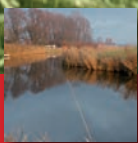




Richtlijn Normering Compartimenterings- keringen



Opdrachtgever: STOWA

RICHTLIJN NORMERING COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Auteurs: Chris Geerse
Jan Stijnen
Bas Kolen

december 2007

TEN GELEIDE

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

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

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

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

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

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

Het document dat u thans voor u heeft liggen, betreft de Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen. Deze Richtlijn vormt een onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma.

Drs. G.H.F. Timmermans

Voorzitter Kernteam regionale waterkeringen

VOORWOORD

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

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

OVERZICHT TECHNISCHE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA

Normeren

- Richtlijn Normeren Keringen langs regionale rivieren
- Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen

Toetsen

- Leidraad Toets op veiligheid – katern Boezemkaden
- Leidraad Toets op veiligheid – regionale waterkeringen

Ontwerp & Verbeteren

- Handreiking Ontwerpen & Verbeteren - Boezemkaden
- Handreiking Ontwerpen & Verbeteren - Keringen langs regionale rivieren
- Handreiking Ontwerpen & Verbeteren - Compartimenteringskeringen

Beheer & Onderhoud

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

VOORLOPIG OVERZICHT OVERIGE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA

Achtergrondrapporten

- Kwaliteitsindicatoren Toets op veiligheid
- Materiaalfactoren Boezemkaden

Deze Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen presenteert een methodiek voor het vaststellen van de veiligheidsnorm van een compartimenteringskering.

De Richtlijn is opgesteld door HKV LIJN IN WATER, met medewerking van Nelen & Schuurmans.

De ontwikkeling van deze Richtlijn is begeleid door de Begeleidingscommissie Compartimenteringskeringen, samengesteld uit onderstaande leden.

drs. D.J.F. Lagendijk (voorzitter) – provincie Zeeland
 ing. J.H. Eikelenboom – provincie Noord – Holland
 ing. P.-J. Hofman – provincie Zuid – Holland
 ir. R. Maljaars – waterschap Zeeuws Vlaanderen
 ir. M.W.C. Nieuwjaar – provincie Flevoland
 P. Polak – waterschap Brabantse Delta
 ing. M. Trompetter / ing. M.L.M. Rademaker – waterschap Rivierenland
 ir. H. van Hemert (programmaleider) – STOWA

Bij de ontwikkeling van deze Richtlijn is de methode getest en bijgesteld met de uitwerking van 10 cases. Op basis van deze cases is het voorstel tot normering zoals opgenomen in deze richtlijn uitgewerkt. Aan deze uitwerking is meegewerkt door de provincies Zeeland, Noord-Brabant, Zuid- en Noord-Holland, Gelderland, Flevoland en Friesland en de waterschappen Zeeuwse Eilanden, Zeeuws Vlaanderen, Brabantse Delta, Hollandse Delta, Rivierenland en Zuiderzeeland, de Hoogheemraadschappen van Delfland en Hollands Noorderkwartier en het wetterskip Fryslân. Deze resultaten van alle cases zijn gebruikt bij de definitieve uitwerking van de methodiek van normeren. Daarbij zijn enkele aanpassingen aangebracht, zodat de inhoud van de case-rapportages niet volledig overeenkomt met de definitieve methode. Toch vormen deze case-rapportages goede voorbeelden van de uitwerking van de methodiek. Daarom is de rapportage van cases in 4 verschillende gebieden opgenomen in deze Richtlijn.

STATUS VAN DEZE RICHTLIJN: “GROENE VERSIE”

Deze Richtlijn is een zogenoemde “groene” versie. De Richtlijn is gebaseerd op de vigerende veiligheidsbenadering voor waterkeringen (overschrijdingskans), alsmede de actuele stand van kennis over de normering van de veiligheid van regionale waterkeringen. De methodiek is daarbij op enkele onderdelen op pragmatische wijze uitgewerkt. Hierbij is minder tijd genomen voor kwaliteitsborging dan bijvoorbeeld voor Leidraden zoals die door TAW / ENW worden uitgebracht. Ook is gekozen om voorlopige (niet gevalideerde) handreikingen te geven. Achtergrond hiervan is de wens dat de provincies snel in de gelegenheid worden gesteld om de normering ter hand te nemen en dat de toepassing resulteert in een realistische normering van de betreffende regionale waterkeringen. Consequentie is wel dat bij het beslissen over vergaande maatregelen op basis van de normering het verstandig lijkt om op dat moment te kijken wat de ‘state of the art’ kennis is.

In het kader van het Ontwikkelingsprogramma bestaat het voornemen om een definitieve versie van de Richtlijn uit te brengen, wanneer meer ervaring van de toepassing van de methodiek is opgedaan. Voorzien wordt dat over enkele jaren een definitieve versie van de Richtlijn zal worden uitgebracht. Vooralsnog is daarbij het streven om de definitieve versie voor validatie aan het ENW voor te leggen.

VRIJWARING

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben deze Richtlijn samengesteld met grote zorgvuldigheid. Ze zijn hierbij ondersteund door HKV lijn in water met medewerking van Nelen & Schuurmans. De inhoud is gebaseerd op de vigerende veiligheidsbenadering voor waterkeringen (overschrijdingskans), alsmede de actuele stand van kennis over de normering van de veiligheid van regionale waterkeringen. Het is niet uitgesloten dat voortschrijdende inzichten in de veiligheidsbenadering of hoogwaterbescherming en voortgaande kennisontwikkeling in de toekomst mogelijk leiden tot afwijkende inzichten in de normering van de veiligheid van waterkeringen. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van de Richtlijn en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) deze Richtlijn.

INHOUD

	TEN GELEIDE	I
	VOORWOORD	III
	INHOUD	VII
	LIJST VAN FIGUREN	IX
	LIJST VAN TABELLEN	X
1	INLEIDING	1
1.1	Situatie	1
1.2	Aanleiding voor deze Richtlijn	1
1.3	Doelstelling van de Richtlijn	2
1.4	Leeswijzer	2
2	TOEPASSING VAN DEZE RICHTLIJN	3
2.1	Inhoud van de Richtlijn	3
2.2	Proces van aanwijzing tot normstelling	3
2.2.1	Stap A: Definieer systeem en functie compartimenteringskering	4
2.2.2	Stap B: Bepaal overstromingsscenario's	6
2.2.3	Stap C: Bepaal inrichtingsvarianten	7
2.2.4	Afweging: voorlopige normstelling	8
2.2.5	Stap D: Toetsen op veiligheid	8
2.2.6	Stap E: Kosten baten analyse	9
2.2.7	Afweging: definitieve normstelling	9
2.3	Interpretatie van de resultaten	10
2.4	Normeren huidige veiligheid van een compartimenteringskering	11
3	ALGEMENE OPZET VAN DE METHODE	13
3.1	Uitgangspunten	13
3.2	Stappenplan uitvoering methode	14
3.3	Gegevensverzameling	14
3.4	Functie van de compartimenteringskering	14
3.5	Keuze locatie bres	15
3.5.1	Locatie van de doorbraak	15
3.5.2	Enkele of meervoudige doorbraak	15
3.6	Overschrijdingsfrequentie waterstand compartimenteringskering	16
3.7	Bepalen schade-, dodelijke slachtoffers- en getroffenrisico en waterstandsverlopen	18
3.8	Kosten voor aanpassing compartimenteringskering	19
3.8.1	Dijkversterking	19
3.8.2	Dijkafgraving	21
3.8.3	Kunstwerken	21
3.9	Reflectie op uitgangspunten en beschikbare gegevens	21

4	BESCHRIJVING VAN DE METHODE	23
4.1	Waterstandsfrequentielijn bij locatie langs compartimenteringskering	23
4.1.1	Waterstandsfrequentielijn	23
4.1.2	Decimeringswaarde en keuze van stapgrootte h	26
4.2	Schade, slachtoffers en getroffen	27
4.2.1	Schade	27
4.2.2	Slachtoffers en getroffen	27
4.3	Kosten Baten Analyse	28
4.4	Windeffecten	28
5	GEGEVENS PER WATERSYSTEEM	31
5.1	Algemeen	31
5.2	Bovenrivieren	31
5.3	Benedenrivieren	32
5.3.1	Afvoerpercentielen voor de hoogte van de afvoer	32
5.3.2	Waterstandsverlopen RIZA met toetspeil als piekwaarde	33
5.3.3	Waterstandsverlopen met willekeurige piekwaarden	34
5.4	Meren	36
5.4.1	Uitleg meerpeilpercentiel	36
5.4.2	Waterstandsverlopen met toetspeil als piekwaarde	37
5.4.3	IJssel- en Markermeer	38
5.4.4	Inzakken waterstandsverloop	38
5.4.5	Herstellen van de bres	39
5.5	Kust	39
5.6	Globaal advies aantal waterstandsverlopen	41
6	REFERENTIES	43
	BIJLAGEN	
Bijlage A	Formules voor meerdere waterstandsverlopen	47
Bijlage A1	Waterstandsfrequentielijn voor meerdere verlopen	49
Bijlage A2	Schade	51
Bijlage B	Schademodule HIS-SSM	53
	CASE-RAPPORTAGES	
	Showcase Kust: Middeldijk, Hollandse Delta	
	Showcase Bovenrivieren: Meidijk, Rivierenland	
	Showcase Merengebied: Knardijk, Flevoland	
	Showcase Kust: Callantsoog, Noord-Holland	

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2-1:	Proces van aanwijzen tot normstelling.	4
Figuur 2-2:	Eenvoudige CK die een dijkkring in twee delen splitst.	5
Figuur 2-3:	Gecompliceerd stelsel van CK's	5
Figuur 2-4:	Gecompliceerd stelsel van CK's parallel aan de primaire waterkering	6
Figuur 2-5:	Schema van per compartiment te definiëren overstromingsscenario's (stap B) en inrichtingsvarianten (stap C).	6
Figuur 3-1:	Schematische weergave van de methode (TP staat voor het toetspeil). Elk waterstandsverloop heeft zijn eigen kans van voorkomen; zo'n waterstandsverloop leidt tot een (maximale) waterstand ter plaatse van de CK met dezelfde kans.	16
Figuur 4-1:	Schematische voorstelling van een polder met, in het rechter compartiment, een bres in de primaire waterkering ter plaatse van X en een locatie Y langs de CK.	24
Figuur 4-2:	Waterstandsverlopen met piekwaarden h_1 , h_2 en h_3 (één verloop per piekwaarde). Ieder waterstandsverloop correspondeert met een overstromingsscenario.	25
Figuur 4-3:	Illustratie van verband tussen h_i en $y(h_i)$, als tussenstap in de berekening van $F(y b)$.	25
Figuur 5-1:	Verkrijgen van de smalle Rijngolf (gestreepte lijn) uit de gemiddelde golf (doorgetrokken lijn).	32
Figuur 5-2:	Voorbeeld van een waterstandsverloop uit [Thonus en Udo, 2005; Thonus et al, 2006].	33
Figuur 5-3:	De zes typen waterstandsverlopen, hier zeer schetsmatig aangegeven (elk verloop heeft als maximum het toetspeil). Een hoger afvoerdeel gaat samen met een lager stormvloeddeel en vice versa.	35
Figuur 5-4:	Waterstandsverloop meren met als maximum het toetspeil.	37
Figuur 5-5:	Waterstandsverloop corresponderend met percentiel $m_{90\%}$.	38
Figuur 5-6:	Voorbeeld van een waterstandsverloop bij de Maasmonding langs de kust.	40
Figuur 5-7:	Schematisering stormopzet.	40
Figuur A-1:	Enkele waterstandsverlopen met elk piekwaarde h , ter plaatse van X.	47
Figuur A-2:	Illustratie van $y_j(h)$ en $h_j(y)$.	48
Figuur A-3:	Weergave van de overschrijdingsfrequentie $F(y,j b)$.	50
Figuur B-1:	Schadefactor landbouw en recreatie	55
Figuur B-2:	Schadefactor gemalen	55
Figuur B-3:	Schadefactor voertuigen	56
Figuur B-4:	Schadefactor wegen en spoorwegen	56
Figuur B-5:	Schadefactor gas en waterleidingen	57
Figuur B-6:	Schadefactor elektra- en communicatiesystemen	57
Figuur B-7:	Schadefactor bedrijven	58
Figuur B-8:	Schadefactor eengezinswoningen en boerderijen (geen storm of stroming)	58
Figuur B-9:	Schadefactor laagbouwoningen (geen storm of stroming)	59
Figuur B-10:	Schadefactor middenbouwoningen (geen storm of stroming)	59
Figuur B-11:	Schadefactor hoogbouwoningen (geen storm of stroming)	60

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 3- 1	Voorbeeld: Netto contante waarde (k€) bij ophoging van 0-0,5 m voor verschillende dijk lengtes.	21
Tabel 3- 2	Voorbeeld: Netto contante waarde (k€) bij ophoging van 0,5-1,0 m voor verschillende dijk lengtes.	21
Tabel 3- 3	Voorbeeld: NCW per strekkende meter (€/m) bij ophoging van 0-0,5 m afhankelijk van het wegtype.	21
Tabel 5- 1:	Percentielen uit Hydra-B voor Beneden Merwede km 976 (bepaald op basis van voorlopige statistieken). In dit geval is $p(0) = 24\%$ en $p(D) = 76\%$.	34
Tabel 5- 2:	De kansen op de diverse waterstandsverlopen (de zes kansen sommeren tot 1).	36
Tabel B-1:	Schadecategorieën en Maximale schadebedragen [Kok et al, 2001]	53

1

INLEIDING

1.1 SITUATIE

Compartimenteringskeringen zijn waterkeringen die binnen een dijkkring liggen en fungeren voor het keren van water bij een overstroming van het dijkkringgebied door een doorbraak van de primaire waterkering. Een compartimenteringskering heeft dan ook een groot effect op het verloop van een overstroming en de resulterende schade, dodelijke slachtoffers en getroffen fenen binnen een overstroemd gebied. Een compartimenteringskering kan daarbij verschillende functies vervullen:

- Het afleiden van de overstroming naar minder kwetsbare gebieden (in combinatie met andere waterkerende compartimenteringskeringen).
- Het vertragen van de overstroming, door het tijdelijk keren van de overstroming in een compartiment.
- Het voorkomen van de overstroming van een deel van het dijkkringgebied, door het daadwerkelijk keren van de overstroming.

In de huidige situatie keren compartimenteringskeringen overwegend geen water, dit betreft zogenaamde droge keringen. Voorbeelden zijn oude zeedijken in het kustgebied en oude dijken in het rivierengebied. Ook de grondlichamen van spoor- en snelwegen of geluidswallen kunnen een compartimenterende functie vervullen. Verder is het denkbaar dat ook waterkerende dijken zoals boezemkaden, keringen langs regionale rivieren of kanaaldijken als compartimenteringskering worden aangewezen.

In sommige situaties kunnen compartimenteringskeringen aan beide zijden worden belast, afhankelijk van de locatie van de doorbraak van de primaire waterkering. De grootte van de hydraulische belasting van de compartimenteringskering is naast de doorbraaklocatie ook afhankelijk van de aard van de hydraulische belasting (zoals waterstanden en duur van de hoge waterstanden) op het watersysteem van de primaire waterkering.

1.2 AANLEIDING VOOR DEZE RICHTLIJN

Een groot deel van de compartimenteringskeringen is in beheer bij de waterschappen. Voor een adequaat beheer en onderhoud van de waterkering ontbreekt het de beheerders aan regels en eenduidige uitgangspunten. Met name de onderbouwing voor de bescherming van de waterkering is complex.

De provincies staan thans voor de taak tot het aanwijzen en normeren van de regionale waterkeringen. Hiertoe behoren tevens de compartimenteringskeringen. Het vaststellen van een veiligheidsnorm voor een compartimenteringskering is geen eenvoudige opgave. Met veel aspecten moet rekening worden gehouden. Als bijvoorbeeld de belasting op een dergelijke kering moet worden vastgesteld onder maatgevende omstandigheden, is het noodzakelijk dat de voorliggende primaire kering eerst is bezweken.

Het aantal vragen dat wordt opgeroepen om deze belastingen te bepalen is groot. Onder welke belastingcondities is die bres ontstaan? Door welk faalmechanisme is de bres ontstaan? Hoe groot is de hoeveelheid water die het gebied instroomt? Dat is immers weer afhankelijk van de hoogte en vorm van de hoogwatergolf ter plaatse van de bres. En is het één of misschien wel meerdere bressen waar rekening mee gehouden moet worden? Hoe verloopt de overstroming vervolgens, en tot welke belasting houdt de compartimenteringskering de binnenstromende hoeveelheid water wel tegen? Is de kering wel van nut om de overstromingsgevolgen te beperken? Welke eisen gelden bij het verlenen van vergunningen? Dit zijn slechts enkele vragen waarbij stil gestaan moet worden.

Gegeven bovenstaande vragen is besloten een methode te ontwikkelen om het nut of effect van een compartimenteringskering op eenduidige wijze te bepalen. Deze methode, beschreven in deze Richtlijn¹, maakt het nut van de compartimenteringskering duidelijk, wat positief zowel als negatief kan zijn. De methode richt zich daarbij op het vaststellen van het effect van de kering ten aanzien van de reductie van schade, dodelijke slachtoffers en getroffen. Dit inzicht kan gebruikt worden bij het proces van aanwijzing en normering van compartimenteringskeringen:

- De aanwijzing kan worden gebaseerd op het aangetoonde nut van de compartimenterende functie van de kering.
- De normering kan mede worden gebaseerd op de berekende grootte van de reductie van schade, dodelijke slachtoffers en getroffen door de compartimenterende functie van de kering en de kosten van maatregelen.

1.3 DOELSTELLING VAN DE RICHTLIJN

Het doel van deze richtlijn is als volgt:

“Het beschrijven van de methodiek op basis waarvan voor de waterkerende functie van compartimenteringskeringen een veiligheidsnorm kan worden gebaseerd”

Verondersteld wordt dat met behulp van deze methode de normering van compartimenteringskeringen landelijk op uniforme wijze wordt uitgewerkt.

Op basis van de beschreven methode kan, na vaststelling van de veiligheidsnorm van de compartimenteringskering, een toetspeil worden afgeleid voor de uitwerking van de toets op veiligheid van de betreffende compartimenteringskering.

1.4 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 schetst hoe in grote lijnen deze Richtlijn kan worden toegepast; hoofdstuk 3 beschrijft uitgebreider de opzet van de methode. In hoofdstuk 4 en 5 volgt een meer technische uitwerking van de methode, waarbij onderscheid gemaakt wordt naar de diverse watersystemen. De Bijlage A en Bijlage B bevatten aanvullende technische details.

¹ De term leidraad is toebedeeld aan het toetsen van regionale waterkeringen.

2

TOEPASSING VAN DEZE RICHTLIJN

2.1 INHOUD VAN DE RICHTLIJN

Deze Richtlijn beschrijft een methode voor het op uniforme wijze vaststellen van het nut van een compartimenteringskering ten aanzien van de reductie van schade, dodelijke slachtoffers en getroffen. Vaststelling van dit nut is primair bedoeld voor de afleiding van een veiligheidsnorm, maar kan tevens gebruikt worden bij de aanwijzing van compartimenteringskeringen. Op basis van het aangetoonde nut geeft de richtlijn een suggestie voor een veiligheidsnorm van de compartimenteringskering. Benadrukt wordt dat deze suggestie uitsluitend is gebaseerd op het nut van de compartimenteringskering ten aanzien van de reductie van schade, dodelijke slachtoffers en getroffen. Bij de uiteindelijke vaststelling van de veiligheidsnorm van de compartimenteringskering kan op basis van een bestuurlijke afweging rekening worden gehouden met lokale voor- en nadelen van de compartimenteringskering (het zogenaamde. bestuurdersoordeel).

De methode beperkt zich tot het (technisch) onderbouwen van de keuze van een veiligheidsnorm voor een compartimenteringskering. Uitgangspunt is dat de te onderzoeken compartimenteringskering (tracé) al bekend is en al dan niet (voorlopig) is aangewezen. De feitelijke aanwijzing van een compartimenteringskering en de bijbehorende bestuurlijke over- en afwegingen bevinden zich buiten de reikwijdte en doelstelling van de Richtlijn.

Een compartimenteringskering of in bredere zin een grondlichaam zelf kan echter ook meer belangen dienen dan reductie van schade, getroffen en dodelijke slachtoffers. Denk hierbij aan het vertragen van een overstroming, cultuurhistorie, het afleiden van overstromingswater, evacuatie- en hulpverleningsroute, enzovoort. In de Richtlijn is er vanuit gegaan dat deze aspecten bij de normstelling kunnen worden betrokken op basis van een bestuurlijke afweging. Deze bestuurlijke afweging is verder niet ingevuld.

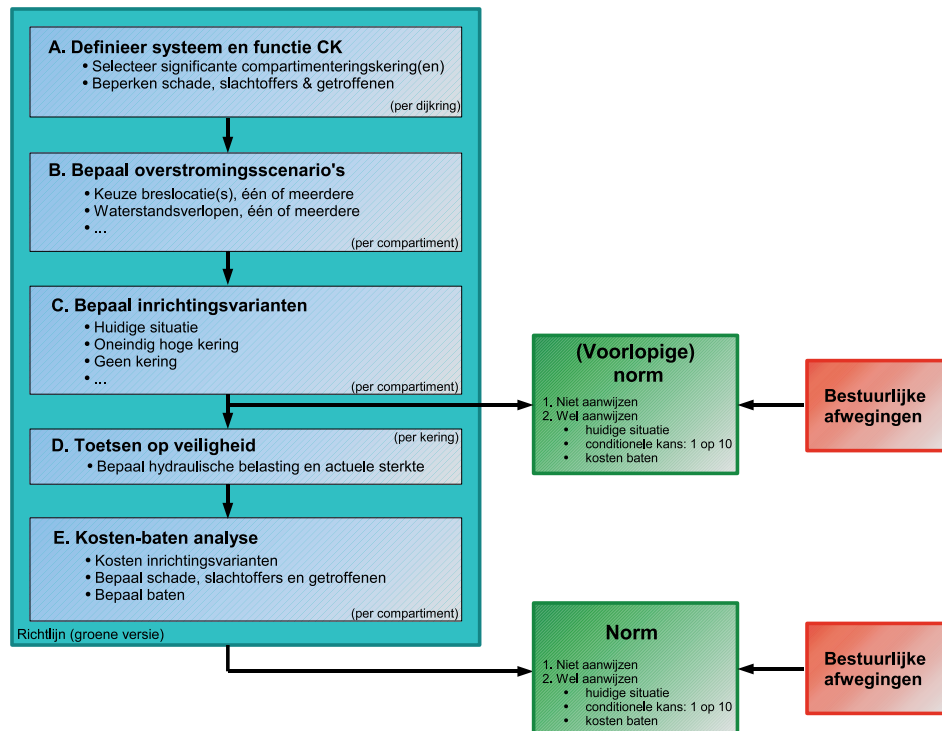
De methode is voorts geschikt om de overschrijdingsfrequentie van de waterstand op iedere plaats langs de compartimenteringskering te berekenen, zodat betrekkelijk eenvoudig voor een aangewezen compartimenteringskering ten behoeve van de toets op veiligheid een toetspeil kan worden afgeleid.

2.2 PROCES VAN AANWIJZING TOT NORMSTELLING

De methode in deze richtlijn beschrijft een technische ondersteuning bij de verschillende keuzen binnen het beleidsmatige proces tot aanwijzing en normering van een compartimenteringskering (CK). De mogelijke stappen in dit beleidsmatige proces zijn in deze paragraaf beschreven tot een denkbare uitwerking van het proces van aanwijzing. Opgemerkt wordt dat de Richtlijn uitsluitend beoogt de methode voor bepaling van de schade- en slachtofferreductie te beschrijven, en niet het aanwijzingsproces zelf. Het beschreven proces is weliswaar realistisch, maar niet bedoeld als landelijk noodzakelijkerwijs toe te passen proces van aanwijzen.

Het proces van aanwijzen tot normstelling kent de vijf stappen die zijn opgenomen in Figuur 2-1. Deze stappen beschrijven hoe binnen een dijkkring een tracé van de compartimenteringskering kan worden vastgesteld en hoe vervolgens tot een norm kan worden gekomen. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen een voorlopige norm en een uiteindelijke norm. De voorlopige norm wordt gebruikt om de compartimenteringskering te toetsen aan de vereiste sterkte, en om de gevolgen hiervan ook mee te kunnen nemen in de eventuele aanwijzing (en normstelling).

FIGUUR 2-1: PROCES VAN AANWIJZEN TOT NORMSTELLING.



Opgemerkt wordt dat het niet noodzakelijk is dat alle stappen uit Figuur 2-1 worden doorlopen. Onderstaand volgt een nadere toelichting op de verschillende stappen.

2.2.1 STAP A: DEFINIEER SYSTEEM EN FUNCTIE COMPARTIMENTERINGSKERING

De uiteindelijke aanwijzing geschiedt op basis van het nut van de compartimenteringskering (CK) bij een overstroming als gevolg van een doorbraak van een primaire waterkering. Een primair nut van de compartimenteringskering is de reductie van schade, slachtoffers en getroffen tijdens een overstroming. Overige voordelen van een compartimenteringskering kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Het vertragen van de overstroming als gevolg van een doorbraak van de primaire waterkering; hierdoor duurt het langer voordat verder gelegen gebieden overstromen, maar zal het water ook sneller stijgen in andere delen.
- Het beperken van de omvang van het stroomgat in een primaire waterkering; hierdoor kan het herstel van de doorbraak worden vereenvoudigd als de doorstroming dit toelaat.
- Beperking van de maatschappelijke ontwrichting, door een verkleining van het overstroomde gebied.
- Beveiliging van het dijkkringgebied tegen overstroming bij een doorbraak bij een beneden-normatieve situatie.
- Andere aspecten als cultuurhistorie, transport, evacuieroutes en hulpverleningsroutes.

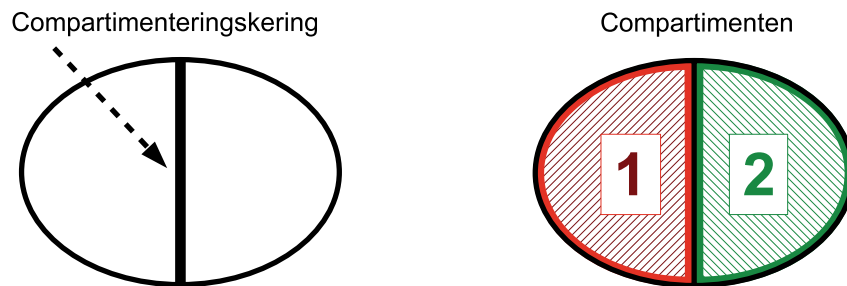
Het is niet zo dat iedere compartimenteringskering een positief effect heeft op schade, dodelijke slachtoffers en getroffen. Het is dan ook van belang om zowel een positief als een eventueel negatief effect inzichtelijk te maken en te betrekken in een afweging. Als op voorhand duidelijk is dat de compartimenteringskering geen positief of negatief effect heeft op de schade, dodelijke slachtoffers en getroffen is verdere beschouwing (en normering) op basis van deze Richtlijn niet zinvol. Indien er wel een mogelijk effect is dan beschrijft deze Richtlijn de methode om dit inzichtelijk te maken.

De eerste stap in het proces van aanwijzen tot normstelling is dan ook het definiëren van het systeem en de functie van de compartimenteringskering hierin. Als dit is vastgesteld kunnen de volgende stappen worden doorlopen. Doel van de eerste stap is het vaststellen van het tracé van de compartimenteringskering die onderzocht gaat worden en van de verschillende compartimenten die ontstaan. Hierbij gaat het om:

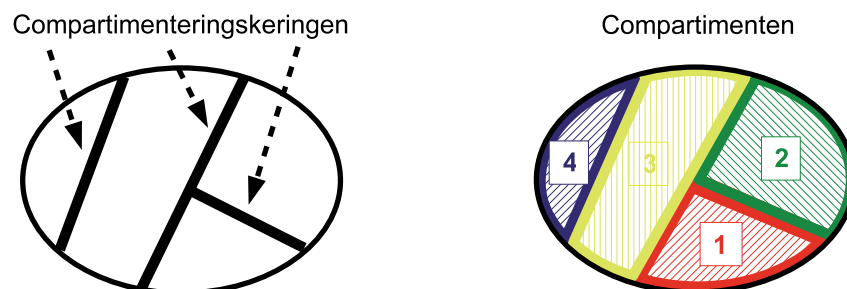
- Vastleggen van het onderzoeksgebied.
- Kwalitatief beschrijven van de verschillende (be)dreigingen vanuit de primaire wateren.
- Identificatie van de compartimenteringskeringen die in aanmerking komen om een officiële status te verkrijgen.

Kern van de definitie van het systeem is dat de relevante *compartimenten* worden onderscheiden. Afhankelijk van het gebied is de situatie meer of minder complex. In Figuur 2-2 wordt een eenvoudige situatie weergegeven, terwijl in Figuur 2-3 en Figuur 2-4 een complexer geheel van keringen toont. Er dient gestreefd te worden naar een zo eenvoudig mogelijk systeem. Bij de definitie van het systeem kunnen bijvoorbeeld 'dijkjes' of andere hogere lijnelementen, waarvan op voorhand duidelijk is dat ze nauwelijks effect hebben op schade en slachtoffers, worden weggelaten in de volgende stappen (in de modellering van het gebied dienen ze uiteraard wel zo goed mogelijk te worden geschematiseerd).

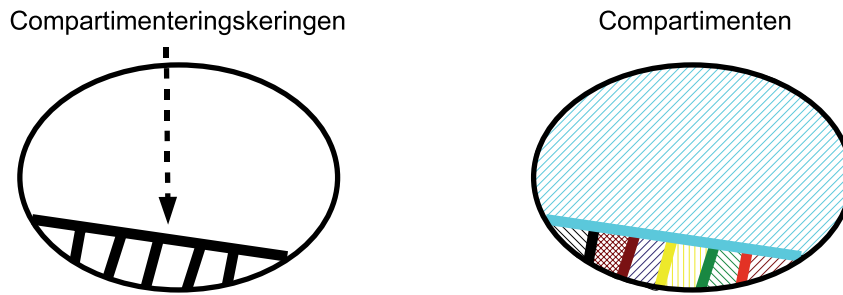
FIGUUR 2-2: EENVOUDIGE COMPARTIMENTERINGSKERING DIE EEN DIJKRING IN TWEE DELEN SPLITST.



FIGUUR 2-3: GEkomplICEERD STELSEL VAN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN



FIGUUR 2-4: GECOMPLICEERD STELSEL VAN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN PARALLEL AAN DE PRIMAIRE WATERKERING



2.2.2 STAP B: BEPAAL OVERSTROMINGSSCENARIO'S

Deze stap wordt voor elk compartiment uitgevoerd. Er wordt uitgegaan van één bres (eventueel meerdere) in de primaire waterkering van het beschouwde compartiment, waarna op basis van de aanpak beschreven in de Richtlijn een aantal overstromingsscenario's worden gedefinieerd, zie de schematische weergave in Figuur 2-5 (de inrichtingsvarianten komen verderop aan de orde). Een bres wordt geacht te ontstaan in de primaire waterkering zodra de waterstand daar ter plaatse het toetspeil (TP) overschrijdt.

FIGUUR 2-5: SCHEMA VAN PER COMPARTIMENT TE DEFINIËREN OVERSTROMINGSSCENARIO'S (STAP B) EN INRICHTINGSVARIANTEN (STAP C).

		Overstromingsscenario's (stap B)			
Compartiment		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	...
Inrichtingsvarianten (stap C)	Referentie	X	X	X	...
	Variant 2	X	X	X	...
	Variant 3	X	X	X	...
	Variant 4	X	X	X	...

Voor de aanwijzing van de breslocatie dient te worden uitgegaan van het worst case geval: de locatie die naar verwachting tot de grootste schade leidt dient te worden gekozen. De aanwijzing van de breslocatie geschiedt op basis van gebiedskennis, ook kan hierbij een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. Vragen daarbij zijn: waar bestaat de grootste kans op een bres, en bij welke breslocatie zal het grootste volume aan water naar binnen stromen? Ook kunnen, ter ondersteuning van de uiteindelijke keuze, enkele gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd. In principe mogen ook meerdere bressen in de primaire waterkering van het betreffende compartiment worden beschouwd, maar deze Richtlijn geeft onvoldoende informatie om dergelijke situaties door te rekenen. In het vervolg wordt van één bres in de primaire kering uitgegaan.

Een overstromingsscenario wordt gekenmerkt door de maximale waterstand ter plaatse van de bres in de primaire kering, tezamen met een bijbehorend waterstandsverloop (verloop van de waterstand als functie van de tijd). Soms worden bij eenzelfde maximale waterstand meerdere waterstandsverlopen beschouwd. Elk overstromingsscenario wordt een kans van voorkomen toegekend. Verderop in de Richtlijn worden deze overstromingsscenario's per watersysteem beschreven.

2.2.3 STAP C: BEPAAL INRICHTINGSVARIANTEN

Wanneer een bres ontstaat hangt de manier waarop de dijkkring (al of niet volledig) volstroomt uiteraard af van de hoogtes en sterktes van de aanwezige keringen, te weten de keringen die zijn gedefinieerd in stap A (de keringen weergegeven in Figuur 2-2 en Figuur 2-3). Iedere set van aannames betreffende de hoogtes en sterktes van de aanwezige keringen wordt hier aangeduid als een inrichtingsvariant (IRV), verder kortweg ook vaak aangeduid als variant, zie Figuur 2-5 ter illustratie. Een IRV dient dusdanig volledig te zijn gespecificeerd dat deze 'voldoende informatie' biedt om bij een gegeven overstromingsscenario het verloop van de waterstand overal in het onderzoeksgebied te kunnen bepalen, alsmede de schade, dodelijke slachtoffers en getroffen. In een IRV moeten ook aannames over al of niet overstroombaarheid van keringen worden gedaan, alsmede aannames over (eventuele) bressen in de keringen.² Merk op dat niet alleen aannames nodig zijn voor de (delen van de) compartimenteringskering die aan het beschouwde compartiment grenzen, maar ook voor de overige compartimenteringskeringen in het gebied. Als bijvoorbeeld compartiment 3 uit Figuur 2-3 volstroomt, kunnen uiteindelijk door overstromen/ doorbreken van de aan dit compartiment grenzende dijken ook de andere compartimenten volstromen.

Een van de IRV's die altijd moet worden doorgerekend is die voor de huidige situatie, aangeduid als IRV-huidig. Bedoeld is hier een zo juist mogelijke inschatting van de keringen zoals die er op dit moment bijliggen (hoogte en sterkte). De huidige situatie kan bestaan uit een bepaalde hoogte ten opzichte van de kruin waarbij wordt aangenomen dat de kering bezwijkt. De huidige situatie kan ook zijn dat de waterkering overstroombaar is en deze, bij overlopen, niet zal bezwijken.

Een andere (en theoretische) variant, IRV-∞ genaamd, is degene waarin de dijken die grenzen aan het compartiment oneindig hoog en oneindig sterk zijn. Deze variant dient onder meer om de overschrijdingsfrequentie van de waterstanden in het betreffende compartiment te kunnen bepalen, welke frequentielijn kan worden gebruikt om zinnige andere varianten te kunnen opstellen.

Nog een variant, IRV-geen genaamd, is degene waarin de dijken die grenzen aan het compartiment afwezig zijn. Deze variant geeft informatie waaruit onder meer kan worden afgeleid of de betreffende compartimenteringskering wellicht een negatief effect op schade, slachtoffers en getroffen heeft.

Het nut en de noodzaak van de compartimenteringskering wordt gebaseerd op de variant IRV-huidig als referentiesituatie. In sommige gevallen kan ook de variant IRV-geen als referentie

² Over het optreden van meerdere bressen tegelijkertijd of over de standzekerheid van regionale waterkering bij een overstroming is nog onvoldoende kennis beschikbaar om dat kwantitatief te kunnen onderbouwen. Op termijn kan wel gebruik worden gemaakt van kennis van het traject Veiligheid Nederland in Kaart (VNK).

worden gebruikt als in de praktijk zonder aanwijzing van de compartimenteringskering ruimtelijke ontwikkelingen dermate snel plaatsvinden waardoor de kering niet meer zal functioneren.

Verder kan, met het oog op het vaststellen van een eventuele norm, de variant IRV-p1/10 worden beschouwd. De toevoeging p1/10 slaat op een 'conditionele kans' van 1/10. De compartimenteringskering heeft hier een hoogte die correspondeert met 1/10 van de overschrijdingsfrequentie van de primaire kering. Als de primaire kering bijvoorbeeld een norm heeft van 4000 jaar, dient de compartimenteringskering in IRV-p1/10 een hoogte te hebben die correspondeert met een 10 maal zo grote een terugkeertijd van 40000 jaar.

De norm moet worden 'aangevuld' met condities voor de sterkte; kiest men ervoor dat de compartimenteringskering overstroombaar wordt voor terugkeertijden groter dan 40000 jaar, of kiest men ervoor dat voor dergelijke hoge terugkeertijden een bres mag ontstaan.

In principe kunnen nog veel meer IRV's worden beschouwd. Iedere redelijk geachte variant kan in principe worden toegevoegd aan de eerder genoemde.

2.2.4 AFWEGING: VOORLOPIGE NORMSTELLING

Op basis van gevolgen voor schade, dodelijke slachtoffers en getroffen en bij de verschillende varianten en op basis van een weging van bestuurlijke aspecten kan het aanwijzingsbesluit worden herzien of genomen en kan een (voorlopige) norm worden opgesteld, zie onder meer de 'lus' om de stappen D en E in Figuur 2 1. Onderscheid wordt gemaakt in:

1. Een eenvoudige aanpak waarin normklassen zijn benoemd.
2. Geavanceerde aanpak op basis van een kosten baten analyse.

Eenvoudige aanpak

De volgende normklassen worden onderscheiden in de eenvoudige aanpak:

1. Niet aanwijzen bij bewezen negatief effect.
2. Aanwijzen met als norm de 'huidige situatie'.³
3. Aanwijzen met een conditionele kans van 1/10 bij bewezen positief nut.

