



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Deltares

Achtergrondrapportage niet-direct buitenwater kerend (categorie C-keringen)

Bijlage C bij Achtergrondrapportage Technisch deel VTV

Oktober 2010

Dit rapport is opgesteld in opdracht van RWS Waterdienst

Titel

Integratie TI-C in WTI2011

Opdrachtgever	Project	Pagina's
RWS Waterdienst	1200103-100	36

Trefwoorden

Primaire waterkeringen van de categorie c, WTI-2011.

Samenvatting

Tijdens de 3^{de} toetsronde zijn het Addendum bij het Voorschrift Toetsen op Veiligheid cat.c-keringen en het Addendum bij de Hydraulische Randvoorwaarden voor de cat.c-keringen voltooid. Beide Addenda dienen te worden opgenomen in het Wettelijk Toetsinstrumentarium voor de 4^{de} toetsronde (WTI2011). Dit rapport beschrijft de resultaten van verschillende verificaties in het kader van de integratie van het Addendum op het VTV betreffende de c-keringen (het zgn. VTV-C2006) in het WTI2011. In een separate managementsamenvatting worden de tekstbijdragen en redactionele opmerkingen ten aanzien van de integratie beschreven.

In een separaat rapport wordt de integratie van het Addendum op de HR betreffende de c-keringen (het zgn. HR-C2006) in het WTI2011 beschreven.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2010	H. van Hemert		P. Lubking (H2), H. Verheij (H3), N. Asselman (H4) J. Blinde (H5)			

Status

Definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Toetsinstrumentarium voor de cat. c – keringen	1
1.2 Integratie van het VTV-C2006 in het WT12011	1
1.3 Samenvatting	2
1.3.1 Acties voor integratie VTV-C2006 in het WT12011	2
1.3.2 Consequenties voor toetschema c – keringen	2
2 Standzekerheid voorliggende regionale kering	3
2.1 Kader en situatie	3
2.2 Aanpak	3
2.3 Resultaten	4
2.4 Enkele opmerkingen bij dit resultaat	9
2.5 Conclusie	10
2.6 Concept advies RWS Waterdienst	11
3 Erosie bodem van voorliggende watersystemen	12
3.1 Kader en situatie	12
3.2 Aanpak	12
3.3 Resultaten inventarisatie	12
3.4 Conclusie	14
3.5 Overwegingen bij advies	16
3.6 Concept advies RWS Waterdienst	17
4 Erosie voorland direct voor c-kering	18
4.1 Kader en situatie	18
4.2 Aanpak	18
4.3 Aansluiting dijkringscheidende c-keringen op voorliggend dijkringgebied	19
4.4 Inventarisatie maximale stroomsnelheden nabij breslocaties	19
4.5 Beoordeling kans op optreden hoge stroomsnelheid in voorland c-kering	20
4.6 Conclusie	22
4.7 Concept advies RWS Waterdienst	22
5 Beperking strijklengte door voorliggende kering	23
5.1 Kader en situatie	23
5.2 Optimalisatie strijklengte bij 3 ^{de} toetsronde	23
5.3 Verminderde aanleiding standaard optimalisatie strijklengte	24
5.4 Conclusie	25
5.5 Concept advies RWS Waterdienst	26
Referenties	27
Bijlage 1.1: Casus Boezemkade Noord-Holland	28
Bijlage 1.2: Casus gekanaliseerde Hollandse IJssel	29
Bijlage 1.3: Uitgangspunten gevoeligheidsanalyse	31

Bijlagen 2: Aansluiting c-kering op waterkering voorliggend dijkringgebied	33
Bijlage 3 Aansluiting dijkringscheidende c-keringen op voorliggende dijkringgebied	34
Bijlage 4 Analyse stroomsnelheden tijdens dijkdoorbraken	36

1 Inleiding

1.1 Toetsinstrumentarium voor de cat. c – keringen

Tijdens de 3^{de} toetsronde zijn het Addendum bij het Voorschrift Toetsen op Veiligheid cat.c-keringen en het Addendum bij de Hydraulische Randvoorwaarden voor de cat.c-keringen voltooid. Dit toetsinstrumentarium is gebaseerd op een eerste pragmatische aanvulling op het HR-2006 en het VTV-2006, wat bij de (toen) lopende 3^{de} toetsronde kan worden gebruikt voor de toetsing van cat.c-keringen. Beide Addenda dienen te worden opgenomen in het Wettelijk Toetsinstrumentarium voor de 4de toetsronde (WTI2011).

Primaire vereiste voor de samenstelling van een integraal WTI2011 is de feitelijke integratie van relevante teksten uit beide Addenda in het WTI2011. Aanvullend is een kwalitatieve aanpassing wenselijk. Beide Addenda zijn namelijk in betrekkelijk korte tijd ontwikkeld, waarbij soms op pragmatische wijze uitgangspunten zijn geformuleerd. De integratie in het WTI2011 is een goed moment om voor de pragmatisch gekozen uitgangspunten bij zowel bij de afleiding van de toetsregels voor het VTV als de afleiding van de HR voor de c-keringen een nadere onderbouwing uit te werken. Met deze onderbouwing kan een volwaardig instrumentarium worden ontwikkeld wat is afgestemd op de specifieke situatie voor de c-keringen.

Dit rapport beschrijft de resultaten van verschillende werkzaamheden in het kader van de integratie van het Addendum op het VTV betreffende de c-keringen (het zgn. VTV-C2006) in het WTI2011. In een separate rapportage (de zgn. managementsamenvatting) worden de tekstbijdragen en redactionele opmerkingen ten aanzien van de integratie beschreven.

In een separaat rapport wordt de integratie van het Addendum op de HR betreffende de c-keringen (het zgn. HR-C2006) in het WTI2011 beschreven.

1.2 Integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011

De integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011 vergt vooraleerst de feitelijke integratie van tekstdelen betreffende (uitgangspunten bij) de toetsing zelf. Dit betreft speciaal:

- het toetsschema en het overzicht van de uitwerking per cat. c-kering;
- de tekst over de beoordeling van het behoud van de toestand uit 1996;
- specifieke opmerkingen bij de beoordelingssporen.

Verder geldt dat bij de samenstelling van het VTV-C2006, omwille van de tijdige oplevering, noodgedwongen sterk vereenvoudigde en pragmatische uitgangspunten zijn gehanteerd. Deze zijn niet altijd gedetailleerd onderbouwd. In het kader van de integratie zijn deze uitgangspunten alsnog geverifieerd, te weten:

- voor de toetscriteria zijn dezelfde criteria aangehouden als voor de cat. a-keringen. Dit als voorlopig conservatief uitgangspunt voor met name de beoordelingssporen piping en macrostabiliteit. Om onnodig afkeuren te voorkomen is aanscherping van de toetscriteria mogelijk, waartoe specifiek op de cat. c-keringen afgestemde toetscriteria zijn afgeleid.
- standzekerheid tegenoverliggende niet-primaire waterkeringen tegenover cat. c-keringen, uit oogpunt van:
 - het voorkomen van een snelle daling van de waterstand in het regionaal watersysteem bij aanvang van de overstroming van het voorliggende dijkgebied;
 - de beperking van de strijklengte, of de functie als golfbreker;
- uitsluiten breslocatie nabij de aansluiting van de cat. c-kering op de cat. a-kering (gehanteerd uitgangspunt: geen hoge stroomsnelheid overstromingswater, zodat een beschouwing van erosie van het voorland niet vereist is);
- uitsluiten erosie van een kanaalbodem door een hoge stroomsnelheid in het kanaal tijdens de overstroming van het voorliggende dijkgebied.

Tabel 1.1 presenteert een overzicht van de onderdelen van de integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011. Deze onderdelen en de conclusies worden nader toegelicht in de hoofdstukken 2 t/m 5.

Tabel 1.1 Onderdelen deelstudie VTV-C2006 in WTI2011

Onderdeel	Studies	Beschreven in:
Integratie VTV-C in WTI2011	-	Management-samenvatting
Verificatie uitgangspunten	Standzekerheid tegenoverliggende kering - bij aanvang overstroming - beperking strijklengte / golfdemping Erosie kanaalbodem Erosie voorland Toetscriteria Monitoring toetsresultaten ¹	Hoofdstuk 2 Hoofdstuk 5 Hoofdstuk 3 Hoofdstuk 4 Management-samenvatting -

1.3 Samenvatting

1.3.1 Acties voor integratie VTV-C2006 in het WTI2011

Overnemen relevante tekstdelen betreffende (uitgangspunten bij) de toetsing zelf, te weten:

- het toetsschema en het overzicht van de uitwerking per cat. c-kering;
- de tekst over de beoordeling van het behoud van de toestand uit 1996;
- enkele specifieke opmerkingen bij de beoordelingssporen.

De betreffende tekstdelen zijn opgenomen in de managementsamenvatting. Daarbij is onderscheid gemaakt in teksten die moeten worden overgenomen in het VTV2011 en teksten die als toelichting dienen, en moeten worden opgenomen in de achtergrondrapportage.

1.3.2 Consequenties voor toetsschema c – keringen

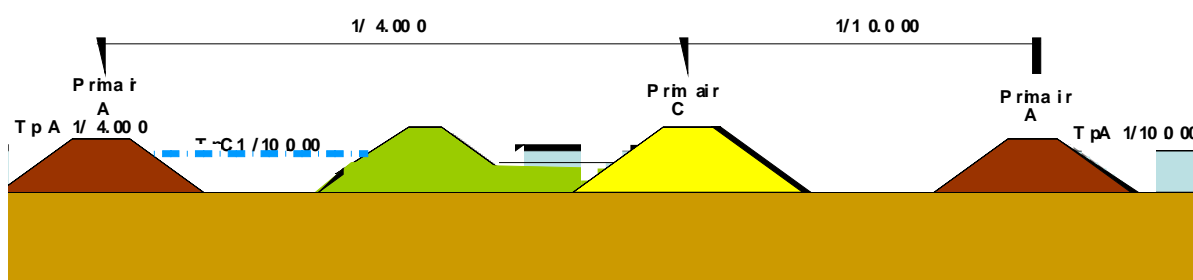
De concept adviezen leveren enkele consequenties op voor het toetsschema van de cat. c – keringen. Het toetsschema zoals opgesteld in het VTV-C2006 kan grotendeels ongewijzigd blijven, alleen het uitgangspunt ten aanzien van de optimalisatie van de strijklengte behoeft aanpassing. De uitgangspunten ten aanzien van het optreden van de standzekerheid van een tegenoverliggende niet-primaire kering, erosie in het voorland en de waterbodem van eventueel aanwezige kanalen behoeven geen aanpassing.

¹ De 1^{ste} uitwerking van de toets op veiligheid voor de cat. c-keringen aan de hand van het VTV-C2006 kon aanleiding vormen voor wensen met betrekking tot verbetering of aanpassing van het toetsinstrumentarium. Zodoende zijn gedurende de toetsronde de ervaringen van de beheerders en de provincie gevolgd, aan de hand van vragen omtrent de toepassing van het VTV-C2006 aan de Helpdesk Water. Hieruit zijn geen (noemenswaardige) wensen ten aanzien van VTV-C2006 naar voren gekomen.

2 Standzekerheid voorliggende regionale kering

2.1 Kader en situatie

Bij enkele dijkringscheidende c-keringen bevindt zich geheel of ter plaatse van enkele dijkvakken een regionaal watersysteem direct voor de c-kering (zie figuur 2.1). Dit betreft overwegend kanalen, zoals bijvoorbeeld het Amsterdam-Rijnkanaal en de gekanaliseerde Hollandse IJssel. In het toetschema in het VTV-C2006 geldt de veronderstelling dat bij aanvang van de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied de tegenoverliggende (regionale) waterkering niet doorbreekt. Zodoende beschouwt het toetschema niet de belastingsituatie met een snelle val van de waterstand in het kanaal of boezemwater, deze situatie zou kunnen optreden indien het regionale watersysteem "leegloopt" in het voorliggende dijkkringgebied, door een doorbraak van de tegenoverliggende regionale waterkering bij aanvang van de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied.



Figuur 2.1 Schematische dwarsdoorsnede c-kering aan open (regionaal) water (type 2b II)

Eén van de te verifiëren uitgangspunten in het kader van de integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011 betreft de veronderstelde standzekerheid van de (regionale) waterkering aan de overzijde van een regionaal watersysteem direct voor een dijkringscheidende c-kering, bij aanvang van de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied. Het is daarbij verder niet relevant of op een later moment tijdens de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied een doorbraak van de tegenoverliggende kering plaatsvindt, wanneer de waterstand in het overstromde dijkkringgebied inmiddels is toegenomen tot boven de waterstand in het regionale watersysteem. Bij een doorbraak van de tegenoverliggende kering na een volledige overstroming van het voorliggende dijkkringgebied kan de beschouwde belastingsituatie (een snelle daling van de waterstand tegen de c-kering) niet optreden. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de verificatie van dit uitgangspunt.

2.2 Aanpak

De verificatie is uitgewerkt door beschouwing van de veiligheid van een tegenoverliggende waterkering gedurende de aanvang van de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied. Deze beschouwing gaat uitsluitend in op het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts (geredeneerd vanuit de regionale kering). Voor de overige faalmechanismen geldt dat:

- Hoogte: de veiligheid bij aanvang van de overstroming niet relevant is voor deze beschouwing, omdat zich geen maatgevende situatie voordoet;
- Piping: de veiligheid bij aanvang van de overstroming toeneemt, door een afname van het verval.

De verificatie is gefaseerd uitgewerkt, met:

- fase 1: 2 case-studies;
- fase 2: generieke gevoeligheidsanalyse.

In fase 1 zijn twee tegenoverliggende waterkeringen beschouwd, te weten:

1. de boezemkade tegenover de c-kering tussen de Wieringermeerpolder en Noord-Holland;
2. de kade van de gekanaliseerde Hollandse IJssel tegenover de c-kering tussen Centraal-Holland en de Lopiker- en Krimpenerwaard.

In fase 2 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In deze analyse zijn drie kenmerken beschouwd die, conform de ontwikkelde inzichten in fase 1, bij een waterstandstijging van invloed leken te zijn op de stabiliteit van de tegenoverliggende waterkering. In totaal zijn in de analyse 8 varianten van een regionale kering beschouwd. De beschouwde kenmerken zijn:

- de opbouw van het kadelichaam: zandig of kleiig materiaal;
- de helling van het binnentalud: steil of flauw;
- de aanwezigheid van een teensloot: op korte of grote afstand.

Voor deze (regionale) waterkeringen is de stabiliteit berekend op verschillende momenten tijdens de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied. Let wel: tijdens de overstroming van dit voorliggende dijkkringgebied wordt de (regionale) waterkering dus belast aan de zijde die onder dagelijkse omstandigheden als binnentalud / -dijks wordt beschouwd.

Bij de berekeningen zijn de volgende fasen van de overstroming beschouwd:

- uitgangssituatie met polderpeil als waterstand in het voorliggende dijkkringgebied;
- fase met een stijging van de waterstand in de poldersloten tot maaiveldniveau;
- verdere stijging van de waterstand met een belasting tegen het (oorspronkelijke) binnentalud van de regionale kering.

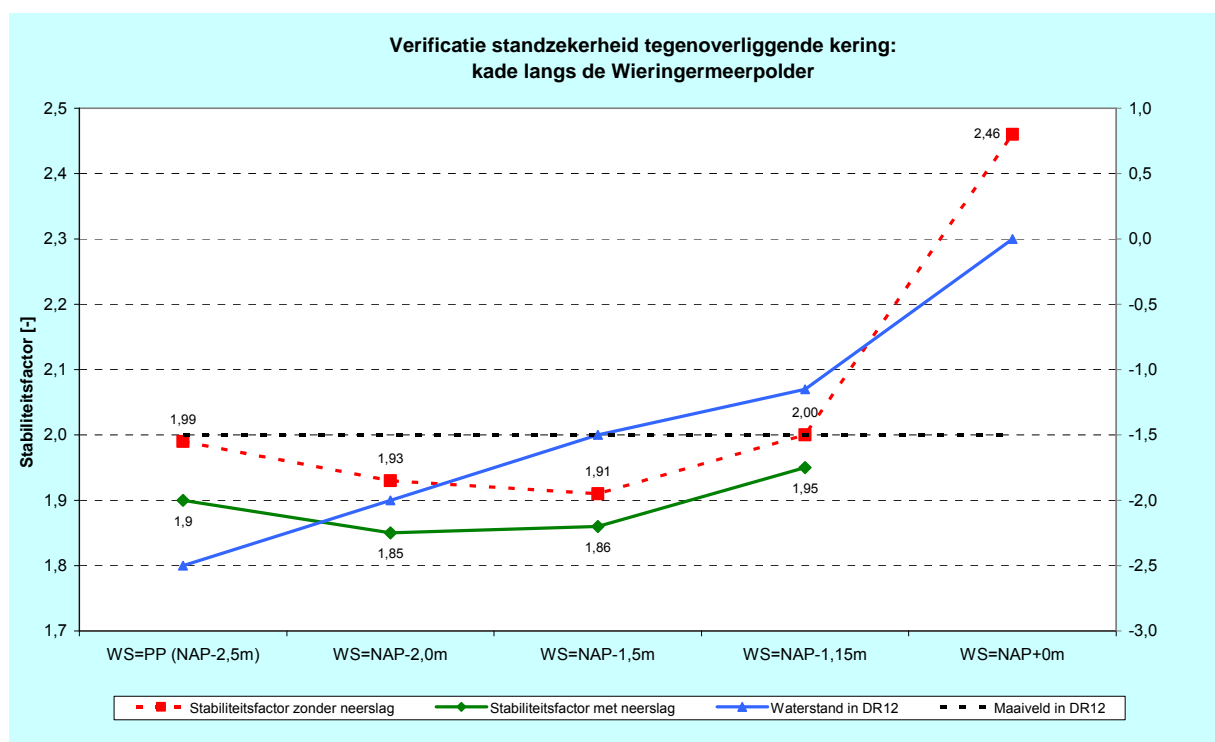
Voor elke fase is de stabiliteit van het binnentalud berekend, met behulp van MStab (versie: 9.10, Delft GeoSystems). De waterspanningen tijdens deze fasen zijn berekend met MSep (versie: 7.4, Delft GeoSystems).

2.3 Resultaten

Casus boezemkade Wieringermeerpolder

De kenmerken van deze casus zijn beschreven in bijlage 1.1. Samengevat betreft het een boezemkade met een betrekkelijk flauw binnentalud en beperkte kerende hoogte. De huidige stabiliteitsfactor bedraagt 1,90 [-], in een situatie met neerslag. Bij aanvang van de overstroming neemt eerst de waterstand in de poldersloten toe, van polderpeil (NAP -2,5 m) tot maaiveldniveau (NAP-1,5 m). Vervolgens ontstaat een waterstand tegen de boezemkade, waarbij 2 niveaus zijn beschouwd (NAP -1,15 en +0,0 m). De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 2.2. De berekende stabiliteitsfactor neemt tijdens de stijging van de waterstand in de poldersloot tot maaiveldniveau af, tot 1,85 à 1,86 [-]. Bij een verdere stijging van de waterstand boven maaiveldniveau neemt de stabiliteitsfactor snel toe, al bij een waterstand van MV+0,35 m is de stabiliteitsfactor hoger dan de initiële waarde.

Aanvullend is een situatie beschouwd zonder neerslag, tijdens deze situatie heeft de freatische lijn in het kadelichaam bij aanvang van de overstroming een lagere ligging. De stijging van de waterstand in het voorliggende dijkkringgebied heeft zo een groter effect op de waterspanningen, en daarmee op de stabiliteit van de kade. De resultaten bevestigen deze verwachting, de oorspronkelijk hogere stabiliteit (1,99 i.p.v. 1,90) kent een grotere afname (minus 0,08 i.p.v. 0,05) als gevolg van de toename van de grondwaterstand gedurende de overstroming. Zonder neerslag is de minimale stabiliteit van de kade echter wel hoger dan tijdens een situatie met neerslag (1,91 versus 1,86).



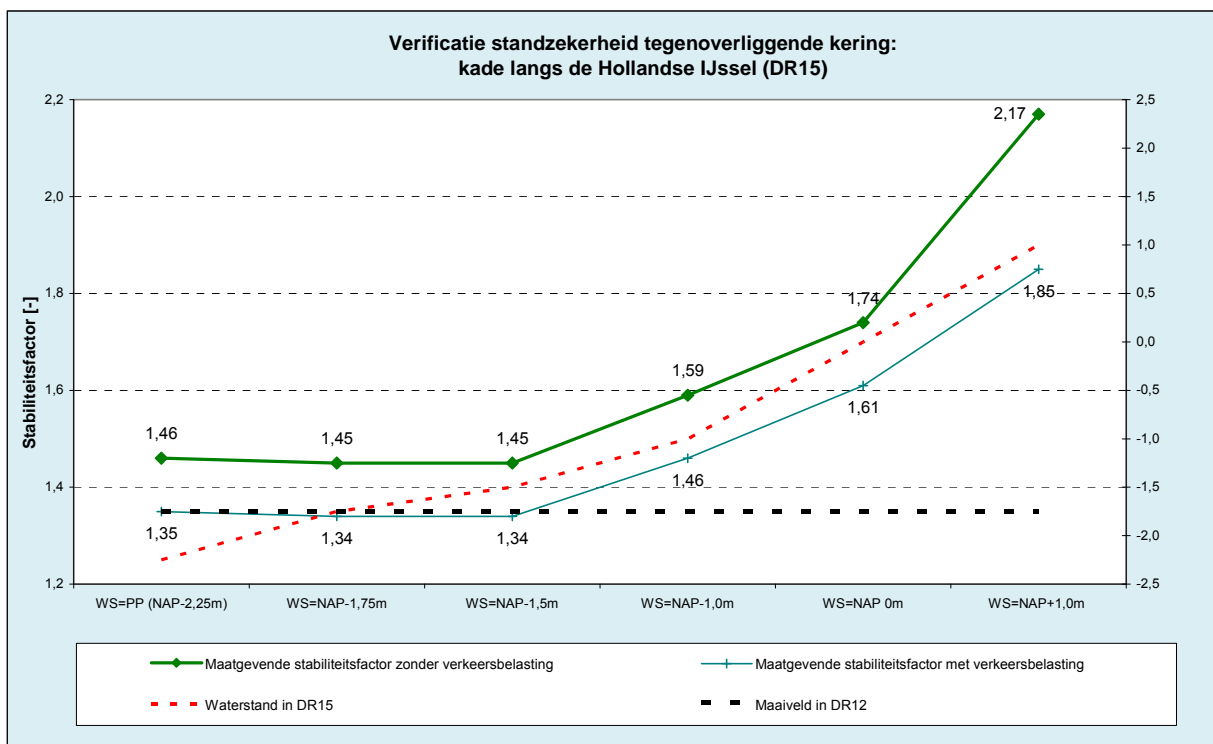
Figuur 2.2 Resultaten casus boezemkade Wieringermeerpolder (DR12)

Casus kade langs de gekanaliseerde Hollandse IJssel

De kenmerken van deze casus zijn beschreven in bijlage 1.2. Samengevat betreft het een brede kade met een betrekkelijk steil binnentalud. De stabiliteitsfactor bedraagt 1,46 [-]. Bij aanvang van de overstroming neemt eerst de waterstand in de poldersloten toe, van polderpeil (NAP -2,25 m) tot maaiveldniveau nabij de teensloot (NAP-1,75 m). Vervolgens ontstaat een waterstand tegen de boezemkade, waarbij 4 niveaus zijn beschouwd (tussen NAP -1,5 en +1,0 m). De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 2.3.

