

## NOTITIE



**Aan:** Leden Begeleidingsgroep  
**Van:** H. van Hemert – STOWA  
**Betreft:** Notitie 'historische sets' partiële veiligheidsfactoren  
**Datum:** 24 september 2015  
**Projectnummer:** 474.604  
**Projecttitel:** Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen

*Binnen het Ontwikkelingsprogramma (ORK-II) is aandacht besteed aan partiele veiligheidsfactoren. Hierbij is onder andere een overzicht opgesteld van alle partiele veiligheidsfactoren, per toetsspoor. Naar aanleiding van dit overzicht heeft de Bgroep specifiek voor het toetsspoor Stabiliteit – binnenwaarts gevraagd om inzicht in de verhouding tussen de verschillende sets partiële veiligheidsfactoren, zoals die sinds het COW – onderzoek in de jaren '60 zijn toegepast. Deze notitie beschrijft de resultaten van de verkenning naar deze verhouding.*

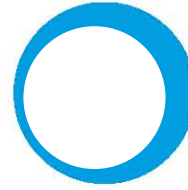
### Inleiding

De verhouding tussen de berekende stabiliteitsfactor (en resulterende veiligheid) bij verschillende sets partiele veiligheidsfactoren is verkend. Deze verkenning is uitgevoerd aan de hand van de cases die zijn beschouwd binnen de STOWA studie "Consequentie analyse ongedraineerde stabiliteitsanalyse". In deze studie is de stabiliteit van zes boezemkaden berekend. Onderstaande tabel presenteert enkele kenmerken van de beschouwde kaden.

**Tabel 1**      **Overzicht van de cases**

Case	Beheerder	Kenmerken kade	Aanleiding keuze case
Bijleveldse kade te Kockengen	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR)	H = 1,5 à 2,0 m Talud 1:1,5 Kleikade op veen	Vervorming en scheuren in de waterkering en de weg.
Oudelandsdijk te Purmerland	Hoogheemraadschap Hollands Noorder-kwartier (HHNK)	H = 2,5 m Talud 1:2,5 Kleikade op veen en klei	Maatgevende situatie gecreëerd door boezempeil tot MBP op te hogen, waarbij kunstmatig werd berekend. Hierbij geen bezwijken of tekenen van enige vervorming.
Linker Rottekade te Bergschenhoek	Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK)	H = 5,0 m Talud 1:2,3 Klei op veen	Fors veenvolume in het kadelichaam, kade is steil en hoog, reeds ondergrondinfo aanwezig.
Boezemkade in het Grote- of Achterwaterschap nabij Bleskensgraaf	Waterschap Rivierenland (WSRL)	H = 3,0 m Talud 1:2,5 Kleikade op veen en klei	Binnenwaartse stabiliteit onvoldoende bij toetsing.
Kade langs de Tjonger te Schoterzijl	Wetterskip Fryslân (WF)	H = 2,0 m Kleikade op veen	In 2011 onderzocht in een pilotonderzoek van WF.
Kade langs de Berkelse Zweth te Berkel en Rodenrijs	Hoogheemraadschap Delfland	H = 5,0 m Kleikade op veen en klei	Handmatig gebouwde kade (dus kleikern op veen). Scheurvorming bij extreme droogte. Instabiliteit uit het verre verleden bekend.

## NOTITIE



### Aanpak

De vergelijking richt zich op de berekende stabiliteit tijdens de maatgevende situatie, dit betreft een situatie met maatgevend boezempeil (MBP) in combinatie met een aanzienlijke (maar niet extreme) hoeveelheid neerslag en daardoor een verhoogd niveau van de freatische grondwaterstand in de kade.

De beschouwde sets partiële veiligheidsfactoren inclusief classificatie van de methode zijn beschreven in tabel 2.

