een ontgrondingskuil verdwijnt gewicht uit het aandrijvende deel. Aan de buitenzijde kan een ontgrondingskuil daarnaast leiden tot een hogere intree van water, dit heeft ook een negatieve invloed op de stabiliteit.

FIGUUR 4.10

(BRON: FUGRO BOMENWACHT)



BEREKENING BELASTINGEN DOOR BOMEN

MStab versie 9.10 heeft de mogelijkheid om belastingen van bomen te modelleren en om de invloed hiervan op de stabiliteit te toetsen. De windbelasting (F_{wind}) wordt via de kluit (w) als bovenbelasting links en rechts van de boom gemodelleerd.

In het kader “Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen” is een voorbeeldberekening uitgewerkt om de benodigde belastingen te bepalen, daarnaast zijn ter indicatie voor vier verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven.

Voor de berekening van deze waarden zijn voor verschillende afmetingen de benodigde parameters geschat. De berekening bestaat uit:

- berekening stuwdruk per m^2 boomoppervlak;
- berekening oppervlak en gewicht van de boom;
- berekening belastingen per strekkende meter.

Berekening stuwdruk per m^2 boomoppervlak

Voor de berekening van de stuwdruk zijn er feitelijk twee variabelen, de windsnelheid en de luchtweerstandcoëfficiënt. Daarnaast is conform de NEN 6702 een factor toegepast die compenseert voor extra stuwdruk ten gevolge van turbulentie.

De luchtweerstandcoëfficiënt van bomen is afhankelijk van het type boom, de dichtheid van het bladerdek en de windsnelheid. Uit literatuuronderzoek volgt dat bij hoge windsnelheden >25 m/s de luchtweerstandcoëfficiënt varieert van circa 0,10 tot 0,5 (0,10 open bomen zonder bladeren, 0,5 gesloten bladerdek). Bij een windsnelheid van 20 m/s varieert de luchtweerstandcoëfficiënt van circa 0,15 tot 0,6 (0,15 open bomen zonder bladeren, 0,6 gesloten bladerdek). Deze onderzoeken zijn uitgevoerd voor naaldbomen met uitzondering van het onderzoek op bomen zonder bladeren, deze zijn uitgevoerd op populieren. De luchtweerstandcoëfficiënt is afhankelijk van een groot aantal variabelen, naast het boomtype en de dichtheid van het bladerdek ook de afmetingen en de stijfheid.

Het is daarom niet goed mogelijk om de luchtweerstandcoëfficiënt nauwkeurig te variëren naar boomtype of dichtheid van het bladerdek. De beschikbare onderzoeken geven hiervoor niet voldoende informatie.

De windsnelheid heeft de grootste invloed, de maximale windsnelheid is circa 28 m/s. Dit is voor het merendeel van Nederland de maatgevende windsnelheid met een herhalingstijd van 1/100 jaar conform figuur B5.1. In de periode dat bomen vol in blad staan treden deze zeer hoge windsnelheden naar verwachting niet op. Uit “Langjarige gemiddelden en extremen, tijdvak 1971 – 2000” van KNMI volgt dat in de maanden april tot september nooit meer dan windkracht 8 optreedt. Bij windkracht 8 treden maximale windsnelheden op van 21 m/s.

De combinatie van een gesloten bladerdek (0,6) en een windsnelheid van 21 m/s resulteert in een stuwdruk van 0,42 kN/ m². De combinatie van een meer open bladerdek 0,3 (in het voor of najaar) met een hoge windsnelheid van 28 m/s resulteert in een stuwdruk van 0,37 kN/ m². Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een stuwdruk van 0,42 kN/ m².

Literatuur weerstandcoëfficiënt bomen:

- Evaluation of drag coefficients of poplar-tree crowns by a field test method, Akio Koizumi, Jun-ichi Motoyama, Kei Sawata, Yoshihisa Sasaki and Takuro Hirai, Received: 7 September 2009 Accepted: 3 November 2009 Published online: 22 January 2010;
- Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies, G.J. Mayhead, Accepted 17 May 1973. Available online 4 April 2003, Agricultural Meteorology, Volume 12, 1973, Pages 123-130;
- Flow around a Living Tree, Hitoshi Shikawa, Suguru Amano and Kenta Yakushiji, JSME International Journal Series B, Vol. 49 (2006) , No. 4 Special Issue on Jets, Wakes and Separated Flows pp.1064-1069.

Berekening oppervlak en gewicht van de boom

Voor de berekening van het kroonoppervlak is aangenomen dat de totale diameter van de kroon gelijk is aan 0,7 maal de hoogte van de boom. Dit betreft een geschatte waarde.

Voor de berekening van het gewicht van de boom zijn bij verschillende boomhoogtes stamdiameters geschat, de bijbehorende diameter van de stabiliteitskruit volgt uit presentatie Themadag Bomen, HoogWaterBescherminingsProgramma, 17 juni 2009. Zie tabel 4.1. Voor de berekening van het gewicht is aangenomen dat het gewicht van de stam ongeveer gelijk is aan het gewicht van de takken en bladeren. Het totale gewicht van de boom is dus gelijk aan twee maal het gewicht van de stam. De stam is gemodelleerd als een kegel met een basisoppervlak gelijk aan de stamdiameter en een hoogte gelijk aan de boom.

TABEL 4.1

GESCHATTE AFMETINGEN BOMEN

hoogte [m]	Stamdiameter [m]	diameter stabiliteitskruit [m]
<5	0,3	3
5-10	0,6	4
10-15	0,8	5
15-20	1,0	5

Berekening belastingen per strekkende meter

Voor de berekening van de belastingen per strekkende meter is als conservatief uitgangspunt aangenomen dat de belasting zich beperkt tot de stabiliteitskluit. De totale belasting wordt dus gedeeld door de diameter van de stabiliteitskluit voor zowel de windbelasting als het eigengewicht per strekkende meter dijk.

NB. Hoe de afgifte van de windbelasting van de boom naar de ondergrond plaatsvindt, betreft een grote onzekerheid. Vooralsnog is uitgegaan van een vrij conservatieve verdeling van de belasting, dit heeft grote invloed op de uitkomsten van de gedetailleerde toets. Mogelijk zijn er partijen met specifieke ervaring omtrent de belastingafgifte van bomen naar de ondergrond die hierover een gefundeerde uitspraak kunnen doen.

REFERENTIES

- HCO Handreiking constructief ontwerpen, TAW richtlijn, 1994
- LTR Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, STOWA, 2007 (ORK2007-02)
- SBW Buitendijkse zones en afslagbeheer; Erosie en Afslag Voorland, Deltares rapport 1200503-001-GEO-0003, Versie 2 (concept), sept. 2009
- TRAS Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken, ENW publicatie, 2009.
- TRTB Technisch Rapport toetsing van boezemkaden, TAW richtlijn, 1993.
- TRWG Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW, 2001.
- TRZW Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, TAW, 1999.
- VTV Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van V&W, 2007

BIJLAGE 1

ONDERZOEKSPROTOCOL WATERSPANNINGEN

VERKEERSBELASTING

In dit meetprotocol zijn de randvoorwaarden opgenomen voor het uitvoeren van een praktijkproef waarbij de waterspanning in cohesieve lagen wordt gemeten bij een statische verkeersbelasting. Deze bijlage beschrijft:

- in hoofdstuk 1: een korte inventarisatie van de verkeersbelasting
- in hoofdstuk 2: handvatten voor het rekentechnisch bepalen van de maximale wateroverspanning;
- in hoofdstuk 3: aanwijzingen voor het meten en interpreteren van de waterspanningsmetingen.

1 INVENTARISATIE VERKEERSBELASTINGEN

1.1 ACHTERGROND

In de door TAW in 1994 uitgegeven “Handreiking Constructief ontwerpen” is opgenomen dat in een situatie met een dreigende calamiteit rekening gehouden dient te worden met een verkeersbelasting in de vorm van een rij zandauto's op de kruin van de dijk. Deze belasting wordt in dit geval benaderd door een belasting van 400 kN per 12 m¹ over een breedte van 2,5 m, resulterend in een verdeelde belasting van 13 kN/m².

De wettelijk Toegestane Maximum Massa (TMM) van een vrachtwagen bedraagt in Nederland 50 ton (= 500 kN). Dit houdt in dat indien deze vrachtwagen precies een wettelijk maximale belasting heeft van 50 ton, de wagen circa 15,5 m lang dient te zijn voor een verdeelde belasting van 13 kN/m² (500 kN / (2,5 m x 15,5 m) = 13 kN/m²).

In de huidige praktijk blijkt echter dat de vrachtwagens een veel kleinere lengte hebben wat resulteert in een grotere verdeelde belasting. Om een indruk te krijgen welke belastingen mogelijk zijn, is in dit hoofdstuk een beknopte inventarisatie opgenomen.

De bovenstaande beschouwing van de TAW is gebaseerd op de belastingsklassen 30, 45 en 60 (ton) zoals opgenomen in VOSB 1963. Deze verkeersbelastingen zijn geheel overgenomen in de meer recente VOSB 1995 (NEN 6788 Het ontwerpen van stalen bruggen) en VBB 1995 (NEN 6723 Voorschriften beton – Bruggen).

In 2007 is echter de NEN 6706 (TGB 1990 – Verkeersbelastingen op bruggen) ingevoerd. In deze norm zijn gewijzigde inzichten met betrekking tot verkeersbelasting opgenomen en is nu de vigerende norm ten aanzien van verkeersbelastingen. De verkeersklassen zoals genoemd in VOSB 1995 en VBB 1995 zijn hiermee vervallen.

De rekenmethode volgens de NEN 6706 gaat uit van slechts 2 zwaar belaste assen met een grote verdeelde belasting die de onzekerheid van de positie van de assen in rekening brengt. Deze schematisatie is geformuleerd voor het ontwerp van bruggen en lijkt niet realistisch voor de schematisatie van een vrachtwagen op een kade.

Om een meer reële schematisatie van een vrachtwagen te verkrijgen is daarom gezocht naar een beschrijving van standaard vrachtwagens in combinatie met maximale aslasten.

1.2 VRACHTWAGENS

In de NEN 6723 “Voorschriften Beton – Bruggen – Constructieve eisen en rekenmethoden” is een overzicht gegeven van de van standaard typen vrachtwagens (zie ook bijlage I). Deze norm is overigens ingetrokken maar geeft wel een goed overzicht van de huidige standaard typen vrachtwagens.

FIGUUR 1-1

GEDEELTE VAN TABEL 2 NEN6723

Beschrijving standaardvrachtwagens		
Silhouet standaardvrachtwagen	Afstand tussen de assen = {...}.m	Equivalente aslast = {...}.kN
	4,5	70 130
	1,50 2,40 1,30	70 120 120 120

Het maatgevende type standaardvrachtwagen betreft een 4 of 5-assige zandwagen waarbij de afstand tussen de assen klein is. Voor de vrachtwagen uit de 2^e rij geldt:

- Afstand tussen de 2 buitenste assen bedraagt 5,2 m.
- Totale aslast bedraagt 430 kN.

Bij een breedte van 2,5 m bedraagt de verdeelde belasting $430 \text{ kN} / 2,5 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 33 \text{ kN/m}^2$. Dit is beduidend meer dan de eerder aangehaalde belasting van 13 kN/m^2 .

Uit bovenstaande beschouwing blijkt dat de verdeelde belasting van de huidige, maximaal belaste vrachtwagens veelal boven de in de LTV genoemde waarde van 13 kN/m^2 uitkomt.