De berekende stabiliteitsfactor neemt tijdens de stijging van de waterstand tot maaiveldniveau (= NAP-1,75 m) verwaarloosbaar af, tot 1,45 [-]. Bij een geringe stijging van de waterstand tot 0,25 m boven maaiveldniveau blijft de stabiliteitsfactor gelijk². Bij een verdere stijging van de waterstand neemt de stabiliteitsfactor snel toe, bij een waterstand van MV+0,5 m is de stabiliteitsfactor [1,59] ruim hoger dan de initiële waarde.

² Dit hangt samen met het lichte verloop van het maaiveldniveau in het achterland, van NAP -1,5 naar -1,75 m ter plaatse van resp. de teen en de poldersloot. De geschematiseerde stijging van de waterstand van NAP-1,75 naar -1,5 m heeft nagenoeg geen effect op de waterspanningen in het dijklichaam en ter plaatse van de binnenteen, en daarmee geen invloed op het glijvlak.



Figuur 2.3 Resultaten casus gekanaliseerde Hollandse IJssel

Voor deze casus is tevens het effect van een verkeersbelasting beschouwd. Indien rekening wordt gehouden met een verkeersbelasting op de kade, geldt een vergelijkbaar verloop van de stabiliteitsfactor met:

1. een verwaarloosbare afname bij een stijging van de waterstand tot maaiveldniveau;
2. een onveranderde waarde bij een stijging van de waterstand van NAP -1,75 tot -1,5 m;
3. een snelle toename bij een verdere stijging van de waterstand boven maaiveldniveau.

Opgemerkt wordt dat bij de verschillende fasen de positie van de maatgevende glijcirkel verschuift. De verschuiving is gering, het blijft een vergelijkbaar glijvlak met het intredepunt steeds in de kruin. Volledigheidshalve is voor de verschillende fasen ook de stabiliteitsfactor berekend voor de glijcirkels die tijdens de eerste en laatste fase maatgevend zijn. Hieruit blijkt dat de stabiliteitsfactor van de glijcirkel:

- die bij een waterstand van NAP+1,0 m (met 2,17) maatgevend is, bij aanvang van de overstroming (= een waterstand gelijk polderpeil) een waarde heeft van 1,57;
- die bij aanvang van de overstroming (een waterstand gelijk polderpeil) maatgevend is (met 1,46), bij een waterstand van NAP +1,0 m een waarde heeft van 2,72.

Gevoeligheidsanalyse

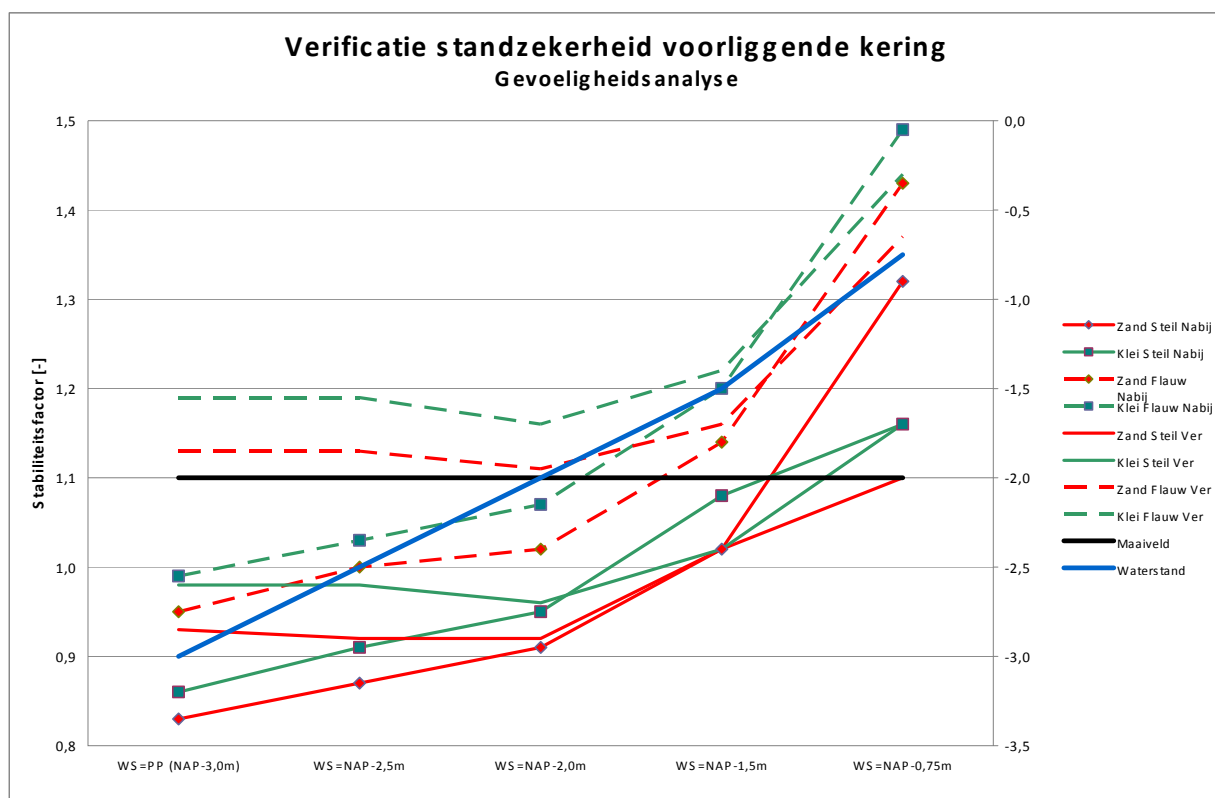
De kenmerken van deze fictieve kade en de beschouwde varianten zijn beschreven in bijlage 1.3. Samengevat is de analyse gericht op drie kenmerken van de kering, te weten:

1. de opbouw van het kadelichaam;
2. de helling van het binnentalud;
3. de afstand van de teensloot.

Bij aanvang van de overstroming neemt eerst de waterstand in de poldersloten toe, van polderpeil (NAP -3,0 m) tot maaiveldniveau (NAP-2,0 m). Vervolgens ontstaat een waterstand tegen de boezemkade, waarbij 2 niveaus zijn beschouwd (NAP -1,5 en -0,75 m). De resultaten zijn beschreven in tabel 2.1, en grafisch weergegeven in figuur 2.4.

Kade- lichaam	Binnen- talud	Teen- sloot	Waterstand = PP (NAP- 3,0m)				
			NAP-2,5m	NAP-2,0m	NAP-1,5m	NAP-0,75m	
Zand	Steil	Nabij	0,83	0,87	0,91	1,02	1,32
Klei	Steil	Nabij	0,86	0,91	0,95	1,08	1,16
Zand	Flauw	Nabij	0,95	1,00	1,02	1,14	1,43
Klei	Flauw	Nabij	0,99	1,03	1,07	1,20	1,49
Zand	Steil	Ver	0,93	0,92	0,92	1,02	1,10
Klei	Steil	Ver	0,98	0,98	0,96	1,02	1,16
Zand	Flauw	Ver	1,13	1,13	1,11	1,16	1,37
Klei	Flauw	Ver	1,19	1,19	1,16	1,22	1,44

Tabel 2.1 Resultaten gevoeligheidsanalyse



Figuur 2.4 Resultaten gevoeligheidsanalyse

Uit de resultaten blijkt het volgende:

1. bij een nabije ligging van de teensloot neemt de stabiliteitsfactor gedurende de overstroming altijd toe, ongeacht de helling van het binnentalud en de aard van het kadelichaam;
2. bij een verre ligging van de teensloot heeft het verloop van de stabiliteitsfactor bij de verschillende waterstanden steeds een vergelijkbare verandering, met steeds:
 - een kleine afname bij een stijging van de waterstand van polderpeil tot maaiveldniveau;
 - een snelle toename bij een verdere stijging van de waterstand boven maaiveldniveau;
3. bij een waterstand van 0,5 m boven maaiveldniveau is de stabiliteitsfactor (ruim) hoger dan de initiële waarde voor alle gevallen;

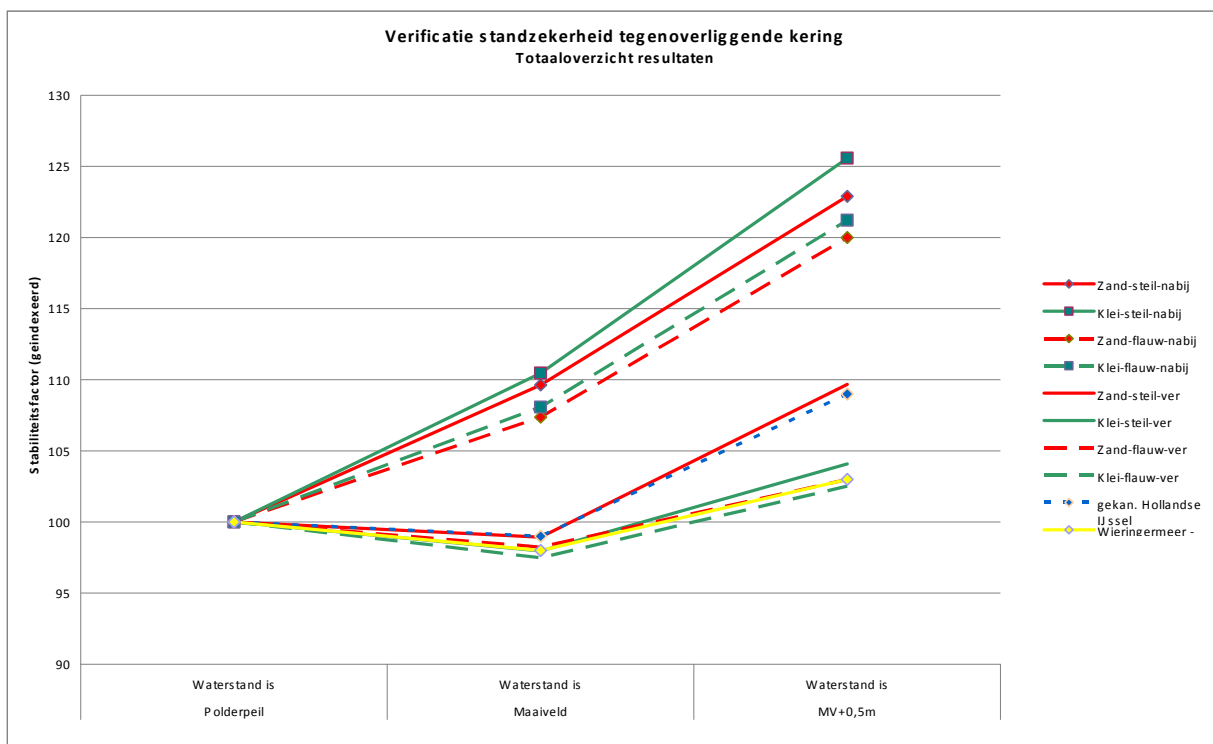
4. bij een verre ligging van de teensloot is bij een stijging van de waterstand boven maaiveldniveau de toename van de stabiliteitsfactor iets groter bij een zandige kade met een steil talud ten opzichte van de overige typen, de stabiliteitsfactor neemt voor dit type (zandig, steil) kade toe met 0,10 [-] (van 0,92 tot 1,02), terwijl deze voor de overige typen kade toeneemt met³:
- 0,06 [-]: kleiig kadelichaam met steil talud (van 0,96 tot 1,02);
 - 0,05 [-]: zandig kadelichaam met flauw talud (van 1,11 tot 1,16);
 - 0,06 [-]: kleiig kadelichaam met flauw talud (van 1,16 tot 1,22).

Belangrijke algemene conclusie is verder dat de meest kritieke situatie zich steeds voordoet op het moment dat de waterstand in het overstromde dijkgebied stijgt tot het maaiveldniveau nabij de binnenteen van de tegenoverliggende kering.

Samenvatting belangrijkste resultaten

In figuur 2.5 zijn de resultaten nogmaals weergegeven. De verandering van de stabiliteitsfactor gedurende de overstroming is daarbij geïndexeerd ten opzichte van de initiële stabiliteitsfactor, en weergegeven voor twee belangrijke momenten gedurende de aanvang van een overstroming van het voorliggende dijkgebied, namelijk:

1. de situatie met een gestegen waterstand gelijk aan maaiveldniveau;
2. een verder gestegen waterstand tot 0,5 m boven maaiveldniveau.



Figuur 2.5 Alle resultaten (geïndexeerd)

³ Deze waarden horen bij een waterstandstijging van NAP -2 m naar NAP -1,5 m, ofwel van maaiveldniveau tot MV+0,5 m

Uit de resultaten blijkt (nogmaals) het volgende:

1. belangrijk kenmerk van een kade uit oogpunt van de invloed van een stijging van de waterstand aan de binnenzijde op de stabiliteit betreft de aanwezigheid van een teensloot. Indien zich nabij de binnenteen een teensloot bevindt neemt de stabiliteitsfactor tijdens een stijging van de waterstand in het achterland uitsluitend toe.
2. indien een teensloot afwezig is, of deze zich op grote afstand van de binnenteen bevindt, neemt de stabiliteit bij aanvang van een overstroming eerst licht af, de afname bedraagt 1 à 2,5%, opvallend daarbij is dat de grootste afname (2,5%) optreedt bij kaden met een betrekkelijk flauw binnentalud;
3. de meest kritieke situatie doet zich steeds voor op het moment dat de waterstand in het overstromde dijkkringgebied stijgt tot het niveau van het maaiveldniveau nabij de binnenteen van de tegenoverliggende kering;
4. bij een verdere stijging van de waterstand tot boven maaiveldniveau neemt de stabiliteitsfactor snel toe, al bij een waterstand van 0,5 m boven maaiveldniveau is de stabiliteitsfactor (ruim) hoger dan de initiële waarde.

2.4 Enkele opmerkingen bij dit resultaat

Niet-stationaire versus stationaire berekening waterspanningen

De waterspanningen zijn berekend met MSeep, dit betreft steeds een stationaire berekening van de waterspanningen. In werkelijkheid ijlen de waterspanningen na op de stijging van de waterstand, de mate waarin is (voornamelijk) afhankelijk van de doorlatendheid van de grondlagen. Bij de gehanteerde stationaire berekening worden bij de beschouwde waterstanden te hoge waterspanningen berekend, vanwege het verwaarlozen van dit naijlen van de waterspanningen op de stijging van de waterstand.

Indien bij een beschouwde waterstand in werkelijkheid dus lagere waterspanningen optreden dan zoals (stationair) berekend, heeft de kade dus een hogere stabiliteit dan zoals volgt uit de stabiliteitsberekening. Essentie van deze constatering is dat de stationaire berekening van de waterspanningen een conservatieve benadering is, waarmee de nadelige invloed van een stijging van de waterstand op de stabiliteit wordt overschat. De werkelijk afname van de stabiliteit van een tegenoverliggende kering bij aanvang van een overstroming van het voorliggende dijkkringgebied is dus kleiner dan de afname die in deze studie is berekend.

Bewezen sterkte

Bij afwezigheid van een teensloot nabij een kade neemt de stabiliteit van een kade af bij een stijging van de waterstand in de teensloot. In deze studie is uitgegaan van een polderpeil van maaiveld minus 1 meter. Het is niet uitgesloten (dat is zelfs aannemelijk) dat ook in situaties zonder overstroming van het betreffende dijkkringgebied periodieke stijging van de waterstand optreedt, bijvoorbeeld gedurende perioden met hevige neerslag. Voor zover bekend hebben deze situaties niet geleid tot het bezwijken van de betreffende tegenoverliggende keringen. Hoewel dit een wat beperkte onderbouwing vormt voor een "bewezen sterkte" – benadering, mag wel worden verondersteld dat de betreffende keringen onder dagelijkse omstandigheden hebben bewezen niet buitengewoon kwetsbaar te zijn voor (tenminste een lichte) stijging van de waterstand in de teensloot. Dit zou inhouden dat de stabiliteit van de kering, ondanks de nadelige invloed van de stijging van de waterstand, in ieder geval voor een gedeelte van de waterstandstijging voldoende stabiel blijft.

Kwetsbaarheid tegenoverliggende kering

De berekeningen tonen aan dat de stabiliteit van een tegenoverliggende waterkering in geringe mate afneemt bij een stijging van de waterstand, indien zich nabij de kering geen teensloot bevindt. In theorie kan dit inhouden dat de stabiliteit van een kering die onder dagelijkse omstandigheden juist stabiel is, door deze afname net niet meer voldoet en de kering bezwijkt. Daarbij geldt dat de tegenoverliggende keringen ook aan veiligheidseisen

moeten voldoen vanuit hun functie als regionale waterkering. Ze dienen dus voldoende veilig te zijn tijdens een toetssituatie, met een maatgevende waterstand behorende bij de veiligheidsnorm. Het is niet aannemelijk dat tijdens de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied zich op het regionale watersysteem de normsituatie voordoet, deze gebeurtenissen zijn niet aan elkaar gekoppeld⁴. De actuele stabiliteit van de kering tijdens de overstroming is dan hoger dan de minimaal vereiste veiligheid. Zodoende is de kans klein dat een afname van de stabiliteit van 1% tot 2,5% tot een doorbraak leidt.

Reststerkte: bezwijken versus falen

Ten aanzien van een geringe afname van de stabiliteit is een cruciale vraag of eventuele instabiliteit van de kering leidt tot het daadwerkelijk doorbreken van de kering, en het leeglopen van het regionale watersysteem. Ten aanzien van deze vraag wordt opgemerkt dat de aangetoonde nadelige invloed op de stabiliteit weliswaar gering is, maar dat dit echter geen garantie geeft dat uitsluitend kleine glijvlakken zullen optreden. De geringe afname van de berekende stabiliteit vormt geen argument voor een redenatie ten aanzien van de kans op het volledig doorbreken van de kering.

Overige mechanismen en belastingsituaties

Deze analyse gaat uitsluitend in op de stabiliteit van de kering tijdens “natte” omstandigheden in een situatie met voldoende veiligheid tegen opdrijven (= cirkelvormige glijvlakken). Het is niet uitgesloten dat onder afwijkende situaties andere resultaten gelden.

Verder geldt dat een periode van extreme droogte de stabiliteit van een kering kan aantasten, indien zich in, onder of achter de kering veenlagen bevinden. In theorie kan zich een overstroming van een voorliggende dijkkringgebied voordoen kort na een dergelijke droogteperiode, waarbij de regionale kering dus nog verzwakt is. Deze opeenvolging is echter niet aannemelijk, primaire keringen zijn immers niet droogtegevoelig. Zodoende is een situatie na langdurige droogte niet beschouwd bij de analyse.

2.5 Conclusie

Gedurende de overstroming van een voorliggende dijkkringgebied kan de stabiliteit van een tegenoverliggende kering langs een regionaal watersysteem in zeer geringe mate afnemen gedurende de aanvangsperiode van een overstroming. Dit betreft de periode waarin de waterstand in het overstroome dijkkringgebied stijgt tot maaiveldniveau. Bij een verdere stijging van de waterstand neemt de stabiliteit juist weer toe. Voorwaarde voor deze afname is de afwezigheid van een teensloot binnen een afstand van 10 meter van de binnenteen, bij aanwezigheid van een teensloot binnen de stabiliteitszone van de kering neemt de stabiliteit gedurende de overstroming niet af.

De berekende stabiliteitsafname varieert van 1% tot 2,5%, deze waarde is afhankelijk van lokale kenmerken van de kade, zoals de aard van het dijklichaam en de helling van het binnentalud. Daarbij geldt dat door de gehanteerde stationaire berekeningswijze van de waterspanningen, de berekende stabiliteitsafname wordt overschat. In werkelijkheid is de stabiliteitsafname door een stijging van de waterstand kleiner.

Belangrijke vraag is vervolgens of de zeer geringe afname van de stabiliteit kan leiden tot het bezwijken van waterkeringen langs regionale watersystemen bij aanvang van de overstroming van voorliggend dijkkringgebied. Belangrijke constatering zijn dat:

⁴ Met uitzondering van de afwateringskanaal Drongelen, een hoogwater situatie op de Maas stremt de afvoer van het kanaal. Een stremming kan, bij hoge afvoeren, leiden tot een hoogwater situatie in het afwateringskanaal.

- met name keringen met een flauw binnentalud de hoogste afname kennen, over het algemeen hebben dergelijke keringen tijdens normale omstandigheden juist een hoge stabiliteit, welke bij een geringe afname niet direct tot het bezwijken van de kering zullen leiden;
- zich op het regionale watersysteem niet noodzakelijkerwijs een hoogwatersituatie voordoet tijdens de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied, zodat de actuele stabiliteit van de kering tijdens de aanvang van de overstroming hoger is dan de minimaal vereiste stabiliteit;
- dat ook onder normale omstandigheden stijging van de waterstand in een teensloot kan optreden, en naar verwachting wel eens (gedeeltelijk) opgetreden zullen zijn waarbij de kering klaarblijkelijk niet is bezwijken;
- eventueel optredende instabiliteit van een kering niet per definitie leidt tot het volledig doorbreken van de kering en het snel leeglopen van het regionale watersysteem, afhankelijk van de ligging van de maatgevende glijvlakken en de geometrie van de kering kan na een afschuiving nog sprake zijn van restbreedte.

2.6 Concept advies RWS Waterdienst

Het gekozen uitgangspunt dat een tegenoverliggende (regionale) waterkering standzeker is tijdens de aanvang van een overstroming van het voorliggende dijkkringgebied is gerechtvaardigd voor keringen waar binnen een afstand van 10 meter van de binnenteen een teensloot aanwezig is.

Voor keringen waar geen teensloot aanwezig is, of de afstand groter is dan 10 meter, neemt de stabiliteit bij aanvang van de overstroming eerst in zeer geringe (1% à 2,5%) mate af, om vervolgens bij een verdere stijging van de waterstand boven het maaiveld weer toe te nemen tot al snel boven de initiële stabiliteit. Ten aanzien van de kans dat door deze geringe afname de tegenoverliggende kering daadwerkelijk doorbreekt, en de waterstand in het regionale watersysteem snel daalt, geldt vervolgens:

- de afname van de stabiliteitsfactor is zeer gering, en betreft een overschatting vanwege de stationaire berekening van de waterspanningen;
- de keringen staan niet 'op scherp': geringe polderpeilstijgingen worden verondersteld ook onder dagelijkse omstandigheden wel eens op te treden (zonder bekend bezwijken van de keringen) en tijdens de overstroming van het voorliggende dijkkringgebied is geen sprake van een maatgevende hoogwaterstand op het regionale watersysteem;
- bij voldoende restbreedte leidt een eventuele instabiliteit van de kering niet tot een daadwerkelijke doorbraak.