**Tabel 2 Beschouwde 'historische benaderingen'**

Method	Sterkte-eigenschappen Waarde	Toets:
COW	Verwachtingswaarden	schadefactor 1,3
TRTB-1	Representatieve waarde (= verwachtingswaarde gedeeld door materiaalfactor)	schadefactor 1,1
TRTB-2	Rekenwaarden met 'oude' materiaalfactor	schadefactor 0,9
LTV	Rekenwaarden met 'oude' materiaalfactor	schadefactor normafhankelijk 0,8 – 1,0
ALTV	Rekenwaarden met 'nieuwe' materiaalfactor	schadefactor normafhankelijk 0,8 – 1,0 en schematiseringsfactor

#### Ad. COW

Dit betreft de benadering volgens het zgn. COW – onderzoek. Hierbij is voor een geselecteerd maatgevend profiel de stabiliteit berekend op basis van verwachtingswaarden voor de sterkte-eigenschappen. De berekende stabiliteitsfactor wordt getoetst aan een vereiste stabiliteitsfactor van 1,3 (soms 1,4).

#### Ad. TRTB-1

Dit betreft de benadering volgens het Technisch Rapport Toetsen van Boezemkaden. Hierbij wordt de stabiliteit berekend op basis van het zgn. representatieve verloop van de gemiddelde schuifsterkte, waarbij de gemiddelde schuifsterkte moet worden gedeeld door een materiaalfactor. De berekende stabiliteitsfactor wordt getoetst aan een schadefactor van 1,1.

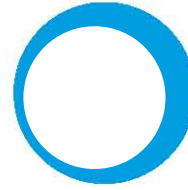
#### Ad. TRTB-2

Dit betreft eveneens een benadering volgens het Technisch Rapport Toetsen van Boezemkaden, bij deze variant wordt het zgn. representatieve verloop van de karacteristieke schuifsterkte gehanteerd. Daarbij is de karakteristieke waarde gedefinieerd als de 5% - ondergrensschatting van de verwachtingswaarde van de schuifsterkte. De karakteristieke waarde wordt gedeeld door een materiaalfactor. De berekende stabiliteitsfactor wordt getoetst aan een schadefactor van 0,9. Deze schadefactor is normonafhankelijk.

#### Ad. LTV

Deze benadering volgens de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen is gelijk aan variant 3, waarbij een rekenwaarde van de schuifsterkte wordt gehanteerd. Belangrijk verschil is dat de vereiste schadefactor normafhankelijk is, deze varieert van 0,8 (IPO-I) tot 1,0 (IPO-V).

## NOTITIE



### Ad. Addendum LTV

Deze benadering volgt de aanpak volgens de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen. De aangebrachte aanpassingen in het Addendum betreffen:

- aanpassing materiaalfactoren  
specifiek voor boezemkaden zijn nieuwe materiaalfactoren afgeleid, naar aanleiding van de introductie van nieuwe materiaalfactoren voor primaire keringen (in het kader van de Leidraad Rivieren: Addendum Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies);
- introductie van de schematiseringsfactor  
in deze verkenning is hiervoor standaard een vaste waarde van 1,0 gehanteerd (dit betreft de minimale waarde van de schematiseringsfactor)

Bij deze verkenning is uitgegaan van de vigerende aanpak, te weten een gedraineerde stabiliteitsanalyse aan de hand van het Mohr-Coulomb model. Voor de sterkte-eigenschappen is gebruik gemaakt van de bestaande proevenverzameling (indien aanwezig, zie tabel 3).

**Tabel 3 Aard proevenverzameling per waterschap**

Waterschap	Proevenverzameling	o.b.v.	Opmerking t.a.v. aanpak
WF	Nee	-	Uitgaan van gemiddelde waarde case onderzoek
HHNK	Ja	Celproeven	-
Delfland	Ja	Celproeven	-
HHSK	Ja	Celproeven	-
HdSR	Ja	varia	-
WSRL	Ja	Celproeven	Conform proevenverzameling voor primaire keringen

### Bevindingen

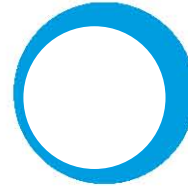
De resultaten zijn onderstaande weergegeven, dit betreft achtereenvolgens:

- tabel 4: de berekende stabiliteitsfactoren;
- tabel 5: de aangetoonde veiligheid.

Bij de beschrijving van de resultaten wordt onderscheid gemaakt in de aangetoonde veiligheid en de impliciete veiligheid. Met de aangetoonde veiligheid wordt bedoeld de marge tussen de berekende en vereiste stabiliteitsfactor. De aangetoonde veiligheid is berekend als de verhouding tussen de berekende stabiliteitsfactor en de vereiste schadefactor. Deze verhouding is tevens relatief weergegeven, uitgedrukt als een verandering ten opzichte van de berekende veiligheid bij de COW – benadering.

