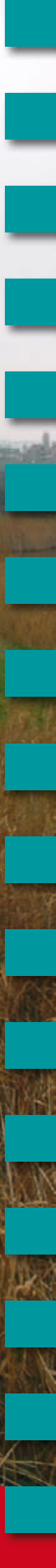
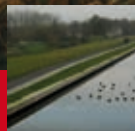
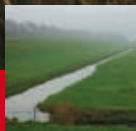
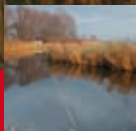




Materiaalfactoren boezemkaden



MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN

ORK

2009

05

ISBN 978.90.5773.420.5



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE STOWA, Utrecht 2009

OPGESTELD DOOR

ir. M.T. van der Meer (Fugro)

ir. H.S.O. Kapinga (Fugro)

ir. L.N. Jonkman (Fugro)

ir. K.S. Lam (Fugro)

ir. E.O.F. Calle (Deltares)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2009-05
ISBN 978.90.5773.420.5

TEN GELEIDE

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

Het InterProvinciaal Overleg [IPO] en de Unie van Waterschappen [UvW] hebben gezamenlijk besloten om de aanpak van de regionale keringen stapsgewijs uit te voeren. De eerste stap betreft het aanwijzen van de waterkeringen en vastleggen van het wenselijke veiligheidsniveau voor het gebied dat door de regionale waterkering wordt beschermd. De tweede stap betreft de toetsing of de veiligheid van de regionale waterkering voldoet aan de gestelde norm. Een derde stap betreft het zonodig verbeteren van de veiligheid, indien de veiligheid van de waterkering niet voldoet aan de norm. Tenslotte geldt dat de waterkeringen moeten worden beheerd teneinde de veiligheid van de waterkering te onderhouden.

Om het proces landelijk zoveel mogelijk uniform uit te kunnen voeren, is besloten het proces te ondersteunen met een systematiek voor de uitvoering van de genoemde stappen voor de verschillende typen regionale waterkeringen. Dit geheel van activiteiten en producten is vastgelegd in het zogenaamde Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen. Het programmamangement van het Ontwikkelingsprogramma is in handen van de STOWA, en staat onder ambtelijk toezicht van het Kernteam Regionale Waterkeringen. De verschillende projecten van dit programma zijn inhoudelijk begeleid door Begeleidingscommissies.

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

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

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

Het document dat u thans voor u heeft liggen betreft het rapport over de studie Materiaalfactoren Boezemkaden. Deze studie is uitgevoerd in het kader van de samenstelling van de Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, en vormt een onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma.

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

VOORWOORD

HET ONTWIKKELINGSPROGRAMMA REGIONALE WATERKERINGEN

Het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen hebben de wens uitgesproken dat het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren van de verschillende typen regionale waterkeringen landelijk zoveel mogelijk uniform wordt uitgevoerd. Vanuit deze wens is de doelstelling geformuleerd het genoemde proces te ondersteunen met een landelijk toepasbare systematiek voor het uitvoeren van de verschillende stappen. Het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen beschrijft de verschillende technische rapporten die daartoe dienen te worden samengesteld.

Tabel 1 presenteert een overzicht van de verschillende rapporten. Tabel 2 beschrijft de overige producten van het Ontwikkelingsprogramma. Omdat tijdens de uitwerking van het programma aanvullende onderdelen kunnen worden gedefinieerd, is tabel 2 niet noodzakelijkerwijs volledig.

TABEL 1 OVERZICHT TECHNISCHE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA

Normeren

- Richtlijn Normeren Keringen langs regionale rivieren
- Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen

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

Beheer & Onderhoud

- Handreiking Beheer & Onderhoud Regionale Waterkeringen
 - Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen
 - Leidraad Niet-waterkerende objecten bij regionale waterkeringen
-

TABEL 2 VOORLOPIG OVERZICHT OVERIGE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA

Achtergrondrapporten

- Kwaliteitsindicatoren Toets op veiligheid
 - Materiaalfactoren Boezemkaden
-

ACHTERGRONDRAPPORT MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN

Als onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen is een Leidraad voor de Toets op Veiligheid van regionale waterkeringen samengesteld. Deze toets beschouwt onder andere de stabiliteit van het binnentalud, waarvoor rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen van de grondlagen benodigd zijn. Voor de afleiding van deze rekenwaarden wordt niet beschikt over specifieke materiaalfactoren voor regionale waterkeringen. De Leidraad beveelt het gebruik van de materiaalfactoren voor rivierdijken aan.

Recent zijn in het kader van de Leidraad Rivieren nieuwe materiaalfactoren voor rivierdijken vastgesteld. Het gebruik van deze materiaalfactoren resulteert voor boezemkaden in een netto afname van de berekende stabiliteit van gemiddeld ca. 5%. Bij de afleiding van materiaalfactoren voor rivierdijken worden echter uitgangspunten gehanteerd die conservatief zijn voor boezemkaden. Het was de verwachting dat afleiding van materiaalfactoren specifiek voor boezemkaden resulteert in gunstigere waarde van de factoren, en daarmee in een gunstigere berekende stabiliteit. Zodoende is de studie Materiaalfactoren Boezemkaden uitgevoerd, met als doel voor boezemkaden specifieke materiaalfactoren af te leiden.

Dit achtergrondrapport presenteert de resultaten van deze studie. De conclusies zijn verwerkt in de Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden (ORK 2009-06).

De uitwerking van deze studie is begeleid door de Begeleidingscommissie Boezemkaden, samengesteld uit onderstaande leden.

drs. A.K. Evers / ir. J.W. Vrolijk – provincie Utrecht
 ing. H. Eikelenboom / drs. M. Groen – provincie Noord – Holland
 ing. P.J. Hofman / ing. J.A. Beijersbergen – provincie Zuid – Holland
 ir. W.S. de Vries – wetterskip Fryslân
 ir. M.P. van Keulen – hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht
 ir. P. van den Berg / ir. J. Stoop – hoogheemraadschap van Rijnland
 ir. H. van Hemert (programmaleider) – STOWA

Bij de uitwerking van deze studie zijn verschillende cases uitgevoerd, aan deze case-studies is medewerking verleend door enkele waterschappen.

Dit achtergrondrapport is opgesteld door Fugro en Deltares. Het onderzoek is gefinancierd door de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht en de STOWA.

VRIJWARING

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben dit rapport samengesteld met grote zorgvuldigheid. De inhoud is gebaseerd op de vigerende veiligheidsbenadering voor waterkeringen, alsmede de actuele stand van kennis over de veiligheid van regionale waterkeringen. Het is niet uitgesloten dat voortschrijdende inzichten in de veiligheidsbenadering of hoogwaterbescherming en voortgaande kennisontwikkeling in de toekomst mogelijk leiden tot afwijkende inzichten. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van dit rapport en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) dit rapport.

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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	VOORWOORD	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Werkwijze bij afleiding materiaalfactoren	1
2	VEREISTE BETROUWBAARHEIDSINDEX PER KADEVAK	3
	2.1 Recapitulatie: opzet IPO-richtlijn	3
	2.2 IPO-norm en betrouwbaarheidsindex	3
	2.3 Schadefactor en betrouwbaarheidsindex	4
	2.4 Relatie schadefactor en IPO-klassen	6
3	MATERIAALFACTOREN ALS FUNCTIE VAN BETROUWBAARHEIDSINDEX β	9
	3.1 Opzet bèta-afhankelijke materiaalfactoren	9
	3.2 Uitgangspunten bepaling bèta-afhankelijke materiaalfactoren	10
	3.3 Bèta-afhankelijke materiaalfactoren	11
	3.4 Bèta-onafhankelijke materiaalfactoren en bèta-afhankelijke schadefactoren	11
	3.5 Overige beschouwingen gerelateerd aan materiaalfactor	12

4	CASES	14
4.1	Uitgangspunten bij cases	14
4.2	Selectie cases	14
4.3	Werkwijze	15
4.4	Resultaten cases	16
4.4.1	Case Boskoop	17
4.4.2	Case Prinsendijk	18
4.4.3	Case Weelkade	19
4.4.4	Case Hoogmadesepolder	20
4.4.5	Case Fryslan	21
4.4.6	Case Rijnsaterwoudschepolder	22
4.4.7	Case Waternet	23
4.4.8	Case Heerhugowaard	24
4.4.9	Overzicht resultaten cases	25
5	KEUZE SET MATERIAALFACTOREN	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Resultaten met nieuwe materiaalfactoren	26
5.3	Resultaten cases met materiaalfactoren uit de Leidraad Rivieren	27
5.4	Robuustheidstoets	28
5.5	Keuze	29
5.5.1	Dilemma: specifieke materiaalfactor of aanpassing schadefactor	29
5.5.2	Uiteindelijke keuze: specifieke materiaalfactoren boezemkaden	29
5.6	Conclusie	30
5.7	Aanbevelingen	32
6	REFERENTIES	33
	BIJLAGEN	
	A Berekening van Materiaalfactoren voor Boezemkaden	34
	B Overwegingen bij de bepaling van de sterkte van veen	40

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Eind april 2007 is de studie 'actualiseren materiaalfactoren' voor de nieuwe ontwerp Leidraad "Leidraad Rivieren" afgerond. Met het bepalen van een uniforme set materiaalfactoren voor het boven- en benedenrivierengebied en het uitbrengen van het addendum bij het TRWG zijn de materiaalfactoren in de oude ontwerp leidraden (LOR1 en LOR2) komen te vervallen. Uitgangspunten die bij de afleiding van deze set materiaalfactoren zijn gebruikt, zijn mogelijk conservatief voor regionale waterkeringen, met name voor boezemkaden. Het vervangen van de set materiaalfactoren in de LOR2 en de wenselijkheid van een consistente aanpak bij boezemkaden, waren de aanleiding om een set materiaalfactoren specifiek voor boezemkaden af te leiden.

Ten opzichte van rivierdijken is de verwachting dat bij boezemkaden een aantal aspecten in meer of mindere mate invloed hebben op de stabiliteit van de kade. Allereerst heeft de schematisering naar verwachting een grotere invloed op de stabiliteitssom omdat er veelal minder 'vlees' zit in de stabiliteit van de kade. Er is dus aanleiding om het effect van de onzekerheid in de schematisering bij boezemkaden nader te onderzoeken.

Aan de andere kant is bij boezemkaden de toename in de belasting bij maatgevende omstandigheden minder groot. De maatgevende belastingen zijn vergelijkbaar met de 'normale' gebruiksomstandigheden. Hierdoor is bij boezemkaden de kans groter dat significante 'fouten' in de schematisering tijdig aan het licht zouden zijn gekomen door waarnemingen tijdens 'bijna maatgevende omstandigheden'.

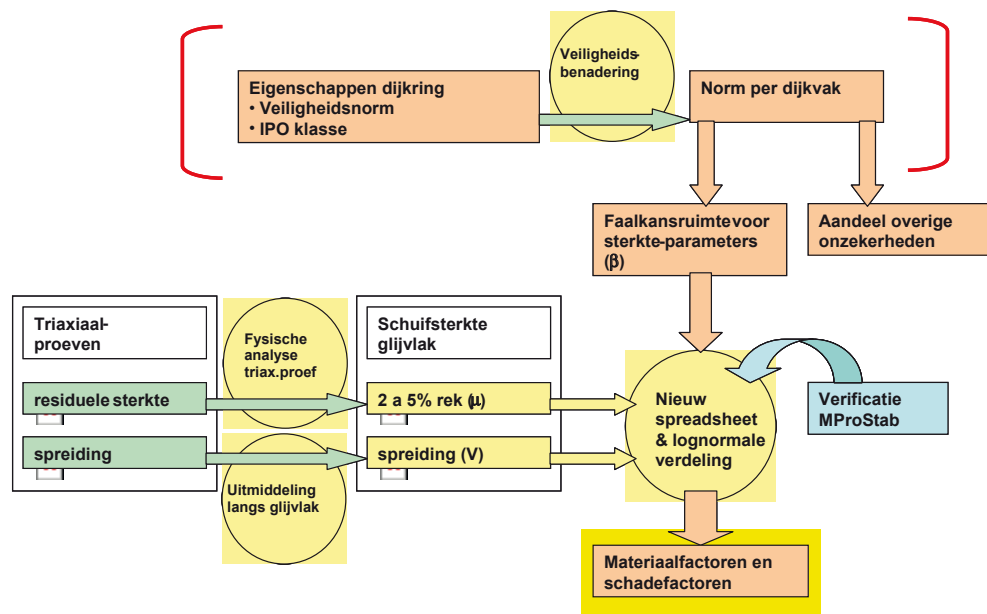
Ten derde kan, ten opzichte van een rivierdijk, het aandeel van de schuifsterkteparameters c' en ϕ in de betrouwbaarheid van het dijkprofiel verschillend zijn bij een boezemkade. De verwachting is dat de cohesie in belangrijker mate de betrouwbaarheid van het profiel en daarmee de kans op afschuiven bepaalt.

1.2 WERKWIJZE BIJ AFLEIDING MATERIAALFACTOREN

De aanpak die gehanteerd wordt om materiaalfactoren af te leiden bij boezemkaden is in grote lijn overgenomen van de studie materiaalfactoren voor rivierdijken [Fugro/GeoDelft 2007]. In figuur 1.1 is de onderzoekslijn weergegeven.

FIGUUR 1.1

ONDERZOEKSLIJN BIJ AFLEIDING MATERIAALFACTOREN VOOR RIVIERDIJKEN (OVERGENOMEN UIT ACHTERGRONDRAAPPORT BEHORENDE BIJ ADDENDUM TECHNISCH RAPPORT WATERKERENDE GRONDCONSTRUCTIES)



De vastgestelde veiligheidsnorm volgt uit de verschillende IPO-klassen (zie hoofdstuk 2). Deze benadering bepaalt welke toelaatbare faalkans op dijkvakniveau dient te worden gehanteerd en hoe de onderverdeling is tussen het aandeel van sterkte-eigenschappen en het aandeel van overige onzekerheden. Bovenstaande figuur geeft de plaats aan van de belangrijke aandachtspunten in het onderzoek om te komen tot materiaalfactoren voor boezemkaden:

- toelaatbare faalkans per kadevak wordt gegeven verondersteld (zie hiervoor hoofdstuk 2);
- welk deel van de vereiste betrouwbaarheid per kadevak is ‘beschikbaar’ voor de betrouwbaarheidsindex van de sterkte;
- gebruik van triaxiaalproeven met een gegeven spreiding en keuze van het sterktemodel (spannings(on)afhankelijk, gebruik Mohr-Coulomb);
- verificatie van het stochastisch model (spreadsheet en ijking aan MProStab-analyses);
- gevonden materiaalfactoren uitsplitsen naar één set materiaalfactoren en schadefactoren.

Streven is een samenhangende set van 3 factoren:

- 1 Materiaalfactoren (behorende bij een bepaalde nog te kiezen bèta)
- 2 Schadefactoren, voor omrekening naar afwijkende bèta’s
- 3 Schematiseringsfactor, tot nu toe impliciet in factoren meegenomen.

ad 1:

Tabel met materiaalfactoren als functie van bèta (kan afwijken van de tabel die voor de rivierdijken is gemaakt)

ad 2:

Range aan bèta’s die je zou moeten dekken volgt uit de IPO-klassen. De schadefactor is een soort vergrotingsfactor voor de materiaalfactor, volgt uit de onder ad 1 gevonden relatie tussen bèta en materiaalfactoren.

ad 3:

Als eerste moeten we onderzoeken hoeveel marge er in de huidige factoren ‘verstopt’ zit voor de schematiseringsfactor. Dus aantal cases doorrekenen met vigerende methoden, met de voorgestelde nieuwe factoren maar ook met de COW-methode.

2

VEREISTE BETROUWBAARHEIDSINDEX PER KADEVAK

2.1 RECAPITULATIE: OPZET IPO-RICHTLIJN

De richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden bestaat uit een methode met afkeurgrenzen en ontwerpgrenzen. De IPO-veiligheidsklassen zijn de minimale eisen (afkeurgrenzen) waaraan boezemkaden bij toetsing moeten voldoen. De differentiatie in klassen is gebaseerd op de directe economische schade in geval van kadebreuk. De ontwikkelde eisen voor toetsing zijn gekoppeld aan vijf veiligheidsklassen, waarvan klasse I de minst veilige en klasse V de meest veilige is. Klasse III komt overeen met de veiligheid behorend bij de vigerende ontwerppraktijk.

Bedacht moet worden dat de IPO-methode is gebaseerd op het minimale trendbreukprincipe en feitelijk nog steeds volgens de filosofie van het systematisch boezemkade onderzoek is opgezet. Voor kadeverbetering van afgekeurde kaden of voor aanleg van nieuwe kaden moet worden uitgegaan van ontwerpgrenzen. In de opzet voor de IPO-methode wordt aanbevolen de ontwerpgrenzen te baseren op een economische optimalisatie.

In de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen (LTR) [STOWA, 2007] is gesteld dat bij de berekening van rekenwaarden van de schuifsterkteparameters gebruik moet worden gemaakt van de set materiaalfactoren die is vastgesteld voor de spanningsafhankelijke benadering (benedenrivierengebied) in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG) [TRWG 2001]. Met het verschijnen van de nieuwe Leidraad Rivieren is dit TRWG aangepast middels een addendum. Het is nog niet duidelijk wat de gevolgen hiervan zijn bij de toetsing van regionale keringen (en ook primaire waterkeringen) en hoe hiermee omgegaan zal worden.

