

HOE VEILIG IS NEDERLAND?

EEN ONDERZOEK NAAR DE PATRONEN EN GEVOLGEN VAN EEN MOGELIJKE OVERSTROMING




Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

MARLOES TER HAAR
OPLEIDING CIVIELE TECHNIEK EN MANAGEMENT
BEGELEIDING M.J. BOOIJ

IN OPDRACHT VAN:

provincie  **Overijssel**

EENHEID WATER EN BODEM
BEGELEIDING G.J. LAARMAN-HOOGENDOORN

COLOFON

Uitgevoerd van

14 april 2008 t/m 11 juli 2008

Auteur

M.B.A. ter Haar (s011889)
Studente Civiele Techniek en Management
Universiteit Twente
m.b.a.terhaar@student.utwente.nl

In opdracht van

Provincie Overijssel
Eenheid Water en Bodem
G.J. Laarman-Hoogendoorn
Luttenbergstraat 2
Postbus 10078
8000 GB Zwolle
Telefoon 038 499 70 000
www.overijssel.nl
postbus@overijssel.nl

Onder begeleiding van

Universiteit Twente
Construerende Technische Wetenschappen
Vakgroep Water
M.J. Booij
Horstring Z136
Postbus 217
7500 AE Enschede
Telefoon 053-4892564
m.j.booij@ctw.utwente.nl

SAMENVATTING

Door te voorspellen hoe een overstroming zich gaat gedragen binnen een dijkkring kunnen de gevolgen en risico's vooraf worden bepaald. Het studieproject Veiligheid van Nederland in Kaart brengt deze gevolgen en risico's in beeld. VNK berekent de overstromingskansen en gevolgen voor drieënvijftig dijkkringen en drie kades langs de Maas. Met die informatie kan de overheid gerichter maatregelen treffen om Nederland nog beter te beschermen tegen overstromingen. Er wordt gekeken naar alle oorzaken die een rol kunnen spelen bij het bezwijken van dijken, duinen en kunstwerken (bv. gemalen en sluizen), aangezien elke vorm zijn eigen gevolgen en kansen heeft.

In Overijssel liggen vier dijkkringen waaronder dijkkring 9 Vollenhove en dijkkring 10 Mastenbroek. In dit onderzoek zullen deze twee dijkkringen worden uitgewerkt.

Het doel van dit onderzoek is om voor de dijkkringen Vollenhove en Mastenbroek de gevolgen van een overstroming in schade en slachtoffers en het risico van een dijkkring per jaar in schade en slachtoffers te bepalen. Om tot een antwoord te komen moet eerst inzicht verkregen worden in de manier waarop de overstroming zich gedraagt en beweegt over het land. Daarnaast zijn de faalmechanismen van belang en de manier waarop de overstromingskansen zijn bepaald. Vanuit de overstromingskansen kunnen de gevolgen en de risico's worden verkregen.

Met behulp van het computerprogramma Delft-FLS kan een simulatie worden gemaakt van een overstroming. Delft-FLS is een programma dat speciaal is bedoeld om als gevolg van een overstroming over land het dynamische karakter van een waterstroom te berekenen. Met de gegevens die dit programma genereert kan de overstroming tot in detail beschreven worden met de bijbehorende waterdieptes en stroomsnelheden, zodat een goed inzicht in de gedragingen van de overstroming verkregen wordt.

Om de overstroming zo nauwkeurig mogelijk na te bootsen zijn de hoogtebestanden en ruwheidbestanden van de dijkkringen zo nauwkeurig mogelijk naar de werkelijkheid opgebouwd. Hoger gelegen elementen in de dijkkringen zijn daarom meegenomen in de hoogtebestanden en elke landgebruikklasse heeft een ruwheidfactor gekregen. Daarnaast zijn er bij het opbouwen van de modellen van de te beschrijven overstromingen, de doorbraakscenario's, vele keuzes gemaakt die de randvoorwaarden van de overstroming bepalen. Deze keuzes gaan over de hydraulische randvoorwaarden, de doorbraaklocatie, de manier waarop het waterkerend lichaam bezwijkt oftewel het bezwijkmechanisme, het moment van de doorbraak, de groei van de bres en de situatie in de dijkkring zelf. Bij het faalmechanisme kan gedacht worden aan piping, overslag, afschuiving en erosie van het dijklichaam.

De hydraulische randvoorwaarden die hierboven zijn genoemd, bevat één onderdeel, de afvoer van de rivier, die verschillende waarden kan hebben. Bij elke doorbraaklocatie wordt er gekeken naar de invloed van de afvoer op de gevolgen. Om dit zo goed mogelijk te kunnen onderzoeken zijn er per doorbraaklocatie drie verschillende afvoeren die worden doorgerekend. Deze afvoeren bestaan uit één afvoer die hoort bij de herhalingstijd van de veiligheidsnorm van de dijkkring, één met een herhalingstijd een factor tien kleiner en één met een herhalingstijd een factor tien groter.

De gegevens die uit Delft-FLS komen kunnen worden gebruikt om de schade en slachtoffers te bepalen met behulp van de HIS Schade en Slachtoffer module. Met deze module is het mogelijk om de verwachte schade en het aantal verwachte slachtoffers als gevolg van een overstroming in een gebied te bepalen. Hierbij is ook uitgegaan van verschillende evacuatiescenario's zodat het effect hiervan kan worden meegenomen. Er zijn drie evacuatiescenario's onderscheiden; onvoorzien overstroming met een ongeorganiseerde evacuatie, voorzien overstroming met een ongeorganiseerde evacuatie en een voorzien overstroming met een georganiseerde evacuatie.

Als de schade en het aantal slachtoffers zijn bepaald dan kunnen met behulp van de scenariokansen de scenariorisico's bepaald worden. De scenariokansen van VNK2 waren niet beschikbaar en daarom zijn er gegevens van VNK1 gebruikt

van dijkkring 10 en de gegevens van een andere evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid van dijkkring 9 gebruikt. Op deze manier was het toch mogelijk om de scenariorisico's te bepalen. Door de scenariorisico's bij elkaar op te tellen wordt het overstromingsrisico van de dijkkring bepaald.

Als de resultaten van de verschillende doorbraakscenario's worden bekeken dan vallen er grote verschillen op te merken. In onderstaande tabel zijn de gevolgen overzichtelijk weergegeven. Het lage getal is de minimale waarde die bij de desbetreffende scenario's hoort en het hoge getal de maximale waarde, op deze manier ontstaat er een range waar de uitkomsten in vallen.

Dijkkring 10	1/200		1/2.000		1/20.000	
Slachtoffers: Onvoorzien/ongeorganiseerd	53	470	54	738	153	1.029
Slachtoffers: Voorzien/ongeorganiseerd	24	209	24	328	68	457
Slachtoffers: Voorzien/georganiseerd	21	185	21	291	60	405
Schade (miljoenen)	794	2.000	840	3.300	2.000	3.900
Dijkkring 9			1/1.250			
Slachtoffers: Onvoorzien/ongeorganiseerd			31	64		
Slachtoffers: Voorzien/ongeorganiseerd			16	32		
Slachtoffers: Voorzien/georganiseerd			13	26		
Schade (miljoenen)			531	1.000		

TABEL: OVERZICHT GEVOLGEN

In de tabel valt af te lezen dat de hoeveelheid water dat het gebied in stroomt van grote invloed is op de gevolgen, zowel de schade als het aantal slachtoffers nemen sterk toe naarmate de afvoer groter wordt. Verder vallen er minder slachtoffers bij een voorziene overstroming dan bij een onvoorziene overstroming.

Met behulp van deze scenariogevolgen en de scenariokansen kan het uiteindelijke overstromingsrisico worden berekend. Voor dijkkring 9 is het overstromingsrisico 4,8 miljoen euro per jaar en het aantal slachtoffers tussen de 0,1 en 0,2 per jaar. Bij dijkkring 10 is het overstromingsrisico voor alle 20 miljoen euro per jaar en 2 tot 4 slachtoffers per jaar.

INHOUDSOPGAVE

Colofon	i
Samenvatting.....	ii
Inhoudsopgave	iv
Voorwoord.....	vi
1 Inleiding	1
2 Veiligheid Nederland in Kaart.....	2
3 Gebiedbeschrijving	3
3.1 Watersysteem provincie Overijssel.....	3
3.1.1 Dijkkringgebied 9: Vollenhove.....	5
3.1.2 Dijkkringgebied 10: Mastenbroek	5
4 Modelinput.....	6
4.1 Delft-FLS.....	6
4.2 Gridgrootte en modelranden	6
4.3 Hoogtebestanden	6
4.3.1 Rivieren en meren	6
4.3.2 Dijkkringgebied.....	7
4.4 Opbouw ruwheidbestanden.....	7
5 De doorbraakscenario's.....	9
5.1 Modellerings	9
5.1.1 Hydraulische randvoorwaarden	9
5.1.2 Doorbraaklocatie	10
5.1.3 Bezwijkmechanisme	12
5.1.4 Moment van doorbraak.....	14
5.1.5 Bresgroei.....	14
5.2 Scenariokansen.....	15
6 Schade en Slachtoffers	16
6.1 Economische schade	16
6.2 Slachtoffers.....	17
6.2.1 Evacuatiefactor.....	18
7 Resultaten.....	20
7.1 Overstromingsverloop.....	20

7.2	Gevolgen in schade en slachtoffers.....	21
7.2.1	Schade	21
7.2.2	Slachtoffers.....	22
7.3	Overstromingsrisico.....	22
7.4	Discussie	23
8	Conclusies en Aanbevelingen	25
	Literatuurlijst	26
	Verklarende woordenlijst.....	28

VOORWOORD

Het rapport dat voor u ligt, is tot stand gekomen in het kader van mijn bachelor eindopdracht voor de studie Civiele Techniek en Management aan de Universiteit Twente. Gedurende drie maanden heb ik mij bezig gehouden bij de Provincie Overijssel met het onderzoek naar de overstromingsrisico's van dijkkring 9 Vollenhove en dijkkring 10 Mastenbroek.

De afgelopen maanden heb ik met veel plezier gewerkt aan deze opdracht. Op een leuke manier heb ik mogen ervaren hoe het is om in een organisatie zoals de Provincie Overijssel te werken. Het was dan ook een prettige ervaring om op deze manier mijn Bachelor Civiele Techniek en Management af te sluiten.

Bij deze wil ik alle mensen bedanken die betrokken zijn geweest bij deze opdracht. Ten eerste wil ik mijn begeleiders bedanken, G.J. Laarman-Hoogendoorn vanuit de Provincie Overijssel en M.J. Booij vanuit de Universiteit Twente. Gedurende de opdracht waren er wel eens onduidelijkheden of had ik bepaalde informatie en programma's nodig. Dankzij de hulp van mijn begeleiders is dit nooit een probleem geweest waardoor ik altijd verder kon. Daarnaast wil ik alle mensen bedanken die mij van enige informatie hebben voorzien en die tijd hebben gestoken in het verstrekken daarvan.

Marloes ter Haar

Enschede, juni 2008

1 INLEIDING

Negen miljoen Nederlanders leven in een laag gelegen gebied dat vanuit zee of vanuit de rivieren kan overstromen. In dit gebied wordt 65% van het nationaal inkomen verdient. De zeespiegelstijging, steeds heviger regenvall en meer smeltwater vanuit de Alpen zorgen voor hogere waterstanden langs de kust en op de rivieren. De kans op wateroverlast, maar ook op overstromingen neemt daardoor toe. Omdat het aantal inwoners steeds groter wordt en de economische waarde van gebieden toeneemt, worden de gevolgen steeds ernstiger (VNK, 2008).

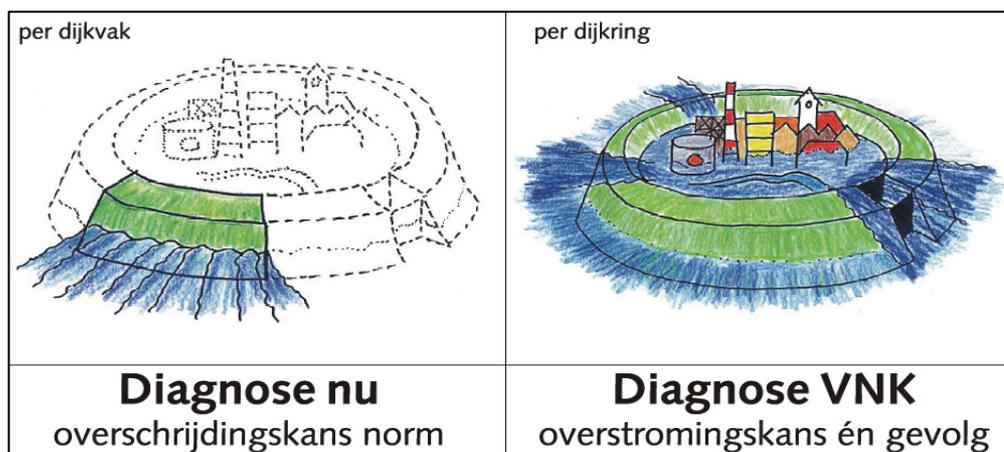
Het rivierengebied in Nederland heeft in de afgelopen jaren twee keer te maken gehad met extreem hoogwater. In 1993 stond de Maas en in 1995 stonden de Maas en de Rijn zo hoog dat voor een dijkdoorbraak gevreesd werd (Rijkswaterstaat RIZA, 2008). Uiteindelijk hebben de dijken het gehouden maar de gebeurtenissen waren wel de aanleiding tot het zoeken naar oplossingen die Nederland beter moeten gaan beschermen tegen hoog water. Vooral nu er door klimaatverandering meer regen te verwachten valt en er meer water door de rivieren moet worden afgevoerd.