Bovenstaande aslasten zijn overigens wel groter dan de wettelijk toegestane waarden. Deze bedragen 100 kN voor één as, 115 kN voor een aangedreven as en 190 kN voor een tandemas (afstand tussen 2 assen kleiner dan 1,80 m), zie Regeling voertuigen. Wanneer de wettelijk toegestane waarden worden toegepast in bovenstaand rekenvoorbeeld dan wordt een waarde gevonden van $(115 \text{ kN} + 100 \text{ kN} + 190 \text{ kN}) / 2,5 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 31 \text{ kN/m}^2$.

1.3 ONDERHOUDSVOERTUIGEN

In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de belasting van de onderhoudsvoertuigen die op kaden ingezet kunnen worden. De belastingen zijn afkomstig uit “Handreiking natuurvriendelijke oevers”, STOWA rapportnummer 2009-37.

TABEL 1-1 OVERZICHT BELASTING ONDERHOUDSVOERTUIGEN

Type voertuig	Gewicht [ton]	Oppervlakte onderwagen [m x m]	Verdeelde belasting [kN/m ²]
Minikraan op rupsen	Vanaf 1,5	1,0 x 1,5	10
Midikraan op rupsen	Vanaf 5	2,0 x 2,5	10
Tractor	8	2,5 x 3,0	11
Wielkraan	12	2,5 x 2,5	19
Rupskraan	20	3,0 x 4,5	15
Zeer grote rupskraan	30	4,5 x 6,0	11

Uit de tabel blijkt dat de verdeelde belasting bij de rupsvoertuigen veelal onder de eerder genoemde 13 kN/m² blijft.

2 SPREIDING VAN BELASTING IN DE ONDERGROND

2.1 ALGEMEEN

Voordat de praktijkproef wordt uitgevoerd, dient bepaald te worden wat de maximaal te verwachte wateroverspanning is op het niveau van de aangebrachte waterspanningsmeters. Hierbij wordt in eerste instantie verondersteld dat de door de verkeersbelasting veroorzaakte spanningsverhoging in de ondergrond volledig wordt opgenomen door een toename van de waterspanning (100% wateroverspanning).

2.2 DEFINITIE VERDEELDE BELASTING VOERTUIG

De belasting die het voertuig uitoefent op de ondergrond wordt aangenomen als een verdeelde belasting. De verdeelde belasting dient als volgt bepaald te worden:

$$q_{\text{mob}} = Q_{\text{voertuig}} / (B \cdot L)$$

Hierin is:

q_{mob} = verdeelde belasting van het voertuig [kN/m²]

Q_{voertuig} = belasting van het voertuig [kN]

B = breedte van het voertuig [m]

L = afstand tussen de buitenste 2 assen [m]

De belasting van het voertuig dient voor aanvang van de proef vastgesteld te worden door weging op een geijkte weegbrug. Er dient een gesloten vrachtwagen toegepast te worden omdat anders hemelwater in kan komen waardoor de belasting toeneemt.

2.3 SPREIDING VAN DE BELASTING IN DE ONDERGROND

De veronderstelde verdeelde belasting van het voertuig zal zich verder in de ondergrond verspreiden. Om de spanningstoename ter plaatse van de waterspanningsmeters te bepalen zijn de volgende gegevens benodigd:

- Diepte van de waterspanningsmeter ten opzichte van het maaiveld.
- Grootte van de verdeelde belasting.
- Breedte van de verdeelde belasting.

Om de belastingspreiding in de ondergrond te bepalen zijn diverse methoden beschikbaar. In Tabel 2-1 is een kort overzicht opgenomen van de beschikbare methoden. Tevens is per methode aangegeven welke aanvullende gegevens noodzakelijk zijn om de spanningsverhoging te bepalen.

TABEL 2-1

METHODEN OM BELASTINGSPREIDING TE BEPALEN

Methode	Aanvullende benodigde gegevens	Benodigde software
EEM pakket	Grondopbouw Grondparameters	Plaxis
Spreidingshoek	Grondopbouw	Handmatig m.b.v. spreadsheet, bijv. MS Excel
Analytische methode (b.v. Boussinesq)	n.v.t.	Handmatig m.b.v. spreadsheet / MSettle

Alleen de spreiding in de breedterichting van het voertuig mag in rekening te worden gebracht.

Bij de bepaling van de spreiding van de belasting in de ondergrond wordt aangeraden om onderscheid te maken in grondopbouw. Tevens wordt aangeraden om de stijfheidseigenschappen van de wegconstructie mee te nemen in de bepaling van de spreiding.

Indien de spreiding van de verkeersbelasting wordt bepaald door middel van spreidingshoeken, dan wordt aangeraden om de onderstaande spreidingshoeken met de verticaal aan te houden.

- Zand 26,6° (spreiding 2:1)
- Klei 18,3° (spreiding 3:1)
- Veen 15,9° (spreiding 3,5:1)

3 MEETPROTOCOL WATERSPANNINGEN

3.1 ALGEMEEN

In dit meetprotocol zijn de randvoorwaarden opgenomen voor het uitvoeren van een praktijkproef waarbij de waterspanning in cohesieve lagen wordt gemeten bij een verkeersbelasting.

Uit eerder uitgevoerd onderzoek (STOWA, ORK 2009-16, Onderzoek naar de schematisering van verkeersbelasting op kades) blijkt dat de grootste waterspanningen optreden bij een statische verkeersbelasting op de kade. Het valt niet uit te sluiten dat een verkeersbelasting op een kade langere tijd aanwezig is. Daarom wordt in deze praktijkproef uitgegaan van een statische verkeersbelasting.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN PRAKTIJKPROEF

De locatie voor de praktijkproef dient zorgvuldig vastgesteld te worden. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de volgende aspecten.

- De waterspanningsmeters mogen niet worden aangebracht in gebieden waar recentelijk een ophoging is aangebracht. Het is mogelijk dat het consolidatie proces nog niet voltooid is als gevolg van de recente ophoging en zo de metingen kan beïnvloeden.
- De mogelijkheid om verkeersmaatregelen te treffen om het voertuig voor langere tijd op de kade te laten staan.
- De proeflocatie heeft bij voorkeur een hoog freatisch peil in de kade. De waterspanningsmeters kunnen dan op een relatief geringe diepte onder het maaiveldniveau worden geplaatst.
- De proeflocatie heeft bij voorkeur een wegfundatie met een geringe dikte zodat de verkeersbelasting zo min mogelijk wordt gespreid.
- De proeflocatie heeft bij voorkeur een aaneengesloten cohesief lagenpakket dat aanvangt op een zo gering mogelijke diepte onder het bestaande maaiveldniveau.

Aanbevolen wordt om per waterschap enkele typerende profielen vast te stellen die representatief zijn voor het gehele beheersgebied van het betreffende waterschap. Bij het vaststellen van deze representatieve profielen kan een onderscheid worden gemaakt op basis van relevante kenmerken zoals:

- Voorgeschiedenis met betrekking tot verkeersbelasting.
- Aanwezigheid van een wegconstructie.
- Dikte van de eventueel aanwezige wegconstructie.
- Dikte van de holocene lagen.
- Samenstelling van de holocene lagen (voornamelijk klei of veen).
- Gemiddelde diepte van de grondwaterstand onder de wegconstructie.

3.3 UIT TE VOEREN GRONDONDERZOEK

- Uitvoering van 2 sonderingen aan weerszijde van de meetlocatie in de kruin van de betreffende kade. Indien op de sondeerlocatie wordt voorgeboord dan dient het opgeboorde materiaal geclassificeerd en gepresenteerd te worden in een boorstaat.
- Minimaal één sondering dient vooraf beschikbaar te zijn binnen een straal van 2 meter van de te plaatsen waterspanningsmeter, tenzij aannemelijk kan worden gemaakt middels meerdere sonderingen op de proeflocatie dat de bodemopbouw in hoge mate uniform is.
- Diepte van de sondering tot minimaal enkele meters in het pleistocene zand.
- De sonderingen dienen uitgevoerd te worden conform NEN 5140, klasse 2 met meting van conusweerstand en wrijving. Tevens dient bij 1 sondering ook de waterspanning gemeten te worden.
- Uitvoering van minimaal 2 boringen in de kruin van de kade (aan beide zijden van de kruin 1 boring) met:
 - 1 classificatie van de grond conform NEN 5104 en bepaling van de grondwaterstand.
 - 2 diepte van de boring tot minimaal 5 meter onder het maaiveldniveau.
 - 3 per boring dienen per grondlaag enkele monsters genomen te worden.
 - 4 op de monsters dienen minimaal de volgende analyses uitgevoerd te worden; bepaling nat en droog volumegewicht, watergehalte, poriënvolume en de verzadigingsgraad.
- Inmeting van de sonderingen en boringen in het Rijksdriehoekstelsel en waterpassen ten opzichte van NAP.

Aangeraden wordt om bij de locatiekeuze van dit grondonderzoek aan te sluiten op het grondonderzoek dat is/wordt uitgevoerd voor de toetsing van de betreffende kade.

3.4 AAN TE BRENGEN VERKEERSBELASTING

Zoals in paragraaf 3.1 reeds is aangegeven, wordt in de praktijkproef uitgegaan van een statische verkeersbelasting op de kade. Na de plaatsing van het voertuig dient deze belasting daarom minimaal 24 uur aanwezig te zijn.

Om een zo groot mogelijke waterspanning te kunnen meten, moet een zo groot mogelijke belasting worden aangebracht. Hierbij moet worden uitgegaan van de door de beheerder maximaal toegestane aslast voor de betreffende kade. De verdeelde belasting die het voertuig veroorzaakt kan vervolgens worden berekend conform de aanwijzingen opgenomen in paragraaf 2.2.

3.5 PLAATSIING WATERSPANNINGSMETERS

Voor de proef dienen minimaal 4 waterspanningsmeters geplaatst te worden. Hierbij worden 3 waterspanningsmeters geplaatst onder het voertuig om de verhoging van de waterspanning in de ondergrond te meten. De vierde waterspanningsmeter dient als referentie.

Bij de plaatsing van de waterspanningsmeters dient met de volgende aspecten rekening gehouden te worden.

- De waterspanningsmeters dienen ingemeten te worden in het Rijksdriehoekstelsel en gewaterpast ten opzichte van NAP.
- De waterspanningsmeters dienen zo hoog mogelijk in de cohesieve laag geplaatst te worden. Op deze kleine diepte is de belastingspreiding gering zodat de hoogste waterspanningen gemeten kunnen worden.
- De hoogste waterspanningsmeter dient minimaal 1 meter onder de heersende freatische grondwaterstand aangebracht te worden.

In onderstaande tabel zijn de plaatsingsdiepten van de vier waterspanningsmeters opgenomen.

TABEL 3-1

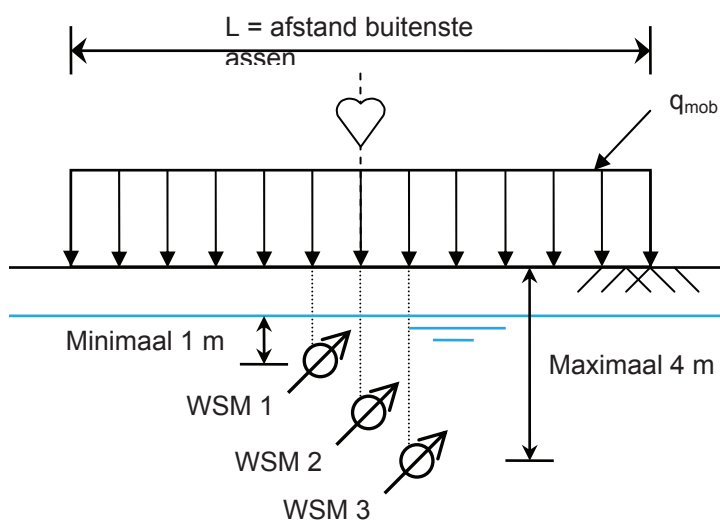
PLAATSIINGSDIEPTEN WATERSPANNINGSMETERS

Nummer WSM	Plaatsingsdiepte
1	Minimaal 1 meter onder heersende freatische grondwaterstand.
2	Gemiddelde diepte van WSM 1 en WSM 3.
3	Maximaal 2 meter onder het niveau van WSM 1 waarbij de diepte niet groter mag zijn dan van 4 m onder het bestaande maaiveldniveau.
4	Gelijk aan WSM 1.