Geavanceerde aanpak

Een gedetailleerde normstelling is mogelijk middels een kosten baten analyse (zie ook stap E verderop). De norm wordt hierbij gebaseerd op het optimum. In deze KBA worden de kosten voor het op hoogte en sterkte brengen van de compartimenteringskering beschouwd in relatie tot de baten. Om deze kosten te kunnen bepalen is een voorlopige norm nodig om de stappen D en E in het proces van aanwijzen tot normeren te kunnen doorlopen. Daarnaast is het nodig hierbij meerdere inrichtingsvarianten te beschouwen en stap C nog extra te doorlopen in een iteratief proces met de stappen D en E.

2.2.5 STAP D: TOETSEN OP VEILIGHEID

Na vaststelling van de (voorlopige) norm kan optioneel worden vastgesteld of de veiligheid van de compartimenteringskering voldoet aan de gestelde norm. De beoordeling van de veiligheid kan worden uitgevoerd volgens het katern Compartimenteringskeringen van de Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen. Belangrijk resultaat van deze toets is het inzicht of investeringen (dijkverbetering) moeten worden gedaan om de compartimenteringskering te laten voldoen aan de norm.

³ Deze situatie zal dan in beeld gebracht moeten worden, op basis waarvan een norm kan worden geformuleerd.

De voor de toets benodigde hydraulische randvoorwaarden behorende bij de norm (overschrijdingsfrequentie waterstand conform conditionele kans) kunnen worden afgeleid op basis van de overstromingsberekeningen die zijn uitgevoerd bij de voorgaande stappen bij de passende inrichtingsvariant.

De toets op veiligheid van de compartimenteringskering resulteert in het oordeel dat, ofwel:

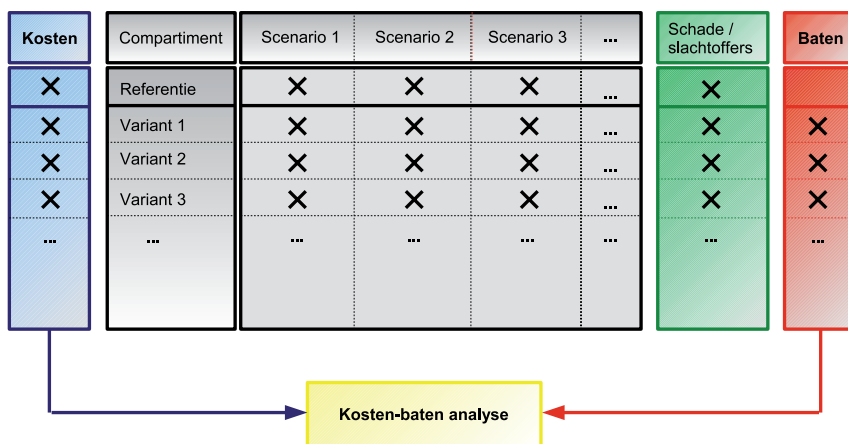
- De veiligheid voldoet aan de norm: het proces van aanwijzing en normering kan worden afgerond met een definitieve vaststelling van de voorlopige aanwijzing en normering; of
- De veiligheid voldoet niet aan de norm: voor definitieve vaststelling van de aanwijzing en normering kan op basis van een KBA worden vastgesteld of de vereiste dijkverbetering voldoende rendabel is.

Indien op voorhand kan worden ingeschat dat de vereiste dijkverbetering niet economisch of maatschappelijk rendabel is, behoeft deze stap niet te worden uitgevoerd en kan direct worden overgegaan tot een heroverweging van de aanwijzing en normering van de compartimenteringskering.

2.2.6 STAP E: KOSTEN BATEN ANALYSE

Per compartiment kunnen voor iedere variant de kosten worden bepaald. Voor IRV-huidig zijn die kosten overigens per definitie 0, terwijl ze voor de theoretische variant IRV-∞ oneindig groot zijn. Voor de overige IRV's kunnen 'zinvol' de kosten worden bepaald.

Voor iedere combinatie van IRV en overstromingsscenario kunnen de schade en slachtoffers worden berekend. Met behulp van de respectievelijke kansen op de scenario's kunnen dan vervolgens voor iedere IRV de schade en de slachtoffers worden berekend. De bate van een IRV is gelijk aan de t.o.v. de referentiesituatie vermeden schade (gelijk aan schade in IRV-geen minus schade in beschouwde IRV). Zo kan voor iedere IRV een KBA worden uitgevoerd, zie Figuur 2-5.



De KBA geeft voor het betreffende compartiment (een indruk van) de gunstigste IRV. Bovenstaande handelwijze levert voor ieder compartiment een meest gunstige IRV. Een probleem is dat de IRV's voor de verschillende compartimenten tot 'tegengestelde resultaten' kunnen leiden. Voor schade kan de compartimenteringskering bijvoorbeeld voordelig zijn, voor dodelijke slachtoffers is het mogelijk dat de compartimenteringskering dan bijvoorbeeld nadelig is. Uiteraard kunnen altijd aanvullende IRV's worden beschouwd, om meer zicht te krijgen op de 'meest zinnige inrichtingsvarianten'.

2.2.7 AFWEGING: DEFINITIEVE NORMSTELLING

Bij toepassen van de bovenstaande stappen zal voldoende duidelijk zijn geworden wat gunstige IRV's zijn en wat niet. Op basis van deze inzichten kan een aanwijzingsbesluit worden herzien of genomen en kan een norm worden vastgesteld. Hierbij wordt een afweging gemaakt van de voor- en nadelen waarbij ook andere overwegingen kunnen worden betrokken. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van zowel de eenvoudige als de gedetailleerde aanpak zoals beschreven in paragraaf 2.2.4.

Een probleem bij de normstelling kan zijn dat de voorgaande informatie niet eenduidig is, wat het geval is als de IRV's voor de verschillende compartimenten tot tegengestelde conclusies leiden (stel bijvoorbeeld dat het linker compartiment uit Figuur 2 tot de conclusie van "geen compartimenteringskering" leidt, terwijl het rechter compartiment tot de "huidige situatie" leidt). Als een norm moet worden vastgesteld, moet men zich echter behelpen met de informatie die er dan is, waaruit dan zo goed mogelijk moet worden gekozen. Bedacht moet worden dat ook allerlei bestuurlijke overwegingen bij de vaststelling van een norm een rol kunnen spelen. Op basis van allerlei overwegingen zal dan (al of niet) een norm moeten worden gesteld.

2.3 INTERPRETATIE VAN DE RESULTATEN

Bij het bepalen van overstromingsgevolgen, de bijbehorende schade, getroffen en slachtoffers is het maken van aannames noodzakelijk. In deze paragraaf wordt ingegaan op de wijze waarop de resultaten geïnterpreteerd kunnen worden na toepassing van de leidraad.

Benadrukt wordt dat de gebruikte instrumenten en modellen zijn gebaseerd op de meest recent beschikbare kennis in Nederland. Het gaat hierbij om de modellen die worden gebruikt om de overstromingspatronen te berekenen, het Schade en Slachtoffermodel en de gegevens over waterstanden op zee, rivier en meer.

De resultaten van de berekeningen leveren inzichten in de gevolgen van de overstromingen, in de verhoudingen tussen verschillende dijkringen en compartimenten. Echter omdat aannames gemaakt zijn en modellen zijn gebruikt die niet zijn gekalibreerd op basis van waarnemingen (dit geldt voor de overstromingsmodellen) is ook de interpretatie van de resultaten van belang.

Voor het bepalen van de overstromingsgevolgen uitgaande van een enkele bres is een conservatieve aanpak gevolgd. Voor het bepalen van de belasting op het buitenwater die uiteindelijk bepalend is voor de belasting van de compartimenteringskering in de dijkkring is gebruik gemaakt van de best beschikbare gegevens. Deze gegevens zijn het meest nauwkeurig beschikbaar rondom MHW, waarbij de situatie boven MHW van belang is. Situaties hoger dan MHW zijn benaderd door gebruik te maken van decimeringhoogten. Dit kan een overschatting zijn omdat uitgegaan is dat er elders geen dijkdoorbraken plaatsvinden, systeemwerking wordt buiten beschouwing gelaten. Daarnaast wordt voor de locatie waar de bres optreedt de slechtst denkbare locatie gekozen en wordt uitgegaan van relatief snelle bresgroei. Voor het bepalen van de overstromingsgevolgen is er ook niet vanuit gegaan dat er maatregelen worden genomen om het overstromingspatroon te beïnvloeden.

Echter er zijn ook enkele keuzen gemaakt die kunnen leiden tot grotere gevolgen. Verondersteld is dat er maar één bres is. De vraag is of dat echt zo is, zeker bij zwaardere belastingen dan MHW. Benoemd in de richtlijn is dat op basis van een beheerdersoordeel voor meerdere

bressen kan worden gekozen. Echter kennis om dit te onderbouwen ontbreekt nog. Een bres kan ook leiden tot ontlasting van de omgeving (systeemwerking). Als er meerdere bressen zijn in een compartiment dan zijn de gevolgen ook groter.

Daarnaast is aangenomen dat de afvoerpatronen op de rivieren blijven functioneren zoals ze nu zijn. Een andere afvoerdeling op de rivieren kan leiden tot veel grotere stijgingen dan nu worden verondersteld.

Andere aspecten die van invloed zijn op de gevolgen van overstromingen maar waarvan het niet op voorhand te zeggen is of deze de gevolgen groter of kleiner maken zijn. De invloed op de gevolgen is sterk afhankelijk van de gebiedskarakteristieken. Denk hierbij aan de standzekerheid van regionale waterkeringen en andere elementen die water kunnen keren en de invloed van wind op het overstromingspatroon.

2.4 NORMEREN HUIDIGE VEILIGHEID VAN EEN COMPARTIMENTERINGKERING

Bij de uitwerking van enkele case – studies is geconstateerd dat:

- sommige regionale waterkeringen een nuttige functie vervullen bij een doorbraak van een primaire waterkering door (tijdelijke) compartimentering van een dijkkring; terwijl:
- een verbetering van dergelijke keringen op voorhand als economisch onrendabel kan worden ingeschat; en:
- een aantasting van de sterkte van dergelijke keringen onwenselijk is en dergelijke keringen daarom dienen te worden beschermd.

Ten aanzien van de normering van dergelijke waterkeringen lijkt het daarbij eenvoudig om de huidige veiligheid van de waterkering als norm te nemen. Dit vormt dan een alternatief voor een normering op basis van een berekende schade- en slachtofferreductie aan de hand van overstromingsberekeningen. Vanuit oogpunt van het beheer van de waterkering is de huidige veiligheid echter een moeilijk handhaafbare norm, omdat:

1. geen nadelige wijzigingen in het watersysteem mogen optreden (de belasting behorende bij de norm mag niet toenemen);
2. de waterkering (incl. beschermingszone) mag niet worden aangetast (de sterkte mag niet afnemen).

Aan de eerste voorwaarde is door de waterkeringbeheerder moeilijk te voldoen, omdat dit watersysteem het buitenwater betreft. Ook aan de tweede voorwaarde is in de praktijk moeilijk te voldoen, omdat:

- strikt genomen een daling van de kruinhoogte van 1 mm, bijvoorbeeld door zetting of klink van het dijklichaam, al een afname van de veiligheid kan vormen;
- een toename van de kerende hoogte van de kering, bijvoorbeeld door maaiveld daling in het achterland, al een afname van de veiligheid kan vormen.

Bij lokale overdimensionering van de kering dient bovendien niet noodzakelijkerwijs de gehele waterkering te worden beschermd, bijvoorbeeld doordat mogelijk:

- niet alle faalmechanismen even kritiek zijn: een vergraving direct bij de binnentoeën hoeft bijvoorbeeld niet tot een afname van de sterkte te leiden indien de kruinhoogte ruimschoots onvoldoende is;
- niet alle dijkvakken even kritiek zijn: een geringe aantasting van de waterkering op een dijkvak met een robuuster dwarsprofiel dan de nabijgelegen dijkvakken geeft geen afname van de veiligheid voor het beschermde gebied achter de kering.

Dit bemoeilijkt de waterbouwkundige motivatie van de bescherming van de waterkering aan derden, bijvoorbeeld in het kader van de verlening van vergunningen of ontheffingen.

Voor de handhaafbaarheid van de bescherming van de vereiste sterkte van de waterkering is het nuttig dat de beheerder kan beschikken over een Leggerprofiel of profiel van vrije ruimte. Normaliter wordt dit profiel opgesteld op basis van een maatgevende waterstand behorende bij de norm (al of niet met toeslagen). Bij afwezigheid van een norm en bijbehorende waterstand is de vaststelling van zo'n profiel complex.

Denkbare uitwerking betreft een soort inverteers toetsen, waarbij de actuele sterkte van de waterkering kan worden vastgesteld. Hierbij dient per dijkvak en per faalmechanisme de maximale waterstand die met voldoende zekerheid gekeerd kan worden te worden vastgesteld. Strikt de benadering van een overschrijdingskans volgend is de veiligheid van de gehele kering dan gelijk aan de resulterende laagste waterstand behorende bij één van de faalmechanismen op één van de dijkvakken.

Vervolgens kan op basis van de laagste maximale waterstand het leggerprofiel worden opgesteld. Theoretisch zou aan de hand van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand zelfs de norm kunnen worden vastgesteld. Belangrijke nadelen van zo'n uitwerking zijn:

- voor sommige faalmechanisme (bijvoorbeeld bekleding, microstabiliteit en stabiliteit buitenwaarts) is het niet goed mogelijk een dergelijk maximale waterstand te bepalen;
- een aanzienlijke inspanning is vereist.

Samenvattend geldt dat een vereenvoudiging van het proces van aanwijzen en normeren door de huidige veiligheid van een kering als norm te stellen in de praktijk lastig handhaafbaar is. In sommige situaties lijkt dit echter wel een wenselijke uitwerking van de normering. Keuze voor deze uitwerking kan resulteren in bezwaren van de waterkeringbeheerder, vanuit oogpunt van de handhaafbaarheid van de sterkte van de waterkering en dus de bescherming van de waterkering. Om tegemoet te komen aan deze bezwaren dient bij voorkeur:

- tenminste in plaats van de huidige veiligheid de huidige sterkte (= hoogte en stabiliteit) te worden genormeerd, een concrete invulling daarvan kan zijn de normering van de huidige geometrie;
- in gebieden met veel ruimtelijke ontwikkeling nabij de waterkering getracht te worden de huidige sterkte globaal te vertalen in een waterstand die met voldoende zekerheid gekeerd dient te worden (als norm), zodat een leggerprofiel kan worden opgesteld.

Het lijkt daarbij verstandig om bij de keuze voor de wijze van normeren te bezien of de eventuele vereenvoudiging van de vaststelling van de norm opweegt tegen de nadelen bij het beheren van de betreffende waterkering.

3

ALGEMENE OPZET VAN DE METHODE

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld van de methode geschetst. Onderscheid is gemaakt in:

- stappenplan uitvoering methode
- gegevensverzameling
- functie van de compartimenteringskering
- keuze locatie bres
- bepalen overschrijdingsfrequentie waterstand bij compartimenteringskering
- bepalen van schade, dodelijke slachtoffers en getroffenen en waterstandsverlopen
- bepalen kosten voor aanpassing compartimenteringskering

In dit hoofdstuk is de keuze voor een (eventuele) norm niet opgenomen, zie daarvoor het laatste deel van hoofdstuk 2. Voorafgaand aan een nadere beschouwing van de stappen, worden eerst een aantal uitgangspunten geformuleerd.

3.1 UITGANGSPUNTEN

Voor het toepassen van deze leidraad gelden de volgende uitgangspunten:

- De methode is alleen gericht op (voorkomen) overstromingsschade, dodelijke slachtoffers en op getroffenen als gevolg van een compartimenteringskering.
- Bij het toekennen van een norm aan een compartimenteringskering kunnen meerdere bestuurlijke aspecten worden meegenomen, deze zijn niet uitgewerkt in de methodiek zoals beschreven in deze leidraad.
- De belasting op de compartimenteringskering wordt gebaseerd op de mogelijke hydraulische belastingen en bijbehorende kansen van voorkomen zoals opgenomen in de (wettelijke) instrumenten die zijn voorgeschreven voor het toetsen van de primaire waterkeringen. Verondersteld is dat de waterkeringen niet bezwijken bij situaties onder maatgevende omstandigheden.
- Windeffecten op het overstromingsverloop worden buiten beschouwing gelaten. De invloed van wind op de hydraulische belasting op zee, rivier of meer wordt wel meegenomen. Informatie over het patroon (of patronen) van de wind (snelheid en richting) in de periode na een storm is niet beschikbaar.
- Voor het bepalen van de overstromingsgevolgen wordt aangenomen dat zodra de waterstand het toetspeil overschrijdt er, tenzij de waterkering is ontworpen (en getoetst) als een overstroombare waterkering, bresgroei plaats vindt en dit leidt tot een (grootschalige) overstroming, ook als de waterstand nét boven het toetspeil uitkomt.
- Toepassing van de HIS Schade en Slachtoffer module voor het berekenen van de schade en dodelijke slachtoffers en getroffenen.
- Voor de algemene opzet van de methode maakt de precieze locatie van de bres niet uit. De keuze van de bres is een onderdeel van het uitwerken van de norm. Voorschriften zijn hiervoor opgenomen.

- Onderscheid wordt gemaakt in de verschillende watersystemen die in Nederland voorkomen:
 - o Bovenrivierengebied
 - o Benedenriviergebied
 - o Meren
 - o Kust

3.2 STAPPENPLAN UITVOERING METHODE

In dit hoofdstuk is een stappenplan opgenomen voor het uitvoeren van een normeringstudie, bestaande uit de volgende stappen, die per compartiment moeten worden doorlopen.

Stap 1: gegevensverzameling

Stap 2: bepaling functie compartimenteringskering

Stap 3: locatie bres

Stap 4: gebeurtenissen en uitwerken randvoorwaarden voor berekeningen

Stap 5: overschrijdingsfrequentie waterstand bij compartimenteringskering

Stap 6: schaderisico

Stap 7: slachtofferisico

Stap 8: getroffenrisico

3.3 GEGEVENSVERZAMELING

De volgende gegevens zijn nodig voor toepassen van deze Richtlijn:

- Overstromingsmodel van dijkkring.
- Ligging en hoogte van de compartimenteringskering.
- Gebiedskennis voor bepalen locatie bres en bresgroei in de primaire waterkering en actuele sterkte van de compartimenteringskering.
- HIS-Schade en Slachtoffermodule.
- Hydraulische belastingen op rivier, kust of meer.

3.4 FUNCTIE VAN DE COMPARTIMENTERINGSKERING

De functie van de compartimenteringskering is bepalend voor de situaties die uiteindelijk beschouwd worden voor het bepalen van de norm voor deze dijk. Onderscheid wordt gemaakt tussen drie functies:

- Functie waterkeren tot moment van bezwijken.
- Functie waterkeren ook na bezwijken.
- Waterkering in combinatie met voorzieningen.

De methode wordt in beginsel toegepast voor drie configuraties van de compartimenteringskering waarin rekening wordt gehouden met de functie van de kering:

- huidige situatie van de compartimenteringskering (IRV-huidig)
- compartimenteringskering die altijd waterkerend is (IRV- ∞)
- geen compartimenteringskering (IRV-geen)

Op basis van de uitkomsten van de methode kunnen (indien de normstelling hier om vraagt, zie hoofdstuk 2) meerdere hoogtes van de compartimenteringskering worden beschouwd, bijvoorbeeld inrichtingsvariant IRV-p1/10. Dit gebeurt door het in hoogte variëren van de compartimenteringskering, het wijzigen van het moment van bezwijken of door andere voorzieningen op te nemen.

Functie waterkeren tot moment van bezwijken

Er wordt vanuit gegaan dat de kering, bij een bepaalde overschrijding van de waterstand geheel zal bezwijken en dan geen enkele waterkerende functie meer zal vervullen. Het moment van bezwijken kan in overleg met de beheerder worden bepaald, hierbij kan rekening gehouden worden met de verwachte sterkte van de waterkeringen. Mogelijkheden zijn:

- De kering bezwijkt na overloop van een bepaalde hoeveelheid water.
- De kering bezwijkt bij het bereiken van een bepaalde waterstand tegen de kering, bijvoorbeeld één meter onder de kruinhoogte.

In de eindsituatie zal bij een doorgebroken compartimenteringskering de functie van deze dijk niet meer herkenbaar zijn. Negatieve effecten van de kering zijn mogelijk omdat deze kering bovenstrooms mogelijk extra schade heeft veroorzaakt.

Functie waterkeren ook na bezwijken

Een compartimenteringskering kan ook 'overstroombaar' zijn. Dat betekent dat de compartimenteringskering niet zal bezwijken als gevolg van de hydraulische belasting en als gevolg van overlopen⁴. De kering kan, omdat deze intact blijft, bij overloop een waterstandsverschil tussen de compartimenten realiseren (bijvoorbeeld aan zijde 1 een waterstand van NAP + 0 m en aan zijde 2 een waterstand van NAP + 2 m).

Functie waterkeren in combinatie met voorzieningen

In aanvulling op de bovenstaande functie(s) van de compartimenteringskering kunnen ook voorzieningen opgenomen worden in de kering. Middels deze voorzieningen⁵ kan het verloop van de overstroming worden beïnvloed en kan rekening gehouden worden met van welke zijde de kering wordt belast.

3.5 KEUZE LOCATIE BRES

3.5.1 LOCATIE VAN DE DOORBRAAK

De keuze voor de locatie van de bres is sterk bepalend voor de belasting van de compartimenteringskering. Criteria daarbij zijn:

- De verschillen in schade, dodelijke slachtoffers en getroffen en afhankelijk van de locatie.
- Waarschijnlijkheid dat de bres daar optreedt (materiaal waaruit de kering is opgebouwd, hoogte voor- en achterland).
- Verloop hydraulische randvoorwaarde bij de primaire kering.

Mogelijke doorbraaklocaties worden bepaald met gebiedsdeskundigen. Vervolgens wordt voor deze locaties een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op basis waarvan de locatie die leidt tot de grootste belasting van de compartimenteringskering wordt vastgesteld. Voor dijkdoorbraken bij deze locatie wordt in de gevoeligheidsanalyse het effect (risico) van de kering inzichtelijk gemaakt.

3.5.2 ENKELE OF MEERVOUDIGE DOORBRAAK

In principe staat het bij toepassen van de Richtlijn vrij meerdere bressen in de primaire kering te beschouwen; de Richtlijn geeft echter, vanwege op dit moment niet toereikende kennis, geen handreiking voor de manier waarop in dat geval overstromingsberekeningen moeten worden uitgevoerd.

⁴ Dat betekent dat er dus extra eisen aan de kering worden gesteld voor stabiliteit.

⁵ Een voorbeeld hiervan zijn de Lingewerken in Gelderland.

Wat betreft meerdere bressen kunnen in kwalitatieve zin nog de volgende opmerkingen worden gemaakt. Vóór het beschouwen van meerdere doorbraken pleit dat bij een situatie extremer dan toetspeil de kans op een meervoudige doorbraak toeneemt, omdat de waterkeringen allen op min of meer vergelijkbare wijze zijn gedimensioneerd.

Tégen het meenemen van meerdere doorbraken pleit dat de reststerkte van de keringen niet overal gelijk is. Ook zal een dijkdoorbraak leiden tot een ontlasting (afhankelijk van het watersysteem) van de overige keringen. Belangrijk is ook dat een doorbraak het gevolg is van een bepaalde gebeurtenis die is opgebouwd uit veelal meerdere factoren. Door de ligging van alle keringen is het niet zo dat alle waterkeringen bij dezelfde gebeurtenis verwacht worden te bezwijken. Met andere woorden, de combinatie van de verschillende elementen die leidt tot bezwijken van waterkeringen kan sterk variëren.

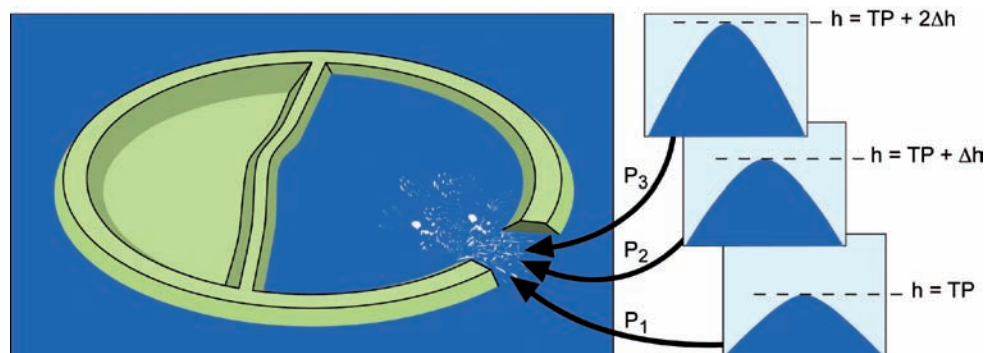
3.6 OVSCHRIJDINGSFREQUENTIE WATERSTAND COMPARTIMENTERINGSKERING

In hoofdstuk 3 wordt gedetailleerd beschreven hoe ter plaatse van de compartimenteringskering de waterstandsfrequentielijn kan worden bepaald. Hier volgt een schets van de gang van zaken.

Ten eerste zijn aannames nodig over de condities ter plaatse van de breslocatie. Het centrale idee van de methode is opgezet rondom de waterstand ter plaatse van de bres, waarbij verschillende waterstandsniveaus worden beschouwd (zie Figuur 3-1). De overschrijdingskans van de waterstand bij de breslocatie kan in principe bepaald worden met behulp van de Hydramodelen die voor de verschillende watersystemen beschikbaar zijn. Zo is er voor het (beneden)rivierengebied het model Hydra-B, voor het merengebied Hydra-M en voor de kust Hydra-K (behalve voor de ‘zachte kust’ en het Waddengebied, waarover meer in paragraaf 5.5). Deze probabilistische modellen kunnen op basis van een grote database met hydraulische randvoorwaarden, in combinatie met statistische gegevens, voor een willekeurige terugkeertijd de optredende waterstand bepalen.

Aan iedere beschouwde waterstand bij de bres wordt een bepaalde vorm voor het waterstandsverloop gekoppeld (de gemiddelde golfvorm bijvoorbeeld). Met behulp van de (piek)waterstand en de vorm van het verloop ligt het hele waterstandsverloop bij de breslocatie dan vast. Met zo'n "overstromingsscenario" kan vervolgens voor de beschouwde inrichtingsvariant (IRV) een overstromingsberekening worden gemaakt. In deze berekening moeten wel bepaalde aannames voor de precieze bresgroei worden gemaakt.

FIGUUR 3-1: SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE METHODE (TP STAAT VOOR HET TOETSPEIL). ELK WATERSTANDSVERLOOP HEEFT ZIJN EIGEN KANS VAN VOORKOMEN; ZO'N WATERSTANDSVERLOOP LEIDT TOT EEN (MAXIMALE) WATERSTAND TER PLAATSE VAN DE COMPARTIMENTERINGSKERING MET DEZELFDE KANS.



Met het overstromingsmodel kan, bij een beschouwd waterstandsverloop bij de breslocatie, ter plekke van de compartimenteringskering worden vastgesteld welke (maximale) waterstand daar zal optreden. Deze waterstand is dan automatisch gekoppeld aan de (overschrijdings)kans van de waterstand bij de breslocatie.

Beschouw als voorbeeld, zoals weergegeven in Figuur 3-1, drie verschillende waterstands niveaus bij de bres:

1. het toetspeil: TP
2. het toetspeil + een kleine verhoging: $TP+\Delta h$
3. het toetspeil + 2 maal een kleine verhoging: $TP+2\Delta h$

Elk van deze niveaus correspondeert met een waterstandsverloop, waarbij wordt aangenomen dat elk van deze waterstandsverlopen tot een bres leidt. Tevens is elk verloop, via de piekwaarde daarvan, gekoppeld aan een overschrijdingskans ter plaatse van de bres: $P1$, $P2$ en $P3$.⁶ Door voor elk niveau een overstromingsberekening te maken, kan de waterstandoverschrijdingskans bij de compartimenteringskering dan vastgesteld worden. Ook de schade en het aantal slachtoffers kunnen bepaald worden op basis van de resultaten van de overstromingsberekeningen. Tezamen met de reeds bekende kansen, kan tenslotte het risico worden bepaald. Een uitgebreidere behandeling van de hier geschetste berekeningen wordt gegeven in hoofdstuk 3.

In deze Richtlijn wordt aangenomen dat bresgroei optreedt zodra bij de breslocatie het toetspeil wordt overschreden. Uiteraard is het mogelijk de methode uit te breiden door ook bij andere niveaus dan het toetspeil bressen te laten ontstaan, en aan die niveaus op de een of andere manier dan kansen toe te kennen. Om de methode eenvoudig toepasbaar te houden, is dat niet gedaan.

Wel kunnen, bij eenzelfde piekwaterstand, verschillende vormen van waterstandsverlopen worden beschouwd (in de bovenrivieren bijvoorbeeld naast een gemiddeld verloop ook een smaller en een breder verloop). Per watersysteem zullen verschillende aannames gedaan worden om te komen tot geschikte waterstandsverlopen. Deze aannames zijn in meer detail uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Berekenen gevolgen van overstroming

De gevolgen van de doorbraken met de gedefinieerde hydraulische randvoorwaarden worden berekend met een 2D hydrodynamisch model.

Bresgrootte en -groei

De gevolgen van de doorbraak worden berekend met een conservatieve inschatting van de afmetingen van de bres en eventuele groei.

Situatie op buitenwater

Als gevolg van een doorbraak kan, afhankelijk van het gebied, de waterstand dalen. Indien relevant kan hier rekening mee worden gehouden. Er zijn dan twee mogelijke oplossingsrichtingen:

⁶ Feitelijk is sprake van overschrijdingsfrequenties in plaats van overschrijdingskansen; omwille van de uitleg wordt hier gemakshalve van kansen in plaats van frequenties gesproken.

1. Verdisconteren in waterstandsverloop dat opgelegd wordt als randvoorwaarde aan het 2D overstromingsmodel; hierbij wordt de verwachte waterstandsval verdisconteerd in de waterstand-randvoorwaarde bij de bres.
2. Modelleren van rivieren in sobek 1D en deze koppelen aan het 2D overstromingsmodel; hierbij worden randvoorwaarden opgelegd aan de grenzen van het sobek 1D model. Belangrijk hierbij is dat de grenzen van deze modellen voldoende ver weg liggen van de bres zodat de invloed van de doorbraak niet merkbaar is⁷. Ook de kwaliteit van de 1D modellen is belangrijk, denk aan de looptijden als gevolg van wind. Daarnaast zal relatief veel rekentijd nodig zijn.

3.7 BEPALEN SCHADE-, DODELIJKE SLACHTOFFERS- EN GETROFFENENRISICO EN WATERSTANDSVERLOPEN

De gevolgen van overstromingen worden uitgedrukt in zowel schade, dodelijke slachtoffers en getroffen binnens in minimaal de beschouwde dijkkring of mogelijk ook de gevolgen in andere dijkkringen. Deze gevolgen worden berekend met HIS-SSM. De gevolgen worden uitgedrukt in:

Per IRV en per overstromingssscenario:

- overstromingsschade
- dodelijke slachtoffers
- getroffen

Per IRV (gewogen over de verschillende overstromingssscenario's)

- schaderisico
- slachtofferrisico
- getroffenrisico

Daarnaast wordt per IRV en belasting het waterstandsverloop bij de compartimenteringskering uitgedrukt als een functie van de tijd. Hieruit blijkt de tijd tussen het ontstaan van de bres het bereiken van een bepaalde waterstand bij de compartimenteringskering.

Schaderisico

Met HIS-SSM kan de schade (combinatie van directe zowel als indirecte overstromingsschade) worden berekend op basis van het grondgebruik en de belasting van het water (waterdiepte en stroomsnelheid als deze groter is dan de kritieke stroomsnelheid). Het grondgebruik is hierin verdeeld in een aantal klassen. Per klasse is een geschaalde schadefunctie bepaald en is het maximale schadebedrag opgenomen. HIS-SSM wordt onderhouden door Rijkswaterstaat DWW, zie voor een beschrijving van de belangrijkste onderdelen Bijlage B.

Er zijn objecten of vormen van grondgebruik denkbaar die een afwijkend schadepatroon hebben dan nu is opgenomen in HIS-SSM. Voor deze objecten of vormen van grondgebruik kan een aparte schadefunctie, en maximaal schadebedrag worden opgenomen. Ook zal dit grondgebruik in HIS-SSM moeten worden aangegeven door de gebruiker. Let wel, alleen aanzienlijke afwijkingen zijn hierbij relevant, omdat het gaat om de verhouding met de totale overstromingsschade.

⁷ Zo niet, dan zal in de randvoorwaarde aan het 1D model een correctie uitgevoerd moeten worden.

Dodelijke slachtofferrisico en getroffenrisico

Met HIS-SSM kan het aantal dodelijke slachtoffers en getroffen personen worden berekend. Invoerparameters zijn de maximale waterdiepte, de stroomsnelheid en de verhouding tussen maximale stijgsnelheid en de waterdiepte van het water en het aantal mensen dat dan nog aanwezig is in het gebied. Hierbij gelden de volgende Richtlijnen:

- De dodelijke slachtoffers worden berekend op basis van de overstromingsdiepte.
- In beginsel wordt geen rekening gehouden met evacuatie.
- Uitgegaan wordt van de woonsituaties van de bewoners van een dijkkring.

3.8 KOSTEN VOOR AANPASSING COMPARTIMENTERINGSKERING

De kosten voor het aanpassen van de compartimenteringskering kunnen bestaan uit:

- Dijkversterking
- Dijkafgraving
- Kunstwerken

Indien er geen lokale gegevens over de kosten beschikbaar zijn aangaande de specifieke situatie van de compartimenteringskering, bevat dit hoofdstuk richtlijnen voor het bepalen van de kosten. Kosten voor beheer en onderhoud van de compartimenteringskering worden buiten beschouwing gelaten.

3.8.1 DIJKVERSTERKING

Bij het bepalen van kosten kentallen wordt gebruik gemaakt van een kostenmodule ontwikkeld door BB&C voor VNK. Deze module sluit aan bij de PRI-systematiek (Project Raming kosten Infrastructuur).

Voorgesteld wordt om deze methodiek toe te passen op de waterkeringen die mogelijk verbeterd moeten worden en hierbij rekening te houden met robuust ontwerpen. Op basis hiervan worden de kosten berkeend voor de kosten-baten vergelijking. Diverse aspecten zijn van belang voor de kosten van de uiteindelijke ophoging, inbreng van gebiedskennis is dan ook nodig voor het maken van een goede inschatting.

Kostenmodule

De bepaling van de kosten van mogelijke maatregelen voor dijkvakken is een vrij complexe zaak. Afhankelijk van de geconstateerde problemen is er sprake van verschillende typen oplossingen. Daarbij kunnen zich ook bepaalde combinaties van problemen voordoen. Er moeten relaties worden gelegd tussen de omvang van de tekortkomingen die door de verschillende faalmechanismen tot uitdrukking worden gebracht en de fysieke afmetingen van te treffen maatregelen. Daarbij zijn aard en vorm van de bestaande kering van belang. Ook spelen bepaalde omgevingskenmerken een belangrijke rol: wat is de situatie betreffende de bebouwingsdichtheid in de invloedssfeer van de waterkering? Is er voldoende (werk)ruimte aanwezig voor de uitvoering van maatregelen? Is de noodzaak aanwezig tot het treffen van compenserende maatregelen voor behoud of herstel van landschaps- en natuurwaarden?

Voor de ondersteuning van de te maken kostenramingen voor dijkvakken is een relatief eenvoudige kostenmodule ontwikkeld. Met behulp van deze kostenmodule kan snel inzicht worden verkregen in de kosten van maatregelen voor de versterking en verhoging van dijken. Daarbij is rekening gehouden met de belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de omvang van de kosten. De kostenmodule is vrij eenvoudig hanteerbaar en kent een grote mate van

flexibiliteit. De belangrijkste kenmerken van de kostenmodule kunnen als volgt worden samengevat:

- De Kostenmodule berekent de eenmalige investeringskosten en de kosten van beheer en onderhoud van maatregelen per dijkvak of per kunstwerk die noodzakelijk zijn voor het bereiken van een bepaalde verbetering van de waterkering. Bij de bepaling van de kosten wordt aangesloten op de gangbare berekeningprincipes en de basisgegevens ingevolge de PRI-systematiek (Project Raming kosten Infrastructuur) zoals die door de Bouwdienst(RWS) wordt gehanteerd. Hiermee wordt de consistentie van de berekeningen ook in de toekomst gewaarborgd, omdat gebruik kan worden gemaakt van de basisgegevens die door de Bouwdienst regelmatig worden geactualiseerd.
- Afzonderlijke berekeningen vinden plaats per dijkvak. De gewenste verbetering per dijkvak volgt in het project normering regionale waterkering uit de verwachte schadereductie op basis van een veiligheidsbeschouwing. Voor de bepaling van de kosten kan in de module rekening worden gehouden met alle relevante kenmerken van de waterkering en zijn omgeving.
- Voor de kostenbepaling wordt uitgegaan van maatregelen volgens een aantal verschillende principe-oplossingen. Voor de dijkvakken gaat het hierbij om twee hoofdcategorieën:
 - 1) aanpassingen aan het dijkprofiel op grond van binnendijkse as-verplaatsing (grondwerken);
 - 2) bijzondere constructies.
- De opzet kunnen de volgende keuzes gemaakt worden:
 - de mogelijkheid tot het flexibel wijzigen van alle relevante systeemaannamen die aan de berekening ten grondslag liggen;
 - keuzemogelijkheden betreffende het wel of niet rekening houden met bepaalde kostenposten;
 - keuzemogelijkheden om bepaalde invoergegevens per dijkvak te bepalen, dan wel gebruik te maken van vooraf gespecificeerde 'default' waarden (welke eveneens door de gebruiker kunnen worden gespecificeerd).
 Hiermee wordt ook de mogelijkheid geboden om naar gelang de aard van de toepassing een meer of minder gedetailleerde berekening uit te voeren, leidend tot een meer of minder nauwkeurige schatting van de kosten.