Maar voordat er oplossingen gevonden kunnen worden om Nederland te beschermen tegen hoogwater, moeten de gevolgen van een mogelijke overstroming bekend zijn. Bij de Provincie Overijssel worden voor het studieproject Veiligheid van Nederland in Kaart overstromingsberekeningen gedaan om het verloop en de eigenschappen (waterdiepte, stroomsnelheid etc.) van een mogelijke overstroming te voorspellen. In dit rapport gaan deze berekeningen over dijkkring 9 Vollenhove en dijkkring 10 Mastenbroek. Het doel van dit onderzoek is om voor de dijkringen Vollenhove en Mastenbroek de gevolgen van een overstroming in schade en slachtoffers en het risico van een dijkkring per jaar in schade en slachtoffers te bepalen. Hoe de overstroming zich gedraagt, de manieren waarop een waterkeringlichaam kan bezwijken, hoe de overstromingskansen zijn bepaald en de wijze waarop de gevolgen en risico's worden verkregen, zijn onderwerpen die in dit rapport aan bod komen. Om hiertoe te komen zijn ook de overstromingsberekeningen voor de provincie gemaakt en beschreven.

Als eerste zal het project Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK) worden toegelicht in hoofdstuk 2 om vervolgens het watersysteem van Overijssel en de dijkringen Vollenhove en Mastenbroek te beschrijven in hoofdstuk 3. Daarna zal in hoofdstuk 4 beschreven worden wat het programma Delft-FLS doet en hoe dit programma is gebruikt voor dit onderzoek. Ook de manier waarop de hoogtebestanden en de ruwheidbestanden tot stand zijn gekomen wordt in hoofdstuk 4 beschreven. De doorbraakscenario's zullen in hoofdstuk 5 aan bod komen. Hier zullen de keuzes die gemaakt zijn tijdens de modellering van de scenario's beschreven worden net als de randvoorwaarden voor de afvoeren van de Vecht en de IJssel. In hoofdstuk 6 wordt de HIS Schade en Slachtoffermodule besproken waarmee de gevolgen van de overstromingen berekend worden. De resultaten zullen in hoofdstuk 7 weergegeven worden net als de discussie. In het laatste hoofdstuk zullen de conclusies en aanbevelingen aan bod komen.

2 VEILIGHEID NEDERLAND IN KAART

Door het studieproject De Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK) worden de kansen op en de gevolgen en risico's van overstromingen van de dijkringen in Nederland in kaart gebracht. Belangrijke onderdelen van het project zijn de sterkte van kunstwerken, inzicht in zwakke plekken in de dijkkring en het omgaan met onzekerheden in kennis. Met de inzichten van deze onderdelen kunnen de risico's voor een bepaald gebied worden bepaald. De inzichten vormen de basis voor het opstellen van een nieuw kader voor maatregelen ter handhaving of verhoging van de veiligheid in samenhang met kosten en baten. Om de veiligheid ook in de toekomst te kunnen waarborgen wil het kabinet het water meer de ruimte geven, naast de technische oplossingen die gericht zijn op waterkeren. Bovendien wil het kabinet de burgers meer inzicht geven in de kans dat de omgeving door overstroming getroffen wordt. De studie VNK is gericht op de verbetering van dat inzicht (VNK1 archief Inleiding, 2008).



FIGUUR 1: VNK BEREKENT DE KANS EN GEVOLGEN VAN EEN ECHTE OVERSTROMING (HELPDESK WATER, 2008)

Het project VNK1 werd in opdracht van het Directoraat-generaal Water uitgevoerd door het Projectbureau VNK1 en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat. In het project vond samen met de waterschappen en de provincies een berekening plaats van de kansen op en de gevolgen van overstromingen door heel Nederland, het 'overstromingsrisico'. VNK1 heeft voor dertien van de drieënvijftig dijkringen de kansen op en gevolgen van overstromingen globaal in beeld gebracht en voor drie in detail. De gevolgen bestaan uit de economische schade en het aantal slachtoffers. Vanuit het grote maatschappelijke belang is het wenselijk om meer inzicht te verkrijgen in de overstromingskansen en gevolgen van overstromingen voor heel Nederland, daarom is een vervolg gegeven aan VNK1. Het ministerie van V&W, de provincies en waterschappen zijn gezamenlijk gestart met een vervolg om ook de rest van Nederland in kaart te brengen: Veiligheid Nederland in Kaart 2.

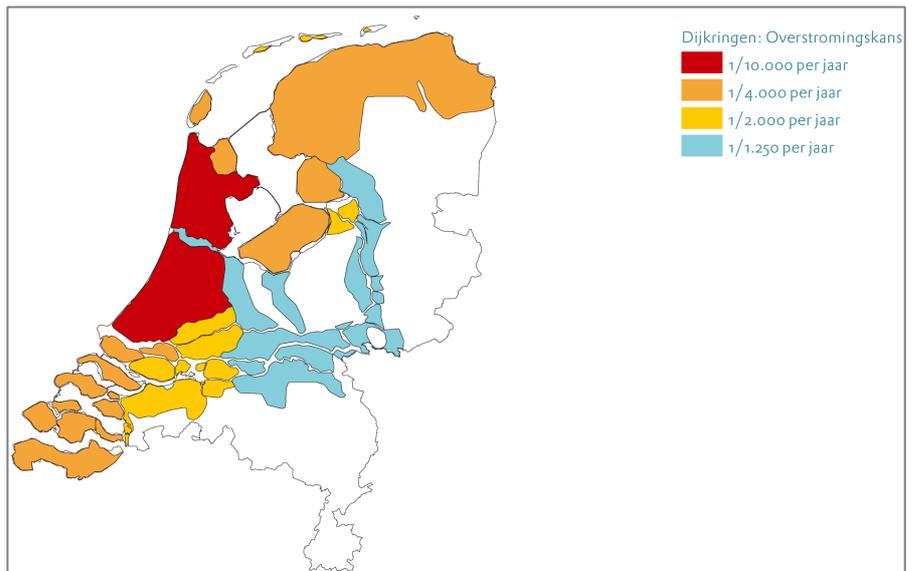
VNK2 berekent de overstromingskansen en -gevolgen voor drieënvijftig dijkringen in Nederland en drie kades langs de Maas. Met die informatie kan de overheid gerichter maatregelen treffen om Nederland nog beter te beschermen tegen overstromingen. Bij VNK2 wordt naar een hele dijkkring gekeken in plaats van naar een klein stukje dijk in tegenstelling tot de methodes die tot nu toe zijn gehanteerd. Er wordt daarbij gekeken naar alle mechanismen die een rol kunnen spelen bij het bezwijken van duinen, kunstwerken (bv. gemalen en sluisen) en dijken aangezien elk mechanisme zijn eigen gevolgen en kansen heeft. De resultaten zijn een belangrijke bron van informatie die de rijksoverheid kan gebruiken om het waterveiligheidsbeleid verder vorm te geven en gerichter maatregelen te treffen. Deze maatregelen kunnen ervoor zorgen dat Nederland nog beter beschermd is tegen eventuele overstromingen. Ook kunnen gemeenten en provincies de resultaten gebruiken voor het verbeteren van risicokaarten per gemeente en beleid voor rampenbeheersing.

3 GEBIEDBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk zal een beschrijving worden gegeven van het watersysteem van de provincie Overijssel. Vervolgens zullen de twee dijkringen, Vollenhove en Mastenboek, beschreven worden. Deze twee dijkringen zijn onderdeel van het gebied dat Veiligheid Nederland in Kaart (zie vorige hoofdstuk) van de provincie Overijssel in beeld brengt.

3.1 WATERSYSTEEM PROVINCIE OVERIJSEL

Het hoofdwatersysteem van de provincie Overijssel omvat de delta van de stroomgebieden van de IJssel en de Vecht. Bij de Pannerdense Kop splitst de Rijn in de Waal en het Pannerdens Kanaal. De IJssel en de Nederrijn splitsen vervolgens uit het Pannerdens Kanaal. Vanaf dit splitsingspunt stroomt de IJssel in noordelijke richting. Tot aan Deventer loopt de IJssel door een zandgebied. De brede meanderbochten en een rivier die dieper ligt dan het omliggende landschap zijn kenmerkend voor dit stuk. Bovendien vindt er via het



FIGUUR 2: KAART DIJKRINGEN (POLS, KRONBERGER, PIETERSE & TENNEKES, 2007)

Twentekanaal bij Eefde de grootste laterale aan- en afvoer plaats. Iets verder benedenstrooms stroomt de Schipbeek in de IJssel uit en richting Raalte stroomt het Overijssels kanaal waar ook een aan- en afvoer naar de IJssel plaatsvindt. Grote delen van de uiterwaarden zijn al sinds lange tijd op dezelfde manier ingericht en hebben bijzondere morfologische structuren. In het stroomgebied tussen Deventer en Zwolle stroomt de IJssel als een langgerekt lint door een breed rivierdal en zijn er nauwelijks nog bochten. Ten noorden van Zwolle stroomt de rivier door een open polderlandschap waarin de monding van de IJssel nauwelijks meer als een deltagebied herkenbaar is. De IJsseldelta staat niet alleen onder invloed van de afvoer van de IJssel, maar ook onder invloed van de waterstand op het Ketelmeer. Bij een harde noordwesten wind op het IJssel- en Ketelmeer ontstaat er opwaaiing. Door deze opwaaiing neemt de waterstand op het Ketelmeer aanzienlijk toe (met meer dan 2 m waterstandstijging ten opzichte van het peil) (Heuer & Vervoorn, 2003). Verder staat de IJssel via het Zwolle-IJssel kanaal in verbinding met het Zwarte Water en via het Ganzendiep, de Goot en het Veneriete ook in verbinding met het Zwarte Meer. In deze openingen bevinden zich ook de Spooldersluis en de Ganzensluis.

De tweede rivier in Overijssel is de Vecht. De Vecht is een gestuwde regenrivier die in Duitsland ontspringt en de afwatering verzorgt van Oost-Overijssel. De belangrijkste zijrivieren en zijkanalen van de Vecht zijn de Dinkel, kanaal Almelo-de Haandrik, het Coevorden-Vechtkanaal, het afwateringskanaal Coevorden-Vecht, de Radewijkerbeek, het Marienberg-Vechtkanaal, het Ommerkanaal en de Regge. De Vecht mondt uiteindelijk uit in het Zwarte Water.

Naast de Vecht en de IJssel is het Zwarte Water in Noordwest Overijssel een belangrijk onderdeel van het watersysteem. De afvoer van het Zwarte Water wordt hoofdzakelijk bepaald door de aanvoer vanuit de Vecht plus de afvoer vanuit de Sallandse Weteringen. De Sallandse Weteringen staan via de Keersluis Zwolle en verbinding met het Zwarte Water. Benedenstrooms van de Vechtmonding komt het riviertje De Meele uit in het Zwarte Water. In Zwartsluis

Dijkkringgebied 9 en 10 vormen het projectgebied van dit rapport. In bijlage A zijn overzichtskaarten bijgevoegd.

3.1.1 DIJKRINGGEBIED 9: VOLLENHOVE

Dijkkringgebied 9 ligt in de provincie Overijssel en voor een heel klein deel in Drenthe en Friesland. Aan de zuidzijde wordt de dijkkring begrensd door de Vecht vanaf de N35 bij Ommen en aan de westzijde door het Zwarte Water en het Zwarte Meer. Vanaf Kadoelersluis loopt de grens langs het Vollenhoverkanaal naar Slijkenburg. Dit traject loopt langs de huidige Noordoostpolder, waar vroeger dit gebied aan de Zuiderzee grensde. De oostkant van het gebied wordt gevormd door de hogere gronden van Overijssel en Drenthe en de noordkant door dijken. De noordwest grens loopt door het Meppelerdiep heen. Het veiligheidsniveau van dit gebied is vastgesteld op een normfrequentie van 1/1.250 per jaar.

Het landschap in dit gebied is afwisselend: de oostkant van dijkkringgebied 9 boven de Vecht is een landelijk, agrarisch gebied, de westkant bestaat voornamelijk uit nat veengebied met veel waterplassen. In dit deel liggen de natuurgebieden de Wieden en de Weerribben. De belangrijkste plaatsen in dit gebied zijn Meppel, Staphorst, Dalfsen, Zwartsluis, Hasselt en Vollenhove.

3.1.2 DIJKRINGGEBIED 10: MASTENBROEK

Dijkkringgebied 10 ligt ten noorden van de IJssel en is een zeer laag gelegen poldergebied. Het wordt omsloten door de IJssel, het Zwarte Water, het Zwarte Meer en het Veneriete, de Goot en het Ganzendiep. Het veiligheidsniveau van dit gebied is vastgesteld op een normfrequentie van 1/2.000 per jaar.

Dijkkringgebied 10 ligt volledig in de provincie Overijssel en het beheergebied van waterschap Groot-Salland. De belangrijkste plaatsen in het dijkkringgebied zijn IJsselmuiden, Genemuiden en de uitbreidingswijken van Zwolle (Stadshagen en Westenholte).

Ten noordwesten van Mastenbroek ligt Kampereiland. Kampereiland fungeert als overstromingsgebied en bestaat uit vier poldergebiedjes omringd door kaden met een overstromingsfrequentie van 1/500 per jaar.

4 MODELINPUT

In dit hoofdstuk zal het programma Delft-FLS aan bod komen en de modelinput van de dijkringen. Deze modelinput bestaat uit de keuze van de gridgrootte en de modelranden net als de opbouw van de hoogte- en ruwheidbestanden. Deze input wordt gebruikt voor het programma Delft-FLS waarin de overstroming gesimuleerd kan worden.