Onder de impliciete veiligheid wordt verstaan de gehanteerde veiligheidsmarge in een benadering. Indien tussen twee benaderingen de aangetoonde veiligheid afneemt, houdt dit impliciet in dat de veiligheidsmarge die in de benadering is verwerkt is toegenomen. Immers, als bij gelijkblijvende uitgangspunten de verhouding tussen de berekende en vereiste stabiliteitsfactor afneemt, leiden de gehanteerde partiële veiligheidsfactoren dus tot een grotere vereiste marge, ofwel een hogere veiligheidsmarge in de benadering.

## NOTITIE



**Tabel 4 Berekende stabiliteitsfactoren**

VARIANT	CASUS					
	WF SF	WSRL SF	Delfland SF	HHNK SF	HdSR SF	HHSK SF
COW	2,62	2,16	2,39	1,38	0,88	0,94
TRTB-1	2,12	1,76	2,08	0,98	0,71	-
TRTB-2	1,52	1,22	1,93	0,48	0,47	-
LTV	1,52	1,22	1,93	0,48	0,47	-
Add. LTV	1,48	1,28	-	0,49	0,49	0,78

**Tabel 5 Onderlinge vergelijking 'historische benaderingen'**

VARIANT	CASUS											
	WF		WSRL		Delfland		HHNK		HdSR		HHSK	
	SF/γ n	Index	SF/γ n	Index	SF/γ n	Index	SF/γ n	Index	SF/γ n	Index	SF/γ n	Index
COW	2,02	100	1,66	100	1,84	100	1,06	100	0,68	100	0,72	100
TRTB-1	1,93	96	1,60	96	1,89	103	0,89	84	0,65	95	-	-
TRTB-2	1,69	84	1,36	82	2,14	117	0,53	50	0,52	77	-	-
LTV	1,69	84	1,36	82	2,14	117	0,60	57	0,55	82	-	-
Add. LTV	1,64	82	1,42	86	-	-	0,61	58	0,58	85	0,78	108

Voor de verschillende cases gelden conform de veiligheidsnormering de volgende schadefactoren:

- WF, WSRL, Delfland: schadefactor 0,90 [-] (IPO-klasse III);
- HHNK: schadefactor 0,80 [-] (IPO-klasse I);
- HdSR: schadefactor 0,85 [-] (IPO-klasse II);
- HHSK: schadefactor 1,0 [-] (IPO-klasse V).

De verandering in de aangetoonde veiligheid is tevens grafisch weergegeven (grafiek 1).

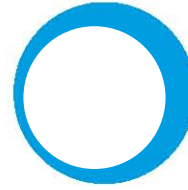
### Conclusie

Uit de resultaten blijkt overwegend een afname van de berekende veiligheid, in 3 cases neemt de verhouding tussen de berekende en vereiste stabiliteit af met ca. 12 tot 18 % (WF, WSRL en HdSR: van 100 naar resp. 82, 86 en 85). Dit duidt op een toename van de impliciete veiligheid in de benaderingen.