Aan de hand van deze constatering kan niet kwantitatief worden aangetoond dat een volledige doorbraak van de kering is uitgesloten. De constatering vormen echter wel een (kwalitatieve) onderbouwing voor de inschatting dat de kans op zo'n doorbraak verwaarloosbaar is. Zodoende wordt geadviseerd ook voor keringen waar zich binnen een afstand van 10 meter van de binnenteen geen teensloot bevindt, ook uit te gaan van de standzekerheid tijdens de aanvang van een overstroming.

Samenvattend: geadviseerd wordt het toetschema uit het VTV-C2006 zonder aanpassing over te nemen bij de integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011.

3 Erosie bodem van voorliggende watersystemen

3.1 Kader en situatie

In het kader van de integratie van het VTV-C2006 in het WT12011 worden enkele pragmatisch gekozen uitgangspunten bij de toetschema geverifieerd. Eén uitgangspunt betreft de verwaarlozing van erosie van de waterbodem in regionale watersystemen direct voor dijkingscheidende c-keringen.

In enkele gevallen bevindt zich direct voor de dijkingscheidende c-kering een regionaal watersysteem. Dit betreft overwegend kanalen, zoals bij voorbeeld het Waardkanaal voor de dijkingscheidende c-kering tussen Noord-Holland en de Wieringermeerpolder (resp. dijkingsgebied 13 en 12). Bij een ongunstige ligging van de breslocatie in het voorliggend dijkingsgebied kan zich in het watersysteem een hoge stroomsnelheid voordoen die kan leiden tot erosie van de waterbodem.

Dit hoofdstuk beschrijft de verificatie. Dit hoofdstuk gaat niet in op het optreden van hoge stroomsnelheden in het voorland van dijkingscheidende c-keringen. Dit fenomeen is wel onderzocht, maar beschreven in hoofdstuk 4.

3.2 Aanpak

Indien zich voor de c-kering een regionaal water bevindt kan zich hierin een hoge stroomsnelheid voordoen door twee oorzaken:

1. tijdens de overstroming stroomt een groot deel van het overstromingswater het regionale water in, en verplaatst zich vervolgens door dit watersysteem; de ligging van de breslocatie is daarbij van belang;
2. falen van het waterkerende kunstwerk ter plaatse van de uitmonding van het regionale water in het buitenwater.

In het kader van de verificatie is geïnventariseerd of zich direct voor de c-kering een doorgaand, regionaal water bevindt. De inventarisatie richtte zich daarbij uitsluitend op dijkingscheidende c-keringen (van het type 2b: tussen dijkingsgebieden met ongelijke norm). Dit betreft 11 c-keringen (zie tabel 3.1).

Bij aanwezigheid van regionaal water is vervolgens vastgesteld of zich in het regionale watersysteem tijdens de overstroming van het voorliggende dijkingsgebied een hoge stroomsnelheid kan voordoen. Deze situatie kan zich alleen voordoen indien het regionale water uitmondt in het buitenwater en deze uitmonding zich niet bevindt ter plaatse van de scheiding tussen de c-kering en de waterkering van het voorliggend dijkingsgebied.

Het falen van een waterkerend kunstwerk als oorzaak van een hoge stroomsnelheid in het regionale watersysteem is verder buiten beschouwing. De kans op een dergelijke gebeurtenis als oorzaak voor de overstroming van het voorliggende dijkingsgebied is klein (op basis van lengteverhouding). Daarnaast is deze gebeurtenis (als breslocatie) ook bij de afleiding van de toetspeilen niet beschouwd. De veronderstelling daarbij was dat bij het falen van een kunstwerk sprake is van een "bres" met een beperkte breedte, waardoor deze breslocatie niet maatgevend is voor het beschouwde dijkvak (uit oogpunt van de resulterende waterstand tegen de c-kering).

3.3 Resultaten inventarisatie

Tabel 3.1 presenteert de resultaten van de inventarisatie. Bij de inventarisatie is eerst vastgesteld of zich direct voor de c-kering een regionaal watersysteem bevindt. Bij aanwezigheid van regionaal water is vervolgens nader aandacht besteed aan de mogelijkheid

dat zich daarin een hoge stroomsnelheid voordoet. Aansluitend op de tabel volgt per dijkingscheidende c-kering een toelichting bij de resultaten. Bijlage 2 presenteert een satellietfoto's (Google-Earth) van de betreffende situaties.

Tabel 3.1 Dijkingscheidende c-keringen en resultaten inventarisatie

ID	Dijkings		2de dijkring	Regionaal Water?	Instromend water	Scenario-Kans
	[#]	Naam				
2b1	6	Friesland en Groningen	Duitsland	Nee	-	-
2b2	6	Friesland en Groningen	9 Vollenhoven	Ja	Nee	-
2b3	7	Noordoostpolder	9 Vollenhoven	Nee	-	-
2b4	13	Noord-Holland	12 Wieringermeerpolder	Ja	Nee	-
2b5	13	Noord-Holland	44 Kromme Rijn	Nee	-	-
2b6	14	Centraal-Holland	44 Kromme Rijn	Ja	Ja	60%
2b7	14	Centraal-Holland	15 Lopiker- en Krimpenerwaard	Ja	Ja	30% ^{*1}
2b8	15	Lopiker- en Krimpenerwaard	44 Kromme Rijn	Ja	Ja	60%
2b9	16	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard	Nee	-	-
2b10	33	Kreekrakpolder e.o.	34 West-Brabant	Nee	-	-
2b11	35	Donge	36 Land van Heusden/de Maaskant	Ja	Nee	-

**1 Deze kans betreft een scenario waarbij eerst dijkingsgebied 44 overstroomt*

2B1 Dijkring 6 en Duitsland (zie bijlage 2.1)

Direct voor de c-kering bevindt zich geen regionaal water.

2B2 Dijkring 6 en 9 (zie bijlage 2.2)

Direct voor de c-kering bevindt zich regionaal water. Dit water bevindt zich op grote afstand van de eventuele breslocaties in de waterkering van voorliggend dijkingsgebied, en mondt niet uit in het buitenwater. De c-kering verloopt nl. van de dijkingscheidende c-kering tussen dijkingsgebied Friesland en de Noordoostpolder aan de westzijde naar de hoge gronden nabij Oldemarkt. De normsituatie wordt gevormd door een overstroming vanuit het Zwarte Water en – Meer en de Overijsselse Vecht. Strooming van het water is zodoende niet waarschijnlijk.

2B3 Dijkring 7 en 9 (zie bijlage 2.3)

De normsituatie betreft een overstroming van dijkingsgebied 9 vanuit het Zwarte Water en – Meer en de Overijsselse Vecht. Direct voor de c-kering (dat is dus de oostzijde) bevindt zich geen regionaal water.

2B4 Dijkring Noord-Holland (13) en de Wieringermeer (12) (zie bijlage 2.4)

Voor een gedeelte van deze c-kering bevindt zich open water (het Waard- en Groetkanaal). Dit betreft het noordelijke deel van de c-kering, vanaf het Amstelmeer tot de aansluiting op de Westfriese Omringdijk. Deze kanalen bevinden zich direct voor de c-kering, en hebben geen vertakkingen in dijkingsgebied 12 of open contact met de sloten en vaarten in dijkingsgebied 12. Bij een overstroming van dijkingsgebied 12 zal het overstromingswater niet deze kanalen instromen. Op het zuidelijke traject bevindt zich geen regionaal water direct voor de c-kering.

2B5 Dijkring Noord-Holland (13) en de Kromme Rijn (44) (zie bijlage 2.5)

Direct voor de c-kering bevindt zich op enkele trajecten regionaal water, te weten het Noordzeekanaal. De breslocaties (Lek) zijn echter dermate ver, dat een hoge stroomsnelheid zich niet kan voordoen.

2B6 Dijkring Zuid-Holland (14) en de Kromme Rijn (44) (zie bijlage 2.6)

Direct voor de c-kering bevindt zich regionaal water, het Amsterdam-Rijn kanaal. Het Amsterdam-Rijnkanaal sluit nabij Wijk bij Duurstede (ruim 20 km oostelijk van de scheiding tussen dijkingsgebieden 15 en 44) aan op de Lek. Bij een doorbraak van dijkingsgebied 44 op het traject Wijk bij Duurstede – Nieuwegein zal het water overlopen in het Amsterdam-Rijn kanaal, en in het Amsterdam-Rijn kanaal verder noordwaarts stromen. Tijdens deze situatie

kunnen zich in het Amsterdam-Rijn kanaal op het traject nabij Utrecht hoge stroomsnelheden (tot bijna 2 m/s) voordoen. Dit kan nadelige invloed hebben op de veiligheid van de c-kering.

De kans op dit overstromingsscenario is ca. 60% [Achtergrondrapport keringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal, HKV, 2008a].

2B7 Dijkkring Zuid-Holland (14) en de Lopiker- en Krimpenerwaard (15) (zie bijlage 2.7)

Direct voor de c-kering bevindt zich regionaal water, de gekanaliseerde Hollandsche IJssel. De Hollandsche IJssel sluit aan op zowel het Amsterdam-Rijn kanaal als de Lek (nabij scheiding dijkkringgebied 15 en 44). Bij een eventuele doorbraak van de a-kering van dijkkringgebied 15 (vanuit de Lek) zal in de gekanaliseerde Hollandse IJssel geen significante stroming ontstaan.

Een overstromingsscenario van dijkkringgebied 15 betreft ook een overstroming vanuit dijkkringgebied 44, na een doorbraak van de c-kering langs het Amsterdam – Rijn kanaal (waarbij dus eerst dijkkringgebied 44 is overstroomd na een doorbraak van de a-kering van dat dijkkringgebied langs de Lek). In dit scenario is het wel mogelijk dat het water vanaf het oosten in de gekanaliseerde Hollandse IJssel stroomt, en daarin verder westwaarts stroomt. Tijdens deze situatie zou stroming van water in de gekanaliseerde Hollandse IJssel kunnen ontstaan.

De kans op dit overstromingsscenario is ca. 30% [Achtergrondrapport HR-c Gekanaliseerde Hollandsche IJssel, HKV, 2008b]. Het gaat hierbij om een opeenvolging van dijkdoorbraken (cascade), waarbij dus eerst dijkkringgebied 44 overstroomt (1/1250) en vervolgens dijkkringgebied 15 (1/2000). Het is zeer de vraag om welke waterhoeveelheden het gaat, en tot welke stroomsnelheden dit kan leiden. Mogelijk ook beperkt het weglichaam van de A2 en de stedelijke bebouwing van Nieuwegein het volume instromend water.

2B8 Dijkkring Lopiker- en Krimpenerwaard (15) en de Kromme Rijn (44) (zie bijlage 2.8)

Direct voor de c-kering bevindt zich regionaal water, het Amsterdam-Rijnkanaal. Bij een doorbraak van dijkkringgebied 44 op het traject Wijk bij Duurstede – Nieuwegein zal het water overlopen in het Amsterdam-Rijn kanaal, en in het Amsterdam-Rijn kanaal verder noordwaarts stromen. Tijdens deze situatie kunnen zich in het Amsterdam-Rijn kanaal op het traject nabij Utrecht hoge stroomsnelheden (tot bijna 2 m/s) voordoen. Dit kan nadelige invloed hebben op de veiligheid van de c-kering.

2B9 Dijkkring Alblasterwaard en de Vijfheerenlanden (16) en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43) (zie bijlage 2.9A en 2.9B)

Aan de noordzijde van de c-kering nabij de aansluiting op de waterkering langs de Lek bevindt zich geen regionaal water direct voor de c-kering. Aan de zuidzijde nabij de aansluiting op de waterkering langs de Waal bevindt zich direct voor de c-kering geen regionaal water.

2B10 Dijkkring Kreekrakpolder (33) en West-Brabant (34) (zie bijlage 2.10)

Direct voor de c-kering bevindt zich geen regionaal water.

2B11 Dijkkring Donge (35) en het Land van Heusden (36) (zie bijlage 2.11)

Direct voor de c-kering bevindt zich regionaal water, het Drongelens kanaal. Dit kanaal mondt ter plaatse van de aansluiting van de c-kering met de a-kering uit in de Maas. Bij een overstroming van het voorliggende dijkkringgebied zal het overstromingswater niet het kanaal instromen, een hoge stroomsnelheid zal zich dus niet voordoen.

3.4 Conclusie

Ter plaatse van 6 van de 11 dijkkringscheidende c-keringen bevindt zich op tenminste een deel van het traject regionaal water direct voor de c-kering. Bij 3 van deze 6 keringen is het niet uitgesloten dat zich in het voorliggende water een hoge stroomsnelheid voordoet. Deze 3 keringen betreffen steeds min of meer hetzelfde gebied.

Het gaat daarbij om:

1. de c-kering tussen dijkkringgebied 15 en 44: een overstromingsscenario met een doorbraak van de a-kering van dijkkringgebied 44 langs de Lek, op het traject Nieuwegein – Wijk bij Duurstede, waarbij het water uit de Lek het Amsterdam-Rijnkanaal in stroomt, en zo een hoge stroomsnelheid geeft in het Amsterdam-Rijnkanaal;
2. de c-kering tussen dijkkringgebied 14 en 44: hetzelfde overstromingsscenario, maar dan met een hoge stroomsnelheid in het Amsterdam-Rijnkanaal op het traject tussen dijkkringgebieden 14 en 44;
3. de c-kering tussen dijkkringgebied 14 en 15: een overstromingsscenario met een doorbraak van de c-kering tussen dijkkringgebied 15 en 44, waarbij het water vanuit een overstroomd dijkkringgebied 44 via het oostelijk compartiment van dijkkringgebied 15 de gekanaliseerde Hollandse IJssel instroomt, en zo een hoge stroomsnelheid geeft in het westelijke deel van de gekanaliseerde Hollandse IJssel.

De kansen op het optreden van bovengenoemde overstromingsscenario's bedragen:

- 60% voor het scenario met een doorbraak van de Lekdijk op het traject Nieuwegein – Wijk bij Duurstede;
- 30% voor het scenario met een doorbraak van de c-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal (vanuit een overstroomd dijkkringgebied 44 na genoemde doorbraak van de Lekdijk).

Deze scenariokansen zijn afgeleid op basis van de verhouding tussen de lengte van het dijkvak waar een breslocatie tot een hoge stroomsnelheid kan leiden en de totale lengte van de primaire waterkering van het voorliggende dijkkringgebied. Daarbij zij opgemerkt dat een overstromingsscenario vanuit het Markermeer is verwaarloosd, evenals een overstroming van dijkkringgebied 15 direct vanuit de Lek (de a-kering) of vanuit de open Hollands IJssel (de andere c-kering). Het betreffen dus maximale kansen.

De resulterende stroomsnelheden in het Amsterdam – Rijnkanaal en de gekanaliseerde Hollandse IJssel zijn niet (specifiek) bepaald. Uit een globale verkenning die is uitgevoerd tijdens de uitwerking van het project "Toetsinstrumentarium cat. c-keringen" blijkt dat in het Amsterdam-Rijn kanaal een maximale stroomsnelheid ontstaat variërend van ca. 1,9 m/s nabij Utrecht tot 0,75 m/s nabij Amsterdam⁵. Indicatief kan over het verloop van de stroomsnelheid in de tijd het volgende worden gemeld:

- totale duur stroming ruim 1 maand; waarbinnen:
- een periode met stroomsnelheid > 0,5 m/s ca. 25 dagen duurt, waarbinnen:
- een periode met stroomsnelheid > 1 m/s 17 dagen duurt; waarbinnen:
- de "piek"- periode met stroomsnelheid > 1,5 m/s 9 dagen duurt.

Deze kenmerken gelden specifiek voor deze c-kering. Deze c-kering kan gezien worden als meest extreem, vanwege:

- het verschil in de norm tussen de beide dijkkringgebied: 1/1250 vs. 1/10.000, beide andere dijkkringscheidende c-keringen vormen de scheiding tussen gebieden met kleinere normverschillen (1/1.250 vs. 1/2.000 of 1/2.000 vs. 1/10.000);
- de grootte van het dijkkringgebied;
- de (aflopende) helling van het maaiveldniveau in het dijkkringgebied.

⁵ Dit betreft de T = 10.000 situatie, voor de T = 2.000 situatie is de maximale stroomsnelheid iets lager (1,8 m/s) en is de duur van de genoemde periode iets korter (één tot enkele dagen)

3.5 Overwegingen bij advies

Het fenomeen “erosie waterbodembodem voorliggend regionaal watersysteem” is ter plaatse van gedeelten van 3 dijkkringscheidende c-keringen relevant.

Inzake het advies aan de RWS Waterdienst over het al of niet rekening houden met dit fenomeen bij de uitwerking van de toetssporen worden de volgende overwegingen genoemd.

- I. Of een hoge stroomsnelheid tijdens de normsituatie daadwerkelijk optreedt, is afhankelijk van de locatie van de bres in de kering van het voorliggend dijkkringgebied. De scenariokansen bedragen 60% voor de c-keringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal (dijkkringgebieden 14 en 15) en 30% voor de c-kering langs de gekanaliseerde Hollandse IJssel (dijkkringgebied 14, voorwaardelijke kans).
- II. Het is vervolgens de vraag of een optredende hoge stroomsnelheid leidt tot significante erosie, omdat:
 - a. de capaciteit van het water om daadwerkelijk erosie van de waterbodembodem te veroorzaken naast de stroomsnelheid (in relatie tot de samenstelling van de waterbodembodem) tevens afhangt van de al aanwezige sedimentlast van het water;
 - b. de duur van de periode met een hoge stroomsnelheid beperkt is (max. 17 dagen).

Ad.b. Zeker voor de c-kering tussen dijkkringgebied 15 en 44 (met resp. een norm van 1/2000 en 1/1250 jaar) geldt dat de 1/2000 jaar - afvoergolf al nagenoeg op zijn piek is als de Lekdijk doorbreekt. De periode met een hoge stroomsnelheid duurt zodoende maar kort (orde grootte een week). Ook voor de c-kering tussen dijkkringgebied 14 en 15 geldt dat de duur van de periode met een hoge stroomsnelheid beperkt zal zijn, omdat het enige tijd vergt voor zich de cascade van overstromingen heeft voltrokken.

Daarbij geldt tevens dat bij een eventuele doorbraak van de tegenoverliggende kering langs het Amsterdam – Rijn kanaal een deel van het water wordt afgeleid naar dijkkringgebied 44. Hierdoor neemt de stroomsnelheid in het Amsterdam – Rijn kanaal af.

- III. Vervolgens is het de vraag of eventuele erosie leidt tot een significante aantasting van de sterkte / veiligheid van de c-kering. Eventuele erosie van de waterbodembodem is alleen van invloed op de veiligheid van de waterkering wanneer:
 - waterremmende kleilagen op de waterbodembodem verdwijnen, waardoor de stijghoogte in de zandondergrond kan toenemen (relevant voor stabiliteit binnenwaarts en piping);
 - in de invloedszone direct voor de kering een erosiegeul ontstaat (relevant voor stabiliteit buitenwaarts)⁶.
- IV. Het afleiden van een reken- en toetsregel voor de optredende erosie van de waterbodembodem is complex. Enerzijds vanwege de benodigde kennis over het verloop van het erosieproces en de voorspelling daarvan, en anderzijds vanwege de benodigde gegevens voor een dergelijke berekening (stroomsnelheid, sedimentlast, etc.). Een denkbaar alternatief hiervoor is een spelregel voor een veilige schematisering van het profiel van de waterbodembodem op basis van een standaard aangenomen uitgangspunt over de grootte van erosie van de waterbodembodem. Het formuleren van zo'n veilige

⁶ Daarbij geldt dat volgens het huidige toetschema voor dijkkringscheidende c-keringen de stabiliteit buitenwaarts niet hoeft te worden beschouwd. Dit uitgangspunt is echter gericht op de belastingsituatie “val buitenwater na MHW”, en gebaseerd op de veronderstelling dat het buitenwater na een overstroming van het dijkkringgebied maar langzaam daalt. Indien tijdens de normsituatie rekening gehouden moet worden met het ontstaan van een erosiegeul, moet dit uitgangspunt worden herzien.

schematisering is eveneens complex, en leidt tot (waarschijnlijk onnodig) standaard hanteren van conservatieve uitgangspunten.

- V. Juist voor deze c-keringen bestaat thans discussie over de huidige grenzen van de dijkkringgebieden. Een variant die in die discussie wordt genoemd betreft het opwaarderen van de Lekdijk van dijkkringgebied 44, tot een veiligheidsnorm van 1/10.000 jaar. In dat geval vervalt het overstromingsscenario van het dijkkringgebied 44 vanuit de Lek. Een hoge stroomsnelheid zal dan in het Amsterdam-Rijnkanaal en in de gekanaliseerde Hollandse IJssel niet meer optreden. In dat geval is het fenomeen “erosie waterbodemp” voor geen enkele c-kering meer relevant.

3.6 Concept advies RWS Waterdienst

Samenvattend geldt dat ter plaatse van (dijkvakken van) 3 dijkkringscheidende c-keringen in het voorliggende watersysteem een hoge stroomsnelheid van het water tijdens de normsituatie kan optreden. Dit betreft steeds een situatie die (al of niet indirect) ontstaat tijdens een overstroming van dijkkringgebied 44 na een doorbraak van de Lekdijk op het traject Wijk bij Duurstede - Nieuwegein. De kans op deze breslocatie bedraagt 60% (waarbij de kans op een doorbraak vanuit het Markermeer is verwaarloosd), de kans op vervolgens een doorbraak naar dijkkringgebied 15 bedraagt 30% (dit is dus een voorwaardelijke kans). Of een hoge stroomsnelheid vervolgens tot erosie van de waterbodemp leidt, is niet goed te voorspellen. Evenmin kan worden voorspeld of eventuele erosie tot een significante⁷ aantasting van het waterkerend vermogen van de c-kering leidt.

In een studie naar de veiligheid van de dijkkringgebieden 14, 15 en 44 wordt opwaardering van de norm van dijkkringgebied 44 tot 1/10.000 per jaar beschouwd. Bij zo'n opwaardering vervalt de kans op een hoge stroomsnelheid in het Amsterdam-Rijn kanaal en Hollandse IJssel.

Geadviseerd wordt op dit moment het aspect “erosie waterbodemp” niet op te nemen in de verschillende toetssporen van het toetsschema voor de c-keringen. Het opstellen van een betrouwbare, niet onnodig conservatieve toetsregel is complex en vereist waarschijnlijk aanzienlijke kennisontwikkeling, terwijl dit aspect in de toekomst mogelijk niet relevant meer is.

⁷ Hiervan is sprake wanneer waterremmende kleilagen op de waterbodemp verdwijnen of zich in de invloedszone direct voor de kering een stroomgeul vormt

4 Erosie voorland direct voor c-kering

4.1 Kader en situatie

In het kader van de integratie van het VTV-C2006 in het WT12011 worden enkele pragmatisch gekozen uitgangspunten bij de toetschema geverifieerd. Eén uitgangspunt betreft het verwaarlozen van de erosie van het voorland voor een dijkringscheidende c-kering.

Indien de breslocatie in de primaire waterkering van het voorliggende dijkringgebied⁸ zich bevindt nabij de locatie waar de c-kering op deze primaire waterkering aansluit, kunnen in het voorland van de c-kering hoge stroomsnelheden optreden, wat kan leiden tot erosie. In het toetschema van het Addendum VTV-C is dit faalmechanisme buiten beschouwing gelaten. Als onderdeel van de integratie van het Addendum VTV-C is dit geverifieerd.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze verificatie. Dit hoofdstuk gaat niet in op het optreden van hoge stroomsnelheden in regionale watersystemen / kanalen direct voor de c-kering. Dit fenomeen is separaat beschreven in hoofdstuk 3.