4.1 DELFT-FLS

Delft-FLS is een programma dat is ontwikkeld door WL|Delft Hydraulics. Het programma is speciaal bedoeld om het dynamische karakter van een waterstroom te berekenen als gevolg van een overstroming over, in eerste instantie, droog land. Delft-FLS rekent op een rechthoekig grid. Geometrische data kunnen op verschillende manieren worden ingevoerd, zodat kenmerken van het land zoals wegen, spoorwegen en viaducten ingevoerd kunnen worden en waarvan het effect dus meegenomen kan worden in de berekening. Doorbraken kunnen gestart worden door de gebruiker zodat het programma uitermate geschikt is om 'wat als' vragen te kunnen onderzoeken. Het programma is gebaseerd op numerieke schema's die stromingen kunnen beschrijven over land en de stromingkenmerken gedurende de tijd vlak na de dijkdoorbraak. Zowel de voortbewegende golf fase als de fase waarin het land volloopt, kunnen nauwkeurig beschreven worden (WL|Delft Hydraulics, 2001). Een voorbeeld van een inputfile van het programma is gegeven in bijlage B.

4.2 GRIDGROOTTE EN MODELRANDEN

Voor het model is er gekozen voor een gridgrootte van 50x50m. Het zomerbed van de Vecht wordt op deze manier als twee of meer gridcellen gemodelleerd, waardoor de werkelijkheid beter nagebootst kan worden vanwege het bochtige verloop van de rivier. Bij het bepalen van de grenzen van het model was het belangrijk om die grenzen niet te dicht bij het dijkringgebied te plaatsen om op die manier invloed van buitenaf te voorkomen.

Voor dijkkring 9 zijn twee bovenstroomse debietranden; de Vecht en het Zwarte Water. En er is één benedenstroomse waterstandrand: Het Zwarte Meer (Heuer, 2004). De benedenrand is zo gekozen dat het Vollenhoverkanaal ook op het Zwarte Meer aansluit. In principe is dit kanaal gescheiden van het Zwarte Meer door de Kadoelersluis, maar het is mogelijk dat er bij bepaalde scenario's water terug kan stromen naar het Zwarte Meer.

Voor dijkkring 10 zijn er drie bovenstroomse debietranden; de IJssel, de Vecht en de Sallandse Weteringen. En één benedenstroomse waterstandrand: Het Ketelmeer (Heuer & Vervoorn, 2003).

4.3 HOOGTEBESTANDEN

In deze paragraaf wordt de opbouw van de hoogtebestanden besproken. Eerst zullen de rivieren en de meren behandeld worden en vervolgens de opbouw van de bodem in het dijkringgebied zelf.

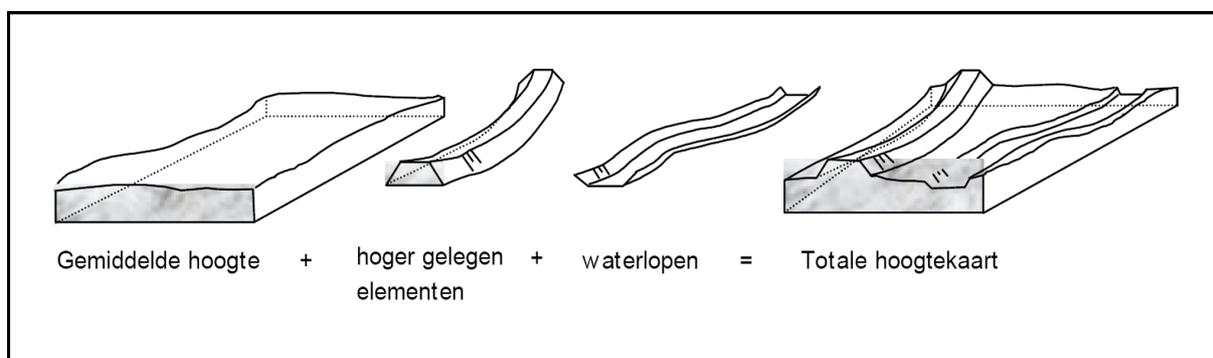
4.3.1 RIVIEREN EN MEREN

De hoogtegegevens voor de Overijsselse Vecht en het Zwarte Water komen van RWS Lelystad. Voor het zomerbed zijn er hoogtegegevens met een gridgrootte van 5x5m beschikbaar en voor het winterbed zijn er hoogtegegevens met een gridgrootte van 10x10m. De gegevens van het zomerbed en winterbed zijn afzonderlijk omgezet naar 50x50m gridcellen. De methode die hierbij is gebruikt is de 'nearest neighbour' interpolatie die gebruik maakt van twaalf omgevingspunten en waarbij een punt zonder waarde de waarde van het dichtstbijzijnde punt krijgt dat wel een waarde heeft. Daarna zijn het zomer- en het winterbed samengevoegd waarbij het zomerbed 'voorrang' heeft gekregen zodat het doorstroomprofiel zo goed mogelijk wordt meegenomen. Voor de IJssel zijn de hoogtebestanden gebruikt van het RWS RIZA, aangezien het Ketelmeer ook met deze gegevens wordt gemodelleerd en er op die manier met dezelfde soort gegevens wordt gewerkt.

Het Zwarte Meer en het Ketelmeer worden als een zomerbed gezien. De nauwkeurigheid van de modellering van deze buitenwateren is van minder belang aangezien het profiel zo groot is dat er nauwelijks stroming optreedt. De bodem van het Zwolle-IJsselkanaal wordt gelegd op -4 NAP, dit is de diepte waarop het kanaal is aangelegd en Rijkswaterstaat streeft ernaar om deze diepte te behouden. De bodemligging van de stadsgracht van Zwolle is door de gemeente Zwolle aangeleverd in de vorm van dwarsprofielen op enkele locaties. De verwachting is dat de grachten nu -2,5 NAP diep zijn (Heuer & Vervoorn, 2003). In bijlage C zijn de hoogtekarten van dijkkring 9 en 10 opgenomen.

4.3.2 DIJKRINGGEBIED

De hoogteligging en de ruwheid van de bodem in de dijkkring beïnvloeden de stroming en berging van water in het dijkringgebied. Bovendien beïnvloeden hoger gelegen elementen, zoals secundaire keringen, wegen en waterlopen, het overstromingsverloop. Het is belangrijk dat de hoger gelegen elementen niet wegvallen bij het omzetten van de gegevens naar 50x50m gridcellen. Om dit te voorkomen worden de kruinhoogten zo goed mogelijk in het model verwerkt door ze als het ware op de gemiddelde hoogtekart te leggen. Een schematische weergave van dit proces is in figuur 4 te zien.



FIGUUR 4: SCHEMATISCHE WEERGAVE OPBOUW HOOGTEKART (HEUER & VERVOORN, 2003)

De gemiddelde maaiveldhoogte is gebaseerd op hoogtegegevens van het AHN voor dijkkring 9. Deze gegevens waren 25x25m en zijn door middeling omgezet naar 50x50m. De primaire waterkering van dijkkring 9 is op 250 m hoogte gezet. Dit is een vaste en fictieve waarde en zo gekozen dat er geen water door andere locaties dan het doorbraakpunt kan stromen (Heuer, 2004). Voor dijkkring 10 is de gemiddelde maaiveldhoogte gebaseerd op gegevens van waterschap Groot Salland (Heuer & Vervoorn, 2003).

De hooggelegen elementen zijn met gegevens van waterschap Reest en Wieden toegevoegd. Elk element met een hoogteverschil van minimaal 40 cm is toegevoegd aan de hoogtekart. In bijlage D zijn de opgenomen hoger gelegen elementen weergegeven van dijkkring 9.

Voor dijkkring 10 is de N50 op de hoogtekart toegevoegd. De overige hooggelegen elementen zijn doormiddel van de meetdienst van provincie Overijssel met GPS ingemeten en toegevoegd aan de hoogtekart.

4.4 OPBOUW RUWHEIDBESTANDEN

De ruwheid van de bodem bepaald in grote mate het karakter van de stroming in het gebied. De ruwheden worden uitgedrukt met de ruwheidcoëfficiënt k_N , waarbij de N staat voor Nikuradse. Deze coëfficiënt is een maat voor de ruwheid van het land. Om de stromingsweerstand te bepalen wordt de ruwheidcoëfficiënt gebruikt: hoe gladder het oppervlak hoe sneller de overstroming verloopt. In Delft-FLS wordt de stromingsweerstand berekend volgens de formule van White-Colebrook: $C = 18 \log(12H/k_N)$, waarbij H de waterdiepte is.

In de riviergedeelten zijn de volgende ruwheden aangenomen in dijkkring 9 en 10:

- Ruwheid zomerbed Vecht: de k_N varieert tussen de 0,20 en 0,30 m. (waarde is gebaseerd op bodemgebruik).
- Ruwheid winterbed Vecht/IJssel: de k_N is over het algemeen gelijk aan 0,30 m. (waarde is gebaseerd op bodemgebruik).
- Ruwheid Zwarte Water en Ketelmeer: $k_N=0,20$ m.
- Ruwheid zomerbed IJssel: $k_N=0,20$ m

Het zomerbed is minder ruw dan het winterbed aangezien er meer begroeiing voorkomt in het winterbed. Als basis voor de ruwhedenkaart die is gemaakt van het gebied binnen dijkkring 9 en 10 is gebruik gemaakt van de landgebruikkaarten van de provincies Overijssel en Gelderland. Aan elke landgebruikklasse is een ruwheid k_N toegekend. In bijlage E zijn de ruwheidskaarten van dijkkring 9 en 10 opgenomen.

In bijlage F is de tabel opgenomen met de gebruikte ruwheid per landgebruiktype voor dijkkring 9 en 10. Een + betekent dat het wel in dijkkring 9 of 10 voorkomt en een – van niet.

5 DE DOORBRAAKSCENARIO'S

In dit hoofdstuk zal dieper op de modellering en de randvoorwaarden van de doorbraakscenario's worden ingegaan die zijn gemaakt voor de dijkringen Vollenhove en Mastenbroek, dit wordt beschreven in paragraaf 5.1. In paragraaf 5.2 zullen de scenariokansen worden behandeld.

5.1 MODELLERING

Om de doorbraakscenario's te kunnen modelleren moeten er keuzes gemaakt worden over de volgende parameters:

- de hydraulische randvoorwaarden op het moment van de doorbraak
- de doorbraaklocatie
- het bezwijkmechanisme
- het moment van doorbraak
- de bresgroei ontwikkeling
- binnendijkse situaties

Deze punten zullen één voor één behandeld worden met de gemaakte keuzes. De binnendijkse situatie is al behandeld in hoofdstuk 4 en zal hier daarom niet meer aan bod komen.

5.1.1 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

In dijkkring 9 zijn verschillende grote waterpartijen aanwezig. Het is van belang bij een overstromingsberekening dat deze partijen een bepaalde waterstand hebben zodat de invloed van deze waterpartijen op het verloop van de overstroming meegenomen kan worden. Voor de volgende locaties is een waterstand opgegeven.

- Schutsloterwijdte: NAP -0,7 m
- Beulakerwijdte: NAP -0,7 m
- Belterwijdte: NAP -0,7 m

Het Meppelerdiep heeft geen initiële waterstand gekregen.

Naast de vaste waarden die hierboven zijn genoemd wordt bij elke doorbraaklocatie gekeken naar de invloed van de afvoer op de gevolgen. Om dit zo goed mogelijk te kunnen onderzoeken zijn er per doorbraaklocatie drie verschillende afvoeren die worden doorgerekend. Deze afvoeren bestaan uit één afvoer die hoort bij de herhalingsstijd van de veiligheidsnorm van de dijkkring, één met een herhalingsstijd een factor tien kleiner en één met een herhalingsstijd een factor tien groter. De randvoorwaarden die zijn gebruikt in VNK2 zijn samengesteld op basis van de maatgevende afvoeren en waterstanden uit het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2001 (bron: Groot-Zwaaftink, 2007 a). In de volgende subparagrafen worden de afvoeren die worden gebruikt per dijkkring weergegeven.

5.1.1.1 DIJKRING 9

Voor de Vecht zijn de volgende afvoeren gebruikt:

Herhalingsstijd	Afvoer
1/125	431 m ³ /s
1/1.250	550 m ³ /s
1/12.500	670 m ³ /s

TABEL 1: AFVOEREN VAN DE VECHT (GROOT-ZWAAFTINK, 2008)

Voor het Zwarte Meer is de waterstand standaard 0 m +NAP. Voor de Sallandse Weteringen is de afvoer standaard 0 m³/s, aangezien in de situatie met hoge afvoeren op de Vecht de keersluis te Zwolle gesloten is.

Voor dit rapport zullen alleen de resultaten van de afvoer met een herhalingstijd van 1/1.250 worden opgenomen. Dit is zo gedaan omdat de berekeningen dusdanig lang duurden dat de resultaten niet meer allemaal te beschrijven waren.