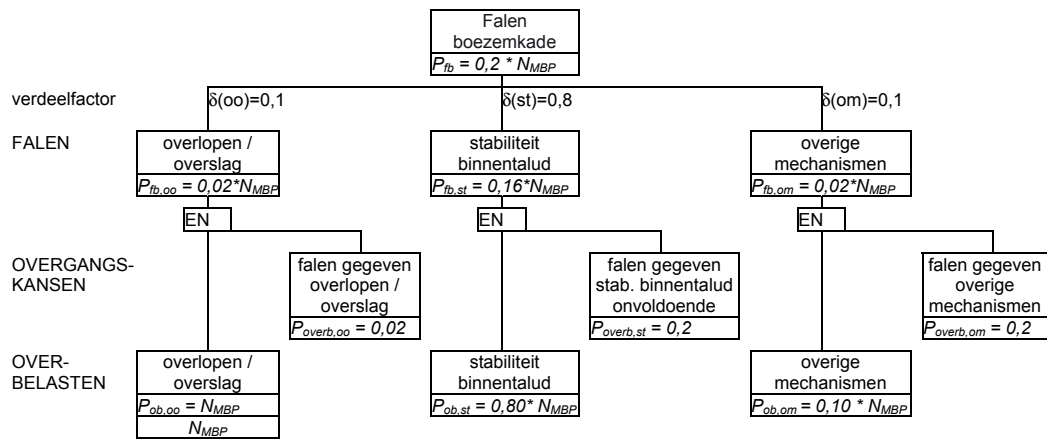
2.2 IPO-NORM EN BETROUWBAARHEIDSINDEX

Op basis van het resultaat van *genormeerde schadeberekeningen*, waarmee een maat voor de inundatieschade als gevolg van kadebreuk wordt vastgesteld, wordt het minimaal vereiste veiligheidsniveau (norm als IPO-klasse) vastgesteld. Dit vereiste veiligheidsniveau is vertaald naar toetsingseisen, ook wel *afkeurgrenzen* genoemd, welke betrekking hebben op de overschrijdingsfrequentie van het Maatgevend Boezempeil (MBP) en de schadefactor van het binnentalud. De normering van de schadeberekeningen is gebaseerd op minimale trendbreuk voor de “gemiddelde” polder. Voor de gemiddelde polder geldt:

- de overschrijdingsfrequentie van het MBP $N_{\text{MBP}} = 1/100$ [1/jaar];
- de schadefactor van de kade $\gamma_{\text{bn}} = 0,9$ [-];
- de verwachte *genormeerde schade* na inundatie $E_{\text{pb}} = 45$ [M€]¹;
- de gehanteerde faalkansverdeling zoals gegeven in figuur 2.1.

¹ Omdat het hier om een genormeerde schade gaat is de eenheid (in euro's) ook relevant voor het huidige situatie. Immers, de schade na inundatie bij verschillende polders is geïndexeerd aan de 'gemiddelde' polder die gesteld is op 100.

FIGUUR 2.1 GEHANTEERDE FAALKANSVERDELING BOEZEMKADEN (FAALKANSVERDELING IS OVERGENOMEN UIT [FUGRO 1998A] FIGUUR 2. DE DEFINITIES ZIJN TEN OPZICHTE VAN HET OORSPRONKELIJKE FIGUUR AANGEPAST)



OVERBELASTEN: hiervan is sprake wanneer de belasting groter is dan de belasting waarop de kering berekend is.

OVERGANGSKANS: is een algemeen begrip, maar kan hier toegespitst worden op: de kans op falen, gegeven bezwijken, of de kans op falen gegeven overbelasten.

BEZWIJKEN: het optreden van een bezwijkmechanisme (afschuiven, grote vervormingen, erosie) waardoor schade aan de kering ontstaat.

FALEN: de waterkering is niet in staat de waterkerende functie te vervullen, met als gevolg overstroming. Falen kan optreden als gevolg van overbelasten, zonder dat bezwijken optreedt (doorgaans wateroverlast), of als gevolg van een doorbraak, geïnitieerd worden door het optreden van een bezwijkmechanisme (al dan niet in een overbelastingsituatie).

2.3 SCHADEFACTOR EN BETROUWBAARHEIDINDEX

In het Technisch rapport voor het toetsen van boezemkaden (TRTB) [TRTB 1993] wordt gesteld dat gerekend moet worden met een schadefactor $\gamma_n = 0,9$ en materiaalfactoren uit de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken – deel 2, benedenrivierengebied [LOR2 1989].

De schadefactor is zodanig gekozen dat de trendbreuk met de toenmalige vigerende praktijk minimaal is. Voor het uitbrengen van het TRTB werd gewerkt volgens de COW-stabiliteitseis van $F \geq 1,3$; rekenend met (lokale) gemiddelde waarden voor de schuifsterkteparameters.

Om de kans op instabiliteit van het binnentalud te bepalen, is een relatie nodig tussen de schadefactor γ_n en de (vereiste) betrouwbaarheidsindex β van de stabiliteit van het binnentalud. In de “Achtergronden bij de Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden” [FUGRO 1998a] is een benaderende relatie gebruikt tussen de betrouwbaarheidsindex β en de stabiliteitsfactor F:

$$\beta = \left(1 - \frac{1}{F}\right) \cdot K \tag{2.1}$$

met:

β de betrouwbaarheidsindex van de stabiliteit van het binnentalud [-]

F stabiliteitsfactor (bij gemiddelde waarden voor schuifsterkteparameters)

K factor die onder andere afhankelijk is van de verhouding van de bijdragen van de cohesie c' en hoek van inwendige wrijving ϕ aan de stabiliteit, de variatiecoëfficiënten van c' en ϕ , en de onzekerheid van de ligging van de freatische lijn [-]

Volgens het TRTB geldt voor de relatie tussen de schadefactor en de ‘oude’ stabiliteitsfactor:

$$\gamma_n = \frac{F \cdot r_{n,V}}{\gamma_m \cdot \gamma_d} = F \cdot k \quad (2.2)$$

met:

γ_n schadefactor [-]

F stabiliteitsfactor [-] (bij gemiddelde waarden voor schuifsterkteparameters)

γ_m materiaalfactor = ca. 1,2 [-]

γ_d gevoeligheidsfactor (modelfactor) voor o.a. methode Bishop = 1,0

$r_{n,V}$ maat voor de spreiding van de schuifsterkteparameters = ca. 0,85 [-]. Dit is de factor tussen de karakteristieke en gemiddelde waarden van de schuifsterkte

$$k = \frac{r_{n,V}}{\gamma_m \cdot \gamma_d} = \text{ca. } 0,7$$

Bij de afleiding van de schadefactoren voor de verschillende IPO-klassen is aangenomen dat de factor K in vergelijking (2.1) voor boezemkaden niet significant verschilt met die voor primaire keringen. De factor K is afgeleid ervan uitgaande dat de in de LOR2 genoemde schadefactoren leiden tot het vastgestelde veiligheidsniveau ten aanzien van het mechanisme “afschuiven binnentalud”. Hierbij is gebruik gemaakt van de in LOR2 aangenomen faalkansverdeling voor een primaire dijkkring (overbelastingskans m.b.t. afschuiven is 0,020*norm) [FUGRO 1998a].

Met vergelijkingen (2.1) en (2.2) kan de relatie tussen de betrouwbaarheidsindex en de stabiliteitsfactor worden herschreven als:

$$\beta = \left(1 - \frac{k}{\gamma_n}\right) \cdot K = \left(1 - \frac{0,7}{\gamma_n}\right) \cdot 10,6 \quad (2.3)$$

Een andere aanpak is om de relatie tussen de schadefactor en de betrouwbaarheidsindex β te bepalen vanuit de globaal in een profiel aanwezige betrouwbaarheidsniveau β . Uit Appendix G-5.1.2 van de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken – benedenrivierengebied [LOR2 1989] volgt:

$$\beta_{aanw} = \left(1 - \frac{1 - 1,64 \cdot V_{M_R}}{\gamma_n \cdot \gamma_m \cdot \gamma_d}\right) \frac{1}{V_{M_R}} \quad (2.4)$$

met:

γ_n schadefactor [-]

V_{M_R} variatiecoëfficiënt van het maximaal mobiliseerbare tegenwerkend moment van de kritieke glijcirkel [-], $V_{M_R} \approx 0,08$ (praktische waarde o.b.v. probabilistische stabiliteitsanalyses)

β_{aanw} aanwezige betrouwbaarheidsindex [-]

γ_m materiaalfactor [-], $\gamma_m = \text{ca. } 1,2$

γ_d gevoeligheidsfactor (modelfactor) voor o.a. methode Bishop [-], $\gamma_d = 1,0$

Opgemerkt wordt dat in vergelijking (2.3) en (2.4) niet expliciet rekening is gehouden met een onzekerheid in de schematisering (de schematiseringsfactor). Uit de omschrijving van de factor K zou verondersteld kunnen worden dat de onzekerheid in de schematisering onderdeel is van deze ‘vuilnisbak’-factor. Uit de “Achtergronden bij de Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden” [FUGRO 1998a] blijkt echter dat bij de afleiding van deze factor de onzekerheid in de schematisering niet is beschouwd.

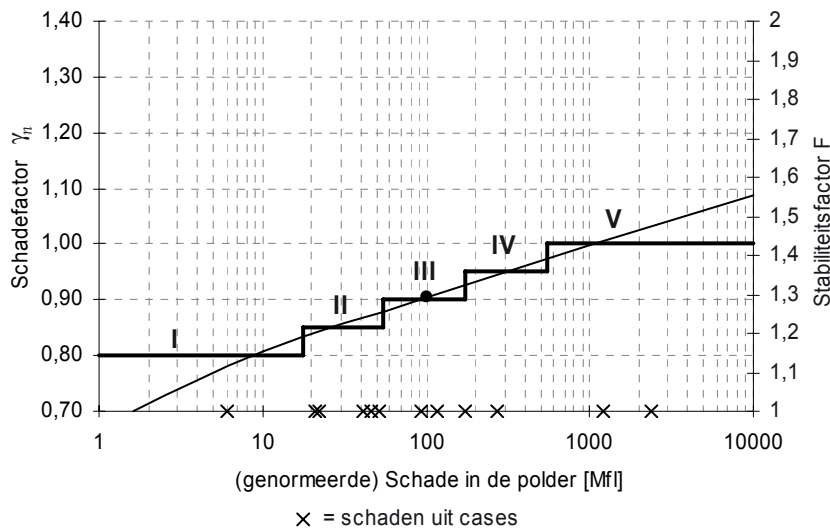
2.4 RELATIE SCHADEFACTOR EN IPO-KLASSEN

De faalkans van de boezemkade (topgebeurtenis in figuur 2.1) is afhankelijk van de keus voor de vaste norm voor de “gemiddelde” boezemkade. Voor het aanvaardbaar risico R_{pb} van de gemiddelde boezemkade is gesteld dat $R_{pb} = 0,09$ M€/jaar (destijds afgeleid als 0,2 Mfl/jaar), gebaseerd op een genormaliseerde gevolgschade van de “gemiddelde” polder van ca. $E_{pb} = 45$ M€ (destijds 100 Mfl), zie hierover ook paragraaf 2.2. Door het aanvaardbaar risico constant te houden voor alle boezemkaden, kan de vereiste overschrijdingsfrequentie van het MBP N_{MBP} worden afgeleid aan de hand van de schade in de polder:

$$N_{MBP} = 5 \cdot P_{fb} = 5 \cdot \frac{0,2}{E_{pb}} = \frac{1}{E_{pb}} \text{ [1/jaar]} \quad \text{met } E_{pb} \text{ in Mfl} \quad (2.5)$$

Met behulp van de foutenboom uit figuur 2.1, het gestelde risiconiveau en vergelijking (2.3) kan een relatie tussen de verwachte schade bij inundatie (en dus ook N_{MBP}) en de schadefactor worden afgeleid. Hieruit volgt het verloop van de schadefactor, zie figuur 2.2.

FIGUUR 2.2 SCHADEFACTOR ALS FUNCTIE VAN DE VERWACHTE SCHADE IN DE POLDER PER KLASSE (FIGUUR OVERGENOMEN UIT [FUGRO 1998A]). DE RECHTERAS GEEFT ONGEVEER HET VERLOOP VAN DE VEREISTE STABILITEITSFACTOREN VOLGENS HET COW-ONDERZOEK



Op basis van bovenstaande figuur zijn de IPO-klassen en de daarbij horende overschrijdingsfrequenties van het maatgevend boezempeil en schadefactoren afgeleid, zie tabel 2.1. De tabel is uitgebreid met de bijbehorende betrouwbaarheidsindex β volgens vergelijking (2.3) en (2.4).

TABEL 2.1 RELATIE STABILITEITSEISEN, SCHADEFACTOR EN BETROUWBAARHEIDINDEX

COW stabiliteitseis	stabiliteitseis TRTB	Stabiliteitseis behorende bij IPO-veiligheidsklassen			Betrouwbaarheidsindex	
		IPO-klasse	Veiligheidsnorm	Schade-factor	volgens vergelijking (2.3)	volgens vergelijking (2.4)
$F \geq 1,3$	$\gamma \geq 1,0$ bij	I	1/10	0,80	1,21	1,19
gemiddelde waarden voor schuifsterkte	$\gamma_n = 0,9$ rekenwaarden, materiaal-factoren conform LOR2	II	1/30	0,85	1,77	1,85
		III	1/100	0,90	2,26	2,44
		IV	1/300	0,95	2,70	2,97
		V	1/1000	1,00	3,09	3,45

De volgende waarden zijn gebruikt bij de bepaling van de betrouwbaarheidsindex:

1. Gevoeligheidsfactor (modelfactor) model Bishop: $\gamma_d = 1,0$
2. Gemiddelde materiaalfactor: $\gamma_m = 1,2$
3. Maat voor de spreiding van de schuifsterkteparameters Dit is de factor tussen de karakteristieke en gemiddelde waarden van de schuifsterkte: $r_{n,V} = 0,85$
4. $K = 10,6$
5. Variatiecoëfficiënt van het maximaal mobiliseerbare tegenwerkend moment van de kritieke glijcirkel [-], $V_{M_R} \approx 0,08$ (praktische waarde o.b.v. probabilistische stabiliteitsanalyses, overgenomen uit LOR2)

De gemiddelde materiaalfactor is afhankelijk van het aandeel van de verschillende grondsoorten en het aandeel van de schuifsterkteparameter c' en ϕ' aan de betrouwbaarheid van het profiel. In LOR2 wordt een waarde aangehouden van 1,2, zijnde de gemiddelde materiaalfactor bij het bovenrivierengebied, zie ook paragraaf 2.4.1

Merk op dat, gegeven de gebruikte waarden, de gevonden betrouwbaarheidindex verschilt. Indien vergelijking (2.3) en (2.4) aan elkaar gelijk worden gesteld volgt dat:

$$K = \frac{1}{V_{M_R}} \quad \text{en} \quad r_{n,V} = 1 - 1,64 \cdot V_{M_R}$$

Gaan we uit van $K = 10,6$ en $r_{n,V} = 0,85$ dan volgt $V_{M_R} \approx 0,093$. Indien $V_{M_R} = 0,08$, dan volgt $K \approx 12,5$ en $r_{n,V} \approx 0,87$.

De variatiecoëfficiënt van het maximaal mobiliseerbare tegenwerkend moment van de kritieke glijcirkel V_{M_R} volgt uit probabilistische stabiliteitsanalyses bij boezemkaden. Opgemerkt wordt dat het schadefactorverloop en de daarbij horende IPO-klasse is afgeleid op basis van vergelijking (2.3), rekenend met $k = 0,7$ en $K = 10,6$ (zie ook figuur 2.2).

Gemiddelde materiaalfactoren

De ‘gemiddelde’ materiaalfactor is afhankelijk van het aandeel van de cohesie en hoek van inwendige wrijving en aan het aandeel van de verschillende grondsoorten aan de betrouwbaarheid van het profiel. In tabel 2.2 is de gemiddelde materiaalfactor berekend op basis van het aandeel in de grondsoort en het aandeel per schuifsterkteparameter (c' en ϕ').

TABEL 2.2 ‘GEMIDDELDE’ MATERIAALFACTOR OP BASIS VAN MATERIAALFACTOREN LOR2 AFHANKELIJK VAN AANDEEL GRONDSOORT EN SCHUIFSTERKTEPARAMETER

		Aandeel Klei				
		0%	33%	50%	67%	100%
		Aandeel Veen				
		100%	67%	50%	33%	0%
Aandeel c'	Aandeel ϕ'	Gemiddelde Materiaalfactor				
0%	100%	1,20	1,18	1,18	1,17	1,15
33%	67%	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18
50%	50%	1,23	1,22	1,21	1,21	1,20
67%	33%	1,23	1,23	1,23	1,22	1,22
100%	0%	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Bij de berekening van de betrouwbaarheidsindex behorende bij de IPO-klassen is een gemiddelde materiaalfactor van 1,2 aangehouden. Deze waarde is aangehouden bij de afleiding van de IPO-klassen en is afkomstig uit appendix G-5.3.1.2 van LOR2. In LOR2 wordt gesteld dat deze waarde overeenkomt met de gemiddelde materiaalfactor volgens deel 1 van de leidraad. Volgens bovenstaande tabel komt deze waarde overeen met een gelijk aandeel in grondsoorten (50% veen, 50% klei) en een verhouding tussen c' en ϕ' van 1:2.