De 3 waterspanningsmeters onder het voertuig dienen geplaatst te worden in het midden onder het voertuig op drie verschillende diepten. De horizontale tussenafstand dient circa 0,5 m te bedragen. Op deze manier kan het verloop van de waterspanning over de diepte worden bepaald. Een schematische weergave van de te plaatsen waterspanningsmeters is weergegeven in Figuur 3-1.

FIGUUR 3.1

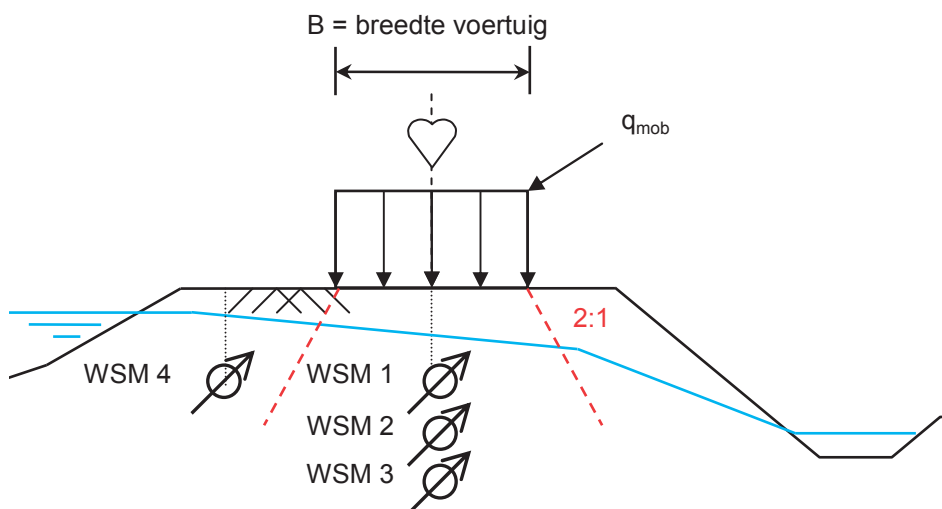
SCHEMATISCHE LENGTEDOORSNEDE KADE



Waterspanningsmeter 4 dient op voldoende grote afstand van het voertuig te worden geplaatst zodat het voertuig de meting niet beïnvloed. Dit wordt bereikt door waterspanningsmeter 4 buiten de spreidingszone (spreiding van 2:1) van het voertuig te plaatsen. In onderstaand Figuur 3-2 is dit schematisch weergegeven.

FIGUUR 3.2

SCHEMATISCHE DWARSDOORSNEDE KADE



3.6 SPECIFICATIE WATERSPANNINGSMETER

De waterspanningsmeters dienen te voldoen aan onderstaande specificaties:

- Meetfrequentie minimaal 1 meting per seconde.
- Druk bereik minimaal 50 kPa.
- Meetnauwkeurigheid < 0,1% Full Scale.
- Alle meetdata dient opgeslagen te worden op een datalogger.

3.7 METING VAN DE WATERSPANNINGEN

- De waterspanningsmeters dienen minimaal 2 weken voor aanvang van de praktijkproef aangebracht te worden. Op deze manier kan mogelijk opgetreden wateroverspanning als gevolg van het aanbrengen van de waterspanningsmeters afvloeien. Gedurende de rustperiode van 2 weken dienen de waterspanningen wel gemeten te worden. Indien blijkt dat de invloed van het aanbrengen van de meters niet is weggevloeid dan dient nog langer gewacht te worden met de aanvang van de proef. Bovendien is op deze manier een nulmeting beschikbaar.
- Na de plaatsing van het voertuig dient deze minimaal 24 uur aanwezig te zijn. Na het verwijderen van het voertuig zullen de gemeten waterspanningen afnemen. De metingen dienen te worden voortgezet totdat de waterspanningen weer toenemen na deze aanvankelijke afname.

3.8 INTERPRETATIE VAN MEETGEGEVENS

Voor de bepaling van de maximaal in rekening te brengen wateroverspanning is de tijdens de proef gemeten maximale waterspanning $U_{\max}$ ter plaatse van de waterspanningsmeters WSM 1 t/m WSM 3 maatgevend. Het in rekening te brengen percentage wateroverspanning wordt als volgt bepaald:

$$WOSP = (U_{\max} - U_{t=0}) / U_{100\%} \times 100\% \quad \text{tevens geldt:} \quad WOSP \geq 70\%$$

Hierin is:

$WOSP$ = (wateroverspanning) = het in rekening te brengen percentage wateroverspanning [%]

$U_{100\%}$ = berekende maximale spanningsverhoging ter plaatse van de maatgevende waterspanningsmeter (100% wateroverspanning) [kN/m²]

$U_{\max}$ = maximaal gemeten waterspanning [kN/m²]

$U_{t=0}$ = gemeten waterspanning bij begin van de meting (t=0 uur) [kN/m²]

Voor het maximaal in rekening te brengen percentage wateroverspanning (WOSP) geldt een minimale waarde van 70%. Een lager percentage mag alleen in rekening worden gebracht indien naast de statische waterspanningsmetingen eveneens dynamische waterspanningsmetingen worden uitgevoerd die eveneens een lager percentage aangeven. De in dit protocol opgenomen specificaties zijn echter alleen van toepassing op een statische verkeersbelasting.

4 LITERATUURLIJST

STOWA, ORK 2007-02, Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen

STOWA, ORK 2009-16, Onderzoek naar de schematisering van verkeersbelasting op kades

STOWA, 2009-37, Handreiking natuurvriendelijke oevers

NEN 5104, Geotechniek. Classificatie van onverharde grondmonsters, september 1989

NEN 5140, Geotechniek. Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand van grond. Elektrische sondeermethode., september 1996

NEN6706, TGB 1990 Verkeersbelasting op bruggen, april 2007

NEN6723, Voorschriften Beton – Bruggen (VBB 1995) – Constructieve eisen en rekenmethoden, juni 1995

NEN6723, Voorschriften Beton – Bruggen – Constructieve eisen en rekenmethoden, september 2009

NEN 6788, Het ontwerpen van stalen bruggen, Basiseisen en eenvoudige rekenregels (VOSB 1995), december 1995

Technische adviescommissie voor de waterkeringen, Handreiking Constructief ontwerpen, bijlagen 2-5, april 1994

Regeling tot uitvoering de hoofdstukken III en VI van de Wegenverkeerswet 1994 (Regeling voertuigen), Staatscourant, Nr. 81, 29 april 2009

BIJLAGE A BIJ BIJLAGE 1

Tabel 2 — Verzameling van 'typen standaardvrachtwagens' 2)

Beschrijving standaardvrachtwagens			Verdeling diverse 'typen standaardvrachtwagens'			Wiel-type
Silhouet standaardvrachtwagen	Afstand tussen de assen = {...}.m	Equivalente aslast = {...}.kN	Percentage standaard-vrachtwagens lange afstand	Percentage standaard-vrachtwagens middellange afstand	Percentage standaard-vrachtwagens lokaal verkeer	
	4,5	70	20,0	50,0	80,0	A
		130				B
	1,50	70	7,0	4,0	4,0	A
	2,40	120				C
	1,30	120				B
		120				B
	3,20	70	37,0	20,0	5,0	A
	5,20	130				B
	1,30	100				C
	1,30	100				C
		90				C
	3,40	70	20,0	12,0	4,0	A
	6,00	140				B
	1,80	90				C
		90				C
	4,80	70	10,0	10,0	5,0	A
	3,60	150				B
	4,40	80				C
	1,30	80				C
		70				C
	3,20	80	4,5	3,0	1,5	A
	1,30	160				B
	4,40	100				C
	1,80	100				C
	1,80	100				C
		100				C

Zie vervolg

2) Deze tabel is in aangepaste en uitgebreidere vorm overgenomen uit NEN 6706:2007.

Tabel 2 (einde)

Beschrijving standaardvrachtwagens			Verdeling diverse 'typen standaardvrachtwagens'			
Silhouet standaardvrachtwagen	Afstand tussen de assen = {...}.m	Equivalentente aslast = {...}.kN	Percentage standaardvrachtwagens lange afstand	Percentage standaardvrachtwagens middellange afstand	Percentage standaardvrachtwagens lokaal verkeer	Wiel-type
	3,20	70	1,5	1,0	0,5	A
	1,40	180				B
	4,40	170				B
	1,30	80				C
	1,30	80				C
	1,30	80				C
		90				C
OPMERKING Bij de keuze van een type standaardvrachtwagen wordt over het algemeen het volgende aangenomen: — 'lange afstand' betekent enkele honderden kilometers en behoort te zijn gecombineerd met verkeerscategorie 1 uit tabel 5 van NEN 6706; — 'middellange afstand' betekent 50 km tot 100 km en behoort te zijn gecombineerd met de verkeerscategorieën 2 en 3 uit tabel 5 van NEN 6706; — 'lokaal verkeer' betekent minder dan 50 km en behoort te zijn gecombineerd met verkeerscategorie 3 uit tabel 5 van NEN 6706. In werkelijkheid kunnen verschillende verkeerstypes naast elkaar voorkomen.						

BIJLAGE 2

VOORBEELDEN METHODE VAN VEILIGE AFMETINGEN

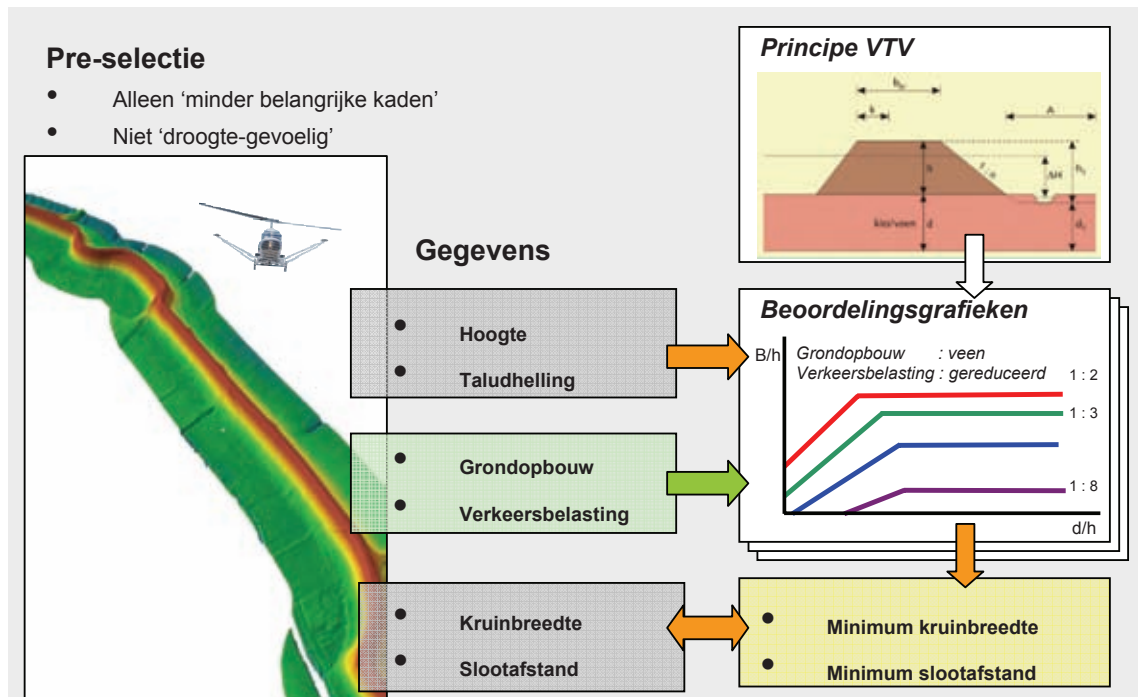
BIJLAGE 2.1 GEOMETRISCHE TOETSING BOEZEMKADES

Voor een waterschap is een aangepaste en aangescherpte versie van de geometrische toets zoals beschreven in de Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV 2006) ontwikkeld. De methode is bedoeld voor een eerste globale beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit voor de lagere kadeklassen. De gedachte is dat gezien het beperkte risico de toetsing in eerste instantie kan worden beperkt tot het beoordelen van de geometrie (bijvoorbeeld AHN2 data), een globale classificatie van de bodemgesteldheid en kade-opbouw, al dan niet met meenemen van inspectieresultaten tijdens hoogwaters.