5.1.1.2 DIJKRING 10

Voor de IJssel zijn de volgende afvoeren gebruikt:

Herhalingstijd	Afvoer IJssel	Afvoer Vecht	Waterstand Ketelmeer
1/200	2200 m ³ /s	455 m ³ /s	1,90 m (trapezium)
1/2.000	2750 m ³ /s	574 m ³ /s	2,50 m (trapezium)
1/20.000	3200 m ³ /s	694 m ³ /s	2,95 m (trapezium)

TABEL 2: AFVOEREN EN WATERSTANDEN DIJKRING 10 (GROOT-ZWAAFTINK, 2007 B)

Als er in de scenario's een lage Vechtafvoer gebruikt moet worden dan is de waarde 25 m³/s gebruikt. Bij scenario's zonder storm is op het Ketelmeer een constante waterstand van 0,0 m of 1,20 m gebruikt. Bij de Sallandse Weteringen is bij scenario's met een lage Vechtafvoer 10 m³/s gebruikt en bij scenario's met een hoge Vecht afvoer 0 m³/s, omdat bij een hoge Vechtafvoer de keersluis in Zwolle gesloten is.

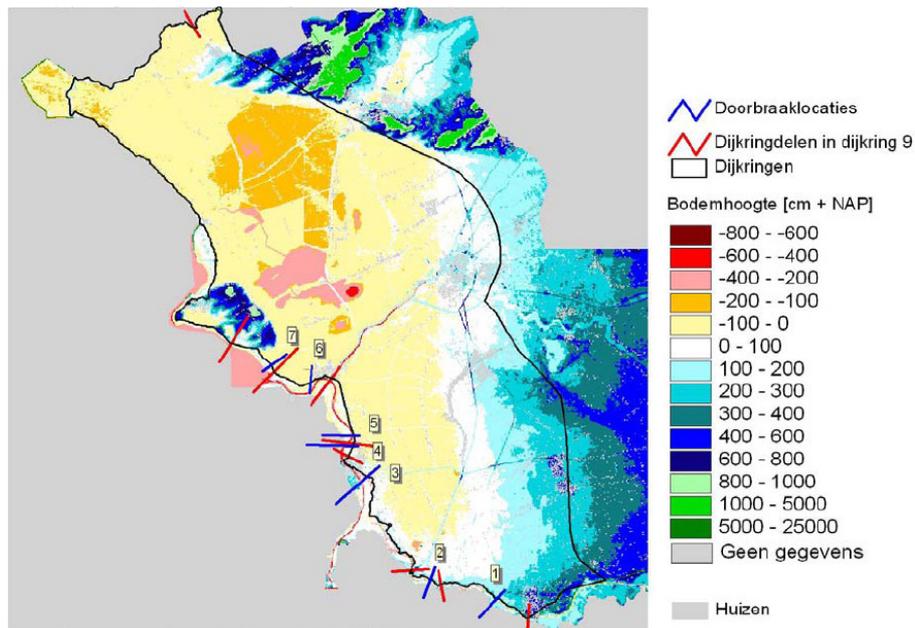
De herhalingstijd heeft betrekking op de kans per jaar dat een bepaalde waterstand optreedt. Een kans van 1 op 1.000 betekend dat gemiddeld gesproken eenmaal per 1.000 jaar die bepaalde waterstand voorkomt. Per jaar is de kans dan 1/1.000. Deze waarden zijn gebaseerd op geografische gegevens (bevolkingsdichtheid, economische waarde etc.) en aan de hand daarvan wordt bepaald wat de veiligheid in dat gebied moet zijn. Een gebied als Zuid-Holland zal daarom een hogere herhalingstijd hebben dan Mastenbroek en Vollenhove.

5.1.2 DOORBRAAKLOCATIE

In een dijkkringgebied kan op verschillende locaties een overstroming ontstaan, onder andere vanuit de Vecht, vanuit de IJssel, vanuit het Zwarte Water of vanuit het Meppelerdiep. Het Meppelerdiep is in dit model niet geschematiseerd als bovenstroomse debietrand. De reden hiervoor is dat bij hoge Vechtafvoeren er ook hoge waterstanden op het Zwarte Water ontstaan. De sluis bij Zwartsluis is in die situaties gesloten en het water uit het Meppelerdiep wordt dan via gemaal Zedemuiden uitgepompt, met Delft-FLS is het helaas niet mogelijk om dit gemaal te schematiseren. Aspecten die gerelateerd zijn aan de doorbraaklocatie en die het overstromingsverloop beïnvloeden zijn:

- Het verval over de bres
- De binnendijkse situatie
- Ligging direct aan zomerbed of met brede uiterwaarden
- De hydraulische condities in een bepaald scenario

De volgende locaties en doorbraken worden er voor dijkkring 9 bekeken. De dijkkringdelen (aangegeven in het rood) geven de delen aan waarin een overstroming wordt gemodelleerd. Het aantal dijkkringdelen is dus gelijk aan het aantal doorbraaklocaties.



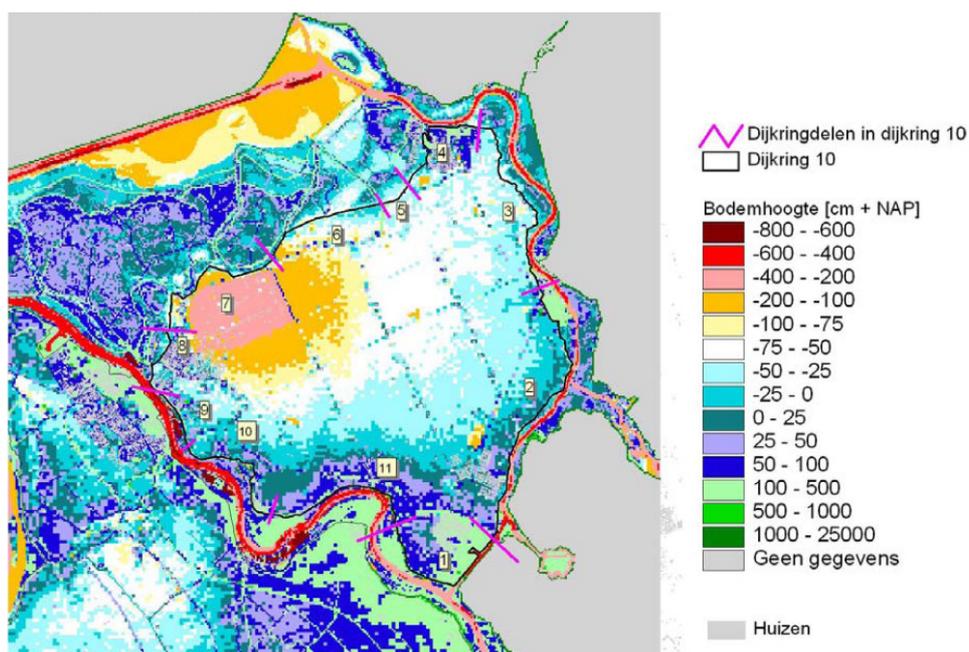
FIGUUR 5: DOORBRAAKLOCATIES DIJKRING 9 VOOR VNK 2 (GROOT-ZWAAFTINK, 2008)

De plaatsen die bij de doorbraaklocaties horen zijn:

Nummer	Plaats
1	Dalfsen
2	Hessenpoort
3	Hasselt-Zuid
4	Hasselt
5	Veldiger binnenland
6	Zwartsluis/Barsbeker
7	Zwarte Meer

TABEL 3: DOORBRAAKLOCATIES DIJKRING 9

Voor dijkring 10 zijn de volgende locaties bekeken:



FIGUUR 6: DOORBRAAKLOCATIES DIJKRING 10 VOOR VNK2 (GROOT ZWAAFTINK, 2007 B)

De plaatsen die bij de doorbraaklocaties horen zijn:

Vanuit	Nummer	Plaats
De IJssel	1	Westenholte Zalkerdijk/Spoorlijn
	11	Veecaten Wilsum/Zalkerdijk (bij 's Heerenbroek
	10	N50-Zuid Wilsum
	9	Nabij Spoorlijn-N50 (ten zuiden van burg)
	8	IJsselmuiden Ringdijk-Spoorlijn (ten noorden van brug
Het Zwarte Water	2	Stadshagen Spoorlijn/N331
	3	Roebolligehoek N331-Genemuiden
	n.v.t.	Voorsterhaven
Het Zwarte Meer	5	Kamperzeedijk Randweg, kruising Veneriete Kanaal
	6	Slaperdijk Veneriete/Bisschopswetering
	7	Polder De Koekoek Bisschopswetering Ringdijk

TABEL 4: DOORBRAAKLOCATIES DIJKRING 10

Er moet opgemerkt worden dat de gekozen locaties geen zwakkere plekken zijn in de dijk, maar gekozen zijn om een representatief beeld van mogelijke overstromingen in een dijkkringgebied te geven.

5.1.3 BEZWIJKMECHANISME

Een overstroming kan verschillende oorzaken hebben. Er is in deze scenario's aangenomen dat de oorzaak van de overstroming een bezwijkmechanisme van een dijk is en niet alleen door overlopen. De volgende bezwijkmechanismen worden meegenomen in VNK.

5.1.3.1 OVERLOOP EN OVERSLAG



FIGUUR 7: HET OVERSTROMEN VAN EEN ZOMERDIJK (TEN BRINKE & BANNINK, 2004)

Door de grote hoeveelheden water dat over de dijk loopt of slaat, erodeert het binnentalud waardoor de dijk bezwijkt. Bij afluende wind of bij zeer kleine golfhoogten wordt bezwijken beschreven door het mechanisme overloop. In andere gevallen door overslag.

Bij golfoverslag slaat er door golven of wind water over de dijk heen. Als de hoeveelheid water dat over de dijk slaat te groot is kan het binnentalud dit niet meer verdragen. Er treedt dan erosie op, waarna er een bres ontstaat die kan gaan groeien waardoor er water de polder instroomt.

5.1.3.2 OPBARSTEN EN PIPING



FIGUUR 8: HET OMHOOG KOMEN VAN WATER DOOR ZOGENAAMDE PIJPEN (DELFT GEOSYSTEMS, 2008).

De faalmechanismen opbarsten en piping treden op doordat als gevolg van een drukverschil tussen de binnen- en buitenwaterstand een grondstroming in een doorlatende zandlaag onder de dijk komt. Bij een voldoende groot drukverschil zal de grondwaterstroming door de zandlaag zo groot worden dat er zandkorrels worden meegevoerd, waardoor er een soort van pijpen (pipes) ontstaan. Bij het deelmechanisme opbarsten, zal de afsluitende laag opbarsten als gevolg van de druk van het water. De druk die de afsluitende laag maximaal kan hebben, kan uitgedrukt worden in een kritieke waterstand.

5.1.3.3 AFSCHUIVING



Bij het mechanisme afschuiving bezwijkt de dijk doordat een deel van de dijk instabiel wordt en afschuift. Dit kan zowel binnenwaarts als buitenwaarts optreden. Bij VNK2 wordt alleen rekening gehouden met afschuiving van het binnentalud, omdat afschuiven of opdrijven van het buitentalud bijna nooit maatgevend is.

FIGUUR 9: VERSCHUIVING NA DE DIJKDOORBRAAK IN WILNIS (DE BRUIJN, DEKKER, UIJTTEWAAL, VAN DER MEIJ, VAN DER HOEK, KRUSE & BEZUIJLEN, 2004)

5.1.3.4 BESCHADIGING BEKLEDING EN EROSIE

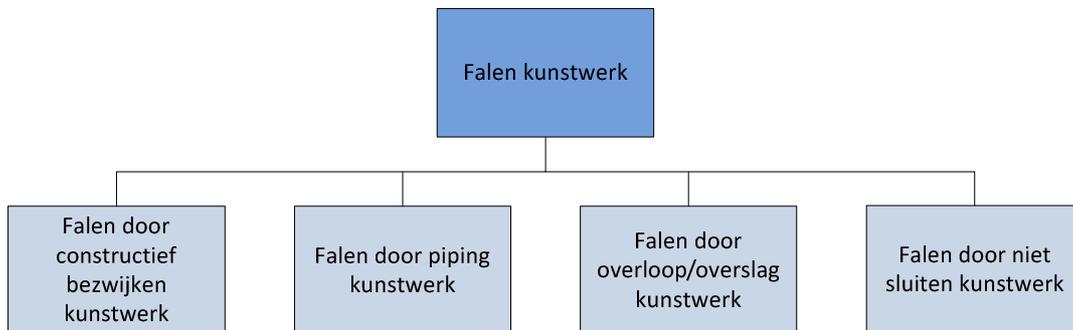
Bij dit mechanisme bezwijkt de dijk doordat eerst de bekleding beschadigt door een golfaanval en vervolgens door die beschadiging de dijk door erosie van de kern afneemt. Het bestaat dus eigenlijk uit twee mechanismen: beschadiging bekleding en erosie van het dijklichaam. Het al dan niet falen door erosie is afhankelijk van de duur van de storm. De hoeveelheid beschadiging die kan optreden hangt af van de sterkte van de bekleding van het dijklichaam en het type bekleding (gras, steen of asfalt).

FIGUUR 10: GAT IN DE BEKLEDING, ONDERLIGGEND FILTER IS AL ZICHTBAAR (DE LOOFF, VAN VILSTEREN & MONTAUBAN, 2005)



5.1.3.5 KUNSTWERKEN

In dijkringen kunnen kunstwerken voorkomen die ook een faalkans hebben. In de volgende figuur zijn de hoofdfaalmechnismen voor kunstwerken weergegeven.