4.2 Aanpak

De verificatie is gestart met een inventarisatie van de aansluiting van alle dijkringscheidende c-keringen op de primaire waterkering van het voorliggende dijkringgebied. Tevens is uit de resultaten van verschillende overstromingsberekeningen⁹ vastgesteld welke stroomsnelheden op verschillende afstanden van een bres voorkomen. Op basis van deze resultaten is een zgn. kritieke afstand afgeleid, dit betreft de afstand tot een bres waar een stroomsnelheid kan voorkomen die erosie van het voorland kan veroorzaken.

De kans op het optreden van een hoge stroomsnelheid in het voorland van de c-kering is vervolgens beschouwd aan de hand van:

1. het wel of niet aansluiten van de c-kering op de primaire waterkering van voorliggende dijkringgebied;
2. de kans dat een bres in de primaire waterkering van voorliggende dijkringgebied optreedt binnen de zgn. kritieke afstand tot de c-kering.

Ad 1 Indien de c-kering niet aansluit op de primaire waterkering van het voorliggende dijkringgebied, zal een bres niet leiden tot een hoge stroomsnelheid in het voorland van de c-kering.

Ad.2. De kans op een bres nabij de aansluiting is beoordeeld op basis van de verhouding tussen de totale lengte van de primaire waterkering van voorliggend dijkringgebied en de zgn. kritieke afstand. Deze lengteverhouding is uitgedrukt in een kans (in %).

Uitgangspunten bij deze aanpak zijn:

- de primaire kering van voorliggend dijkringgebied heeft geen bekende zwakke plekken;
- de veiligheid van alle dijkvakken van de primaire kering van voorliggend dijkringgebied (tenminste) aan de norm voldoen;
- met de werkelijke hoogte en sterkte van de primaire waterkering van voorliggend dijkringgebied nabij de aansluiting wordt geen rekening gehouden;

⁸ Dit betreft overwegend cat. a-keringen, in enkele gevallen sluit de c-kering aan op een c-kering. Voorbeeld: de c-kering van de gekanaliseerde Hollandse IJssel (DRG14) sluit in het oosten aan op de dijkringscheidende c-kering langs het Amsterdam-Rijn kanaal.

⁹ Hierbij is gebruik gemaakt van de overstromingsberekeningen die in het kader van de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de c-keringen zijn uitgevoerd

- voor de kritieke afstand wordt voor alle c-keringen een standaard, conservatieve waarde aangehouden, daarbij is geen rekening gehouden met eventuele lokale afwijkingen met een gunstig effect op de resulterende stroomsnelheden achter de bres;
- bij de afleiding van de kritieke afstand is voor alle c-keringen een maximale stroomsnelheid van 0,5 m/s aangehouden, hierbij is niet locatiespecifiek de maximale stroomsnelheid vastgesteld waarbij erosie van het voorland kan optreden.

De verificatie richt zich op de kans op een stroomsnelheid in het voorland boven 0,5 m/s. Alleen indien de breslocatie zich binnen deze kritieke afstand bevindt, kan in het voorland van de c-kering een dermate hoge stroomsnelheid optreden, dat erosie van het voorland niet met zekerheid kan worden uitgesloten. Een breslocatie op grotere afstand leidt tot een dermate lage stroomsnelheid dat erosie van het voorland niet kan optreden.

4.3 Aansluiting dijkringscheidende c-keringen op voorliggend dijkringgebied

Geïventariseerd is vooraleerst of de dijkringscheidende c-kering aansluit op de waterkering van het voorliggende dijkringgebied. Daarbij geldt dat de aansluiting op een voorliggende waterkering alleen relevant is indien een doorbraak van de betreffende voorliggende kering kan leiden tot het optreden van de normsituatie voor de c-kering¹⁰. Bij deze inventarisatie is ook de lengte van de voorliggende a-keringen bepaald. Tabel 4.1 presenteert een overzicht.

Tabel 4.1 Inventarisatie aansluiting dijkringscheidende c-kering op een a-kering

Dijkringgebieden		C-kering	Aansluiting op voorliggende kering	Lengte voorliggende kering
1 ^{ste} dijkring	2 ^{de} dijkring			
[#] Naam	[#] Naam	Onderdeel van:		
6 Friesland en Groningen	Duitsland	DR6	Ja	onbekend
6 Friesland en Groningen	9 Vollenhoven	DR6	Nee	Niet relevant
7 Noordoostpolder	9 Vollenhoven	DR7	Nee	Niet relevant
13 Noord-Holland	12 Wieringermeer	DR13	Ja	18 km
13 Noord-Holland	44 Kromme Rijn	DR13	Nee	Niet relevant
14 Zuid-Holland	44 Kromme Rijn	DR14	Nee	Niet relevant
14 Zuid-Holland	15 Lopiker- en Krimpenerwaard	DR14	Ja ^{*1}	75 km ^{1a}
15 Lopiker- en Krimpenerwaard	44 Kromme Rijn	DR15	Ja	30 km
16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	43 Betuwe, Tiel- en Culemborgerwaarden	DR16	Ja ^{*2}	170 km
33 Kreekrakpolder e.o.	34 West-Brabant	DR33	Ja ^{*1}	Ca. 100 km
35 Donge	36 Land van Heusden/de Maaskant	DR35	Ja	103 km

*1 Dit betreft aansluitingen op een c-kering

*1a De c-kering sluit aan op de c-keringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal en de open Hollandse IJssel. Een hoge stroomsnelheid voor de c-kering kan alleen ontstaan bij een doorbraak van de c-kering langs het Amsterdam-Rijn kanaal (op het traject tussen de dijkringgebieden 15 en 44, lengte ca. 9 km).

*2 beide uiteinden sluiten aan op de a-kering van het voorliggende dijkringgebied, bij de meeste dijkringscheidende c-keringen sluit één uiteinde aan op de kering van voorliggend dijkringgebied

4.4 Inventarisatie maximale stroomsnelheden nabij breslocaties

Aan de hand van de verschillende overstromingsberekeningen zijn de optredende stroomsnelheden nabij breslocaties in de a-keringen geanalyseerd. De analyse is uitgevoerd door HKV, in opdracht van Deltares; zie bijlage 4. Hierbij is gebruik gemaakt van de

¹⁰ Ter verduidelijking een voorbeeld: voor de c-keringen langs het Noordzeekanaal is alleen de aansluiting op de a-kering van dijkringgebied 44 langs de Lek van belang, omdat een doorbraak van de Lekdijk de normsituatie veroorzaakt. Een doorbraak van het sluiscomplex van IJmuiden vormt niet de normsituatie, zodat de aansluiting op de Noordzeekust voor deze studie niet relevant is.

overstromingsberekeningen die in het kader van de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de c-keringen zijn uitgevoerd. De analyse heeft verschillende breslocaties beschouwd, geselecteerd op basis van enkele kenmerken die van invloed zijn op de resulterende stroomsnelheden achter de bres. Dit betreft:

- het hydraulisch verval over de a-kering;
- de helling van het maaiveld in het dijkkringgebied, direct achter de a-kering;
- de grootte van het voorliggende dijkkringgebied.

Qua stroomsnelheden is daarbij vooral aandacht besteed aan de volgende waarden 0,5 en 1 à 2 m/s. Achtergrond daarbij is namelijk dat [globaal afgeleid o.b.v. Scour Manual]:

- een stroomsnelheid lager dan 0,5 m/s zeer waarschijnlijk niet zal leiden tot erosie;
- een stroomsnelheid boven 1 à 2 m/s zeker kan leiden tot erosie;
- een stroomsnelheid tussen 0,5 en 1 à 2 m/s mogelijk kan leiden tot erosie, afhankelijk van met name de grondsoort (textuur).

Uit de analyse is gebleken dat maximale stroomsnelheden hoger dan 0,5 m/s voorkomen tot 500 à 1000 m afstand van de bres (afstanden in een straal). Stroomsnelheden van 0,5 tot 1,0 m/s komen voor tot een afstand van 011 à 800 m. Op kortere afstanden van de bres komen hogere stroomsnelheden voor, tot een afstand van ca. 150 m komen in enkele cases stroomsnelheden boven 3 m/s voor. Dit betreft de maximale stroomsnelheid die (kortdurend) tijdens het "hoogtepunt" van de overstroming voorkomt. Tijdens de overstroming van het dijkkringgebied neemt de stroomsnelheid af door het afnemende verval over de a-kering, door enerzijds de stijging van de waterstand in het dijkkringgebied en anderzijds de daling van de waterstand op het buitenwater. De tijdsduur varieert, afhankelijk van de helling van het maaiveld en de grootte van het voorliggende dijkkringgebied (en de resterende duur van de afvoergolf na het overschrijden van het toetspeil van de voorliggende waterkering). Uit één controle (voor een groot dijkkringgebied met een aflopend maaiveldniveau) blijkt dat een hoge stroomsnelheid ca. 1,5 week kan aanhouden. Gemiddeld is echter geconcludeerd dat een hoge stroomsnelheid gedurende een periode van 3 tot 10 dagen zal optreden.

Conclusie is dat alleen een stroomsnelheid boven 0,5 m/s in het voorland direct voor de c-kering kan optreden bij een zeer nabij de aansluiting met de c-kering gelegen bres in de a-kering. Deze stroomsnelheden komen voor tot op een afstand van 500 à 1000 m van de bres. Belangrijke kanttekening hierbij is dat de nabijheid van een c-kering het verloop van de overstroming beïnvloedt. De extra ruwheid veroorzaakt wellicht een sterkere afname van de stroomsnelheid nabij de c-kering, zodat alleen bij nog kleinere afstanden sprake kan zijn van een maximale stroomsnelheid hoger dan 0,5 m/s.

4.5 Beoordeling kans op optreden hoge stroomsnelheid in voorland c-kering

Vervolgens is beoordeeld of het optreden van een hoge stroomsnelheid in het voorland van de c-kering aanneemlijk is. Deze beoordeling beschouwt de kans op het optreden van een bres in de primaire waterkering van het voorliggende dijkkringgebied nabij de aansluiting met de c-kering. Deze kans is bepaald op basis van de verhouding tussen de totale lengte van de kering van het voorliggende dijkkringgebied en de zgn. kritieke afstand van 1000 m. Daarbij is 1000 m gekozen als minimale afstand tussen de breslocatie en de c-kering waarbij een voldoende lage stroomsnelheid resulteert (< 0,5 m/s) zodat zeker geen erosie van het voorland kan optreden. De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

De resultaten sterk samengevat:

- voor 4 c-keringen bestaat geen kans op erosie van het voorland door hoge stroomsnelheden, omdat deze niet aansluiten op de kering van het voorliggende dijkkringgebied;
- voor 5 c-keringen is de kans op hoge stroomsnelheden in het voorland zeer gering ($\leq 1\%$);
- voor 2 c-keringen bedraagt de kans op hoge stroomsnelheden in het voorland 3 à 5%.

¹¹ In enkele cases wordt een maximale stroomsnelheid van 0,5 m/s niet overschreden

Tabel 4.2 Resultaten

Dijkringen 1 ^{ste} dijkkring		2de dijkkring		C-kering Onderdeel	Kans op optreden Hoge Stroomsnelheid
[#]	Naam	[#]	Naam	van:	
6	Friesland en Groningen		Duitsland	DR6	< 1%
6	Friesland en Groningen	9	Vollenhoven	DR6	Niet aanwezig
7	Noordoostpolder	9	Vollenhoven	DR7	Niet aanwezig
13	Noord-Holland	12	Wieringermeer	DR13	5%
13	Noord-Holland	44	Kromme Rijn	DR13	Niet aanwezig
14	Zuid-Holland	44	Kromme Rijn	DR14	Niet aanwezig
14	Zuid-Holland	15	Lopiker- en Krimpenerwaard	DR14	1% ^{*1}
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	44	Kromme Rijn	DR15	3%
16	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	DR16	ca. 1%
33	Kreekrakpolder e.o.	34	West-Brabant	DR33	< 1%
35	Donge	36	Land van Heusden/de Maaskant	DR35	< 1%

*1 Deze kans hoort bij een overstroming van dijkkringgebied 15 vanuit (overstroomd) dijkkringgebied 44.

Ten aanzien van deze kansen geldt dat de percentages een overschatting betreffen. Vooraleerst omdat de gekozen "veilige afstand" van 1000 m een conservatieve waarde is:

- het betreft de maximale waarde uit de analyse (met 8 overstromingen in verschillende dijkkringgebieden);
- door de ruwheid van het voorland van de c-kering zal bij breslocaties nabij de c-kering de stroomsnelheid in de richting van de c-kering sneller afnemen, zodat alleen bij een kortere afstand dan 1000 m een stroomsnelheid > 0,5 m/s zal optreden;
- deze is gebaseerd op een (kritieke) stroomsnelheid van 0,5 m/s en niet zeker is dat dan al erosie optreedt.

Bij het laatste punt wordt opgemerkt dat soms een hogere stroomsnelheid kan worden weerstaan, afhankelijk van de textuur van de toplaag van het voorland en de vegetatie (dit aspect is niet beschouwd bij deze analyse, omdat het in feite de toets op een sterkte component van de c-kering is). Bij een minder conservatief uitgangspunt over de toelaatbare stroomsnelheid resulteert een kortere afstand, en dus lagere kans op een doorbraak binnen deze afstand cq. het optreden van die (lagere) stroomsnelheid¹². Verder hangt de erosiecapaciteit van het water niet alleen af van de stroomsnelheid, maar ook van de sedimentlast. Wanneer het water ter plaatse van de bres veel gronddeeltjes opneemt, verliest het het vermogen om op grotere afstand van de bres erosie te veroorzaken.

Teneinde de resultaten in perspectief te plaatsen wordt opgemerkt dat de vele restanten van dijkdoorbraken in het verleden, zoals de wielen of kolken in het rivierengebied, overwegend een beperkte afmeting hebben. Zeker in breedterichting evenwijdig aan de waterkering heeft de zone waarover erosie is opgetreden beperkte breedte. Klaarblijkelijk veroorzaakt het instromende water tot op beperkte afstand van de bres erosie van het maaiveld, en kan de afstand van 1 km die in deze studie is aangehouden als erg conservatief worden beschouwd.

Specifiek ten aanzien van de c-kering tussen de dijkkringgebieden 14 en 15 (de kering langs de gekanaliseerde Hollandse IJssel) geldt dat:

1. de kans een voorwaardelijke kans betreft;
2. de (voorwaardelijke) kans een overschatting betreft.

Ad.1. Voorwaarde is een overstroming vanuit dijkkringgebied 44 na een doorbraak van de Lekdijk van dijkkringgebied 44. De kans op dit overstromingsscenario is kleiner dan 30% [Achtergrondrapport HR c-kering Gekanaliseerde Hollandse IJssel, HKV, 2008]. Bij een

¹² Bij een stroomsnelheid van 2 m/s bedraagt de kritieke afstand max. 500 m, waarmee de kansen halveren.

doorbraak van de a-kering van dijkringgebied 15 bestaat geen kans op een hoge stroomsnelheid in het voorland van de c-kering (omdat de c-kering niet op de a-kering aansluit).

Ad. 2 Zoals boven genoemd betreft dit een overstromingsscenario waarbij eerst dijkringgebied 44 overstroomt vanuit de Lek, en vervolgens dijkringgebied 15 vanuit dijkringgebied 44. Deze situatie wijkt sterk af van de beschouwde cases op basis waarvan is vastgesteld tot op welke afstand van een bres een stroomsnelheid van 0,5 m/s kan optreden. Naar verwachting is deze situatie uit oogpunt van de optredende stroomsnelheden gunstiger, in de zin dat het verval over de kering in deze situatie kleiner is dan het verval in de beschouwde cases (zie bijlage 4). Zodoende wordt verondersteld dat de afstand tot de bres waar hoge stroomsnelheden kunnen optreden ook lager zal zijn. Het hanteren van 1000 m is zodoende een conservatief uitgangspunt.

Tot slot twee opmerkingen gemaakt vanuit de aanpak van het "Toetsinstrumentarium c-kering" project van DG Water:

- bedacht moet worden dat bij de bepaling van hydraulische randvoorwaarden voor de dijkkringscheidende c-keringen is gekozen voor een aanpak op basis van gemiddelden cq. een weging van optredende waterstanden op basis van een scenariokans van de bijbehorende overstroming¹³. Indien een vergelijkbare benadering wordt toegepast voor de stroomsnelheid in het voorland, resulteert voor alle c-keringen een stroomsnelheid lager dan 0,5 m/s (mits überhaupt sprake is van aansluiting op een voorliggende waterkering).
- Verder geldt dat bij de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden steeds is gezocht naar maatgevende breslocaties per dijkvak. Een maatgevende breslocatie houdt in dat bij een doorbraak van de primaire kering in het betreffende dijkvak deze breslocatie de meest ernstige overstroming van het dijkringgebied geeft. Voor al deze locaties geldt dat deze op meer dan 1 km van de c-kering verwijderd zijn, de beschouwde maatgevende breslocaties leiden dus niet tot erosie van het voorland van de c-kering. Een breslocatie nabij de c-kering (die dus wel tot erosie zou kunnen leiden) leidt niet tot een maatgevende overstroming, bij deze locatie zal het resulterende toetspeil dus lager zijn.

4.6 Conclusie

Uit de analyse blijkt dat bij 4 van de 11 dijkkringscheidende c-keringen in het voorland geen stroomsnelheid van betekenis zal optreden, omdat de c-keringen niet aansluiten op een voorliggende waterkering. Verder blijkt dat bij 5 van de 11 dijkkringscheidende c-keringen een verwaarloosbare (ca 1% of minder) kans bestaat op het optreden van een stroomsnelheid hoger dan 0,5 m/s in het voorland voor de c-kering. Tenslotte blijkt dat bij 2 c-keringen deze kans ca. 3 tot maximaal 5% bedraagt.

Deze kansen zijn klein. Een eenvoudig criterium om deze aan te toetsen bestaat echter niet. Vast staat dat na eventuele weging van de optredende stroomsnelheden per breslocatie op basis van scenariokansen bij alle c-keringen (conform de aanpak bij de bepaling van het toetspeil) een stroomsnelheid lager dan 0,5 m/s resulteert. Bij deze lage stroomsnelheid is de kans op erosie van het voorland verwaarloosbaar klein.

4.7 Concept advies RWS Waterdienst

Geconcludeerd wordt dat het uitgangspunt in het VTV-C2006 betreffende het verwaarlozen van erosie van het voorland van dijkkringscheidende c-keringen recht doet aan de situatie. Het concept advies betreft dat dit uitgangspunt niet hoeft te worden bijgesteld bij de integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011.

¹³ De toetspeilen zijn niet gebaseerd op de maximale waterstand die kan ontstaan bij de maatgevende breslocatie, maar na weging van de resulterende waterstanden bij alle breslocaties op basis van scenariokansen. Deze scenariokansen zijn daarbij (ook) vastgesteld op basis van lengteverhoudingen.

5 Beperking strijklengte door voorliggende kering

5.1 Kader en situatie

In het kader van de integratie van het VTV-C2006 in het WTI2011 worden enkele pragmatisch gekozen uitgangspunten bij de toetschema geverifieerd. Eén uitgangspunt betreft de reductie van de strijklengte door een tegenoverliggende niet-primaire waterkering.

Enkele dijkkringscheidende c-keringen grenzen direct aan een regionaal watersysteem. Aan de overzijde van het regionale watersysteem is, vaak op korte afstand van de c-kering, een niet-primaire waterkering aanwezig. De tegenoverliggende waterkering heeft geen beschermde status in de zin van de Wwk, en maakt (waterstaatkundig) geen onderdeel uit van de c-kering. Het functioneren van de tegenoverliggende niet-primaire waterkering heeft consequenties voor de hydraulische belasting van de categorie c-kering. In het VTV-C is een voorzichtig realistische benadering gevolgd, waarbij wel wordt uitgegaan van de aanwezigheid van de tegenoverliggende waterkering, maar niet wordt vertrouwd op het waterkerend vermogen van de tegenoverliggende waterkering over de gehele strekking.

Aldus mag voor de hoogtetoets bij de berekening van de golfrandvoorwaarden de strijklengte worden gereduceerd tot de breedte van het voorliggende regionale watersysteem, indien de kruinhoogte van de tegenoverliggende kering hoger is dan toetspeil. Uitgangspunt daarbij is dat de tegenoverliggende kering niet (volledig) doorbreekt tijdens de normsituatie. Als onderdeel van de integratie van het Addendum VTV-C is voorgenomen dit uitgangspunt te verifiëren.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze verificatie.

5.2 Optimalisatie strijklengte bij 3^{de} toetsronde

Geïnterviewd is of bij de uitwerking van de toets op veiligheid van alle dijkkringscheidende c-keringen met een tegenoverliggende niet-primaire waterkering gebruik is gemaakt van de mogelijk tot optimalisatie van de golfrandvoorwaarden door reductie van de strijklengte, vanwege de aanwezigheid van de tegenoverliggende niet-primaire kering. Gebleken is dat van deze mogelijkheid tot optimalisatie geen gebruik is gemaakt, omdat:

- optimalisatie niet nodig was, omdat sprake is van een geringe hydraulische belasting en evident veilige situatie; of:
- optimalisatie niet mogelijk was, omdat de kruin van de tegenoverliggende niet-primaire kering lager was dan toetspeil.

De resultaten van de inventarisatie zijn beschreven in onderstaand kader.

Dijkingscheidende c-keringen met tegenoverliggende waterkering (incl. uitwerking 3^{de} toetsronde)

Dijkinggebieden		Tegenoverliggende kering
1 ^{ste} dijkkring	2 ^{de} dijkkring	
6 Friesland en Groningen	9 Vollenhoven	Kadevak langs de Linde
13 Noord-Holland	12 Wieringermeer	Oostelijke kade langs Waard- en Groetkanaal
14 Zuid-Holland	44 Kromme Rijn	Oostelijke kade langs het Amsterdam – Rijn kanaal
14 Zuid-Holland	15 Lopiker- en Krimpenerwaard	Zuidelijke kade langs de gekanaliseerde Hollandse IJssel
15 Lopiker- en Krimpenerwaard	44 Kromme Rijn	Oostelijke kade langs het Amsterdam – Rijn kanaal
35 Donge	36 Land van Heusden/de Maaskant	Oostelijke kade langs het Drongelens kanaal

Dijkingscheidende c-kering tussen DR6 en DR9

Alleen op het westelijke traject komt een hydraulische belasting voor, in het oostelijke traject (ca. 2/3 van de lengte) bevindt het maaiveld zich boven toetspeil. De hydraulische belasting is zeer gering, het toetspeil bedraagt NAP -0,3 m en de grootte van de golven is zeer beperkt (onbekend bij het Wetterskip Fryslan). Bij de toets op veiligheid is geen gebruik gemaakt van het gunstige effect van de aanwezigheid van de tegenoverliggende kering, reeds zonder reductie van de strijklengte door de tegenoverliggende kering voldoet de c-kering aan de norm.