De geometrische toets uit de VTV kon in dit geval niet direct worden toegepast omdat de kern van de kades in veel gevallen niet eenduidig als 'klei' of 'zand' kunnen worden geclassificeerd en derhalve buiten het toepassingsgebied van de VTV vallen. Daarnaast is de methode in de VTV gebaseerd op het accepteren van schade onder maatgevende omstandigheden, waardoor de toegankelijkheid onder deze omstandigheden niet gegarandeerd kan worden. Dit was in dit geval onacceptabel, derhalve moest het uitgangspunt 'eerste afschuiving toelaatbaar' verlaten worden.

Concreet betekent een gebiedsspecifieke aanscherping van de geometrische toets dat de grafieken van f_a en f_k afgeleid moeten worden voor gebiedsspecifieke type kaden. Voor het afleiden van de grafieken van de factoren f_k en f_a is gekozen om op basis van stabiliteitsberekeningen de benodigde kruinbreedte en breedte van het achterland (slootafstand) te bepalen. De stabiliteitssommen zijn uitgevoerd conform LTR 2007. Figuur 1 geeft het overzicht van de benodigde informatie en hoe deze in de toetsing worden gebruikt.

FIGUUR 1 **OVERZICHT TOETSgegevens EN TOETSMETHODE**



Het resultaat van de toetsing is per profiel (toetslocatie) een oordeel over de kruinbreedte en het vlakke achterland. De benodigde invoergegevens (AHN2, dijklijnen etc.) voor de geometrische toets worden uit GIS gehaald en getoetst aan de beoordelingsgrafieken voor kruinbreedte en de breedte voor het vlakke achterland. De toetsresultaten worden in GIS gepresenteerd, waardoor een visueel inzichtelijke controle mogelijk is.

Criterium	Aspect	Geometrische toetsing
Betrouwbaarheid	Kwaliteit (correct, geverifieerd, gevalideerd, state of the art)	- Grotendeels gebaseerd op algemeen geaccepteerde en gehanteerde leidraden/voorschriften (TRTB, LTR, VTV) - Verschillen tussen specifieke kenmerken van de boezemkade en regionale/primaire keringen zijn benoemd en in rekening gebracht - Invloed gebiedseigen kenmerken gevalideerd door uitvoeren van stabiliteitsommen conform LTR 2007 - Beoordelingsgrafieken bepaald met 'nette' sommen conform LTR 2007
	Robuustheid	- Robuustheid te introduceren door "marge" op benodigde afmetingen; - Methode accepteert geen eerste afschuiving; - Het veilige profiel is afgeleid op basis van de meest ongunstige situatie van de klasse/groep waarvoor deze van toepassing is verklaard.
	Duidelijkheid	- Achtergrondrapport 1207-0118-001; inclusief afleiding ontwerpgrafieken - Korte beschrijving met voorbeeld beschikbaar
Toepassingsgebied	Kadetype	- Veen, klei en veen/klei kaden; - Alleen IPO klasse I en II - Beperkte kerende hoogte - Flauwe taluds - Alleen voor 'groene kades'.
	Scenario's	- Diverse verkeersbelastingen; - Niet geschikt voor situatie droogte; - Niet geschikt voor oprijfsituaties;
Inspanningsbehoefte	Informatie behoefte	- Minimaal geometrie en waterstanden benodigd; - FLI-MAP en/of AHN2-gegevens wenselijk; - Van grof naar fijn benadering mogelijk; meer grondonderzoek leidt tot scherper toetsoordeel.
	Complexiteit toetsing	- Eenvoudige GIS en spreadsheet databewerkingen; - Efficiënte dataverwerking (indien FLI-MAP/ AHN2-gegevens beschikbaar); - Automatisering mogelijk.

BIJLAGE 2: VOORBEELDEN METHODE VAN VEILIGE AFMETINGEN

BIJLAGE 2.2 TOETSING OP BASIS VAN BEOORDELINGSPROFIELEN

Bij deze veiligheidstoets is de stabiliteit van het binnentalud getoetst aan de hand van een beoordelingsprofiel. Dit beoordelingsprofiel betreft de vereiste geometrie van de kade waarbij de stabiliteit van het binnentalud juist voldoet aan de norm. Deze aanpak vormt een bijzondere uitwerking van de eenvoudige toetsing (stap 2) volgens de Leidraad.

In het kader van deze beoordeling is voor alle kaden (per 10 meter, met behulp van GIS):

- 1 de geometrie van de kade bepaald;
- 2 het vereiste beoordelingsprofiel geselecteerd;
- 3 de geometrie van de kade en het beoordelingsprofiel onderling vergeleken;
- 4 geconcludeerd of het kadeprofiel voldoende veilig is (dit is het geval indien het beoordelingsprofiel geheel past binnen het aanwezige profiel).

Het beoordelingsprofiel betreft de vereiste geometrie van de kade waarbij de stabiliteit van het binnentalud van de kade juist voldoet aan de norm. Dit profiel is gespecificeerd ten aanzien van:

- de kruinhoogte;
- de helling van het binnentalud;
- de breedte van de kruin.

De kruinhoogte is gebaseerd op de berekening van de hydraulische randvoorwaarden, en betreft de kruinhoogte zoals deze tevens is gehanteerd in het kader van de hoogtetoets.

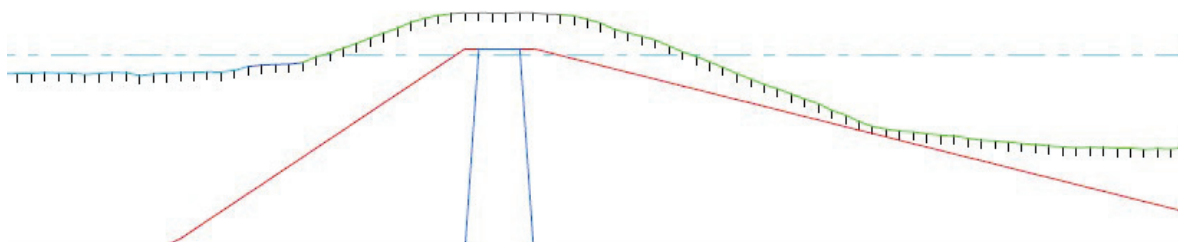
De vereiste helling van het binnentalud is afgeleid van de resultaten van ca. 5000 stabiliteitsberekeningen, voor alle voorkomende combinaties van bodemopbouw, hydraulische randvoorwaarde (speciaal: Toetspeil) en de kerende hoogte. Aan de hand van deze resultaten is per combinatie van genoemde kenmerken en per veiligheidsklasse vastgesteld bij welke helling van het binnentalud de stabiliteit juist voldoet aan de vereiste veiligheid.

De vereiste kruinbreedte is gebaseerd op de eis dat eventuele glijvlakken van lokaal steile en instabiele gedeelten van het binnentalud niet mogen insnijden in de kernzone van de kade. Aldus is een vereiste kruinbreedte vastgesteld, voor elke combinatie van kerende hoogte, vereiste taludhelling en veiligheidsklasse.

1.1 PRINCIPE

De stabiliteit van de waterkering is getoetst op basis van een beoordelingsprofiel, dat specifiek is vastgesteld voor een bepaald kadevak op basis van de (lokaal) aanwezige kenmerken van de kade. Het beoordelingsprofiel geeft aan welke vorm een waterkering op de betreffende locatie tenminste moet hebben om zo stabiel te zijn dat net aan de stabiliteitseis wordt voldaan. Deze aanpak is een bijzondere uitwerking van de eenvoudige toetsing (stap 2.1) volgens de Leidraad (STOWA, 2007).

FIGUUR 1 ILLUSTRATIE VAN DE TOETSING MET BEOORDELINGSPROFIELEN



Groen: DTM (aanwezig dwarsprofiel)

Blauw: Minimaal vereiste blokprofiel van 1,5 meter breedte voor de hoogtetoets

Rood: Vereist beoordelingsprofiel voor de stabiliteitstoets

In de hoogtetoets wordt vastgesteld of het minimaal vereiste blokprofiel past binnen het aanwezige dwarsprofiel. Indien dat zo is, heeft de kade op de peildatum over de vereiste breedte van 1,5 meter voldoende kruinhoogte.

Indien het beoordelingsprofiel niet past binnen het aanwezige dwarsprofiel van de waterkering, dan duidt dat op een potentieel stabiliteitsprobleem. De afmetingen van de waterkering zijn dan niet voldoende ruim om de kade met deze aanpak als stabiel te kunnen beoordelen.

Het beoordelingsprofiel beschouwt alleen de stabiliteit van het binnentalud. De overige faalmechanismen binnen het toetsspoor Stabiliteit (de stabiliteit van het buitentalud, piping, de erosiebestendigheid van de bekleding en microstabiliteit) zijn niet beschouwd.

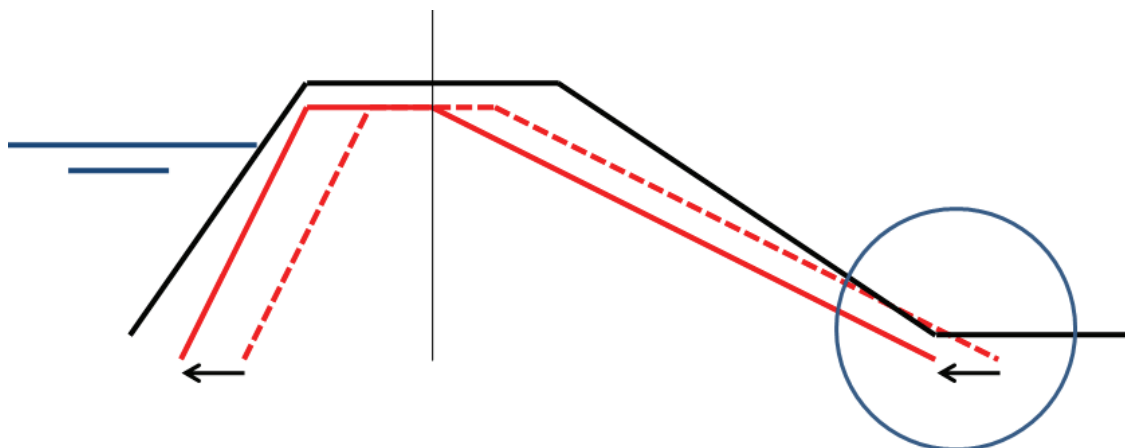
Bij de afleiding van de vereiste geometrie van het binnentalud is alleen aandacht besteed aan een minimaal vereiste taludhelling; (afmetingen van) stabiliteitsbermen zijn niet beschouwd.