FIGUUR 11: HOOPDFAALMECHANISMEN KUNSTWERKEN (RIJKSWATERSTAAT-WATERDIENST, 2008)

5.1.4 MOMENT VAN DOORBRAAK

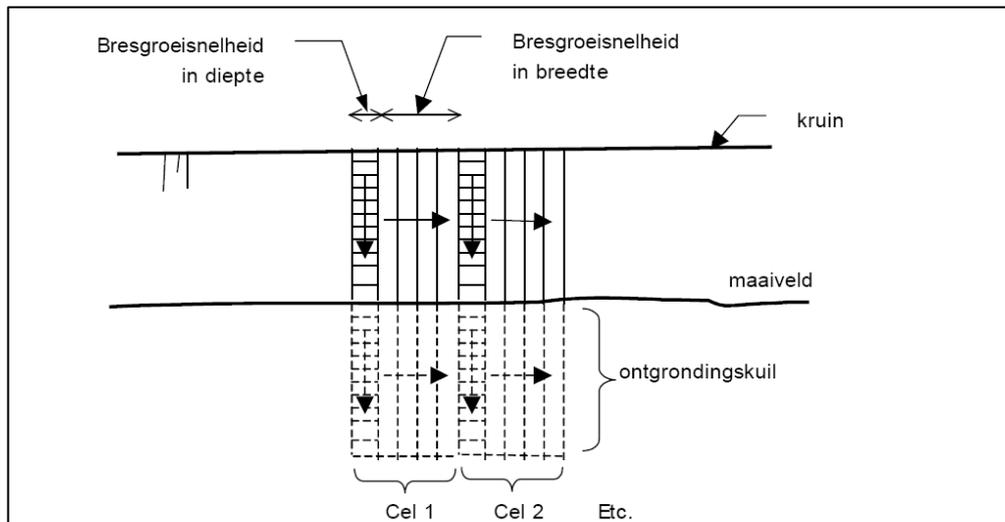
Het moment waarop de doorbraak plaatsvindt is van meerdere factoren afhankelijk. Daarnaast heeft het moment grote invloed op het verloop van de overstroming. Verschillende omstandigheden bepalen het faalmechanisme zoals de waterstand, de golfslag en de conditie van de dijk. Er kan met verschillende tijdstippen van doorbraak gerekend worden, bijvoorbeeld het moment waarop de hoogste waterstand optreedt of bijvoorbeeld twaalf uur daarna. Er wordt in VNK1 en VNK2 vanuit gegaan dat de doorbraak plaatsvindt op het moment dat de piekafvoer de locatie passeert. Op deze manier wordt er van een worst-case scenario uitgegaan, aangezien er meer water het gebied binnen kan stromen dan wanneer de doorbraak later plaatsvindt. Er had ook voor een moment gekozen kunnen worden voordat de hoogste afvoer plaatsvindt, op die manier zal er nog meer water het gebied instromen. Dit is echter een situatie die (bijna) nooit voorkomt en dus niet realistisch is. Normaal gesproken bezwijkt een dijk nadat er gedurende lange tijd hoog water is geweest en vervolgens de waterstand in de rivier snel daalt. Door de snelle daling van het waterpeil verdwijnt de stabiliserende werking van de hoge waterstand, wat kan leiden tot afschuiven van het buitentalud. Doordat er nu is gekozen voor het moment dat de piek passeert, is dus automatisch een scenario gekozen met ernstigere gevolgen dan normaal gesproken voorkomt.

5.1.5 BRESGROEI

De grootte van de bres bepaald hoeveel water het gebied in kan stromen. Hierbij zijn de keuzes die gaan over de groei van de bres gedurende een aantal dagen van belang maar ook of er een ontgrondingskuil wordt gemodelleerd. De waarden van deze parameters zijn gebaseerd op diverse aannames, omdat deze met de kennis die nu beschikbaar is niet exact te bepalen zijn.

Er is gekozen voor een bres van ongeveer 200 meter in twee dagen. Omdat één cel 50 meter is betekent dit dat een bres in vier cellen wordt gemodelleerd. Cel na cel groeit de bres uit tot 200 meter. Eerst groeit een deel van de cel in de diepte gedurende een aantal uren en daarna groeit het resterende deel van de cel in de breedte met een bepaalde bresgroeisnelheid. Met diepte wordt hier bedoeld dat de cel lager komt te liggen (de grond zakt als het ware naar beneden).

Als gevolg van een doorbraak ontstaat er in het algemeen ook een ontgrondingskuil ter plaatse van de doorbraak, ongeveer cirkelvormig rond de bres. Dergelijke ontgrondingsdiepten ontstaan doordat de snelheid in de bres hoog is, zeker wanneer de deklaag is uitgeschuurd zodat ook de onderliggende zandlaag kan eroderen. Uit de berekeningen bij provincie Noord-Brabant blijkt dat het mee modelleren van dergelijke ontgrondingskuilen een aanzienlijke invloed heeft op het debiet, namelijk tot circa 20% van het (piek)debiet groter wat vooral van belang is voor evacuatietijden (Heuer, 2004).



FIGUUR 12: ILLUSTRATIE WIJZE VAN BRESMODELLERING (HEUER & VERVOORN, 2003)

Voor het doorgerekende scenario is in VNK gekozen voor een diepte van de ontgrondingskuil van 10 m. De ontgrondingskuil is als volgt gemodelleerd: (a) het deel van de cel dat in de diepte groeit, groeit meteen zover in de diepte dat de ontgrondingskuil volledig aanwezig is, (b) het resterende deel van de cel dat in de breedte groeit, groeit over de totale diepte in de breedte en (zie Figuur 12) (c) tegelijkertijd ontwikkelt zich de bres op dezelfde wijze in de cellen boven- en benedenstrooms.

5.2 SCENARIOKANSEN

De overstromingskansen worden door projectbureau VNK2 bepaald met behulp van PC-Ring. De berekeningen worden per bezwijkmechanisme uitgevoerd en leiden tot een faalkans per dijkvak, kunstwerk of duin per mechanisme. Deze bezwijkansen bij elkaar geven de overstromingskans van de gehele dijkkring weer. Om het uiteindelijke overstromingsrisico te bepalen is de overstromingskans nodig.

Aangezien de overstromingskansen van VNK2 nog niet beschikbaar zijn, zijn de overstromingskansen uit VNK1 gebruikt. In bijlage G staat uitgelegd hoe tot de scenariokansen is gekomen van de dijkkringen.

Voor dijkkring 9 is een algemene scenariokans van 8/9375 gebruikt. De scenariokansen voor dijkkring 10 staan in tabel 5 weergegeven.

Nummer	Plaats	Dijkvak	Faalkans (scenariokans)
1	Westenholte Zalkerdijk/Spoorlijn	2	9.307×10^{-5}
11	Veecaten Wilsum/Zalkerdijk (bij 's	5	7.534×10^{-4}
10	N50-Zuid Wilsum	11	4.169×10^{-3}
9	Nabij Spoorlijn-N50 (ten zuiden van burg)	13	8.802×10^{-5}
8	IJsselmuiden Ringdijk-Spoorlijn (ten	14	1.659×10^{-4}
2	Stadshagen Spoorlijn/N331	45	$2,646 \times 10^{-6}$
3	Roebolligehoek N331-Genemuiden	34	1.017×10^{-4}
n.v.t.	Voorsterhaven	46	8.070×10^{-6}
5	Kamperzeedijk Randweg, kruising	24	1.581×10^{-5}
6	Slaperdijk Veneriete/Bisschopswetering	22	4.670×10^{-5}
7	Polder De Koekoek Bisschopswetering	16	3.967×10^{-3}

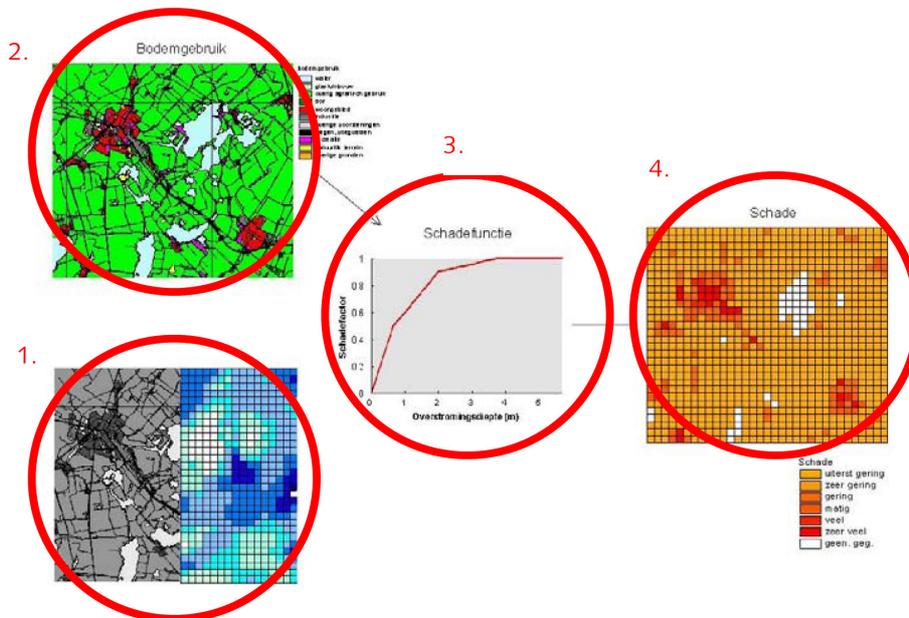
TABEL 5: SCENARIOKANSEN DIJKRING 10

6 SCHADE EN SLACHTOFFERS

Om de economische schade en de slachtofferschade van een overstromingsscenario te bepalen kunnen de uitkomsten die door Delft-FLS gegenereerd zijn gebruikt worden. Een belangrijke parameter die de schade bepaald is de overstromingsdiepte. Met behulp van de HIS Schade en Slachtoffermodule (HIS-SSM) kan de verwachte schade en het verwachte aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming in een gebied worden berekend. Bij het berekenen daarvan wordt gebruik gemaakt van bestanden met geografisch georiënteerde gegevens uit Delft-FLS. In HIS-SSM versie 2.4 wordt gebruik gemaakt van de standaardmethode2007 en de bijbehorende dataset SSM100NC2006.

6.1 ECONOMISCHE SCHADE

Om de schade te bepalen worden schadebedragen gebruikt, dit zijn de maximale bedragen per categorie. Landbouw direct heeft bijvoorbeeld per vierkante meter een schadebedrag van €1,50. De bedragen die worden gebruikt in de standaardmethode staan in bijlage H. De overstromingsdiepte en snelheid zijn parameters die worden gebruikt in de functie om het schadebedrag te bepalen. Op de volgende pagina wordt stapsgewijs beschreven hoe het schadebedrag wordt bepaald.



FIGUUR 13: METHODE SCHADEBEREKENING HIS-SSM (JACOBS, 2005)

De schade wordt op de volgende wijze bepaald:

- Bepaling van het overstromingsscenario: als invoer in de HIS Schade en Slachtoffermodule is de overstromingsdiepte benodigd.
- Bepaling van het grondgebruik: voor Nederland zijn de verschillende bodemgebruikvormen in de HIS Schade en Slachtoffermodule door de standaardmethode gedefinieerd
- Voor alle soorten grondgebruik zijn schadefuncties gedefinieerd. Elke schadefunctie bestaat uit een maximaal schadebedrag en een schadefactor. Het maximale schadebedrag is de maximale schade die bij een overstromingsgebeurtenis kan optreden en is in principe gebaseerd op de vervangingswaarde. De schadefactor is een getal tussen de 0 en 1 en is een functie van de overstromingsdiepte- en snelheid.
- De schade wordt berekend door per bodemgebruikvorm in een rekencel de waterdiepte, stroomsnelheid en schadefunctie te combineren.

(Jacobs, 2005)

Bij het bepalen van de schade wordt rekening gehouden met drie verschillende categorieën schade:

- Directe schade – materiaal:

Onder directe materiële schade wordt verstaan de schade die optreedt aan objecten, kapitaalgoederen en roerende goederen vanwege het directe contact met water. Hiertoe behoren:

 - Herstelschade aan onroerende goederen in eigendom of huur
 - Herstelschade aan productiemiddelen, zoals machinerie, apparatuur, procesinstallaties en transportmiddelen
 - Schade aan inboedels
 - Schade door het verloren gaan van roerende goederen, zoals grondstoffen, hulpstoffen en producten (inclusief schade aan oogst)
- Directe schade – door bedrijfsuitval:

De tweede categorie directe schade is gedefinieerd als de schade vanwege bedrijfsuitval, d.w.z. de zakelijke verliezen door productiestilstand.
- Indirecte schade

De indirecte schade bestaat uit de schade bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten het overstromde gebied, en reistijdverlies door uitval van (spoor)wegen in het overstromde gebied

(Jacobs, 2005)

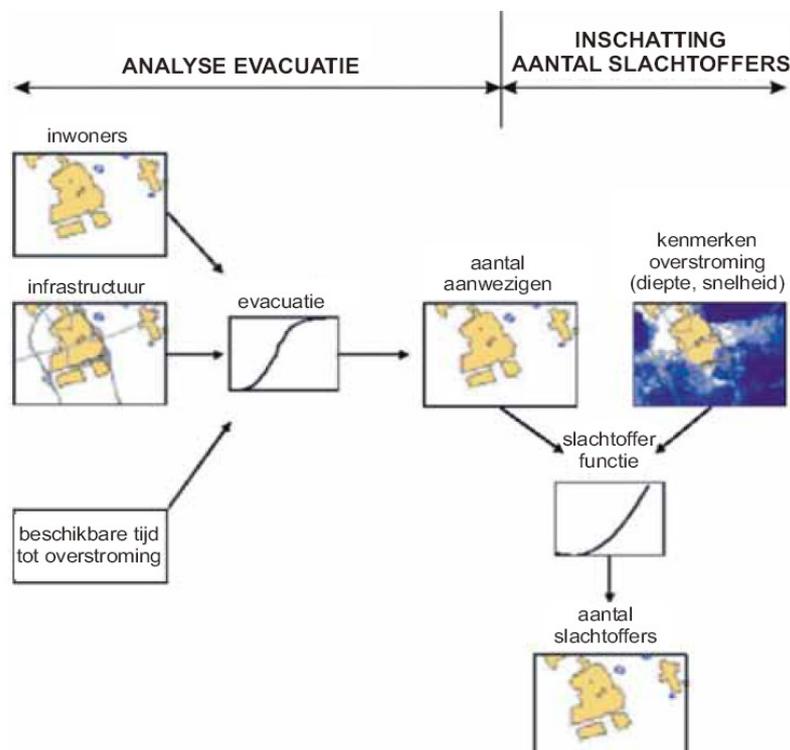
Bij de berekening van de schade is uitgegaan van schade voor het prijsjaar van 2008 met 2% inflatie per jaar.