Indien we een gemiddelde boezemkade vergelijken met een gemiddelde rivierdijk is de verwachting dat het aandeel veen in de betrouwbaarheid van de glijcirkel groter is. Omdat de korrelspanningen in een boezemkade gemiddeld lager zijn, is tevens de verwachting dat de cohesie een groter aandeel heeft.

Stel dat de verhouding veen : klei = 2:1 en de cohesie en hoek van inwendige wrijving ieder een gelijk aandeel hebben. In dit geval is de gemiddelde materiaalfactor volgens LOR2 $\gamma_m = 1,22$ in plaats van $\gamma_m = 1,20$. De gevolgen voor de bijbehorende betrouwbaarheidsindex zijn weergegeven in tabel 2.3.

TABEL 2.3 BETROUWBAARHEIDINDEX BIJ GEMIDDELDE MATERIAALFACTOREN $\gamma_M = 1,20$ EN $\gamma_M = 1,22$

IPO-klasse	Stabiliteitseis behorende bij IPO-veiligheidsklassen		Betrouwbaarheidindex bij $\gamma_m = 1,20$		Betrouwbaarheidindex bij $\gamma_m = 1,22$	
			volgens vergelijking (2.3)	volgens vergelijking (2.4)	volgens vergelijking (2.3)	volgens vergelijking (2.4)
I	1/10	0,80	1,21	1,19	1,37	1,37
II	1/30	0,85	1,77	1,85	1,91	2,03
III	1/100	0,90	2,26	2,44	2,39	2,61
IV	1/300	0,95	2,70	2,97	2,83	3,13
V	1/1000	1,00	3,09	3,45	3,21	3,60

Uit het bovenstaand kan geconcludeerd worden dat er niet een éénduidige relatie tussen betrouwbaarheidsindex β en IPO-klasse is vast te stellen.

3

MATERIAALFACTOREN ALS FUNCTIE VAN BETROUWBAARHEIDSINDEX β

3.1 OPZET BÈTA-AFHANKELIJKE MATERIAALFACTOREN

De materiaalfactoren, of correcter gezegd de partiële veiligheidsfactoren op de schuifsterkteparameters van grond, zijn onderdeel van het stelsel van voorgeschreven uitgangspunten en werkwijzen bij het schematiseren, de te gebruiken rekenmodellen en parameterkeuzen, en de toetscriteria bij rekenkundige controle van de (talud)stabiliteit van dijken of kaden. Dit stelsel zullen we aanduiden als werkvoorschrift voor stabiliteitscontrole. Veiligheidsfactoren zijn hierbij nodig om onzekerheden te verdisconteren. Ruwweg kunnen die in de volgende groepen worden gecategoriseerd:

1. Onzekerheden in de schematisering van de opbouw van dijk en ondergrond, met name de (te) onderscheiden grondlagen en grondsoorten.
2. Onzekerheden ten aanzien van de optredende hydraulische en andere belastingen, en in het verlengde hiervan de voor de stabiliteit relevante belastingeffecten in termen van bij die belastingen optredende water(over)spanningen. De schematisering van de opbouw van de dijk en ondergrond is mede bepalend voor de schematisering van de geohydrologische en geodynamische respons op externe belastingen.
3. Rekenmodelonzekerheid; dit is de mate waarin voorspeld gedrag van de grond (of waterspanningen in de grond) met behulp van rekenmodellen kan afwijken van het feitelijke gedrag.
4. Onzekerheden die veroorzaakt worden door (ruimtelijke) variabiliteit van geomechanische en geohydrologische eigenschappen van het grondmateriaal binnen de onderscheiden grondlagen.

Onzekerheid ten aanzien van optredende hydraulische en andere belastingen wordt verdisconteerd in voorschriften ten aanzien van bij de controle op stabiliteit aan te houden waterstanden die (veilig) gekeerd moeten (kunnen) worden en ten aanzien van andere externe belastingen (zoals bijvoorbeeld verkeersbelasting) die niet tot bezwijken mogen leiden.

Onzekerheid m.b.t. tot de opbouw van een dijk en de ondergrond wordt in principe geacht te worden verdisconteerd door een voldoende veilige schematisering op basis van de beschikbare (grondonderzoek)gegevens. De notie “voldoende veilige schematisering” wordt in de huidige ontwerp- en toetscodes niet nader gespecificeerd. In de bestaande codes worden hiervoor geen handreikingen gegeven en ook geen criteria om te toetsen of een schematisering voldoende veilig is.

Rekenmodelonzekerheid wordt verdisconteerd middels een rekenmodelfactor.

Onzekerheid door variabiliteit van de grondeigenschappen (schuifsterkteparameters) binnen de onderscheiden grondlagen wordt verdisconteerd met behulp van materiaalfactoren. Deze materiaalfactoren zijn afhankelijk van het beoogde betrouwbaarheidsniveau (zie betrouw-

baarheidsindices in tabel 2.3) en de spreiding van de grondeigenschapwaarden binnen een grondlaag. Voor de berekening ervan is, ten behoeve van het opstellen van een voorschrift voor aan te houden materiaalfactoren in de Leidraad Rivieren, een spreadsheetapplicatie ontwikkeld [Fugro/GeoDelft, 2007]. We passen deze applicatie toe voor de berekening van materiaalfactoren voor stabiliteitscontrole bij boezemkaden. Voor uitleg van de werking van het spreadsheetapplicatie wordt verwezen naar bovengenoemde referentie.

3.2 UITGANGSPUNTEN BEPALING BÈTA-AFHANKELIJKE MATERIAALFACTOREN

De materiaalfactoren als functie van de betrouwbaarheid zijn afgeleid op basis van voorlopige uitgangspunten. Mede op basis van MproStab analyses worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Lognormale verdeling van de ruimtelijke variantie van schuifsterkte van grond
Dit uitgangspunt is gelijk aan de analyses bij de afleiding materiaalfactoren voor de Leidraad Rivieren.
- Variatiecoëfficiënten conform tabel 3.1.

TABEL 3.1 "STANDAARD" VARIATIECOËFFICIËNTEN VOOR KLEI EN VEEN (PUNTWAARDEN) [FUGRO/GEODELFT, 2007]

Materiaal	Variatiecoëfficiënt		Opmerking
	(c')	(tanφ')	
klei	0,45	0,20	antropogene en organische klei
klei homogeen	0,275	0,15	natuurlijke niet-organische klei
veen	0,80	0,25	
zand	n.v.t.	0,15	cohesie verwaarloosbaar

- Als uitmiddelingfactor (variantiereductiefactor) wordt gebruikt: $(\Gamma^2 + 1/n)^{1/2}$, waarin Γ^2 de variantiereductiefactor is, die conform de Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken gelijk aan 0,25 wordt gekozen en n een maat voor het gemiddelde aantal proeven in een proevenverzameling, waarvoor n=10 wordt gekozen. Deze uitmiddelingfactor is ook gebruikt bij het afleiden van materiaalfactoren voor de Leidraad rivieren.
- Totale relatieve bijdrage van de schuifsterkteparameters aan de variantie van betrouwbaarheidsfunctie: $\alpha_c^2 + \alpha_{\tan \phi}^2 = 0,80$
Dit uitgangspunt is conform de keuze die voor de materiaalfactoren voor rivierdijken. *Dit is een arbitraire keuze die ook een erg veilige aanname lijkt te zijn, immers de overige 0,20 wordt dan geacht voor rekening te komen van schematiseringonzekerheden van ondergrond en waterspanningen. Er is vooralsnog geen aanwijsbare reden om hier van af te wijken.*
- Onderlinge verhouding invloedcoëfficiënten voor cohesie en hoek van inwendige wrijving (mede op basis van MproStab analyses):
 - Materiaalfactor cohesie: $\alpha_c : \alpha_{\tan \phi} = 1 : 0,75$ (dit is 4 : 3)
 - Materiaalfactor hoek van inwendige wrijving (tan φ): $\alpha_c : \alpha_{\tan \phi} = 1 : 3$
 - Voor zand is cohesie verwaarloosbaar aangenomen:
verhouding $\alpha_c : \alpha_{\tan \phi} = 1$: zeer groot getal
- Range van beoogde "target" bèta's (betrouwbaarheidsindices): $\beta = 2,0 - 4,0$
Deze range volgt uit beschouwing van mogelijke normeringen bij boezemkaden.

Een onderbouwing van bovenstaande uitgangspunten is verwoord in bijlage A.

3.3 BÈTA-AFHANKELIJKE MATERIAALFACTOREN

Op basis van bovenstaande uitgangspunten zijn bèta-afhankelijke materiaalfactoren afgeleid. Ter vergelijking zijn ook de materiaalfactoren van de nieuwe Leidraad Rivieren (verwoord in Addendum TR Waterkerende Grondconstructies) en het 'oude' rapport TR Toetsen Boezemkaden weergegeven.

TABEL 3.2 BÈTA-AFHANKELIJKE MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN RANGE $\beta = 2,00 - 4,00$ (SAMEN MET MATERIAALFACTOREN LEIDRAAD RIVIEREN EN TR BOEZEMKADEN)

Parameter		2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	Leidraad Rivieren	TR Boezemkaden
Klei / Veen aangescherpt	Variatie											
cohesie (c')	0,45	0,93	0,97	1,01	1,06	1,11	1,16	1,21	1,26	1,32	1,25	1,25
inwrijving (ϕ')	0,20	0,99	1,01	1,03	1,06	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,20	1,15
Veen	Variatie											
cohesie (c')	0,80	0,88	0,95	1,02	1,10	1,19	1,28	1,38	1,49	1,61	1,50	1,25
inwrijving (ϕ')	0,25	0,99	1,01	1,04	1,07	1,11	1,14	1,17	1,20	1,24	1,25	1,20
Klei aangescherpt	Variatie											
cohesie (c')	0,275	0,95	0,98	1,01	1,04	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,15	1,25
inwrijving (ϕ')	0,15	0,99	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,15
Zand												
cohesie (c')												
inwrijving (ϕ')	0,15	1,01	1,03	1,05	1,07	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19	1,20	1,10

Opmerking bij Tabel 3.2:

- Voor tussenliggende bèta's mag lineair worden geïnterpoleerd.
- Als 'werknorm' kunnen voor de verschillende IPO-klassen de in Tabel 4.2 gegeven bèta's worden gehanteerd.
- Met "aangescherpt" wordt bedoeld het materiaal waarbij aangetoond kan worden dat de variatie van de parameters kleiner is dan de uitgangssituatie.

Merk verder op dat eenzelfde set materiaalfactoren bij boezemkaden tot een iets lagere bèta leidt dan bij rivierdijken. Bijvoorbeeld het toepassen van de set materiaalfactoren uit Leidraad Rivieren zal bij boezemkaden resulteren in bèta = ca. 3,8 in plaats van de bij de afleiding van deze materiaalfactoren genoemde waarde bèta = 4,0.

3.4 BÈTA-ONAFHANKELIJKE MATERIAALFACTOREN EN BÈTA-AFHANKELIJKE SCHADEFACTOREN

Naar analogie van de materiaalfactoren voor primaire rivierdijken is het voor boezemkaden handig om het stelsel van materiaalfactoren zodanig in te richten dat deze opgedeeld zijn in een set basismateriaalfactoren (voor elk grondtype één) en een set schadefactoren (afhankelijk van de kadeklasse). Naast deze sets willen we nagaan of het hierbij ook mogelijk is om, net als voor de primaire rivierdijken, een schematiseringsfactor te introduceren, zodanig dat het geheel van basismateriaalfactoren, schadefactoren en default schematiseringsfactor in materiële zin aansluit aan de nu gangbare criteria voor stabiliteitsbeoordeling.

Hierbij speelt een aantal weegfactoren en keuzen een rol (zie paragraaf 3.2) namelijk:

- de onderlinge verhouding van bijdragen aan de betrouwbaarheidsfunctie van cohesie en hoek van inwendige wrijving;
- de onderlinge verhoudingen van bijdragen van verschillende grondsoorten in een kade aan de betrouwbaarheidsfunctie;
- de keuze van de basismateriaalfactoren voor de verschillende grondsoorten en het “fitten” van de schadefactoren voor de verschillende klassen;
- na ijking op de nu gebruikelijke werkwijze en criteria, de eventuele ruimte bepalen voor een (default) schematiseringsfactor.

Op het “basis-betrouwbaarheidsniveau” van de materiaalfactoren voor boezemkaden wordt in hoofdstuk 5 nader ingegaan.

3.5 OVERIGE BESCHOUWINGEN GERELATEERD AAN MATERIAALFACTOR

Spanningsafhankelijke benadering?

In de LOR1 en LOR2 zijn werkwijzen gegeven voor een spanningsafhankelijke benadering van de karakteristieke waarde van de schuifsterkte. Deel 1 van deze leidraad geeft een benadering aan waarbij rekening wordt gehouden met de negatieve correlatie tussen c' en ϕ' , die hierop neerkomt, dat men voor twee spanningsniveaus σ_a' en σ_b' de karakteristieke gemiddelde schuifsterkte bepaalt. Op basis van een linearisatie tussen deze punten kan een karakteristieke waarde voor c' en ϕ' worden afgeleid.

In LOR2 wordt aanbevolen om de schuifsterkte op de gewenste spanningsniveaus direct te interpoleren op de in de proef gevonden cirkels, en die vervolgens als basiswaarnemingen te gebruiken (de toppen van de cirkels). Op deze manier kan de procedure ook worden toegepast op materialen die zich moeilijk volgens het model van Coulomb laten beschrijven, zoals bijvoorbeeld veen.

Bij de afleiding van de materiaalfactoren voor boezemkaden spelen twee overwegingen een rol:

1. Voor welke relevante spanningsniveaus moeten de variatiecoëfficiënten worden geschat voor de bepaling van de materiaalfactoren?
2. Laat, gezien de opmerking in LOR2, het gedrag van veen en/of humeuze klei zich in voldoende mate beschrijven door het model van Coulomb of moet gezocht worden naar een alternatieve benadering van de materiaalfactoren?

Kleinere variaties?

De basismateriaalfactoren zijn mede gebaseerd op aannamen over de spreiding van schuifsterkteparameters van de betreffende grondsoort. Deze aannamen zijn representatief voor de grondsoorten en behoren ook min of meer conservatief te zijn, het zijn defaultwaarden die voor een specifieke toepassing geen nadere onderbouwing behoeven. Denkbaar is dat men door segmentering van proevenverzamelingen deelverzamelingen kan onderscheiden waarin substantieel minder spreiding voorkomt. Hierbij hoort, indien van toepassing, ook een met de segmentering corresponderende verfijning van de grondlaagopbouw.

Bij Deltares wordt momenteel gewerkt aan de opzet van een onderzoek om tot nadere segmentering van proevenverzamelingen op veen te komen. Hierbij wordt beoogd variabiliteit voor verschillende typen veen nader te specificeren. Zie bijlage B.

De gereduceerde spreidingen (met nieuwe verwachtingswaarden) hebben effect op de berekening van karakteristieke waarden van schuifsterkteparameters. Bovendien is in principe ook aanpassing van de (basis)materiaalfactoren mogelijk; in het geval van relatief hoge betrouwbaarheidsindices is de aanpassing een reductie. Vooralsnog laten we dit soort 'verfijningen' buiten beschouwing, dit kan later altijd als 'geavanceerde toets' worden ingebracht.

4

CASES

4.1 UITGANGSPUNTEN BIJ CASES

Geen trendbreuk?

Bij de afleiding van nieuwe rekenmethodieken spelen begrippen als ‘geen trendbreuk’ of ‘het minimaal trendbreuk principe’ een rol. Bij de overgang naar een nieuwe rekenmethodiek, bijvoorbeeld van rekenen met verwachtingswaarden naar rekenen met rekenwaarden, wordt getracht (minimaal) hetzelfde veiligheidsniveau te bereiken als tot dan toe gebruikelijk. Een kleine verandering in het veiligheidsniveau is bij de overgang naar een nieuwe rekenmethodiek niet uit te sluiten. Indien meerdere rekenwijzen elkaar opvolgen zou de cumulatieve verandering van het veiligheidsniveau mogelijk wel significant kunnen zijn. Hierbij dient rekening te worden gehouden bij het afleiden van het vereiste betrouwbaarheidsniveau van de glijcirkel. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de in het verleden gehanteerde rekenwijzen.

