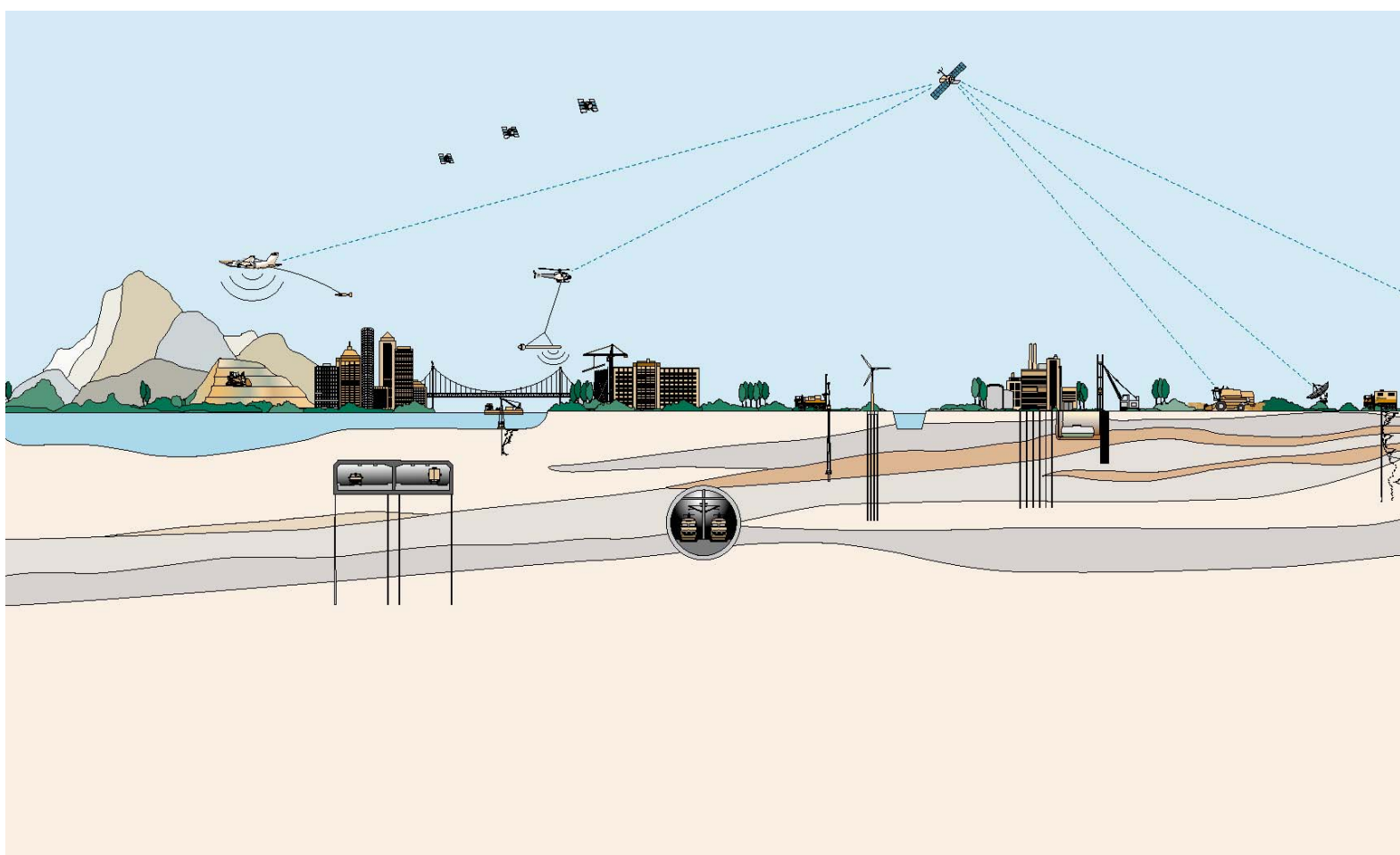


RAPPORT
betreffende

MATERIAALFACTOREN REGIONALE WATERKERINGEN

Opdrachtnummer: 1212-0115-000



RAPPORT
betreffende

**MATERIAALFACTOREN REGIONALE
WATERKERINGEN**

Opdrachtnummer: 1212-0115-000

Opdrachtgever : STOWA
Postbus 2180
3800 CD AMERSFOORT

Projectleider : ir. M.T. van der Meer

Opgesteld door : ir. B. Rijnveld
Adviseur Waterbouw

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	17 januari 2012		
2	23 januari 2012	Opmerkingen klant verwerkt	
3			

FILE: 1212-0115-000_34.R01v2.doc. Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden ALV 2012 van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

INHOUDSOPGAVE

Blz.