6.2 SLACHTOFFERS

Om het aantal slachtoffers te bepalen doorloopt HIS-SSM globaal gezien twee stappen:

- Analyse van de evacuatie, vluchten en aanwezigheid van personen in het gebied
- Schatting van het aantal slachtoffers onder de aanwezigen in het gebied.

In onderstaande figuur zijn deze stappen schematisch weergegeven.



FIGUUR 14: STROOMSCHEMA SLACHTOFFERBEPALING (VEILIGHEID NEDERLAND IN KAART, 2005)

Om het aantal slachtoffers te bepalen is het belangrijk om de stijgsnelheid van het water te gebruiken omdat dit vaak een oorzaak is dat mensen omkomen in het water. Deze stijgsnelheid kan bepaald worden aan de hand van de uitvoer van Delft-FLS. Verder kan er aangegeven worden in HIS-SSM of mensen die in hoogbouw wonen veilig zijn voor het water. Hier is aangenomen dat dit zo is.

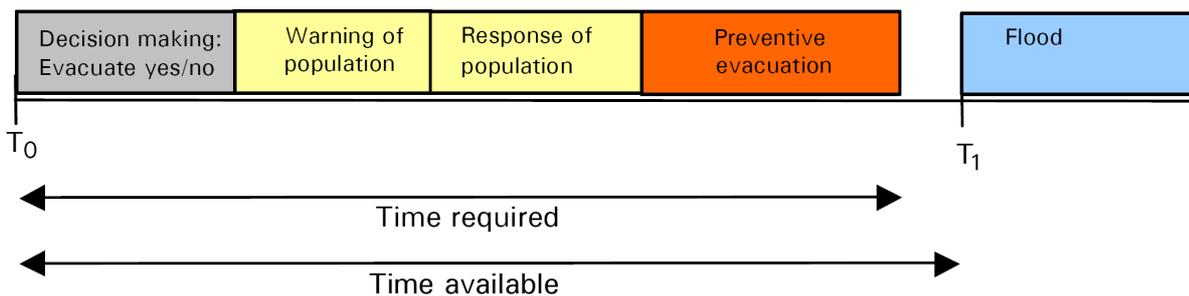
Er worden in HIS-SSM drie oorzaken onderscheiden waardoor slachtoffers ontstaan:

- Stroomsnelheid → als de stroomsnelheid groter is dan 2 m/s en de diepte*stroomsnelheid groter is dan 7 dan vallen er slachtoffers onder oorzaak stroomsnelheid
- Stijgsnelheid → als de diepte groter is dan 2,1 m en de stijgsnelheid groter is dan 0,5 m/s dan vallen er slachtoffers onder oorzaak stijgsnelheid
- Overige oorzaken → als de diepte kleiner is dan 2,1 m en er vallen slachtoffers dan valt het onder overig.

Naast deze factoren die een rol spelen bij het bepalen van het aantal slachtoffers kan er een evacuatiefactor ingevuld worden waarmee HIS-SSM rekening houdt. Op deze factor zal dieper ingegaan worden in de volgende subparagraaf.

6.2.1 EVACUATIEFACTOR

Zoals hierboven in de figuur is te zien is de evacuatie een belangrijke factor om het aantal slachtoffers te beperken. De tijd die benodigd is voor een evacuatie bestaat uit de volgende onderdelen: het besluit nemen, de voorbereiding en het transporteren van de bevolking uit het gebied. Met de tijd die nodig is om te evacueren wordt de periode bedoeld tussen het moment dat de veiligheid tegen overstromen niet meer kan worden gegarandeerd en de tijd dat het lichaam bezwijkt.



FIGUUR 15: DE BENODIGDE EN AANWEZIGE TIJD MET T_0 HET MOMENT WAAROP DE VEILIGHEID VAN DE DIJKEN EN KUNSTWERKEN NIET MEER KAN WORDEN GEGARANDEERD EN T_1 HET MOMENT WAAROP DE DIJK OF HET KUNSTWERK DAADWERKELIJK BEZWIJKT. (BARENDREGT, VAN NOORTWIJK, VAN DER DOEF & HOLTERMAN, 2005)

In Barendregt et al (2005) wordt de tijd die nodig is voor evacueren gebaseerd op informatie en ervaringen door eerdere evacuaties. De tijd die voorhanden is, wordt gebaseerd op ideeën van experts en deze wordt in de volgende twee fasen onderverdeeld:

- de tijd tussen de voorspelling van een kritieke situatie en de werkelijke overbelasting en een lichaam.
- De tijd tussen de werkelijke overbelasting en het daadwerkelijke falen van het lichaam.

Volgens Barendregt et al. (2005) is er 10 uur nodig om een evacuatie op te starten. Deze 10 uur bestaat uit: 4 uur voor het besluit nemen, 3 uur om de bevolking te waarschuwen en 3 uur voor de response van de bevolking. Het is hierbij mogelijk dat fasen elkaar overlappen.

De tijd die benodigd is voor een preventieve evacuatie is van wezenlijk belang voor het beoordelen van de omstandigheden in de situatie van een dreigende overstroming. Met behulp van een tool van HIS-SSM, de Evacuatie Calculator, kan de evacuatiefactor worden bepaald. De Evacuatie Calculator heeft twee doeleinden. Ten eerste kan de toepassing gebruikt worden om de nationale beleidsontwikkeling rondom evacuaties van dijkkringgebieden bij

dreigende overstromingen te ondersteunen. Ten tweede kan de Evacuatie Calculator worden gebruikt bij het opzetten, vormgeven en uitwerken van evacuatieplannen voor diverse dijkringen in Nederland. De resultaten maken zichtbaar wat de consequenties in de tijd zijn van het gekozen type verkeersmanagement (Friso, Banninga & Van Zuilekom, 2008).

De evacuatiefactoren die zijn gebruikt voor de dijkringen 9 en 10 staan hieronder beschreven. De evacuatiefactor is een getal tussen de 0 en 1 en geeft het deel weer van de bevolking dat is geëvacueerd.

Deze getallen zijn gedeeltelijk gebaseerd op de factoren die voor dijkkring 10 al waren bepaald en gedeeltelijk op gebruikte literatuur. In Ten Brinke & Banninga (2004) wordt gezegd dat de evacuatiefactor van een preventieve evacuatie bij dreigingen vanuit de IJssel of Vecht 0,5 is.

In tabel 6 staan de evacuatiefactoren die zijn gebruikt met het bijbehorend aantal geëvacueerden. In dijkkring 9 wonen ongeveer 128.500 mensen.

Evacuatiefactor	Aantal geëvacueerden
0,01	1.285
0,5	64.247
0,6	77.096

TABEL 6: AANTAL GEËVACUEERDE MENSEN BIJ EEN DREIGENDE OVERSTROMING DIJKRING 9

Voor VNK2 zijn de berekeningen met de Evacuatie Calculator al gedaan voor dijkkring 10 en die gegevens zijn gebruikt als evacuatiefactor. Hierbij kunnen drie situaties onderscheiden worden:

- Onvoorziene overstroming en ongeorganiseerde evacuatie (factor: 0,008)
- Voorziene overstroming en ongeorganiseerde evacuatie (factor: 0,561)
- Voorziene overstroming en georganiseerde evacuatie (factor: 0,618)

In tabel 7 staan de evacuatiefactoren die zijn gebruikt met het bijbehorend aantal geëvacueerden. In dijkkring 10 wonen ongeveer 121.000 mensen.

Evacuatiefactor	Aantal geëvacueerd bij dreiging vanuit IJssel	Aantal geëvacueerd bij dreiging vanuit Zwarte Water of Zwarte Meer
0,008	1.204	1.215
0,561	67.340	68.030
0,618	73.472	74.104

TABEL 7: AANTAL GEËVACUEERDE MENSEN BIJ EEN DREIGENDE OVERSTROMING DIJKRING 10

Opvallend in tabel 7 is dat het aantal geëvacueerde bij dreiging vanuit de IJssel niet overeenkomt met het aantal geëvacueerde bij dreiging vanuit het Zwarte Water of het Zwarte Meer. Dit verschil komt omdat HIS-SSM bij dreiging vanuit de IJssel van een ander bevolkingsaantal uitgaat dan bij dreiging vanuit het Zwarte Water of Zwarte Meer. Waar dit verschil vandaan komt is onbekend, maar de kans bestaat dat er verschillende data gebruikt wordt in de verschillende scenario's zodat wellicht met andere oppervlakten en dus inwoneraantallen wordt gerekend.

7 RESULTATEN

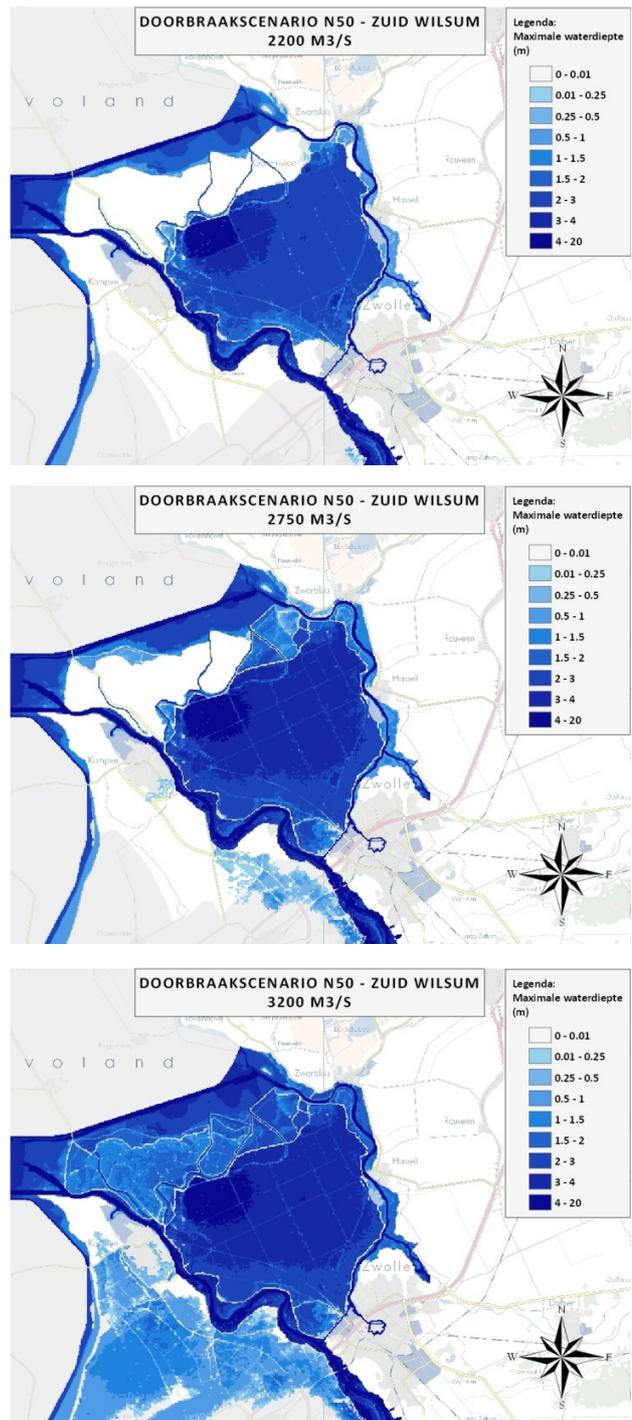
In dit hoofdstuk zullen de resultaten besproken worden. Eerst zal het overstromingsverloop besproken worden. Daarna zullen de gevolgen in schade en slachtoffers worden behandeld gevolgd door de risico's. Ten slotte zullen in de discussie punten behandeld worden die onzekerheden geven in de resultaten.

7.1 OVERSTROMINGSVERLOOP

De uitkomsten van de overstromingsberekeningen kunnen uit de output files van Delft-FLS gehaald worden. De bestanden die gebruikt zijn voor dit onderzoek staan in bijlage I. Met behulp van die gegevens kan het overstromingsverloop beschreven worden, kunnen er waterdieptes bepaald worden en kunnen de tijden totdat het water een bepaalde plaats bereikt berekend worden. Dit is gedaan voor VNK2 voor dijkkring 10 en een gedeelte van dijkkring 9 (alleen de maatgevende afvoeren). Deze beschrijvingen zijn straks te vinden in het rapport van VNK2 en zijn nu nog niet openbaar gemaakt. Eén voorbeeld hiervan is gegeven in bijlage J.