Voorbeeld van een (globale) toepassing

De kostenmodule is als voorbeeld toegepast uitgaande van een eenvoudig trapeziumvormig dijkprofiel. In dit voorbeeld is zeer grofmazig tewerk gegaan en zijn diverse parameters als default ingeschat. Er zijn twee dijkprofielen beschouwd: één met een dijkhoogte van 2 meter en een kruinbreedte van 6 meter (profiel A), een ander met een dijkhoogte van 4 meter en een kruinbreedte van 8 meter (profiel B).

Bij de berekeningen is steeds uitgegaan van een tijdshorizon van 50 jaar en een rentevoet van 4%. Er wordt berekend wat de investeringskosten zijn en hoe veel het beheer en onderhoud per jaar kost. Dit kan worden omgerekend, uitgaande van de tijdshorizon en de rentevoet tot een netto contante waarde (NCW). Dit geeft het beste weer hoeveel een maatregel kost.

In onderstaande tabellen zijn de resultaten van de berekening weergegeven.

TABEL 3-1: VOORBEELD: NETTO CONTANTE WAARDE (K€) BIJ OPHOGING VAN 0-0,5 M VOOR VERSCHILLENDE DIJKLENGTES.

profieltype	100 m	200 m	500 m	1000 m
A	10	19	71	19
B	14	27	91	159

TABEL 3-2: VOORBEELD: NETTO CONTANTE WAARDE (K€) BIJ OPHOGING VAN 0,5-1,0 M VOOR VERSCHILLENDE DIJKLENGTES.

profieltype	100 m	200 m	500 m	1000 m
A	54	109	294	566
B	83	166	439	855

Indien er een weg (fietspad, tertiaire weg, autoweg) over de dijk loopt nemen de kosten flink toe. Voor profiel B betekent dit voor kleine ophogingen:

TABEL 3-3: VOORBEELD: NCW PER STREKKENDE METER (€/M) BIJ OPHOGING VAN 0-0,5 M AFHANKELIJK VAN HET WEGTYPE

wegtype	€/m
geen	160
fietspad	270
secundaire/tertiare weg	730

3.8.2 DIJKAFGRAVING

De kosten voor het afgraven van waterkeringen zijn vrijwel direct afhankelijk van het grondverzet. De kosten kunnen dan ook bepaald worden op basis van het benodigde grondverzet. Indien nodig kan hier met lokale toeslagen rekening worden gehouden.

De mogelijkheid bestaan om de kering gedeeltelijk af te graven. Aandachtspunt hierbij is dat de baten op een gelijke wijze zijn bepaald. Hierbij zal de situatie waarin geen compartimenteringskering is beschouwd moeten worden vervangen door de beoogde situatie met afgravingen.

3.8.3 KUNSTWERKEN

De kosten voor ingrepen aan kunstwerken zijn sterk afhankelijk van de situatie. Aanbevolen wordt in deze per kunstwerk in te schatten conform de werkelijk verwachte kosten.

3.9 REFLECTIE OP UITGANGSPUNTEN EN BESCHIKBARE GEGEVENS

In de richtlijn is uitgegaan van de actuele beschikbare informatie. Niet voor alle wateren in Nederland is dezelfde informatie beschikbaar. Daarnaast zijn er een aantal zaken nog relatief onbekend waarvoor dan ook aannames zijn gemaakt. In deze paragraaf is een lijst opgenomen met onderwerpen waarvoor aanvullend onderzoek relevant is:

- Standzekerheid van regionale waterkeringen bij een overstroming; Nu is het al dan niet bezwijken van een regionale waterkeringen (of andere waterkerend element) een subjectieve keuze met soms nog aanvulling op basis van beheerdersoordeel. Kennis over de standzekerheid levert betere informatie om de gevolgen van een overstroming te bepalen;
- Parameters voor het waterstandsverloop op het Markermeer, te weten: Bm = breedte aan

de basis van de meerpeilgolf en b_m = breedte op de top van de meerpeilgolf. De genoemde parameters moeten worden bepaald analoog aan analyses voor het IJsselmeer uit het rapport "Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta - Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2006.036x. RIZA Lelystad, januari 2006";

- Meerpeilpercentielen voor IJsselmeer en Markermeer; deze kunnen worden berekend met de meest recente versie van Hydra-VIJ. Hierbij is uitgegaan van de binnenkort gereed zijnde waterstandsdatabase;
- Voor de Oosterschelde en de overige meren in Zeeland met uitzondering van het Haringvliet en het Hollands Diep moeten nog onderzoek worden verricht naar de waterstandsverlopen. Eventueel kan nu voor de Oosterschelde gebruik worden gemaakt van waterstandsverlopen opgenomen in het voorschrift toetsen op veiligheid. Echter deze waterstandsverlopen zijn volstrekt niet realistisch in relatie tot het toetspeil en relatie tot de duur.
- Golfvormen en hoogten bij belastingen hoger dan MHW in het rivierengebied en de bijbehorende kans van voorkomen; onderzocht kan worden in hoeverre de golfvorm verandert bij zwaardere belastingen (en overstromingen in Duitsland).
- Systeemwerking; bij het bepalen van de waterstandsverlopen is er vanuit gegaan dat buiten de bres die onderzocht wordt elders geen bressen optreden. De vraag is of dat reëel is en wat de invloed is op de waterstand gerelateerd aan de kans van voorkomen.
- De waterstandsverlopen corresponderend met q50% en q10% (met als maximum het toetspeil) zijn op dit moment nog niet beschikbaar voor het benedenrivierengebied. Om ze te verkrijgen dient de methode uit [Thonus et al, 2006] opnieuw te worden toegepast.
- Voor de Vecht- en IJsseldelta zijn nog geen waterstandsverlopen beschikbaar. Hiervoor dienen nog volstrekt nieuwe analyses te worden verricht (RWS-RIZA wil met de bepaling van dergelijke verlopen binnenkort beginnen).
- Aantal bressen; Bij een belasting hoger dan MHW is het de verwachting dat er meerdere bressen optreden. Kennis over hoeveel bressen dit zijn, hoe groot deze zijn en wat de relatie is met de waterstand is echter nog niet beschikbaar.
- Faalmechanismen; in de richtlijn is uitgegaan van bezwijken van de waterkering bij een belasting groter dan toetspeil (overschrijdingskans). Er zijn echter meerdere faalmechanismen die kunnen leiden tot bezwijken van deze kering.

4

BESCHRIJVING VAN DE METHODE

In paragraaf 3.6 is geschetst hoe ter plaatse van de compartimenteringskering de overschrijdingsfrequentie van de waterstand kan worden bepaald. In dit hoofdstuk wordt een uitgebreidere behandeling gegeven, uitgaande van één bres in de primaire waterkering. Ook wordt daarbij ingegaan op het bepalen van de schade en van het aantal slachtoffers en getroffen. Vervolgens worden (algemeen bekende) formules voor een Kosten Baten Analyse gegeven. Tot slot volgt een paragraaf met een opmerking over meerdere bressen.

Om de methode uit dit hoofdstuk toe te passen zijn per watersysteem verschillende gegevens nodig betreffende waterstandsverlopen. Die gegevens komen in hoofdstuk 4 aan de orde.

4.1 WATERSTANDSFREQUENTIELIJN BIJ LOCATIE LANGS COMPARTIMENTERINGSKERING

4.1.1 WATERSTANDSFREQUENTIELIJN

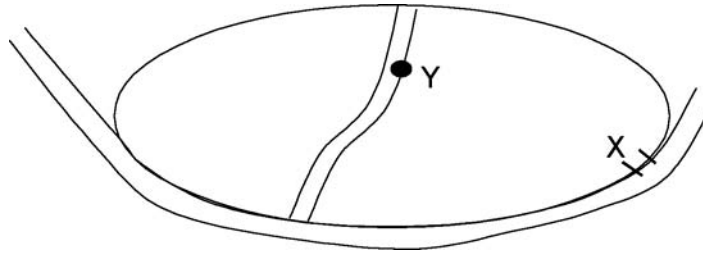
Eén van de grootheden die als onderdeel van de methode uit de Richtlijn moet kunnen worden bepaald is de overschrijdingsfrequentie van de waterstand voor een locatie langs een compartimenteringskering (CK). Deze overschrijdingsfrequentie zal ook worden aangeduid als de *waterstandsfrequentielijn*. De berekening hiervan gebeurt per beschouwd compartiment, waarbij elke in hoofdstuk 2 genoemde inrichtingsvariant (IRV) in principe een andere waterstandsfrequentielijn oplevert.⁸ Een IRV die in dit verband van bijzondere interesse is, is de gene met oneindig hoge/sterke dijken, die in hoofdstuk 2 werd aangeduid als IRV- ∞ . De waterstandsfrequentielijn voor deze variant geeft de waterstanden voor de situatie dat de compartimenteringskering van het beschouwde compartiment nooit overstroomt. Deze waterstandsfrequentielijn kan worden gebruikt bij het vaststellen van een toetshoogte van de compartimenteringskering.

In de berekening van de waterstandsfrequentielijn wordt uitgegaan van één IRV, waarbij in essentie een weging over de in hoofdstuk 2 beschouwde verschillende overstromingsscenario's wordt uitgevoerd (elk scenario heeft in deze weging zijn eigen kans, of eigenlijk frequentie, van voorkomen).

De setting voor de berekening van de waterstandsfrequentielijn is als volgt. Beschouw één compartiment en één IRV. Neem aan dat bij een zekere locatie X langs de primaire waterkering die aan het compartiment grenst een bres optreedt. Op de keuze van de bres, op basis van expert-judgement/gebiedskennis, werd in hoofdstuk 3 ingegaan. Neem aan dat de bres bij X ontstaat zodra de (locale) waterstand daar een zeker niveau b overschrijdt (b in m+NAP), waarbij in deze Richtlijn steeds wordt aangenomen dat b gelijk is aan het toetspeil (TP) ter plaatse van X.

⁸ Zolang een CK niet overstroomt kunnen verschillende IRV's overigens samenvallende lijnen hebben

FIGUUR 4-1: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN EEN POLDER MET, IN HET RECHTER COMPARTIMENT, EEN BRES IN DE PRIMAIRE WATERKERING TER PLAATSE VAN X EN EEN LOCATIE Y LANGS DE COMPARTIMENTERINGSKERING.



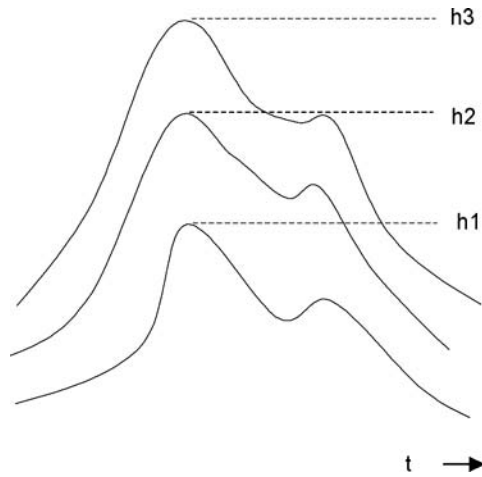
Beschouw verder een locatie Y langs de compartimenteringskering zoals geïllustreerd in Figuur 4.1. De waterstandsfrequentielijn ter plaatse van Y zal worden aangeduid als $F(y|b)$. Deze geeft de overschrijdingsfrequentie van niveau y, in keren per jaar, van de lokale waterstand ter plaatse van Y, onder de aanname dat ter plaatse van X een bres ontstaat zodra de waterstand daar niveau b overschrijdt. In de berekening hiervan is allereerst de overschrijdingsfrequentie van de lokale waterstand h ter plaatse van X bij de primaire kering nodig. Die overschrijdingsfrequentie kan berekend worden met één van de Hydra-modules. Gebruik als notatie:

$$F(h) = \text{Overschrijdingsfrequentie (1/jaar) van niveau } h \quad (4.1)$$

Aangenomen wordt dat indien bij X een waterstandsverloop (waterstand als functie van de tijd) optreedt waarvan de piekwaarde niveau b overschrijdt, met een overstromingsmodel ter plaatse van Y het waterstandsverloop kan worden bepaald. Daartoe dienen aannames over de bres(groei) te worden gemaakt, zie daarover paragraaf 3.5 en 3.6.

In dit hoofdstuk zal gemakshalve worden aangenomen dat bij iedere waterstand h ter plaatse van X precies één “representatief” waterstandsverloop hoort, waarvan de piekwaarde gelijk is aan h, zie Figuur 4-2 ter illustratie. Zo'n waterstandsverloop legt in feite, in combinatie met de overschrijdingsfrequentie $F(h)$, een in hoofdstuk 2 genoemd *overstromingsscenario* vast. In de toepassing van de methode uit deze Richtlijn worden, afhankelijk van het watersysteem, echter meerdere waterstandsverlopen beschouwd bij eenzelfde piekwaarde h (voor de bovenrivieren bijvoorbeeld een breed, ‘gemiddeld’ en een smal verloop). De formules voor meerdere verlopen bij eenzelfde piekwaarde worden, omdat ze wat gecompliceerd zijn, behandeld in een bijlage, zie Bijlage A.

FIGUUR 4-2: WATERSTANDSVERLOPEN MET PIEKWAARDEN h_1 , h_2 EN h_3 (ÉÉN VERLOOP PER PIEKWAARDE). IEDER WATERSTANDSVERLOOP CORRESPONDEERT MET EEN OVERSTROMINGSCENARIO.



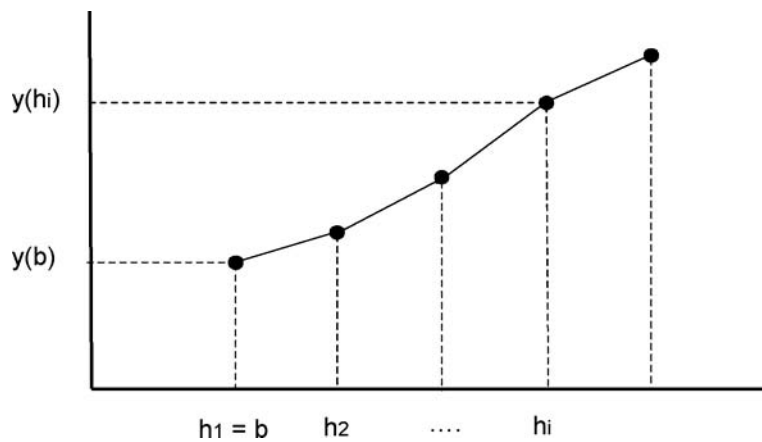
Neem als hiervoor gesteld aan dat een bres ontstaat bij X als de waterstand daar ter plaatse niveau b overschrijdt. Neem verder aan dat slechts een discreet aantal (piek)waterstanden bij X kan voorkomen, die oplopen met een ‘stapgrootte’ Δh . In dit verband zijn alleen waterstanden groter dan b relevant. Vandaar dat hier waterstanden h_i worden beschouwd van de vorm

$$h_i = b + (i-1) \cdot \Delta h, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

Merk op dat $h_1 = b$; deze waterstand is dus gelijk aan het toetspeil TP. Zoals eerder gezegd kan de overschrijdingsfrequentie $F(h_i)$ van niveau h_i met één van de Hydra-modellen worden bepaald. In het bijzonder is $F(h_1)$ dan gelijk aan de overschrijdingsfrequentie behorende bij het toetspeil ter plaatse van X.

Bij iedere h_i kan met een overstromingsmodel worden berekend wat het waterstandsverloop als functie van de tijd wordt ter plaatse van Y. Noem het maximum van dat laatste verloop $y(h_i)$, zie ter illustratie Figuur 4-3. Merk op dat waarden van y lager dan $y(b)$ niet optreden, omdat voor waterstanden h lager dan b geen overstroming optreedt.

FIGUUR 4-3: ILLUSTRATIE VAN VERBAND TUSSEN h_i EN $y(h_i)$, ALS TUSSENSTAP IN DE BEREKENING VAN $F(y|b)$.



Geef de overschrijdingsfrequentie van $y(h_1)$, ter plaatse van Y, aan met $F(y(h_1)|b)$. Deze overschrijdingsfrequentie moet gelijk zijn aan de overschrijdingsfrequentie $F(h_1)$ ter plaatse van X:

$$F(y(h_1)|b) = F(h_1) \quad (4.3)$$

waarbij het rechterlid dus berekend kan worden met de Hydra-modellen. Aldus zijn de overschrijdingsfrequenties van de 'individuele' $y(h_1), y(h_2), \dots, y(h_n)$ bekend. Door interpolatie kan $F(y|b)$ dan voor willekeurige niveaus y groter dan $y(b)$ worden berekend.

Voorbeeld (fictieve getallen)

Stel dat locatie X een normfrequentie heeft van 1/1250 per jaar (locatie in de bovenrivieren), met toetspeil TP = NAP + 8m. Stel verder dat $y(\text{TP}) = \text{NAP} + 5\text{m}$: als ter plaatse van X een piekwaterstand optreedt van NAP + 8 m, resulteert dat ten gevolge van de bij X ontstane bres in een maximale waterstand bij Y van NAP + 5 m. De overschrijdingsfrequentie van dit niveau is dan gelijk aan 1/1250, oftewel $F(\text{NAP} + 5 \text{ m} | b) = 1/1250$ per jaar. Merk op dat een *maximale* waterstand bij Y lager dan NAP + 5 m niet voorkomt; die zou het gevolg zijn van een waterstand bij X die lager is dan TP, maar dergelijke waterstanden worden geacht niet tot een bres te leiden.

Stel verder als voorbeeld dat $\text{TP} + 0.35 = \text{NAP} + 8.35 \text{ m}$ een overschrijdingsfrequentie heeft van 1/4000 per jaar, en dat dit resulteert in een maximale waterstand bij Y van NAP + 6 m. In dat geval is $F(\text{NAP} + 6 \text{ m} | b) = 1/4000$ per jaar.

4.1.2 DECIMERINGSWAARDE EN KEUZE VAN STAPGROOTTE Δh

In (4.2) werd een stapgrootte Δh van de (piek)waterstand bij X geïntroduceerd. Bij een kleine Δh (gepaard gaande met een grote n) resulteren veel waterstanden die moeten worden doorgerekend om aan $F(y|b)$ te komen. Bij een grote h hoeven slechts weinig waterstanden te worden doorgerekend, maar zal de resulterende $F(y|b)$ te onnauwkeurig zijn berekend. Om een werkbare hoeveelheid sommen te krijgen, zal Δh niet al te klein worden genomen.

Decimeringswaarde

Voorafgaand aan de keuze van Δh wordt het begrip *decimeringswaarde* uitgelegd: de decimeringswaarde D , in dit geval van de waterstand, is het verschil in waterstand tussen twee waterstandsniveaus die een factor 10 verschillen in overschrijdingsfrequentie. Als voorbeeld volgen hier wat getallen: op de bovenrivieren varieert D van 0.6 tot 0.9 m (bedenk dat per locatie/river D verschilt); in de benedenrivieren is nabij Dordrecht D ruwweg gelijk is aan 0.3 m, afnemend tot 0.15 m bij Rotterdam (de Maeslantkering heeft als het ware een 'dempende' invloed op de waterstanden, met hier een kleine D tot gevolg). Aan de Hollandse kust is D , voor Zeeland, Noord- en Zuid Holland, in de orde van 0.7 à 0.8 m, terwijl D voor de Waddeneilanden 0.3 à 0.4 m bedraagt.

Feitelijk is de decimeringswaarde alleen te berekenen als $F(h)$ volgens een exponentiële functie afhangt van h . In redelijke benadering is dat gewoonlijk, zo blijkt uit de Hydra-resultaten, het geval. Een uitzondering hierop vormen de benedenrivieren in de buurt van Rotterdam en benedenstrooms daarvan, waar de Maeslant- en Hartelkering zorgen voor een niet-exponentieel verband.

Keuze Δh en aantal n in formule (4.2)

Kies Δh gelijk aan 1/2 van de decimeringswaarde D van de waterstand, maar houdt als

ondergrens $\Delta h = 0.1$ m aan.⁹ Kies n zo groot dat h_n minstens 2 maal D boven het bresniveau ligt $h_n \geq b+2D$.

In principe mag van het hier gegeven voorschrift worden afgeweken als aangetoond kan worden dat bepaalde sommen niet realistisch zijn. Voor de bovenrivieren zijn bijvoorbeeld de twee hoogste waterstanden, die anderhalf of twee decimeringswaarden boven het toetspeil liggen, extreem hoog. Als bekend is dat in deze situatie bovenstrooms van X gelegen dijkringen grootschalig onderstromen, mogen deze sommen bijvoorbeeld worden weggelaten. Van het gegeven voorschrift mag dus, indien voldoende gemotiveerd, worden afgeweken.

Verband tussen decimeringswaarde en overschrijdingsfrequentie

Hiervoor zijn niveaus h beschouwd van de vorm $h_i = TP + aD$, waarbij a gelijk is aan 0, 0.5, 1, 1.5, 2. In principe volgt de overschrijdingsfrequentie $F(h_i)$ ter plaatse van X uit een van de Hydra-modellen. Indien $F(h)$ in goede benadering volgens een exponentieel verband van h afhangt, kan $F(h_i)$ echter ook op een andere manier worden berekend, namelijk met de formule

$$F(h_i) = 10^a \cdot \text{overschrijdingsfrequentie van } TP \quad (4.4)$$

Wanneer deze formule gebruikt wordt, dient gemotiveerd te worden, met een van de Hydra-modellen, of $F(h)$ inderdaad in goede benadering volgens een exponentieel verband afhangt van h . Zoals eerder opgemerkt zal dat vaak het geval zijn, maar in ieder geval niet in de buurt van Rotterdam en benedenstrooms daarvan, waar de Maeslant- en Hartelkering zorgen voor een niet-exponentieel verband.

4.2 SCHADE, SLACHTOFFERS EN GETROFFENEN

4.2.1 SCHADE

Wanneer een bres ontstaat is het gewenst te weten wat de (gemiddelde) schade is.¹⁰ Deze schade zal afhangen van de beschouwde inrichtingsvariant (IRV); in hoofdstuk 2 kwamen deze varianten aan de orde.

Het uitgangspunt is dat voor ieder waterstandsverloop, met behulp van het schademodel HIS-SSM, de schade kan worden berekend. De verschillende kansen (feitelijk frequenties) van de waterstandsverlopen leiden tot schades met verschillende kansen. Om de totale schade S te berekenen, moeten de verschillende schades met de juiste kansen worden gewogen. De precieze formules staan in Bijlage A. Uiteraard zal de schade S per IRV anders uitpakken, maar wiskundig zijn de formules voor iedere IRV gelijk.

4.2.2 SLACHTOFFERS EN GETROFFENEN

Op dezelfde manier als de berekening van de schade, kunnen ook de aantallen slachtoffers en getroffen worden berekend (naast de schade geeft HIS-SSM ook de aantallen slachtoffers en getroffen). Omdat deze berekening analoog is aan die voor de schade, wordt die in Bijlage A niet gegeven.

⁹ In eerdere versies van deze Richtlijn, en in de zogenaamde showcases, werd $1/3 \cdot D$ of $2/3 \cdot D$ gehanteerd. Een keuze van $1/2 \cdot D$ is echter praktischer, o.a. omdat de "praktische" waarde $2\Delta h = D$ dan deel uitmaakt van de resultaten.

¹⁰ Wiskundig wordt hier de verwachtingswaarde van de schade bedoeld, conditioneel op het optreden van een bres indien de waterstand niveau h overschrijdt.

4.3 KOSTEN BATEN ANALYSE

Per IRV kan een Kosten Baten Analyse (KBA) worden uitgevoerd. Voor de beschouwde IRV dienen dan ten eerste de kosten en de baten te worden vastgesteld. De kosten K zijn gelijk aan het bedrag om de betreffende IRV te realiseren (informatie over het vaststellen van deze kosten wordt in deze Richtlijn niet gegeven).

De baten worden in deze Richtlijn volgens hoofdstuk 2 gelijk genomen aan de *ten opzichte van de referentiesituatie vermeden schade*, waarbij de referentiesituatie hier bestaat uit de schade in de IRV die overeen komt met de huidige situatie. Voor de baten zal worden uitgegaan van de *contante waarde* daarvan, dat wil zeggen de baten omgerekend naar euro's van het huidige moment. De berekening van de contante waarde gaat als volgt.

Beschouw een normterugkeertijd T van de primaire waterkering (deze is gelijk aan $1/F(b)$, met $F(b)$ de hiervoor beschouwde overschrijdingsfrequentie van toetspeil $b = TP$). Geef de schade van de betreffende IRV, berekend volgens de formules uit Bijlage A, aan met S_{IRV} , en die van de referentiesituatie met S_{ref} . De vermeden schade is dan $S_{ref} - S_{IRV}$. Deze vermeden schade treedt gemiddeld eens per T jaar op. Gemiddeld levert dat een jaarlijkse bate van $C = (S_{ref} - S_{IRV})/T$. Stel nu dat deze jaarlijkse baten worden beschouwd gedurende een tijdshorizon van n jaren. De naar het huidige moment contant gemaakte waarde in jaar j hangt af van ten eerste de (veronderstelde) economische groei gedurende de deze j jaren, en ten tweede de (veronderstelde) discontovoet in deze j jaren. In formule is de contante waarde corresponderend met het bedrag C uit jaar j gelijk aan

$$\text{contante waarde in jaar } j = C \left(\frac{1+\gamma}{1+\delta} \right)^j$$

met

γ = groeivoet economische groei (bijvoorbeeld 1.0%)

δ = discontovoet in (bijvoorbeeld 2.5%).

De naar dit moment contant gemaakte totale baten B_{CW} over de tijdshorizon van n jaren, zijn dan gelijk aan, met $r = (\delta - \gamma)/(1+\gamma)$,

$$\begin{aligned} B_{CW} &= C \frac{1+\gamma}{1+\delta} + C \left(\frac{1+\gamma}{1+\delta} \right)^2 + \dots + C \left(\frac{1+\gamma}{1+\delta} \right)^n \\ &= \frac{C}{r} \left[1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right] \end{aligned}$$

In de KBA kan nu de verhouding B_{CW}/K worden beschouwd. Een waarde groter dan 1 correspondeert met grotere baten dan kosten (IRV heeft positief effect), terwijl een waarde kleiner dan 1 correspondeert met kleinere baten dan kosten (IRV heeft negatief effect).

4.4 WINDEFFECTEN

In deze Richtlijn worden geen windeffecten beschouwd. De wind kan echter zorgen voor lokale opwaaiing, scheefstand van de waterstand en voor golven ter plaatse van de compartimenteringskering. Meenemen van windeffecten kan dus leiden tot een andere waterstandsfrequentielijn. In de richtlijn wordt hier echter geen rekening mee gehouden omdat er onvoldoende kennis is van de te verwachten windpatronen na een overstroming. Waarschijnlijk zullen er meerdere richtingen en snelheden mogelijk zijn.

Voor het al of niet optreden van een bres in de compartimenteringskering zijn daarnaast golven van belang. Bij de toetsing van een compartimenteringskering zal op de een of andere manier met golven rekening gehouden moeten worden. In de huidige versie van de Richtlijn worden echter geen handreikingen voor het verdisconteren van de wind gegeven.





5

GEGEVENS PER WATERSYSTEEM

5.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden de gegevens voor de verschillende watersystemen beschreven die nodig zijn om de methode uit het voorgaande hoofdstuk toe te passen. Die watersystemen zijn:

- Bovenrivieren
- Benedenrivieren
- Meren
- Kust

Het belangrijkste doel van dit hoofdstuk is per watersysteem te beschrijven welke waterstandsverlopen ter plaatse van de bres in de primaire kering kunnen worden aangenomen. Per gegeven (maximale) waterstand ter plaatse van de bres kan het aantal te beschouwen waterstandsverlopen verschillen, om zo rekening te houden met (bijvoorbeeld) brede zowel als smallere verlopen. De verschillende waterstandsverlopen, met per gebied een verschillend aantal “typen” verlopen, komen aan de orde in de paragrafen 5.2 t/m 5.5. In een praktische toepassing kan echter geoordeeld worden dat, gezien het grote aantal benodigde overstromingssommen, met minder typen waterstandsverlopen kan worden volstaan. Zie daarover paragraaf 5.6.

5.2 BOVENRIVIEREN

Voor de bovenrivieren zullen (in principe) bij iedere beschouwde piekwaarde h van de waterstand drie waterstandsverlopen bij breslocatie X worden gekozen (de formules voor meerdere verlopen staan in Bijlage A). De drie golven bestaan uit een smalle, een gemiddelde en een brede golfvorm.

Beschouw eerst de gemiddelde golfvorm, met piekwaarde gelijk aan TP . Deze golfvorm geeft ter plaatse van X dus een waterstandsverloop als functie van de tijd. Ten behoeve van de HR 2006 is dit waterstandsverloop bepaald door Rijkswaterstaat-RIZA.¹¹ De smalle golf kan hieruit worden verkregen door de voor en achterflank van de gemiddelde golf met geschikte factoren te vermenigvuldigen; hetzelfde geldt voor de brede golf. Voor de Rijn mogen de volgende keuzes worden gemaakt, gebruikt in [Groot et al, 2006]:

- Smalle golf.
Vermenigvuldig de voorflank van de golf met een factor 0.6 en de achterflank met 0.8; de kans op het smalle verloop is 20%, zie ter illustratie Figuur 5-1.
- Gemiddelde golf.
De kans op dit verloop is 60%.

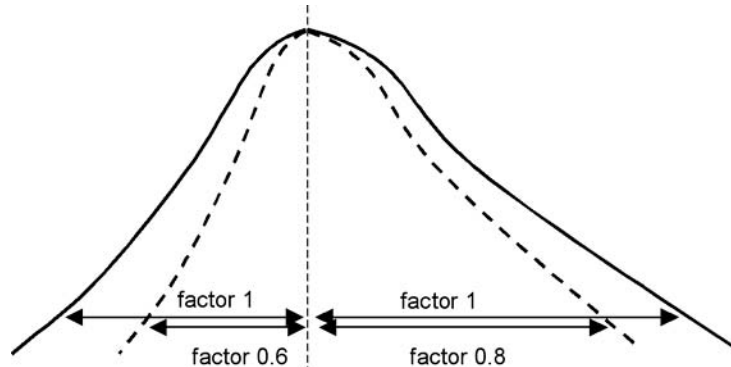
¹¹ Dit waterstandsverloop is bepaald door met WAQUA de standaardafvoergolf (debiet als functie van de tijd) door te rekenen van Lobith tot aan locatie X . De standaardafvoergolf is afkomstig uit de zogenaamde golfvormgenerator beschreven in [Wijbenga en Stijnen, 2004]. In de golfvormgenerator dient dan te worden gekozen voor de optie ‘verwachtingswaarde’ (en niet voor de golf met ‘percentiel 50%’).

- Brede golf.

Vermenigvuldig de voorflank van de golf met een factor 1.4 en de achterflank met 1.5; de kans op het brede verloop is 20%.

Opgemerkt wordt dat de factoren op enigszins pragmatische wijze zijn bepaald op basis van de analyses uit [Geerse, 2005], die feitelijk alleen betrekking hebben op tijdsverlopen van debieten (in plaats van waterstanden).¹² Het wordt echter voldoende nauwkeurig geacht deze factoren ook voor verlopen van waterstanden te gebruiken. De genoemde factoren zijn tot op heden slechts voor de Rijn bepaald, maar nog niet voor de Maas, IJssel en Vecht.

FIGUUR 5-1: VERKRIJGEN VAN DE SMALLE RIJNGOLF (GESTREEPTE LIJN) UIT DE GEMIDDELDE GOLF (DOORGETROKKEN LIJN).



De tot nu toe beschouwde smalle, gemiddelde en brede golf hebben als piekwaarde het TP. Ze zijn echter volgens paragraaf 4.1.2 ook nodig voor de piekwaarden TP, TP+1/2*D en TP+D. Gezien de grote inspanning om de golven voor al deze piekwaarden te bepalen, wordt het voldoende nauwkeurig geacht om de hogere verlopen uit degenen met piekwaarde TP te verkrijgen door ze simpelweg in verticale richting 'omhoog te schuiven'. Een verloop met piekwaarde h volgt dus door het verloop met piekwaarde TP op te schuiven over een afstand h - TP. De smalle, gemiddelde en brede verlopen houden steeds de respectievelijke kansen 20%, 60% en 20%.

5.3 BENEDENRIVIEREN

5.3.1 AFVOERPERCENTIELEN VOOR DE HOOGTE VAN DE AFVOER

Alvorens uit te leggen hoe waterstandsverlopen voor de benedenrivieren worden gekozen, is het nodig eerst de betekenis van het zogenaamde *afvoerpercentiel* uit te leggen. Dergelijke percentielen kunnen met het programma Hydra-B worden berekend, zie [Duits, 2006; Geerse, 2004], en geven informatie over de (kansen op de) afvoeren die tijdens falen kunnen voorkomen.

Het berekende percentiel q_p , behorend bij percentage p , hangt af van het type berekening. Neem als voorbeeld de berekening van het TP, voor Beneden Merwede km 976 (Dordrecht), behorend bij $T = 2000$ jaar. In dat geval levert Hydra-B een toetspeil van $TP = NAP + 2.94$ m.¹³ Voor $p = 90\%$ levert Hydra-B dan $q_{90\%} = 13750$ m³/s. Dat getal houdt in dat *tijdens falen* - in dit geval overschrijden van TP - er 90% kans bestaat op een afvoer *lager* dan 13750 m³/s; tijdens falen bestaat er dan 10% kans op een afvoer *hoger* dan 13750 m³/s. Ter illustratie: in dit geval blijkt dat $q_{50\%} = 9600$ m³/s en $q_{10\%} = 7800$ m³/s. Uit het 10%- en het 90%-percentiel volgt dat

¹² De factoren zouden ook kunnen worden bepaald met de golfvormgenerator. In [Geerse, 2005] bleek de generator voor breedtepercentielen 10% en 90% echter zeer onrealistische golven op te leveren.

¹³ De precieze uitkomst hangt af van de gekozen statistiek; hier is sprake van een voorlopige statistiek voor de HR 2006.

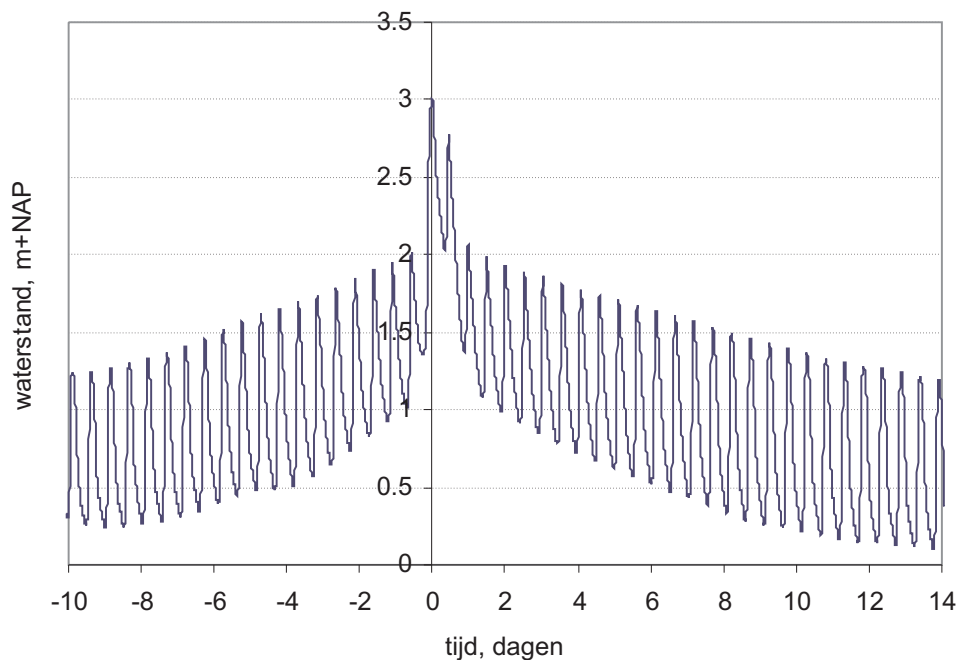
tijdens falen (overschrijden van TP) er 80% kans is op een afvoer tussen 7800 en 13700 m³/s. Deze percentielen geven dus informatie over de range aan afvoeren die tijdens falen kunnen voorkomen.

5.3.2 WATERSTANDSVERLOPEN RIZA MET TOETSPEIL ALS PIEKWAARDE

Door RWS-RIZA is een methode opgesteld om voor iedere locatie in het benedenrivierengebied waterstandsverlopen af te leiden waarvan de piekwaarde gelijk is aan het toetspeil TP. Deze methode is, in samenwerking met RWS-RIZA, geïmplementeerd door HKV [Thonus en Udo, 2005; Thonus et al, 2006]. Dergelijke verlopen zijn afgeleid om te kunnen toetsen voor geotechnische faalmechanismen waarbij met name de duur van het waterstandsverloop van belang is (onder meer in verband met verzadiging van dijken).

Figuur 5-2 toont als voorbeeld zo'n verloop, waarbij de top hier een toetspeil TP = 3.0 [m+NAP] oplevert. In dit verloop is ten eerste het getij te herkennen, tezamen met een stormvloed rondom tijdstip $t = 0$. Ten tweede is een 'langdurige verhoging' te zien, die afkomstig is van een afvoergolf. Losjes gezegd bestaat het waterstandsverloop uit een afvoergolf met daarop gesuperponeerd een deel afkomstig van een stormvloed plus getij.

FIGUUR 5-2: VOORBEELD VAN EEN WATERSTANDSVERLOOP UIT [THONUS EN UDO, 2005; THONUS ET AL, 2006].