1. INLEIDING	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Vraagstelling en afbakening	1
2. INVENTARISATIE MOGELIJKHEDEN	2
2.1. Huidige leidraden en handreikingen	2
2.2. Beoordeling mogelijkheden	3
2.3. Betrouwbaarheidseis macrostabiliteit	4
2.4. Case	5
3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	7
4. LITERATUUR	9

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

Op 28 november 2012 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein van STOWA te Amersfoort de opdracht voor het uitvoeren van een verkennende studie naar de relevantie van de afleiding van materiaalfactoren voor keringen langs regionale rivieren.

1.2. Vraagstelling en afbakening

Door de opdrachtgever is aangegeven dat aandacht dient te worden besteedt aan de volgende zaken:

- Verschil tussen primaire keringen, keringen langs regionale rivieren en boezemkaden
- Consequenties van een eventuele nieuwe set materiaalfactoren
- Aanpak voor het afleiden van een nieuwe set materiaalfactoren of een eventuele andere werkwijze, waarbij bijvoorbeeld differentie doormiddel van schadefactoren wordt bewerkstelligd

In dit rapport wordt op bovenstaande vragen ingegaan. Hierbij is gekozen voor een eerste korte verkenning.

2. INVENTARISATIE MOGELIJKHEDEN

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie een inventarisatie gemaakt over de huidige set partiële factoren voor waterkeringen. Vervolgens wordt aangegeven waar de hiaten in de huidige aanpak zitten en worden mogelijk oplossingsrichtingen aangegeven.

2.1. Huidige leidraden en handreikingen

In tabel 2-1 en tabel 2-2 is een overzicht gegeven van de huidige beschikbare leidraden en handreikingen voor toe te passen partiële factoren voor verschillende typen waterkeringen. In de relevante leidraden wordt opgemerkt dat zowel de materiaalfactoren, als de schadefactoren nog nadere aandacht behoeven, wat ook de reden van deze verkennende studie is. Aangezien de modelfactoren voor alle typen waterkeringen gelijk zijn, zijn deze verder niet beschouwd.

Tabel 2-1: Partiële factoren voor het toetsen van waterkeringen

	Materiaalfactor		Schadefactor		Schematiseringsfactor	
Primaire rivierdijk	[LOR1 1985] / [LOR 1989] ¹⁾	1,19 ⁶⁾	[LOR1 1985] / [LOR 1989] ¹⁾	1,10 ⁵⁾ – 1,21	n.v.t.	n.v.t.
Regionale rivierdijk	[LOR1 1985] / [LOR 1989] ²⁾	1,19 ⁶⁾	[LTVR 2007] ⁴⁾	0,80 – 1,00	n.v.t.	n.v.t.
Comp. Kering	[LOR1 1985] / [LOR 1989] ²⁾	1,19 ⁶⁾	[LTVR 2007] ⁴⁾	1,0	n.v.t.	n.v.t.
Boezemkade	[ALTRB 2010]	1,20 ⁶⁾	[LTVR 2007]	0,80 – 1,00	[ALTRB]	1,0 – 1,2 ³⁾
	[LOR1 1985] / [LOR 1989] ²⁾	1,19 ⁶⁾	[LTVR 2007]	0,80 – 1,00	n.v.t.	n.v.t.