Uit deze beschrijvingen is gebleken voor dijkkring 10 dat de hoger gelegen elementen in de dijkkring (bv. wegen) voor een groot gedeelte het overstromingsverloop bepalen. De 'vakjes' lopen één voor één vol. Bovendien loopt bij bijna elk scenario de gehele dijkkring onder water, waaruit blijkt dat Mastenbroek een soort van kom is. De waterstanden die hierbij horen zijn erg hoog en liggen tussen de 1,5 tot 3 m met uitschieters tot 5,5 m. Ook de tijd totdat het water bepaalde plaatsen bereikt is verontrustend. Deze tijd hangt af van de doorbraaklocatie, maar bij elke locatie zijn er enkele plaatsen die binnen een paar uur onder water staan. De figuren aan de rechterkant laten een voorbeeld zien van drie maximale waterdiepte kaarten van een overstroming in dijkkring 10. Er valt op te merken dat bij een lage afvoer met een herhalingstijd van 1/200 per jaar al de gehele dijkkring onder water komt te staan. Bij de scenario's met een hogere afvoer worden de waterdieptes hoger en bij het hoogste scenario loopt het water aan de noordkant weer uit de dijkkring.

Bij een overstroming in dijkkring 9 stroomt het water niet zo snel de dijkkring binnen dan bij een overstroming in dijkkring 10. De locaties in de buurt van de doorbraaklocaties hebben minder dan een dag de tijd voordat het water daar komt, maar de rest van de dijkkring heeft over het algemeen meer dan een dag de tijd voordat



FIGUUR 16: MAXIMALE WATERDIEPTES DOORBRAAK N50-ZUID WILSUM

het water hen bereikt. De waterdieptes liggen tussen de 0 en 1 meter met uitschieters tot 1,7 m. Ook in dijkkring 9 is het effect van de hoger gelegen elementen in de dijkkring duidelijk herkenbaar in het overstromingsverloop.

Een volledig overzicht van de maximale waterdiepte kaarten zijn te vinden in bijlage K en in bijlage L zijn tabellen opgenomen waarin de tijden zijn opgenomen totdat het water bepaald plaatsen bereikt. Ter verduidelijking is ook een overzichtkaart van dijkkring 9 en 10 toegevoegd van Google Maps.

7.2 GEVOLGEN IN SCHADE EN SLACHTOFFERS

De gevolgen zijn met het programma HIS-SSM berekend en een voorbeeld van een output file is te vinden in bijlage M.

7.2.1 SCHADE

In tabel 8 zijn de schadebedragen weergegeven van dijkkring 9 en dijkkring 10. De lage waarde dat wordt gegeven is de schade die hoort bij het scenario met de laagste schade. De hoogste hoort bij dat scenario met de hoogste schade.

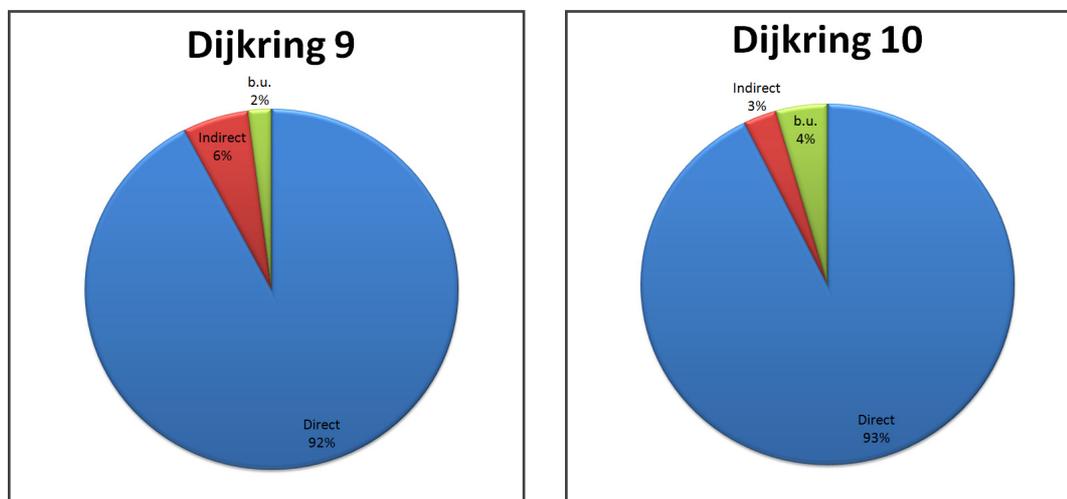
Dijkkring 10	1/200		1/2.000		1/20.000	
Schade (miljoenen)	794	2.000	840	3.300	2.000	3.900
Dijkkring 9			1/1.250			
Schade (miljoenen)			531	1.000		

TABEL 8: BANDBREEDTE SCHADE

Er moet bij de tabel worden vermeld dat de scenario's vanuit het Zwarte Meer niet zijn doorgerekend met een herhalingsijd van 1/20.000, dit verklaart waarom de verschillen met het hoogste scenario in verhouding groter zijn.

Er valt op te merken dat de schade, naarmate de afvoer groter wordt, ook aanzienlijk toeneemt voor dijkkring 10. In paragraaf 6.1 staat dat de stijg- en de stroomsnelheid parameters zijn in de functie om de schade te bepalen. Dit is duidelijk terug te zien in de resultaten. Aangezien de bres waar het water doorheen stroomt bij elke situatie 200 meter is, zal er dus meer water in dezelfde tijd het gebied in stromen. Deze groter wordende hoeveelheid water zorgt er dus voor dat de stijg- en de stroomsnelheden toenemen, wat voor grotere schadebedragen zorgt. Voor dijkkring 9 ligt de schade lager vergeleken met de schade van dijkkring 10. Dit komt het water langzaam het gebied in stroomt wat dus zorgt voor lagere stijg- en stroomsnelheden.

In bijlage N waar het totale overzicht van de schade is te vinden, is te zien dat de bedragen per evacuatiefactor variëren. Dit komt omdat de formule die wordt gebruikt om de schade aan vervoermiddelen te bepalen in de indirecte post ook afhangt van de evacuatiefactor. Dit verklaart waarom het gevolg in schade afneemt naarmate de evacuatiefactor hoger wordt. In bijlage O is een overzicht te vinden met de procentuele verdeling van de schade over directe schade, indirecte schade en bedrijfsuitval. Hieronder worden de gemiddelden gegeven per dijkkring.



FIGUUR 17: SCHADE ONDERVERDEELD IN DIRECTE SCHADE, INDIRECTE SCHADE EN SCHADE DOOR BEDRIJFSUITVAL

7.2.2 SLACHTOFFERS

In de volgende tabel zijn de minimale en de maximale gevolgen in het aantal slachtoffers gegeven. De lage waarde dat wordt gegeven is het aantal slachtoffers dat hoort bij het scenario met het laagste aantal slachtoffers. De hoogste hoort bij dat scenario met het hoogste aantal slachtoffers.

Dijkkring 10	1/200		1/2.000		1/20.000	
Slachtoffers: Onvoorzien/ongeorganiseerd	53	470	54	738	153	1.029
Slachtoffers: Voorzien/ongeorganiseerd	24	209	24	328	68	457
Slachtoffers: Voorzien/georganiseerd	21	185	21	291	60	405
Dijkkring 9			1/1.250			
Slachtoffers: Onvoorzien/ongeorganiseerd			31	64		
Slachtoffers: Voorzien/ongeorganiseerd			16	32		
Slachtoffers: Voorzien/georganiseerd			13	26		

TABEL 9: BANDBREEDTEN AANTAL SLACHTOFFERS

In bijlage N staat een volledig overzicht van de gevolgen voor dijkkring 9 en 10 per evacuatiefactor weergegeven. Zoals verwacht wordt het nut van het voortijdig waarschuwen van een overstroming duidelijk als er naar de resultaten wordt gekeken. Het verschil tussen het aantal slachtoffers bij een voorziene overstroming in een situatie zonder evacuatie en een met evacuatie is kleiner dan verwacht. Het valt op dat naarmate er meer water het gebied instroomt er ook meer slachtoffers vallen. Dit komt omdat de stijgsnelheid van het water groter wordt naarmate er meer water in dezelfde tijd het gebied instroomt. Aangezien uit de resultaten van HIS-SSM blijkt dat er geen slachtoffers vallen door de stroomsnelheid, zullen deze hogere aantallen komen door de hogere stijgsnelheid en overige factoren. De stijgsnelheid en overige factoren zijn dus van grote invloed op het aantal slachtoffers.

7.3 OVERSTROMINGSRISICO

Voor de overstromingsscenario's zijn de gevolgen (schade en slachtoffers) bepaald (zie vorige paragraaf) en de scenariokansen zijn in paragraaf 5.2 bepaald. Het scenariorisico wordt berekend door het product te nemen van de scenariokansen en de scenariogevolgen. Om uiteindelijk tot het overstromingsrisico van dijkkring 10 te komen moeten deze scenariorisico's bij elkaar opgeteld worden. In bijlage N staan de gevolgen en risico's voor alle scenario's. In onderstaande tabellen zijn alle overstromingsrisico's voor dijkkring 9 en 10 opgenomen per evacuatiefactor zodat de verschillen onderling goed zichtbaar zijn.

1/1.250	Schade/jaar	Slachtoffers/jaar
0,01	4.781.741	0,27
0,5	4.769.620	0,14
0,6	4.767.146	0,11

TABEL 10: OVERSTROMINGSRISICO'S DIJKRING 9

Schade/jaar	0,008	0,561	0,618
1/200	14.893.426	14.790.546	14.781.194
1/2.000	20.463.869	20.315.215	20.301.701
1/20.000	19.599.579	19.453.157	19.439.846

Slachtoffers/jaar	0,008	0,561	0,618
1/200	2,52	1,12	0,99
1/2.000	3,89	1,73	1,53
1/20.000	5,01	2,23	1,97

TABEL 11: OVERSTROMINGSRISICO'S DIJKRING 10

De schade per jaar verschilt nauwelijks voor dijkkring 10 tussen de verschillende evacuatiefactoren. Dit komt aangezien de formule die wordt gebruikt om de schade aan vervoermiddelen in de indirect post te berekenen ook afhangt van de evacuatiefactor. Dit verklaart waarom de schade lichtelijk afneemt naarmate de evacuatiefactor groter wordt.

Het risico's in van dijkkring 10 die horen bij een overstroming met een herhalingsstijd van 1/20.000 zijn kleiner dan die risico's die horen bij 1/2.000. Dit komt aangezien niet alle scenario's voor de hoogste afvoeren zijn doorgerekend. De risico's die horen bij de maatgevende afvoer (1/2.000) zijn de risico's waar in dit geval naar gekeken moet worden en de overige risico's kunnen worden gezien als een soort van gevoeligheidsanalyse om te kijken wat er gebeurt als de afvoer groter of kleiner is.

Als wordt gekeken naar de verschillen in risico's tussen dijkkring 9 en 10 dan valt op dat de risico's voor dijkkring 9 kleiner zijn. Dit komt mogelijk doordat dijkkring 10 een soort van kom is waar het water snel inloopt en bij dijkkring 9 is dit niet het geval en worden ook lagere stroom- en stijgsnelheden gemeten.

7.4 DISCUSSIE

Hier worden enkele resultaten bediscussieerd en zullen enkele punten besproken worden die tijdens het werken aan dit onderzoek deden twijfelen aan de juistheid van de resultaten.

Ten eerste is de bres altijd 200 m breed. Dit is niet logisch aangezien de afvoeren onderling sterk verschillen. Het argument vanuit VNK is dat er verschil zit in de groei van een bres tussen een zanddijk en een kleidijk en dat er een ontgrondingskuil is gemodelleerd wat ook invloed heeft op de hoeveelheid water dat het gebied instroomt. Een zanddijk is minder stevig en zal dus sneller wegspoelen zodat een grotere bres ontstaat, een kleidijk is veel steviger. De dijken bij de Vecht en het Zwarte Water bestaan uit zand en die bij de IJssel uit klei. Dus de bres bij een doorbraak vanuit de IJssel zal kleiner zijn dan bij een doorbraak met dezelfde afvoer vanuit de Vecht of het Zwarte Water. Maar er wordt met verschillende afvoeren op dezelfde locatie gerekend. Deze bresbreedten zijn ook even groot wat niet logisch is. Een afvoer vanuit de IJssel van 2.200 m³/s zal een kleinere bres hebben dan bij een afvoer van 3.200 m³/s. Bij de hoge afvoeren zal deze nu te laag zijn gemodelleerd en bij lage afvoeren misschien wel te groot. Dit zal betekenen dat er grotere ofwel kleinere stijgsnelheden en stroomsnelheden zullen optreden dan nu is berekend. Deze veranderende waarden hebben ook invloed op de gevolgen en risico's.

Ten tweede is het niet geheel logisch waarom HIS-SSM met verschillende inwoneraantallen rekent bij de berekeningen van dijkkring 10. Een verschil in geografische gegevens kan hiervan de oorzaak zijn, maar dit zorgt er wel voor dat het aantal slachtoffers niet goed met elkaar te vergelijken is.

Ten derde zijn er geen grote verschillen waar te nemen tussen het aantal slachtoffers bij een voorziene overstroming met evacuatie en zonder evacuatie. De verwachting was dat er meer mensen geëvacueerd zouden worden met een geplande evacuatie. Uit deze gegevens blijkt dat de grootste groep geëvacueerden ook al uit zich zelf zouden vertrekken uit het gevaarlijke gebied. Er is echter niet precies bekend hoe de evacuatiefactoren zijn bepaald en hoeveel tijd er nog was ten tijde van de evacuatie. Wellicht dat de uitgangen van het dijkkringgebied geen hogere capaciteit van voertuigen aankunnen dan eigenlijk zou moeten in een dergelijke situatie. Dit zou mogelijk verklaren waarom er toch nog zoveel mensen achterblijven. Ook is het mogelijk dat boeren of mensen die veel vee of eigendommen moeten achterlaten liever in het gebied blijven om te proberen de schade te beperken.