TABEL 4.1 REKENWIJZEN BIJ BOEZEMKADEN

Rekenwijze	Eis	Schematisering	Grondparameters	Model
COW	$F \geq 1,3$	niet bekend	gemiddelde waarden, gebaseerd op celproeven	Bishop, $\gamma_d = 1,0$
TRTB	$F \geq 1,0$ bij schadefactor $\gamma_n = 0,9$	niet bekend	karakteristieke waarden (spanningsafhankelijk) gebaseerd op triaxiaalproeven en materiaalfactoren LOR2	Bishop, $\gamma_d = 1,0$
LTR (katern boezemkaden)	$F \geq 1,0$ bij schadefactor afhankelijk van (vereist) veiligheidsniveau $N_{MBP} = 1/100$ dan $\gamma_n = 0,9$	niet bekend	karakteristieke waarden (spanningsafhankelijk) gebaseerd op triaxiaalproeven en materiaalfactoren LOR2	Bishop, $\gamma_d = 1,0$
Gewenst	$F \geq 1,0$ schadefactor bij basisveiligheidsniveau: $\gamma_n = 1,0$	introductie (default) schematiserings-factor	karakteristieke waarden (spanningsafhankelijk) gebaseerd op triaxiaalproeven.	Bishop, $\gamma_d = 1,0$

4.2 SELECTIE CASES

Voorgesteld wordt om bij de keuze van de cases uit te gaan van eerder reeds uitgewerkte profielen bijvoorbeeld in het kader van het door STOWA uitgevoerde droogteonderzoek. De uiteindelijke keuze van de uit te werken cases is afhankelijk van ondermeer de ruimtelijke spreiding, ondergrond (veen of niet), gevoeligheid voor droogte en beschikbaarheid van gegevens.

In eerdere rapportage zijn keuzes voorgelegd voor de te beschouwen profielen. De volgende cases zijn doorgerekend:

- Case ringdijk Boskoop: veenkade (deels veen, deels klei), uitgevoerd door Fugro in het kader van het droogteonderzoek
- Case Prinsendijk Enkele Wiericke: veenkade (deels veen, deels klei), uitgevoerd door Fugro in het kader van het droogteonderzoek

- Case Hoogmadese polder: kleikade uit het stabiliteitsonderzoek boezemkaden Rijnland, uitgevoerd door Fugro;
- Case Weelkade te Aartswoud, uitgevoerd door Fugro.
- Case Fryslan, uitgevoerd door Fugro.
- Case Rijnsaterwoudschepolder, uitgevoerd door Fugro.
- Case Waternet; veenkade, door Geodelft (Deltares) uitgevoerd i.h.k.v. advisering.
- Case Heerhugowaard; kleikade op veen, door Geodelft (Deltares) uitgevoerd i.h.k.v. droogteonderzoek.

4.3 WERKWIJZE

Voor de bovengenoemde cases zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- Stap 1: berekening met materiaalfactoren TR toetsen Boezemkaden en schadefactoren uit IPO-klassen;
- Stap 2: berekeningen met onafgeronde materiaalfactoren als functie van de betrouwbaarheidsindex β voor de range $\beta = 2,00 - 4,00$ (zie tabel 3.2);
- Stap 3: berekening met afgeronde materiaalfactoren uit het addendum bij het TR Waterkerende Grondconstructies (nieuwe materiaalfactoren Leidraad Rivieren).

Opgemerkt wordt dat een aantal van deze cases ten behoeve van deze studie zodanig zijn ‘aangepast’ dat de berekeningsresultaten niet langer van toepassing zijn op de werkelijke situatie.

De relatie tussen de IPO-klasse en betrouwbaarheidsindex β is niet éénduidig, zie hoofdstuk 2. Vooralsnog is in de presentatie van de cases de volgende relatie gehanteerd:

TABEL 4.2 AANGENOMEN RELATIE TUSSEN IPO-KLASSE EN BÈTA (GESCHAT)

IPO-klasse	I	II	III	IV	V
Schadefactor	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Bèta	2,20	2,53	2,85	3,15	3,45

De relatie is overigens niet eenduidig. De relatie tussen schadefactor en bèta wordt o.a. beïnvloed door de grootte van de variaties van de in de berekening relevante parameters.

Overigens is het niet strikt noodzakelijk om bij de introductie van de uiteindelijke set materiaal- en schematiseringsfactoren deze bèta’s te presenteren. Men kan er ook voor kiezen om alleen de IPO-klasse te noemen (en in het midden te laten welke bèta hier gemiddeld bij hoort).

Voor het afleiden van “maatwerk” materiaalfactoren (zie paragraaf 5.6 conclusies, onderdeel “aanscherpen van materiaalfactoren”) is echter een bèta-keuze noodzakelijk. Aanbevolen wordt hierbij de relaties tussen kadeklassen en bèta’s in tabel 4.2 in beginsel aan te houden.

4.4 RESULTATEN CASES

In onderstaande figuren 4.1 t/m 4.16 worden de resultaten per case gepresenteerd. Per case wordt aangegeven:

- Het doorgerekende dwarsprofiel, met daarin de laagopbouw en maatgevende glijcirkel. Dit betreft de cirkel zoals deze met de vigerende materiaalfactoren wordt gevonden. De berekende stabiliteitsfactor is nog niet gecorrigeerd met de schadefactor, behorende bij een bepaalde IPO-klasse.

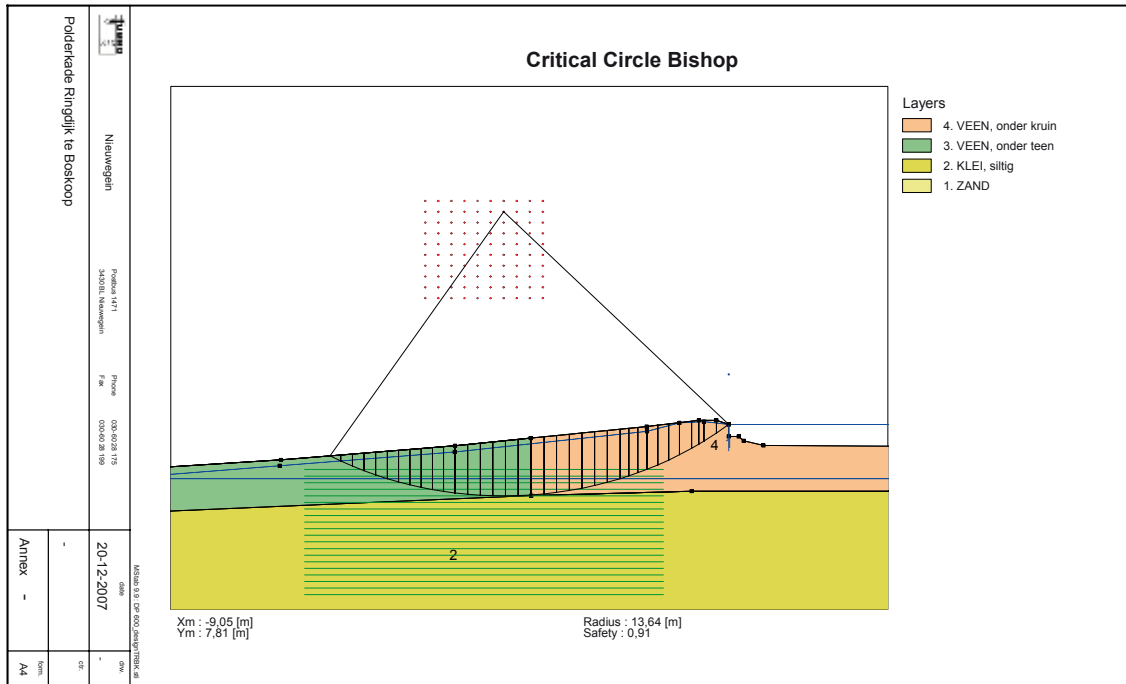
De boezemkade bij case Boskoop vertoont als enige een grote afwijking. Bij een tweetal kaden is gebruik gemaakt van aangescherpte waarden, dit betreft de Weelkade (Klei zandig) en Prinsendijk (Klei diep).

Overigens is gebleken dat ook bij de andere sets materiaalfactoren min of meer hetzelfde glijvlak wordt gevonden. Hiermee is dit dwarsprofiel inclusief glijcirkel voldoende representatief voor alle beschouwde situaties.

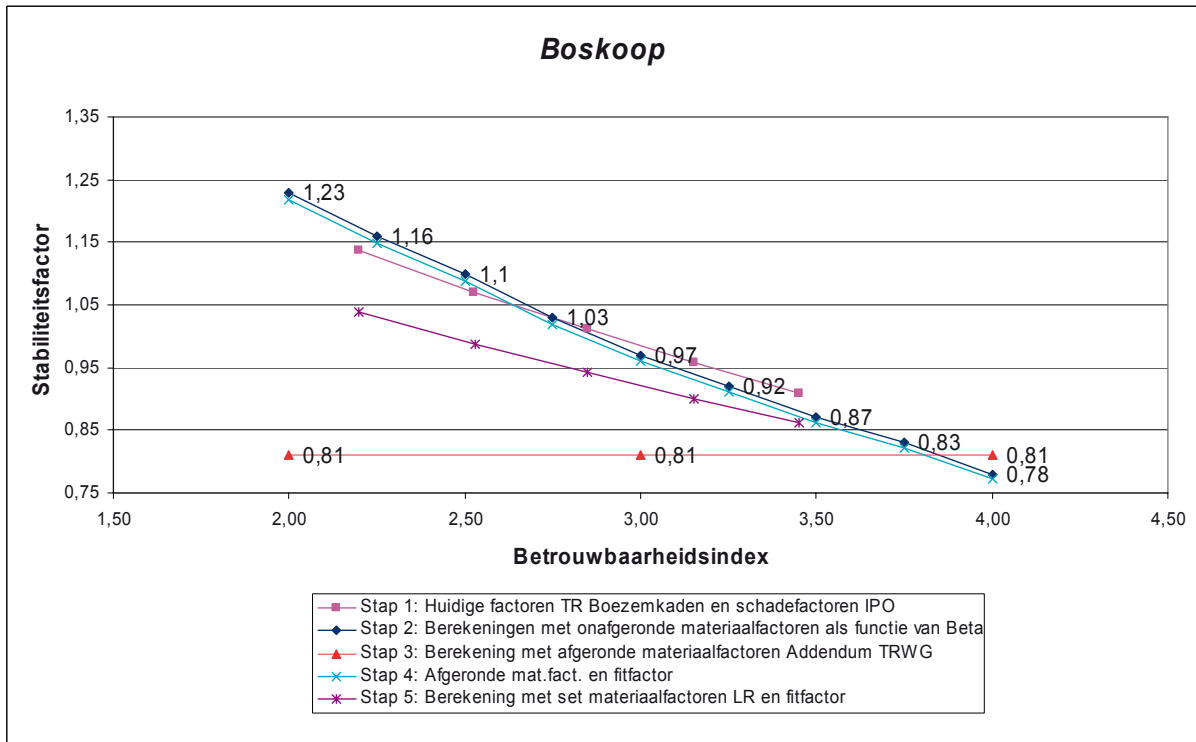
- Een grafiek met daarin aangegeven het verloop van de stabiliteitsfactor als functie van de bèta voor:
 - 1 de huidige materiaalfactoren (TR Boezemkaden) en IPO-schadefactor 0,8 oplopend tot 1,0 voor IPO-klasse I resp. V;
 - 2 de nieuwe materiaalfactoren uit tabel 3.2;
 - 3 de materiaalfactoren uit nieuwe Leidraad Rivieren (gepresenteerd als horizontale lijn, bijbehorende bèta 'onbekend');
 - 4 de nieuwe materiaalfactoren uit tabel 3.2, met correctie 0,98 à 0,99 (fitfactor voor klei- resp. veenkaden);
 - 5 de materiaalfactoren uit nieuwe Leidraad Rivieren, en met aangepaste schadefactor 0,78 oplopend tot 0,94 voor IPO I resp. V (zodanig dat het verloop gemiddeld redelijk op dat van stap 4 past).