1.2 TOETSING IN HET GIS

De toetsing is uitgevoerd in het Geografisch Informatie Systeem. In de lengterichting van de waterkering is om de 10 meter geëvalueerd of het beoordelingsprofiel past binnen het aanwezige dwarsprofiel (zie ook Figuur 2).

In de toetsing is niet als randvoorwaarde gesteld dat de aslijn van het beoordelingsprofiel en van de waterkering dezelfde moeten zijn. Het beoordelingsprofiel is in dwarsrichting van de waterkering verschoven totdat deze het beste past, zodat een waterkering niet ten onrechte wordt afgekeurd. Figuur 2 geeft hiervan een illustratie.

FIGUUR 2 ILLUSTRATIE VAN HET ZOEKEN NAAR DE BESTE LIGGING VAN HET BEOORDELINGSPROFIEL



De aslijn van het gestippelde beoordelingsprofiel is dezelfde als van de waterkering. Op basis van deze positie van het beoordelingsprofiel zou de waterkering worden afgekeurd, omdat het binnentalud van het beoordelingsprofiel het aanwezige dwarsprofiel snijdt. Door het beoordelingsprofiel te verschuiven (solide lijn) wordt duidelijk dat het aanwezige dwarsprofiel wel ruim genoeg is om het beoordelingsprofiel te bevatten. De waterkering kan worden goedgekeurd.

In het toetsproces is bijgehouden in welke mate het beoordelingsprofiel en het actuele profiel van elkaar verschillen. Dit geldt zowel de gunstige situatie (beoordelingsprofiel past) als de ongunstige situatie (beoordelingsprofiel past niet). Met behulp van deze indicatie van (on-)voldoende mate waarin de veiligheid van de kade aan de norm voldoet, kan ten behoeve van een werkplan voor de regionale keringen een rangschikking van de kaden uitgevoerd.

1.3 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Op voorhand is niet bekend welke vorm het beoordelingsprofiel op een bepaalde locatie in het beheersgebied moet hebben. De geometrie van het beoordelingsprofiel moet voor elke locatie worden afgeleid. Om tot een verzameling van beoordelingsprofielen te komen die gebiedsdekkend is, zijn de volgende stappen doorlopen:

1)	Samenstellen theoretische profielen (potentiële beoordelingsprofielen)	Op basis van lokale kenmerken van de waterkering en ondergrond zijn theoretische dwarsprofielen samengesteld. Er is gevarieerd met de grondopbouw van de waterkering (uit welke grondsoorten is de bodem opgebouwd), en met de geometrie van de waterkering (gevarieerd zijn: - de helling van het binnentalud: van 1:3 tot 1:8 - de kerende hoogte: van minder dan 2 tot max. 6 m. Dit heeft geleid tot een verzameling van ca 5000 theoretische profielen, die als beoordelingsprofiel zouden kunnen dienen.
2)	Stabiliteitsberekening theoretische profielen	Van de theoretische profielen is de stabiliteit bepaald. Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd met het programma MStab.
3)	Selectie van de beoordelingsprofielen	Op basis van de resultaten van de uitgevoerde berekeningen is bepaald welke profielen net aan de stabiliteitseisen voldoen. Deze profielen worden in de toetsing als beoordelingsprofielen gebruikt. Bijvoorbeeld: <i>Eis: stabiliteitsfactor = 1,00</i> <i>Profiel A: helling binnentalud 1:4 → stabiliteitsfactor = 0,98</i> <i>Profiel B: helling binnentalud 1:5 → stabiliteitsfactor = 1,05</i> <i>Profiel C: helling binnentalud 1:6 → stabiliteitsfactor = 1,10</i> <i>Profiel B wordt het beoordelingsprofiel ofwel de vereiste helling van het binnentalud bedraagt 1:5.</i>
4)	Bepalen extra toeslag kruinbreedte	Voor de beoordelingsprofielen is bepaald of de kruinbreedte meer zou moeten zijn dan de gehanteerde standaardbreedte van 2,5 meter. Het is denkbaar dat een waterkering steile binnentaluds heeft die instabiel zijn. Het glijvlak mag niet insnijden in dat deel van het grondlichaam dat tenminste aanwezig moet zijn om de waterkerende functie te kunnen vervullen. Door een grotere kruinbreedte te eisen wordt gewaarborgd dat bij een eventuele afschuiving voldoende waterkerend grond aanwezig is.

1.4 EINDRESULTAAT

Het eindresultaat betreft een gebiedsdekkende verzameling beoordelingsprofielen waarmee de stabiliteit van de waterkeringen kan worden getoetst. Voor elke veiligheidsklasse is per bodemkundige eenheid uit het ondergrondmodel beschreven wat de geometrie van het beoordelingsprofiel moet zijn. Deze beschrijving is beperkt tot:

- De benodigde kruinbreedte
- De benodigde helling van het binnentalud.

Voor het buitentalud wordt een standaardhelling gehanteerd, en is de kruinhoogte dezelfde als de hoogte die in het kader van de hoogtetoets is bepaald.

BIJLAGE 3

VOORBEELDEN TOEPASSING RESTBREEDTE BENADERING

1. INLEIDING

Deze bijlage beschrijft een voorbeeld van een uitwerking van de restbreedtemethode. Beschreven worden drie verschillende situaties, waarvoor steeds geldt dat de maatgevende glijcirkel niet voldoet aan de eis. De voorbeelden betreffen:

- 1: een kade met een ruim profiel
- 2: een kade met een extreem breed profiel
- 3: een normale kade

Hieronder wordt een korte toelichting op de gehanteerde methode gegeven, gevolgd door een samenvatting van de resultaten.

2. TOELICHTING OP METHODE RESTBREEDTEBEREKENING

- A) Met behulp van het programma MStab is in eerste instantie een stabiliteitsberekening uitgevoerd met betrekking tot de betreffende waterkering. Freatische lijnen, de samenstelling van de ondergrond en de verkeersbelasting zijn meegenomen in de berekening. In aanvulling hierop zijn aan de MStab berekening de grenzen opgegeven ten behoeve van een zogenaamde 'safety overview' waarin de volgende zones gemarkeerd zijn:
- a. een zone omsloten door de maatgevende cirkel (rood)
 - b. een zone waarin alle glijcirkels een hogere veiligheidsfactor hebben dan de normcirkel, dus waar geldt dat $F > F_{\text{norm}}$ (groen)
 - c. de tussenliggende zone, waarin de glijcirkels een veiligheidsfactor hebben die tussen de waarden van de maatgevende en de normcirkel ligt, dus waar geldt dat $F_{\text{maatg}} < F < F_{\text{norm}}$ (oranje)

N.B. De veiligheidsfactor voor de normcirkel wordt vooraf gekozen, terwijl die voor de maatgevende cirkel afgeleid wordt uit MStab. Beiden worden handmatig in MStab ingevoerd.

- B) Voor de toepassing van de berekening van de restbreedte zijn de volgende stappen doorlopen:
- a. De vaststelling van de kerende hoogte H (gemeten van kruin tot slootbodem)
 - b. De bepaling van het punt waar de primaire afschuiving in de meest ongunstige situatie tot stilstand komt (punt P)
 - c. De berekening van de lijn van de secundaire afschuiving en het punt waarop deze lijn de minimaal vereiste kruinhoogte snijdt (punt S). In principe vormt dit punt na afschuiving de binnengrens van de kruin.
 - d. De bepaling van de minimale buitengrens van de kruin, die nodig is om de waterkering te laten voldoen aan de eis (punt R). Tussen punt S en punt R zit een vooraf bepaalde afstand: de minimaal vereiste resterende kruinbreedte (in dit geval 1,5 m). Wanneer punt R binnen het dijkprofiel valt, voldoet de dijk. Valt punt R buiten het dijkprofiel, dan voldoet de dijk niet.

3. SAMENVATTING TOETSRESULTATEN

In bijgevoegde figuren zijn voor de 3 voorbeeldsituaties de resultaten van de restbreedte benadering gepresenteerd.

Op elk blad worden de volgende door de gebruiker in te voeren parameters vermeld:

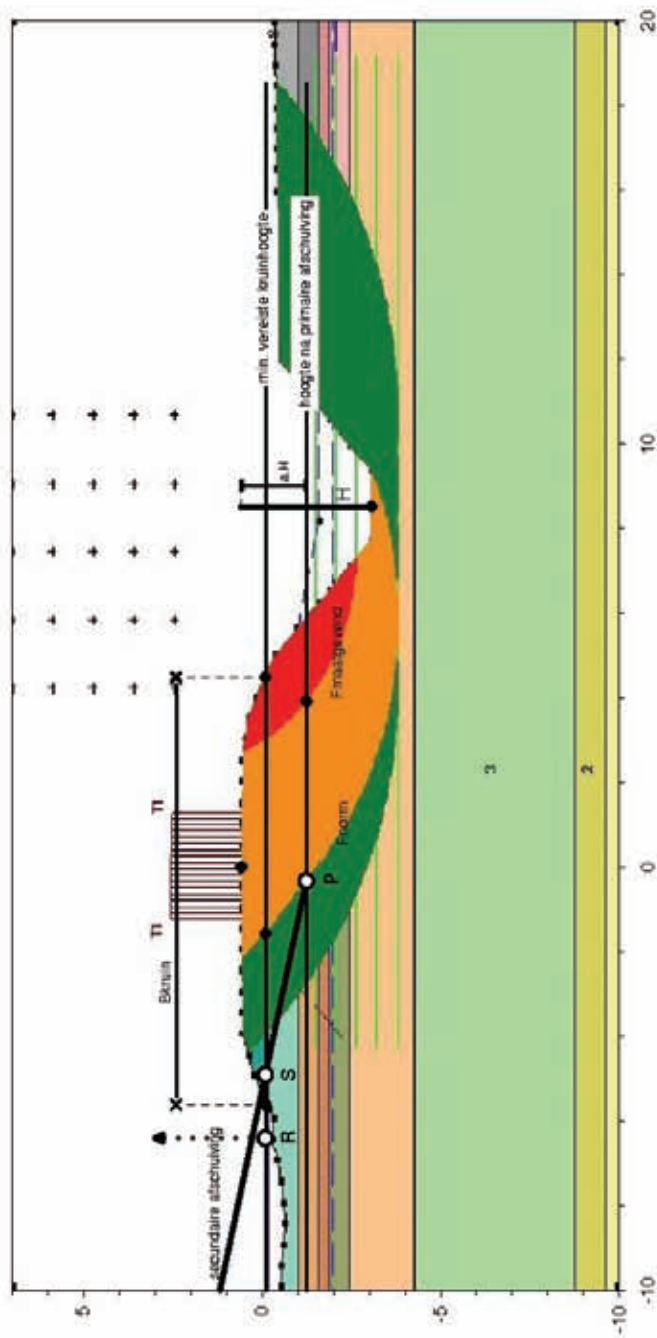
- Minimaal vereiste resterende kruinbreedte $B_{\min}$
- Minimaal vereiste kruinhoogte $H_{kr,\min}$
- Kruinverlagingsfactor primaire afschuiving a
- Taludhelling secundaire afschuiving $1:n$
- De veiligheidsfactor behorend bij de normcirkel F_{norm}
- De veiligheidsfactor gevonden bij de maatgevende cirkel F_{maatg}
- De erosiemarge, gebaseerd op de verwachte erosie na falen B_{er}
- De eindconclusie m.b.t. 'voldoende restbreedte' ja/nee

Daarnaast staan een aantal reductiefactoren vermeld. Een methode om deze reductiefactoren af te leiden is nog niet beschikbaar. De reductiefactoren staan alle op de defaultwaarde 1,00 (geen reductie toegepast).