Verder vallen er nooit slachtoffers door de stroomsnelheid, dit zal betekenen dat de stroomsnelheid nooit boven de 2 m/s komt en dat het product van de waterdiepte en de stroomsnelheid nooit groter is dan 7. Als in de output gegevens van Delft-FLS wordt gekeken dan zijn er wel degelijk scenario's die hogere stroomsnelheden hebben dan 2 m/s en ook de waterstanden worden zodanig hoog dat het product boven de 7 uit kan komen. Het is dus enigszins vreemd dat er nooit slachtoffers vallen door een hoge stroomsnelheid aangezien dit wel wordt verwacht. Vooral bij plaatsen in de buurt van de doorbraaklocatie zullen de stroomsnelheden aardig oplopen. Vooral als de overstroming niet was voorzien dan zullen op de plaatsen in de buurt van de bres de slachtoffers vallen.

Daarnaast zijn niet de goede scenariokansen gebruikt die bij deze berekeningen horen. Dit niet meenemen geeft een onzekerheid in de uiteindelijke risico's.

Ten slotte kan het nut van al deze berekeningen in twijfel worden getrokken. Normale inwoners zullen de uitkomsten niet goed begrijpen en bovendien kunnen ze niks met de informatie die wordt gegeven. Daarnaast blijft het een simulatie van een overstroming waarin alle omstandigheden bestaan uit aannames. De uitkomsten hoeven dus ook niet te kloppen met de werkelijkheid, want hoe een overstroming zich in het echt zal gedragen is en blijft onbekend.

Als nu bijvoorbeeld het gemiddelde wordt genomen van het economisch risico van dijkkring 9 en dijkkring 10 en dit maal 53 doen (het totaal aantal dijkringen) dan zal dat betekenen dat het risico per jaar 700 miljoen euro is. Dit getal zal aan de lage kant liggen, maar dan is het nog een aanzienlijk bedrag. Maar wat betekent dit getal? Wat is het doel van VNK met deze gegevens? Dit soort vragen komen op als het doel van Veiligheid van Nederland in Kaart is om burgers meer inzicht te geven in de kans dat de omgeving door een overstroming wordt getroffen. Maar die kans zegt niets aangezien die kansen ook weer zijn opgebouwd uit aannames. Daarnaast zal een burger niks hebben aan een getal, uiteindelijk gaat het de bevolking erom dat er geen overstroming zal zijn. Het is dus maar de vraag of al het geld en tijd de moeite waard is of dat men er verstandiger aan doet om het beter te benutten in bijvoorbeeld het nemen van maatregelen in een dijkkring om de gevolgen van een overstroming in te perken. Hierbij kan gedacht worden aan compartimentering.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bij het beschrijven van de overstromingen tijdens dit onderzoek is gebleken dat dijkkring 10 snel in zijn geheel onder water staat en dat er zeer hoge waterstanden optreden. Een overstroming in dijkkring 9 verloopt minder snel, maar zorgt ook voor flinke waterstanden.

Uit het onderzoek naar de gevolgen van een overstroming en de overstromingsrisico's blijkt dat er grote gevolgen en risico's zijn bij een overstroming in dijkkring 9: Vollenhove en dijkkring 10: Mastenbroek. De economische gevolgen lopen van honderden miljoenen tot bijna 4 miljard euro. Het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming loopt van enkele tientallen tot een paar honderd en in het meest ernstige geval tot in de duizend.

Het overstromingsrisico is voor dijkkring 9 in schade 4,8 miljoen euro per jaar en 0,1 tot 0,2 slachtoffers per jaar. Voor dijkkring 10 is de schade 20 miljoen per jaar en 2 tot 4 slachtoffers per jaar. Er moet hierbij worden vermeld dat het gaat voor de risico's die horen bij de maatgevende afvoer.

Het volledig aantal berekeningen van dijkkring 9 zijn wel beschikbaar, maar niet voor dit onderzoek. Het verdient aanbeveling om dijkkring 9 ook volledig uit te werken zodat ook voor deze dijkkring volledige gevolgen en risico's bepaald kunnen worden.

Om het overstromingsrisico te bepalen zijn scenariokansen benodigd. Deze waren voor dit onderzoek niet beschikbaar en daarom zijn met andere kansen gerekend wat het resultaat niet ten goede is gekomen. Het verdient aanbeveling om de resultaten opnieuw te onderzoeken als de juiste scenariokansen voorhanden zijn. Dit kan mogelijk leiden tot andere overstromingsrisico's.

LITERATUURLIJST

- Barendregt, A., Van Noordwijk, J.M., Van der Doef, M. en Holterman, S.R. (2005). Determining the time available for evacuation of a dike-ring area by expert judgement. Artikel. Verkregen op 12 juni 2008 van <http://dutiosc.twi.tudelft.nl/~jan/pdfs/barendregtetal05iss.pdf>
- De Bruijn, H.T.J., Dekker, J., Uijttewaal, F.J., Van der Meij, R., Van der Hoek, E.E., Kruse, G.A.M., Bezuijen, A., (2004). Kadeverschuiving Wilnis/Onderzoek naar de oorzaak van de kadeverschuiving. Rapport versie 01 Definitief. Verkregen op 4 juni 2008 van http://www.geodelft.nl/files/files_org/co411242_0018%20oorzaken%20rapport%20def_extravoorwebsite.pdf
- Delft GeoSystems. Verkregen op internet op 12 juni 2008 van <http://www.delftgeosystems.nl//NL/page61.asp>
- De Loeff, A.K., Van Vilsteren, I.H.B., Montauban, C.C., (2005). Veiligheidsbeoordeling van Asfalt dijkbekledingen Achtergrondrapport bij het toetsen van asfaltbekledingen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). Verkregen op 4 juni 2008 van <http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/uploaded/DWW/2006-01/324168/DWW-2005-006%20-%20Veiligheidsbeoordeling%20Asfalt dijkbekledingen%20SCHEM.pdf>
- Friso, K., Banninga, J., & Van Zuilekom, K., (2008). Veiligheid Nederland in Kaart – modellering en analyse van evacuatie. Rapport kenmerk DWW007/Fok/0093 bij Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- Google Maps. Verkregen op 9 juli 2008 van <http://maps.google.nl/>
- Groot Zwaaftink, M. (2007) a. Overstromingsmodel dijkkring 9, 10, 11, 53. Scenario's ten behoeve van VNK2. Definitief Rapport met projectnummer 9S4071.A0 en referentie 9S4071.A0/R0004/MGRO/MJANS/Nijm bij Royal Haskoning.
- Groot Zwaaftink, M. (2007) b. Scenario's Overijssel dijkkring 10 tbv VNK 2. Definitieve notitie met referentie 9S7568.A0/N0004/MGRO/MJANS/Nijm bij Royal Haskoning.
- Groot Zwaaftink, M. (2008). Scenario's Overijssel dijkkring 9 tbv VNK2. Definitieve notitie met referentie 9S9262.A0/N0005/MGRO/MJANS/Nijm bij Royal Haskoning.
- Heuer, L. (2004). Overstromingsberekeningen provincie Overijssel Deel 6: Modelopbouw en calibratie dijkkringgebied 9 Vollenhove. Eindrapport met projectnummer 4H1707 en referentie 4H1707/R003.6/LHEU/Gron bij de Provincie Overijssel.
- Heuer, L. & Vervoorn, H. (2003) a. Overstromingsberekeningen provincie Overijssel Deel 1: Gebiedsbeschrijving en aanpak. Eindrapport met projectnummer 4H1707 en referentie 4H1707/R003.0/LHEU/Gron bij de Provincie Overijssel.
- Heuer, L. & Vervoorn, H. (2003) b. Overstromingsberekeningen provincie Overijssel Deel 7: Modelopbouw en calibratie dijkkringgebied 10 en 11. Eindrapport met projectnummer 4H1707 en referentie 4H1707/R003.7/LHEU/Gron bij de Provincie Overijssel.
- Jacobs, C., (2005). Veiligheid Nederland in Kaart Overstromingsrisico dijkkring 10 Mastenbroek. Definitief rapport. Document DWW-2006-022 met referentie Raamovereenkomst DWW-2439 bij Rijkswaterstaat.
- DWW.Meulepas, M.J., Groot-Zwaaftink, M.E., Dijkman, M., (2007). HIS-Schade en Slachtoffer Module versie 2.4 Gebruikershandleiding. Rapport versie 1.0 met projectnummer 9S8028.A0 en referentie 9S8028.A0/R0022/413570/JEBR/Nijm bij Rijkswaterstaat.

-
- Ministerie van verkeer en waterstaat (2006). De Hydraulische Randvoorwaarden 2006. Verkregen op internet op 18 juni 2008 van <http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/3/5/358304/HR2006.pdf>
- Pols, L., Kronberger, P., Pieterse, N. & Tennekes, J., (2007). Overstromingsrisico als ruimtelijke opgave, Den Haag: Ruimtelijk Planbureau. Verkregen op 19 juni 2008 van http://www.ruimtelijkplanbureau.nl/uploads/media/Rapport_-_Overstromingsrisico_als_ruimtelijke_opgave.pdf
- Rijkswaterstaat (2008). Poster Diagnose nu en VNK . Verkregen op 8 mei 2008 van http://www.helpdeskwater.nl/waterkeren/veiligheid_nederland/vnk1_archief/vnk1_archief/?ActItmIdt=4518
- Rijkswaterstaat RIZA (2008). Ontstaan van hoogwater op de Rijn. verkregen op 7 april 2008 van http://www.rijkswaterstaat.nl/rws/riza/home/dossiers/ontstaan_hoogwater_rijn/index.html
- Rijkswaterstaat-Waterdienst (2008). Van ruwe data tot overstromingsrisico, handleiding ter bepaling van het overstromingsrisico van dijkkringgebieden. Concept ten behoeve van cursus VNK-2 versienummer 1.0 van 22-1-2008 bij Projectbureau VNK2.
- Ten Brinke, W. & Bannink, B., (2004). Risico's in bedijkte termen. Een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen. RIVM rapportnummer 500799002.
- Veiligheid van Nederland in kaart, hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's (2005). Verkregen op 15 april 2008 van http://www.helpdeskwater.nl/waterkeren/veiligheid_nederland/vnk1_archief/teksten/7_rapporten/?ActItmIdt=4289
- VNK, verkregen op 25 maart 2008 van www.helpdeskwater.nl/projectvnk/
- VNK1 archief Inleiding (2008). Verkregen op 29 april, 2008, van http://www.helpdeskwater.nl/waterkeren/veiligheid_nederland/vnk1_archief/vnk1_archief/?ActItmIdt=4200
- WL|Delft Hydraulics (2001). Manual Delft-FLS 2.55. Rapportnummer R3288/R3224 bij WL|Delft Hydraulics.

VERKLARENDE WOORDENLIJST

5-jaarlijkse toetsing	Wettelijke periodieke beoordeling van de veiligheid en sterkte van een dijkkring. Dat wil zeggen het controleren of de momentane toestand van de constructie nog voldoet aan de vigerende functionele en wettelijke eisen.
Afschuiving	Het verplaatsen van een deel van een grondlichaam door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.
Beheer	Het geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.
Beheerder	De overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is.
Bekleding	De afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid
Binnendijks	Aan de kant van het land of het binnenwater.
Binnentalud	Het hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
Bres	Een gat in de waterkering ontstaan door overbelasting.
Buitendijks	Aan de kant van de kerende zijde.
Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
Buitenwater	Het oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Dijkkring	Stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, dat een dijkkringgebied omsluit en beveilgt tegen overstromingen.
Dijkkringgebied	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden beveilgt moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Dijkvak	Een deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte eigenschappen en belasting
Faalmechanisme	De wijze waarop een waterkering faalt. Voor dijken en kunstwerken worden elk vier faalmechanismen beschouwd. Voor duinen wordt duinafslag beschouwd.
Falen	Het niet meer vervullen van de primaire functie (water keren) en/of het niet meer voldoen aan de vastgestelde criteria.

Golfoverslag	De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
Grenstoestand	De toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
Kruin	De strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn.
Kruinhoogte	De hoogte van de buitenkruinlijn.
NAP	Het Normaal Amsterdams Peil.
Opbarsten	Het bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
Opdrijven	Het opdrukken van het afdekkend pakket door het bereiken van de grenspotential.
Overbelasting	Het overschrijden van het vastgestelde overslagcriterium.
Overloop	Het verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt, omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin.
Overschrijdingskans	De kans dat de ontwerpwaterstand bereikt of overschreden wordt.
Overstromingskans	De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt
Overstromingsrisico	Overstromingskans × gevolg
Overstromingsscenario	Een doorbraakscenario voor een dijkkring. Het overstromingsscenario bestaat uit het overstromen van het dijkkringgebied vanuit een of meer dijkkringdelen.
PC-Ring	PC-Ring is een probabilistisch model dat de faalkans berekend voor verschillende faalmechanismen voor dijken, duinen en kunstwerken. Met PC-Ring kan daarnaast de vertaling gemaakt worden van faalkansen van een doorsnede naar vakken, mechanismen, overstromingsscenario's en dijkkringen.
Piping	Het verschijnsel waarbij onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stop
Primaire waterkering	Een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen.
Scenariokansen	De kans die hoort bij een overstromingsscenario van een dijkkring.
Scenarioevolgen	De gevolgen (schade en slachtoffers) die met de Risicotool worden gekoppeld aan de overstromingsscenario's.
Veiligheidsnorm	De eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
Wiel	Een ontgrondingskuil direct achter of voor een dijk die is ontstaan bij een oude dijkdoorbraak waar nu vaak de dijk in een kronkel omheen ligt. Het is dan een klein meertje geworden.