¹⁾ verwijzing vanuit [VTV 2006]

²⁾ verwijzing vanuit [LTVR 2007], met noot: mogelijk conservatief

³⁾ berekeningsmethodiek moet nog ontwikkeld worden

⁴⁾ Met opmerking dat een resterende vraag het afleiden van schadefactoren voor de verschillende typen waterkeringen is

⁵⁾ normfrequentie > 1/1250

⁶⁾ gemiddelde waarde materiaalfactor

Tabel 2-2: Partiële factoren voor het ontwerpen van waterkeringen

	Materiaalfactor		Schadefactor		Schematiseringsfactor	
Primaire rivierdijk	[ATRWG 2007]	1,28 ¹⁾	[ATRWG 2007]	1,02 ²⁾ – 1,13	[ATRWG 2007]	1,1 – 1,3 ³⁾
Regionale rivierdijk	[ATRWG 2007] ⁶⁾	1,28 ¹⁾	[ATRWG 2007] ⁶⁾	1,01 – 1,07	[ATRWG 2007] ⁶⁾	1,1 – 1,3 ³⁾
Comp. kering	⁹⁾	⁹⁾	⁹⁾	⁹⁾	⁹⁾	⁹⁾
Boezemkade	[ALTRB 2010] ⁷⁾	1,20 ¹⁾	[LTVR 2007] ⁷⁾	0,80 – 1,00	[HOVB 2009]	1,0 – 1,2 ⁸⁾

¹⁾ gemiddelde waarde materiaalfactor

²⁾ normfrequentie > 1/1250, minimale lengte dijkkring 5 km

³⁾ Volgens [ATRWG 2007] moet een waarde 1,3 worden toegepast. Deze kan via een methode beschreven bij de Helpdesk Water verder verlaagd worden tot minimaal 1,1

⁵⁾ normfrequentie = 1/1000, lengte dijkkring tussen 5 en 60 km, zie ook [TNR 2008]

⁶⁾ Verwijzing uit [HOVR 2009]

⁷⁾ Verwijzing uit [HOVB 2009]

⁸⁾ berekeningsmethodiek moet nog ontwikkeld worden

⁹⁾ Geen handreiking beschikbaar

Uit tabel 2-1 en tabel 2-2 blijkt ook duidelijk dat er voor keringen langs regionale rivieren nog geen duidelijkheid is of aangesloten moet worden op de aanpak voor primaire rivierdijken of voor boezemkaden. Zo wordt toetsen aansluiting gezocht bij de aanpak voor boezemkaden en voor het ontwerpen bij de aanpak voor primaire waterkeringen. Dit is onwenselijk.

In tabel 2-3 zijn 4 varianten weergegeven welke zouden kunnen worden toegepast bij het beoordelen van de binnenwaartse macrostabiliteit van keringen langs regionale rivieren.

Tabel 2-3: *Beschouwde varianten*

Aanpak	Toelichting	Opmerking
A	Methode conform primaire rivierdijken	In huidige situatie voorgeschreven voor ontwerp
B	Methode conform boezemkaden	In huidige situatie voorgeschreven voor toetsing
C	Oude aanpak met overall veiligheidsfactor	
D	Afwijkende aanpak (maatwerk)	Nieuw te ontwikkelen

2.2. Beoordeling mogelijkheden

Om de verschillende mogelijkheden te beoordelen zijn een aantal criteria opgesteld. Deze worden hier achtereenvolgens genoemd. Tevens wordt aan de hand van deze mogelijkheden een conclusie getrokken ten aanzien van de toe te passen materiaalfactoren.

Passend in huidige veiligheidsfilosofie

Minimaal moet worden aangesloten op de semi-probabilistische methode, gebaseerd op een stelsel van partiële factoren, zoals deze in de Eurocode en TAW leidraden wordt toegepast. Hierdoor vervalt optie C (terugvallen op de oude aanpak met een overall veiligheidsfactor). De aanpakken A en B voldoen hier wel aan. Aanpak D zou zo ontwikkeld kunnen worden dat hier ook aan wordt voldaan.

Recht doen aan fysica

Een rivierdijk langs een regionale rivier zou logischerwijze ook met voor rivierdijken afgeleide partiële factorenstelsels moeten worden beoordeeld. De aanpak voor regionale keringen is feitelijk afgeleid voor een boezemkade-systeem, dat zich fysisch anders gedraagt. Dit pleit voor het toepassen van de materiaalfactoren welke gelden voor primaire rivierdijken, ofwel aanpak A.