Om aan dit waterstandsverloop te komen is de afvoergolf zodanig gekozen dat deze een piekwaarde heeft die gelijk is aan $q_{90\%}$. Bij de gebruikte afvoergolf is een stormvloed gezocht, die zo hoog is dat deze in combinatie met de afvoer het toetspeil oplevert. De stormvloed wordt daarbij te Hoek van Holland als randvoorwaarde voor het model SOBEK opgelegd (aldaar wordt een compleet tijdsverloop van de stormvloed opgelegd), terwijl aan de bovenrand van het model de gebruikte afvoergolf als invoer wordt opgelegd. Het tijdstip van de stormvloed wordt zó gekozen dat bij de beschouwde locatie de waterstandsverhoging ten gevolge van de stormvloed precies samenvalt met het maximum van de afvoergolf. Stormvloed en afvoergolf worden als het ware zó gefaseerd in de tijd dat ze elkaar treffen bij de beschouwde locatie.

In feite zijn er in [Thonus en Udo, 2005; Thonus et al, 2006] twee waterstandsverlopen bepaald met een piekwaarde gelijk aan het toetspeil, namelijk een verloop voor open keringen en een verloop voor *dichte* keringen. De situatie “open keringen” slaat hier op de Maeslant- en Hartelkering die niet gesloten zijn, en tevens op een situatie waarbij ze wel gesloten hadden moeten zijn, maar waarbij falen van de keringen optreedt. De dichte situatie staat hier voor keringen die sluiten tijdens stormvloed. Indien het toetspeil op een locatie wordt overschreden, kan dat zowel bij open (O) als bij dichte (D) keringen gebeuren. De kansen $p(O)$ en $p(D)$ op beide gevallen kunnen met Hydra-B bepaald worden (de som van beide kansen is uiteraard 1). Verlandinwaarts, waar de zee niet meer bedreigend is, wordt $p(O)$ nagenoeg gelijk aan 1, omdat tijdens falen de keringen dan niet gesloten zullen zijn. Nabij Rotterdam blijkt $p(O)$ circa 0.95 te zijn, omdat overschrijden van het toetspeil daar praktisch altijd het gevolg is van falende keringen. Nabij Dordrecht ligt $p(O)$ in de orde van (zeer ruwweg) 0.5, terwijl $p(O)$ op het Haringvliet/Hollandsch Diep veelal gelijk is aan circa 0.05. Zie voor meer achtergrond bij deze getallen [Geerse, 2004].

Opgemerkt wordt dat de afvoerpercentielen $q_{90\%}$ verschillen voor de open en dichte situatie; beide kunnen met Hydra-B berekend worden. Ter illustratie geeft Tabel 5-1 een aantal percentielen voor de eerder als voorbeeld genoemde locatie Beneden Merwede km 976.

TABEL 5-1: PERCENTIELEN UIT HYDRA-B VOOR BENEDEN MERWEDE KM 976 (BEPAALD OP BASIS VAN VOORLOPIGE STATISTIEKEN). IN DIT GEVAL IS $P(O) = 24\%$ EN $P(D) = 76\%$.

Locatie	= Beneden Merwede km 976 (105832,426058)
Type berekening	= Waterstand
Waterstand	= 2.94 (m+NAP)
Terugkeertijd	= 2000 (jaar)
Overschrijdingsfrequentie	= 5.00E-04 (per jaar)

Percentielen van de afvoer

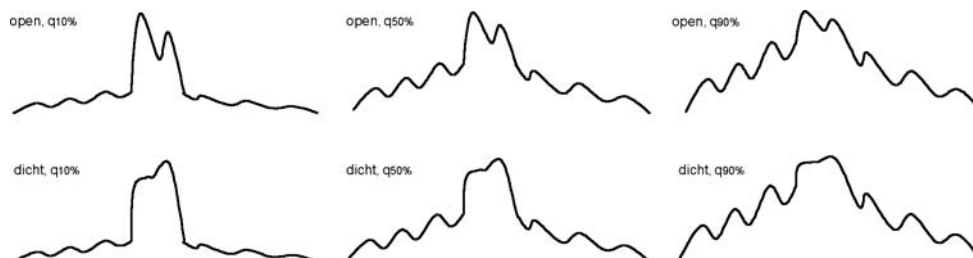
percentiel	open+dicht	open	dicht
5%	7542	7630	7536
10%	7806	8459	7756
25%	8408	9807	8257
50%	9611	11372	9192
75%	11463	13158	10710
90%	13746	15125	12847
95%	15460	16558	14742

5.3.3 WATERSTANDSVERLOPEN MET WILLEKEURIGE PIEKWAARDEN

Zoals hiervoor gezegd, zijn bovenstaande door RIZA bepaalde verlopen bedoeld om een toetsing uit te kunnen voeren met geotechnische faalmechanismen, waarbij met name de duur van het waterstandsverloop van belang is. Er dient daarbij gewaakt te worden voor een te korte duur, reden waarom in de verlopen een vrij hoge afvoer is gekozen. In plaats van $q_{90\%}$ had immers ook een lagere afvoer van bijvoorbeeld $q_{50\%}$ gekozen kunnen worden, in welk geval een lagere afvoergolf zou zijn gekozen, met dan een hoger stormvloeddeel tot gevolg. Zo'n verloop zou effectief gezien korter duren (in ieder geval wat watervolumes betreft). Voor de problematiek uit deze Richtlijn lijkt het (in eerste instantie) niet geschikt om alleen de verlopen uit de voorgaande paragraaf te beschouwen. Daarom worden in de methode ook de verlopen corresponderend met $q_{50\%}$ en $q_{10\%}$ meegenomen.

Per keringsituatie resulteren dan drie verlopen, schetsmatig weergegeven in Figuur 5-3, waarvan de top steeds het toetspeil bereikt. De methode uit hoofdstuk 1 zal voor de benedenrivieren dus worden toegepast met zes verlopen per piekwaarde (3 voor open keringen en 3 voor gesloten keringen).

FIGUUR 5-3: DE ZES TYPEN WATERSTANDSVERLOPEN, HIER ZEER SCHETSMATIG AANGEGEVEN (ELK VERLOOP HEEFT ALS MAXIMUM HET TOETSPEIL). EEN HOGER AFVOERDEEL GAAT SAMEN MET EEN LAGER STORMVLOEDDEEL EN VICE VERSA.



De verlopen corresponderend met $q_{50\%}$ en $q_{10\%}$ (met als maximum het toetspeil) zijn op dit moment nog niet beschikbaar. Om ze te verkrijgen dient de methode uit [Thonus et al, 2006] opnieuw te worden toegepast, hetgeen een redelijke tijdsinspanning zal vergen. Desgewenst kan bij toepassen van de methode uit deze Richtlijn ook worden uitgegaan van alleen de $q_{90\%}$ -golf, in welk geval beseft dient te worden dat sprake is van een te brede waterstandsverlopen, zie verder 5.6.

De voorgaande verlopen hebben TP als piekwaarde. In principe kan de methode uit [Thonus et al, 2006] ook worden toegepast om verlopen bij willekeurige piekwaarden h te bepalen. Dat zal echter een flinke inspanning vergen. Geadviseerd wordt daarom verlopen voor willekeurige piekwaarde h te construeren door de verlopen met als hoogte TP verticaal 'naar boven op te schuiven' (de afstand waarover verschoven wordt is dan $h - TP$).

Voor het toepassen van de methode uit hoofdstuk 1, zijn de kansen op de diverse verlopen nodig. De kans op verloop j , met $j = 1, 2, \dots, 6$, hangt af (tenminste voor de benedenrivieren) van de beschouwde piekwaarde h . Geef deze kansen aan met $p_j(h)$, zie ook Bijlage A. Om deze kansen te bepalen, zijn de kansen $p(O|h)$ en $p(D|h)$ nodig, die respectievelijk de kansen op de open en dichte situatie weergeven, in de situatie dat de piekwaterstand ter plaatse van X niveau h overschrijdt. Deze twee kansen kunnen met Hydra-B worden bepaald.

Uit de kansen $p(O|h)$ en $p(D|h)$ kunnen de kansen $p_j(h)$ worden bepaald zoals aangegeven in Tabel 5-2. Neem als voorbeeld $p_1(h)$, corresponderend met $j = 1$. Dit geval hoort bij de open keringsituatie en afvoerpercentiel $q_{10\%}$. De kans hiervoor wordt gelijk genomen aan $0.2 p(O|h)$, wat inhoudt dat dit percentiel 20% van de kans op de open situatie moet hebben (10% zou te weinig zijn, omdat $q_{10\%}$ een soort van *klassemidden* moet zijn en geen *klassegrens*). Voor $q_{90\%}$ wordt eveneens aangenomen dat deze 20% van de open situatie moet hebben, resulterend in $p_3(h) = 0.2 p(O|h)$. De resterende kans van 60% van de open situatie hoort dan bij $q_{50\%}$. Hiermee is de toekenning van de kansen duidelijk.

TABEL 5-2: DE KANSEN OP DE DIVERSE WATERSTANDSVERLOPEN (DE ZES KANSEN SOMMEREN TOT 1).

j	Keringsituatie	Afvoerpercentiel	$p_j(h)$
1	Open	$q_{10\%}$	$0.2 \cdot p(O,h)$
2	Open	$q_{50\%}$	$0.6 \cdot p(O,h)$
3	Open	$q_{90\%}$	$0.2 \cdot p(O,h)$
4	Dicht	$q_{10\%}$	$0.2 \cdot p(D,h)$
5	Dicht	$q_{50\%}$	$0.6 \cdot p(D,h)$
6	Dicht	$q_{90\%}$	$0.2 \cdot p(D,h)$

Wanneer alleen waterstanden h worden beschouwd die niet al te veel van het toetspeil verschillen, is het wellicht gerechtvaardigd om als benadering te nemen

$$\begin{aligned} p_j(O,h) &= p_j(O,h = TP) \\ p_j(D,h) &= p_j(D,h = TP) \end{aligned} \quad (5.1)$$

welke kansen reeds beschikbaar zijn beschreven in [Thonus en Udo, 2005; Thonus et al, 2006]. Bij toepassing hiervan dient de kwaliteit van de benadering (5.1) echter nader te worden onderzocht, hetgeen kan gebeuren met Hydra-B. (Met name in de buurt van Rotterdam zou deze benadering slecht uit kunnen pakken.)

Opmerking

De zes waterstandsverlopen dienen voor verschillende piekwaarden h te worden doorerekend, wat leidt tot een flink aantal overstromingssommen. Wanneer gemotiveerd kan worden dat bepaalde sommen weinig kansbijdrage hebben, mogen deze ook worden weggelaten (de kansen op de resterende verlopen dienen wel altijd te sommeren tot 1). Deze motivatie vergt echter de nodige kennis van het doorwerken van de respectievelijke sommen op het eindresultaat (expert judgement is nodig). Zie verder ook de opmerkingen uit paragraaf 5.6.

5.4 MEREN

5.4.1 UITLEG MEERPEILPERCENTIEL

Voordat het waterstandsverloop voor de meren zal worden beschreven, zal eerst worden uitgelegd wat de betekenis is van een zogenaamd *meerpeilpercentiel*. Een meerpeilpercentiel, behorend bij percentage p , zal worden aangeduid als m_p . Per definitie is m_p gelijk aan het meerpeilniveau (in $m+NAP$) dat tijdens falen slechts met kans p wordt overschreden. Denk bij “falen” hier aan het overschrijden van het toetspeil TP .¹⁴ Als bijvoorbeeld $m_{90\%} = NAP + 3 m$, wil dat zeggen dat tijdens falen – in dit geval overschrijden van TP – er 90% kans bestaat op een meerpeil lager dan $NAP + 3 m$. De betekenis van het meerpeilpercentiel is analoog aan die van het in paragraaf 5.3.1 uitgelegde afvoerpercentiel. Voor de duidelijkheid zal hier opnieuw een uitleg worden gegeven, op een iets andere manier dan gegeven voor het afvoerpercentiel. Aan het eind van deze paragraaf wordt iets gezegd over de beschikbaarheid van de meerpeilpercentielen.

¹⁴ Een berekening van het TP hoort bij het “faalmechanisme” waterstandsoverloop. In principe hoort bij ieder faalmechanisme dat wordt doorerekend een andere waarde van $m_{90\%}$. Wanneer bijvoorbeeld (bij gegeven normterugkeertijd T) voor faalmechanisme golfoverslag, met kritiek overslagdebiet $1 l/s/m$, een berekening wordt gemaakt, resulteert een andere waarde voor $m_{90\%}$ dan wanneer dit percentiel wordt bepaald bij de berekening van het TP .

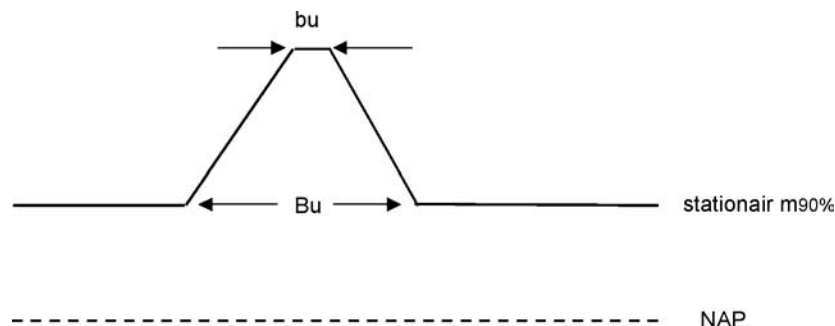
Neem als voorbeeld voor de uitleg $p = 90\%$, behorend bij de berekening van het TP op een locatie X. Stel dat geldt $TP = NAP + 4m$. Over “falen” wordt gesproken indien de (locale) waterstand bij X het niveau $NAP + 4 m$ overschrijdt; analoog is een “faalgebeurtenis” als dit falen optreedt. Stel verder dat, volkomen hypothetisch uiteraard, voor locatie X miljarden jaren meetgegevens van de waterstanden en meerpeilen¹⁵ ter beschikking zouden staan, terwijl de dijken/meren/rivieren etcetera er altijd precies hetzelfde zouden blijven, in een immer ongewijzigd klimaat. In de loop der tijden zou een groot aantal faalgebeurtenissen optreden bij X. De overschrijdingsfrequentie van het TP zou dan, vanwege de overvloed aan data, simpelweg door turven bepaald kunnen worden. In het bijzonder zou bij iedere faalgebeurtenis (overschrijden van TP) ook genoteerd kunnen worden *tijdens welk meerpeil dat gebeurt*. Dat zal, op de beschouwde locatie X, een heel scala aan meerpeilen opleveren, omdat falen immers bij diverse meerpeilen kan optreden. In de lijst van de genoteerde meerpeilen kan het meerpeilniveau worden opgezocht *waaronder zich 90% van de genoteerde getallen bevindt*. Het gevonden niveau is dan het 90%-percentiel (met eenheid $m+NAP$).

De waarden m_p , behorend bij de TP's van de locaties rondom het IJssel- en Markermeer, zijn op dit moment nog niet bekend. Ze kunnen worden bepaald met de meest recente versie van het probabilistisch model Hydra-VIJ, indien de juiste waterstandsdata-bases als invoer voor Hydra-VIJ worden gebruikt, tezamen met de juiste statistische invoer voor de meren (de genoemde versie van Hydra-VIJ wordt zeer binnenkort door HKV opgeleverd aan RWS-RIZA). Naar verwachting zullen de meerpeilpercentielen in mei 2007 berekend kunnen worden. Wel moet worden opgemerkt dat Hydra-VIJ voor de meren geen officieel door RWS-RIZA uitgeleverd instrument vormt (het officiële instrument voor de meren is namelijk Hydra-M, waarmee geen meerpeilpercentielen kunnen worden bepaald).

5.4.2 WATERSTANDSVERLOPEN MET TOETSPEIL ALS PIEKWAARDE

Door RWS-RIZA is eind 2005 in samenwerking met GeoDelft een methode voorgesteld om waterstandsverlopen voor de meren te bepalen, ten behoeve van de toetsing voor geotechnische faalmechanismen [Calle, 2005]. Een dergelijk verloop heeft als maximum het toetspeil. De methode is van toepassing op zowel het IJssel- als het Markermeer. Er wordt gebruik gemaakt van het 90%-percentiel van het meerpeil. Het verloop bestaat uit een stationair meerpeil, ter hoogte van $m_{90\%}$. Daarop is een (symmetrische) stormopzet gesuperponeerd met een basisduur van $B_u = 35$ uur en een topduur van $b_u = 4$ uur, zoals geïllustreerd in Figuur 5-4.

FIGUUR 5-4: WATERSTANDSVERLOOP MEREN MET ALS MAXIMUM HET TOETSPEIL.

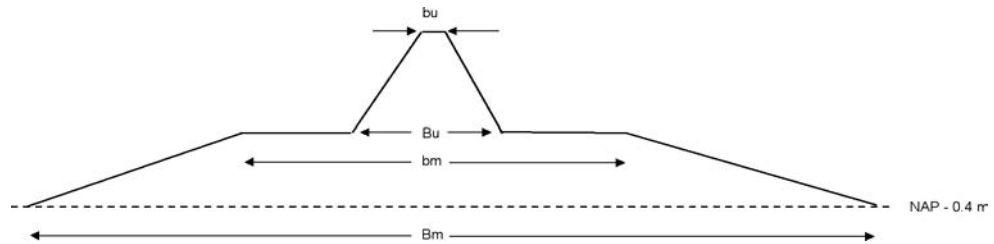


¹⁵ Merk op dat de waterstand gelijk is aan het meerpeil, vermeerderd met de windopzet.

5.4.3 IJSSEL- EN MARKERMEER

Het waterstandsverloop uit de voorgaande paragraaf gaat uit van een relatief hoog meerpeil. Net als voor de benedenrivieren worden voor de methode uit dit rapport ook verlopen beschouwd met lagere meerpeilen, namelijk die voor $m_{50\%}$ en $m_{10\%}$. De kansen op deze verlopen zijn dan respectievelijk 20%, 60% en 20%. De aanname van een stationair meerpeil, die volgens [Calle, 2005] goed te verdedigen is voor de daarin beschouwde geotechnische faalmechanismen, lijkt voor de problematiek uit dit rapport echter niet juist. In werkelijkheid houden meerpeilen (uiteraard) niet oneindig lang aan, zodat stationairiteit een te veilige aanpak zou vormen. Daarom wordt een verloop gekozen als in Figuur 5-5.

FIGUUR 5-5: WATERSTANDSVERLOOP CORRESPONDEREND MET PERCENTIEL $m_{90\%}$.



Het stationaire meerpeil is vervangen door een trapezium, met een basisduur B_m en een topduur b_m . De keuzes voor B_m en b_m dienen nog te worden gemaakt, op basis van nog uit te voeren analyses. Ze kunnen verschillen voor het IJssel- en Markermeer; het laatste meer heeft gewoonlijk langdurigere toppen dan het eerstgenoemde.

Behalve de drie verlopen met als maximum het toetspeil, zijn ook verlopen voor andere piekwaarden h nodig. Deze kunnen op dezelfde manier worden bepaald als voor $h = TP$ (simpelweg verlopen in verticale richting opschuiven is voor de meren veel te onnauwkeurig). Per piekwaarde h moeten met Hydra-VIJ steeds de 10%-, 50%- en 90%-percentielen voor het meerpeil worden bepaald, waarbij de stormopzet steeds zo hoog wordt gekozen dat het maximum gelijk wordt aan de waterstand h . Merk op dat, omdat hier in tegenstelling tot de situatie voor de benedenrivieren geen keringen van belang zijn, de kansen op de drie verlopen niet afhangen van de beschouwde piekwaarde h (steeds 20%, 60% en 20%).

Wat de percentielen $m_{10\%}$, $m_{50\%}$ en $m_{90\%}$ betreft dient nog een opmerking te worden gemaakt. Het kan voorkomen dat deze hóger zijn dan het toetspeil TP ! Dat kan gebeuren bij locaties die sterk meerpeilgedomineerd zijn, dus waar de wind betrekkelijk weinig invloed heeft, wat bijvoorbeeld het geval is voor veel locaties aan de westzijde van het IJssel- en Markermeer. Als een meerpeilpercentiel hoger dan TP is, dient het percentiel verlaagd te worden tot TP , in welk geval het stormopzetdeel vervalt. Merk op dat aldus kan voorkomen dat minder waterstandsverlopen hoeven te worden doorgerekend (stel bijvoorbeeld dat elk van de drie percentielen hoger is dan TP , dan blijft slechts één verloop over met hoogte TP).

5.4.4 INZAKKEN WATERSTANDSVERLOOP

Het waterstandsverloop uit Figuur 5-5 wordt afgeleid onder de voorwaarde dat de dijken rond de meren niet bezwijken en ook niet overstromen. In de toepassing wordt echter uitgegaan van een bres in de (primaire) waterkering. Voor de meren is het dan van belang rekening te houden met het beperkte volume van het meer. Als bijvoorbeeld een bres ontstaat in de IJsselmeerdijk van Oost Flevoland (IJsselmeerzijde), kan zoveel water de polder binnenstromen

dat het waterstandsverloop uit Figuur 5-5 met het verstrijken van de tijd fors ‘inzakt’ (het in het IJsselmeer beschikbare water wordt verdeeld over twee “bakken” in plaats van over één “bak”).¹⁶

In de overstromingsberekeningen dient op de een of andere manier te worden gecorrigeerd voor dit forse “inzakken” van het waterstandsverloop. Zie als voorbeeld van zo’n correctie “Casestudie Flevoland” [Nelen en Schuurmans, 2006]. In de daar beschreven situatie zorgt een doorbraak van de IJsselmeerdijk voor het vollopen van Oost Flevoland, met een waterstand die na circa 5 dagen in Oost Flevoland en het IJsselmeer gelijk wordt, namelijk NAP – 1.4 m.

5.4.5 HERSTELLEN VAN DE BRES

In de praktijk zal een bres hersteld worden zodra dat mogelijk is. In de zojuist genoemde casestudie is na circa 5 dagen de waterstand aan de buitenzijde van de bres gelijk geworden aan die aan de binnenzijde van de bres. Op dat moment is geen sprake meer van stroming, zodat de bres gedicht kan worden.

Stel eens dat de bres niet gedicht wordt, maar weken/maanden open blijft. In dat geval zal de waterstand in de polder door de aanvoer van de IJssel en de Vecht uiteindelijk simpelweg gelijk worden aan (nagenoeg) het streefpeil van NAP – 0.40 m. Bekend is namelijk dat de spuicapaciteit bij de Afsluitdijk te beperkt is om waterstanden *lager* dan het streefpeil te kunnen handhaven. Een zeer langdurige bres betekent dus dat het gehele IJsselmeer zowel als Oost Flevoland op een waterstand gelijk aan (nagenoeg) het streefpeil van NAP – 0.40 m uitkomt.

Het vollopen van IJsselmeer/Oost Flevoland zal niet erg snel gaan. Uitgaande van een voortdurende gecombineerde IJssel- en Vechtafvoer van 1000 m³/s (orde eens per jaar afvoer), zal de waterstand in het IJsselmeer/Oost Flevoland met circa 0.04 m per dag stijgen (bij een voortdurend open verbinding). In feite zullen de afvoeren, indien beschouwd over een lange periode van weken/maanden, gemiddeld lager zijn dan hier beschouwd, zodat de genoemde 0.04 m als een bovengrens kan worden opgevat voor de mate waarin de waterstand in de polder zal stijgen. De stijging is dus vrij gering. Indien de bres zo snel mogelijk wordt gedicht, kan de stijging van de waterstand in de polder ten gevolge van de IJssel- en Vechtafvoer derhalve verwaarloosd worden.

Soorgelijke opmerkingen gelden voor een bres ergens anders langs het IJssel- of Markermeer, met de kanttekening dat de aanvoer op het Markermeer veel geringer is dan die op het IJsselmeer. Voor een bres langs het Markermeer zal de stijging ten gevolge van een voortdurend open bres dus nog veel geringer zijn dan de hiervoor genoemde 0.04 m per dag.

5.5 KUST

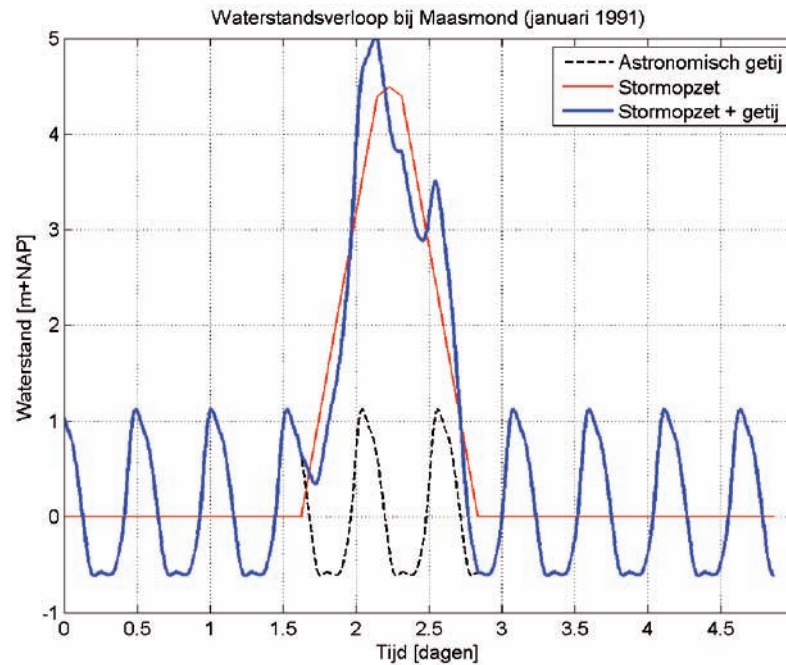
Voor de kust geldt dat de bijdrage van de afvoer verwaarloosbaar is, en dat dus alleen het waterstandsverloop binnen een storm van belang is. Voor de kust is het gebruikelijk, zoals ook gedaan is ten behoeve van Hydra-B [Slomp et al, 2005], om een waterstandsverloop te construeren op basis van een sommatie van het astronomisch getij met een stormopzet (zie Figuur 5-6).

¹⁶ Met dit inzakken wordt hier niet het zeer locale inzakken van de waterstand bedoeld, maar het feit het hele verloop in de tijd van de waterstand inzakt.

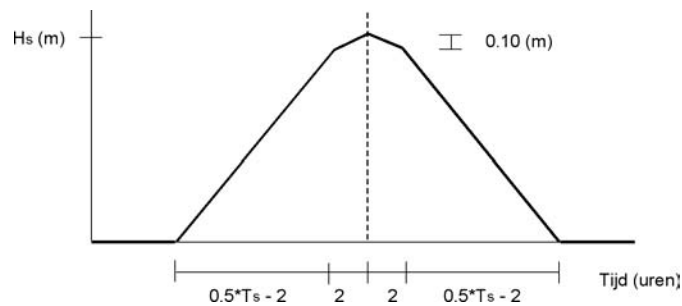
Het trapeziumvormige stormopzetverloop wordt op de volgende manier geparametriseerd:

1. Basisduur T_s .
2. Fase φ van de stormopzet ten opzichte van het moment van hoogwater van het astronomisch getij.

FIGUUR 5-6: VOORBEELD VAN EEN WATERSTANDSVERLOOP BIJ DE MAASMONDING LANGS DE KUST.



FIGUUR 5-7: SCHEMATISERING STORMOPZET.



De grootheden T_s en φ dienen per locatie (of gebied) geschikt te worden gekozen. Voor HR-berekeningen voor het benedenrivierengebied is, ter plaatse van Hoek van Holland, ten behoeve van Hydra-B altijd gekozen voor $T_s = 29$ uur en fase 4.5 uur (opzet valt ná astronomisch hoogwater). Bekend is dat de genoemde 29 uur feitelijk te kort is. Hier wordt uitgegaan van de keuzes uit de [VTV, 2004]. Daarin wordt $T_s = 35$ uur langs de Noordzeekust gekozen en $T_s = 45$ uur in het Waddengebied. Naar de grootte van de faseverschuiving moet nog nader (literatuur)onderzoek gedaan worden. Nabij Hoek van Holland kan de genoemde 4.5 uur worden aangehouden.

Voor de duidelijkheid nog het volgende: een waarde $\varphi = 0$ (opzet op moment van astronomisch hoogwater) levert een *smaller* waterstandsverloop. Bij een vast beschouwde hoogte van het verloop levert fase 0 dus een kleiner watervolume dan een sterk van 0 verschillende fase.

Bekend is, zie onder meer bijlage 2 uit [Geerse, 2003] voor de situatie voor Hoek van Holland, dat in de regel bij stormen de maximale opzet *niet* valt op het moment van astronomisch hoogwater, maar juist enkele uren eerder of later. Een keuze $\varphi = 0$ is dus onveilig, omdat dan ten onrechte te smalle waterstandsverlopen resulteren.

Bij beschouwen van piekwaarde h van het waterstandsverloop dient, bij gekozen waarden voor T_s en φ , de hoogte H_s van de opzet precies zó te worden gekozen dan het resulterende waterstandsverloop als maximale waterstand de waarde h krijgt. Iedere beschouwde h correspondeert dus met een andere H_s . Waar voor de beneden- en bovenrivieren het verloop met als hoogte TP eenvoudig in verticale richting werd opgeschoven, gebeurt dat hier dus niet, omdat het onwenselijk is het lage deel van het verloop, namelijk het getijdeel zonder storm, naar boven op te schuiven.

De overschrijdingsfrequenties van de piekwaterstanden h van de waterstandsverlopen kunnen, behalve voor de zachte kust en het Waddengebied, bepaald worden met Hydra-K. De door te rekenen niveaus bestaan dan volgens paragraaf 4.1.2 uit TP, TP+0.5*D, TP+D, TP+1.5*D, TP+2*D. Voor het Waddengebied is Hydra-K echter niet beschikbaar. In dat geval kan TP bepaald worden uit de HR 2006, terwijl de decimeringswaarde D kan worden bepaald uit de HR 1996, zie bijlage 1 uit [HR 1996]. De overschrijdingsfrequenties van de piekwaarden h kunnen dan worden bepaald met formule (4.4) (aannahme hier is dus dat de overschrijdingsfrequentie exponentieel afhangt van h , hetgeen voor deze situatie voldoende nauwkeurig is).

Voor de zachte kust (duinen) zullen andere niveaus worden doorgerekend: in de HR wordt dan namelijk uitgegaan van het *rekenpeil* (RP) in plaats van het toetspeil. Daarom wordt hier gekozen voor de niveaus RP, RP+1/2*D, ..., RP+2*D. De overschrijdingsfrequentie van niveau $h = RP+aD$ kan dan worden bepaald met

$$F(h) = 10^a \cdot \text{overschrijdingsfrequentie van RP} \quad (5.2)$$

waarbij de waarde van D kan worden bepaald uit bijlage 1 van [HR 1996].

De enige regio langs de kust waar bovenstaand waterstandsverloop niet toepasbaar is, is de Oosterschelde. Dit water ligt achter de Stormvloedkering van de Oosterschelde en deze kering beïnvloedt de waterstandsverlopen. Voor dit gebied moeten nog verlopen worden afgeleid, voor bij voorkeur een situatie van een falende en van een juist functionerende kering.¹⁷ Mogelijk volstaat ook één soort verloop.

5.6 GLOBAAL ADVIES AANTAL WATERSTANDSVERLOPEN

Voor de genoemde watersystemen zijn hiervoor per piekwaarde h verschillende typen waterstandsverlopen beschouwd: drie voor de bovenrivieren, zes voor de benedenrivieren, drie voor de meren en één voor de kust. Zeker wanneer sprake is van relatief veel inrichtingsvarianten levert dat voor de eerste drie watersystemen nogal wat overstromingsberekeningen. Wellicht volstaat een kleiner aantal 'verlooptypes'. Voor de bovenrivieren zouden bijvoorbeeld het smalle en het brede verloop achterwege gelaten kunnen worden, zodat alleen gerekend wordt met het gemiddelde verloop. Of dat gerechtvaardigd is hangt af van de gewenste nauwkeurigheid.

¹⁷ In [VTV, 2004] wordt voor de Oosterschelde wel een waterstandsverloop gegeven. Dat verloop lijkt echter volstrekt onrealistisch voor de doeleinden uit deze Richtlijn.

Denkbaar is dat gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd om de invloed van het aantal verlooptypes op de resultaten te onderzoeken. Zo zouden bijvoorbeeld voor de bovenrivieren voor piekwaarde $h = TP+D$ (hoogste beschouwde waarde van h) de resultaten voor het smalle en brede verloop vergeleken kunnen worden met die voor het gemiddelde verloop. Wanneer de resultaten voor de verlopen niet veel verschillen, kan worden volstaan met slechts het gemiddelde verloop. Ook wanneer het resultaat, indien gemiddeld over het brede en het smalle verloop, ongeveer gelijk uitvalt met het resultaat voor het gemiddelde verloop, kan worden uitgegaan van alleen het gemiddelde verloop. (Een resultaat kan hier bijvoorbeeld een waterstand of een schade zijn.)

In deze Richtlijn wordt geen expliciet recept gegeven voor dergelijke gevoeligheidsanalyses. Eén reden is dat de toepassingen zo divers zijn dat het nagenoeg ondoenlijk is een deugdelijk recept op te stellen dat “werkt” voor iedere toepassing. Een andere reden is dat de gewenste nauwkeurigheid nogal subjectief is. Afhankelijk van de complexiteit van het gebied zal men genoegen nemen met een grotere/kleinere mate van nauwkeurigheid.

Wat de benedenrivieren betreft nog de volgende opmerking. De verlopen gebaseerd op $q_{90\%}$ zijn, voor de open en dichte kering, op dit moment beschikbaar, de verlopen gebaseerd op $q_{10\%}$ en $q_{50\%}$ echter niet. Het vergt ‘enige inspanning’ om die laatste verlopen te verkrijgen. Wanneer geoordeeld wordt dat werken met alleen de verlopen gebaseerd op $q_{90\%}$, voldoende nauwkeurigheid biedt, zou kunnen worden volstaan met alleen deze verlopen.



5

REFERENTIES

[Calle, 2005]

Waterstandsverloop Markermeer – Hydraulische randvoorwaarden t.b.v. grondmechanische toetsing van dijken. E.O.F. Calle. Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA, Geodelft rapport 419250.007 v04, Delft, november 2005.

[Duits, 2006]

Gebruikershandleiding Hydra-B, Versie 3.4. M.T. Duits. HKV [LIJN IN WATER](#), december 2006.

[Geerse, 2003]

Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden Benedenrivierengebied. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2003.128x. RIZA Lelystad, december 2003.

[Geerse, 2004]

Uitsplitsingen en illustratiepunten Hydra-B – Toelichting op de gebruikershandleiding Hydra-B. RIZA-werkdocument 2004.209x. RIZA Lelystad, december 2004.

[Geerse, 2005]

Hydraulische Randvoorwaarden 2006 benedenrivierengebied – Toelevering afvoergolven voor bepaling waterstandsverlopen en snelle val. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2005.125x. RIZA Lelystad, december 2005.

[Geerse, 2006]

Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta - Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2006.036x. RIZA Lelystad, januari 2006.

[HR 1996]

Hydraulische Randvoorwaarden voor primaire waterkeringen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft, september 1996.

[HR 2001]

Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Delft, december 2001.

[Nelen en Schuurmans, 2006]

Casestudie Flevoland. Normering leidraad compartimenteringskeringen. Nelen en Schuurmans, Utrecht, september 2006.

[Slomp et al, 2005]

Onderbouwing Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het Benedenrivierengebied. R.M. Slomp, C.P.M. Geerse en H. de Deugd. RIZA-rapport 2002.017. RIZA Lelystad, 19 mei 2005.

[Thonus en Udo, 2005]

Waterstandsverlopen en snelle val indicatie – Fase 1: onderzoek methode, invoer en gevoeligheid. B. Thonus en J. Udo. Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA, HKV [LIJN IN WATER](#). Lelystad, december 2005.

[Thonus et al, 2006]

Waterstandsverlopen en snelle val indicatie. In voorbereiding. B. Thonus, J. Udo en I.B.M. Lammers, Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA, HKV [LIJN IN WATER](#), Lelystad, juni 2006.

[VTV, 2004]

De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001-2006 (VTV). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, januari 2004.

[Wijbenga en Stijnen, 2004]

Aanpassingen golfvormgenerator. J.H.A. Wijbenga en J. Stijnen. HKV [LIJN IN WATER](#), september 2004.

BIJLAGEN

Bijlage A	Formules voor meerdere waterstandsverlopen
Bijlage A1	Waterstandfrequentielijn voor meerdere verlopen
Bijlage A2	Schade
Bijlage B	Schademodule HIS-SSM

CASE-RAPPORTAGES

- Showcase Kust: Middeldijk, Hollandse Delta
- Showcase Bovenrivieren: Meidijk, Rivierenland
- Showcase Merengebied: Knardijk, Flevoland
- Showcase Kust: Callantsoog, Noord-Holland

BIJLAGE A

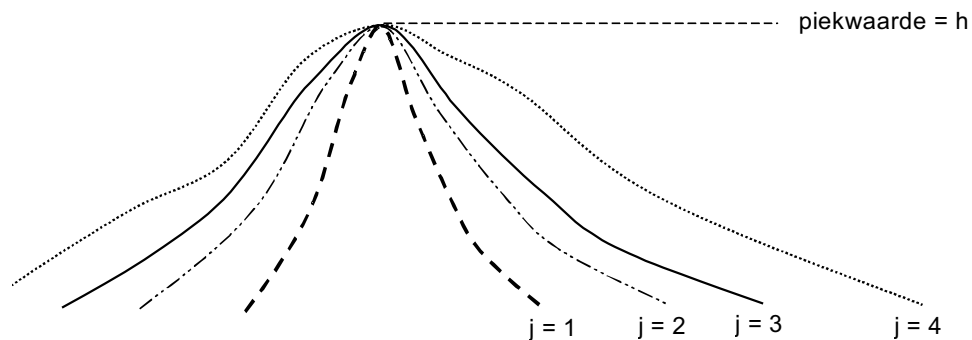
FORMULES VOOR MEERDERE WATERSTANDS- VERLOPEN

Deze bijlage geeft de uitbreiding van de formules uit hoofdstuk 1, daar gegeven voor één waterstandsverloop per piekwaarde h , voor meerdere waterstandsverlopen bij eenzelfde piekwaarde. Aan de orde komen:

- Berekening waterstandsfrequentielijn $F(y|b)$, zie Bijlage A.1.
- Berekening van de schade S , zie Bijlage A.2.