Dijkingscheidende c-kering tussen DR13 en DR12

Het toetspeil bedraagt NAP +0,3 m. De c-kering is voldoende hoog, zodat bij de toets op veiligheid geen gebruik is gemaakt van de aanwezigheid van de voorliggende kering. De kruinhoogte van de tegenoverliggende kering varieert globaal tussen NAP +0,8 en +1,4 m, en is hoger dan toetspeil. De golfhoogte in de overstroomde Wieringermeer bedraagt maximaal 0,5 m, maar varieert overwegend tussen 0,2 en 0,3 m.

Dijkingscheidende c-kering tussen DR14 en DR44

De kruinhoogte van de tegenoverliggende kering is lager dan het toetspeil, van de aanwezigheid van de voorliggende kering is geen gebruik gemaakt bij de toets op veiligheid.

Dijkingscheidende c-kering tussen DR14 en DR15

De kruinhoogte van de tegenoverliggende kering is lager dan het toetspeil, van de aanwezigheid van de voorliggende kering is geen gebruik gemaakt bij de toets op veiligheid.

Dijkingscheidende c-kering tussen DR15 en DR44

De kruinhoogte van de tegenoverliggende kering is lager dan het toetspeil, van de aanwezigheid van de voorliggende kering is geen gebruik gemaakt bij de toets op veiligheid.

Dijkingscheidende c-kering tussen DR35 en DR36

Toetspeil varieert van +4,1 tot +4,7 m, de kruinhoogte varieert van NAP +5,1 à +5,5 m. De significante golfhoogte varieert van 0,22 tot 0,36 m. Bij de toets op veiligheid is de strijklengte niet gereduceerd.

5.3 Verminderde aanleiding standaard optimalisatie strijklengte

Belangrijke aanleiding voor de optimalisatie van de strijklengte betrof de veronderstelling dat de grasbekleding van veel c-keringen zou worden afgekeurd vanwege hoge golven in het voorliggende overstroomde dijkingsgebied. Belangrijke aanleiding voor de soepele toepassingsvoorwaarden voor deze optimalisatie was de wens om de waterkeringbeheerders

niet te verplichten tot een complexe toetsinspanning voor de c-keringen. Zodoende is in het VTV-C2006 gekozen de optimalisatie betrekkelijk eenvoudig toe te staan, met uitsluitend de voorwaarde dat de kruin van de tegenoverliggende niet-primaire waterkering hoger is dan toetspeil. Hiertoe is globaal beoordeeld¹⁴ dat voor alle tegenoverliggende niet-primaire waterkeringen met een kruinhoogte boven toetspeil geldt dat geen (volledig) bres door de kering zal ontstaan, waardoor de keringen dus de strijklengte beperken. Een nadere beschouwing van de erosiebestendigheid en standzekerheid van de tegenoverliggende niet-primaire waterkering is niet vereist. In dit opzicht week deze benadering (een "Ja, tenzij ..") af van de lijn in het VTV2006 ten aanzien bijv. havendammen (meer een "Nee, tenzij ...").

In het kader van het WTI2011 worden de toetsregels ten aanzien van de erosiebestendigheid van grasbekledingen op zowel het binnen- als buitentalud waarschijnlijk aangepast. Deze aanpassingen betreffen versoepelingen op basis van de resultaten van het onderzoek uit het SBW - programma, waarbij onder voorwaarden wordt gesteld dat:

- een overslagdebiet tot 5 l/m/s geen gevaar voor erosie van het binnentalud oplevert;
- een golfhoogte tot 0,5 m geen erosie van het buitentalud door golfoverslag veroorzaakt.

De golfhoogten in de overstroemde voorliggende dijkkringgebieden bedragen maximaal 0,5 m. Dit betreft de dijkkringscheidende c-kering langs de Wieringermeer en de dijkkringscheidende c-kering langs de gekanaliseerde Hollandse IJssel. Bij de overige dijkkringscheidende c-keringen zijn de golven minder groot, de golfhoogte bij de c-kering langs dijkkringgebied 6 is zelfs verwaarloosbaar vanwege de zeer geringe waterdiepte.

De versoepeling van de toetsregels houdt enerzijds in dat het meer waarschijnlijk is dat geen volledige bres in de tegenoverliggende niet-primaire waterkering ontstaat. Anderzijds resulteert dit ook in een gunstiger beoordeling / toetsresultaat voor de grasbekleding van de cat. c – kering. Het is daarbij aannemelijk dat de aanvankelijke veronderstelling dat de grasbekleding van c-keringen grootschalig het toetsoordeel 'onvoldoende' zouden krijgen, inmiddels achterhaald is. Aldus is een belangrijke aanleiding voor de optimalisatie van de strijklengte weggenomen.

5.4 Conclusie

Het uitgangspunt in het Addendum VTV-C betreffende een reductie van de strijklengte door het aanwezig zijn van een tegenoverliggende kering doet op zichzelf waarschijnlijk geen onrecht aan de situatie. Maar, uit deze nadere beschouwing is gebleken dat:

- de optimalisatie van de strijklengte niet van nut is geweest bij de toets op veiligheid;
- de aanleiding voor deze optimalisatie is sterk verminderd, omdat de rekenregels ten aanzien van de erosiebestendigheid van grasbekledingen in het WTI2011 worden aangepast (versoepeld).

Verder geldt dat het uitgangspunt niet consistent is met de omgang in het VTV met havendammen voor de cat. a- en b-keringen.

Vanwege de verminderde noodzaak voor de toepassing van dit gunstige uitgangspunt uit het VTV-C2006, lijkt het verstandig om deze 'afwijking' weer in lijn te brengen met de meer algemene redeneerlijn in het WTI, namelijk dat alleen met het gunstige effect van overige

¹⁴ De veronderstelling dat volledige erosie van de kruin van een kering niet zou optreden is onder andere gebaseerd op de notitie bij het TR Klei voor Dijken [ref. X], waarin wordt gesteld dat "Een grasmat die zich onder goed beheer in enkele jaren kan ontwikkelen, kan zonder schade een periode met harde wind en golven tot ca. 0,7 m verdragen." Bedenk daarbij dat de stormduur 12 uur bedraagt, en de windsnelheid varieert van 9 tot 12 à 13 m/s, afhankelijk van de windrichting en locatie (zie o.a. Gebruikershandleiding Hydra-R 2006)

elementen rekening wordt gehouden wanneer deze expliciet zijn getoetst op hun aanwezigheid en effectiviteit tijdens de normsituatie.

5.5 Concept advies RWS Waterdienst

Het advies is om dit uitgangspunt aan te passen. De aanpassing betreft de hoogtetoets van dijkkringscheidende c-keringen die direct grenzen aan een regionaal watersysteem. Het uitgangspunt dat, indien de kruinhoogte van de tegenoverliggende niet-primaire kering hoger is dan het toetspeil, de strijklengte mag worden gereduceerd tot de breedte van het voorliggende regionale watersysteem dient te vervallen.

Voorgesteld wordt om in het toetsschema voor de hoogtetoets met tegenoverliggende niet-primaire keringen op gelijke wijze om te gaan als met havendammen, wat inhoudt:

- in beginsel verwaarlozen van de aanwezigheid, en rekening houden met volledige strijklengte cq. golfrandvoorwaarden aan de rand van het voorliggende dijkringgebied;
- indien een score 'onvoldoende' resulteert: nader beschouwen van de aanwezigheid van de tegenoverliggende kering en, zo mogelijk, rekening houden met een reductie van de strijklengte door een tegenoverliggende kering.

Dit uitgangspunt heeft dus bijstelling bij de integratie van het Addendum in het VTV-C. Een tekstvoorstel is opgenomen in de managementsamenvatting.

Referenties

HR, 2006

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 2007
Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006). ISBN-nummer 978-90-369-5761-8, NUR 956.

HR-C2006, 2008

Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen van de categorie c. Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat-Generaal Water, 2008.

Achtergrondrapport Gekanaliseerde Hollandse IJssel

Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen, *Achtergrondrapport Gekanaliseerde Hollandse IJssel (dijkkring 14)*, Slootjes en Hoffman, HKV-rapport PR1322, november 2008.

VTV, 2006

Voorschrift Toetsen op Veiligheid, 2006. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. ISBN 978-90-369-5762, NUR: 956.

VTV-C, 2008

Voorschrift Toetsen op Veiligheid. Addendum voor primaire waterkeringen categorie c. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Water, 2008.

Bijlage 1.1: Casus Boezemkade Noord-Holland

Gegevens beschikbaar gesteld door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Geometrie

De kade heeft een kruinhoogte van NAP +1,15 m, het maaiveldniveau in het achterland bedraagt NAP -1,5 m. De kruinbreedte bedraagt 3,5 meter. Het buitentalud heeft een helling van 1:2 (V:H). Het binnentalud heeft een helling van 1:2,5, tot op een niveau van NAP+0 m (kruinniveau minus 1,15 m), en vervolgens 1:6,5 tot op NAP -1,15 m. Vervolgens verloopt het maaiveld gelijkmatig naar NAP -1,5 m nabij de teensloot, die zich op ca. 15 m afstand van de binnenteen bevindt. De teensloot heeft een (geschematiseerde) diepte van 1,75 m (taludhelling ca. 1:1,5), de slootbodem bevindt zich op NAP -3,25 m en heeft een breedte van 1 meter.

De waterstand in de boezem bevindt zich op NAP -0,4 m, ofwel ca. 1,5 m minus kruinniveau.

Bodemopbouw

De bodem is opgebouwd uit een pakket met kleilagen en een laag kleiig zand, op een zandondergrond. Het pakket klei / kleiig zand heeft een dikte van meer dan 10 meter, en is als volgt opgebouwd:

- MV tot MV-0,5 m: Klei;
- MV-0,5 m tot MV-2,0 m: Zand, kleiig
- MV-2,0 m tot MV-4,0 m: Klei, humeus
- MV-4,0 m > MV-10 m: Klei

Grondmechanische eigenschappen en doorlatendheden

Onderstaande tabel presenteert de gehanteerde eigenschappen van de grondlagen.

Grondlaag	Volumiek gewicht		Phi [°]	Cohesie [kPa]	Doorlatendheid	
	Nat [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]			Verticaal [m/d]	Horizontaal [m/d]
Klei	14,8	14,8	23	1	0,05	0,05
Klei humeus	13,0	13,0	20	1	0,01	0,01
Zand kleiig	18,0	18,0	22,5	0	0,5	0,5
Kade kleiig	16,0	18,0	22	2	0,10	0,25

De sterkte-eigenschappen zijn beschikbaar gesteld door HHNK, de doorlatendheden zijn geschat.

Waterstanden en -spanningen

De boezemwaterstand bedraagt NAP -0,4 m. Het polderpeil bedraagt (initieel) NAP -2,5 m. Gedurende de overstroming zijn de volgende waterstanden in het dijkringgebied beschouwd:

- waterstanden van NAP -2,0 m en NAP -1,5 m (= maaiveldniveau);
- waterstanden NAP -1,15 m en +0,0 m.

De initiële stijghoogte beneden de kleilaag bedraagt NAP -2,5 m, deze stijgt gedurende de overstroming van het dijkringgebied (berekenningsresultaat MSeep). Onder deze omstandigheden is geen sprake van opdrijven.

Overige belastingen

In de analyse zijn geen overige belastingen, zoals een verkeersbelasting, beschouwd.

Bijlage 1.2: Casus gekanaliseerde Hollandse IJssel

Gegevens beschikbaar gesteld door het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard

Geometrie

De kade heeft een kruinhoogte variërend tussen NAP +1,6 en +1,7 m ter plaatse van resp. de buiten- en binnenkruinlijn tot NAP +1,9 m ter plaatse van de middenkruinlijn. Het maaiveldniveau in het achterland bedraagt ca. NAP -1,75 m. De kruinbreedte bedraagt 13 meter. Het buitentalud heeft een (geschematiseerde) helling van 1:1,5 (V:H). De gehanteerde waterstand in de gekanaliseerde Hollandse IJssel bedraagt NAP +0,95 m (dit komt overeen met MBP), ofwel bijna 1 m minus kruinniveau. Het binnentalud heeft een helling van 1:2,1, tot op een niveau van NAP-0,9 m. Op dit niveau bevindt zich een kleine aanberming met een breedte van ca. 1,5 m, het talud naar maaiveld heeft een helling van ca. 1:4. Het maaiveld verloopt verder van NAP -1,5 m nabij de teen tot NAP -1,75 m op ca. 30 m afstand van de teen. Op ca. 40 m afstand van de binnenteen bevindt zich een teensloot, met een (geschematiseerde) diepte van 1 m (taludhelling ca. 1:1), de slootbodem bevindt zich op NAP -2,75 m en heeft een breedte van ca. 2,5 meter.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is afgeleid op basis van gegevens in MGeoBase betreffende bodemprofielen die op dit kadevak kunnen voorkomen. Als maatgevende bodemopbouw is gekozen voor een opbouw met een pakket klei- en veenlagen met een dikte van ca. 10 meter (onderzijde op NAP -12 m) op een zandondergrond. Het pakket klei- en veenlagen is als volgt opgebouwd:

- MV tot NAP -2,0 m: Klei (antropogeen);
- NAP -2,0 m tot NAP -6,0 m: Hollandveen (V1);
- NAP -6,0 m tot NAP -10,0 m: Klei (Tiel);
- NAP -10,0 m tot NAP -12,0 m: Hollandveen (V3).

Grondmechanische eigenschappen en doorlatendheden

De grondmechanische eigenschappen zijn overgenomen uit de regionale proevenverzameling van het Hoogheemraadschap, zoals die bij Deltares beschikbaar is. Onderstaande tabel presenteert alleen de gehanteerde geohydrologische eigenschappen van de grondlagen. De doorlatendheden zijn geschat, op basis van ervaringen. Met deze doorlatendheden heeft het Holocene pakket een (verticale) hydraulische weerstand van ruim 2000 dagen.

Grondlaag		Doorlatendheid	
		Verticaal [m/d]	Horizontaal [m/d]
Klei	Antropogeen	0,05	0,1
Klei	Tiel	0,005	0,01
Hollandveen	V1	0,01	0,05
Hollandveen	V3	0,002	0,01
Zand	Pleistoceen	40	40
Kade	kleilig	0,10	0,25

Waterstanden en -spanningen

De boezemwaterstand bedraagt NAP +0,95 m. Het polderpeil bedraagt (initieel) NAP -2,25 m. Gedurende de overstroming zijn de volgende waterstanden in het dijkkringgebied beschouwd:

- een waterstand van NAP -1,75 m (= maaiveldniveau);
- waterstanden van NAP -1,5, -1,0, 0,0 en +1,0 m.

De initiële stijghoogte bedraagt NAP -1,73 m, deze stijgt gedurende de overstroming van het dijkkringgebied (berekenningsresultaat MSeep). De verschil in waterspanningen tussen de freatische grondlagen en de zandondergrond verloopt lineair over het Holocene pakket.

Onder deze omstandigheden is geen sprake van een opdrijfsituatie, ook gedurende de overstroming ontstaat geen opdrijfsituatie.

Overige belastingen

In de analyse is tevens (als variabele) een verkeersbelasting beschouwd (à 13 kN/m² over een breedte van 2,5 m, ongeconsolideerd).

Bijlage 1.3: Uitgangspunten gevoeligheidsanalyse

Geometrie

De kade heeft een kruinhoogte van NAP +1,0 m, het maaiveldniveau in het achterland bedraagt NAP -2,0 m. De kruinbreedte bedraagt 3 meter. Het buitentalud heeft een helling van 1:2 (V:H). De teensloot heeft een diepte van 1,5 m (taludhelling 1:2), de slootbodembodem bevindt zich op NAP -3,5 m en heeft een breedte van 1 meter.

De waterstand in de boezem bevindt zich op NAP +0,5 m, ofwel 0,5 m minus kruinniveau.

Beschouwd zijn 2 varianten:

- een steil en flauw binnentalud;
- een nabij- en vergelegen teensloot.

Het steile binnentalud heeft het volgende verloop:

- een helling van 1:1 van kruinniveau tot 1 meter minus kruinniveau;
- een helling van 1:2,5 van 1 meter minus kruinniveau tot 2,5 meter minus kruinniveau;
- een helling van 1:10 van 2,5 meter minus kruinniveau tot 3 meter minus kruinniveau;

Het flauwe binnentalud heeft het volgende verloop:

- een helling van 1:2 van kruinniveau tot 1 meter minus kruinniveau;
- een helling van 1:5 van 1 meter minus kruinniveau tot 2,5 meter minus kruinniveau;
- een helling van 1:10 van 2,5 meter minus kruinniveau tot 3 meter minus kruinniveau.

De teensloot bevindt zich op een afstand van 5 of 25 meter van de binnenteen (einde 1:10 talud).

Bodemopbouw

De bodem is opgebouwd uit een pakket klei- en veenlagen op een zandondergrond. Het pakket klei- en veenlagen heeft een dikte van 5 meter, en is als volgt opgebouwd:

- MV tot MV-1,5 m: Klei;
- MV-1,5 m tot MV-4,0 m: Klei, humeus;
- MV-4,0 m tot MV-5,0 m: Veen.

Betreffende de aard van het kadelichaam is een zandig en kleilig kadelichaam beschouwd

Grondmechanische eigenschappen en doorlatendheden

Onderstaande tabel presenteert de gehanteerde eigenschappen van de grondlagen

Grondlaag	Volumiek gewicht		Phi [°]	Cohesie [kPa]	Doorlatendheid	
	Nat [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]			Verticaal [m/d]	Horizontaal [m/d]
Klei	15	17	17	2	0,05	0,05
Klei humeus	13	15	15	1	0,01	0,01
Veen Kleilig	6	12	12,5	1	0,01	0,01
Zand	18	20	25	0	25	25
Kade Kleilig	16	18	19	2,5	0,10	0,25
Kade zandig	17	19	22,5	0,5	0,20	0,40

Waterstanden en -spanningen

De boezemwaterstand bedraagt NAP +0,5 m. Het polderpeil bedraagt (initieel) NAP -3 m.

Gedurende de overstroming zijn de volgende waterstanden in het dijkkringgebied beschouwd:

- waterstanden van NAP -2,5 m en NAP -2,0 m (= maaiveldniveau);
- waterstanden NAP -1,5 m en -0,75 m.

De initiële stijghoogte bedraagt NAP -2,5 m, deze stijgt gedurende de overstroming van het dijkkringgebied (berekeningsresultaat MSeep).

Gedurende alle fasen van de overstroming ontstaat geen opdrijfsituatie.

Overige belastingen

In de analyse zijn geen overige belastingen, zoals een verkeersbelasting, beschouwd.

Bijlagen 2: Aansluiting c-kering op waterkering voorliggend dijkkringgebied

Toelichting bij de satellietfoto's

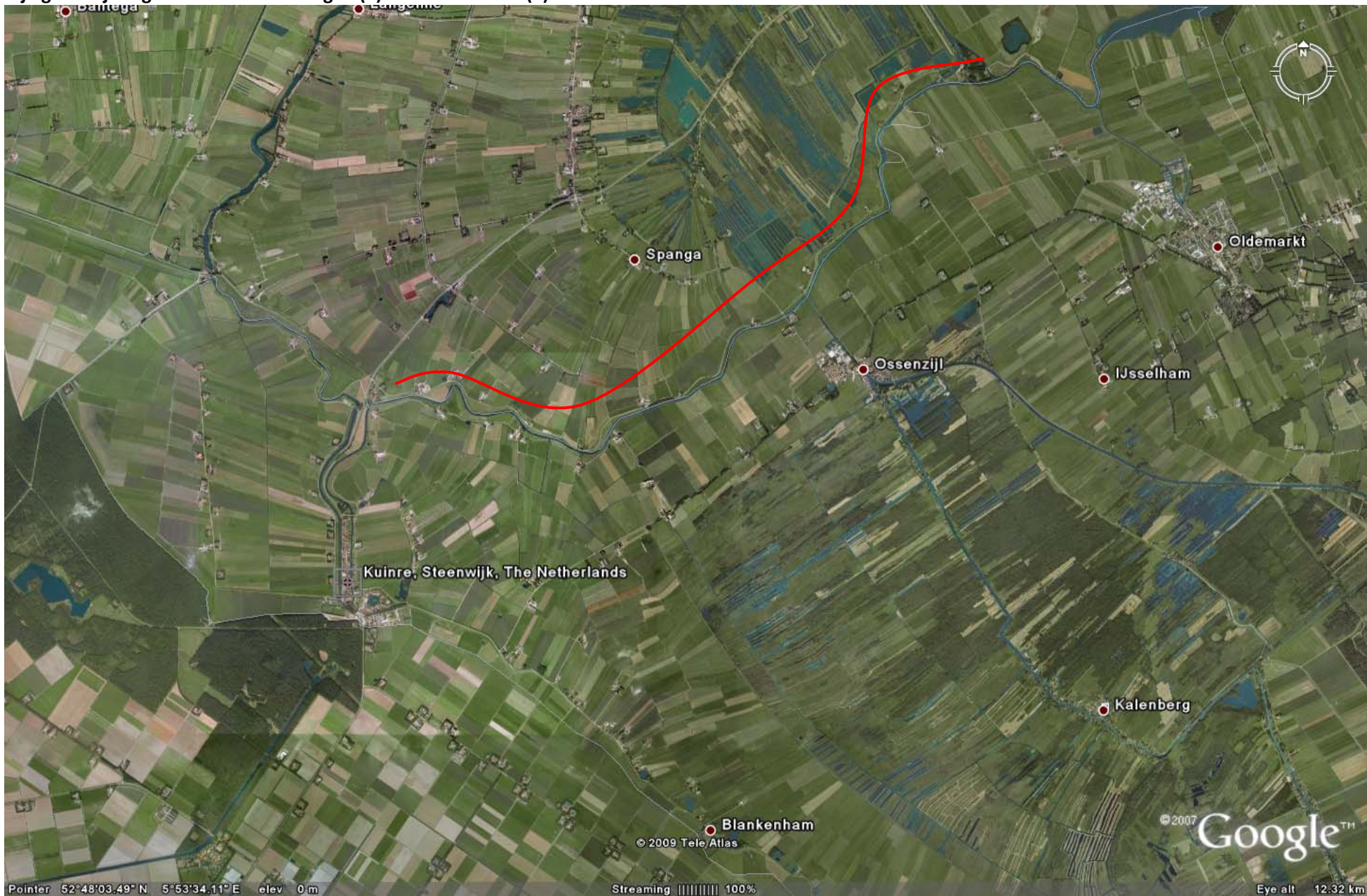
In de volgende satellietfoto's is steeds de ligging van de cat. c – kering aangegeven (met een rode lijn).

Zo nodig is ter verduidelijking tevens de ligging van de overige primaire waterkeringen aangegeven (met een dikke gele lijn) en het betreffende regionale water (met een blauwe lijn).