Eenvoud en duidelijkheid

Er is in de nu ontstane praktijk al veel verwarring over het gebruik van de verschillende beschikbare aanpakken A en B. Indien er geen strikte noodzaak is, wordt vanuit dit criterium het toevoegen van een nieuwe maatwerk aanpak D ontraden.

Effect op dimensionering

De aanpak moet allereerst voldoen aan eisen die horen bij een consistente, correcte en bruikbare veiligheidsfilosofie, en niet op de effecten van de keuze op de afmetingen van de regionale rivierdijken. Het effect van de keuze op de dimensionering wordt daarom in deze verkennende studie niet als criterium beschouwd.

Conclusie

Op basis van bovenstaande wordt geadviseerd om voor regionale rivieren de materiaalfactoren voor primaire rivierdijken toe te passen.

Dit houdt in dat voor toetsen de materiaalfactoren uit [VTV 2006] worden toegepast. In de [VTV 2006] wordt overigens verwezen naar de materiaalfactoren uit [LOR1 1985] en [LOR2 1989]. Voor het ontwerp zouden de materiaalfactoren uit [ATRWG 2007] toegepast worden.

Overigens wordt opgemerkt dat het verschil in gemiddelde materiaalfactor welke afgeleid zijn voor het toetsen van boezemkaden [MFB 2009] en primaire rivierdijken [VTV 2006] klein is. Voor het ontwerpen van primaire rivierdijken zijn de materiaalfactoren wel significant hoger [ATRWG 2007]. Dit verschil tussen ontwerpen en toetsen wordt opgelost door differentie in de schadefactor bij toetsen en ontwerpen. Hier wordt later nog op teruggekomen.

De toe te passen materiaalfactor wordt door Fugro echter niet als het hoofdprobleem gezien. Belangrijker is welke betrouwbaarheidseis wordt gesteld aan keringen langs regionale rivieren. Hier wordt in de volgende paragraaf op ingegaan.

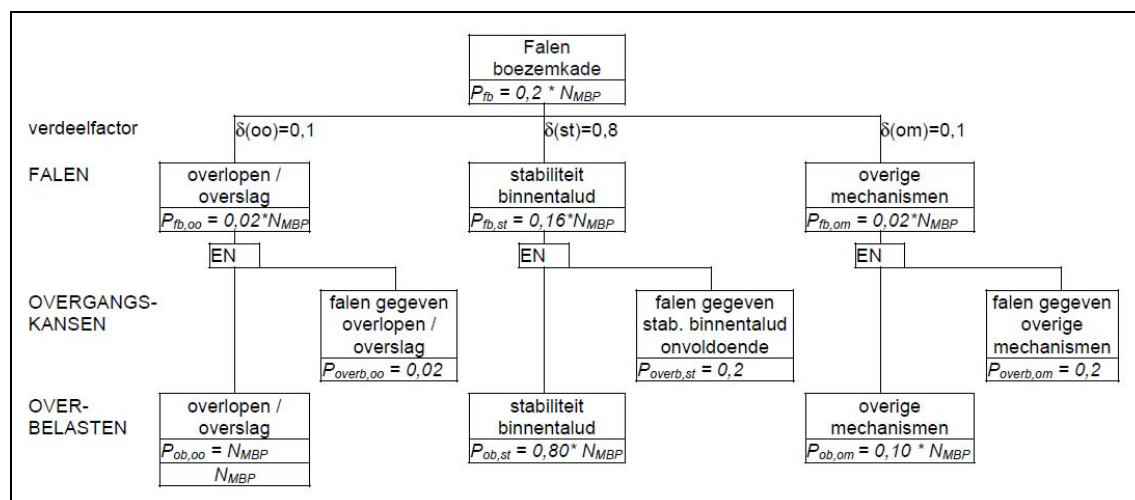
2.3. Betrouwbaarheidseis macrostabiliteit

Een mogelijk nog belangrijker vraag dan op welke wijze een vereiste betrouwbaarheid moet worden aangetoond (ofwel welke partiële factoren moeten worden toegepast), is de vraag welke betrouwbaarheid men wil voorschrijven voor het faalmechanisme STBI.