Een berekening wordt voor een beschouwd compartiment en een beschouwde inrichtingsvariant uitgevoerd. De setting is als volgt. Ter plaatse van breslocatie X worden bij gegeven piekwaarde h van de waterstand een aantal van N waterstandsverlopen beschouwd; zie Figuur A 1 ter illustratie, waarin 4 verlopen zijn weergegeven. Voor de benedenrivieren zullen bijvoorbeeld (maximaal) $j = 6$ verlopen worden beschouwd, terwijl voor de bovenrivieren (maximaal) $j = 3$ genomen zullen worden. Het j -de waterstandsverloop zal hierna worden aangeduid als “verlooptype j ”.

FIGUUR A-1: ENKELE WATERSTANDSVERLOPEN MET ELK PIEKWAARDE h , TER PLAATSE VAN X .



BIJLAGE A.1

WATERSTANDSFREQUENTIELIJN VOOR MEERDERE VERLOPEN

De formules voor het bepalen van de waterstandsfrequentielijn zijn inzichtelijker wanneer “continue” waterstanden h worden beschouwd in plaats van de “discrete” waterstanden h_i uit (4.2). Vandaar dat eerst de situatie voor continue h wordt beschouwd, en daarna pas de situatie voor de “discrete” waterstanden h_i .

Continue versie van de formules

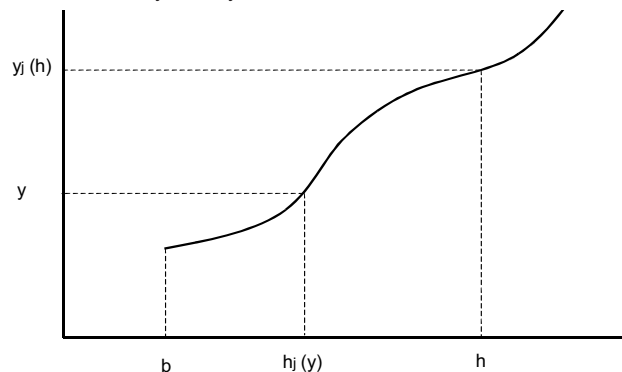
De notatie is als volgt

$$\begin{aligned}
 p_j(h) &= \text{kans op verlooptype } j \text{ bij gegeven piekwaarde } h \\
 f(h) &= -dF(h)/dh = \text{frequentiedichtheid} \\
 y_j(h) &= \text{maximale waterstand ter plaatse van } Y, \text{ afkomstig van} \\
 &\quad \text{verlooptype } j \text{ met piekwaarde } h \text{ bij } X \\
 h_j(h) &= \text{piekwaarde van verlooptype } j \text{ ter plaatse van } X \text{ dat bij} \\
 &\quad Y \text{ maximale waterstand } y \text{ oplevert}
 \end{aligned}
 \tag{B.2}$$

De laatste twee grootheden zijn (bij vaste j) in feite elkaars inverse. Figuur A 1 illustreert deze grootheden, waarbij de gekromde lijn de waterstand bij Y geeft als functie van de waterstand bij X . Deze waterstanden zijn feitelijk piekwaarden van waterstandsverlopen, maar hier en verderop wordt niet altijd meer gesproken over piekwaarden, indien uit de context duidelijk is wat de waterstand in kwestie voorstelt. Merk op dat de gekromde lijn in de figuur begint bij b , omdat voor lagere waterstanden dan b geen bres ontstaat en dus ook geen water ter plaatse van Y komt te staan.

Om de overschrijdingsfrequentie $F(y|b)$ te bepalen zal eerst deze grootte voor elke j apart worden bepaald. Introduceer daartoe de grootte $F(y,j|b)$, die de overschrijdings-frequentie geeft van de waterstand y ter plaatse van Y , in zoverre deze veroorzaakt wordt door verlooptype j , onder de aanname dat een bres bij X ontstaat indien de waterstand daar niveau b overschrijdt. De sommatie over $j = 1$ t/m N levert dan de gewenste $F(y|b)$.

FIGUUR A-2: ILLUSTRATIE VAN $y_j(h)$ EN $h_j(y)$.



Om $F(y, j | b)$ te bepalen wordt eerst beschouwd $y > y_j(b)$, welke niveaus in Figuur A-1 corresponderen met $h > b$ (voor dergelijke h vindt dus daadwerkelijk overstrooming plaats). Er geldt

$$F(y, j | b) = \int_{h_j(y)}^{\infty} p_j(h) f(h) dh \quad (\text{B.3})$$

Bedenk hierbij dat, vanwege de definitie van $f(h)$, $f(h)dh$ hier de frequentiebijdrage geeft van piekwaarden van waterstandsverlopen die zich bij X tussen h en $h+dh$ bevinden. Door deze frequentiebijdrage te vermenigvuldigen met $p_j(h)$ wordt het aandeel voor verlooptype j gevonden. Dat de ondergrens gelijk is aan $h_j(y)$ komt omdat slechts waterstanden bij X moeten worden beschouwd die ter plaatse van Y het niveau y overschrijden. Voor $y = y_j(b)$, oftewel het laagste punt van de gekromde lijn uit Figuur A-1, moet de ondergrens van de integraal in (B.3) gelijk worden genomen aan b . Voor $y < y_j(b)$ is de overschrijdingsfrequentie gelijk aan die behorende bij $y = y_j(b)$. Voor lagere waterstanden dan b , ter plaatse van X , zal immers geen overstrooming plaatsvinden, zodat niveaus $y < y_j(b)$ niet vaker worden overschreden dan het niveau $y = y_j(b)$. Voor willekeurige y kan (B.3) dus worden vervangen door

$$F(y, j | b) = \int_{\max\{b, h_j(y)\}}^{\infty} p_j(h) f(h) dh \quad (\text{B.4})$$

De “volledige” overschrijdingsfrequentie bij Y volgt dan door sommatie over j :

$$F(Y | b) = \sum_{j=1}^N F(y, j | b) \quad (\text{B.5})$$

Discrete versie van de formules

Voor concrete toepassingen zal de waterstand h gediscretiseerd worden volgens (4.2), welke formule is voor het gemak herhaald:

$$h_i = b + (i - 1) \cdot \Delta h, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{B.6})$$

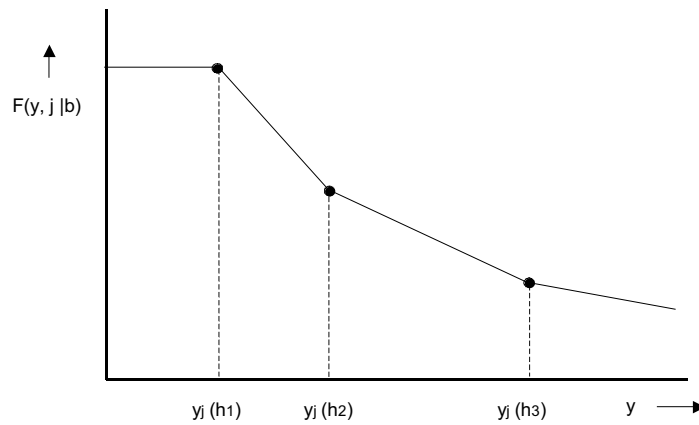
Bij een vast beschouwde waarde van j leveren deze waterstanden n verlopen op bij X , die kunnen worden doorgerekend met een waterstandsmodel, resulterend in n verlopen bij Y . Geef de piekwaarden bij Y aan met $y_j(h_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Volgens (B.4) kan van elk van deze piekwaarden dan de overschrijdingsfrequentie worden berekend, waarbij de ondergrens van de integraal dan (zoals eenvoudig valt na te gaan) vervangen kan worden door h_i . Vervolgens kan de integraal dan benaderd worden door een discrete sommatie. Aldus volgt

$$\begin{aligned} F(y_j(h_i), j | b) &= \int_{h_i}^{\infty} p_j(h) f(h) dh \\ &\cong \sum_{k=i}^{n-1} \left\{ p_j(h_k) [F(h_k) - F(h_{k+1})] \right\} + p_j(h_n) F(h_n) \end{aligned} \quad (\text{B.7})$$

waarbij voor de laatste herschrijving is aangenomen dat $p_j(h)$ weinig varieert voor h tussen h_k en h_{k+1} , zodat voor dergelijke h in benadering genomen mag worden $p_j(h) = p_j(h_k)$. Nu zijn dus (bij vaste j) de n getallen $F(y_j(h_i), j | b)$, $i = 1$ t/m n , bekend. Door interpolatie kan $F(y, j | b)$ dan voor willekeurige y worden bepaald. Nu aldus voor iedere j de grootte $F(y, j | b)$ bekend is, kan (B.5) worden toegepast om de overschrijdingsfrequentie $F(y | b)$ te bepalen, waarmee de waterstandsfrequentielijn voor meerdere verlopen bekend is.

Opmerking over benadering van $p_j(h_i)$

De discrete versies van bovenstaande formules vereisen dat iedere $p_j(h_i)$ bekend is. Het vermoeden bestaat dat, bij vaste j , deze grootte niet sterk afhangt van h_i . In dat geval zou als benadering kunnen worden genomen $p_j(h_i) = p_j$, met p_j dan berekend voor de waterstand gelijk aan het toetspeil, dus $p_j = p_j(h = TP)$. De berekening van bovenstaande formules wordt dan iets simpeler. In een concrete toepassing moet worden gecontroleerd, bijvoorbeeld door een gevoeligheidsanalyse, of de genoemde benadering gerechtvaardigd is.

FIGUUR A-3: WEERGAVE VAN DE OVSCHRIJDINGSFREQUENTIE $F(y, j | b)$.

BIJLAGE A.2

SCHADE

Bij een beschouwde IRV moet de schade kunnen worden berekend, waarvoor hier de formules volgen. Eerst wordt de formule gegeven voor slechts één waterstandsverlooptype, voor continu zowel als discrete waterstanden h . Daarna volgt het geval voor meerdere verlooptypes voor continue zowel als discrete waterstanden h . De berekende schade S is de schade die optreedt ingeval daadwerkelijk sprake is van een bres. (Wiskundig wordt hier de verwachtingswaarde van de schade bedoeld, *conditioneel op het optreden van een bres*.)

Eén waterstandsverloop per piekwaarde h

Neem eerst een continu bereik van waterstanden aan bij breslocatie X . Het uitgangspunt is dat voor ieder waterstandsverloop met piekwaarde h , met behulp van een schademodel als HIS-SSM, de schade kan worden berekend. Deze is aangegeven met $s(h)$. Uiteraard zal die schade per IRV anders uitpakken. Dan kan de schade S worden berekend als:

$$S = \int_b^{\infty} s(h) \frac{f(h)}{F(b)} dh$$

Deze formule spreekt tamelijk voor zich; de factor $F(b)$ in de noemer van de integrand is het gevolg van het feit dat de schade *conditioneel* op het optreden van een bres wordt berekend.

Neem nu discrete waterstanden h_i aan. Dan kan S worden berekend volgens:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{s(h_i) + s(h_{i+1})}{2} \frac{F(h_i) - F(h_{i+1})}{F(b)} \right\} + s(h_n) \frac{F(h_n)}{F(b)} \quad (\text{B.8})$$

De grootheid $[F(h_i) - F(h_{i+1})]/F(b)$ stelt, conditioneel op het optreden van een bres, de kans voor op een waterstand h in de 'klasse' $[h_i + h_{i+1}]$, terwijl $[s(h_i) + s(h_{i+1})]/2$ de schade corresponderend met deze klasse geeft. Door deze schades te wegen met de frequenties van de klassen, volgt dan de gemiddelde schade S . De laatste term in (B.8) is een "restklasse", die een wat afwijkende vorm heeft; de sommatie over de klassen loopt dan ook slechts tot $n-1$. Indien h_n voldoende hoog is gekozen levert die klasse praktisch geen bijdrage aan de sommatie.

Meerdere waterstandsverlopen per piekwaarde h

Beschouw eerst een continu bereik van waterstanden bij X . De schade kan, voor waterstandsverlooptype j , weer worden bepaald met behulp van een schademodel; geef die schade aan met $s_j(h)$. De formule voor de schade S luidt dan

$$S = \sum_{j=1}^N \int_b^{\infty} p_j(h) s_j(h) \frac{f(h)}{F(b)} dh \quad (\text{B.9})$$

Voor discrete waterstanden h_i volgt

$$S \cong \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^{n-1} \left\{ p_j(h_i) \frac{s_j(h_i) + s_j(h_{i+1})}{2} \frac{F(h_i) - F(h_{i+1})}{F(b)} \right\} + p_j(h_n) s_j(h_n) \frac{F(h_n)}{F(b)} \right) \quad (\text{B.10})$$

BIJLAGE B

SCHADEMODULE HIS-SSM

Deze bijlage beschrijft de belangrijkste onderdelen van de schademodule HIS-SSM.

SCHADECATEGORIEËN EN MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN

TABEL B-1: SCHADECATEGORIEËN EN MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN [Kok et al, 2001]

	Schadecategorie	Eenheid	Maximaal schadebedrag (€)	Bestand
Grondgebruik	Landbouw direct	m ²	1.50	CBS bodemgebruik
	Landbouw indirect	m ²	1.60	CBS bodemgebruik
	Glastuinbouw direct	m ²	40.10	CBS bodemgebruik
	Glastuinbouw indirect	m ²	4.00	CBS bodemgebruik
	Stedelijk gebied direct	m ²	48.60	CBS bodemgebruik
	Intensieve recreatie direct	m ²	10.90	CBS bodemgebruik
	Extensieve recreatie direct	m ²	8.90	CBS bodemgebruik
	Vliegvelden direct	m ²	1 197	CBS bodemgebruik
	Vliegvelden b.u.	m ²	36	CBS bodemgebruik
Infrastructuur	Rijkswegen direct	m	1 450	NWB
	Rijkswegen indirect	m	650	NWB
	Autowegen	m	980	NWB
	Overige wegen	m	270	NWB
	Spoorwegen direct	m	25 150	Spoor_NS
	Spoorwegen indirect	m	86	Spoor_NS
	Spoorwegen b.u.	m	151	Spoor_NS
Huishoudens	Laagbouwwoning	stuk	172 000	Bridgis woningtypen
	Middenbouwwoning	stuk	172 000	Bridgis woningtypen
	Hoogbouwwoning	stuk	172 000	Bridgis woningtypen
	Eengezinswoning	stuk	241 000	Bridgis woningtypen
	Boerderij	stuk	402 000	Bridgis woningtypen
	Voertuigen	stuk	1 070	bewerkt Bridgis personenbestand
Bedrijven	Delfstofwinning direct	abp	1 820 000	D&B
	Delfstofwinning indirect	abp	116 000	D&B
	Delfstofwinning b.u.	abp	84 000	D&B
	Industrie direct	abp	279 000	D&B
	Industrie indirect	abp	70 000	D&B
	Industrie b.u.	abp	62 000	D&B
	Nutsbedrijven direct	abp	620 000	D&B
	Nutsbedrijven indirect	abp	163 000	D&B

	Schadecategorie	Eenheid	Maximaal schadebedrag (€)	Bestand
	Nutsbedrijven b.u.	abp	112 000	D&B
	Bouw direct	abp	10 000	D&B
	Bouw indirect	abp	26 000	D&B
	Bouw b.u.	abp	45 000	D&B
	Handel, horeca direct	abp	20 000	D&B
	Handel, horeca indirect	abp	3 500	D&B
	Handel, horeca b.u.	abp	7 500	D&B
	Banken, verzekeringen direct	abp	90 000	D&B
	Banken, verzekeringen indirect	abp	7 000	D&B
	Banken, verzekeringen b.u.	abp	14 000	D&B
	Transport, communicatie direct	abp	75 000	D&B
	Transport, communicatie indirect	abp	6 400	D&B
	Transport, communicatie b.u.	abp	11 200	D&B
	Zorg, overige direct	abp	20 000	D&B
	Zorg, overige indirect	abp	6 300	D&B
	Zorg, overige b.u.	abp	3 400	D&B
	Overheid direct	abp	60 000	D&B
	Overheid indirect	abp	2 200	D&B
	Overheid b.u.	abp	9 200	D&B
Overig	Gemalen	stuk	747 200	WIS
	Zuiveringsinstallatie	stuk	10 853 000	WIS

SCHADEFACTOREN

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i n_i S_i$$

De algemeen gebruikte formule om de overstromingsschade te berekenen is:

met α_i = schadefactor categorie i
 n_i = aantal eenheden in categorie i
 S_i = maximale schade per eenheid in categorie i

Navolgend zijn voor de verschillende categorieën de schadefactoren weergegeven, die worden toegepast bij het bepalen van de schade in HIS-SSM volgens [Kok et al, 2001]. Voor een nadere toelichting op de schadefactoren zie [Kok et al, 2001].

De in de functies gebruikte parameters zijn:

- d = overstromingsdiepte (m)
- u = stroomsnelheid (m/s)
- u_{kr} = kritieke stroomsnelheid (m/s)

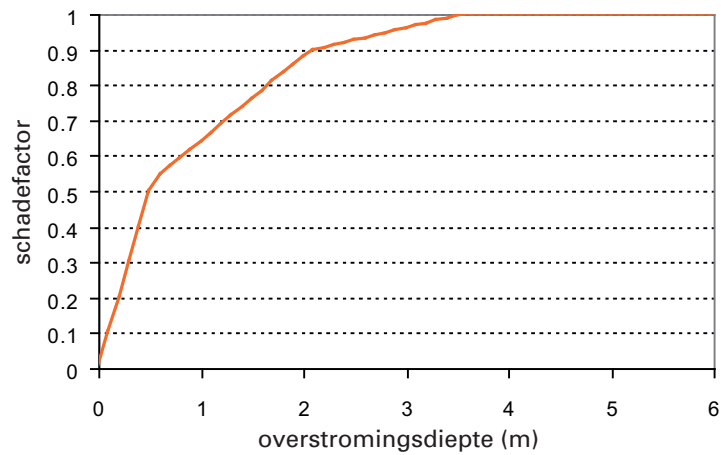
- w = stijgsnelheid (m/uur)
- β = materiaalfactor
- r = beschuttingsfactor
- s = aanwezigheid van storm(golven)

Landbouw en recreatie en vliegvelden

De schadefactor voor landbouw, recreatieterreinen en vliegvelden is:

$$\alpha_{\text{landbouw en recreatie}} = \text{MIN}(d, 0.24d + 0.4, 0.07d + 0.75, 1)$$

FIGUUR B-1: SCHADEFACTOR LANDBOUW EN RECREATIE

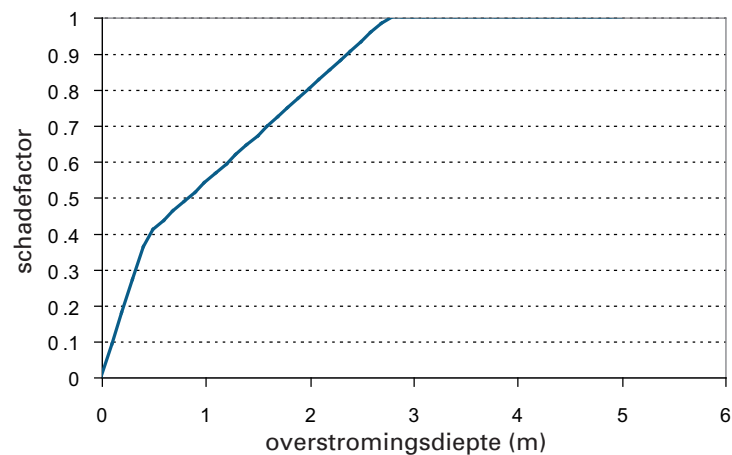


Gemalen

De schadefactor voor gemalen is:

$$\alpha_{\text{gemalen}} = \text{MIN}(0.9d, 0.26d + 0.28, 1)$$

FIGUUR B-2: SCHADEFACTOR GEMALEN

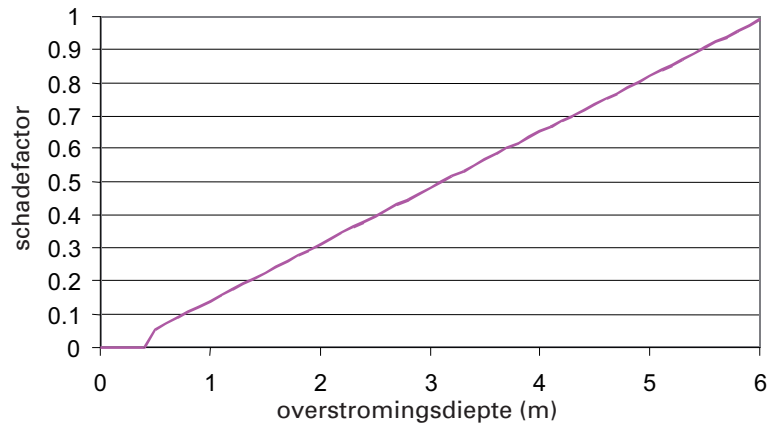


Voertuigen

De schadefactor voor voertuigen is:

$$\alpha_{\text{voertuigen}} = \text{MIN}(0.17d - 0.03, 0.72d - 0.3, 0.31d + 0.1, 1)$$

FIGUUR B-3: SCHADEFACTOR VOERTUIGEN

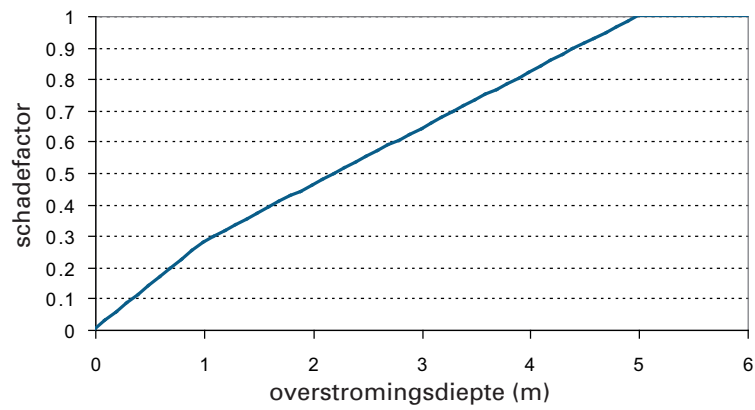


Wegen en spoorwegen

De schadefactor voor wegen en spoorwegen is:

$$\alpha_{\text{wegen en spoorwegen}} = \text{MIN}(0.28d, 0.18d + 0.1, 1)$$

FIGUUR B-4: SCHADEFACTOR WEGEN EN SPOORWEGEN

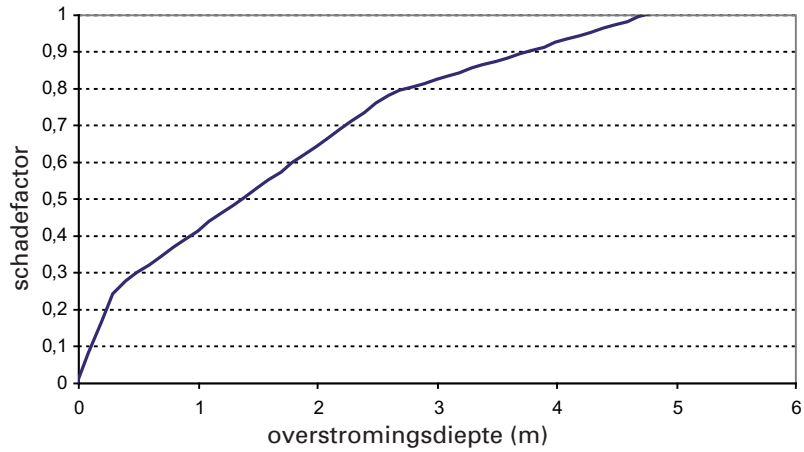


Gas- en waterleidingen

De schade factor voor gas- en waterleidingen is:

$$\alpha_{\text{gas en waterleidingen}} = \text{MIN}(0.8d, 0.23d + 0.18, 0.10d + 0.52, 1)$$

FIGUUR B-5: SCHADEFACTOR GAS EN WATERLEIDINGEN

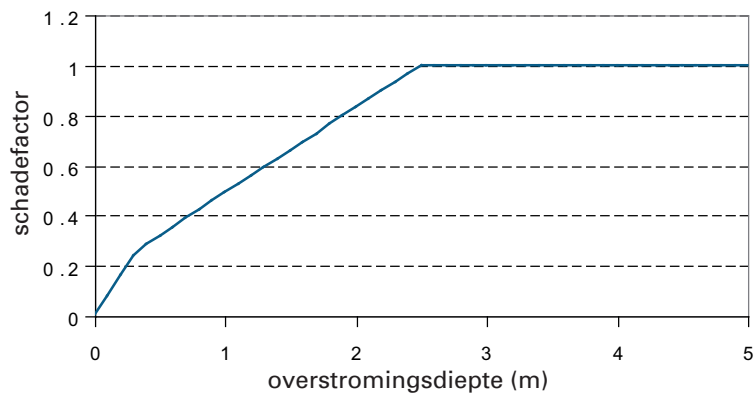


Elektra en communicatie(systemen)

De schade factor voor elektra- en communicatiesystemen is:

$$\alpha_{\text{elektraencommunicatie}} = \text{MIN}(0.8d, 0.34d + 0.15, 1)$$

FIGUUR B-6: SCHADEFACTOR ELEKTRA- EN COMMUNICATIESYSTEMEN

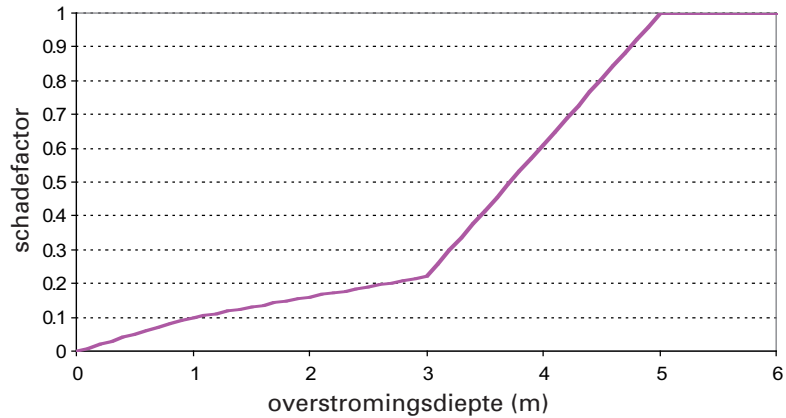


Bedrijven

De schadefactor voor bedrijven is:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{bedrijven}} &= 0.1d && \text{voor } d = [0,1] \\ &= 0.06d + 0.04 && \text{voor } d = (1,3] \\ &= 0.39d - 0.95 && \text{voor } d = (3,5] \\ &= 1 && \text{voor } d > 5 \end{aligned}$$

FIGUUR B-7: SCHADEFACTOR BEDRIJVEN



Woningen

De totale schadefactor voor woningen (op basis van overstromingsdiepte en stroomsnelheid en kans op instorten door storm) wordt als volgt bepaald:

$$\alpha = P_{\text{f bij storm}} * 1 + (1 - P_{\text{f bij storm}}) * \alpha(d, u)$$

met:

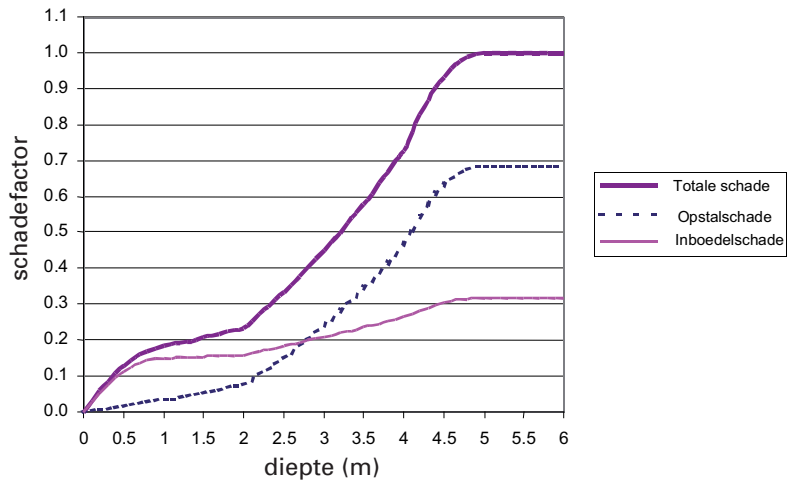
$\alpha(d, u)$ = schadefactor op basis van overstromingsdiepte en stroomsnelheid

$P_{\text{f bij storm}}$ = kans op falen bij storm

Eengezinswoningen en boerderijen

De schadefactor voor eengezinswoningen en boerderijen heeft zowel betrekking op de schade aan de woning (opstalschade) als de schade aan de inboedel.

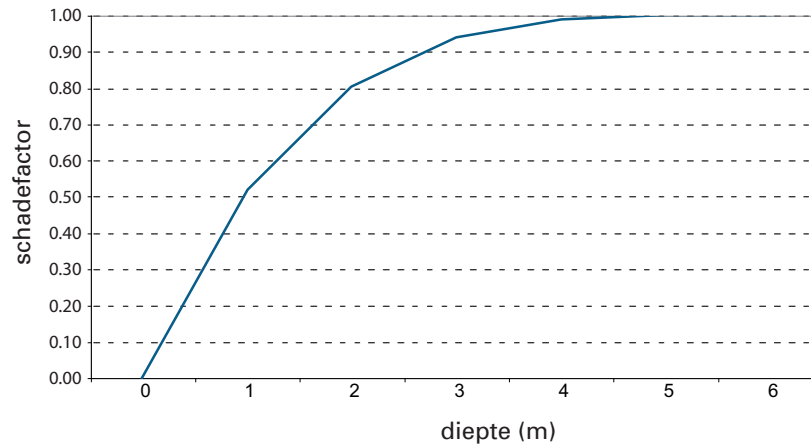
FIGUUR B-8: SCHADEFACTOR EENGEZINSWONINGEN EN BOERDERIJEN (GEEN STORM OF STROMING)



Laagbouwwoningen

De schadefactor voor laagbouwwoningen heeft zowel betrekking op de schade aan de woning (opstalschade) als de schade aan de inboedel.

FIGUUR B-9: SCHADEFACTOR LAAGBOUWWONINGEN (GEEN STORM OF STROMING)



Middenbouwwoningen

De schadefactor voor middenbouwwoningen heeft zowel betrekking op de schade aan de woning (opstalschade) als de schade aan de inboedel.

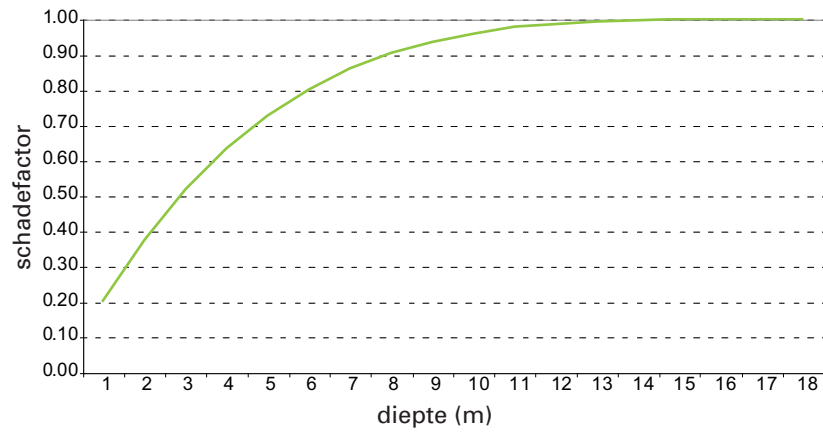
FIGUUR B-10: SCHADEFACTOR MIDDENBOUWWONINGEN (GEEN STORM OF STROMING)



Hoogbouwwoningen

De schadefactor voor hoogbouwwoningen heeft zowel betrekking op de schade aan de woning (opstalschade) als de schade aan de inboedel.

FIGUUR B-11: SCHADEFACTOR HOOGBOUWWONINGEN (GEEN STORM OF STROMING)

**LITERATUUR**

[Kok et.al, 2001]

Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen.

SHOWCASE KUST:
MIDDELDIJK, HOLLANDSE DELTA

Opdrachtgever:
STOWA

Uitwerking showcase kust

Middeldijk

Auteurs: S. Groot
B. Kolen

Inhoud

Lijst van tabellen	ii
Lijst van figuren	iii
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden	1
1.4 Werkwijze	2
1.5 Leeswijzer	2
2 Gebiedsbeschrijving	3
2.1 Dijkkring	3
2.2 Overstromingsmodel.....	3
3 Randvoorwaarden en gebeurtenissen	5
3.1 Breslocaties	5
3.2 Gebeurtenissen	6
3.3 Scenario's Middeldijk.....	7
3.4 Bresgroei.....	8
3.5 Resumé.....	8
4 Resultaten	9
4.1 Resultaten overstromingsmodel	9
4.2 Waterstandfrequentielijnen	12
4.3 Schade en Slachtoffers.....	15
4.4 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers	17
5 Normering	20
5.1 Conditionele kans	20
5.2 Kosten-baten	21
5.2.1 Baten	21
5.2.2 Kosten	22
5.2.3 Netto contante waarde.....	23
5.3 Evaluatie normeringmethoden.....	23
6 Compartimenteringdijk op normhoogte	25
6.1 Schade en slachtoffers	25
6.2 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers	27
6.3 Conclusie extra berekeningen	28
7 Conclusies en aanbevelingen	29
7.1 Toepasbaarheid Leidraad	29
7.2 Overstromingen en schade en slachtofferpatroon	29
7.3 Normering	29
7.4 Aanbevelingen	30
8 Referenties	31

Lijst van tabellen

Tabel 3-1	Verschillende gebruikte golven, met hun piekwaterstanden en frequentie per breslocatie (TP is toetspeil en D is decimeringhoogte).....	7
Tabel 3-2	Overzicht van alle overstromingsberekeningen	8
Tabel 4-1	Hoogtes van de uitvoerlocaties	12
Tabel 4-2	Schade in miljoenen euro's en slachtoffers per gebeurtenis, uitgesplitst naar Goeree Overflakkee West en Goeree Overflakkee Oost en in totaal, per scenario na een doorbraak bij Flauwe Werk (voor scenario's zie paragraaf 3.3).....	16
Tabel 4-3	Schade in miljoenen euro's en slachtoffers per gebeurtenis, naar Goeree Overflakkee West en Goeree Overflakkee Oost en in totaal, per scenario, na een doorbraak bij Kwade Hoek (voor scenario's zie paragraaf 3.3).....	16
Tabel 4-5	Bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Flauwe Werk, in procenten.....	19
Tabel 4-6	Bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Kwade Hoek, in procenten	19
Tabel 5-1	Conditionele kans afhankelijk van voorkomen overstromingsschade	20
Tabel 5-2	Contante waarde (CW) in miljoenen euro's, uitgerekend over een tijdshorizon van 50 jaar en een oneindige tijdshorizon.....	22
Tabel 5-3	Aangenomen parameterwaarden in kosten bepaling dijkophoging	22
Tabel 5-4	De aangenomen investeringskosten voor dijkophoging	22
Tabel 5-5	De berekening van de netto contante waarde (NCW) van dijkophoging, voor een doorbraak bij Flauwe Werk en bij Kwade Hoek	23
Tabel 6-1	Schade en slachtoffers wanneer de Middeldijk op NAP +4 m hoog is vergeleken met schade en slachtoffers in scenario's Hoog en Huidig, na een doorbraak bij Flauwe Werk.....	26
Tabel 6-2	Schade en slachtoffers wanneer de Middeldijk op NAP +4 m hoog is vergeleken met schade en slachtoffers in scenario's Hoog en Huidig, na een doorbraak bij Kwade Hoek.	26

Lijst van figuren

Figuur 2-1	De Middeldijk, gelegen in dijkkring 25, Goeree Overflakke	3
Figuur 2-2	Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei (aangepast uit de Sobek help file)	4
Figuur 3-1	Deel van dijkkring 25, met daarin de Middeldijk en de breslocaties	5
Figuur 3-2	De vier golven met verschillende hoogtes (TP, TP+2/3D etc.) die zijn opgelegd op de Noordzee bij Flauwe werk	6
Figuur 3-3	De vier golven met verschillende hoogtes (TP, TP+2/3D etc.) die zijn opgelegd op de Noordzee bij Kwade Hoek	7
Figuur 4-1	Aanwezige kernen in het overstromingsgebied	9
Figuur 4-2	Overstromingspatroon na een doorbraak bij Flauwe Werk, piekwaterstand is TP+2D en het dijksceario is Huidig (compartimenteringdijk bezwijkt niet)	10
Figuur 4-3	Overstromingspatroon bij dijksceario Hoog, voor beide doorbraaklocaties, piekwaterstand is TP	11
Figuur 4-4	Overstromingspatroon bij dijksceario geen, voor beide doorbraaklocaties, piekwaterstand is TP+4/3D	11
Figuur 4-5	Locaties van uitvoerpunten op en rond de Middeldijk (locaties 1, 4, 7 etc. liggen ten westen van de dijk, locaties 2, 5, 8 etc. liggen op de dijk en locaties 3, 6, 9 etc liggen ten oosten van de dijk)	12
Figuur 4-6	Waterstanden en hun herhalingstijd als gevolg van doorbraken bij Flauwe Werk, sceario Huidig (voor locaties van de meetpunten (nr.), zie Figuur 4-5)	14
Figuur 4-7	Waterstanden en hun herhalingstijd als gevolg van doorbraken bij Kwade Hoek, sceario Huidig (voor locaties van de meetpunten (nr.), zie Figuur 4-5)	14
Figuur 4-8	Staadtdiagram van de totale hoeveelheid (dus west en oost opgeteld) jaarlijks verwachte schade en slachtoffers na een doorbraak bij Flauwe Werk en na een doorbraak bij Kwade Hoek, voor de verschillende sceario's (zie paragraaf 3.3)	18
Figuur 6-1	Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers voor een doorbraak bij Flauwe werk en Kwade Hoek, alle vijf sceario's.	27

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Door de STOWA wordt onderzoek gedaan naar een uniforme methodiek voor het toekennen van veiligheidsnormen aan compartimenteringdijken in Nederland. Compartimenteringdijken zijn waterkeringen die binnen een dijkkring liggen en normaal gesproken geen water keren. De functie van de compartimenteringdijk is erop gericht om water (gedeeltelijk) te keren in geval van een overstroming door een bres in een primaire waterkering. De compartimenteringdijk heeft als zodanig dan ook veelal effect op de schade en slachtoffers binnen een gebied. Hierbij wordt opgemerkt dat het mogelijk is dat een compartimenteringdijk van verschillende zijden wordt belast, hiervoor is de locatie van de doorbraak bepalend. Naast de doorbraaklocatie is ook de situatie op zee, rivier of meer bepalend voor de grootte van de belasting.