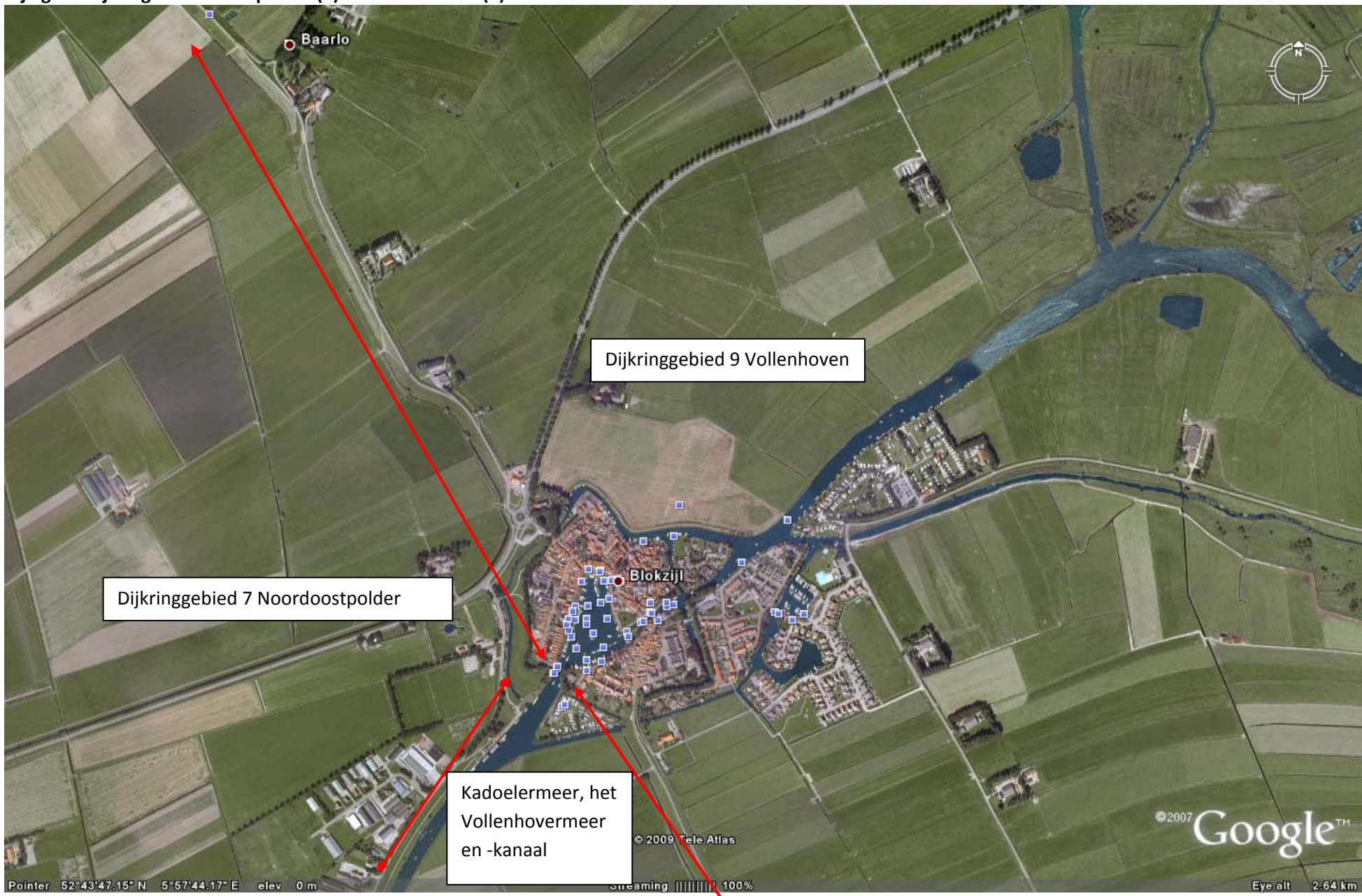
Bijlage 1: 2B1 Dijkkring Friesland en Groningen (6) en Duitsland



Bijlage 2: dijkkring Friesland en Groningen (6) en Vollenhoven (9)



Bijlage 3: dijkkring Noord-Oostpolder (7) en Vollenhoven (9)



Baarlo

Dijkkringgebied 9 Vollenhoven

Dijkkringgebied 7 Noordoostpolder

Blokzijl

Kadoelermeer, het Vollenhovermeer en -kanaal



Pointer 52°43'47.15" N 5°57'44.17" E elev. 0 m

© 2009 Tele Atlas

Streaming 100%

© 2007 Google™

Eye alt 2.64 km

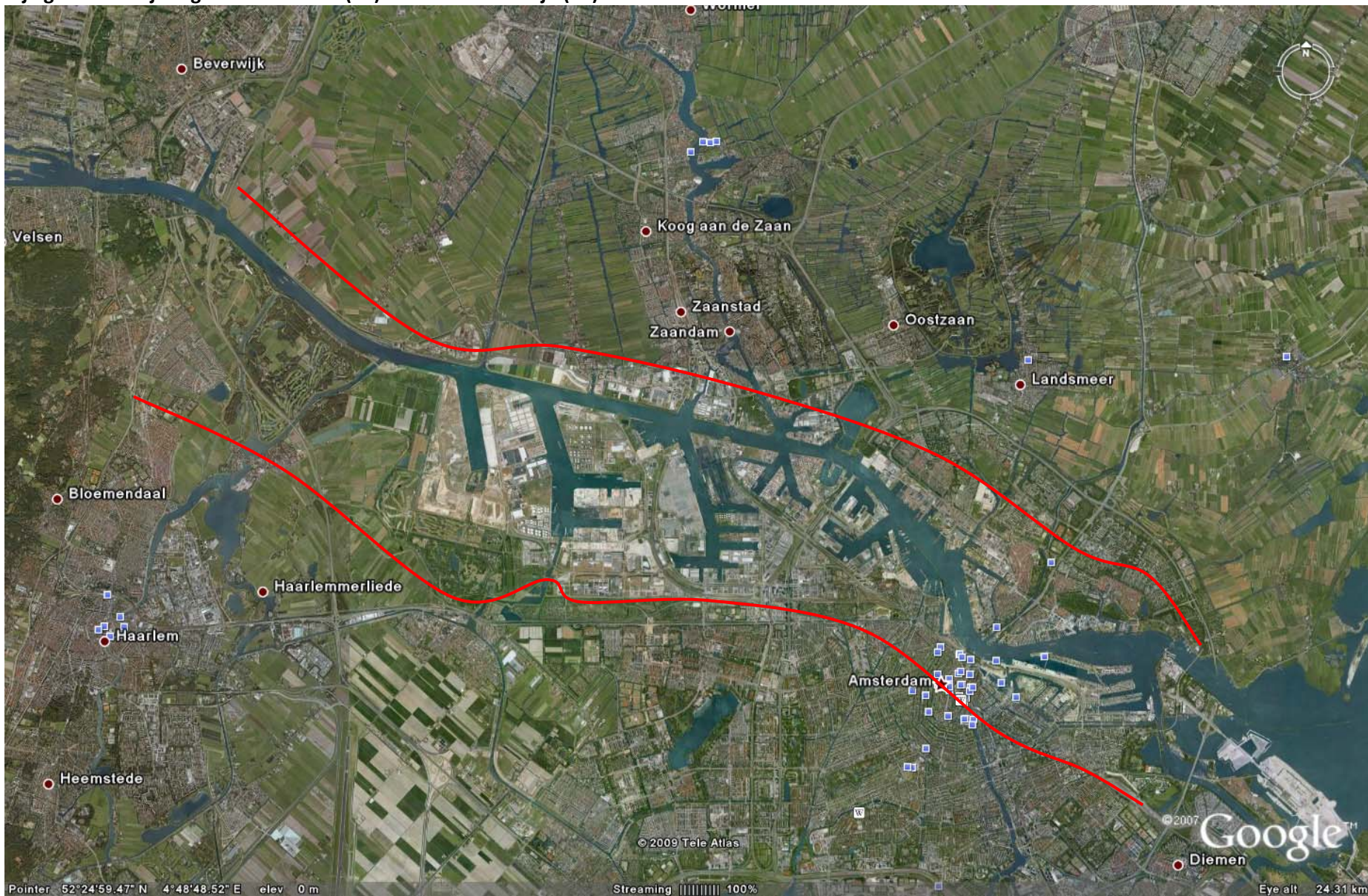
Bijlage 4a: 2B4 Dijkkring Noord-Holland (13) en de Wieringermeer (12)



Bijlage 4b: 2B4 Dijkkring Noord-Holland (13) en de Wieringermeer (12)



Bijlage 5: 2B5 Dijkkring Noord-Holland (13) en de Kromme Rijn (44)



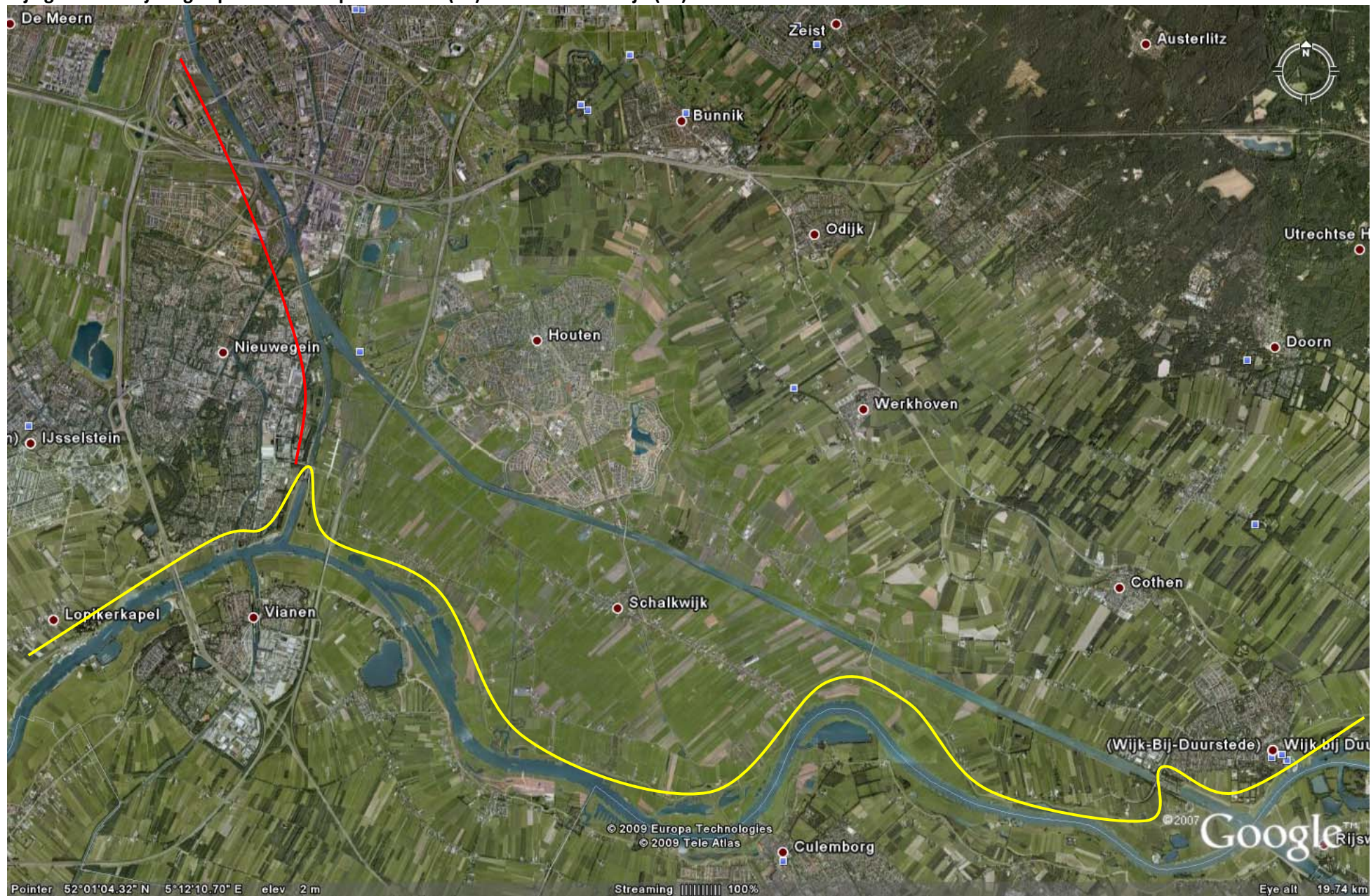
2B6 Dijkkring Zuid-Holland (14) en de Kromme Rijn (44)



Bijlage 7: 2B6 Dijkring Zuid-Holland (14) en de Lopiker- en Krimpenerwaard (15)



Bijlage 8: 2B8 Dijkring Lopiker- en Krimpenerwaard (15) en de Kromme Rijn (44)



Bijlage 9A: 2B9 Dijkkring Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16) en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43) NOORDZIJDE



Bijlage 9B: 2B9 Dijkkring Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16) en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43), ZUIDZIJDE



Bijlage 10: 2B10 Dijkkring Kreekrakpolder (33) en West-Brabant (34)



Bijlage 11: 2B11 Dijkkring Donge (35) en het Land van Heusden (36)



Bijlage 3 Aansluiting dijkingscheidende c-keringen op voorliggende dijkingsgebied

Deze bijlage beschrijft kort de situaties betreffende de aansluiting van de dijkingscheidende c-keringen op de waterkering van de voorliggende dijkingsgebieden.

DRG 6 Friesland en Groningen: traject Westerwoldsche Aa

De normsituatie betreft een overstroming aan Duitse zijde, na een doorbraak van de (Duitse) keringen langs de Dollard en de Eems. De lengte van deze keringen is onbekend.

DRG 6 Friesland en Groningen: traject Slikenburg – Oldemarkt

De c-kering bevindt zich op grote afstand (> 30 km) van de a-kering. Het tussengelegen gebied betreft de c-keringen tussen de dijkingsgebieden Vollenhoven en de Noordoostpolder en de c-keringen rondom het Kadoelermeer, Vollenhoverkanaal en –meer.

DRG 7 Noordoostpolder: traject Slikenburg – Vollenhoven

De c-kering bevindt zich op grote afstand (> 15 km) van de a-kering. Het tussengelegen gebied betreft de c-keringen rondom het Kadoelermeer, Vollenhoverkanaal en –meer.

DRG 13 Noord-Holland: traject Wieringermeerpolder

Nabij Medemblik grenst de c-kering direct aan de a-kering. Aan de noordzijde bevindt de c-kering zich op grote afstand (> 10 km) van de a-kering. Het tussenliggende traject betreft de hoge grond van het voormalige eiland Wieringen. De lengte van de a-kering bedraagt ca. 18 km.

DRG 13 Noord-Holland: traject Noordzeekanaal

De c-kering bevindt zich op grote afstand (> 50 km) van de a-kering (de dijken langs de Lek). Het tussengelegen gebied betreft DRG44.

DRG 14 Centraal-Holland: traject Noordzeekanaal

De c-kering bevindt zich op grote afstand (> 50 km) van de a-kering (de dijken langs de Lek). Het tussengelegen gebied betreft DRG44.

DRG 14 Centraal-Holland: traject Amsterdam – Rijn kanaal

De c-kering sluit niet aan op de a-kering, de afstand bedraagt minimaal ca. 9 km. Het tussen gelegen traject betreft de c-kering van DRG15. Op dit traject kan in het Amsterdam – Rijnkanaal wel een grote stroomsnelheid ontstaan. Aan dit fenomeen wordt specifiek aandacht besteed in een separate studie. Conclusie

DRG14 Centraal-Holland: traject Lopiker- en Krimpenerwaard (gekanaliseerde Hollandse IJssel)

De c-kering sluit niet aan op een a-kering. In het oosten sluit de c-kering aan op de kade langs het Amsterdam – Rijnkanaal, die de grens vormt tussen DRG15 en DRG44. Een overstroming van DRG15 vanuit DRG44 na een doorbraak van deze c-kering behoort tot de mogelijke overstromingsscenario's die tot een hydraulische belasting van de c-kering van DRG14 leiden. In het westen sluit de c-kering aan op de c-keringen rondom de Hollandse IJssel. Een indirecte overstroming van DRG15 vanuit de open Hollandse IJssel na een doorbraak van de c-kering van DRG15 behoort niet tot de overstromingsscenario's die zijn beschouwd bij de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden (omdat een verwaarloosbaar lage belasting resulteert).

DRG15 Lopiker- en Krimpenerwaard: traject Amsterdam-Rijn kanaal

De c-kering sluit direct aan op de a-kering, ter plaatse van Nieuwegein. De lengte van de a-kering van DRG44 langs de Lek bedraagt ca. 30 km.

DRG16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden: traject Diefdijklinie

De c-kering sluit aan zowel de noord- als zuidzijde direct aan op de a-kering. De totale lengte van de a-kering van DRG43 bedraagt 170 km.

DRG33 Kreekrakpolder: traject West-Brabant

De dijkingscheidende c-kering grenst aan de westzijde direct aan de c-kering van het Volkerak-Zoommeer (incl. Schelde-Rijnverbindingen) van dijkkringgebied 34. Aan de oostzijde grenst de c-kering aan hoge grond. De totale lengte van de voorliggende c- en a- kering van dijkkringgebied 34 bedraagt ca. 100 km. Eventuele breslocaties over dit volledige traject leiden waarschijnlijk niet tot een belasting van de c-kering van de Kreekrakpolder. Dit aspect is echter niet onderzocht in het kader van het Addendum HR-C, en is dus onbekend. Zodoende is uitgegaan van een totale lengte van ca. 100 km.

DRG35 Donge: traject Drongelens kanaal

De c-kering sluit aan de noordzijde direct aan op de a-kering. De totale lengte van de dijkvakken van de a-kering van DRG36 bedraagt ca. 103 km. Daarbij wordt opgemerkt dat alleen een doorbraak ter plaatse van de meest westelijke dijkvakken tot een hydraulische belasting van de c-kering leidt. Gezien het stromingspatroon is het aanneemlijk dat een extreme afvoergolf al bovenstrooms tot dijkdoorbraken leidt, overstromingsscenario's bij de westelijke dijkvakken lijken daarom minder realistisch.

memorandum

PR1750.20

Project : Analyse maximale stroomsnelheden achter een bres
Datum : 17-08-2009
Onderwerp : Analyse stroomsnelheden t.b.v. erosie
Van : Tessa Hoffman (HKV LIJN IN WATER)
Aan : Henk van Hemert en Gijs Hoffmans (Deltares)

Het project 'analyse maximale stroomsnelheden achter een bres' vindt plaats in het kader van WTI2011 en dient als input voor een verificatie betreffende de afstand tot de bres waarop erosie van het voorland van de achterliggende primaire c-kering kan plaatsvinden.

1 Uitgangspunten en aanpak

De analyse is uitgevoerd aan de hand van reeds uitgevoerde overstromingsberekeningen voor het project HRC-2006. Van deze overstromingsberekeningen worden de maximale stroomsnelheden achter de breslocaties van de primaire a-keringen in kaart gebracht en afgezet tegen verschillende eigenschappen van de bres, zoals:

1. Het hydraulische verval over de breslocatie (bepaald aan de hand van de hoogte van de kering en de gehanteerde maximale diepte van de bres);
2. De waterdiepte voor de a-kering c.q. de waterstand waaronder de bres is ontstaan;
3. De helling van het maaiveldniveau in het dijkkringgebied achter de kering;
4. De grootte van het dijkkringgebied.

Voor het project HRC-2006 zijn overstromingsberekeningen gemaakt in de dijkringen:

- 15: Lopik- en Krimpenerwaard;
- 36: Land van Heusden;
- 43: Betuwe, Tieler- en Culemborgwaarden;
- 44: Kromme Rijn.

Voor de analyse is gebruik gemaakt van twee breslocaties in ieder dijkkringgebied. De motivatie voor de keuze van de verschillende breslocaties is hieronder per dijkkring gegeven:

Dijkkring	Naamgeving breslocatie	Motivatie
15	A2 – Beatrixsluis	Meest stroomopwaarts gelegen locatie (hoogste buitenwaterstand)
	Lopik	Verder stroomafwaarts gelegen, ander bresdebiet
36	Heusden	Groot verschil in bresdebiet en dicht nabij de c-kering gelegen waardoor de invloed hierop groot kan zijn.
	Doeveren	
43	Angeren	Grootste overstroming en groot verval
	Tuil	Kleine overstroming (t.o.v. Angeren) en klein hydraulisch verhang
44	Amerongen	Meest stroomopwaarts gelegen locatie
	A27 – Wijk bij Duurstede	Meest stroomafwaarts gelegen locatie (m.u.v. A27 – Beatrixsluis omdat die locatie redelijk overeenkomt met de breslocatie in dijkkring 15)

Tabel 1: Motivatie keuze breslocaties voor analyse.

In dit memorandum wordt eerst ingegaan op de voornaamste eigenschappen van de verschillende breslocaties. Vervolgens worden de maximale stroomsnelheden die optreden rondom de breslocaties gepresenteerd in de vorm van isolijnen. Tot slot volgt de beschouwing van het verschil tussen stroomsnelheden gegeven de verschillen in de eigenschappen van de breslocaties.

2 Eigenschappen

In de inleiding is kort aangestipt dat de grootte van de stroomsnelheden achter de breslocaties afhankelijk zijn van een aantal factoren. Hieronder volgt nogmaals het overzicht van deze factoren met een nadere beschouwing van de manier waarop een factor de stroomsnelheid beïnvloedt:

- De grootte van de bres
De mate waarin water een dijkkringgebied in kan stromen is afhankelijk van de grootte van de bres. Hoe groter de bres, hoe meer water het gebied in kan stromen in een kortere tijd. Dit hoeft echter niet te betekenen dat de stroomsnelheid waarmee het water het achterland instroomt ook groter is. Om die reden is deze variatie meegenomen in de analyse. De binnen deze analyse beschouwde overstromingsberekeningen zijn gemaakt met SOBEK- en FLS-modellen. In SOBEK wordt alleen de ontwikkeling van de bres in de diepte opgegeven, de ontwikkeling van in de breedte is afhankelijk gesteld van de samenstelling van de dijk en het aanbod van water. In berekeningen uitgevoerd met Delft-FLS is de gehele groei van de bres (ontwikkeling diepte en breedte) vooraf gedefinieerd,
- Buitenwaterstand en waterstandsverloop
Afhankelijk van de buitenwaterstand waaronder de bres ontstaat en de manier waarop de hydraulische belasting tot stand komt (rivierafvoer of stormopzet op meerpeil of op de zee) zal er meer of minder water aanwezig zijn in het watersysteem waar vanuit de overstroming plaatsvindt. Het verschil in grootte van de overstroming evenals het vormverloop van de buitenwaterstand zijn van invloed op de uiteindelijk optredende stroomsnelheden achter de bres.
- Achterland
De mate waarin water zich binnen een dijkkring kan verspreiden hangt af van de grootte van deze dijkkring, de helling die het land heeft ten opzichte van de breslocatie maar ook de inrichting van het land (en de daarmee samenhangende ruwheid van het landschap).

Voor de 8 breslocaties geven Tabel 2 en Tabel 3 de gegevens weer betreffende de eigenschappen die van invloed zijn op de stroomsnelheden (zie bijlagen A en B voor aanvullende achtergrondinformatie).

Dijkkring	Breslocatie	Ruwheid maaiveld ¹	Helling maaiveld
15	A2 – Beatrixsluis	landbouw (akkerbouw en gras)	aflopend
	Lopik	akkerbouw, stedelijk	vlak
36	Heusden	stedelijk	oplopend
	Doeveren	landbouw (gras)	oplopend
43	Angeren	stedelijk, akkerbouw	vlak
	Tuil	stedelijk, landbouw (gras)	aflopend
44	A27 – Wijk bij Duurstede	stedelijk, landbouw (gras), bos	vlak
	Amerongen	stedelijk, bos	aflopend

Tabel 2: Eigenschappen dijkkringgebieden nabij en ten opzichte van de breslocaties

¹ De ruwheid van het maaiveld is gebaseerd op het LGN (kaart LandGebruik Nederland) en Google maps.