Bij primaire keringen is de faalkansbijdrage van het mechanisme STBI klein, namelijk ca. 10% van de totale faalkans voor een dijkkring. In vergelijking is de faalkansbijdrage voor overslag/overlopen relatief groot, namelijk ca. 50% van de totale faalkans voor een dijkkring. Voor boezemkaden is faalkansbijdrage van het faalmechanisme STBI echter groot, namelijk ca. 80% van de faalkans van een dijkvak. In vergelijking is de faalkansbijdrage voor overslag/overlopen relatief klein, namelijk ca. 10% van de totale faalkans per dijkkring. De verdeling van de faalkansruimte is weergegeven in figuur 2-1 en figuur 2-2.

Mechanisme	Begin van falen (SLS) *	Volledige inundatie (ULS) *
overlopen	} 1	0,5
overslag		
afschuiving	1	0,1
piping	1	0,1
erosie binnentalud	0,5	0,05
erosie buitentalud	0,5	0,05
falen van kunstwerken	1	0,1
imponderabilia	1	0,1

Figuur 2-1: Begroting faalkans voor een primaire dijk, bron [LOR2 1989]



Figuur 2-2: Faalkansverdeling boezemkaden, bron [MBF 2009]

Bovenstaande is in feite een normeringsdiscussie. Wil de rivierdijkbeheerder dezelfde veiligheidsbeleving als bij primaire keringen (zolang het water niet over de dijk gaat hoeft u niet al te druk te maken over de sterkte), of accepteert hij dat de sterkte wel eens het maatgevende mechanisme kan zijn bij normaal hoge belastingen.

2.4. Case

In deze paragraaf wordt een case behandeld, waarin het verschil in dimensionering wordt toegelicht tussen de situatie waarbij de normering volgens de filosofie bij primaire rivierdijken wordt toegepast en wanneer de filosofie zoals bij boezemkaden wordt toegepast.

Als case wordt het ontwerp en de toetsing van een kering langs een regionale rivier beschouwd, waarbij de normfrequentie 1/1000 per jaar bedraagt. De lengte van de dijkkring is aangenomen als 30 km. Voor toetsen is de schematiseringsfactor (nog) niet van belang en dus ook niet beschouwd. Voor ontwerpen is deze wel beschouwd. De modelfactor is voor alle situaties aangenomen gelijk te zijn, zodat deze uit de vergelijking is weggelaten.

De resultaten van deze case zijn voor het toetsen en ontwerpen weergegeven in tabel 2-4 en tabel 2-5.

Tabel 2-4: Partiële factoren toetsen

Partiële factor	Materiaal	Parameter	Aanpak A) Primaire waterkeringen	Aanpak B) Boezemkaden
γ_m [-]	Zand	$\tan(\varphi')$	1,1 ¹⁾	1,15 ²⁾
		$\tan(\varphi')$	1,15 ¹⁾	1,15 ²⁾
	Klei	c'	1,25 ¹⁾	1,2 ²⁾
		$\tan(\varphi')$	1,2 ¹⁾	1,15 ²⁾
	Veen	c'	1,25 ¹⁾	1,35 ²⁾
		<i>gemiddelde</i>	1,19	1,20
γ_n [-]			1,14 ³⁾	1,00 ⁴⁾
$\gamma_m \times \gamma_n$ [-] ⁵⁾			1,36	1,20
Parameter				

β_{STBI} [-/jaar]			4,6	3,5
$P_{f,STBI}$ [-/jaar]			1/400.000	1/3.500
$P_{f,STBI} / P_{NORM}$ [-]			1/400	1/3.5

β_{STBI} = betrouwbaarheidsindex faalmechanisme STBI bij gegeven partiële factoren

$P_{f,STBI}$ = kans op falen tengevolge van het faalmechanisme STBI bij gegeven partiële factoren

P_{NORM} = Normfrequentie

¹⁾ Materiaalfactoren voor het benedenrivierengebied, bron [LOR2 1989]

²⁾ Materiaalfactoren voor boezemkaden, bron [MBF 2009]

³⁾ Interpolatie uit tabel 5 - B1.4 uit [VTV 2006]