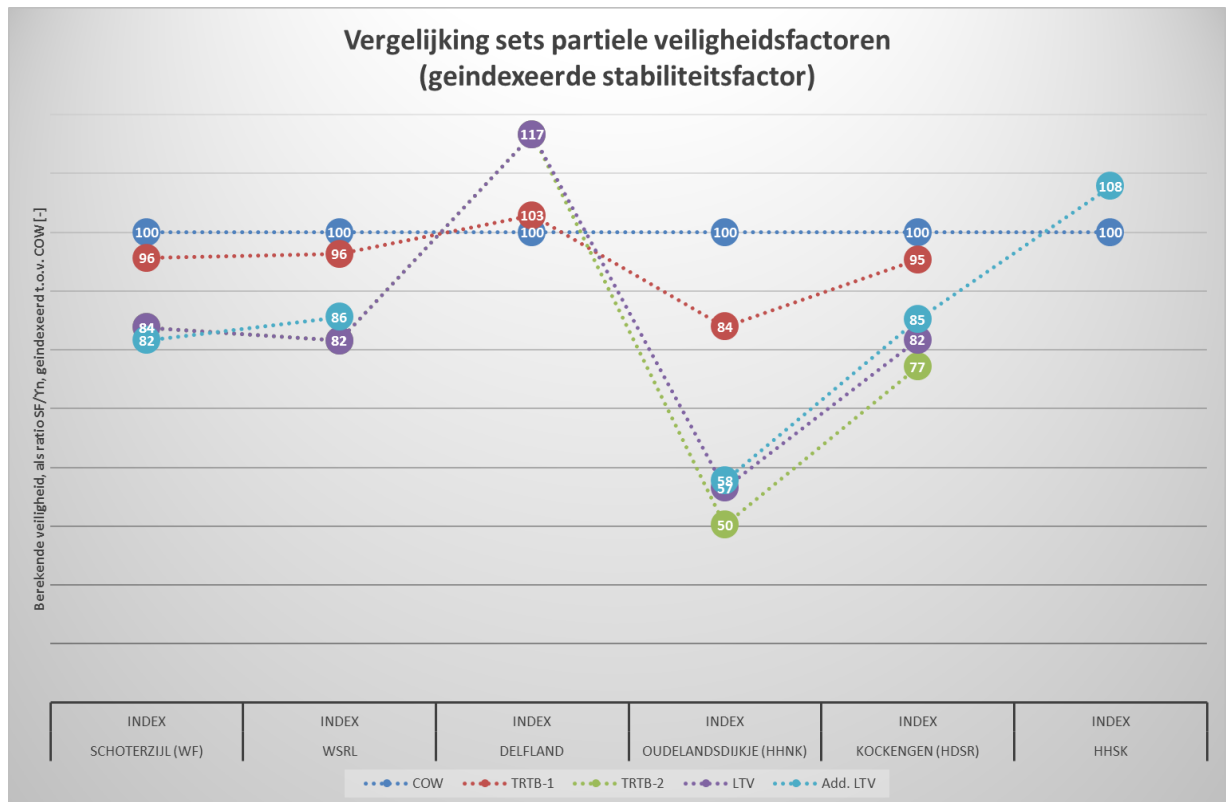
Interessante afwijking vormt de casus van Delfland. De berekende stabiliteit neemt weliswaar af (van 2,39 naar 1,93), maar door een sterkere afname van de vereiste stabiliteit neemt de verhouding toe. Anders gesteld, voor de casus van Delfland leidt de nieuwste benadering tot een scherpere toets (dus met minder reserve).

Opvallend is verder de sterke afname van de casus van HHNK. Hier leidt de methodiek tot een sterke reductie van de cohesie (ten opzichte van de COW benadering), terwijl de berekende stabiliteit van de kade door de aanwezigheid van mineraalarm veen en hoge waterspanningen erg

## NOTITIE



gevoelig is voor deze parameter. Dankzij de lage veiligheidsnorm van deze kade neemt de aangetoonde veiligheid weer toe volgens de (Add.-) LTV benadering.



**Grafiek 1 Verandering in de berekende 'veiligheidsmarge'**

Opgemerkt wordt dat de benaderingen volgens TRTB-2 en LTV leiden tot een gelijke berekende stabiliteitsfactor. Een eventueel verschil tussen beide benaderingen in de aangetoonde veiligheid resulteert uitsluitend door een verandering van de schadefactor. Indien de kade een veiligheidsnorm van 1/100 per jaar heeft (IPO-III) zijn beide benaderingen gelijkwaardig.

De aanpassingen in het Addendum op de LTV leiden overwegend tot een licht hoger aangetoonde veiligheid (WSRL, HHNK en HdSR). Voorwaarde hierbij is een bereikte schematiseringsfactor van 1,0 [-]. De verschillen zijn dermate klein, dat bij een schematiseringsfactor weinig hoger dan 1,0 netto een afname van de aangetoonde veiligheid resulteert (ofwel ook weer een toename van de impliciete veiligheidsmarge).

Opgemerkt wordt dat deze verkenning slechts een beperkt aantal cases betreft, met een betrekkelijk uiteenlopend karakter van de kaden (en veiligheidsnorm). De conclusie vormt zodoende slechts een indicatie.

HvH