4.4.1 CASE BOSKOOP

FIGUUR 4.1 PROFIEL CASE BOSKOOP

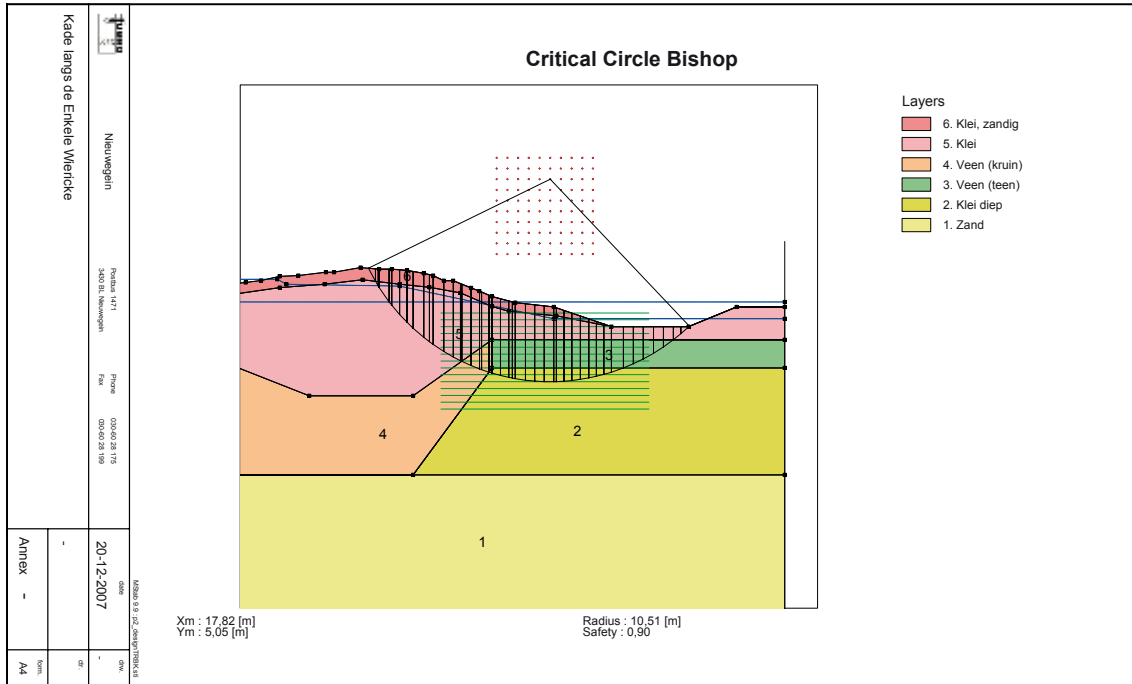


FIGUUR 4.2 RESULTATEN CASE BOSKOOP

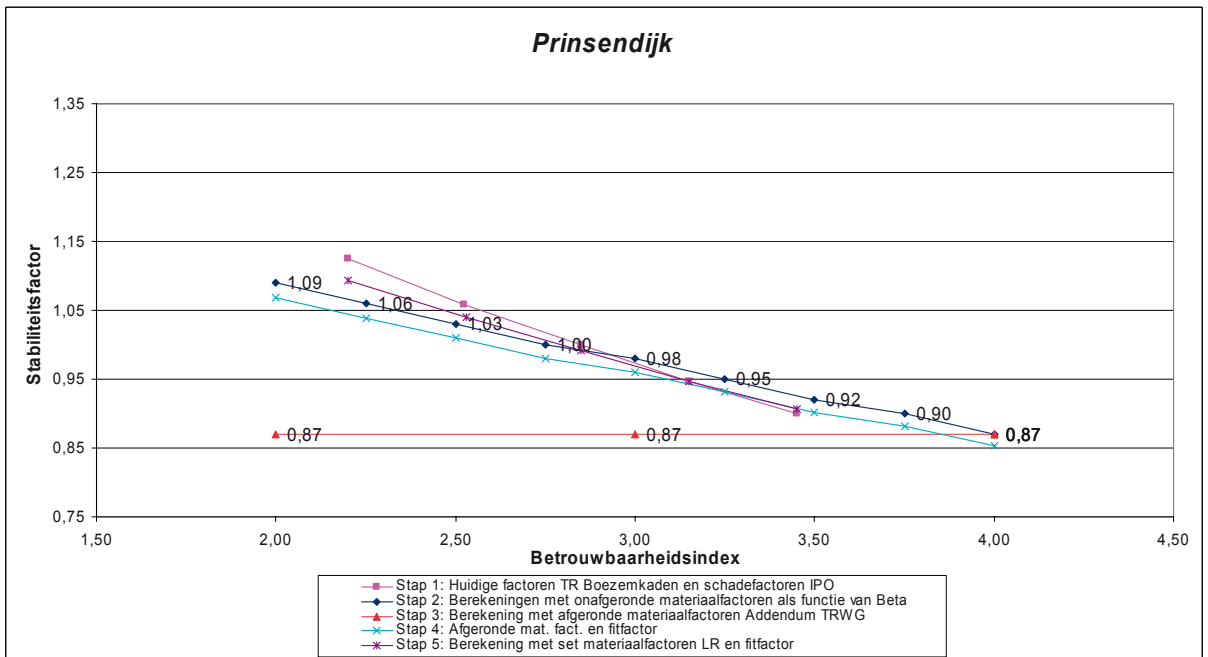


4.4.2 CASE PRINSENDIJK

FIGUUR 4.3 PROFIEL CASE PRINSENDIJK

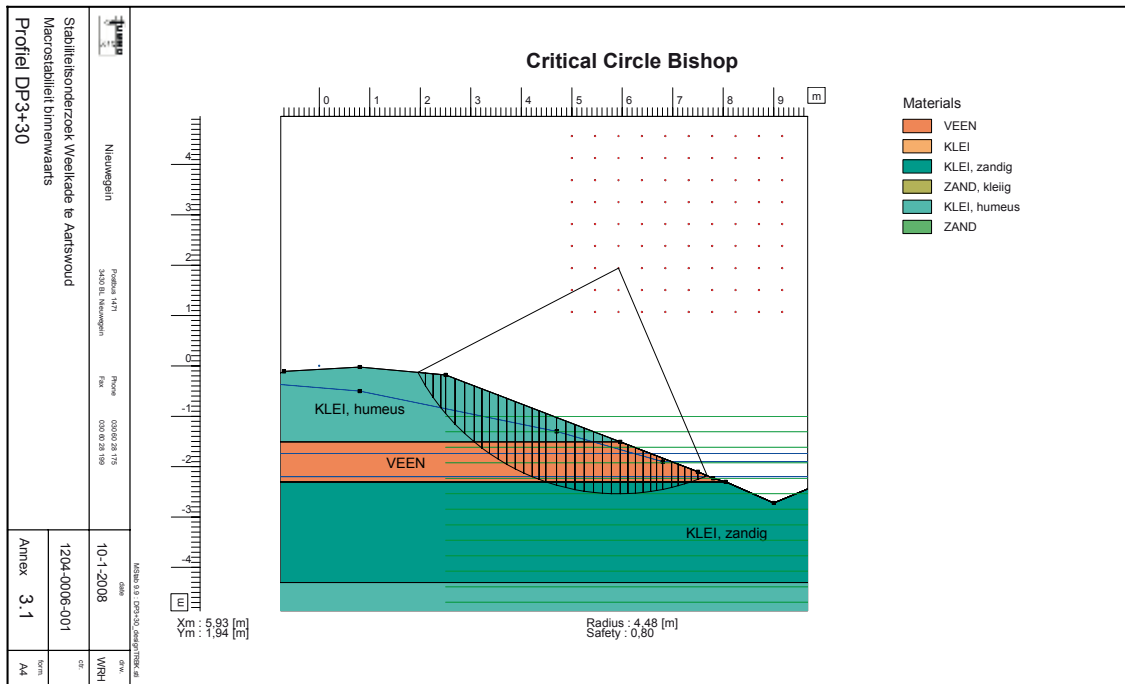


FIGUUR 4.4 RESULTATEN CASE PRINSENDIJK

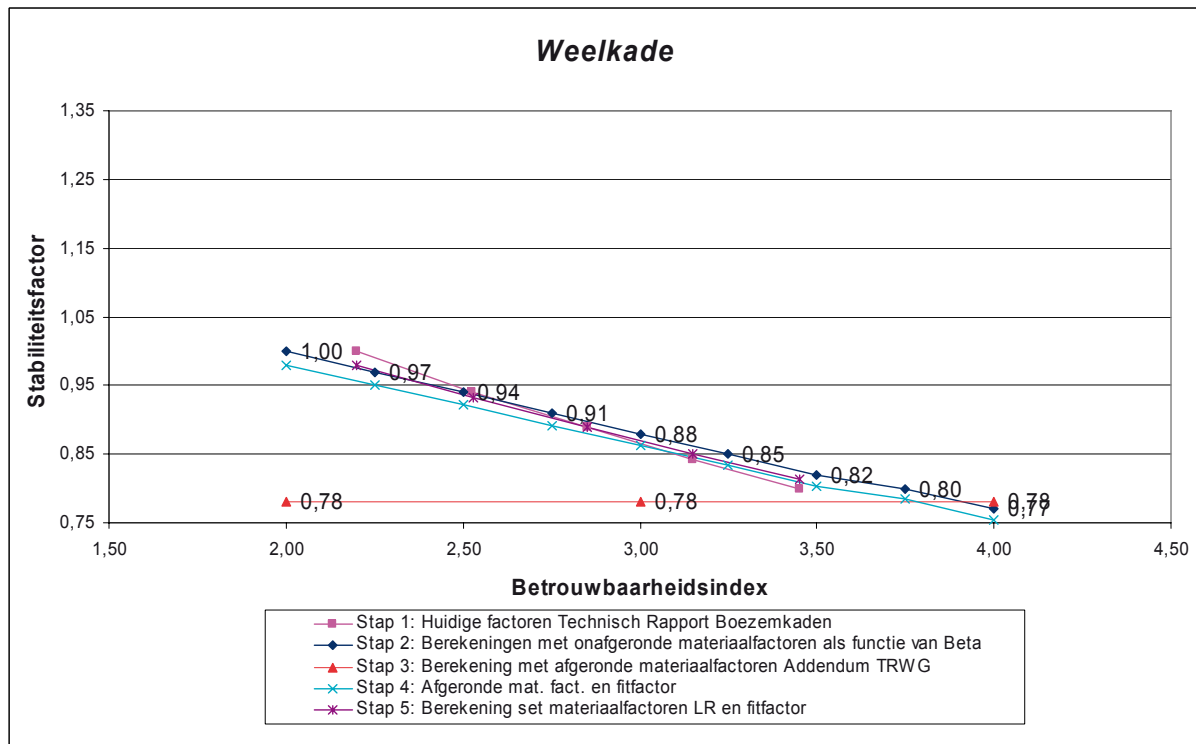


4.4.3 CASE WEELKADE

FIGUUR 4.5 PROFIEL CASE WEELKADE

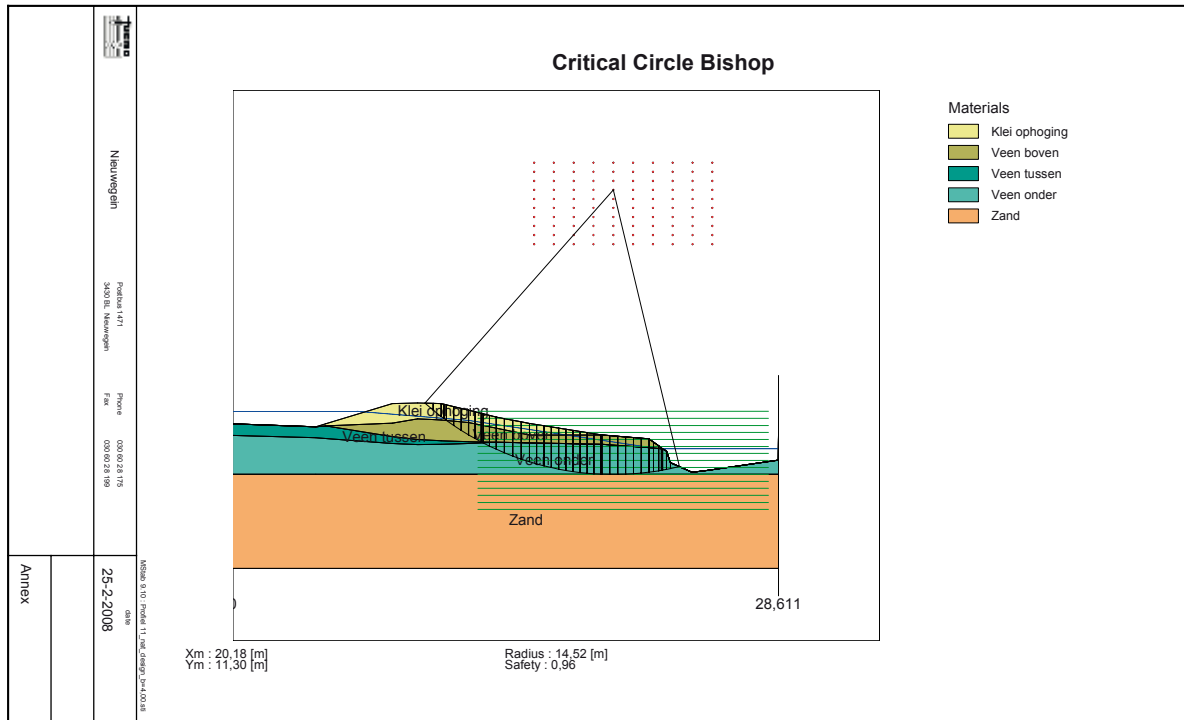


FIGUUR 4.6 RESULTATEN CASE WEELKADE

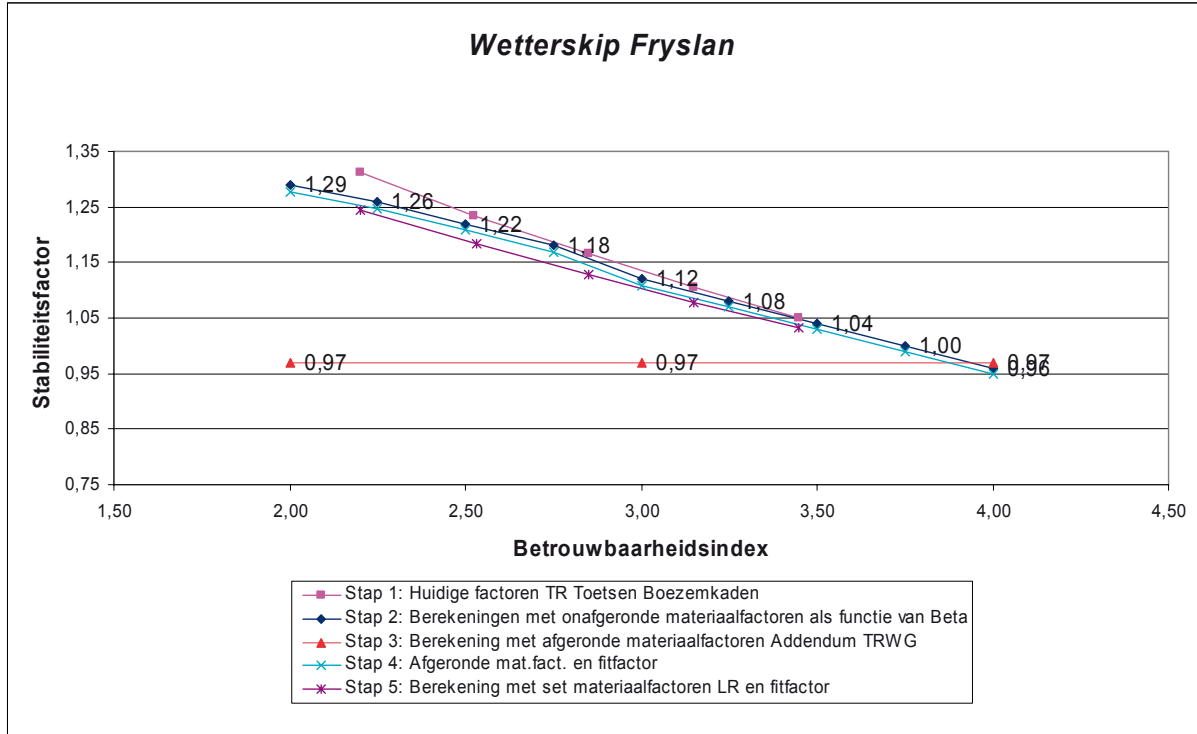


4.4.5 CASE FRYSLAN

FIGUUR 4.9 PROFIEL CASE FRYSLAN

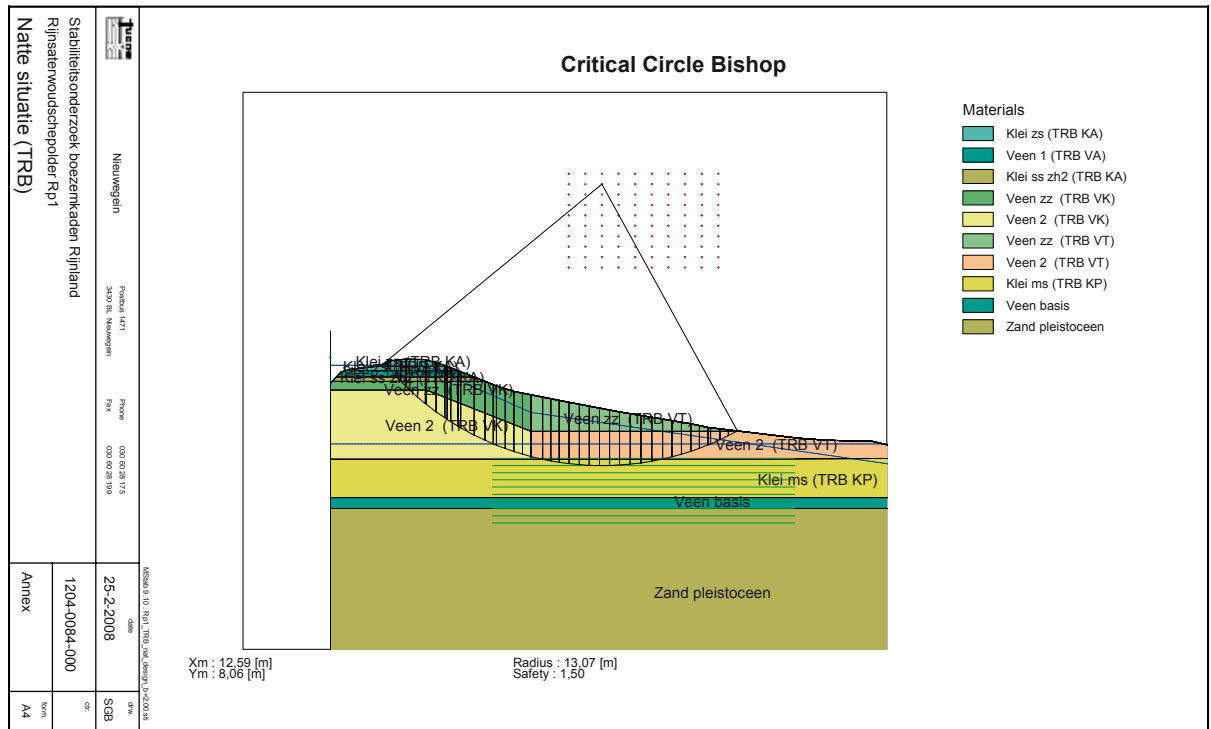


FIGUUR 4.10 RESULTATEN CASE FRYSLAN

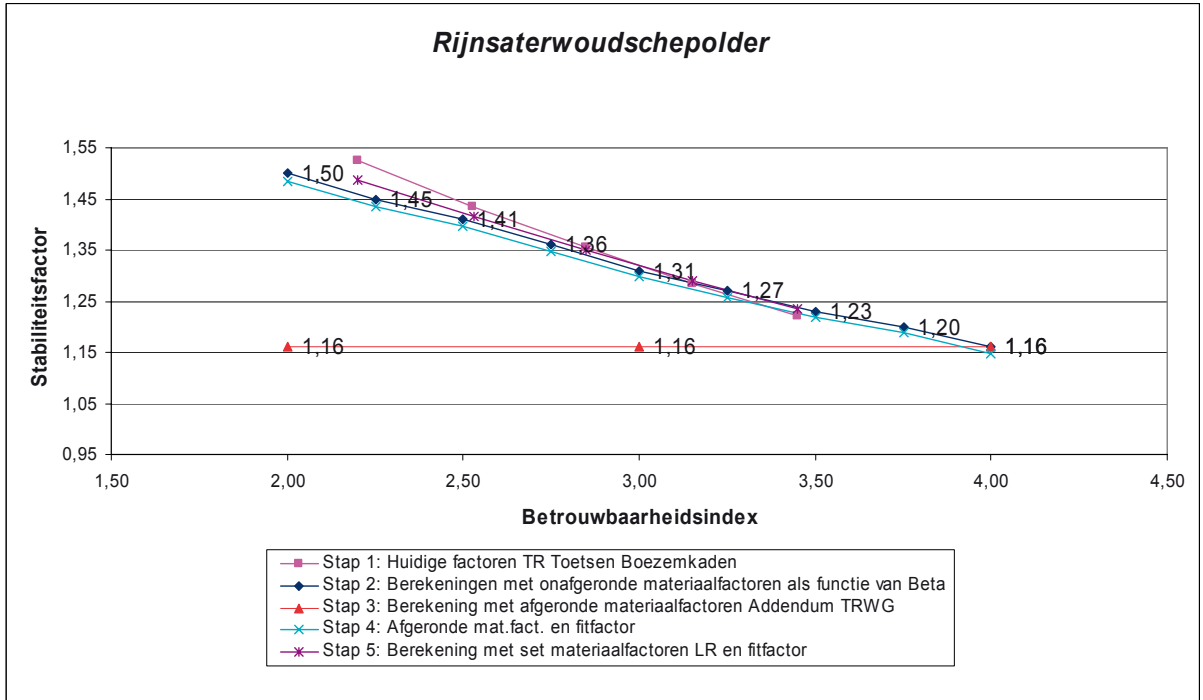


4.4.6 CASE RIJNSATERWOUDSCHEPOLDER

FIGUUR 4.11 PROFIEL CASE RIJNSATERWOUDSCHEPOLDER

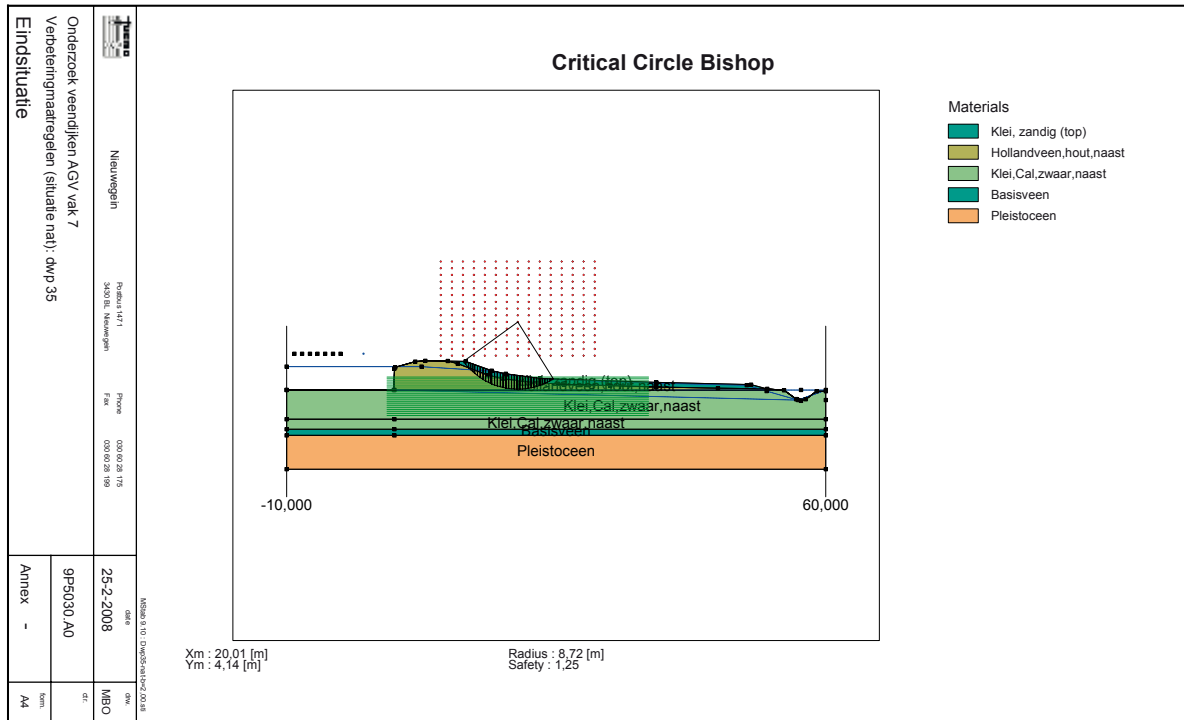


FIGUUR 4.12 RESULTATEN CASE RIJNSATERWOUDSCHEPOLDER

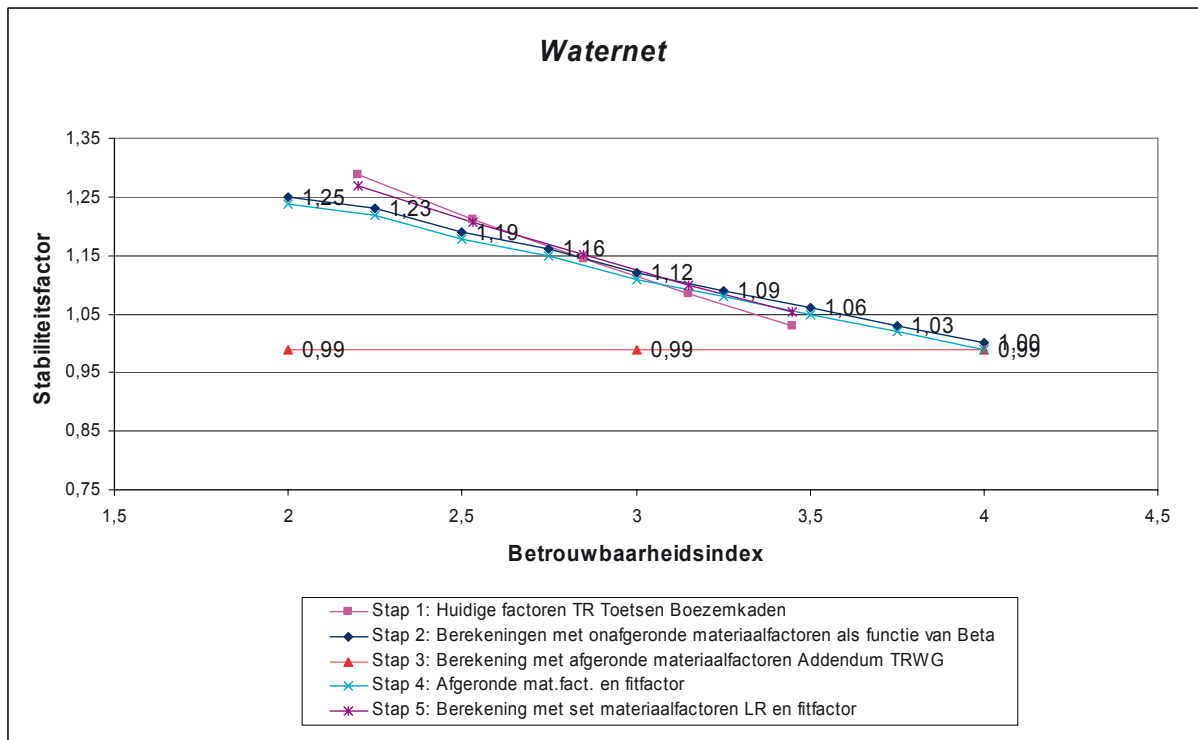


4.4.7 CASE WATERNET

FIGUUR 4.13 PROFIEL CASE WATERNET



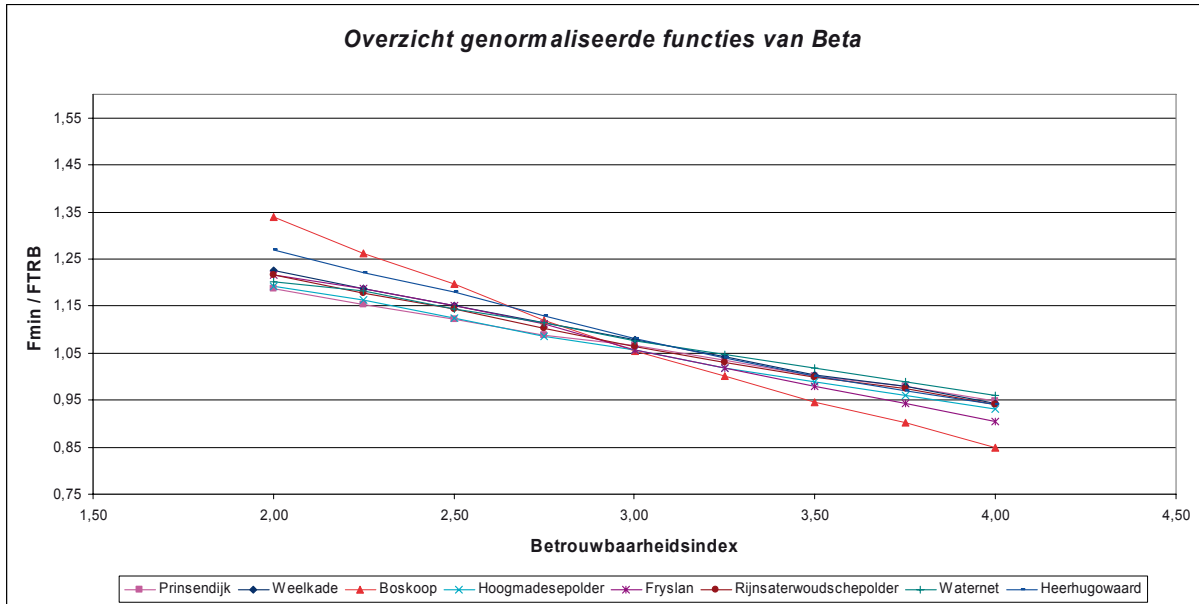
FIGUUR 4.14 RESULTATEN CASE WATERNET



4.4.9 OVERZICHT RESULTATEN CASES

In figuur 4.17 zijn de resultaten van de 8 beschouwde cases gecombineerd. Hiertoe was het nodig om de stabiliteitsfactor te ‘normeren’, ofwel te delen door de stabiliteitsfactor F_{trb} die zou zijn gevonden bij toepassing van de voor boezemkaden vastgestelde materiaalfactoren.

FIGUUR 4.17 VERGELIJKING ONDERZOEKSRESULTATEN



5

KEUZE SET MATERIAALFACTOREN

5.1 INLEIDING

Gekozen wordt voor één set materiaalfactoren, waarbij de verschillen tussen IPO-klassen worden verdisconteerd met een IPO-klassefactor (of schadefactor), conform de huidige werkwijze. Voor de set materiaalfactoren worden twee opties onderzocht:

- 1 Nieuwe set materiaalfactoren voor boezemkaden, afgestemd op IPO V
- 2 Set materiaalfactoren zoals gepresenteerd voor Leidraad Rivieren

5.2 RESULTATEN MET NIEUWE MATERIAALFACTOREN

Er is gebruik gemaakt van een set afgeronde materiaalfactoren bij een betrouwbaarheidsindex van 3,45 behorende bij IPO V. In tabel 5.1 is de set afgeronde materiaalfactoren weer gegeven (afronding op 0,05 is gebruikelijk in normen).

TABEL 5.1 SET VAN AFGERONDE MATERIAALFACTOREN

Materiaal	(c°)	(tanφ)
Klei	1,20	1,15
Veen	1,35	1,15
Klei aangescherpt ¹	1,10	1,10
Veen aangescherpt ²	1,20	1,15
Zand	0	1,15

¹ De materiaalfactoren voor “klei aangescherpt” geldt voor natuurlijke niet-organische klei waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk $V_c \leq 0,275$ en $V_\phi \leq 0,15$.

² De materiaalfactoren voor “veen aangescherpt” geldt voor veen waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk $V_c \leq 0,45$ en $V_\phi \leq 0,20$.

Voor de analyse is onderscheid gemaakt tussen twee typen boezemkades:

- 1 Overwegend klei met veen (4 cases);
- 2 Overwegend veen met klei (4 cases).

Tabel 5.2 geeft per case de resultaten met a) niet-afgeronde materiaalfactoren en b) afgeronde materiaalfactoren conform tabel 5.1.

TABEL 5.2 OVERZICHT STABILITEITSFACTOREN

Case	Stabiliteitsfactor met niet afgeronde materiaal-factoren uit deze studie	Stabiliteitsfactor met afgeronde materiaal-factoren in tabel 5.1	
Prinsendijk	0,92	0,92	1,00
Weelkade	0,82	0,83	0,99
Heerhugowaard	0,98	0,99	0,99
Hoogmadesepolder	1,03	1,03	1,00
Fryslan	1,04	1,05	0,99
Rijnsaterwoudse Polder	1,23	1,24	0,99
Kade Waternet	1,06	1,07	0,99
Boskoop	0,87	0,88	0,99
<i>Gemiddeld</i>			<i>0,99</i>

Er is gekozen om voor IPO-klasse V (IPO V) geen trendbreuk te hanteren. Dit betekent dat voor IPO V de schadefactor vastgelegd wordt op 1,0. Voor zowel de veen- als de kleikaden liggen de stabiliteitsfactoren voor IPO V volgens de vigerende en de nieuwe afgeronde factoren bijna op elkaar. Het is gebleken bij toepassing van de afgeronde materiaalfactoren dat er iets minder scherp wordt gerekend (je vindt een iets lagere stabiliteitsfactor) dan bij niet afgeronde materiaalfactoren, ofwel je keurt iets sneller af.