⁴⁾ IPO V

⁵⁾ Product van de gemiddelde materiaalfactor en de schadefactor

Tabel 2-5: Partiële factoren ontwerpen

Partiële factor	Materiaal	Parameter	Aanpak A) Primaire waterkeringen	Aanpak B) Boezemkaden ²⁾
γ_m [-]	Zand	$\tan(\varphi')$	1,2 ¹⁾	1,15 ²⁾
	Klei	$\tan(\varphi')$	1,2 ¹⁾	1,15 ²⁾
		c'	1,25 ¹⁾	1,2 ²⁾
	Veen	$\tan(\varphi')$	1,25 ¹⁾	1,15 ²⁾
		c'	1,5 ¹⁾	1,35 ²⁾
		<i>gemiddelde</i>		1,28
γ_n [-]			1,06 ³⁾	1,00 ⁴⁾
γ_b [-]			1,1 – 1,3	1,0 – 1,2
$\gamma_m \times \gamma_n$ [-] ⁵⁾			1,36	1,20
$\gamma_m \times \gamma_n \times \gamma_b$ [-] ⁶⁾			1,50 – 1,77	1,20 – 1,44
Parameter				
β_{STBI} [-/jaar]			5,2 ⁷⁾	4,3 ⁷⁾
$P_{f,STBI}$ [-/jaar]			1/11.400.000	1/100.000
$P_{f,STBI} / P_{NORM}$ [-]			1/11.400	1/100

β_{STBI} = betrouwbaarheidsindex faalmechanisme STBI bij gegeven partiële factoren

$P_{f,STBI}$ = kans op falen tengevolge van het faalmechanisme STBI bij gegeven partiële factoren

P_{NORM} = Normfrequentie

¹⁾ Materiaalfactoren voor primaire waterkering, bron [ATRWG 2007]

²⁾ Materiaalfactoren voor boezemkaden, bron [MBF 2009]

³⁾ Bepaald conform formule 5.3.8 en 5.3.9 uit [ATRWG 2007]

⁴⁾ IPO V

⁵⁾ Product van de gemiddelde materiaalfactor en de schadefactor

⁶⁾ Product van de gemiddelde materiaalfactor, schadefactor en schematiseringsfactor

⁷⁾ Uitgaande van een schematiseringsfactor van $\gamma_b = 1,1$

Uit tabel 2-4 en tabel 2-5 blijkt dat het toepassen van de normering conform de methode voor primaire waterkeringen tot ongeveer 10% tot 15% zwaardere eisen ten aanzien van de binnenwaartse macrostabiliteit leidt. Daarnaast is de kans op falen tengevolge van het faalmechanisme STBI ongeveer een factor 100 kleiner indien de methode conform de methode voor primaire waterkeringen wordt toegepast. Zoals eerder opgemerkt heeft dit te maken met de verschillen in faalkansverdeling.

3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor het toetsen van waterkeringen langs regionale rivieren wordt voor de materiaalfactoren bij het toetsen verwezen naar de materiaalfactoren uit [LOR1 1985] en [LOR2 1989]. Voor het ontwerpen wordt verwezen naar de materiaalfactoren uit [ATRWG 2007]. Hierbij wordt opgemerkt dat optimalisatie van de factoren wellicht mogelijk is.

In dit rapport wordt ingegaan op de voorkeursaanpak met betrekking tot toe te passen materiaalfactoren. Uit een vergelijking van de materiaalfactoren voor het toetsen van boezemkaden [MBF 2009] en primaire waterkeringen [LOR1 1985] en [LOR2 1989] blijkt dat de verschillen beperkt zijn. Dit is ook verklaarbaar, aangezien beide zijn bepaald op basis van dezelfde basisbetrouwbaarheid. Aangezien de situatie langs regionale rivieren fysisch beter aansluit op de situatie bij primaire rivierdijken dan de situatie bij boezemkaden wordt dan ook voorgesteld om de materiaalfactoren voor primaire waterkeringen toe te passen. Een aparte materiaalfactorset voor keringen langs regionale rivieren wordt afgeraden omdat (1) de te behalen winst beperkt is en (2) een extra set van materiaalfactoren tot verwarring kan leiden.