De dijkringgebieden ontlopen elkaar niet veel wat betreft de inrichting. Alle overstromingspatronen worden in enigermate beïnvloed door waterkerende elementen in de vorm van kaden, wegen of keringen. Dit heeft lokaal tot gevolg dat het water wordt opgestuwd en de stromingsrichting verandert. Verder liggen alle breslocaties redelijk ter hoogte van stedelijk gebied, wat beschouwd wordt als 'zeer ruw'. Gebieden met bos of akkerbouw kunnen getypeerd worden als ruw en grasland is het minst ruw van alle aanwezige typen. Wat betreft de helling van het dijkringgebied ten opzichte van de breslocatie zijn alle oriëntaties van hellingen aanwezig (zie bijlage A).

Dijkkring	Breslocatie	Model	Hoogte primaire kering	Hoogte maaiveld	verval over kering	Bresdebiet	Hoogte buitenwaterstand	Belastingsvorm
15	A2 – Beatrixsluis	sobek	6.5	1.15	4.05	1300	6.5	afvoergolf
	Lopik	sobek	5.2	-0.98	7.48	1800	5.2	afvoergolf
36	Heusden	sobek	6.7	2.1	3.56	877	5.7	afvoergolf
	Doeveren	sobek	6.4	1.65	2.65	311	4.3	afvoergolf
43	Angeren	FLS	16.2	10.2	4.80	n.a.	15.0	afvoergolf
	Tuil	FLS	9.3	4.3	4.00	n.a.	8.3	afvoergolf
44	A27 – Wijk bij Duurstede	sobek	8.3	1.8	5.70	877	7.5	afvoergolf
	Amerongen	sobek	10.8	5	3.70	2198	8.7	afvoergolf

Tabel 3: eigenschappen hydraulische belasting en bresmodellering van de breslocaties.

De hydraulische belasting ter hoogte van de breslocaties is voor nagenoeg alle beschouwde dijkkringen de afvoer over de rivieren. Uiteraard zit er wel verschil in de afvoeren gegeven de belasting waaronder de bressen ontstaan (zie bijlage B).

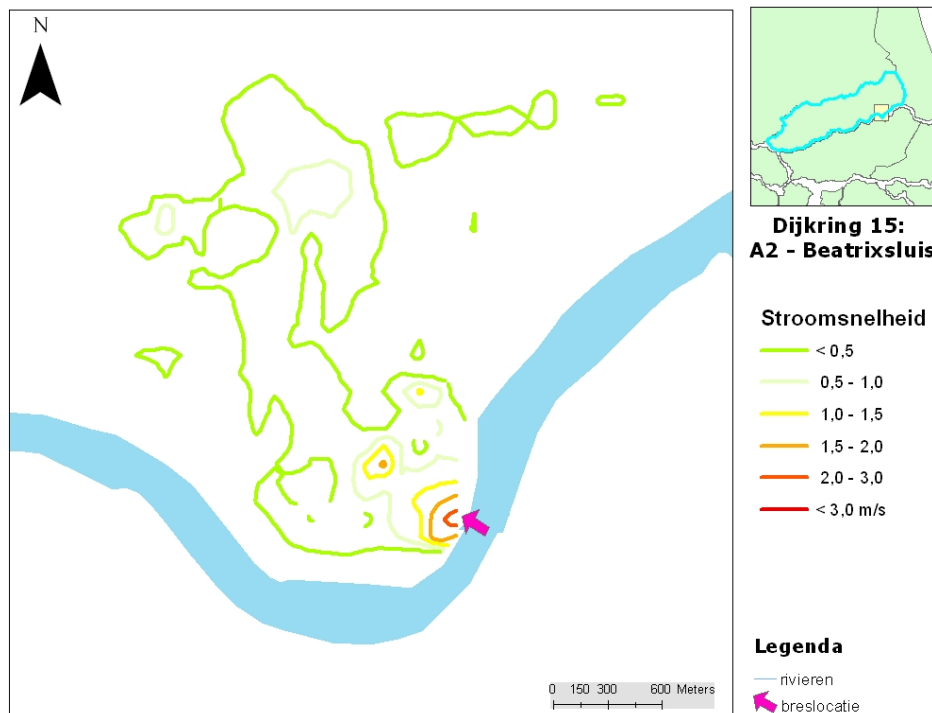
3 Stroomsnelheden per breslocatie

De maximale stroomsnelheden die optreden gedurende een overstroming zijn hieronder per dijkkring en breslocatie gepresenteerd in de zogenaamde isolijnen. Isolijnen zijn contourlijnen van gebieden waarvan de waarde een bepaalde klasse overschrijdt. Op het gebied van stroomsnelheden zijn de volgende contourlijnen bepaald:

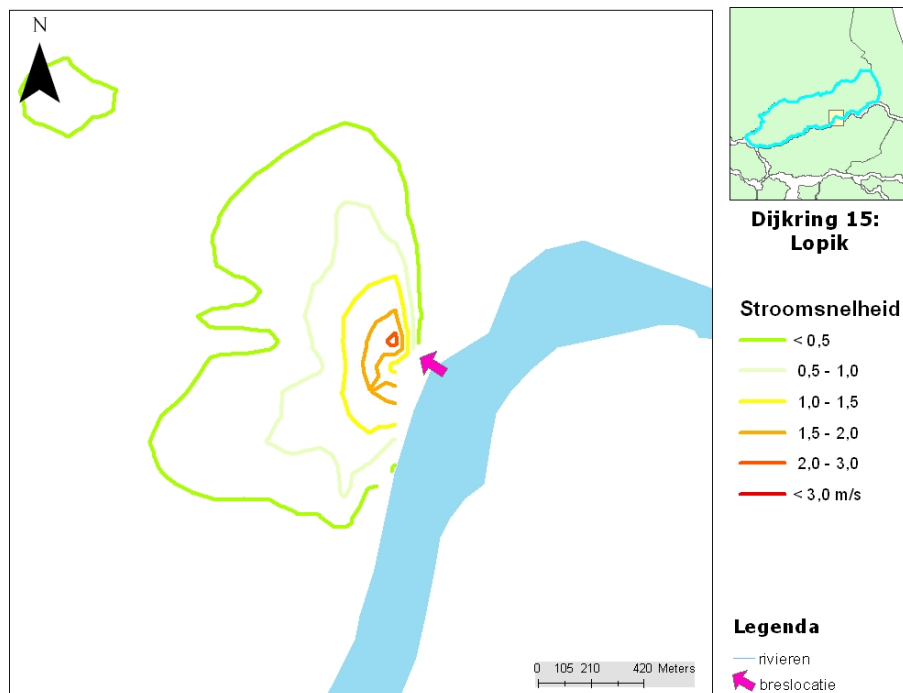
- < 0,5 m/s
- 0,5 – 1,0 m/s
- 1,0 – 2,0 m/s
- 2,0 – 3,0 m/s
- en > 3,0 m/s

Naast de presentatie in kaartvorm is per breslocatie een korte beschouwing gegeven aangaande de stroomsnelheden.

Dijkkring 15

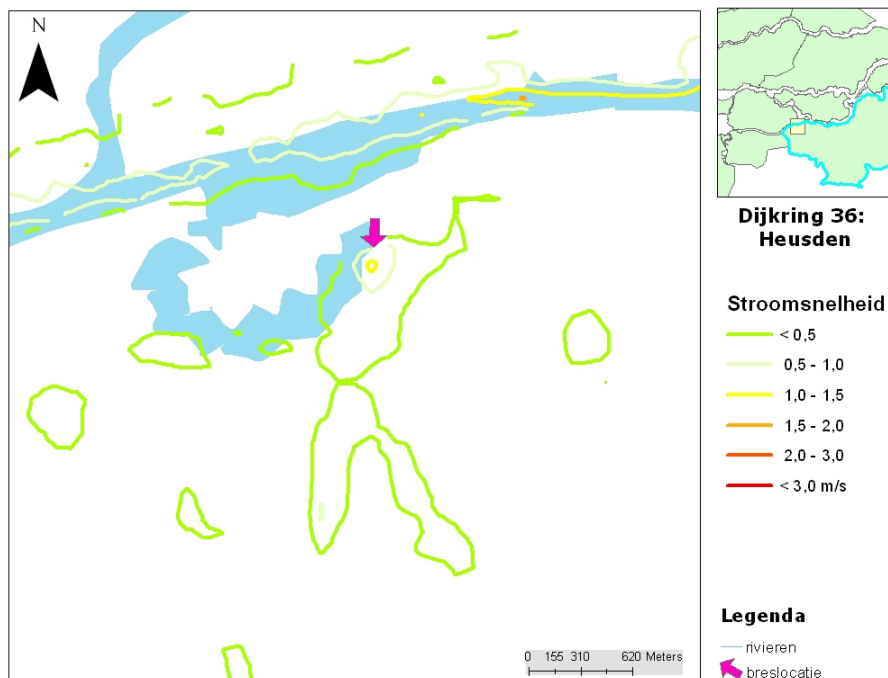


Een doorbraak bij A2 – Beatrixsluis leidt tot hoge stroomsnelheden lokaal rondom de bres maar ook in het verlengde van de bres. Tot circa 750 m vanaf de breslocatie treden nog snelheden op van rond de 1,5 m/s. Na 600m is de stroomsnelheid al afgenomen tot circa 1,0 m/s, na 1000 m is de stroomsnelheid minder dan 0,5 m/s. Dit op een afstand van meer dan 7 km vanaf de c-kering.

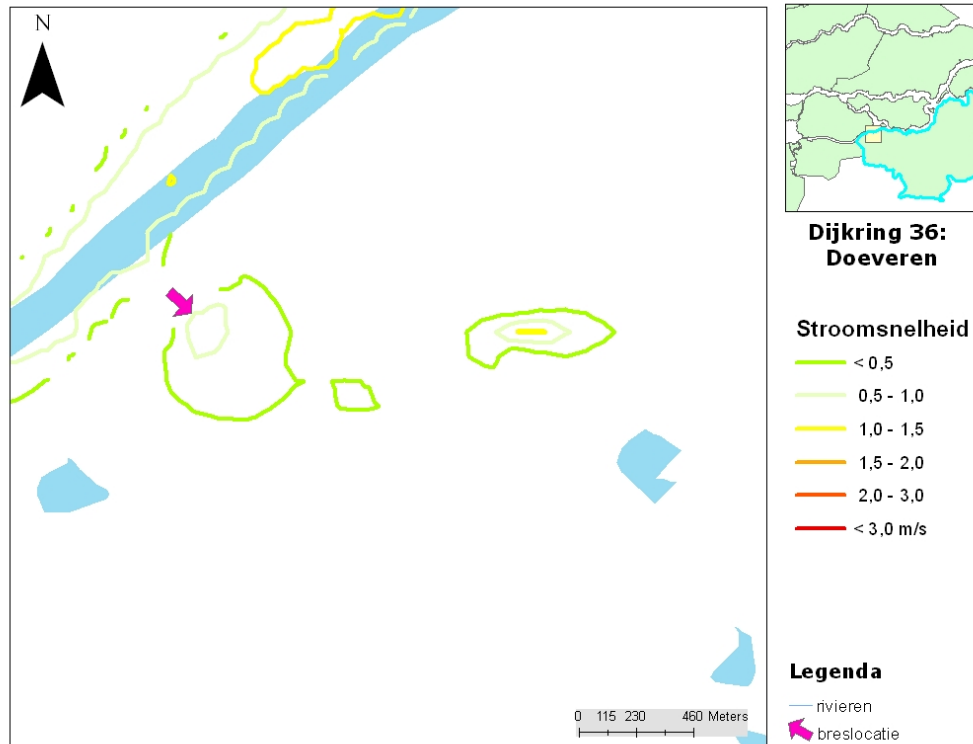


Een overstroming te Lopik geeft slechts lokaal ten hoogte van de bres in alle richtingen een hoge stroomsnelheid. De stroomsnelheden zijn binnen een straal van circa 400m afgenomen tot 1 m/s en bij een afstand van 500 m tot onder de 0,5 m/s.

Dijkkring 36

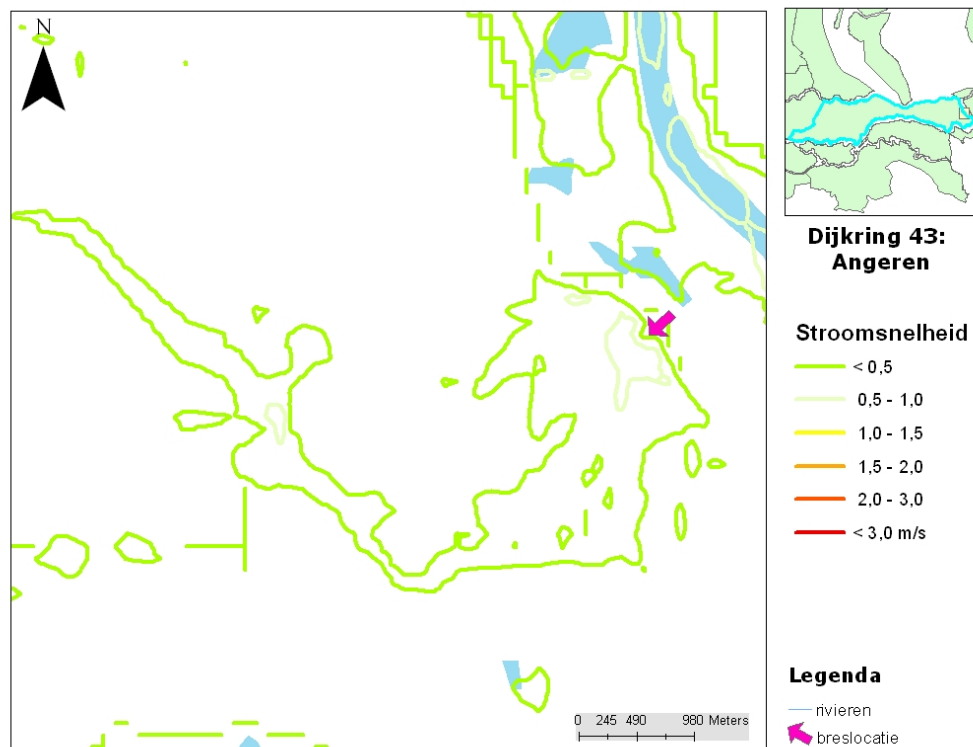


Bij een bres ter hoogte van Heusden stroomt het water langzaam de dijkkring in. Er worden geen stroomsnelheden gemeten hoger dan 1,5 m/s. Vanaf circa 200m vanaf de bres zijn de stroomsnelheden niet groter dan 1 m/s en vanaf ongeveer 900 m is de stroomsnelheid zelfs lager dan 0,5 m/s. Ten opzichte van de c-kering is dit 4 km.

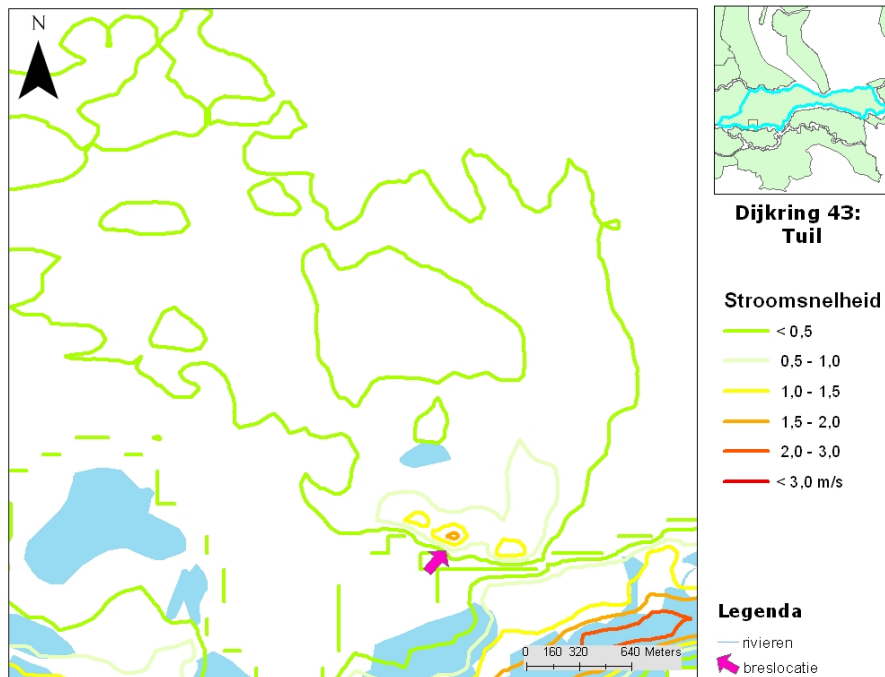


Bij een doorbraak te Doeveren stroomt het water het minst snel de dijkkring binnen. Stroomsnelheden gemeten rondom de breslocatie overschrijden niet de 1 m/s. Vanaf circa 1 km vanaf de bres zijn de stroomsnelheden lager dan 0,5 m/s. Ten opzichte van de c-kering is dit 400m.

Dijkkring 43

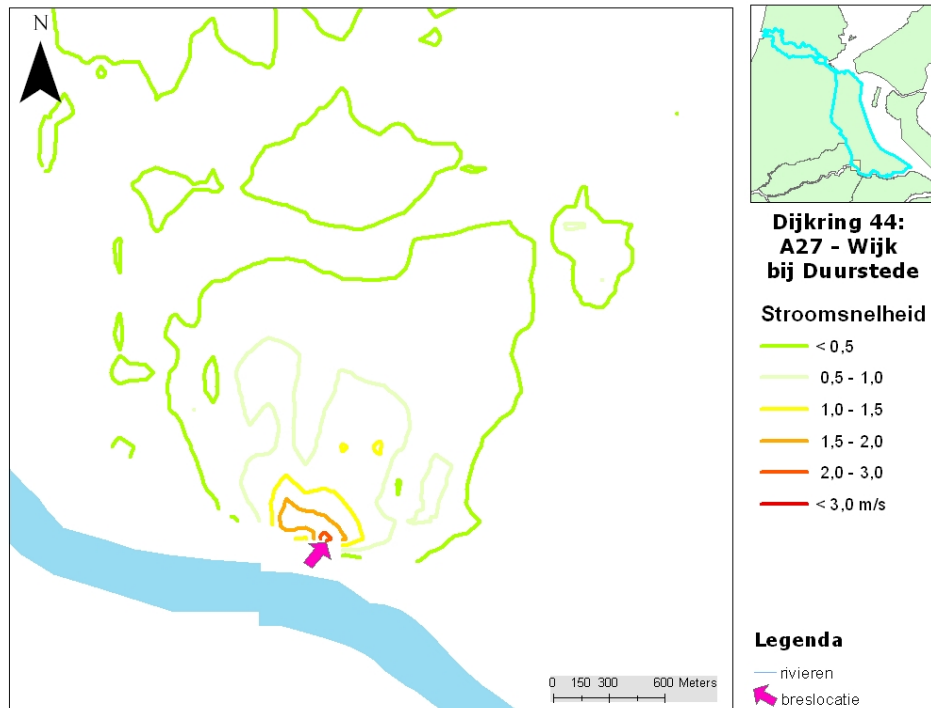


Een doorbraak te Angeren veroorzaakt een grote overstroming maar met lage stroomsnelheden (kleiner dan 1,5 m/s). Lokaal treden er hogere snelheden op bij waterlopen, de stroomsnelheid rondom de breslocatie wordt niet hoger dan 0,5 m/s. De afstand waarop nog snelheden hoger dan 0,5 m/s worden waargenomen liggen op meer dan 10 km van de c-kering.

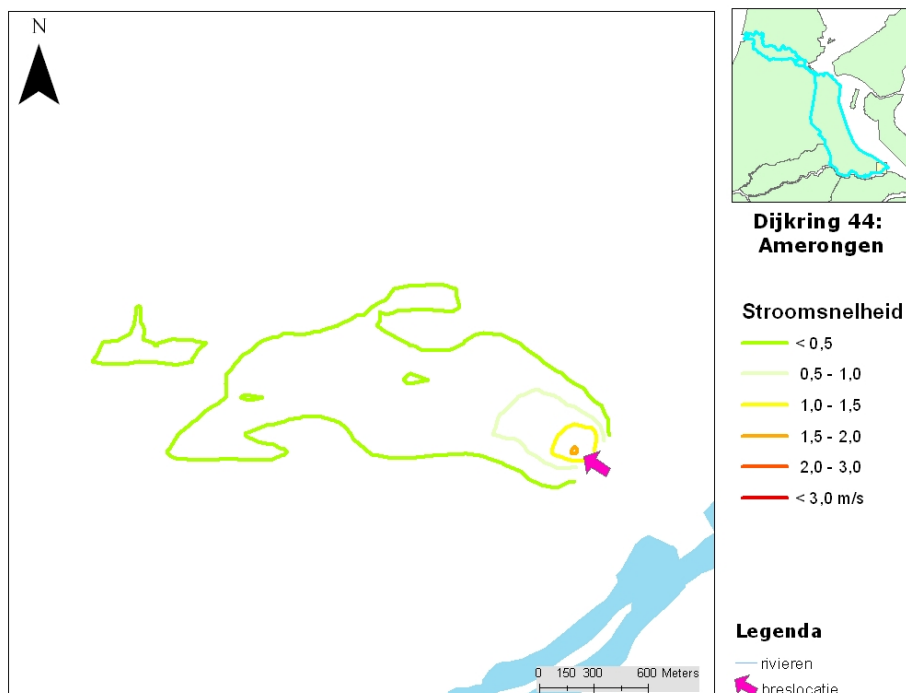


Een doorbraak te Tuil leidt slechts lokaal tot hogere stroomsnelheden. Opvallend zijn de kernen met snelheden groter dan 1 m/s optreden aan weerszijde van de bres (afstand circa 500m). Vanaf 700 m vanaf de bres zijn de stroomsnelheden lager dan 0,5 m/s. Ten opzichte van de c-kering is dit ca. 5 km.

Dijkkring 44



Bij een doorbraak te A27 – Wijk bij Duurstede treden lokaal hoge stroomsnelheden op. Hogere stroomsnelheden (groter dan 0,5 m/s) worden in verlengden in alle richtingen tot een circa 800m (een snelheid van 1m/s) vanaf de breslocatie nog gemeten. Vanaf 900 m vanaf de bres zijn de stroomsnelheden lager dan 0,5 m/s. Ten opzichte van de c-kering is dit 5 km.



Een doorbraak te Amerongen leidt niet tot extreem hoge stroomsnelheden (orde grootte 1,5 m/s)

rondom de breslocatie. Hogere snelheden liggen met name liggen in het verlengde van de breslocatie. Vanaf 250 m vanaf de bres zijn de stroomsnelheden lager dan 1 m/s, vanaf 500 m is de snelheid afgenomen tot onder de 0,5 m/s. Ten opzichte van de c-kering is dit 20 km.