In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat. Ook wordt aangegeven in hoeverre een aanvullende geavanceerde methode zinvol wordt geacht.

Voorbeeld nr.	Voldoet?	Opmerkingen	Toepassing geavanceerde methode zinvol?
1	nee	Punt R valt ca. 80 cm buiten het dijkprofiel bij de standaardwaarde van 0,5 voor factor a .	Ja: bij toepassing van een reductie op factor a van 0,5 naar 0,4 voldoet de waterkering al.
2	ja	Voldoet zeer ruim. Punt R valt ruim binnen het dijkprofiel.	Niet nodig: de waterkering voldoet al.
3	nee	De punten R en S vallen buiten de figuur. Punt P bevindt zich op de grens van het dijkprofiel. De punten R en S, die zich altijd aan de buitenkruinzijde van punt P bevinden, vallen dus buiten het dijkprofiel: de waterkering voldoet niet.	Nee: de toepassing van reductiefactoren zal niet voldoende zijn om punt R binnen het dijkprofiel te laten vallen.

Situatietekening restbreedte



Reductiefactor marge	1,00
Reductiefactor secundaire afschuiving	1,00
Reductiefactor minimaal vereiste resterende kruinbreedte	1,00
Erosiemarge (m)	0

Fnorm	1,00
Fmaatgevend	0,75

Minimaal vereiste resterende kruinbreedte (Bmin) (m)	1,5
Minimaal vereiste kruinhoogte (Hkr,min) (m + NAP)	-0,1
Kruinverlagingfactor primaire afschuiving (factor a)	0,50
n-waarde taludhelling secundaire afschuiving (1:n)	4

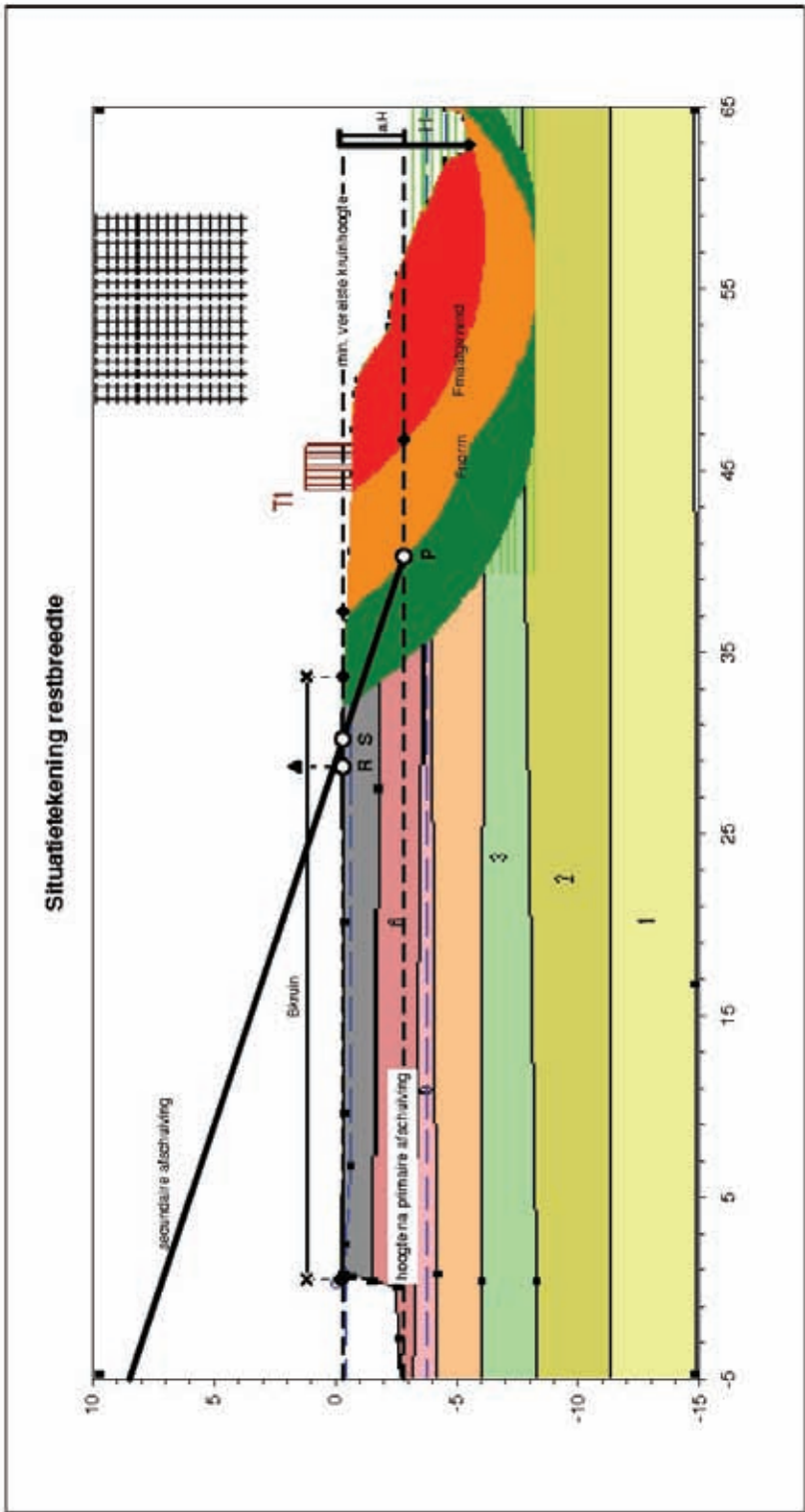
Dijk voldoet?	NEE
---------------	-----

STBI, hoogwater met belasting

date
2-6-2010

Voorbeeld 1

STBI, hoogwater met belasting	date
	2-6-2010
Voorbeeld 2	



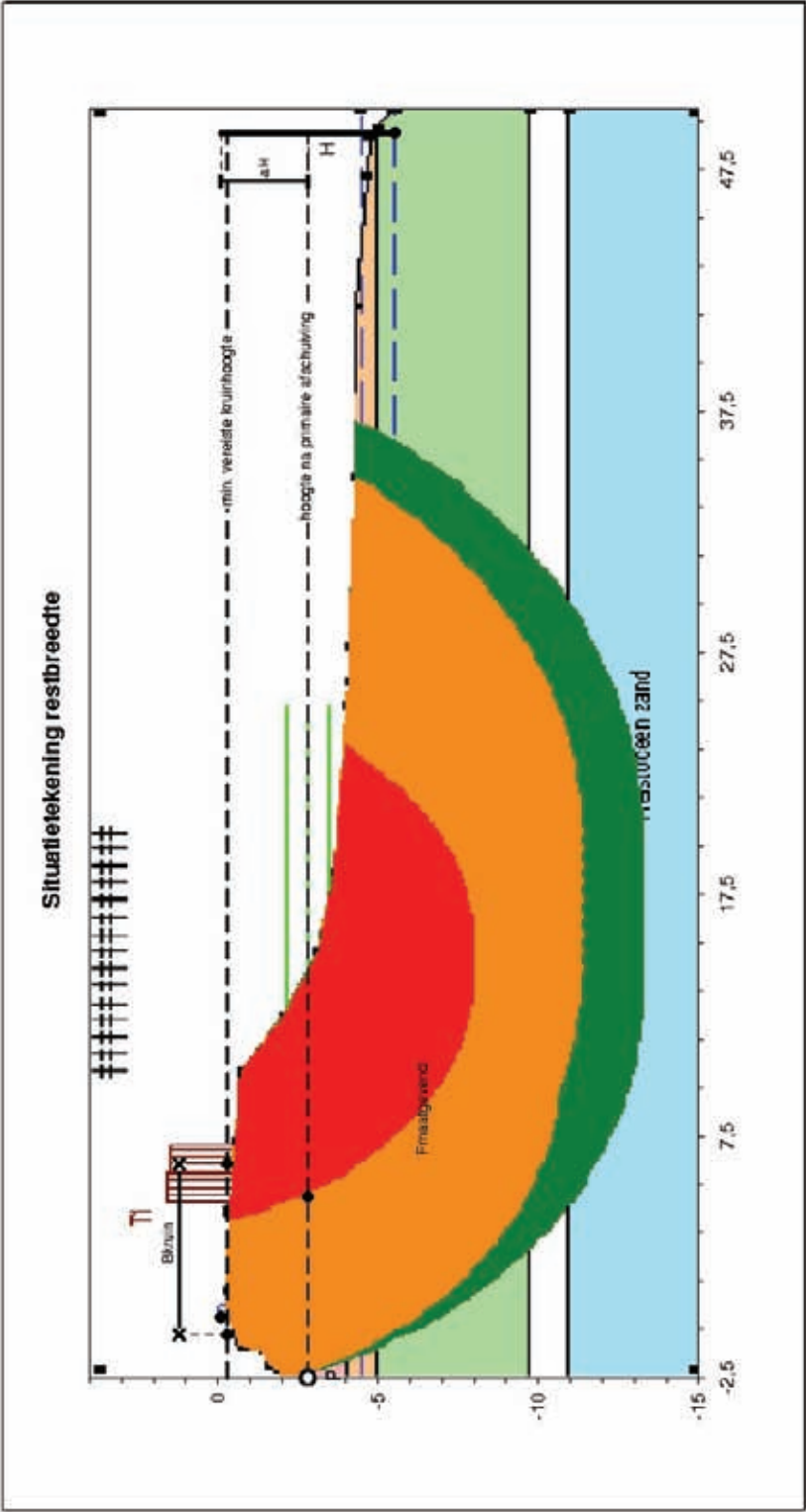
Minimaal vereiste resterende kruinbreedte (Bmin) (m)	1,5
Minimaal vereiste kruinhoogte (Hkr,min) (m + NAP)	-0,3
Kruinverlagingfactor primaire afschuiving (factor a)	0,50
n-waarde taludhelling secundaire afschuiving (1:n)	4

Reductiefactor marge	1,00
Reductiefactor secundaire afschuiving	1,00
Reductiefactor minimaal vereiste resterende kruinbreedte	1,00
Erosiemarge (m)	0

Dijk voldoet?	JA
---------------	----

Fnorm	0,95
Fmaatgevend	0,64

STBI, hoogwater met belasting	date 2-6-2010
	Voorbeeld 3



Minimaal vereiste resterende kruinbreedte (Bmin) (m)	1.5
Minimaal vereiste kruinhoogte (Hkr.min) (m + NAP)	-0.3
Kruinverlagingfactor primaire afschuiving (factor a)	0.50
n-waarde taludhelling secundaire afschuiving (1:n)	4

Reductiefactor marge	1.00
Reductiefactor secundaire afschuiving	1.00
Reductiefactor minimaal vereiste resterende kruinbreedte	1.00
Erosiemarge (m)	0

Dijk voldoet?	NEE
---------------	-----

Fnorm	0.90
Fmaatgevend	0.65

BIJLAGE 4

TOETSSCHEMA BOMEN

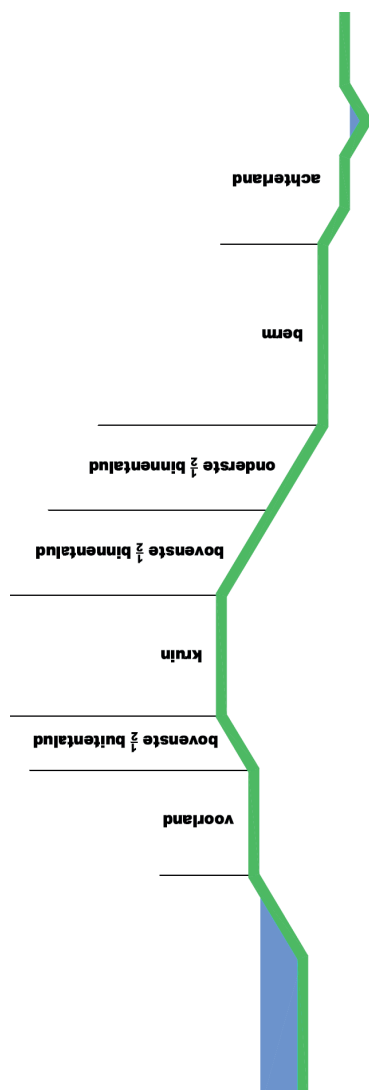
Beoordeling bomen op boezemkaden 6 april 2010



Voor de beoordeling van bomen op boezemkaden is een specifiek toegespitst beoordelingschema opgesteld. De beoordeling borduurt voort op de toetsing van de waterkering op hoogte, binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, microstabiliteit en bekleding. Dit betekent dat deze toetsing uitgevoerd moet zijn voorafgaand aan de bomentoets. Als de kade niet voldoet ten aanzien van macrostabiliteit of piping en de boom bevindt zich op een zodanige locatie dat deze een negatieve invloed heeft (zie beoordelingsschema), dan is het waarschijnlijk dat de kade met boom niet voldoet.