De fitfactor (dit is de factor waarmee je de nieuwe stabiliteitsfactor moet vermenigvuldigen om bij IPO V precies op oude resultaat te komen) ligt voor klei op gemiddeld 0,98 en voor veen op 0,99, dus voor beide typen zeer dicht bij 1,00. Hieruit blijkt dat, wanneer men uitgaat van de default (hoge) materiaalfactoren voor veen, men bij IPO V iets strenger zal zijn dan bij klei. De fitfactor 0,98 komt overeen met een 'laagst toegestane' schematiseringsfactor 1,02 (= 1/0,98), af te ronden op 1,00, om schijnnaauwkeurigheid te vermijden.

Dit leidt dan tot de volgende voorlopige keuzes:

- Basismateriaalfactoren volgens tabel 5.1
- Keuze IPO-klasse factoren 0,80 voor IPO I oplopend met 0,05 tot 1,00 voor IPO V. Deze blijven dus zoals ze nu zijn.
- De default schematiseringsfactor is 1,20. Dit is de ondergrens van 1,00 plus een schematiseringsmarge van 0,20 (halve adviesfactor 1,4 als bij de Leidraad Rivieren).

5.3 RESULTATEN CASES MET MATERIAALFACTOREN UIT DE LEIDRAAD RIVIEREN

De cases zijn vervolgens ook doorgerekend met de materiaalfactoren uit de nieuwe Leidraad Rivieren. Hiermee zijn dus bekend:

- De gevonden stabiliteitsfactoren bij gebruik van de materiaalfactoren uit de Leidraad Rivieren (nog niet wetende bij welke IPO-klasse dit dan zou moeten horen)
- De gevonden stabiliteitsfactoren bij gebruik van de voorgestelde set factoren bij IPO V veiligheid (zie tabel 5.2).
- De benodigde correctiefactoren als je zou kiezen voor de materiaalfactoren uit de Leidraad Rivieren.

In Tabel 5.3 zijn de correctiefactoren gepresenteerd. Hieruit blijkt dat er een gemiddelde correctiefactor 0,94 wordt gevonden.

TABEL 5.3 OVERZICHTSTABEL CORRECTIEFACTOREN BIJ TOEPASSING LR-MATERIAALFACTOREN

Case	Stabiliteitsfactor	Stabiliteitsfactor	Correctiefactor
	Nieuwe materiaalfactoren	Materiaalfactoren LR	
Prinsendijk	0,92	0,87	0,95
Weelkade	0,83	0,78	0,94
Heerhugowaard	0,99	0,93	0,94
Hoogmadeseypolder	1,03	0,97	0,94
Fryslan	1,05	0,97	0,92
Rijnsaterwoudse Polder	1,24	1,16	0,94
Kade Waternet	1,07	0,99	0,93
Boskoop	0,88	0,81	0,92
<i>Gemiddeld</i>			<i>0,94</i>

Al eerder is gesteld dat het verschil tussen IPO-klassen 0,05 is. Als we ook hier weer kiezen voor een afronding op eenheden van 0,05 (om geen schijnnaauwkeurigheid te suggereren) vinden we IPO-klasse factoren 0,75 voor IPO I oplopend tot 0,95 voor IPO V. Een factor 1,00 zou nu overeenkomen met een (nog niet bestaande) IPO VI klasse.

TABEL 5.4 IPO-SCHADEFACTOREN BIJ TOEPASSING MATERIAALFACTOREN LEIDRAAD RIVIEREN

IPO-klasse	I	II	III	IV	V	VI
Schadefactor γ_n	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00

De schematiseringsfactor blijft ongewijzigd (default 1,20, te reduceren tot 1,0 op basis van onderbouwing schematiseringsuitgangspunten voor ondergrond en waterspanningen).

5.4 ROBUUSTHEIDSTOESLAG

Robuustheid is het gesteld staan wanneer zich onverwachte tegenvallers voordoen (bijvoorbeeld in de ontwikkeling van belastingen). In de set factoren (materiaalfactor, schadefactor en schematiseringsfactor) voor het ontwerpen van boezemkaden is geen rekening gehouden met een eventuele wens om robuust te ontwerpen. Een dergelijke wens zou ook niet in de set factoren verwerkt moeten worden, maar in de ontwerpuitgangspunten. Indien gekozen wordt voor een 'robuust ontwerp', kan aanvullend naast de bovengenoemde set factoren een robuustheidstoetslag te worden bepaald (bijvoorbeeld naar analogie met Leidraad Rivieren). Hierbij zijn de volgende overwegingen van belang:

- De afleiding van de set factoren is gebaseerd op de IPO-klassen, die zijn bepaald bij een betrouwbaarheidsniveau behorend bij een 'afkeurgrens'. Het voor een ontwerp gewenste betrouwbaarheidsniveau zal in beginsel hoger moeten liggen. Zie ook de onderliggende rapporten bij het afleiden van de IPO-klassen.
- Het principe van 'robuust ontwerpen' is in de Leidraad Rivieren expliciet vorm gegeven met een toeslag op de waterstand van 0,30 m. In het daarna verschenen Ontwerpkader voor Rivierdijken wordt aangegeven dat de toeslag nog verder kan worden gespecificeerd naar type kering en belastingen. Het 'robuust ontwerpen' voor boezemkaden kan derhalve door andere afwegingen op een ander manier worden vormgegeven.