In opdracht van de STOWA is door HKV [LIJN IN WATER](#) een eerste opzet van de Leidraad Compartimenteringdijken opgesteld (Geerse et al., 2006), deze eerste opzet van de Leidraad is vastgesteld door de STOWA. Op basis van deze leidraad zijn reeds vier zogenaamde showcases uitgevoerd:

- Flevoland (meren)
- Zeeland (kust)
- Zuid-Holland (benedenrivieren)
- Gelderland (bovenrivieren)

Om meer informatie te krijgen met betrekking tot de uiteindelijk te hanteren normklassen worden extra showcases uitgevoerd:

- Zuid-Holland, Goeree Overflakkee (kust)
- Fryslan, 2 maal (kust)
- West Friesland (meren)

Deze rapportage beschrijft de uitvoering van de showcase Goeree Overflakkee.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is als volgt:

‘Het toepassen van de Leidraad compartimentering op de showcase Goeree Overflakkee (kustgebied) en het leveren van een bijdrage aan de evaluatie van de genoemde leidraad.’

Dit wordt gedaan voor de Middeldijk. Dit is een compartimenteringdijk in dijkkring 25 (Goeree Overflakkee), in de provincie Zuid-Holland.

1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

- In het hier gepresenteerde onderzoek zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd:

- Er is gewerkt met een bestaand overstromingsmodel van dijkkring 25 (model is eigendom van de provincie Zuid-Holland).
- De hoogte van de buitenwaterstand is bepaald met de voor dit gebied geldende hydra module (Hydra-K). Voor het verloop van de waterstand hebben we gebruik gemaakt van het waterstandsverloop dat wordt gebruikt bij de toetsing van de waterkeringen.
- Bij het opstellen van de golven op het buitenwater is aangenomen dat de buitenwaterstand niet daalt door bresvorming en overstroming van de dijkkring.
- De schade- en slachtofferberekeningen zijn uitgevoerd met HIS-SSM versie 2.2.
- Bij de schade- en slachtofferberekeningen is uitgegaan van stijgsnelheid van het water en uiteindelijke waterdiepte in het overstroomde gebied. Met stroomsnelheid van het water en eventuele evacuatie wordt geen rekening gehouden.
- De schade en slachtoffers zijn afzonderlijk bepaald voor de gebieden aan weerszijden van de compartimenteringdijk.
- Voor de kosten van dijkophoging is de methode die door de Bouwdienst binnen VNK is uitgewerkt, toegepast.

1.4 Werkwijze

De werkwijze volgt vrijwel geheel het stappenplan van de Leidraad (Geerse et al., 2006). Ze omhelst de volgende stappen:

1. Gegevensverzameling en model initialisatie;
2. Bepaling functie compartimenteringdijk;
3. Bepaling breslocatie(s);
4. Uitwerken gebeurtenissen en randvoorwaarden berekening;
5. Bepalen overschrijdingsfrequentie van waterstand bij compartimenteringdijk;
6. Bepalen schade en slachtoffers;
7. Indeling in normklassen volgens voorstellen Leidraad.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden het onderzoeksgebied en het model waarmee de overstromingen gesimuleerd zijn beschreven. In hoofdstuk 3 volgt een bespreking van alle randvoorwaarden (als breslocatie, opgelegde golf en dijkscenario). Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten besproken. Dit omvat de resultaten van de overstromingsmodellering, de hieruit afgeleide waterstandsfrequentielijnen aan weerszijden van de compartimenteringdijk, de hoeveelheden schade en aantallen slachtoffers en de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers. In hoofdstuk 5 wordt de normering zoals voorgesteld in de Leidraad uitgewerkt, waarop een evaluatie van de normeringmethode volgt. In hoofdstuk 6 is een extra case uitgewerkt met Middeldijk op de hoogte die volgt uit de normering op conditionele kans. In hoofdstuk 7 volgen de conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Dijkkring

Dijkkring 25 is gelegen in de provincie Zuid-Holland. De dijkkring omvat het gehele eiland Goeree Overflakkee (Figuur 2-1) en is omsloten door de Noordzee, het Haringvliet, Het Hellegat, Het Krammer Volkerak en het Grevelingen meer. De primaire keringen langs de hele kust zijn gedimensioneerd op de veiligheidsnorm van 1/4000 jaar (overschrijdingskans van de waterstand), zoals vastgelegd in de wet op Waterkering. De dijkkring heeft een oppervlak van 236 km² en telt ruim 46 500 inwoners.

De Middeldijk ligt op het westelijke deel van het eiland, is noord-zuid georiënteerd en ongeveer 4 km lang (Figuur 2-1). Aan de noordkant sluit de Middeldijk aan op de Middelduinen met een hoogte van circa NAP +5,0 m. Deze duinen sluiten aan op de Oostduinen (zeewering) met een hoogte van minimaal NAP +9,8 m. Aan de zuidkant sluit de Middeldijk aan op de Zuidzeedijk, welke circa NAP +5,0 tot +5,8 m hoog is. De Middeldijk zelf varieert in hoogte van NAP +2,2 tot +3,2 m. De Middeldijk verdeelt Goeree Overflakkee in een westelijk (west) en een oostelijk compartiment (oost), deze zijn respectievelijk 24 en 213 km² in oppervlak en tellen circa zes duizend en ruim 40 duizend inwoners.



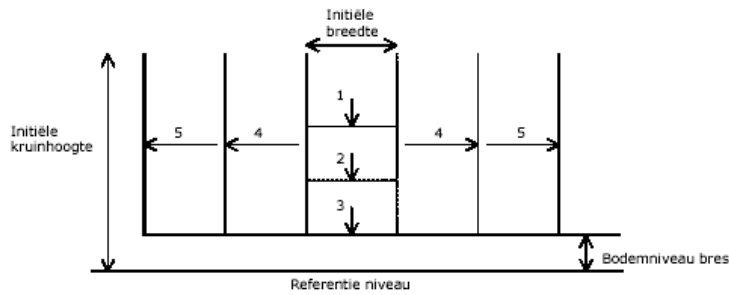
Figuur 2-1 De Middeldijk, gelegen in dijkkring 25, Goeree Overflakkee

2.2 Overstromingsmodel

Het modelleren van de overstromingen is gedaan in een reeds bestaand overstromingsmodel van dijkkring 25 (Wouters, 2005). Dit is een SOBEK model met de modules channel flow en overland flow. Het model is gemaakt in Sobek versie 2.09.015 en voor de hier gepresenteerde berekeningen omgezet naar versie 2.10.003.

De schematisatie van het model bestaat uit een grid met een resolutie van 100*100 m waarin de maaiveldhoogte is opgenomen. Hieraan is een ruwheidsgrid met dezelfde resolutie gekoppeld. Voor het simuleren van een overstroming, wordt een buitenwaterstandsverloop opgelegd aan een specifieke locatie op de primaire kering. Voor deze locatie geldt dat er een bres ontstaat zodra de buitenwaterstand het toetspeil overschrijdt. Deze bres groeit vervolgens afhankelijk van het materiaal van de dijk en het verschil tussen de binnen- en

buitenwaterstand. De bresgroei wordt gemodelleerd volgens de formule van Verheij-vdKnaap (2002, Sobek help file). Het verloop van de bresgroei is in stappen; de bres groeit eerst in drie stappen in de diepte, daarna in twee stappen in de breedte (Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei (aangepast uit de Sobek help file)

De specifieke randvoorwaarden die in het model zijn gehanteerd en de gebeurtenissen die zijn gemodelleerd worden toegelicht in Hoofdstuk 3.

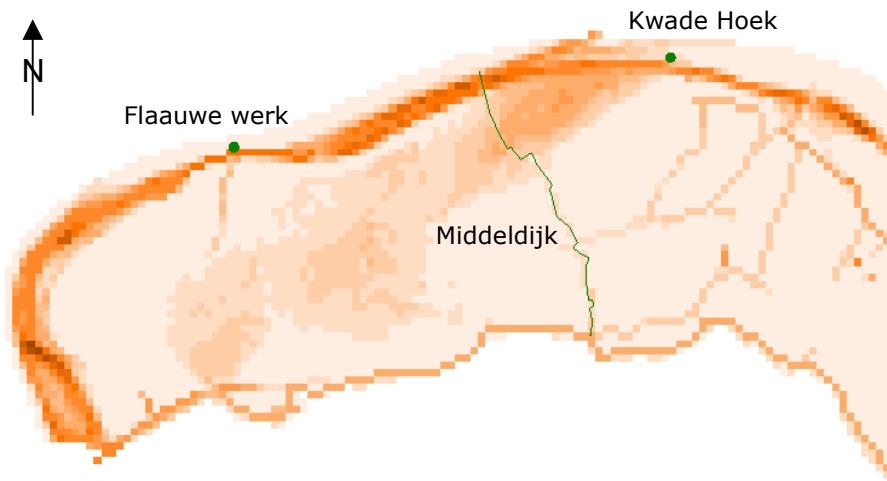
3 Randvoorwaarden en gebeurtenissen

3.1 Breslocaties

Zowel een westelijke belasting als een oostelijke belasting van de Middeldijk wordt gemodelleerd. Beide belastingen zijn het gevolg van een doorbraak vanuit de Noordzee.

In overleg met de provincie Zuid Holland zijn twee breslocaties in de primaire kering vastgesteld. Deze locaties zijn maatgevend voor de belasting vanuit het westen en oosten van de compartimenteringdijk. Deze locaties zijn (zie ook Figuur 3-1):

1. Flauwe Werk
2. Kwade Hoek



Figuur 3-1 Deel van dijkkring 25, met daarin de Middeldijk en de breslocaties

Flauwe Werk is een zwakke schakel in dijkkring 25. De duinenrij is hier onderbroken en er is een zanddijk met bitumenverharding aangelegd. Hier overheen is zand aangelegd, om de dijk een natuurlijker uitstraling te geven. Op deze zwakke schakel wordt een breslocatie voorzien. De bres is voorzien op de locatie waar de Lange Dijk aansluit op het Flauwe Werk. In navolging van eerder onderzoek (Wouters, 2006) zal aan beide zijden van de Lange dijk een bres groeien. Het achterland ligt rond NAP +1,0 m. Voor deze bres zijn de eigenschappen van een zanddijk aangenomen.

Kwade Hoek is een natuurreserveaat voor de kust van Goeree Overflakkee. De zeewering wordt hier gevormd door de Oostduinen, deze variëren in hoogte tussen NAP +6,3 en +9,5 m. De achterliggende polder ligt tussen NAP -0,2 en +0,7 m. Ook voor deze bres zijn de eigenschappen van een zanddijk aangenomen.

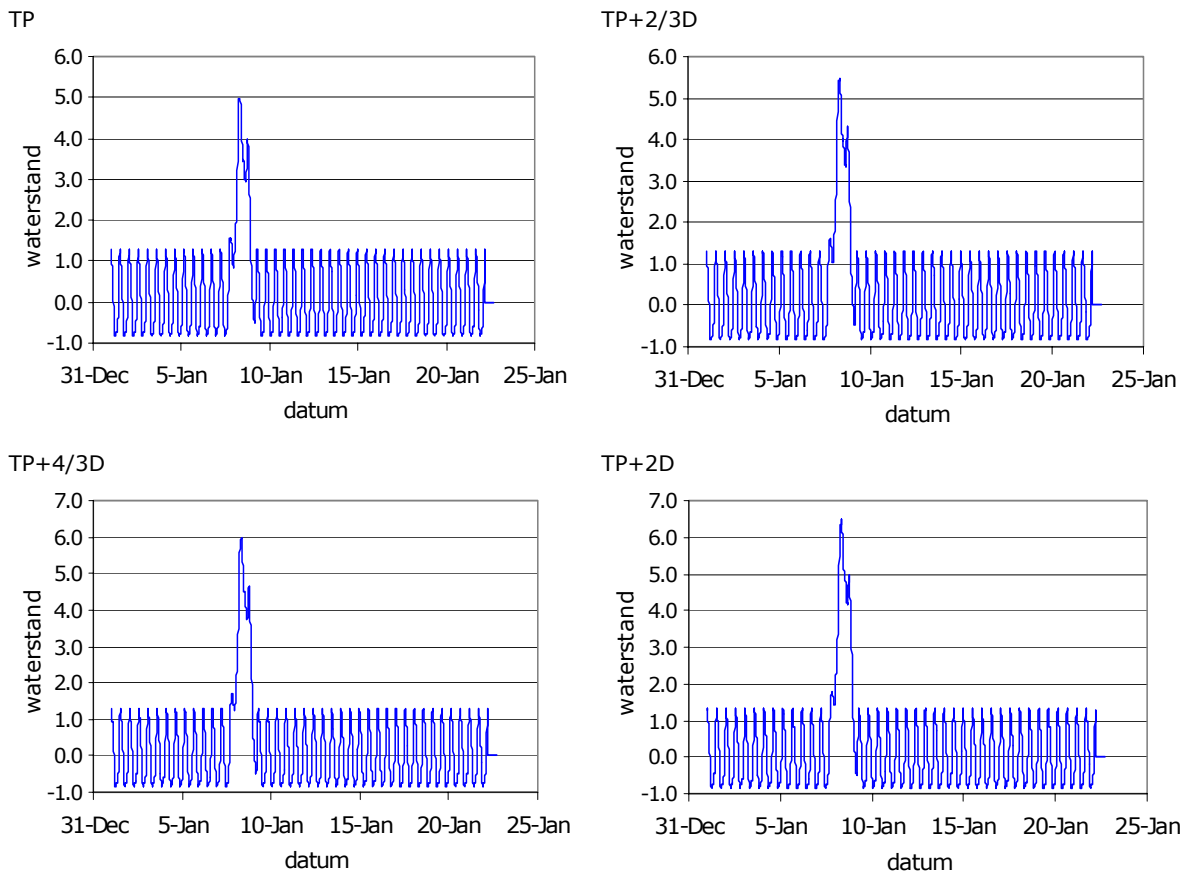
3.2 Gebeurtenissen

De randvoorwaarden van de opgelegde golven zijn opgesteld conform de leidraad. Voor de kust geldt dat piekwaterstanden optreden als gevolg van stormopzet. Het waterstandsverloop dat tot de piekwaterstand leidt is een sommatie van het astronomisch getij en een storm van 33 uur.

Er zijn vier verschillende piekwaterstanden bepaald, oplopend van toetspeil (veiligheidsnorm van de waterkering) naar toetspeil plus twee keer de decimeringhoogte¹. Het toetspeil heeft een overschrijdingsfrequentie van 1:4000. De decimeringhoogte (D) is het verschil in waterstand tussen twee waterstandniveaus die een factor 10 verschillen in overschrijdingsfrequentie. Het toetspeil en de decimeringhoogte voor de breslocaties zijn:

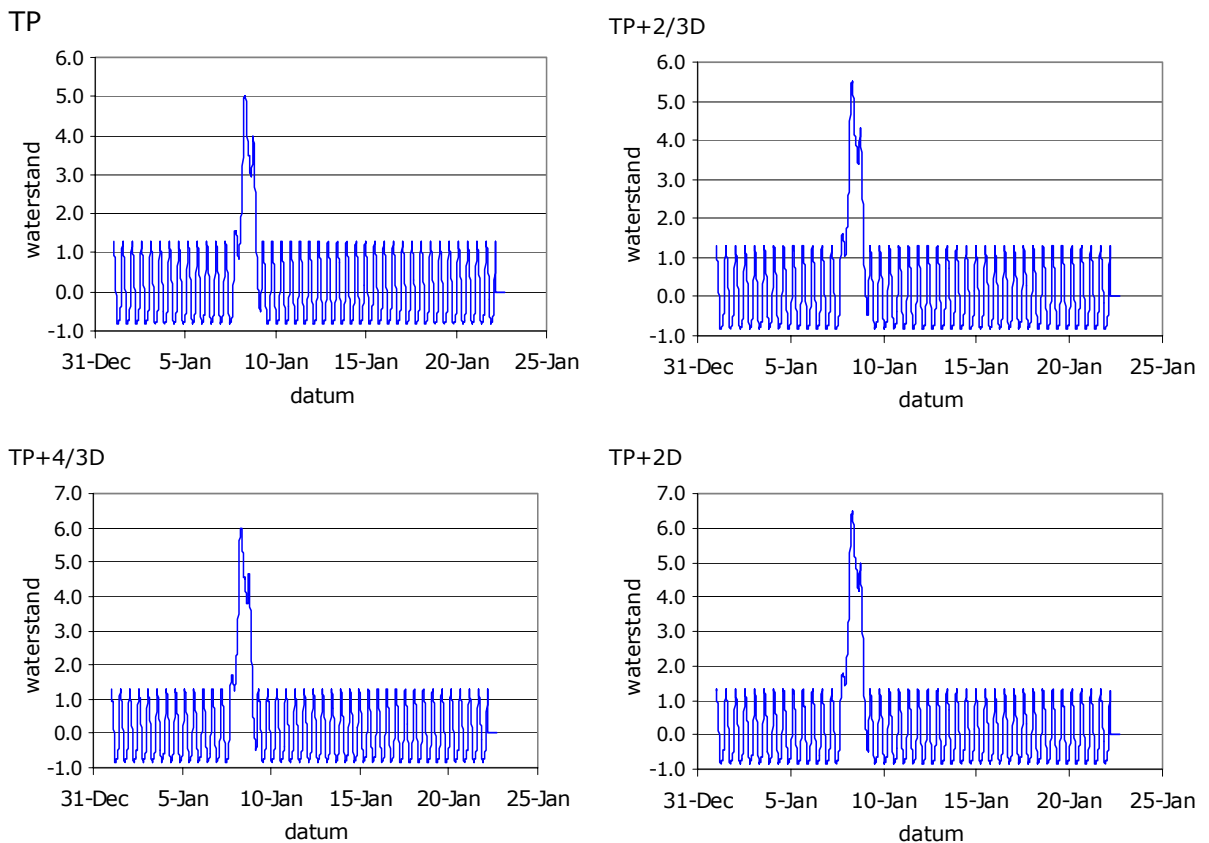
- Flauwe Werk Toetspeil = NAP + 4,97 m; Decimeringhoogte = 0,50 m.
- Kwade Hoek Toetspeil = NAP + 5,00 m; Decimeringhoogte = 0,50 m.

De golven worden gepresenteerd in Figuur 3-2 en Figuur 3-3. In Tabel 3-1 zijn de bijbehorende piekwaterstanden en overschrijdingsfrequenties gegeven.



Figuur 3-2 De vier golven met verschillende hoogtes (TP, TP+2/3D etc.) die zijn opgelegd op de Noordzee bij Flauwe werk

¹ Met het begrip decimeringshoogte wordt een relatie gelegd met het beschermingsniveau. Eenmaal de decimeringshoogte betekent dat de kans een factor 10 verandert, in dit geval kleiner wordt. Tweemaal de decimeringshoogte betekent een afname van de kans met een factor 100.



Figuur 3-3 De vier golven met verschillende hoogtes (TP, TP+2/3D etc.) die zijn opgelegd op de Noordzee bij Kwade Hoek

Golf	Frequentie (1/jaar)	Piekhoogte Flauwe Werk (m +NAP)	Piekhoogte Kwade Hoek (m +NAP)
TP	1/4000	4,97	5,00
TP+2/3D	1/18.566	5,47	5,50
TP+4/3D	1/86.177	5,97	6,00
TP+2D	1/400.000	6,47	6,50

Tabel 3-1 Verschillende gebruikte golven, met hun piekwaterstanden en frequentie per breslocatie (TP is toetspeil en D is decimeringhoogte)

3.3 Scenario's Middeldijk

De functie van de Middeldijk in het al dan niet beperken van het aantal slachtoffers en de economische schade ten gevolge van een overstroming wordt onderzocht aan de hand van vier scenario's:

- Oneindig hoge Middeldijk (scenario Hoog)
- Huidige situatie van de Middeldijk, waarbij de dijk waterkerend blijft in geval van overstromen (scenario Huidig),
- Huidige situatie van de Middeldijk, waarbij de dijk bezwijkt als er 15 cm water over de dijk stroomt. Dit wordt gemodelleerd door vorming van een (of meerdere) bres(sen) als er 15 cm water over de dijk stroomt (scenario Huidig-bres),
- Afwezigheid van de Middeldijk (scenario Geen).

3.4 Bresgroei

Het moment waarop de bres ontstaat is het moment waarop de waterstand van de golf het toetspeil bereikt heeft. In 10 minuten ontwikkelt de bres zich vanaf de dijkhoogte naar het maaiveld, vervolgens ontwikkelt de bres zich in de breedte (volgens Verheij-vdKnaap, 2002, Sobek help). In de modellering van de bresgroei is rekening gehouden met het materiaal van de dijk. Op beide breslocaties bestaat de primaire kering uit zand, dit levert een factor van kritieke stroomsnelheid van 0,2 m/s.

3.5 Resumé

Voor beide breslocaties (paragraaf 3.1) in dijkkring 25 zijn vier verschillende golven doorgerekend (paragraaf 3.2), in vier verschillende dijkscenario's (paragraaf 3.3). Dit resulteert in 32 overstromingsberekeningen.

Breslocatie	Golfhoogte	Dijkscenario
Flauwe Werk	TP	Hoog
Kwade Hoek	TP+2/3D	Huidig
	TP+4/3D	Huidig-bres
	TP+2D	Geen

Tabel 3-2 Overzicht van alle overstromingsberekeningen

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten van de overstromingsberekeningen toegelicht, aan de hand van een aantal overstromingskaarten. Daarna worden frequentielijnen van de maximale waterstand bij de Middeldijk getoond en besproken. In de volgende paragraaf worden de resultaten van de schade- en slachtofferberekeningen gepresenteerd.

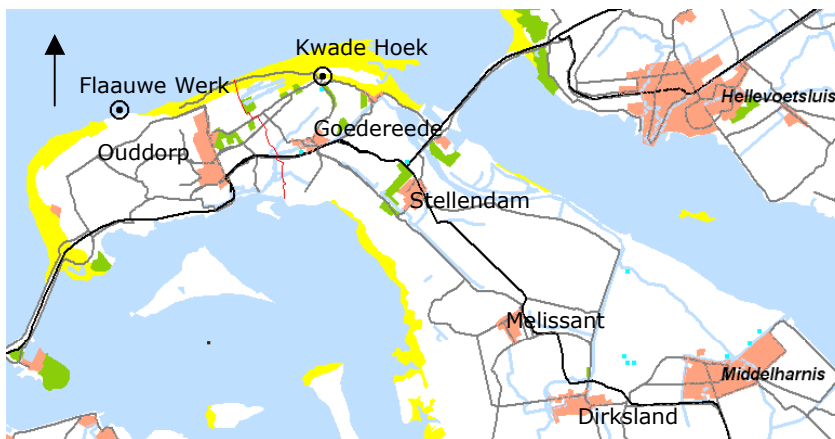
4.1 Resultaten overstromingsmodel

De overstromingen zijn doorgerekend tot een stabiele eindsituatie (overstroomde oppervlak en waterdiepte). In de scenario's Hoog, Huidig en Huidig-bres wordt de eindsituatie in twee weken na bresvorming bereikt, in scenario Geen na drie weken.

Ten zuiden van de Middelduinen overstroomt de Middeldijk (gedeeltelijk) bij elke gebeurtenis, voor beide breslocaties (Flaauwe Werk en Kwade Hoek). De duinen aan de noordkant van Goeree Overflakkee blijven droog, en ook de Zuidzeedijk en de Oudelandse Zeedijk in het zuiden zijn waterkerend. Doordat het gebied relatief vlak is en er geen andere waterkeringen zijn kan het water zich in meerdere richtingen verspreiden.

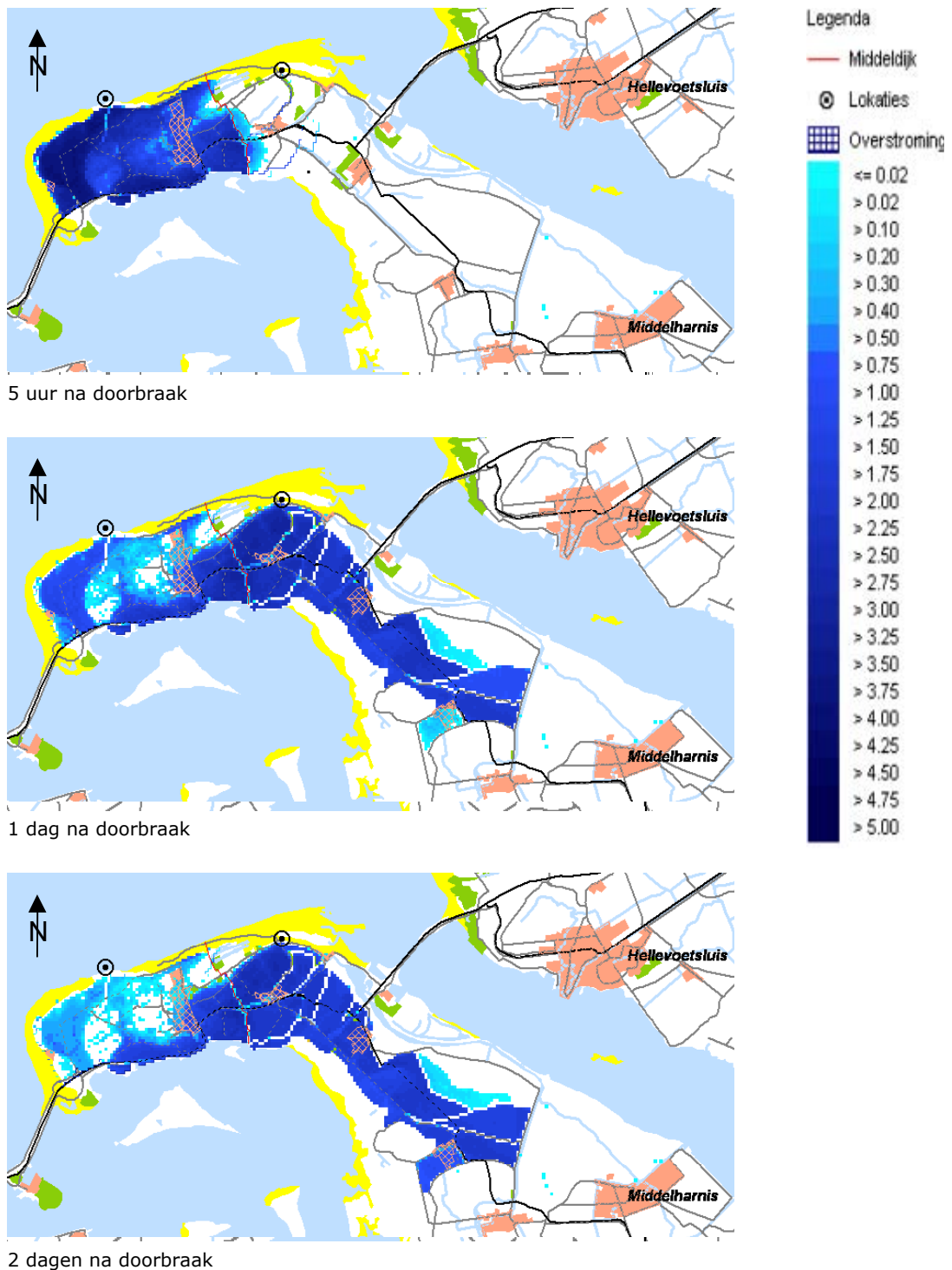
Na een doorbraak bij Flaauwe Werk overstroomt de kern Ouddorp bij alle gebeurtenissen (zie Figuur 4-1 voor ligging kernen). Vanaf TP+2/3D overstroomt ook de kern Goedereede aan de oostkant van de dijk in alle scenario's behalve scenario Hoog (waarbij een oneindig hoge dijk is verondersteld). Stellendam overstroomt gedeeltelijk vanaf TP in alle scenario's behalve Hoog. Melissant overstroomt wanneer de compartimenteringdijk afwezig is, bij TP+4/3D en TP+2D. Bij de zwaarste gebeurtenis (TP+2D) overstromen ook Middelharnis en Dirksland na een doorbraak bij Flaauwe werk als er geen compartimenteringdijk is. De compartimenteringdijk heeft dus een duidelijke rol voor deze kernen.

Na een doorbraak bij Kwade Hoek overstromen Ouddorp, Goedereede en Stellendam bij alle gebeurtenissen en scenario's (behalve in scenario Hoog, dan overstroomt Ouddorp niet). Vanaf TP+4/3D overstroomt ook Melissant en bij TP+2D ook Dirksland. Zonder compartimenteringdijk overstromen bij TP+4/3D en TP+2D ook Dirksland en Middelharnis, omdat de overstroming langer duurt. Ook hier blijkt dus duidelijk de rol van de compartimenteringdijk.



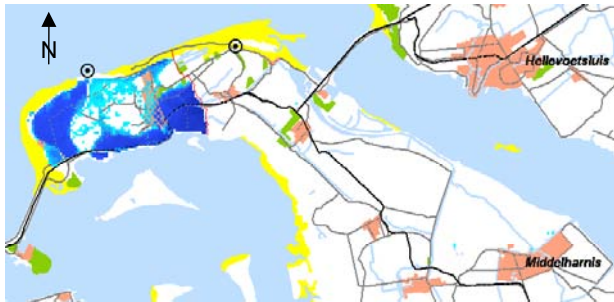
Figuur 4-1 Aanwezige kernen in het overstromingsgebied

Hieronder worden een aantal overstromingssituaties getoond.

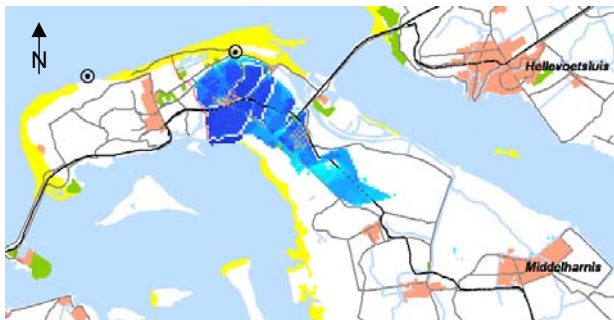


Figuur 4-2 Overstromingspatroon na een doorbraak bij Flaauwe Werk, piekwaterstand is TP+2D en het dijksценario is Huidig (compartimenteringdijk bezwijkt niet)

In Figuur 4-2 is te zien dat de gehele compartimenteringdijk ten zuiden van de Middelduinen overstromt. In scenario Huidig-bres zijn daarom op 5 locaties binnenbressen gemodelleerd, hier breekt de dijk door als er 15 cm water op de dijk staat. In Figuur 4-3 en Figuur 4-4 worden nog enkele voorbeelden van overstromingen gegeven.



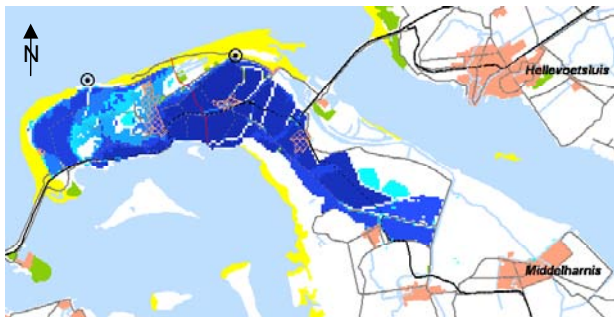
Doorbraak bij Flauwe Werk, situatie na een dag



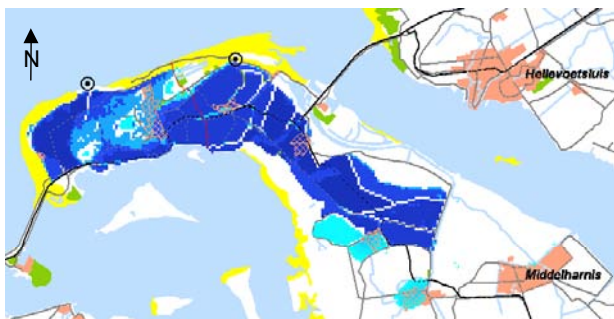
Doorbraak bij Kwade Hoek, situatie na een dag

Legenda zelfde als bij Figuur 4-2

Figuur 4-3 Overstromingspatroon bij dijksценario Hoog, voor beide doorbraaklocaties, piekwaterstand is TP



Doorbraak bij Flauwe Werk, situatie na een dag



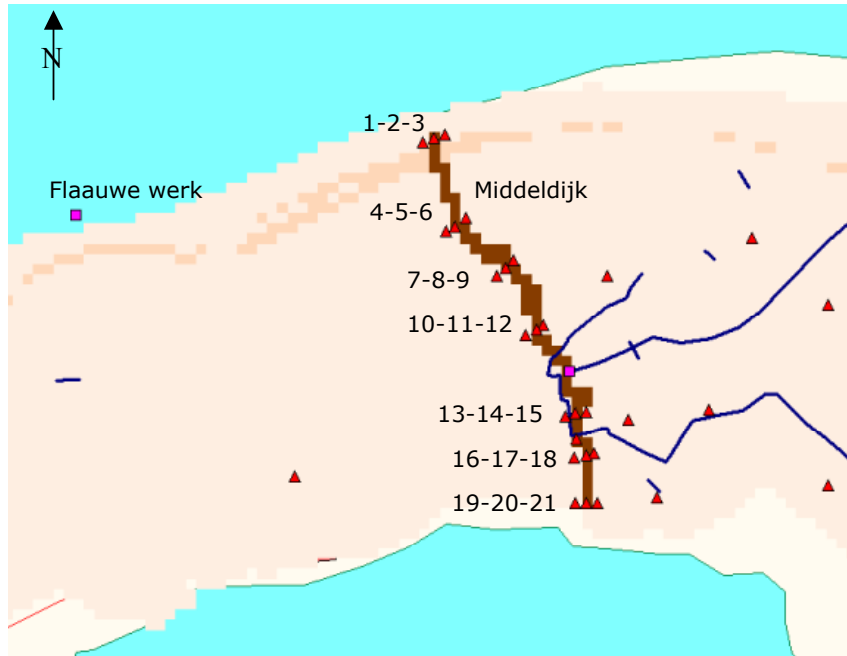
Doorbraak bij Kwade Hoek, situatie na een dag

Legenda zelfde als bij Figuur 4-2

Figuur 4-4 Overstromingspatroon bij dijksценario geen, voor beide doorbraaklocaties, piekwaterstand is TP+4/3D

4.2 Waterstandfrequentielijnen

Op meerdere locaties op en aan beide zijden langs de dijk is in het overstromingsmodel de maximale waterstand bepaald (zie Figuur 4-5 voor de locaties). In Tabel 4-1 zijn de maaiveld- of dijkhoogtes van de uitvoerlocaties gegeven.



Figuur 4-5 Locaties van uitvoerpunten op en rond de Middeldijk (locaties 1, 4, 7 etc. liggen ten westen van de dijk, locaties 2, 5, 8 etc. liggen op de dijk en locaties 3, 6, 9 etc. liggen ten oosten van de dijk)

Locatie	maaiveld-/dijkhoogte (m +NAP)	Locatie	maaiveld-/dijkhoogte (m +NAP)
1	8,81	12	0,07
2	7,98	13	-0,10
3	6,23	14	2,26
4	4,21	15	0,08
5	4,65	16	0,02
6	5,20	17	3,22
7	2,64	18	0,17
8	2,63	19	5,60
9	2,89	20	5,79
10	0,13	21	3,23
11	2,63		

Tabel 4-1 Hoogtes van de uitvoerlocaties

De maximale waterstanden op een selectie van deze punten in het scenario Huidig (waarin de Middeldijk niet bezwijkt) zijn tot frequentielijnen verwerkt, zie Figuur 4-6 en Figuur 4-7. Voor scenario Huidig wordt hier het overstromingspatroon bij de Middeldijk besproken, hierbij wordt verwezen naar Figuur 4-5, Figuur 4-6, Figuur 4-7 en Tabel 4-1.

Doorbraak bij Flauwe Werk

Locaties 1, 2 en 3 liggen in de Oostduinen en daarmee altijd buiten het bereik van de gemodelleerde overstromingen. Locaties 4, 5 en 6 liggen in de Middelduinen en slechts locatie 4 overstroomt, bij de hoogste buitenwaterstand (TP+2D). Locatie 7 overstroomt steeds, locatie 8 en 9 overstromen vanaf gebeurtenis TP+2/3D. Locaties 10, 12, 13, 14, 15, 16 en 18 overstromen bij elke gebeurtenis. Bij locaties 11 en 17 ligt de dijk hoger dan bij locatie 14 (alle drie gelegen op de dijk), deze locaties overstromen respectievelijk vanaf gebeurtenis TP+2/3D en TP+4/3D. Locaties 19 en 20 liggen op de Zuidzeedijk en overstromen niet in de gemodelleerde gebeurtenissen; locatie 21 ligt net naast de Zuidzeedijk en overstroomt vanaf gebeurtenis TP+4/3D.

In Figuur 4-6 zijn de frequentielijnen van de volgende locaties gegeven: 4, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 en 18.

Na een doorbraak bij Flauwe Werk is de waterstand ten westen van de dijk in locatie 10, 13 en 16 steeds vrijwel gelijk, alleen locatie 4 ligt beduidend hoger en blijft langer droog. Locatie 14 op de dijk vertoont dezelfde waterstanden als de lager gelegen meer westelijke locaties. Locaties 12, 15 en 18 ten oosten van de dijk blijven niet droog, maar de waterstanden zijn er lager dan ten westen van de dijk (locatie 15 en 18 overlappen in Figuur 4-6).