Bij de eenvoudige en gedetailleerde toets wordt geen uitspraak gedaan over de kans op het omwaaien van een boom. Per zone en faalmechanisme is aangegeven welke situatie maatgevend is, ofwel het meenemen van de boom als belasting, ofwel rekening houden met een ontgrondingskuil. In bijlage "gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen" is voorbeeldberekening opgenomen met de voor mstab benodigde belastingparameters.

Bij de beoordeling van bomen op boezemkaden worden zeven verschillende zones onderscheiden, zie figuur 1. Op welke faalmechanismen beoordeeld moet worden is afhankelijk van de zone waarin de boom zich bevindt. Dit is nader uitgewerkt in het beoordelingsschema.



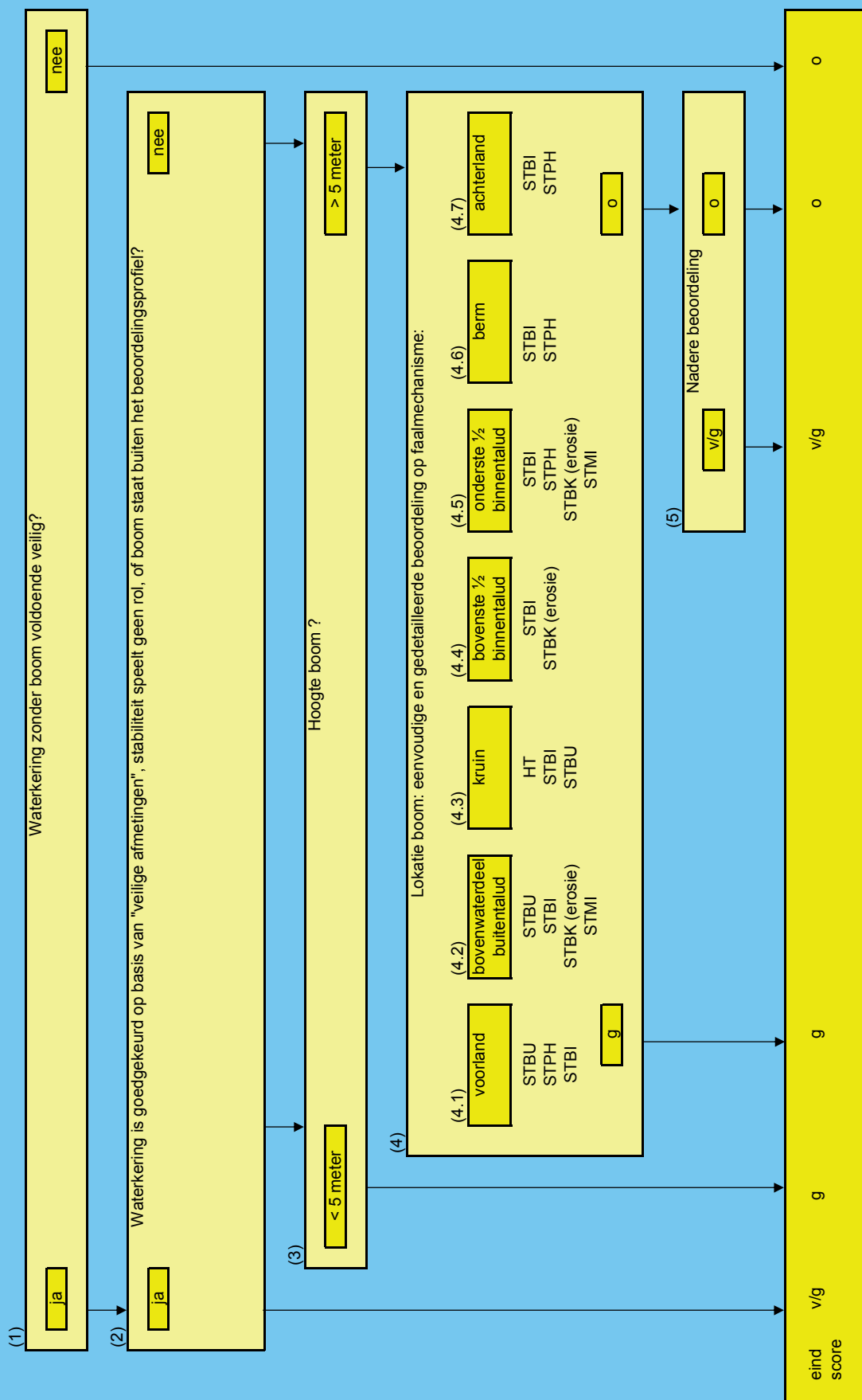
figuur 1. Indeling zones boezemkaden bij beoordeling bomen

Bepalen van de invloed van bomen op macrostabiliteit en piping

In het toetschema wordt op diverse plaatsen aangegeven dat de invloed van bomen of van een ontgrondingskuil op de macrostabiliteit bepaald moet worden. Het is voor veel kaden ondoenlijk om voor iedere boom een aparte berekening te maken en meestal is dat ook niet nodig. Uitgangspunt is dat de kade zonder bomen al is getoetst, zonder deze toets is het niet zinvol om de invloed van bomen te bepalen. Het beschikbaar zijn van toetsresultaten van de kade zonder bomen houdt in dat ofwel "veilige afmetingen" of een beoordelingsprofiel of stabiliteits- en pipingberekeningen beschikbaar zijn. Bij het beoordelen van de bomen worden deze gebruikt.

Voor het praktisch gebruik van dit beoordelingsschema wordt aanbevolen om gelijksoortige bomen te clusteren. Voorafgaande kan een inventarisatie worden uitgevoerd waarbij de bomen worden geclusterd op basis van hoogte (5-10 m, 10-15 m, 15-20 m) en locatie in het profiel conform figuur 1. Bij de beoordeling wordt gebruik gemaakt van de trajectindeling die voor macrostabiliteit en piping is opgesteld. Per traject kan meestal worden volstaan met de beoordeling van één (maatgevende) boom, per relevante locatie in het profiel (zie beoordelingsschema en figuur 1). Hiermee kan een aanzienlijke clustering worden bewerkstelligd en neemt de benodigde inspanning sterk af. Dit houdt in dat per beschikbare stabiliteits- en pipingberekening enkele varianten doorgerekend moeten worden, om tot een eenvoudige of gedetailleerde beoordeling te komen.

Beoordelingsschema bomen op boezemkaden



*. In stap 1 t/m 4 wordt geen uitspraak gedaan over het risico van het omwaaien van een boom; bij de beoordeling in stap 4 wordt zowel de situatie met boom als de situatie na ontwortelen beschouwd.
*. Uitgangspunt betreft dat het optreden van storm en maatgevende waterstand samen vallen.

Stap 1: Waterkering zonder boom voldoende veilig?

Is het fysiek aanwezige profiel zonder boom voldoende veilig? Indien antwoord is ja, vervolg met stap 2, anders eindscore is onvoldoende.

Stap 2: Waterkering is goedgekeurd op basis van "veilige afmetingen", stabiliteit speelt geen rol, of boom staat buiten het beoordelingsprofiel?

Als een kade op basis van "veilige afmetingen" is goedgekeurd (score voldoende), dan voldoet hij ook met boom, omdat deze beoordelingsmethode uitgaat van een restprofiel en dus van een instabiele kade. Of dat met of zonder boom is maakt niet uit. Als stabiliteit geen rol speelt (verheelde kade of anderszins geen of nauwelijks een talud) is de score direct goed.

Beoordeling van een boom kan ook op basis van een beoordelingsprofiel, conform het VTV. Indien de boom buiten het beoordelingsprofiel staat is de score direct "voldoende", bij bomen op de kruin of de bovenzijde van het binnen of buitentalud moet wel worden nagegaan of een door de boom geïnduceerde afschuiving het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt, indien dit naar verwachting het geval is moet vervolgt worden met stap 3.

Stap 3: Boomhoogte

Is de hoogte van de boom kleiner dan 5 meter, dan is de score direct goed, voor bomen van meer dan 5 meter wordt de beoordeling vervolgd in stap 4. (Bomen < 5 meter geven geen significante belasting op de kade, conform het VTV wordt daarnaast gesteld dat bomen <5 meter niet ontwortelen).

Stap 4.1: Beoordeling boom >5 meter op voorland

Beoordeling STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in het voorland kan de buitenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de buitenteen bevindt.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot buitenteen > 7 meter (helpt ontgrondingskuil + 5 meter). De ontgrondingskuil heeft op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit van het
- Breedte voorland > 10 meter en maaiveldniveau voorland ligt boven MBP. Het voorland is zodanig breed dat bij een afschuiving van het buitentalud het restant van de kade niet in contact kan komen met de boezem.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening buitenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV.

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting en indien de boom dicht bij de waterlijn staat.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot waterlijn bij MBP > 4 meter (helpt van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ($4H\sigma_{\text{stan}} < 0,2$). De ontgrondingskuil komt in deze situatie niet in contact met de boezem.
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil minimaal 1 meter met volumiek gewicht > 12 kN/m³. Intredepunt wijzigt niet.
- Veiligheid tegen opbarsten achterland bij hydraulische kortsluiting > 1,2. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding > 18ΔH. Piping kan in deze situatie nooit optreden.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met intreepunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een verhoogde intrede van water in de dijk, dit heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit. Dit is bij het voorland van een boezemkade alleen relevant indien de boom dicht bij de waterlijn staat en er sprake is van een goed doorlatende ondergrond.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helpt van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ($4H\sigma_{\text{stan}} < 0,2$). Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil nog minimaal 1 meter. Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit met verhoogde freatische lijn conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam.

Als de boom op minder dan 2 m van de buitenteen staat, kan bij ontworteling het buitentalud worden aangetast. Voor de beoordeling wordt verwezen naar stap 4.2.

Als de boom verder dan 2 m van de buitenteen staat, dan zal bij ontworteling het buitentalud niet worden aangetast. Indien het voorland een rol speelt bij erosie, dan moet ook voor deze mogelijkheid op erosie te worden getoetst.