5.5 KEUZE

5.5.1 DILEMMA: SPECIFIEKE MATERIAALFACTOR OF AANPASSING SCHADEFACTOR

De keuze uit deze mogelijkheden is complex gebleken voor de Begeleidingscommissie Boezemkaden, het Kernteam Regionale Waterkeringen en de STOWA programma-commissie Waterwerken. Daarbij spelen verschillende argumenten een rol en heersen binnen de waterschappen en provincies verschillende meningen. Overwegingen bij de keuze zijn bijvoorbeeld:

1. Inhoudelijk, voor aanpassing schadefactor:
materiaal (grond) is materiaal, ongeacht het type waterkering waarin / -onder het zich bevindt, het verschil tussen typen waterkeringen zit in de (voorkomen) schaden. Ofwel: voor alle waterkeringen dienen (bij de afleiding van de sterkte-eigenschappen van de grondlagen) dezelfde materiaalfactoren te gelden, en dient elke differentiatie te worden verwerkt in de schadefactoren.
2. Inhoudelijk, voor vaststelling specifieke materiaalfactor:
de afleiding is gebaseerd op specifieke kenmerken waarin boezemkaden gedeeltelijk afwijken van bijv. rivierdijken, dus inhoudelijk lijkt een aanpassing van de materiaalfactor logisch. Dergelijke kenmerken betreffen bijvoorbeeld de onderlinge verhouding van de bijdrage van de cohesie en de wrijvingshoek aan de stabiliteit en de variatie in de buitenwaterstand.
3. Praktisch, tegen beide mogelijkheden:
de vrees bestaat voor verwarring in de adviespraktijk. Dit argument geldt ten aanzien van beide keuzen, ofwel elke verandering vergt zorgvuldige communicatie naar de waterkering-beheerders, toezichthouders en adviseurs.
4. Maatschappelijk, voor vaststelling specifieke materiaalfactor:
het uitleggen van een verlaging van de schadefactor en de resulterende laagste waarde (van 0,75) aan burgers en bestuurders is in potentie controversieel en daarmee meer complex dan het uitleggen van de introductie van een specifieke materiaalfactor (alleen uit te leggen aan “ingewijden”).

In het kader van de besluitvorming is de werkgroep Techniek van het ENW om advies gevraagd, en zijn enkele waterkeringbeheerders door STOWA rechtstreeks verzocht om een advies vanuit hun beleving van uit de praktijk. De werkgroep Techniek heeft geadviseerd de resultaten van de studie niet te verwerken in de adviespraktijk, ofwel het behoud van de oorspronkelijke schadefactoren voor boezemkaden en het toepassen van materiaalfactoren zoals die voor rivierdijken gelden. Argument hierbij is het voorkomen van eventuele verwarring in de praktijk. De verschillende waterkeringbeheerders hebben zeer uiteenlopend geadviseerd met de bovenstaande al genoemde argumenten.

5.5.2 UITEINDELIJKE KEUZE: SPECIFIEKE MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN

Belangrijke overweging van het Kernteam Regionale Waterkeringen bij de keuze was de wens om de potentiële optimalisatie ook daadwerkelijk te “verzilveren”, vooraleerst bij het ontwerpen van een kadeverbetering maar zo mogelijk in de toekomst ook bij de toets op veiligheid van boezemkaden. Hierdoor viel de derde overweging af. De wens tot het kunnen verzilveren is groot, aangezien uit de eerste resultaten van de toets op veiligheid van boezemkaden blijkt dat de stabiliteit van veel kaden niet voldoet aan de gestelde veiligheidsnormen.

Uiteindelijk heeft het Kernteam gekozen voor de vaststelling van specifieke materiaalfactoren voor boezemkaden. Doorslaggevend argument bij deze keuze is dat een verlaging van de schadefactoren als meer onwenselijk wordt beschouwd dan de introductie van specifieke materiaalfactoren voor boezemkaden, omdat een dergelijke verlaging bestuurlijk / maatschappelijk moeilijk uit te leggen lijkt evenals de resulterende toename van het verschil in schadefactoren tussen boezemkaden en primaire waterkeringen.

Verder geldt dat binnen het Ontwikkelingsprogramma voor alle typen regionale waterkeringen een gelijk verloop van de schadefactor per veiligheidsnorm geldt, op basis van de voorkomen schade (veiligheidsnorm). Verlaging van de schadefactoren voor boezemkaden heeft dus als nadelige consequentie dat dan verschillende schadefactoren voor de verschillende regionale keringen bij een gelijke veiligheidsnorm gelden. Het Kernteam vindt deze consequentie tenminste net zo bezwaarlijk als het ontstaan van specifieke materiaalfactoren voor boezemkaden.

5.6 CONCLUSIE

Voor het ontwerpen van boezemkaden dienen onderstaande materiaalfactoren, schadefactoren en schematiseringsfactoren te worden toegepast. Deze factoren dienen als onlosmakelijke set te worden beschouwd, uitsluitend bedoeld voor het ontwerpen van boezemkaden.

MATERIAALFACTOREN

In de materiaalfactor γ_m zijn onzekerheden ten aanzien van de beschrijving van de schuifsterkte verdisconteerd. Dit is afhankelijk van de grondsoort, maar ook van de beproevingsmethode.

De in de huidige adviespraktijk te hanteren materiaalfactoren voor boezemkaden zijn gepresenteerd in tabel 5.5. Let op, deze set materiaalfactoren is niet gelijk aan de set materiaalfactoren conform Leidraad Rivieren.

TABEL 5.5 MATERIAALFACTOREN VOOR BOEZEMKADEN

Grondsoort en parameter			Variatiecoëfficiënt V	γ_m
alle grondsoorten	volumieke massa nat/droog	(ρ)		1,0
klei	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,45	1,20
	- inwendige wrijving	($\tan \varphi$)	0,20	1,15
veen	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,80	1,35
	- inwendige wrijving	($\tan \varphi$)	0,25	1,15
zand	(TP-CD)			
	- cohesie	(c)	n.v.t.	n.v.t.
	- inwendige wrijving	($\tan \varphi$)	0,15	1,15
Samendrukkingsconstanten	- Terzaghi	(C, A)		1,1
	- Buisman-Koppejan	(C_p, C_s)		1,1

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

TP-CD = triaxiaalproef, geconsolideerd en gedraineerd

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

Materiaalfactoren bij sterkteparameters uit triaxiaalproeven

De materiaalfactoren zijn bepaald, uitgaande van de bepaling van de effectieve cohesie c' en hoek van inwendige wrijving $\tan \phi'$ met behulp van CU triaxiaalproeven [CU: Consolidated (= geconsolideerd) en Undrained (= ongedraineerd)]. Aangehouden is een rekgrens van 2 à 5%, zijnde een voldoende veilige benadering van de residuele sterkte.

Materiaalfactoren voor sterkteparameters uit NEN 6740 / Eurocode

Indien de sterkteparameters op basis van tabel 1 uit NEN 6740 worden geschat dienen de materiaalfactoren uit NEN 6740 te worden gebruikt, of zoveel hoger als volgt uit tabel 1 van deze ontwerprichtlijn. Bij gebruik van de Eurocode dienen de materiaalfactoren conform RC3 te worden gebruikt, of zoveel hoger als volgt uit tabel 1 van deze ontwerprichtlijn.

Aanscherpen van de materiaalfactoren

Indien de gebruiker beschikt over een goede schatting van de variatiecoëfficiënten, waarbij blijkt dat deze lager zijn dan de variatiecoëfficiënten die zijn gebruikt bij de afleiding van de materiaalfactoren, kunnen lagere materiaalfactoren worden afgeleid (zie ook paragraaf 4.3)

SCHADEFACTOR

Per kadevak dient voor het ontwerp de vereiste betrouwbaarheid bepaald te worden, zodat bepaald kan worden in welke IPO-veiligheidsklasse de betreffende kadevak valt. Door middel van een schadefactor wordt de basisbetrouwbaarheidsniveau gecorrigeerd voor de vereiste betrouwbaarheid in de verschillende IPO-klassen. De te hanteren schadefactor per IPO-klasse is weergegeven in tabel 2.

TABEL 2 SCHADEFACTOREN VOOR BOEZEMKADEN

IPO-klasse	I	II	III	IV	V
Schadefactor γ_n	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00

SCHEMATISERINGSFACTOR

Het uitgangspunt van de stabiliteitsbeoordeling is een conservatieve inschatting van de bodemopbouw en waterspanningen. De onzekerheid hierin wordt vooralsnog verdisconteerd met een schematiseringsfactor $\gamma_b = 1,2$. De schematiseringsfactor kan onderbouwd worden gereduceerd, maximaal tot 1,0.

De komende periode zal de procedure voor het vaststellen van de schematiseringsfactor worden uitgewerkt. Beoogd wordt een procedure waarbij de schematiseringsfactor voor een specifieke situatie afhankelijk is van de kwaliteit en kwantiteit van de informatie op basis waarvan de schematisering plaatsvindt (informatie uit grondonderzoek, kennis van de geologie en geohydrologie van het gebied en gebiedservaring). De verwachting is dat de schematiseringsfactor dan, afhankelijk van die informatie, tussen de 1,2 en 1,0 kan liggen.

Daarmee wordt een aanpak geïntroduceerd waarbij naarmate minder onzekerheid over de bodemopbouw en waterspanningen is, ook minder onzekerheidsafdekking door middel van de schematiseringsfactor nodig is.

5.7 AANBEVELINGEN

In aanvulling op de conclusies uit voorgaande paragraaf wordt voor verdere toekomstige ontwikkelingen aanbevolen om nader onderzoek te verrichten naar:

- de wijze waarop het begrip 'robuust ontwerpen' kan worden toegepast bij boezemkaden. Merk op dat bij de afleiding van de IPO-klassen is ontraden om deze 'afkeurgrenzen' ook zondermeer voor ontwerpen te gebruiken, dat voor rivierdijken expliciet een robuustheidsmarge voor ontwerpen is geïntroduceerde. Ook wordt bij toepassen van de IPO-normering impliciet geaccepteerd dat de kans op overstroming door afschuiving groter is dan door overlopen/overslag.
- de mogelijkheid dat een nadere specificatie naar veensoorten kan resulteren in aangescherpte materiaalfactoren.
- inzet van de nieuwe set materiaalfactoren, schadefactoren en schematiseringsfactor voor toetsvraagstukken.

6

REFERENTIES

[TRTB 1993]

Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden, TAW, juni 1993

[LOR 1 1985]

Leidraad voor het Ontwerpen van rivierdijken, deel 1 – Bovenrivierengebied, TAW, september 1985

[LOR 2 1989]

Leidraad voor het Ontwerpen van rivierdijken, deel 2 – Benedenrivierengebied, TAW, september 1989

[TRWG 2001]

Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW, juni 2001

[FUGRO 1998a]

Achtergronden bij de richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, opdrachtnummer M-0293, rapport M0293.R11, maart 1998

[FUGRO 1998b]

Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, opdrachtnummer M-0293, rapport M0293.R10, maart 1998

[Fugro/GeoDelft 2007]

Voorstel Materiaalfactoren Blok 2. Fugro Rapport 1206-0075-00, 28 Feb. 2007

[STOWA, 2007]

Leidraad toetsen op Veiligheid van Regionale Waterkeringen (groene versie)

[STOWA, 2004]

Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte, rapport 37-2004.
Uit rapportage Droogte onderzoek Veenkaden

BIJLAGE A

BEREKENING VAN MATERIAALFACTOREN VOOR BOEZEMKADEN

Opgesteld door E. Calle - Deltares

UITGANGSPUNTEN BIJ DE BEREKENING VAN MATERIAALFACTOREN VOOR BOEZEMKADEN

Materiaalfactoren voor boezemkaden worden op dezelfde wijze berekend als de materiaalfactoren die voor primaire dijken zijn afgeleid, zie [1] en [2]. In het spreadsheet worden verdelingen opgegeven voor de bijdragen aan de variantie van de betrouwbaarheidsfunctie (m.b.t. het falen als gevolg van macro-instabiliteit), namelijk:

- de totale relatieve bijdragen van de (onzekerheden van de) schuifsterkteparameters

$$\alpha_{c,\phi}^2 = \alpha_c^2 + \alpha_\phi^2$$
- de onderlinge verhouding $\alpha_c^2 : \alpha_\phi^2$

Naast deze uitgangspunten dienen voor de berekening van materiaalfactoren voor verschillende grondsoorten variatiecoëfficiënten voor die grondsoorten te worden opgegeven.

Uitgegaan wordt van variatiecoëfficiënten die ook in de afleiding van materiaalfactoren voor rivierdijken zijn gebruikt. Deze zijn in onderstaande tabel I aangegeven.

TABEL I VARIATIECOËFFICIËNTEN (PUNTWAARDEN)

Materiaal	Variatiecoëfficiënt		Opmerking
	(c')	($\tan \phi'$)	
klei	0,45	0,20	antropogene en organische klei
klei homogeen	0,275	0,15	natuurlijke niet-organische klei
veen	0,80	0,25	
zand	n.v.t.	0,15	cohesie verwaarloosbaar

De variatiecoëfficiënten in tabel I zijn gekozen op basis van analyses van diverse proevenverzamelingen van schuifsterktes van grond. Het betreft variatiecoëfficiënten voor zogenaamde puntwaarden. Voor berekening van materiaalfactoren dienen deze gereduceerd te worden om uitmiddeling van ruimtelijke fluctuaties langs glijvlakken en de steekproefgrootte te verdisconteren.

Als uitmiddelingsfactor wordt gebruikt: $(\Gamma^2 + 1/n)^{1/2}$, waarin Γ^2 de variantiereductiefactor is, die conform de Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken gelijk aan 0,25 wordt gekozen en n een, waarvoor $n=10$ wordt gekozen. Deze uitmiddelingsfactor is ook gebruikt bij het afleiden van materiaalfactoren voor de Leidraad rivieren.

Voorts wordt voor de berekening van materiaalfactoren voor boezemkaden, net zoals bij de analyses voor de Leidraad Rivieren, uitgegaan van een lognormale verdeling van de ruimtelijke variatie van schuifsterkte van grond.

Tenslotte is voor de berekening een range van beoogde “target” bèta’s (betrouwbaarheidsindices) nodig. Deze volgt uit beschouwing van mogelijke normeringen bij boezemkaden. Hiervoor is, indicatief de range $\beta = 1.2 - 3.7$ gekozen.

RELATIEVE BIJDAGEN VAN VARIATIES VAN SCHUIFSTERKTE AAN DE VARIANTIE VAN DE BETROUWBAARHEIDSFUNCTIE

Voor de totale relatieve bijdragen van de schuifsterkteparameters aan de variantie van de betrouwbaarheidsfunctie wordt vooralsnog voorgesteld de factor 0.80 te gebruiken, conform de keuze die voor de materiaalfactoren voor rivierdijken is gekozen. Dit is een arbitraire keuze die ook een erg veilige aanname lijkt te zijn, immers de overige 0.20 wordt dan geacht voor rekening te komen van schematiseringsonzekerheden van ondergrond en waterspanningen. Dit aandeel zal doorgaans groter zijn, hoewel niet op voorhand aangegeven kan worden hoe groot. Bij het afleiden van schematiseringsfactoren zullen we overigens wel moeten uitgaan van een grotere relatieve bijdrage dan 0.20.

ONDERLINGE VERHOUDING INVLOEDSCOËFFICIËNTEN VOOR COHESIE EN HOEK VAN INWENDIGE WRIJVING

De onderlinge verhoudingen van relatieve bijdragen van c en ϕ worden gekozen op basis van een aantal probabilistische stabiliteitsanalyses van boezemkaden. Voor boezemkaden zal die verhouding verschillen van de verhouding bij rivierdijken. Met een doorgaans kleinere vereiste betrouwbaarheidsindex is deze andere verhouding er de oorzaak van dat materiaalfactoren voor boezemkaden beredeneerd verschillen van materiaalfactoren voor rivierdijken.