De waterstanden bij de Middeldijk nemen sterk toe met toenemende piekwaterstand op de Noordzee (is toenemende herhalingstijd). Vanaf gebeurtenis TP+4/3D overstroomt de compartimenteringdijk volledig ten zuiden van de Middelduinen.

Doorbraak bij Kwade Hoek

Locaties 1, 2 en 3 liggen ook na een doorbraak bij Kwade Hoek buiten het bereik van de gemodelleerde overstromingen. Locaties 4, 5 en 6 in de Middelduinen overstromen niet. Locatie 21, in het zuiden, overstroomt vanaf TP+4/3D. Locatie 19 en 20 op de Zuidzeedijk overstromen niet. Alle overige locaties, ten zuiden van de Middelduinen, overstromen steeds.

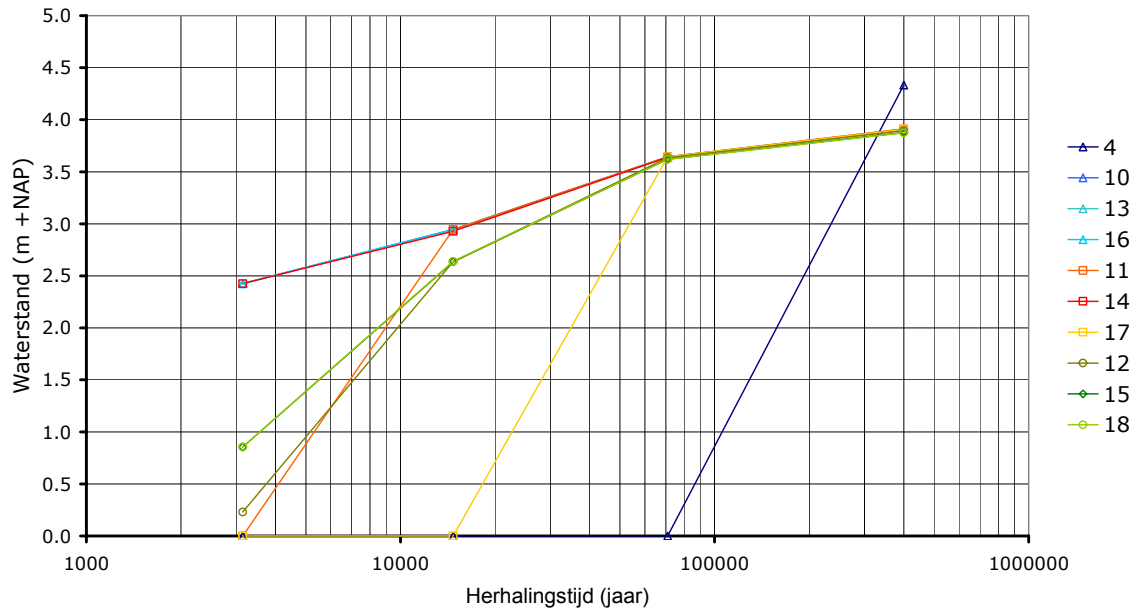
In Figuur 4-7 zijn de frequentielijnen van de volgende locaties gegeven: 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 en 18.

De Middeldijk ten zuiden van de Middelduinen overstroomt bij elke gebeurtenis. De maximale waterstanden aan beide zijden van en op de dijk zijn vrijwel gelijk en worden bereikt tijdens de hoogwatergolf waarbij de primaire kering het begeeft.

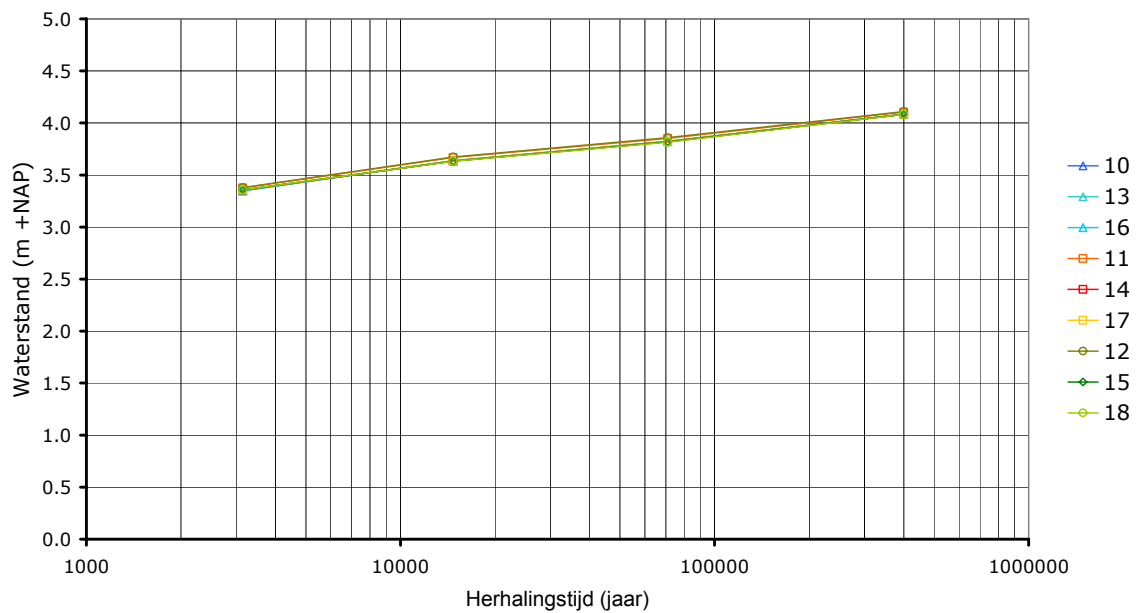
Vergelijking doorbraken

Een doorbraak bij Kwade Hoek levert hogere waterstanden bij de Middeldijk dan een doorbraak bij Flauwe Werk. Kwade Hoek ligt dicht bij de Middeldijk en het water kan er over weilanden makkelijk naartoe stromen. De waterstanden aan weerszijden van de dijk zijn na een doorbraak bij Kwade Hoek na de verschillende gebeurtenissen vrijwel gelijk, terwijl na een doorbraak bij Flauwe Werk de extremere gebeurtenissen zorgen voor hogere waterstanden.

Voor beide doorbraaklocaties geldt dat de hoogwatergolf waarbij de primaire kering het begeeft over de compartimenteringdijk stroomt. Het water dat vervolgens met elk hoogtij het gebied inkomt, komt niet meer over de compartimenteringdijk.



Figuur 4-6 Waterstanden en hun herhalingstijd als gevolg van doorbraken bij Flauwe Werk, scenario Huidig (voor locaties van de meetpunten (nr.), zie Figuur 4-5)



Figuur 4-7 Waterstanden en hun herhalingstijd als gevolg van doorbraken bij Kwade Hoek, scenario Huidig (voor locaties van de meetpunten (nr.), zie Figuur 4-5)

4.3 Schade en Slachtoffers

De gevolgen in economische schade en slachtoffers van de gemodelleerde overstromingen, worden bepaald met HIS-SSM versie 2.2. HIS-SSM combineert door middel van schadefuncties de hydraulische gegevens van een overstroming (in dit geval een waterdiepte en de stijgsnelheid) met gebiedsspecifieke karakteristieken (als infrastructuur en landgebruik) (Huizinga et al., 2005).

In de schade- en slachtofferberekeningen is geen rekening gehouden met de stroomsnelheid van het water en eventuele evacuatie van inwoners. De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers zijn bepaald voor de beide compartimenten west en oost (zie Figuur 2-1). Dit is in Tabel 4-2 en Tabel 4-3 gepresenteerd, per golf en per dijkscenario. Hieronder worden de patronen in schade en slachtoffers besproken.

Doorbraak bij Flauwe Werk

Deze doorbraak vindt plaats ten westen van de compartimenteringdijk. De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers nemen per scenario toe met toenemende piekhoogte van de golf. In scenario Hoog zijn de totale (west en oost opgeteld) hoeveelheden schade het laagst, bij alle gebeurtenissen. Het aantal slachtoffers is echter alleen bij de buitenwaterstand op toetspeil het laagst in scenario Hoog, bij de andere gebeurtenissen vallen er in scenario's Huidig en Huidig-bres minder slachtoffers. Scenario Huidig is gunstiger dan scenario Huidig-bres, behalve voor de piekhoogte van TP+2D. De resultaten van scenario's Huidig en Huidig-bres komen redelijk overeen; het blijkt niet veel uit te maken of de dijk blijft staan of bezwijkt. Scenario Geen is bij alle gebeurtenissen ongunstig wanneer gekeken wordt naar totale schade en slachtoffers. Voor compartiment west is scenario Geen gunstiger dan scenario Hoog, behalve voor de piekhoogte van TP.

De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers zijn bij de lagere buitenwaterstanden in west groter dan in oost. Bij de extremere gebeurtenis (TP+2D) draait dit echter om, hier wordt het aantal slachtoffers en/of de hoeveelheid schade groter in oost. Compartiment oost is vele malen groter dan west; hier kan in potentie een groter gebied met meer inwoners overstromen. Wanneer er voldoende aanvoer van water is (bij de hogere buitenwaterstanden), gebeurt dit. De hoeveelheid schade in west neemt relatief niet sterk toe bij toenemende buitenwaterstand, het aantal slachtoffers neemt wel sterk toe met elke gebeurtenis. In oost nemen beide duidelijk toe met stijgende buitenwaterstanden.

Doorbraak bij Kwade Hoek

Deze doorbraak vindt plaats ten oosten van de compartimenteringdijk. De patronen in schade en slachtoffers (niet de absolute aantallen) die ontstaan zijn vergelijkbaar met die na een doorbraak bij Flauwe Werk. Scenario Hoog is het gunstigst ten opzichte van schade; ten opzichte van slachtoffers zijn scenario's Huidig of Huidig-bres het gunstigst.

Bij gebeurtenis TP is de schade in west groter dan in oost (in scenario's Huidig, Huidig-bres en Geen). Bij hogere golven is dat niet meer zo, omdat compartiment oost groter is en daardoor meer schade potentie heeft.

Vergelijking doorbraken

De totale hoeveelheden schade en aantallen slachtoffers zijn na een doorbraak bij Kwade Hoek hoger dan na een doorbraak bij Flauwe Werk, behalve in scenario Geen, TP+2D. De buitenwaterstand bij Kwade Hoek is iets hoger en compartiment oost is groter.

Gebeurtenis	Overschrijdings- frequentie	Hoog		Huidig		Huidig-bres		Geen					
		West	Oost	West	Oost	West	Oost	West	Oost				
		Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal				
TP	1:4000	min. € ‡	172 0	0 22	172 22	10 2	180 24	189 31	40 5	228 36	201 47	114 19	345 66
TP + 2/3D,	1:18566	min. € ‡	269 105	0 0	269 105	164 13	387 72	227 63	176 14	403 77	266 114	234 152	500 266
TP + 4/3D,	1:86177	min. € ‡	336 300	0 0	336 300	240 132	513 262	275 135	244 139	518 274	309 239	396 455	706 694
TP + 2D,	1:400000	min. € ‡	435 742	0 0	435 742	399 391	710 632	310 241	399 389	708 630	347 427	709 1027	1056 1454

Tabel 4-2 *Schade in miljoenen euro's en slachtoffers per gebeurtenis, uitgesplitst naar Goeree Overflakke West en Goeree Overflakke Oost en in totaal, per scenario na een doorbraak bij Flaauwe Werk (voor scenario's zie paragraaf 3.3)*

Gebeurtenis	Overschrijdings- frequentie	Hoog		Huidig		Huidig-bres		Geen					
		West	Oost	West	Oost	West	Oost	West	Oost				
		Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal	Totaal				
TP	1:4000	min. € ‡	0 125	201 125	0 125	176 38	332 76	190 50	166 48	356 98	219 48	197 137	416 185
TP + 2/3D,	1:18,566	min. € ‡	0 0	312 301	312 301	237 135	462 215	226 84	239 136	465 220	249 126	294 296	543 422
TP + 4/3D,	1:86,177	min. € ‡	0 0	496 671	496 671	360 358	610 472	251 115	363 364	614 479	279 173	501 696	780 869
TP + 2D,	1:400,000	min. € ‡	0 0	655 1147	655 1147	496 641	784 823	288 183	497 642	785 825	323 281	728 1159	1051 1440

Tabel 4-3 *Schade in miljoenen euro's en slachtoffers per gebeurtenis, naar Goeree Overflakke West en Goeree Overflakke Oost en in totaal, per scenario, na een doorbraak bij Kwade Hoek (voor scenario's zie paragraaf 3.3)*

Opvallend is het conflicterende belang voor schade en slachtoffers. Qua schade is Hoog het gunstigste scenario, terwijl de aantallen slachtoffers het minst zijn in de scenario's Huidig of Huidig-bres (op Flauwe Werk, TP na).

4.4 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers

In Tabel 4-4 zijn de jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers gegeven, zowel in absolute aantallen als procentueel ten opzichte van de situatie zonder compartimenteringdijk. In Figuur 4-8 zijn de totale absolute aantallen weergegeven. De jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers zijn berekend volgens:

$$JVS = \frac{1}{T_n} * S(T_n) + \dots + \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) * \frac{S(T_2) + S(T_1)}{2}$$

waarin

JVS = jaarlijks verwachte schade/slachtoffers

$T_{1,n}$ = herhalingsdijk van 1 (kleinste) tot n (grootste)

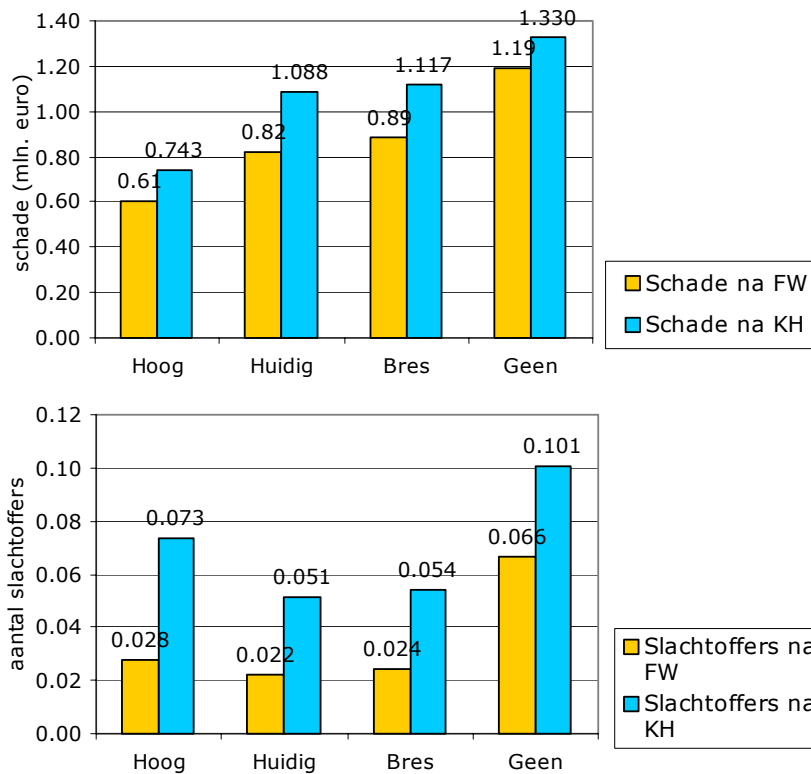
$S(T)$ = schade/slachtoffers behorende bij herhalingsdijk T

Scenario	Doorbraak bij Flauwe Werk						Doorbraak bij Kwade Hoek					
	Schade			Slachtoffers			Schade			Slachtoffers		
Absoluut*	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
Hoog	61	0	61	0,028	0	0,028	0	74	74	0	0,073	0,073
Huidig	52	30	82	0,014	0,008	0,022	52	56	109	0,017	0,034	0,051
Huidig-bres	55	34	89	0,016	0,008	0,024	54	58	112	0,019	0,035	0,054
Geen	62	57	119	0,027	0,039	0,066	61	72	133	0,026	0,075	0,101
Procentueel**	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
Hoog	98	0	51	101	0	42	0	103	56	0	98	73
Huidig	85	52	69	52	20	33	87	78	82	67	45	51
Huidig-bres	89	59	75	57	22	37	89	80	84	73	47	53
Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabel 4-4 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, in absolute bedragen en aantallen en procentueel t.o.v. schade en slachtoffers in de situatie zonder dijk

* in duizenden euro's en personen

** in procenten



Figuur 4-8 Staafdiagram van de totale hoeveelheid (dus west en oost opgeteld) jaarlijks verwachte schade en slachtoffers na een doorbraak bij Flauwe Werk en na een doorbraak bij Kwade Hoek, voor de verschillende scenario's (zie paragraaf 3.3)

Als de compartimenteringdijk afwezig is, is de jaarlijks verwachte schade het hoogst en vallen er naar verwachting de meeste slachtoffers. In de situatie met een oneindig hoge compartimenteringdijk is de schade het laagst, maar het aantal slachtoffers niet. Het aantal slachtoffers is het laagst in de huidige situatie (al dan niet met bezwijken). De jaarlijks verwachte schade is lager wanneer de compartimenteringdijk in de huidige situatie blijft staan dan wanneer deze bezwijkt.

In Tabel 4-5 en Tabel 4-6 is de bijdrage aan de jaarlijks verwachte schade en het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers gegeven voor de scenario's en gebeurtenissen, na een doorbraak bij Flauwe Werk en na een doorbraak bij Kwade Hoek.

De grootste bijdrage aan de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers heeft de gebeurtenis met piekhoogte op TP. De piekhoogten TP+2/3D en TP+4/3D hebben ook een aanzienlijke bijdrage; de bijdrage van TP+2D is maximaal 12 % na een doorbraak bij Flauwe Werk, na een doorbraak bij Kwade Hoek is dit maximaal 5 %. Extremere piekhoogten (met een kleinere kans van voorkomen) zullen naar verwachting niet veel bijdragen aan de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers.

Gebeurtenis	Overschrijdings- frequentie		Hoog		Huidig		Huidig-bres		Geen	
			West	Oost	West	Oost	West	Oost	West	Oost
TP	1:4000	€	71	0	73	58	74	62	74	65
		♠	45	0	56	19	59	22	58	43
TP + 2/3D,	1:18.566	€	21	0	20	29	19	26	20	23
		♠	31	0	28	39	27	38	27	33
TP + 4/3D,	1:86.177	€	6	0	5	10	5	9	5	9
		♠	17	0	12	30	11	28	11	17
TP + 2D,	1:400.000	€	2	0	1	3	1	3	1	3
		♠	7	0	4	12	4	11	4	7

Tabel 4-5 Bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Flauwe Werk, in procenten

Gebeurtenis	Overschrijdings- frequentie		Hoog		Huidig		Huidig-bres		Geen	
			West	Oost	West	Oost	West	Oost	West	Oost
TP	1:4000	€	0	68	75	68	75	69	76	67
		♠	0	57	66	51	69	52	65	57
TP + 2/3D,	1:18.566	€	0	23	19	22	19	22	18	23
		♠	0	28	23	31	22	30	24	28
TP + 4/3D,	1:86.177	€	0	7	5	7	5	7	5	8
		♠	0	11	8	14	7	13	8	11
TP + 2D,	1:400.000	€	0	2	1	2	1	2	1	3
		♠	0	4	3	5	2	5	3	4

Tabel 4-6 Bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Kwade Hoek, in procenten

5 Normering

In de Leidraad (Geerse et al., 2006) zijn twee normeringmethoden voorgesteld. Deze beide methoden om tot normering te komen zijn hieronder uitgewerkt. Beide aanpakken zijn uitgewerkt voor de dijkkring Goeree Overflakkee als totaal, de compartimenten west en oost zijn hierin niet apart bekeken. Afsluitend volgt een evaluatie betreffende de normering.

5.1 Conditionele kans

De mogelijke normering op conditionele kans op basis van de vermeden overstromingsschade is uitgewerkt voor beide breslocaties, omdat bij beide breslocaties de compartimenteringdijk zorgt voor een reductie in schade en slachtoffers ten opzichte van een situatie zonder compartimenteringdijk. In Tabel 5-1 zijn de conditionele kansen gegeven, afhankelijk van de vermeden overstromingsschade.

Voorkomen schade (%)	Conditionele kans
>80	1/25
10-80	1/10
<10	1/2

Tabel 5-1 *Conditionele kans afhankelijk van voorkomen overstromingsschade*

Na een doorbraak bij Flauwe werk is de schade in de huidige toestand (waarin de dijk niet bezwijkt) 69% van de schade die optreedt in een situatie zonder compartimenteringdijk (zie Tabel 4-4). De Middeldijk voorkomt dus 31% van de schade, dit levert een conditionele kans van 1/10 (zie Tabel 5-1). Dit houdt in dat de dijk een overstroming met een herhalingsstijd van 40.000 jaar moet kunnen keren. Een dergelijke belasting levert de volgende maximale waterstand bij de kering (zie Figuur 4-6):

- NAP + 3,40 m. aan de westkant van de Middeldijk
- NAP + 3,25 m. aan de oostkant van de Middeldijk.

Na een doorbraak bij Kwade Hoek is de schade in huidige toestand (waarin de dijk niet bezwijkt) 82% van de schade die optreedt in een situatie zonder compartimenteringdijk (zie Tabel 4-4). De Middeldijk voorkomt 18% van de totale schade, dit levert een conditionele kans van 1/10 (zie Tabel 5-1). Dit houdt in dat de dijk een overstroming met een herhalingsstijd van 40.000 jaar moet kunnen keren. Een dergelijke belasting levert de volgende maximale waterstand bij de kering (zie Figuur 4-7):

- NAP + 3,76 m aan de westkant van de Middeldijk
- NAP + 3,79 m aan de oostkant van de Middeldijk.

Voor beide breslocaties resulteert deze normering in een ophoging van de dijk, waarbij de gewenste hoogte aan beide zijden van de dijk voor een doorbraak bij Flauwe Werk 15 cm verschilt en voor een doorbraak bij Kwade Hoek vrijwel gelijk is. De berekende hoogtes zijn echter alleen gebaseerd op de hoogte van het water. De daadwerkelijke toetshoogte van de dijk zal hoger zijn, omdat hierin ook ruimte is opgenomen voor scheefstand en golfoverslag. De benodigde hoogte hiervoor is onder andere afhankelijk van het talud van de dijk. Als het verschil in normhoogte en de toeslagen voor scheefstand en golfoverslag opgevangen kunnen worden in het talud, zou de dijk aan beide zijden even hoog kan worden.

Ophoging van de dijk is echter mogelijk ongunstig voor het aantal slachtoffers:

- Na een doorbraak bij Flauwe Werk is het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers 0,022 in scenario Huidig en 0,028 in scenario Hoog.
- Na een doorbraak bij Kwade Hoek is het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers 0,020 in scenario Huidig en 0,029 in scenario Hoog.

Hierbij wordt opgemerkt dat het slachtofferrisico weliswaar verschilt in de verschillende scenario's, maar dat dit verschil niet groot is.

Om het effect van ophoging van de Middeldijk tot deze normhoogte op schade en slachtoffers te bepalen, zijn acht extra overstromingsberekeningen gemaakt, met de Middeldijk op NAP +4 m (normhoogte Kwade Hoek plus extra hoogte voor toeslagen). De resultaten hiervan zijn opgenomen in Hoofdstuk 6.

Aangezien de gehele lengte van de dijk ten zuiden van de Middelduinen (2,7 km) kan overstromen, zou over deze gehele lengte de dijkhoogte moeten worden aangepast. De huidige dijkhoogte is (op dit traject) over 0,5 km meer dan NAP +3,0 m hoog; over 1,5 km tussen NAP +2,6 m en +3,0 m hoog en over 0,7 km tussen NAP +2,2 en +2,6 m hoog.

5.2 Kosten-baten

Een kosten-baten analyse is uitgevoerd voor zowel de doorbraak bij Flauwe Werk als de doorbraak bij Kwade Hoek. Hieronder wordt deze analyse besproken.

5.2.1 Baten

De baten van dijkophoging bestaan uit voorkomen overstromingsschade. De baten worden uitgedrukt in contante waarde om de kosten-baten analyse over een zekere tijdshorizon uit te kunnen voeren. Hiertoe is de contante waarde (CW) van de overstromingsschade berekend (zie Tabel 5-2), dit is gedaan volgens:

$$CW = C * \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right) * \frac{1}{r}$$

waarin

- C = overstromingsschade per jaar (jaarlijks verwachte schade)
 r = disconteringsvoet (4%)
 n = aantal jaar

Wanneer n naar oneindig gaat reduceert de formule tot

$$CW = \frac{C}{r}$$

	Doorbraak bij Flauwe Werk				Doorbraak bij Kwade Hoek			
	Hoog	Huidig	Huidig-bres	Geen	Hoog	Huidig	Huidig-bres	Geen
50 jaar	1,3	1,8	1,9	2,6	1,6	2,3	2,4	2,9
oneindig	1,5	2,0	2,2	3,0	1,9	2,7	2,8	3,3

Tabel 5-2 Contante waarde (CW) in miljoenen euro's, uitgerekend over een tijdshorizon van 50 jaar en een oneindige tijdshorizon

Er is in de berekening geen rekening gehouden met economische groei. Wanneer rekening wordt gehouden met een economische groei van 2% per jaar, neemt de contante waarde in Tabel 5-2 toe met een factor 2.

5.2.2 Kosten

De kosten van dijkophoging bestaan uit de eenmalige investeringskosten voor dijkophoging. Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud zijn hier (nog) niet beschouwd. Als eerste benadering is een kostenschatting gemaakt op basis van kengetallen (Bouwdienst). De uitgangspunten hierbij zijn zodanig gekozen dat de kosten nagenoeg minimaal zijn. De uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 5-3.

Parameter	Waarde
Bovenbreedte dijk	5 m
Omgevingscondities uitvoering	normaal
Opbouw oude en nieuwe dijklichaam	oud en nieuw klei
Dikte zaadbank	0,3 m

Tabel 5-3 Aangenomen parameterwaarden in kosten bepaling dijkophoging

Als het totale deel van de Middeldijk dat overstroomt in de modelleringen (2,7 km) met 1 of 2 m wordt opgehoogd, zijn de kosten respectievelijk 1,5 en 2,1 mln. euro (zie Tabel 5-4). De investeringskosten om de dijk op de normeringhoogte uit paragraaf 5.1 te krijgen zijn ook gegeven in Tabel 5-4. De verschillende op te hogen lengtes zijn beschreven in paragraaf 5.1.

Ophoging (m)	Investering (mln. euro)
1	1,5
2	2,1

Flauwe Werk			Kwade Hoek		
Ophoging	Investering		Ophoging	Investering	
Lengte (km)	Ophoging (m)	(mln. euro)	Lengte (km)	Ophoging (m)	(mln. euro)
0,5	0,4	0,3	0,5	0,8	0,3
1,5	0,8	0,9	1,5	1,2	0,9
0,7	1,2	0,4	0,7	1,6	0,5
Totaal		1,6			1,7

Tabel 5-4 De aangenomen investeringskosten voor dijkophoging

5.2.3 Netto contante waarde

De netto contante waarde is berekend als de contante waarde van vermeden overstromingsschade (baten, hiervoor is het verschil tussen de contante waarde van de overstromingsschade uit scenario Hoog en scenario Huidig genomen), min de investeringskosten voor dijkophoging (kosten). In Tabel 5-5 is hiervan het resultaat gegeven.

Het verschil in overstromingsschade tussen de verschillende scenario's (de baten) is 0,5 mln. euro na een doorbraak bij Flauwe Werk en 0,7-0,8 mln. euro na een doorbraak bij Kwade Hoek. Kosten voor dijkophoging zijn hoger, op grond van de kosten-baten analyse zou de Middeldijk niet worden opgehoogd (zie Tabel 5-5).

Het aantal slachtoffers is in scenario Huidig lager dan in de scenario's Hoog en Geen, dus het niet ophogen van de Middeldijk is niet ongunstig voor het aantal slachtoffers.

Tijdshorizon	Ophoging	Doorbraak bij Flauwe Werk			Doorbraak bij Kwade Hoek		
		CW kosten (mln. euro)	CW baten (mln. euro)	NCW (mln. euro)	CW kosten (mln. euro)	CW baten (mln. euro)	NCW (mln. euro)
50 jaar	1 m	1,5	0,5	-1,0	1,5	0,7	-0,8
50 jaar	2 m	2,1	0,5	-1,6	2,1	0,7	-1,4
50 jaar	Volgens § 5.1	1,6	0,5	-1,1	1,7	0,7	-1,0
oneindig	1 m	1,5	0,5	-1,0	1,5	0,8	-0,7
oneindig	2m	2,1	0,5	-1,6	2,1	0,8	-1,3
oneindig	Volgens § 5.1	1,6	0,5	-1,1	1,7	0,8	-0,9

Tabel 5-5 De berekening van de netto contante waarde (NCW) van dijkophoging, voor een doorbraak bij Flauwe Werk en bij Kwade Hoek

5.3 Evaluatie normeringmethoden

- Op basis van de conditionele kans methode kan een norm worden bepaald; de dijk wordt opgehoogd. Afhankelijk van welke doorbraak als maatgevend wordt gekozen, wordt de dijk verhoogd tot NAP +3,4 of +3,8 m (zonder rekening te houden met scheefstand en golfoverslag) In paragraaf 4.3 is echter geconcludeerd dat een hogere dijk dan huidig mogelijk negatieve gevolgen heeft voor slachtoffers; dit is in deze normering niet beschouwd. De invloed van deze dijkverhoging op slachtoffers kan bepaald worden door de verschillende gebeurtenissen door te rekenen in een scenario waarin de compartimenteringdijk op de normeringhoogte is. Dit is gedaan; de resultaten zijn opgenomen in Hoofdstuk 6.
- Op basis van de kosten-baten analyse kan worden besloten de dijk niet op te hogen, voor beide doorbraken is de reductie in overstromingsschade door een hogere dijk niet zodanig dat deze opweegt tegen de kosten van dijkophoging. Voor het aantal slachtoffers (gezien dat in de situatie met de huidige dijk minder slachtoffers vallen dan in de situatie met hoge dijk en de situatie zonder dijk) is het niet ongunstig om de dijk niet op te hogen.
- De kosten-baten analyse is negatief, evenals voor de showcase van de Maasdijk. De kosten liggen nu echter tussen 0,6 en 1,6 mln. euro hoger dan de baten, waar dat bij de showcase van Maasdijk tientallen miljoenen euro's was.

Voor een doorbraak bij Flauwe Werk levert de conditionele kans methoden een andere normhoogte dan voor een doorbraak bij Kwade Hoek. Om dit verschil in normhoogte (conditionele kans) tussen beide doorbraken op te vangen, zou de normering uitgebreid kunnen worden met kunstwerken en beheerprotocollen. Ook kan getracht worden dit verschil op te vangen in de talud helling (dan zou voor belasting van beide zijnde een zelfde hoogte kunnen gelden, bij een ander talud).

Slachtoffers zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten in de normklassen.

6 Compartimenteringdijk op normhoogte

6.1 Schade en slachtoffers

De norm bepaald met de conditionele kans methode betekent een verhoging van de Middeldijk, waardoor de schade bij een overstroming teruggebracht zal worden (bij beide breslocaties). Aangezien er in scenario Hoog echter meer slachtoffers vallen dan in scenario Huidig (zie Tabel 4-2 en Tabel 4-3), is een verhoging van de Middeldijk mogelijk ongunstig voor het aantal slachtoffers.

Voor beide breslocaties, ieder 4 gebeurtenissen, zijn overstromingsberekeningen gemaakt met de Middeldijk op de hoogte die volgt uit de conditionele kans normering. De hoogte van de compartimenteringdijk is hier gelijk gesteld aan de norm bepaald voor een doorbraak bij Kwade Hoek (NAP +3,79, zie paragraaf 5.1), met hierop een extra hoogte voor toeslagen (wind en golven). De dijkhoogte is zodoende op NAP +4,00 m gesteld. De resultaten van de schade en slachtoffer berekening zijn gegeven in Tabel 6-1 en Tabel 6-2.

Flauwe Werk

Bij de golven TP en TP + 2/3D, breslocatie Flauwe Werk, zijn de schade en slachtoffers berekend met een dijkhoogte van NAP + 4,0 m gelijk aan het eerder doorgerekende scenario Hoog. Dit komt doordat de overstromingsdiepte in deze situatie niet leidt tot overstroom van de compartimenteringdijk. Dit in tegenstelling tot de kering op huidige hoogte, die overstroomt al wel.

Bij de golven TP + 4/3D en TP + 2D ligt de hoeveelheid schade in scenario Dijk4m tussen de schade in scenario Hoog en Huidig in (10% hoger dan in Hoog en 30% lager dan in Huidig). De Middeldijk overstroomt (wat in scenario Hoog niet gebeurt), maar minder dan in scenario Huidig.

Bij TP + 4/3D ligt het aantal slachtoffers tussen deze scenario's in, maar bij TP + 2D is het aantal slachtoffers lager dan in scenario's Hoog en Huidig (respectievelijk 30 en 20%). Het aantal slachtoffers in west is in Dijk4m hoger dan in Huidig, doordat de waterdiepte daar groter wordt als gevolg van een hogere Middeldijk (bij de dijk NAP +4,50 m in Dijk4m en NAP +4,00 m in Huidig). In Oost vallen echter minder slachtoffers, doordat de waterdiepte en het oppervlak van het overstroomde gebied daar kleiner zijn (bijvoorbeeld oostelijk van Stellendam NAP + 1,00 in Dijk4m en NAP +2,50 in Huidig; 2500 ha overstroomt in Dijk4m en 2800 ha in Huidig).

Kwade Hoek

Bij de golven TP en TP + 2/3D, breslocatie Kwade Hoek, zijn de schade en slachtoffers berekend met een dijkhoogte van NAP +4,0 m gelijk aan het eerder doorgerekende scenario Hoog, doordat de overstromingsdiepte in deze situatie niet leidt tot overstroom van de compartimenteringdijk.

Gebeurtenis	Flaauwe Werk	Overschrijdings- frequentie	Hoog			Dijk4m			Huidig		
			West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
TP	1:4000	min. € ↑	172	0	172	172	0	172	170	10	180
TP + 2/3D,	1:18566	min. € ↑	22	0	22	22	0	22	22	2	24
TP + 4/3D,	1:86177	min. € ↑	269	0	269	269	0	269	223	164	387
			105	0	105	105	0	105	59	13	72
			336	0	336	322	45	367	273	240	513
			300	0	300	261	5	266	130	132	262
TP + 2D,	1:400000	min. € ↑	435	0	435	361	228	588	310	399	710
			742	0	742	393	108	501	241	391	632

Tabel 6-1 Schade en slachtoffers wanneer de Middeldijk op NAP +4 m hoog is vergeleken met schade en slachtoffers in scenario's Hoog en Huidig, na een doorbraak bij Flaauwe Werk.

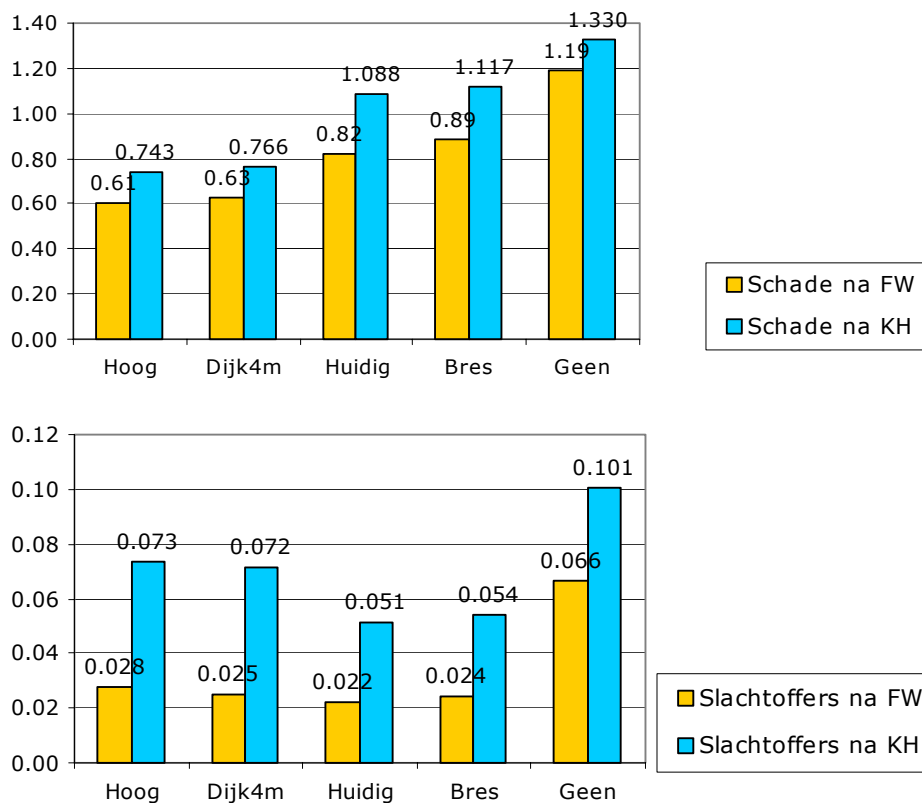
Gebeurtenis	Kwade Hoek	Overschrijdings- frequentie	Hoog			Dijk4m			Huidig		
			West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
TP	1:4000	min. € ↑	0	201	201	0	201	201	176	156	332
TP + 2/3D,	1:18,566	min. € ↑	0	125	125	0	125	125	38	38	76
TP + 4/3D,	1:86,177	min. € ↑	0	312	312	0	312	312	225	237	462
			0	301	301	0	301	301	80	135	215
			0	496	496	65	481	547	250	360	610
			0	671	671	5	628	633	114	358	472
TP + 2D,	1:400,000	min. € ↑	0	655	655	186	606	792	287	496	784
			0	1147	1147	38	959	997	182	641	823

Tabel 6-2 Schade en slachtoffers wanneer de Middeldijk op NAP +4 m hoog is vergeleken met schade en slachtoffers in scenario's Hoog en Huidig, na een doorbraak bij Kwade Hoek.