4 Analyse

Het verschil in stroomsnelheden en de ruimtelijke oriëntatie ervan kan per breslocatie worden uitgezet tegen de kenmerkende eigenschappen. Onderscheid is gemaakt naar gebiedseigenschappen en hydraulische eigenschappen.

DR	Breslocatie	Ruwheid maaiveld	Helling maaiveld	Stroom-snelheid	Oriëntatie	Afstand
15	A2 – Beatrixsluis	ruw	aflopend	hoog	in stromings-richting	lang
	Lopik	ruw tot zeer ruw	vlak	hoog	rondom	gemiddeld
36	Heusden	zeer ruw	oplopend	laag	rondom	kort
	Doeveren	ruw tot niet ruw	oplopend	laag	rondom	kort
43	Angeren	ruw tot zeer ruw	aflopend	laag	in stromings-richting	lang
	Tuil	grofweg ruw	aflopend	gemiddeld	in stromings-richting	lang
44	A27 – Wijk bij Duurstede	grofweg behoorlijk ruw	vlak	hoog	in stromings-richting	gemiddeld
	Amerongen	zeer ruw tot ruw	aflopend	gemiddeld	in stromings-richting	kort

Tabel 4: Vergelijking stroomsnelheden met gebiedseigenschappen.

Uit bovenstaande vergelijking blijkt dat voor alle locaties geldt dat de hoogste stroomsnelheden worden gemeten in de stromingsrichting tenzij het maaiveld loodrecht op de breslocatie ligt.

Tot slot valt het op dat wanneer het maaiveld afloopt achter de breslocatie de invloed van hogere stroomsnelheden over langere afstand merkbaar is. Deze afstand wordt korter naarmate de helling afneemt tot oplopend vanaf de breslocatie. Uitzondering hierop is de overstroming in breslocatie Amerongen. Mogelijk oorzaak hiervan is de ruwheid van het landschap, dat bij Amerongen hoog is, wat de stroomsnelheden beperkt (dezelfde combinatie is terug te vinden bij Angeren maar daar is het verhang over de kering groter).

De ruwheid van het landschap blijkt verder nauwelijks invloed te hebben op de stroomsnelheden of de afstand waarover deze nog gemeten worden.

Verder blijkt (zie Tabel 5) dat de stroomsnelheid vooral samenhangt met het verval over de kering. Hoe groter het verval, hoe hoger de stroomsnelheden achter de bres. Het omslagpunt van een hoge snelheid naar een gemiddelde snelheid ligt bij deze dijkringen rond de 4 meter. Bij 3,6 meter is de stroomsnelheid achter de bres weer laag. Ook het bresdebiet hangt niet eenduidig samen met het verval over de kering. Dezelfde constatering kan worden gedaan voor de afstand vanaf de breslocatie waarover de hogere stroomsnelheden plaatsvinden.

Er is geen eenduidige relatie te vinden tussen de oriëntatie van de hogere stroomsnelheden ten opzichte van de breslocatie en of het verval over de bres of het bresdebiet.

DR	Breslocatie	Hoogte primaire kering	Hoogte maaiveld	Herval over kering	Bres debiet	Hoogte buiten-waterstand	Stroomsnelheid nabij bres	Stroomsnelheid nabij c-kering	Oriëntatie	Afstand tot afname stroomsnelheden naar < 0.5 m/s	Afstand tot afname stroomsnelheden naar < 1 m/s
15	A2 – Beatrixsluis	5,2	-1,0	7,5	1300	6,5	2-3 m/s	< 0,5 m/s	in stromings-richting	1000 m	600 m
	Lopik	6,5	1,2	4,1	1800	5,2	2-3 m/s	< 0,5 m/s	rondom	500 m	400 m
36	Heusden	6,7	2,1	3,6	877	5,7	1-1,5 m/s	< 0,5 m/s	rondom	900 m	200 m
	Doeveren	6,4	1,7	2,7	311	4,3	0,5-1 m/s	< 0,5 m/s	rondom	1000 m	n.v.t.
43	Angeren	16,2	10,2	4,8	-	15,0	0,5-1 m/s	< 0,5 m/s	in stromings-richting	600 m	n.v.t.
	Tuil	9,3	4,3	4,0	-	8,3	1,5-2 m/s	< 0,5 m/s	in stromings-richting	700 m	500 m
44	A27 – Wijk bij Duurstede	8,3	1,8	5,7	877	7,5	2-3 m/s	< 0,5 m/s	in stromings-richting	900 m	800 m
	Amerongen	10,8	5	3,7	2198	8,7	1,5-2 m/s	< 0,5 m/s	in stromings-richting	500 m	250 m

Tabel 5: Vergelijking stroomsnelheden met hydraulische eigenschappen.

5 Conclusie

Voor de onderzochte breslocaties treden stroomsnelheden hoger dan 1 m/s binnen een straal van gemiddeld 450 m vanaf de bres op. De variatie in stroomsnelheden nabij de breslocaties hangt af van het verval over de primaire kering, de ruwheid van het landschap, de helling van het landschap, het aanbod van water en de grootte van de bres.

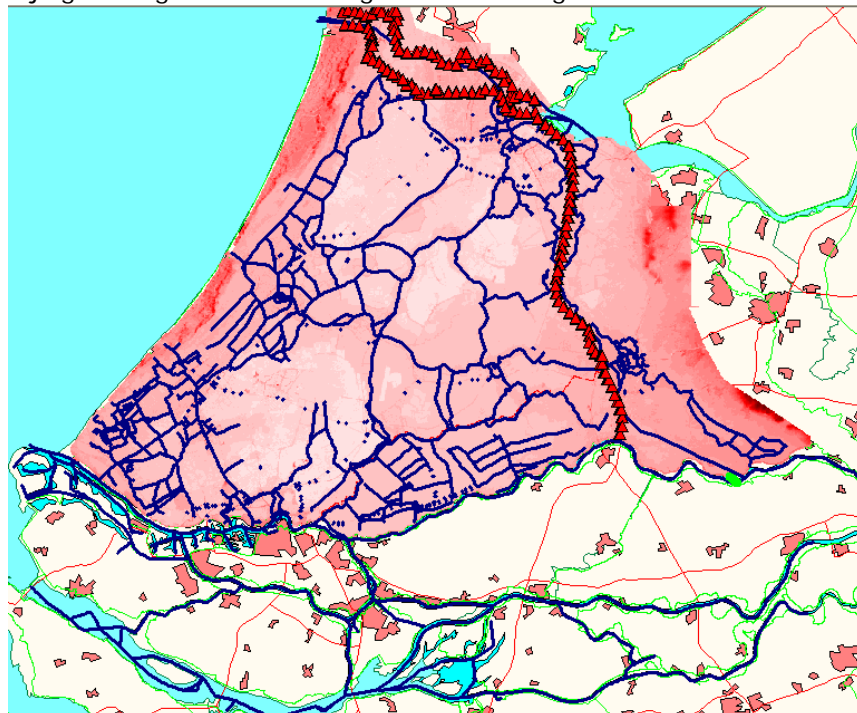
De tijdsduur waarop de maximale stroomsnelheden optreden, is in deze studie niet onderzocht. De inschatting is dat deze zal variëren van 3 tot 10 dagen. De maximale stroomsnelheden worden bepaald door de duur van het hoogwater en het verval over de kering. Het verval wordt bepaald door de snelheid waarmee het dijkkringgebied volloopt plus de duur en breedte van de hoogwatergolf. Voor dijkkring 15 zullen de maximale stroomsnelheden korter aanhouden, omdat het gebied achter de bres zich relatief snel vult. Voor dijkkring 44 waar het water via het Amsterdam-

Rijnkanaal en Noordzeekanaal wordt afgevoerd naar zee, zal het verval langere tijd groter blijven en zal de duur van de maximale stroomsnelheden langer aanhouden.

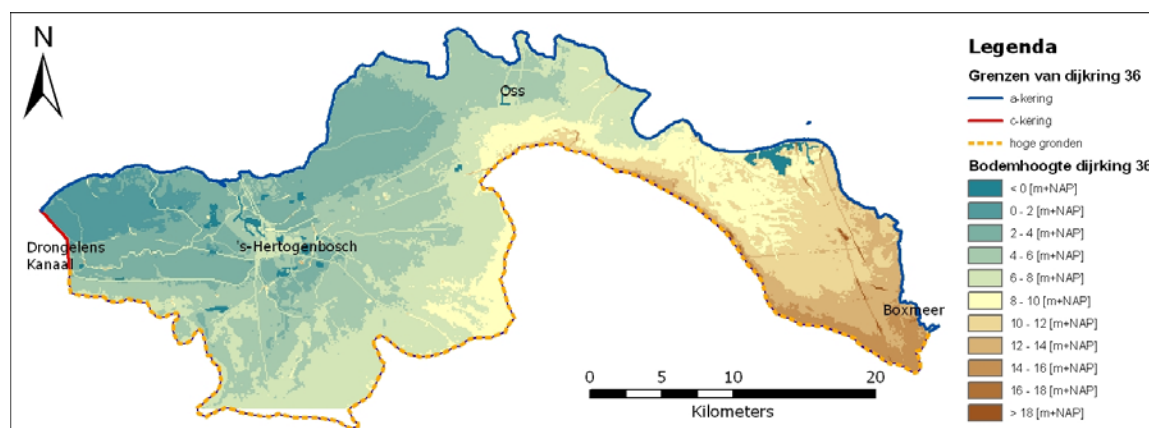
Literatuur

- Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen, Achtergrondrapport keringen langs het Amsterdam–Rijnkanaal en Noordzeekanaal (dijkkring 13, 14 en 15), Oost en Slootjes, HKV-rapport PR1322, november 2008.
- Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen, Achtergrondrapport Diefdijklinie (dijkkring 16) Slootjes, Maaskant en Nederpel, HKV-rapport PR1322, november 2008.
- Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen, Achtergrondrapport kering langs het Drongelens Kanaal (dijkkring 35), Oost en Slootjes, HKV-rapport PR1322, november 2008.
- Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen, Achtergrondrapport Gekanaliseerde Hollandse IJssel (dijkkring 14), Slootjes en Hoffman, HKV-rapport PR1322, november 2008.

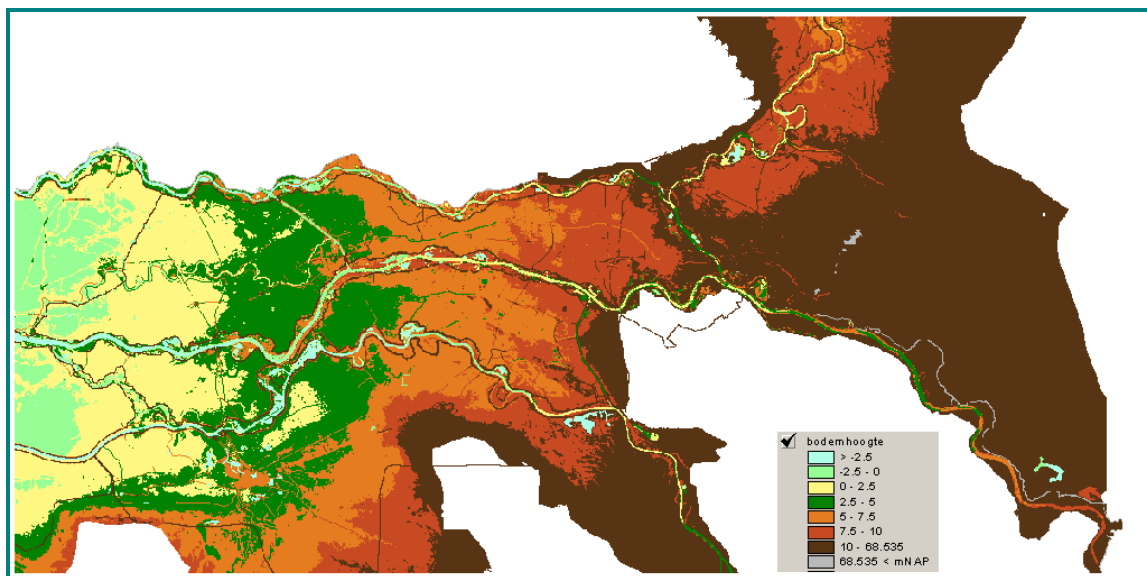
Bijlage A: Figuren bodemhoogte overstromingsmodellen



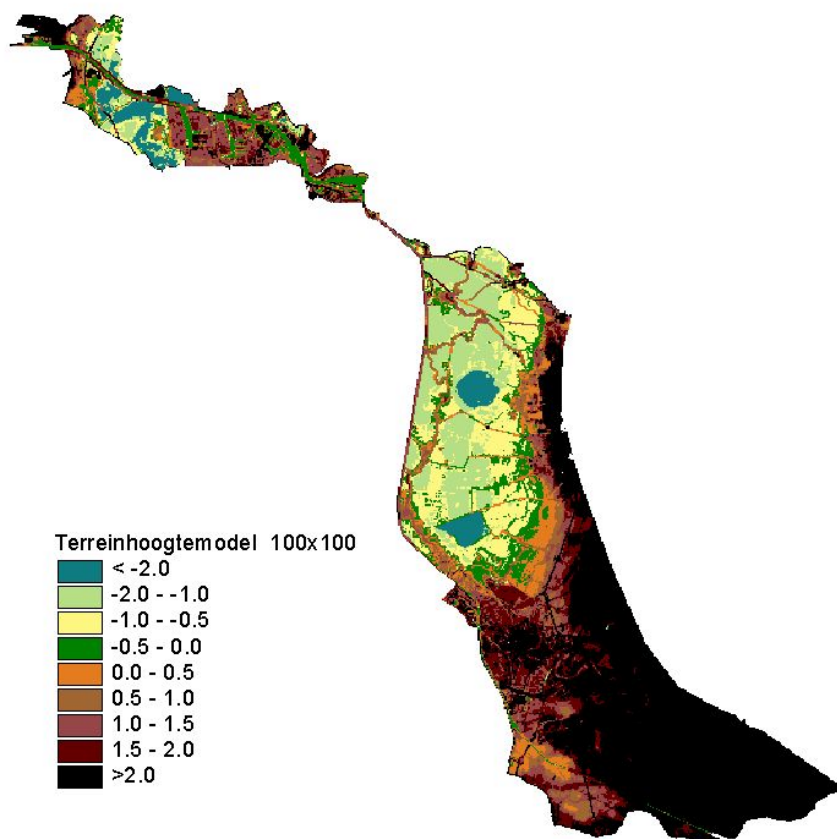
Figuur 1: bodemhoogtemodel dijkkring 14. Legenda?



Figuur 2: bodemhoogtemodel dijkkring 36.

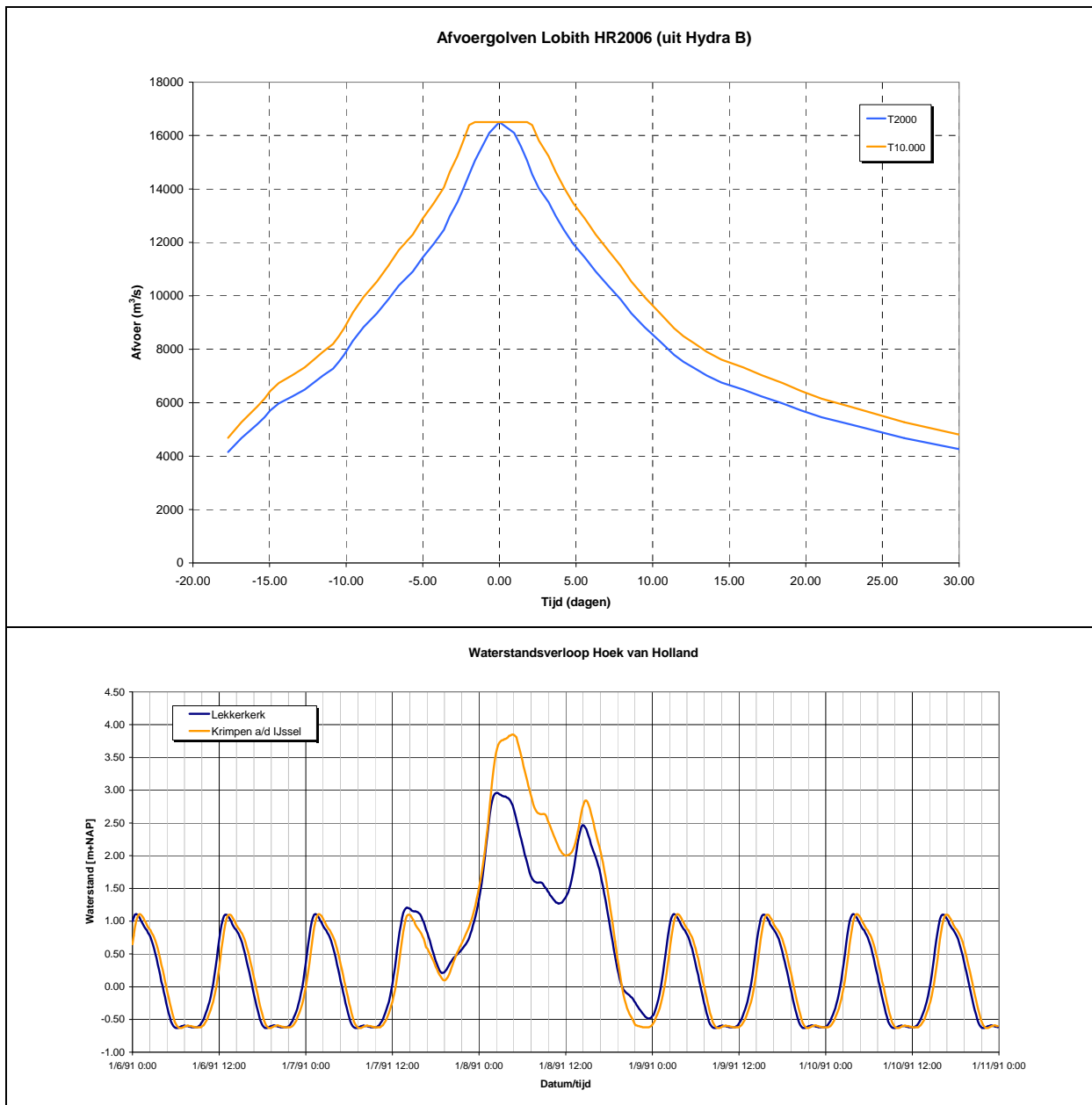


Figuur 3: bodemhoogtemodel dijkkring 43.

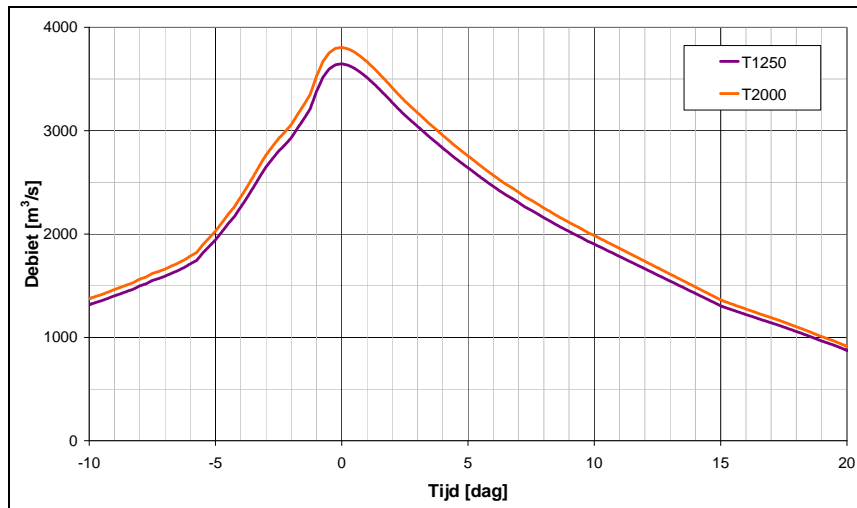


Figuur 4: bodemhoogtemodel dijkkring 44.

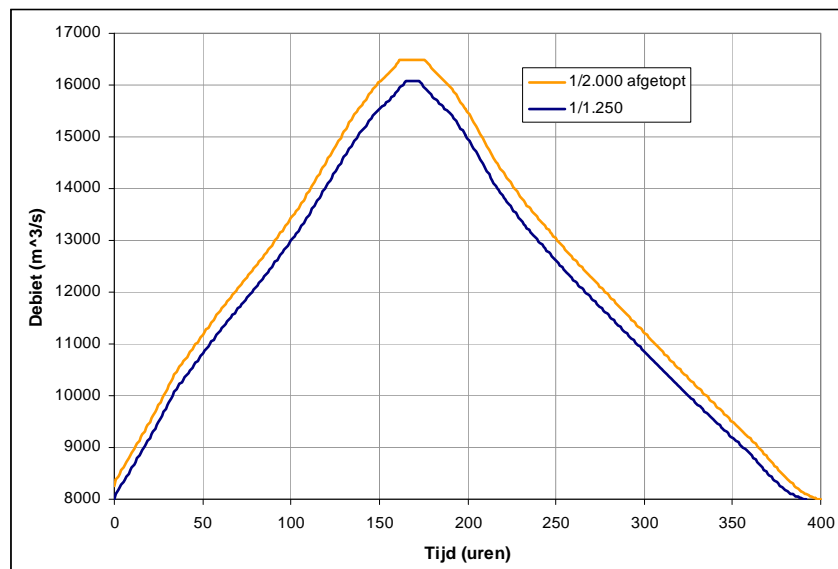
Bijlage B: figuren hydraulische belasting overstromingsmodellen



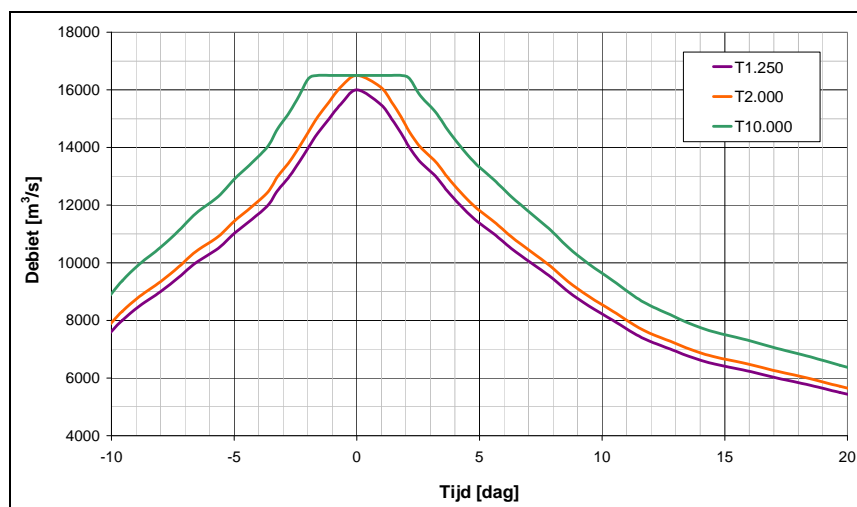
Figuur 4: verloop hydraulische belasting dijkring 15 (boven: afvoer, onder: zeewaterstand).



Figuur 5: verloop hydraulische belasting (Lith) dijkring 36.



Figuur 6: verloop hydraulische belasting (Lobith) dijkring 43.



Figuur 7: verloop hydraulische belasting (Lobith) dijkring 44.