De volgende case voor boezemkaden zijn doorgerekend:

- case Boskoop (uit droogteonderzoek Stowa: veenkade)
- case Prinsendijk (uit droogteonderzoek Stowa: kleikade op veen)
- case Heerhugowaard (uit droogteonderzoek Stowa: kleikade met veen in de ondiepe ondergrond)
- case Bethunepolder (kleikade op ondergrond van klei)

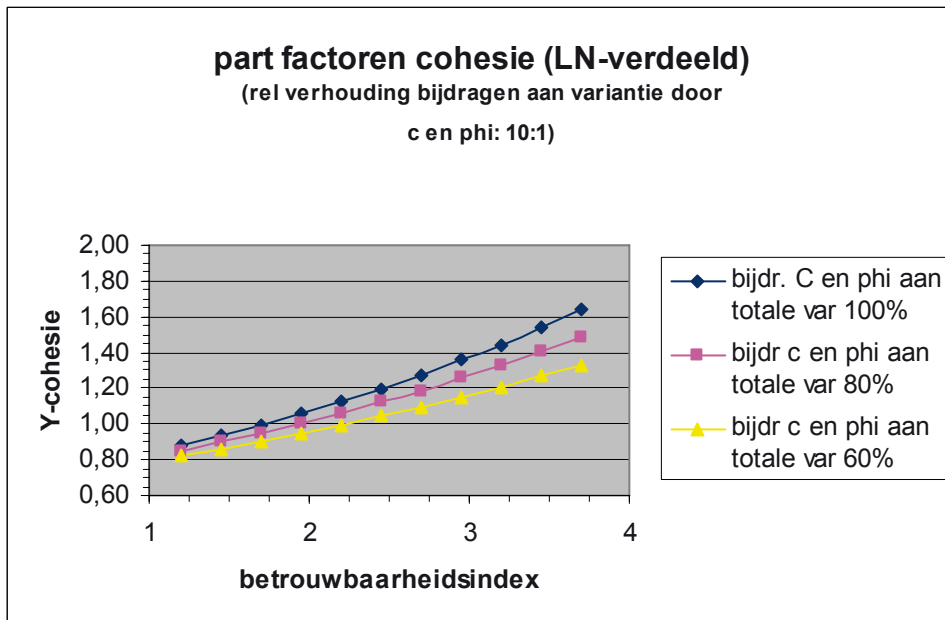
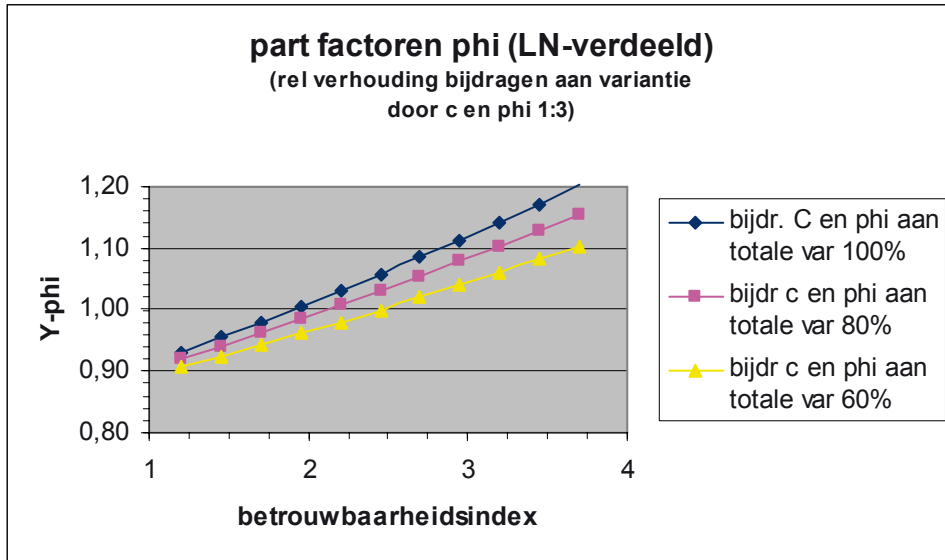
In onderstaande tabel zijn invloedscoëfficiënten weergegeven uit de probabilistische stabiliteitsanalyses. De analyses voor de cases Boskoop en Prinsendijk zijn uitgevoerd door Fugro met het programma Mprostab (of Mstab, optie Bishop Random Field). De analyses voor cases Heerhugowaard en Bethunepolder zijn nieuw uitgevoerd door Geodelft met het programma Mstab, optie Bishop Reliability (random average benadering). Voor het bepalen van de relatieve bijdragen aan de betrouwbaarheidsfunctie door de verschillende schuifsterkteparameters maakt het gebruik van de twee verschillende probabilistische benaderingen in beginsel weinig uit.

Case	Cohesie			Hoek inwendige wrijving			Verhouding
	$\alpha_{fluctuaties}$	$\alpha_{gemiddelde}$	$\alpha_{cohesie}$	$\alpha_{fluctuaties}$	$\alpha_{gemiddelde}$	α_{ϕ}	
Boskoop	0.36	0.18		0.005	0.002		1: <<1
Prinsendijk	0.24	0.10		0.42	0.17		≈ 1 : 3
Heerhugowaard			0.32			0.31	≈ 1:1
Bethunepolder			0.37			0.32	≈ 1: 0.75

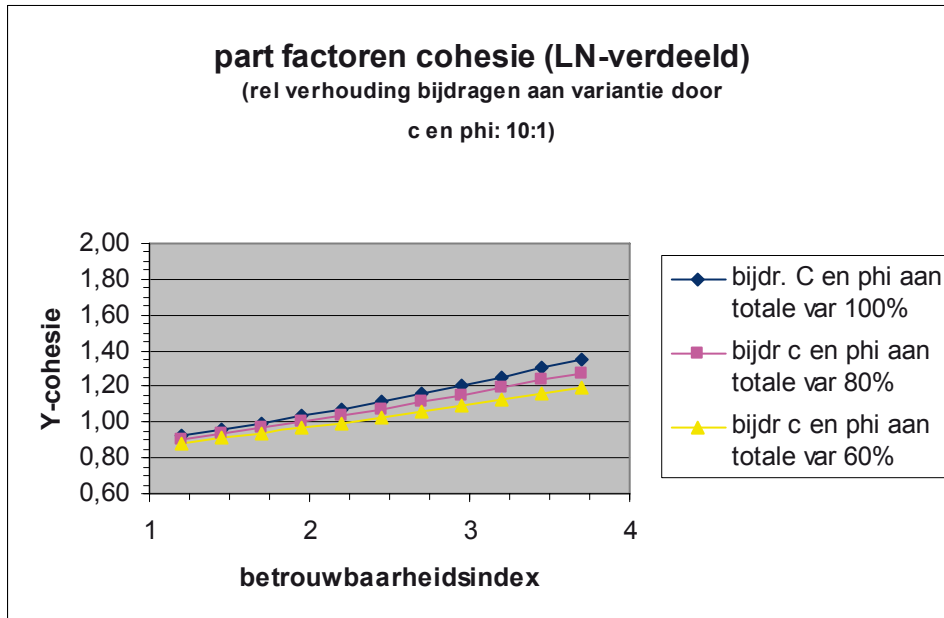
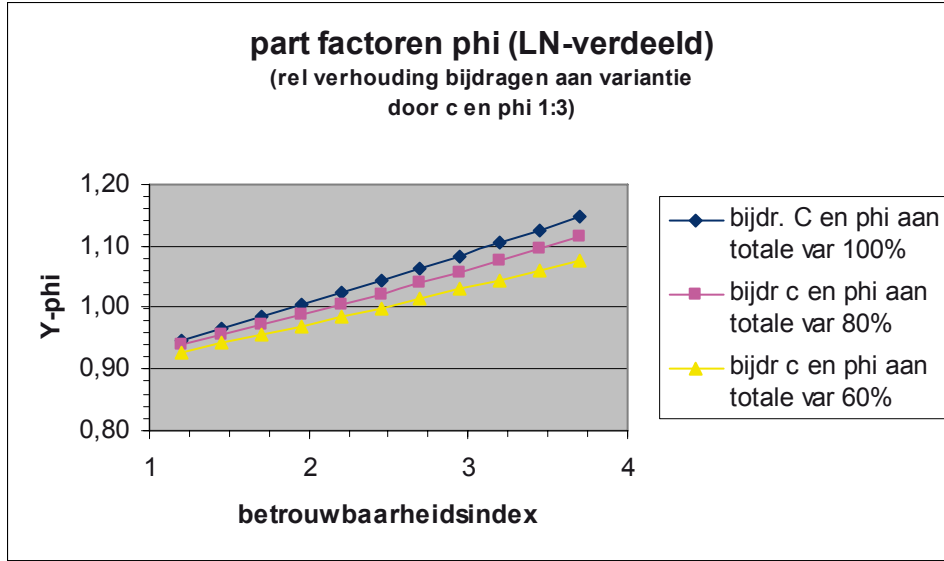
Deze set is beperkt, maar geeft zeer uiteenlopende uitkomsten voor verhouding van de relatieve bijdragen van (de onzekerheden van) cohesie en hoek van inwendige wrijving aan de variantie van de betrouwbaarheidsfunctie. Op grond hiervan kiezen we als uitersten de verhoudingen 1 : 3 en 10:1.

RESULTATEN VAN BEREKENINGEN MET SPREADSHEET

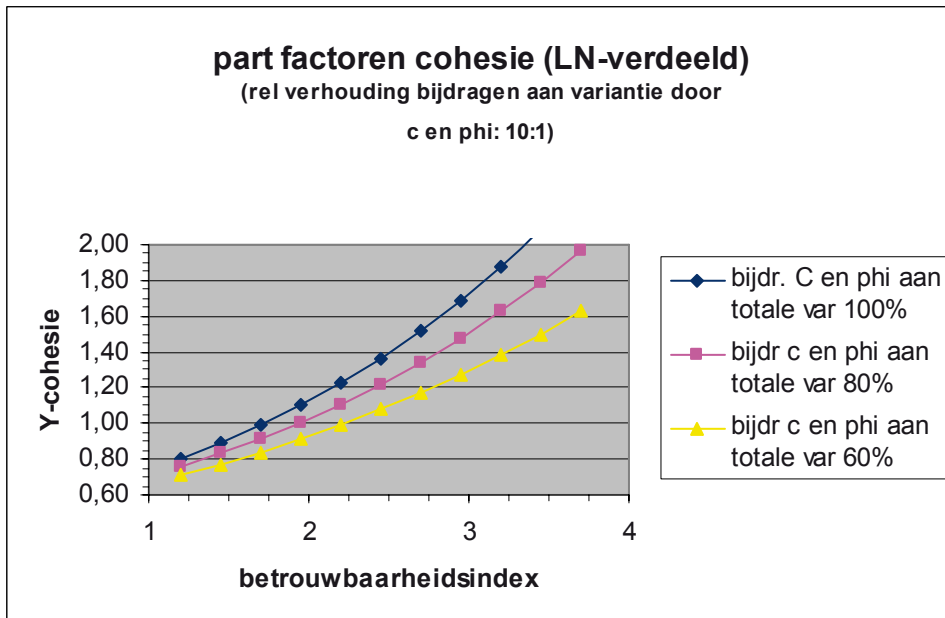
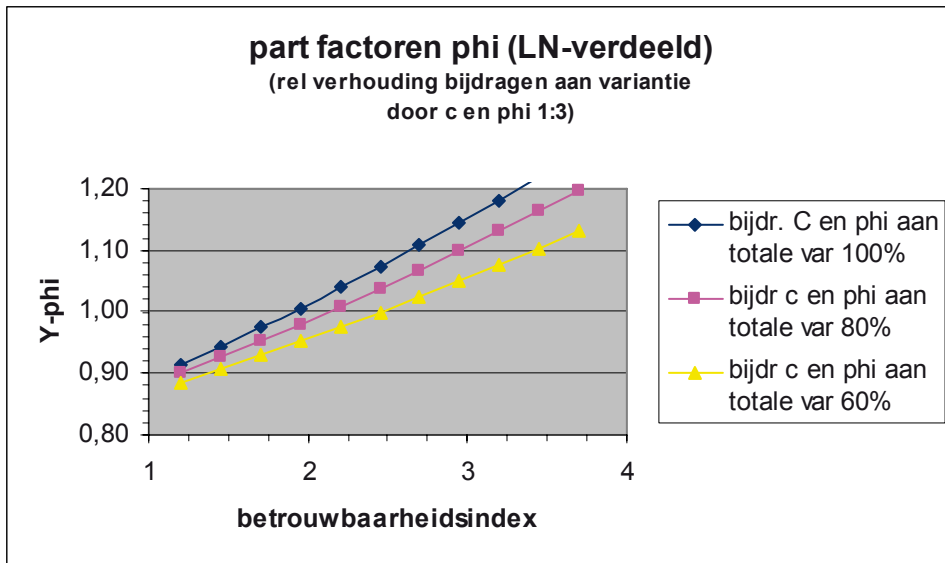
KLEI $V_c=0,45$ $V_{\phi}=0,20$



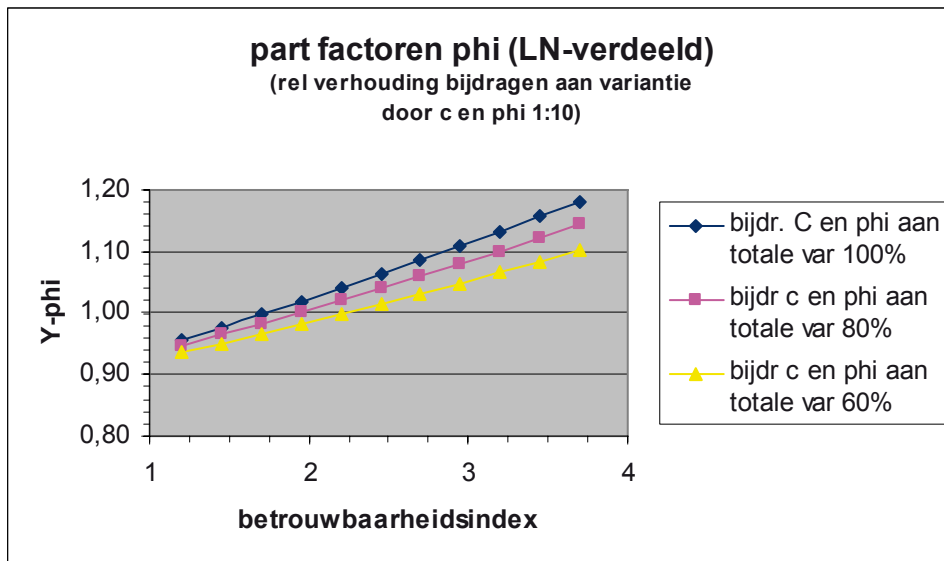
KLEI $V_c = 0,275$ $V_{\phi} = 0,15$



VEEN $V_c=0,8$ EN $V_{\phi}=0,25$



ZAND $V_{\text{PHI}} = 0,15$



BIJLAGE B

OVERWEGINGEN BIJ BEPALING VAN DE STERKTE VAN VEEN

(dr. H.M.G. Kruse, Deltares)

Bij bepalingen van de sterkte van veen is uiteraard de keuze van een juiste proefopstelling met bijhorende monstergrootte van belang. Naast de keuze voor een juiste proefopstelling is het van groot belang om bij bepaling van de sterkte van een type veen proeven te doen op hetzelfde materiaal. Doordat veen een zeer sterk variërende samenstelling en eigenschappen heeft zijn ook de sterkteparameters sterk variërend. Door bij classificatie van veen verschillende typen veen te onderscheiden kan er onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende materialen. Hierbij kan de sterkte van de verschillende typen veen nauwkeuriger worden gekarakteriseerd en zal ook de spreiding van de sterkte van de afzonderlijke typen kleiner zijn dan wanneer geen onderscheid wordt gemaakt.

Bij classificatie dient aandacht te worden besteed aan

- Het moedermateriaal waaruit het veen bestaat
- De verweringsgraad (c.q. amorfiteit) van het materiaal

Voor de volledigheid zou bij classificatie nog aandacht kunnen worden besteed aan de herkomst van het veen, of het autochtoon materiaal of sedimentair veen betreft (Aangezien sedimentair veen slechts op een enkele locatie voorkomt wordt hier niet verder op ingegaan).

CLASSIFICATIE AAN DE HAND VAN HET MOEDERMATERIAAL

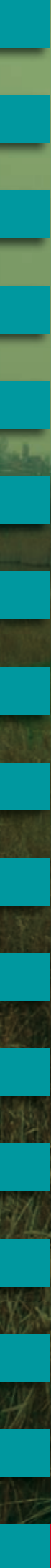
Bij vorming van veen zijn verschillende stadia te onderscheiden. Bij een volledig doorlopen vormingsproces zal het moedermateriaal per stadium in de vorming verschillen (van Gytjtja/Dy.tot veenmosveen). Het dient te worden opgemerkt dat op veel locaties in Nederland vaak niet het hele vormingsproces is terug te vinden in boorkernen gemaakt in veenpakketten. Vaak kan uit een boorkern worden opgemaakt dat een deel van het vormingsproces meerdere keren is doorlopen.

Voor een classificatie van veen aan de hand van het moedermateriaal kan worden uitgegaan van de klassieke onderverdeling van veen (bosveen, zeggeveen etc.) aangevuld met geotechnische relevante karakteristieken zoals vezellengte, houtgehalte, riet gehalte etc. De vezellengte kan door nat zeven worden bepaald.

CLASSIFICATIE AAN DE HAND VAN DE VERWERINGSGRAAD

Tijdens het vormingsproces van veen kunnen tijdens verschillende stadia verschillende omstandigheden heersen. Zo kan het veen onder aerobe of anaerobe omstandigheden ontstaan. Bij langdurige aerobe omstandigheden of in een milieu waarbij een aanvoer is van mineraalrijk water, zal een snellere omzetting c.q. verwerking van het veen optreden, zodat de eigenschappen veranderen. Verandering in eigenschappen betreft desintegratie van herkenbare delen organisch materiaal tot de zogenaamde amorfe massa. Tijdens verwerking voordat er amorfe massa ontstaat, neemt de sterkte van de in het veen aanwezige vezels af.

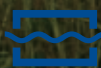
Voor classificatie aan de hand van de verweringsgraad kan een Von Post-achtige benadering worden gekozen die visueel wordt uitgevoerd, maar mogelijk kan de classificatie meer objectief worden uitgevoerd aan de hand van resultaten van een natte zeving (hoeveelheid vezels en grotere organische bestanddelen worden dan gescheiden van de amorfe massa). Ook kan kwantificering van de vezelsterkte (door middel van een eenvoudige trektest waarbij de actuele treksterkte wordt vergeleken met de onverweerde sterkte) bijdragen aan het vaststellen van de verweringsgraad van veen.



Interprovinciaal Overleg



Unie van Waterschappen



stowa



Noord-Holland



provincie Utrecht