Stap 4.2: Beoordeling boom >5 meter op bovenwaterdeel buitentalud

Beoordeling STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben op het bovenste deel, het bovenwaterdeel van het buitentalud een negatieve invloed op de macrostabiliteit. In omgewaarde toestand kan een ontgrondingskuil ontstaan, dit heeft tot gevolg dat er gewicht uit het aandrijvende deel verdwijnt. Een ontgrondingskuil in de bovenste helft van het buitentalud heeft daarom geen negatieve invloed op de stabiliteit. Verondersteld wordt dat de onderste helft van het buitentalud onder water staat, beoordeling van bomen op de onderste helft van het buitentalud is daarom niet relevant. Erosie speelt wel een rol, dit wordt beschouwd onder beoordeling STBK (erosie).

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met:

- Invloed eigengewicht boom op het aandrijvend moment;
- Invloed windbelasting op boom op het aandrijvend moment.
- Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met een ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte). Deze toets is alleen van belang voor bomen onderaan het buitentalud.

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen".

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit) en STMI microstabiliteit:

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een verhoogde intrede van water in de dijk, dit heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit en de microstabiliteit. Dit is in het buitentalud van een boezemkade alleen relevant indien de boom dicht bij de waterlijn staat en er sprake is van een goed doorlatende kern.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helft van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ($4H_{stan\alpha} < 0.2$). Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water;
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil minimaal 1 meter met volumiek gewicht >12 kN/m³ of kernmateriaal boezemkade is klei. Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit en beoordeling microstabiliteit met verhoogde freatische lijn conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helft van de ontgrondingskuil + 2 meter). Het restprofiel van de waterkering wordt in deze situatie niet belast vanuit de boezem. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn.
- Breedte boezemkade boven boezempeil > 8 meter. Er blijft ondanks erosie een voldoende breed profiel over om de waterkerende functie te behouden. Alleen toepasbaar als er geen sprake is van een significante golfbelasting ($4H_{stan\alpha} < 0.2$) op de kade en er geen sprake is van zandig kernmateriaal.
- Erosie is geen relevant faalmechanisme.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfbelasting conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Stap 4.3: Beoordeling boom >5 meter op kruin

Beoordeling HT (hoogte):

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een reductie van de kruinhoogte.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (heft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn, beoordeling conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.
- Afstand boom tot binnenkruinlijn is minimaal 4 meter (heft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin) en er geen sprake van een significante golfbelasting ($4H_{stan} < 0.2$). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn, beoordeling conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale
- Niveau buitenkruinlijn - 1 meter > 0,1 l/m/s niveau (MBP + toeslagen). De kade is in deze situatie zodanig hoog dat een reductie van de kruinhoogte geen invloed heeft op de waterkerende functie.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling door golfoploop/overslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit) & STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een negatieve invloed op de binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit.

Gedetailleerde toets binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit:

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen".

Stap 4.4: Beoordeling boom >5 meter op bovenste 1/2 binnentalud

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een negatieve invloed op de macrostabiliteit. In ongewaarde toestand kan een ontgrondingskuil ontstaan, dit heeft tot gevolg dat er gewicht uit het aandrijvende deel verdwijnt. Een ontgrondingskuil in de bovenste helft van het binnentalud heeft daarom geen negatieve invloed op de stabiliteit. Beoordeling restprofiel onder Beoordeling STBK (erosie)

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met:

- invloed eigengewicht boom op het aandrijvend moment;
- invloed windbelasting op boom op het aandrijvend moment.

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen"

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam indien er sprake is van een overslagdebiet $>0,1$ l/m/s. Daarnaast moet er voldoende restprofiel overblijven om de waterkerende functie te behouden.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Overslagdebiet $<0,1$ l/m/s (bij MBP + toeslagen). In deze situatie speelt erosie speelt geen rol, geen sprake van overslag.
- Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd door het restprofiel.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfoverslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Stap 4.5: Beoordeling boom >5 meter op onderste 1/2 binnentalud

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in de onderste helft van het binnentalud heeft een negatieve invloed op de macrostabiliteit. Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een neutrale of positieve invloed op de macrostabiliteit. Beoordeling resp-profiel onder Beoordeling STBK (erosie)

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met een ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte).

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting.
- Kernmateriaal is ondoorlatend en er zijn geen watervoerende tussenzandlagen aanwezig in de kern.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding $>18\Delta H$.

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden. Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag.

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting.
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpeil;
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding $>18\Delta H$.

De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uitteerpunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam indien er sprake is van een overslagdebiet $>0,1 \text{ l/m/s}$. Daarnaast moet er voldoende resp-profiel overblijven om de waterkerende functie te behouden.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Overslagdebiet $<0,1 \text{ l/m/s}$ (bij MBP + toeslagen). In deze situatie speelt erosie speelt geen rol, geen sprake van overslag.
- Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd door het resp-profiel.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfoverslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STMI

Een ontgrondingskuil kan leiden tot blootleggen van de kern van het dijklichaam of een afname van de dikte van de deklaag, waardoor eerder micro-instabiliteit op kan treden.

Eenvoudige of gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Stap 4.6: Beoordeling boom >5 meter op berm

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in de berm kan de binnenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de binnenteen bevindt. Het eigengewicht van de boom heeft een positieve invloed op de macrostabiliteit.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarde:

- Afstand boom tot onderin steek binnentalud (begin berm of binnenteen) > 7 meter (helft ontgrondingskuil + 5 meter). Verondersteld wordt dat de ontgrondingskuil van een enkele omgewaarde boom op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit van het binnentalud.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV.

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting.
- Veiligheid tegen opbarsten berm - 1 meter ontgroning > 1,2 Er kan rekening worden gehouden met spanningspreiding door de beperkte breedte van de ontgroning conform regels opbarsten slootbodan. Indien de berm zodanig breed is dat naast de ontgrondingskuil nog minimaal 1 meter berm overblijft mag bij de opbarstberekening gerekend worden met het vollopen met water van de ontgrondingskuil.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding > 18ΔH.

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden. Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag.

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting;
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpail. De wortels komen in deze situatie niet in contact met de watervoerende zandlaag.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding > 18ΔH.

De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uittreepunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Stap 4.7: Beoordeling boom >5 meter op achterland

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in het achterland kan de binnenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de binnenteen bevindt. Het eigengewicht van de boom heeft een positieve invloed op de macrostabiliteit.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarde:

- Afstand boom tot onderin steek berm (snijpunt maaiveld - bermtalud) > 7 meter (helpt ontgrondingskuil + 5 meter). Verondersteld wordt dat de ontgrondingskuil van een enkele omgewaaiide boom op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit van het binnentalud.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV.

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Veiligheid tegen opbarsten achterland - 1 meter ontgraving > 1,2 Er kan rekening worden gehouden met spanningsspreiding door de beperkte breedte van de ontgraving conform regels opbarsten slootbod. Daarnaast mag bij de opbarstberekening gerekend worden met het vollopen met water van de ontgrondingskuil.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding > 18ΔH.

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden. Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag.

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpeil. De wortels komen in deze situatie niet in contact met de watervoerende zandlaag.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding > 18ΔH.

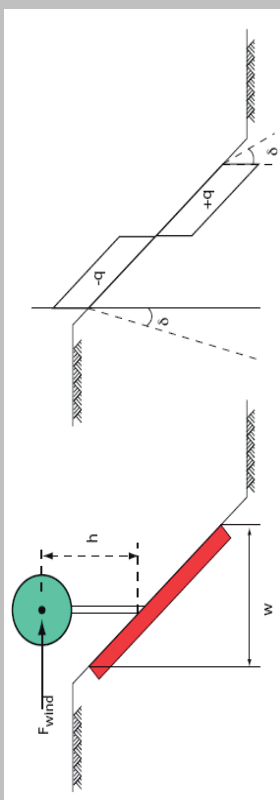
De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uittreepunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen

MStab versie 9.10 heeft de mogelijkheid om belastingen van bomen te modelleren en om de invloed hiervan op de stabiliteit te toetsen. De windbelasting (F_{wind}) wordt via de kluit (w) als bovenbelasting links of rechts van de boom gemodelleerd. De windrichting bepaalt welke zijde de waterkering een belasting toename ervaart dan wel een belasting afname (zie figuur)



In het onderstaande kader is een voorbeeldberekening weergegeven om de benodigde invoerparameters te bepalen voor een boom van 10 meter hoog. Bij deze berekening is gerekend met conservatieve uitgangspunten. Op basis van dezelfde conservatieve uitgangspunten voor de windsnelheid (21 m/s) en luchtweerstandcoëfficiënt (0,6) zijn in tabel 1 voor vier verschillende boommaten metingen richtwaarden gegeven voor een eerste berekening. Indien een scherpere beoordeling gewenst is kunnen de betreffende parameters nader bepaald worden. Met name de windsnelheid werkt sterk door in de berekende windbelasting, de windbelasting is afhankelijk van de locatie en het al dan niet samenvallen van een storm met MBP.

H	hoogte boom	10,0	m
D _{stam}	stamdiameter	0,6	m
D _{kluit}	stabiliteitskluit (width of root zone)	4,0	m
D _{kroon}	kroondiameter	7,0	m
A _{kroon}	kroonoppervlak $A_{kroon} = \frac{1}{4} \pi D_{kroon}^2$	38,5	m ²
I _{boom}	inhoud boom $I_{boom} = \frac{1}{4} \pi D_{stam}^2 H$	1,9	m ³
P _{boom}	gewicht hout	10,0	kN/m ³
P _{lucht}	luchtdichtheid	1,25	kg/m ³
C _d	luchtweerstandcoëfficiënt (0,15 kale bomen, 0,6 gesloten bladerdek, bij windsnelheid 21 m/s)	0,6	-
v	windsnelheid (windkracht 8 = 21 m/s, windkracht 10 = 28 m/s)	21	m/s
I(z)	turbulentie intensiteit (gebied I, onbebouwd conform NEN6702)	0,22	-
z	hoogte aangrijpingspunt (standaardwaarde 10 m aangehouden, behorende bij windsnelheid)	10	m
P _w	Stuwdruk $P = (1+7 I(z)) * 0,5 * \rho * C_d * v^2$	0,42	kN/m ²
P _{totaal}	Stuwdruk totale boom $P_w * A_{kroon}$	16,0	kN
Invoer in Mstab:			
F _{wind}	Kracht op aangrijpingspunt = P_{totaal} / D_{kluit}	4,0	kN/m ¹
Y _{wind}	Hoogte aangrijpingspunt boven maaiveld $Y_{wind} = H - \frac{1}{2} D_{kroon}$	6,5	m
D _{kluit}	stabiliteitskluit (width of root zone)	4,0	m
δ	Angle of distribution [graden]	30,0	graden
F _{eigengewicht}	Kracht tgv eigengewicht = totaal gewicht / D_{kluit}	4,7	kN/m ¹

Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen

tabel 1: Invoer in Mstab voor drie verschillende boomafmetingen:

Afmeting boom	m	5	10	15	20
F_{wind}	kN/m^1	1,3	4,0	7,2	12,8
D_{kruit}	m	3	4	5	5
Y_{wind}	m	3	7	10	13
δ	graden	30	30	30	30
$F_{eigengewicht}$	kN/m^1	1	5	10	20

Stap 6: Nadere beoordeling

Voor een nadere beoordeling bestaan verschillende mogelijkheden die een scherpere toetsing mogelijk maken. Afhankelijk van de situatie kan gedacht worden aan de volgende nadere

- meer gedetailleerde bepaling afmetingen, windbelasting en belasting door eigengewicht;
- omvang ontgrondingskuil in relatie tot soort boom en ondergrond;
- kans op omwaaien nader beschouwen, waarbij de windsnelheid die optreedt tijdens maatgevende omstandigheden wordt beschouwd (in relatie tot de bepaling van de hydraulische
- kans op omwaaien nader beschouwen, letende op het soort boom, de toestand van de boom en ondergrond;
- onderscheid alleenstaande bomen en bomenrij.