De verschillen tussen de materiaalfactoren voor het ontwerpen van boezemkaden [MBF 2009] en primaire waterkeringen [ATRWG 2007] zijn groter. Dit heeft echter te maken met een verschil in basisbetrouwbaarheid. Dit verschil wordt in de regel verdisconteerd met de schadefactor.

Uit een nadere beschouwing van de volledige set van partiële factoren lijkt de keuze met betrekking tot de schadefactor van groter belang te zijn dan de keuze van de materiaalfactoren. Hierbij speelt het normeringsvraagstuk een rol. Centrale vraag hierbij is of wordt aangesloten bij de faalkansverdeling over de verschillende mechanismen zoals voor boezemkaden of zoals voor primaire waterkeringen wordt toegepast. Voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts worden voor primaire waterkeringen een veel kleiner faalkansbudget toegekend dan voor boezemkaden.

Indien de faalkansverdeling voor primaire waterkeringen wordt gehanteerd, leidt dit tot een ca. 100 maal kleinere faalkans voor het faalmechanisme STBI ten opzichte van de aanpak voor boezemkaden. Dit gaat gepaard met ca. 10% tot 15% zwaardere eisen bij de beoordeling van dit mechanisme.

Belangrijker dan de keuze van de materiaalfactoren is dus de normeringsdiscussie. Wil de beheerder van keringen langs regionale rivieren dezelfde veiligheidsbeleving als bij primaire keringen (zolang het water niet over de dijk gaat hoeft je je niet al te druk te maken over de sterkte), of accepteert hij dat de sterkte wel eens het maatgevende mechanisme kan zijn bij normaal hoge belastingen.

Aangezien een regionale rivier geen beheerst waterpeil heeft, lijkt het voor de hand te liggen om aan te sluiten bij de faalkansverdeling zoals bij primaire waterkeringen geldt. Bij boezemkaden is de fluctuatie in waterpeilen zeer beperkt, zodat te beargumenteren valt dat een grotere faalkansruimte toe te kennen is aan het faalmechanisme STBI. Bij primaire waterkeringen is de filosofie dat als de waterkering extreem belast wordt door hoogwater de dijk waarschijnlijk bezwijkt door overloop/overslag. Bij boezemkaden wordt de waterkering in dagelijkse situaties al extreem belast.

De waterkering zal dus niet snel op overloop/overslag bezwijken, maar eerder op sterkte. Daarom wordt aanbevolen om aan te sluiten op de faalkansverdeling zoals voor primaire waterkeringen geldt.

Aandachtspunt is nog de vraag hoe de schadefactoren moeten worden vastgesteld. Voor primaire rivierdijken is de schadefactor een functie van de normfrequentie. Uitgezocht moet worden of voor regionale rivierdijken deze aanpak kan worden overgenomen, dus dat volstaan kan worden met het voorschrijven van afwijkende normfrequenties, of dat er nog andere correcties in de schadefactor moeten worden meegenomen.

Aanbevolen wordt om aan aantal cases uit te werken en dit te vergelijken met de uitgewerkte primaire rivierdijkcases in de achtergrondstudie voor de Leidraad rivieren. Bezien kan dan worden of kan worden volstaan met een eenvoudige tabel met schadefactoren, afhankelijk van de voor de regionale rivier geldende normfrequentie, of dat de schadefactoren moeten worden vastgesteld per rivierdijk-klasse (nog te definiëren, analoog aan de IPO-klassen voor boezemkaden).

4. LITERATUUR

[ALTRB 2010] Addendum op de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, betreffende de boezemkaden, 2010

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, ENW, 2007

[HOVB 2009] Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, STOWA, 2009

[HOVR 2009] Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Waterkeringen langs Regionale Rivieren, STOWA, 2009

[LOR1 1985] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken Deel 1 – Bovenrivierengebied, TAW, 1989

[LOR2 1989] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken Deel 2 – Benedenrivierengebied, TAW, 1989

[LTVR 2007] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, STOWA, 2007

[MFB 2009] Materiaalfactoren boezemkaden, STOWA, 2009

[TNR 2008] Richtlijn – Normering keringen langs regionale rivieren, STOWA, 2008

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

[VTV 2006] Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007