Bij TP + 4/3D ligt de schade in scenario Dijk4m tussen de scenario's Hoog en Huidig in, doordat compartiment West minder overstroomt (530 ha in scenario Dijk4m en 1600 ha in Huidig). Bij TP + 2D is de schade bij Dijk4m iets hoger dan in Huidig. Dit wordt veroorzaakt door toenemende waterdieptes in Oost (bijvoorbeeld bij de Middeldijk NAP +4,25 m in scenario Dijk4m en NAP +4,00 m in Huidig), in West is er minder schade maar dit compenseert niet de extra schade in Oost. Er vallen door de grotere waterdieptes in Oost (bijvoorbeeld oostelijk van Stellendam NAP +3,75 m in scenario Dijk4m, NAP +3,25 m in Huidig bij TP +4/3 D) meer slachtoffers in scenario Dijk4m dan in scenario Huidig, maar minder dan in scenario Hoog.

6.2 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers

In Figuur 6-1 worden de jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers gegeven voor beide doorbraken bij alle vijf dijkscenario's. De jaarlijks verwachte schade en slachtoffers bij Dijk4m liggen voor beide doorbraaklocaties tussen de verwachting bij Hoog en Huidig in, zoals verwacht op grond van dijkhoogte. Dit betekent dat ophogen gunstig is voor schade en ongunstig voor slachtoffers. Het verschil in schade en slachtoffers tussen de scenario's Hoog, Dijk4m en Huidig is redelijk lineair.



Figuur 6-1 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers voor een doorbraak bij Flauwe werk en Kwade Hoek, alle vijf scenario's.

De schade en slachtoffers in scenario Dijk4m liggen iets dichterbij scenario Hoog dan verwacht op grond van lineaire interpolatie (lineaire interpolatie tussen schade Hoog: 0,74 en Huidig: 1,08 levert een verwachting voor Dijk4m van 0,81; deze waarde blijkt 0,77 te zijn. Dit verschil is slechts 5%).

6.3 Conclusie extra berekeningen

Ten aanzien van schade is het, geheel volgens verwachting, gunstig om de dijk van het huidig niveau te verhogen naar NAP +4,0 m. Alleen na een doorbraak bij Kwade Hoek bij een golf van TP + 2D is de schade hoger als de dijk op NAP +4,0 m is. Het aantal slachtoffers ligt voor zowel TP + 4/3D als TP + 2D tussen scenario's Hoog en Huidig in.

Ten aanzien van slachtoffers is ophogen van de Middeldijk naar NAP +4,0 m ongunstig wanneer er een bres vormt bij Kwade Hoek. Voor een bres bij Flauwe Werk is ophogen gunstig voor slachtoffers bij golven op TP en TP + 2D, voor golven op TP + 2/3D en TP + 4/3D levert een dijk op NAP +4,0 m meer slachtoffers dan de huidige dijk. In totaal gezien is ophogen van de Middeldijk tot normhoogte ten aanzien van slachtoffers ongunstig.

Ook wanneer de jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers in beschouwing worden genomen, blijkt ophogen van de Middeldijk tot normhoogte (NAP +4,0 m) te leiden tot minder schade en meer slachtoffers dan bij de Middeldijk op huidige hoogte. Er speelt hier dus om een tegenstelling tussen schade en slachtoffers: kiezen voor minder schade levert meer slachtoffers en vice versa.

Deze uitkomst komt kwalitatief geheel overeen met wat verwacht kan worden op basis van overstromingsberekeningen met dijksscenario's Hoog en Huidig. Kwantitatief wijken de schade en slachtoffers ongeveer 5% af van wat op grond van lineaire interpolatie tussen de schade en slachtoffers in scenario's Hoog en Huidig verwacht kan worden. Hiermee wordt geconcludeerd dat effecten van een dijkverhoging (naar een hoogte tussen twee doorgerekende hoogtes in) ingeschat kunnen worden aan de hand van de resultaten van de eerdere sommen.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Toepasbaarheid Leidraad

De Leidraad normering compartimenteringdijken (eerste aanzet) (Geerse et al., 2006) is goed toepasbaar op dijkkring 25, Goeree Overflakkee. De vier piekwaterstanden op de Noordzee beslaan een ruim scala aan belastingen op het gebied. Extremere piekhoogten (met een kleinere kans van voorkomen) zullen naar verwachting niet veel bijdragen aan de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers. De methode geeft inzicht in de ontwikkeling van het schade- en slachtofferpatroon in verschillende situaties.

7.2 Overstromingen en schade en slachtofferpatroon

Goeree Overflakkee overstroomt bij alle belastingen slechts gedeeltelijk. Wel stroomt bij alle belastingen (behalve in scenario Hoog) het water over de compartimenteringdijk, waardoor in beide compartimenten schade ontstaat en slachtoffers vallen. De duinen op het eiland blijven grotendeels droog, verder is het gebied relatief vlak en zijn er geen andere waterkeringen, zodat het water zich in meerdere richtingen kan verspreiden. Na een doorbraak bij Flauwe Werk zijn de maximale waterstanden aan de westkant van de dijk (waar de doorbraak plaatsvindt) lager dan aan de oostkant van de dijk. Na een doorbraak bij Kwade Hoek zijn de maximale waterstanden aan weerszijden van de dijk vrijwel gelijk. De duinen aan de noordkant van de compartimenteringdijk en de Oudelandse Zeedijk en Zuidzeedijk aan de zuidkant van de compartimenteringdijk zijn zodanig hoog dat er geen water overheen stroomt.

De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers nemen toe met toenemende piekwaterstand op de Noordzee. De schade is voor beide doorbraken het laagst in het scenario met een oneindig hoge compartimenteringdijk. De minste slachtoffers vallen echter in de scenario's met de huidige compartimenteringdijk. Zowel in schade als in slachtoffers maakt het weinig uit of de compartimenteringdijk op huidige hoogte overstroomt en blijft staan of overstroomt en bezwijkt. In het scenario zonder compartimenteringdijk is de schade het hoogst en vallen de meeste slachtoffers; de compartimenteringdijk heeft een duidelijk positief effect.

De gevolgen van ophogen van de compartimenteringdijk op schade en slachtoffers kunnen worden ingeschat aan de hand van de resultaten van dijksscenario's Hoog en Huidig. Het verschil in schade en slachtoffers tussen de dijksscenario's verloopt vrijwel lineair.

7.3 Normering

Op basis van de conditionele kans methode zou bepaald worden dat de dijk wordt opgehoogd. Ophogen van de dijk zal echter meer slachtoffers veroorzaken. Op basis van de kosten-baten analyse wordt de compartimenteringdijk niet opgehoogd, dit is gunstig voor het aantal slachtoffers.

7.4 Aanbevelingen

- Op basis van de conditionele kans normering is voor beide zijden van de dijk een andere hoogte bepaald (zowel voor een doorbraak bij Flauwe Werk als bij Kwade Hoek). In de daadwerkelijke toetshoogte zal echter ook rekening worden gehouden met toeslagen voor scheefstand en golfoverslag. Wanneer deze worden meegenomen in het talud van de dijk, kan de dijkhoogte voor beide zijden van de dijk gelijk worden gesteld (de variatie in belasting wordt dan dus meegenomen in het talud en niet in de hoogte).
- Slachtoffers zijn buiten beschouwing gelaten in de normklassen. De slachtoffers zijn meegenomen als toets nadat de norm bepaald is; bekeken is of het slachtofferrisico niet wezenlijk verandert. Voorgesteld wordt om de schade en de slachtoffers als aparte criteria uit te werken en vervolgens deze in een normklasse of in een bestuurlijke afweging tot een norm te koppelen. Een andere optie om slachtoffers te betrekken in normeringmethode, is om ze te verdisconteren in schadeberekeningen. Hierbij stellen we voor om gebruik te maken van de kosten-baten methode zoals die ook is toegepast voor Ruimte voor de Rivier (CPB methode).
- Bij de berekening van slachtoffers is evacuatie niet voorzien in de leidraad. Er is vanuit gegaan dat er geen evacuatie heeft plaatsgevonden. Wij adviseren hierover duidelijke richtlijnen te geven, ons voorstel is ervan uit te gaan dat er geen evacuatie plaatsvindt.

Voor de afweging tussen de twee normeringmethoden die de begeleidingsgroep uiteindelijk zal maken, worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- Moet de norm gebaseerd zijn op kosten-baten?
- Of bieden we met de compartimenteringdijken een extra veiligheid, gebaseerd op belastingen, die mogelijk niet kosten-baten effectief is?

8 Referenties

Sobek help, Formule bresgroei Verheij-vdKnaap (2002).

C. Geerse, J. Stijnen, B. Kolen, Leidraad normering compartimenteringdijken (eerste aanzet), HKV lijn in water, 2006.

H.J. Huizinga, M. Dijkman, W.E.W. van den Braak, R. Waterman, HIS- Schade en Slachtoffer Module Versie 2.2, Gebruikershandleiding, HKV lijn in water en GEODAN IT, 2005.

K. Wouters, Overstromingsmodel Goeree Overflakkee, Inclusief stormvloed 1953, HKV lijn in water, januari 2005.

SHOWCASE BOVENRIVIEREN:
MEIDIJK, RIVIERENLAND

Opdrachtgever:
STOWA

Uitwerking showcase bovenrivieren

Meidijk

Auteurs: S. Groot
B. Kolen
J. Leenders

Inhoud

Lijst van tabellen	ii
Lijst van figuren.....	iii
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden	1
1.4 Werkwijze	2
1.5 Leeswijzer	2
2 Gebiedsbeschrijving	3
2.1 Dijkkring	3
2.2 Overstromingsmodel.....	3
3 Randvoorwaarden en gebeurtenissen.....	5
3.1 Breslocaties	5
3.1.1 Oostelijke belasting Meidijk	5
3.1.2 Westelijke belasting Meidijk.....	5
3.2 Gebeurtenissen	6
3.3 Scenario's Meidijk.....	9
3.4 Bresgroei.....	9
3.5 Resumé.....	10
4 Resultaten	11
4.1 Resultaten overstromingsmodel	11
4.2 Waterstandfrequentielijnen	13
4.3 Schade en Slachtoffers.....	16
5 Normering	22
5.1 Conditionele kans	22
5.2 Kosten-baten	22
5.2.1 Baten	22
5.2.2 Kosten	23
5.2.3 Netto contante waarde.....	23
5.3 Evaluatie	24
6 Fictief scenario	27
6.1 Schade en slachtoffers	27
6.1.1 Scenario hoog.....	27
6.1.2 Scenario geen.....	27
6.2 Normering	29
6.2.1 Doorbraak bij Zuilichem	29
6.2.2 Doorbraak bij Brakel.....	29
6.2.3 Evaluatie.....	30
7 Referenties	31

Lijst van tabellen

Tabel 3-1	Verschillende gebruikte golfhoogtes en –breedtes, met respectievelijk hun frequentie en kans van voorkomen. Hierin is TP toetspeil en D is decimeringshoogte. De 'golfhoogtes' zijn de maximale waterstanden gedurende de golf.....	7
Tabel 3-2	Maximale waterstanden voor de vier gemodelleerde golfhoogtes bij de aangegeven breslocaties.	8
Tabel 3-3	Overzicht van alle overstromingsberekeningen.	10
Tabel 4-1	Schade en slachtoffers per gebeurtenis, per scenario, uitgesplitst naar Bommelerwaard West en Bommelerwaard Oost; berekend voor de doorbraak bij Zuilichem. Voor scenario's zie paragraaf 3.3.	17
Tabel 4-2	Schade en slachtoffers per gebeurtenis, per scenario, uitgesplitst naar Bommelerwaard West en Bommelerwaard Oost; berekend voor de doorbraak bij Brakel. Voor scenario's zie paragraaf 3.3.....	18
Tabel 4-3	Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, in absolute bedragen en aantallen en procentueel t.o.v. schade en slachtoffers in de situatie zonder dijk.....	19
Tabel 4-4	Procentuele bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Zuilichem.	20
Tabel 4-5	Procentuele bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Brakel.....	21
Tabel 5-1	Contante waarde (CW) in miljoenen euro's, uitgerekend over een tijdshorizon van 50 jaar en oneindig (disconteringsvoet is 4%).....	23
Tabel 5-2	De aangenomen investeringskosten voor dijkophoging.	23
Tabel 5-3	De netto contante waarde (NCW) van dijkophoging, voor een doorbraak bij Zuilichem en een doorbraak bij Brakel.....	24
Tabel 6-1	Schade en slachtoffers na een doorbraak bij Brakel en na een doorbraak bij Zuilichem voor de fictieve scenario's Hoog en Geen waarbij er geen water via de primaire kering de dijkkring instroomt.	28
Tabel 6-2	Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, in absolute bedragen en aantallen en procentueel t.o.v. schade en slachtoffers in de situatie zonder dijk.....	29
Tabel 6-3	Netto contante waarde (NCW) van dijkophoging voor een dijkdoorbraak bij Zuilichem.....	29
Tabel 6-4	Netto contante waarde (NCW) van dijkophoging voor een dijkdoorbraak bij Brakel.....	30

Lijst van figuren

Figuur 2-1	Bommelerwaard, gelegen tussen de Waal, Maas en Afgedamde Maas. Hierin is de ligging van de Meidijk aangegeven.	3
Figuur 2-2	Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei (aangepast uit de Sobek help file).	4
Figuur 3-1	Bommelerwaard met de ligging van de breslocaties.	6
Figuur 3-2	De 12 golven (verschillend in hoogte (TP, TP+2/3D etc.) en breedte (10%, 50% en 90%) die zijn opgelegd op het buitenwater bij Zuilichem.	6
Figuur 3-3	De 12 golven (verschillend in hoogte (TP, TP+2/3D etc.) en breedte (10%, 50% en 90%) die zijn opgelegd op het buitenwater bij Brakel.	7
Figuur 3-4	Drie golven van verschillende breedte, met dezelfde waterhoogte. Blauwe lijn is 50% golf, zwarte lijn is 50% golf zonder getij (getij is groene lijn). Smalle turquoise lijn is 10% golf, brede turquoise lijn is 90 % golf. Op deze golven is het getij weer gesuperponeerd, dit levert de voor de berekeningen gebruikte rode golven.	9
Figuur 4-1	Bres bij Brakel West, golf op toetspeil + 6/3 D, 10%. Dijkscenario: Hoog (oneindig hoog). Eindsituatie (buitenwater weer op initieel peil). Met oranje pijlen is de stroomrichting van het water de Afgedamde Maas in en uit weergegeven.	11
Figuur 4-2	Waterstandsverloop tijdens een overstroming van dijkkring 38, op een locatie op de Meidijk (10) en een locatie ten oosten van de dijk (6). De bres in de primaire kering bevindt zich ten westen van de dijk. Het water is eerder op locatie 6 (dus achter de dijk) dan dat de dijk begint te overstromen.	12
Figuur 4-3	Bres bij Zuilichem, golf op toetspeil, 90%. Dijkscenario: Huidig (dijk overstroomt maar bezwijkt niet). Situatie na 15 uur.	12
Figuur 4-4	Bres bij Zuilichem, golf op toetspeil, 90%. Dijkscenario: Huidig (dijk overstroomt, maar bezwijkt niet). Situatie na 4 dagen.	13
Figuur 4-5	Locaties van uitvoer-punten op en rond de Meidijk. Locatie 10 en 11 liggen op de Meidijk, locatie 3 en 15 liggen op de primaire kering.	14
Figuur 4-6	Herhalingstijden van de maximale waterstand langs en op de Meidijk, na een doorbraak bij Zuilichem. Scenario Huidig, golf van 90%. Zie voor de locaties van de punten Figuur 4-5.	14
Figuur 4-7	Waterstanden en hun herhalingstijd. De waterstanden Z_x zijn na een doorbraak bij Zuilichem, de waterstanden B_x zijn na een doorbraak bij Brakel. De waterstanden zijn uitgerekend voor scenario Huidig. Voor locaties van de meetpunten (x), zie Figuur 4-5. Locatie 6 ligt aan de oostelijke zijde van de Meidijk, 9 aan de westelijke zijde en 10 op de Meidijk.	15
Figuur 4-8	Staadtdiagram van de totale hoeveelheid (dus west en oost opgeteld) schade en slachtoffers na een doorbraak bij Zuilichem en na een doorbraak bij Brakel, voor de verschillende scenario's (zie paragraaf 3.3).	19

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Door de STOWA wordt onderzoek gedaan naar een uniforme methode voor het toekennen van veiligheidsnormen aan compartimenteringdijken in Nederland. Compartimenteringdijken zijn waterkeringen die binnen een dijkkring liggen en normaal gesproken geen water keren. De functie van de compartimenteringdijk is erop gericht om water (gedeeltelijk) te keren in geval van een overstroming door een bres in een primaire waterkering. De compartimenteringdijk heeft als zodanig dan ook veelal effect op de schade en slachtoffers binnen een gebied. Hierbij wordt opgemerkt dat het mogelijk is dat een compartimenteringdijk van verschillende zijden wordt belast, hiervoor is de locatie van de doorbraak bepalend. Naast de doorbraaklocatie is ook de situatie op zee, rivier of meer bepalend voor de grootte van de belasting.

In opdracht van de STOWA is door HKV LJN IN WATER een eerste opzet van de Leidraad Compartimenteringdijken opgesteld. Deze leidraad is besproken door de begeleidingsgroep en hier heeft een review op plaatsgevonden door Nelen & Schuurmans. In overleg is de eerste opzet van de Leidraad vastgesteld door de STOWA. Op basis van deze leidraad worden nu vier zogenaamde showcases uitgevoerd:

- Flevoland (meren)
- Zeeland (kust)
- Zuid-Holland (benedenrivieren)
- Gelderland (bovenrivieren)

De showcase bovenrivieren is uitgewerkt in voorliggend rapport.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is als volgt:

‘Het toepassen van de Leidraad compartimentering op de showcase bovenrivierengebied en het leveren van een bijdrage aan de evaluatie van deze leidraad’

Dit wordt gedaan voor de Meidijk. Dit is een compartimenteringdijk in dijkkring 38 (Bommelerwaard), gelegen in de provincie Gelderland.

1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

In het hier gepresenteerde onderzoek zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd:

- Er is gewerkt met een bestaand overstromingsmodel van dijkkring 38, 41 en 43 (bron Provincie Gelderland).
- In het opstellen van de verschillende randvoorwaarden op de rivier is aangenomen dat de buitenwaterstand niet daalt door bresvorming en overstroming van de dijkkring.
- Naast verschil in piekhoogte van de golven is gewerkt met verschillen in afvoer; hiertoe worden 10% (smalle golf), 50% (gemiddelde golf) en 90% (brede golf) golven bepaald.
- Het schade- en slachtofferrisico is bepaald met HIS-SSM versie 2.2.

- Voor het berekenen van het schade- en slachtofferrisico is uitgegaan van de stijgsnelheid van het water in het overstromende gebied en de waterdiepte in de eindsituatie van de overstroming. Met de stroomsnelheid en eventuele evacuatie is geen rekening gehouden.
- Het schade- en slachtofferrisico is voor beide compartimenten van de Bommelerwaard (gescheiden door de compartimenteringdijk) afzonderlijk bepaald.
- Voor de kosten van dijkophoging is de methode die door de Bouwdienst binnen VNK is uitgewerkt, toegepast.

1.4 Werkwijze

De werkwijze volgt het stappenplan van de Leidraad (HKV, 2006). Ze omhelst de volgende stappen:

1. Gegevensverzameling en model initialisatie
2. Bepaling functie compartimenteringdijk
3. Bepaling breslocatie(s)
4. Uitwerken gebeurtenissen en randvoorwaarden berekening
5. Bepalen overschrijdingsfrequentie van waterstand bij compartimenteringdijk
6. Bepalen schade en slachtoffers
7. Indeling in normklassen volgens voorstellen Leidraad.

1.5 Leeswijzer

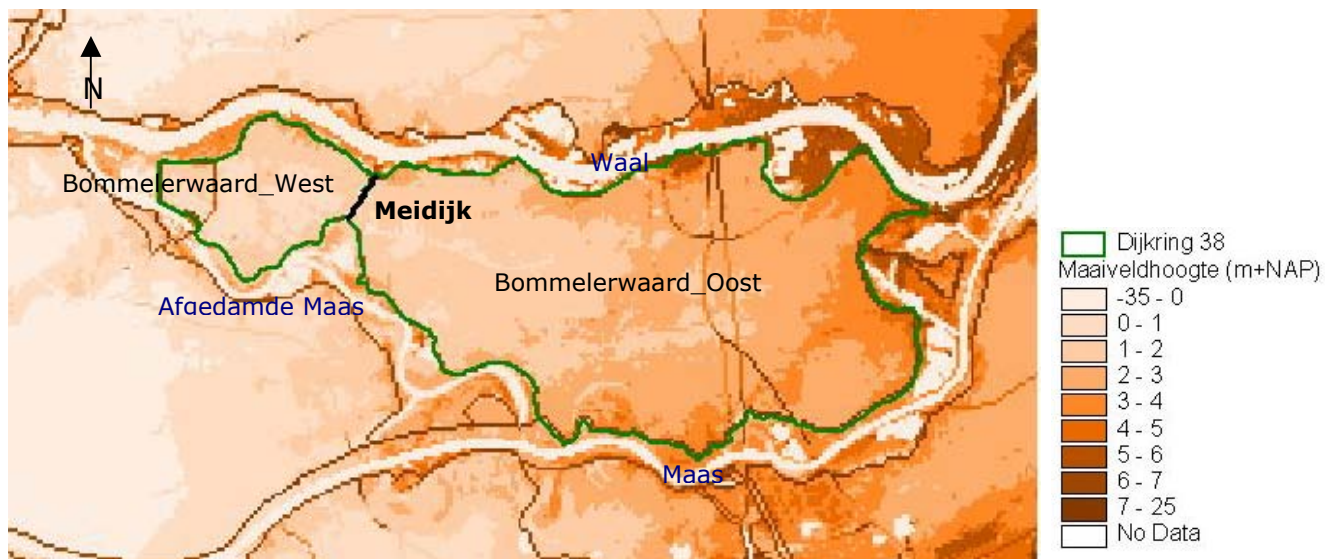
In hoofdstuk 2 wordt het onderzoeksgebied beschreven, evenals het model waarmee de overstroming gesimuleerd wordt. In hoofdstuk 3 worden vervolgens alle randvoorwaarden (als breslocatie, golfhoogte en dijkscenario's) besproken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de modellering besproken, dit omvat zowel de resultaten van de overstromingsberekeningen als de resultaten in schade en slachtoffers. Deze laatste zijn tevens verwerkt tot jaarlijks verwachte schade en jaarlijks verwachte slachtoffers. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de normering. De twee methodes die in de Leidraad zijn voorgesteld (conditionele kans en kosten-baten analyse) zijn uitgewerkt. Hierna volgt een evaluatie van de Leidraad en de normering. Hoofdstuk 6 bevat de uitwerking van twee fictieve scenario's, waarin wordt aangenomen dat er geen water via de primaire kering het tot dan toe niet overstroomde compartiment van de Bommelerwaard in kan stromen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Dijkkring

Dijkkring 38, de Bommelerwaard, is gelegen in de provincie Gelderland. De Bommelerwaard is aan de noordkant begrensd door de Waal, aan de zuidoostkant door de Maas en aan de zuidwestkant door de Afgedamde Maas. De primaire keringen van dijkkring 38 zijn gedimensioneerd op de veiligheidsnorm van 1/1250 jaar (zoals vastgelegd in de wet op Waterkering). De kering langs de Afgedamde Maas is een primaire c kering; in de Afgedamde Maas kan het peil gestuurd worden. De Meidijk is een compartimenteringdijk met een lengte van ± 1.1 km en een hoogte van ongeveer 6 m +NAP. De Meidijk deelt de Bommelerwaard in twee delen; Bommelerwaard West, met een oppervlakte van 15 km² en Bommelerwaard Oost, met een oppervlak van 94 km² (zie Figuur 2-1). In Bommelerwaard West wonen 3.575 mensen en Bommelerwaard Oost telt 41.900 inwoners (gegevens uit het jaar 2005).

De Meidijk is in beheer van het waterschap Rivierenland. Momenteel is er geen norm voor de dijk en de beheerder verwacht dat de dijk bij een eventuele overstroming zal bezwijken als gevolg van piping.

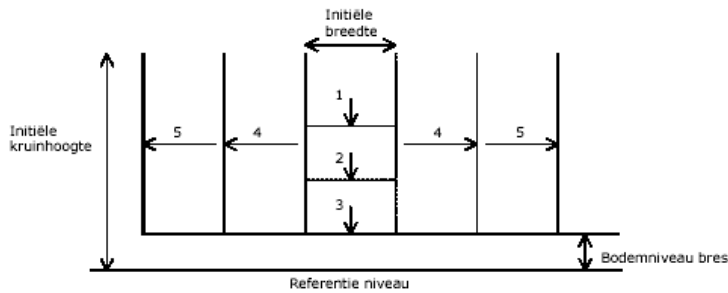


Figuur 2-1 Bommelerwaard, gelegen tussen de Waal, Maas en Afgedamde Maas. Hierin is de ligging van de Meidijk aangegeven.

2.2 Overstromingsmodel

Voor het bepalen van de mogelijke effecten in schade en slachtoffers bij een overstroming in dijkkring 38 is gebruik gemaakt van een reeds bestaand overstromingsmodel van dijkkring 38, 41 en 43, aangeleverd door de provincie Gelderland. Dit model is een FLS-model, wat wil zeggen dat zowel de rivier als de overstroming in de dijkkring tweedimensionaal worden gemodelleerd. Het modelgebied van het bestaand model is verkleind door het oppervlak van dijkkring 38 uit het bestaand model te knippen, om rekentijd te besparen. Ook is het model omgezet om te kunnen rekenen in SOBEK, modules channel flow en overland flow (versie 2.09.003).

De overland flow schematisatie in het model bestaat uit een bodemgrid met een resolutie van 100 x 100 m, waarin de maaiveldhoogte is opgenomen. Aan dit grid is een ruwheidsgrid met dezelfde resolutie gekoppeld. De overstroming wordt gemodelleerd aan de hand van een aan een specifieke locatie op de primaire kering opgelegd waterstandsverloop. Dit waterstandsverloop leidt tot bresvorming in de primaire kering. Hiervoor is gebruik gemaakt van een automatische bresgroeifunctie, deze wordt gemodelleerd met de formule van Verheij-vdKnaap (Sobek help file, 2002). Het verloop van de bresgroeifunctie is in stappen; de bres groeit eerst in drie stappen in de diepte, daarna in twee stappen in de breedte (Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroeifunctie (aangepast uit de Sobek help file).

De specifieke randvoorwaarden die in het model zijn gehanteerd en de gebeurtenissen die zijn gemodelleerd worden toegelicht in Hoofdstuk 3.

3 Randvoorwaarden en gebeurtenissen

3.1 Breslocaties

In de modellering wordt de belasting van de Meidijk ten gevolge van een doorbraak van de primaire kering berekend voor zowel een dijkdoorbraak ten westen als ten oosten van de Meidijk. Voor de randvoorwaarden op de rivier is aangesloten bij de systematiek die gebruikt wordt bij het toetsen van deze keringen en zoals beschreven in de Leidraad (eerste opzet) van de compartimenteringdijken.

3.1.1 Oostelijke belasting Meidijk

Voor het bepalen van de breslocaties in de primaire kering bij een oostelijke belasting van de Meidijk is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een viertal breslocaties. Deze vier locaties zijn op basis van de kennis van de beheerder over de waterkering en het achterland gekozen. Hiertoe is een inschatting gemaakt van de waarschijnlijkheid van een bres op een bepaalde locatie, in combinatie met de grootte van de gevolgen van een bres op die locatie. De vier locaties zijn (zie ook Figuur 3-1):

- 1) een breslocatie ten westen van Rossum
- 2) een breslocatie ter hoogte van Hurwenen
- 3) een breslocatie ten westen van Zaltbommel
- 4) een breslocatie tussen Zuilichem en Nieuwaal

Dit zijn alle vier locaties voor een bres langs de Waal. De Waal heeft een groter debiet dan de Maas en een overstroming uit de Waal zal daarmee dus ook een grotere belasting voor de Meidijk vormen dan een overstroming vanuit de Maas. Een overstroming vanuit de Afgedamde Maas is niet waarschijnlijk, daar het peil op de Afgedamde Maas beheerd wordt.

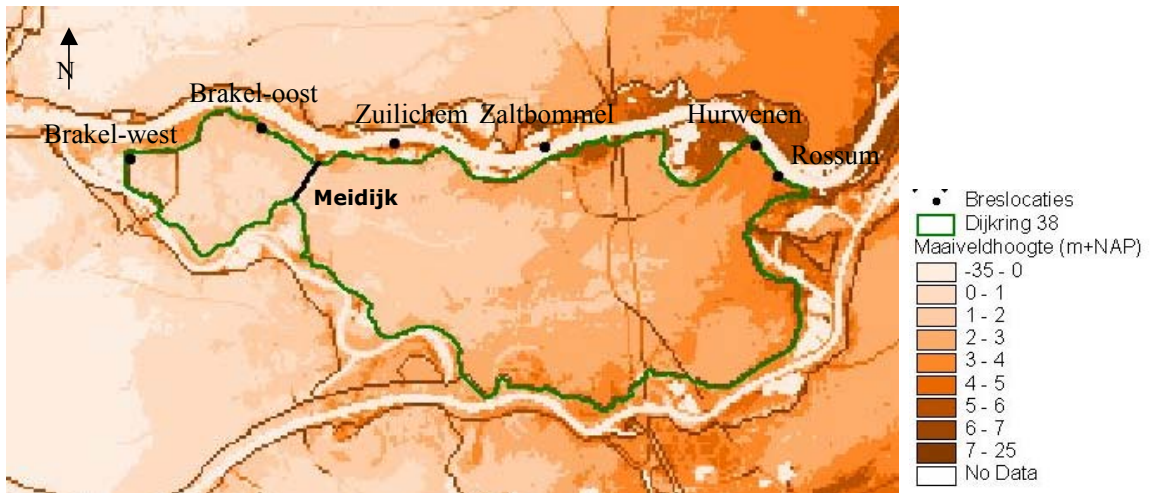
Voor de vier locaties zijn de effecten van een overstroming op de Meidijk doorgerekend. De breslocatie tussen Zuilichem en Nieuwaal (breslocatie Zuilichem) is maatgevend, daar een doorbraak op deze locatie de Meidijk het zwaarst belast.

3.1.2 Westelijke belasting Meidijk

Voor het bepalen van een breslocatie die de Meidijk vanuit het westen belast, is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Mogelijke breslocaties voor een westelijke belasting van de Meidijk zijn gekozen basis van de kennis van de beheerder over de waterkering en het achterland. Hierbij zijn dezelfde selectiecriteria gebruikt als voor de oostelijke belasting. Deze locaties zijn (zie ook Figuur 3-1):

- 1) een breslocatie ten oosten van Brakel
 - 2) een breslocatie ten westen van Brakel, ter hoogte van Buitenpolder het Munnikenland
- Ook deze locaties liggen langs de Waal.

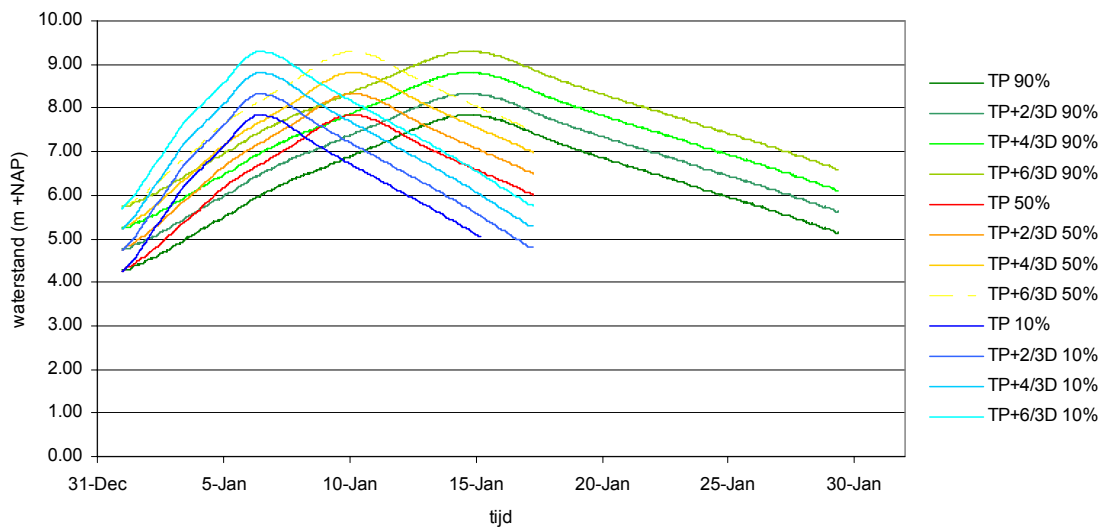
De breslocatie ten westen van Brakel (breslocatie Brakel) is maatgevend.



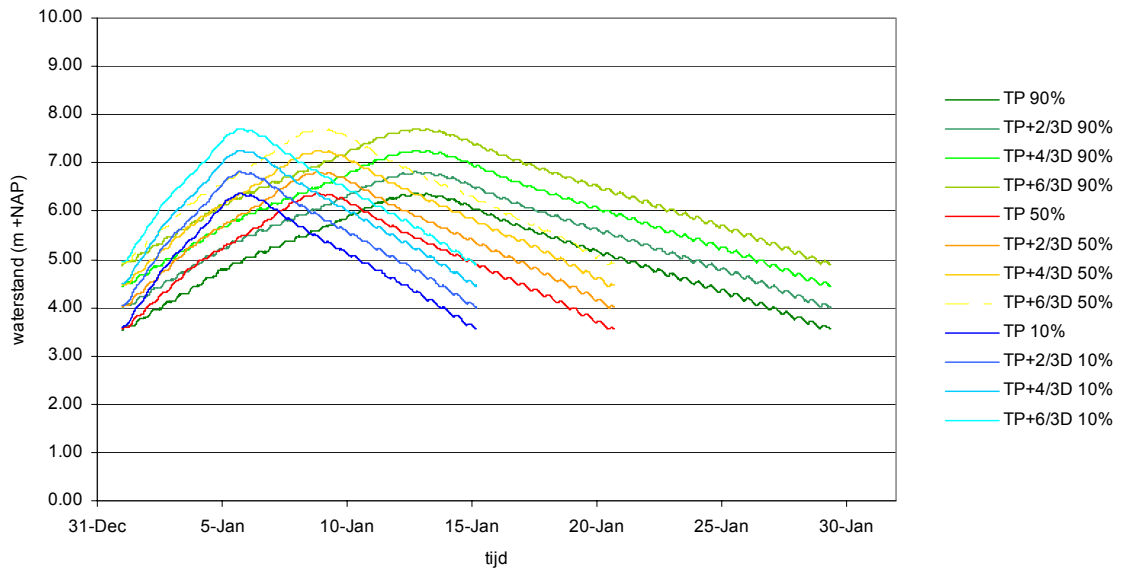
Figuur 3-1 Bommelerwaard met de ligging van de breslocaties.

3.2 Gebeurtenissen

Per breslocatie zijn twaalf golven opgelegd, zie voor de golfvorm Figuur 3-2 en Figuur 3-3. Deze golven zijn opgebouwd uit vier verschillende hoogtes en drie verschillende breedtes. In Tabel 3-1 zijn de verschillende combinaties van golfhoogtes en –breedtes weergegeven. Hierbij is aangegeven wat de frequentie is waarmee de waterstanden optreden en wat de kans op een bepaald afvoerpercentiel (golfbreedte) is. Hierna wordt uitgelegd waarop de golfhoogtes en –breedtes gebaseerd zijn.



Figuur 3-2 De 12 golven (verschillend in hoogte (TP, TP+2/3D etc.) en breedte (10%, 50% en 90%) die zijn opgelegd op het buitenwater bij Zuilichem.



Figuur 3-3 De 12 golven (verschillend in hoogte (TP, TP+2/3D etc.) en breedte (10%, 50% en 90%) die zijn opgelegd op het buitenwater bij Brakel.

Breedte	10%		50%		90%	
Hoogte	overschrijdings- frequentie (1/jaar)	conditio- nele kans (-)	overschrijdings- frequentie (1/jaar)	conditio- nele kans (-)	overschrijdings- frequentie (1/jaar)	conditio- nele kans (-)
TP	1:1250	0.2	1:1250	0.6	1:1250	0.2
TP + 2/3D	1:5802	0.2	1:5802	0.6	1:5802	0.2
TP + 4/3D	1:26931	0.2	1:26931	0.6	1:26931	0.2
TP + 2D	1:125000	0.2	1:125000	0.6	1:125000	0.2

Tabel 3-1 Verschillende gebruikte golfhoogtes en -breedtes, met respectievelijk hun frequentie en kans van voorkomen. Hierin is TP toetspeil en D is decimeringshoogte. De 'golfhoogtes' zijn de maximale waterstanden gedurende de golf.

Decimeringshoogte

Met de variatie in hoogte van een golf, verandert de overschrijdingsfrequentie. Het toetspeil heeft een overschrijdingsfrequentie van 1/1250 jaar. De piekwaarde is vervolgens verlegd naar 3 verschillende niveaus in stappen van 2/3 keer de decimeringshoogte, tot een hoogte van toetspeil plus tweemaal de decimeringshoogte. De decimeringshoogte (D) is het verschil in waterstand tussen twee waterstandsniveaus die een factor 10 verschillen in overschrijdingsfrequentie. Het toetspeil en de decimeringshoogte voor de breslocaties zijn:

- Zuilichem TP = 7.85m +NAP, D = 0.73m
- Brakel TP = 6.37m +NAP, D = 0.67m

Aanname in het opstellen van de verschillende golven is dat de waterstand niet daalt door bresvorming en overstrooming van de dijkkring.

De maximale waterstanden van de vier golfhoogtes die worden doorgerekend zijn weergegeven in Tabel 3-2.

Gebeurtenis	Brakel	Zuilichem
	Max. waterstand (m)	Max. waterstand (m)
TP	6.37	7.85
TP + 2/3D	6.82	8.34
TP + 4/3D	7.26	8.82
TP + 6/3D	7.71	9.31

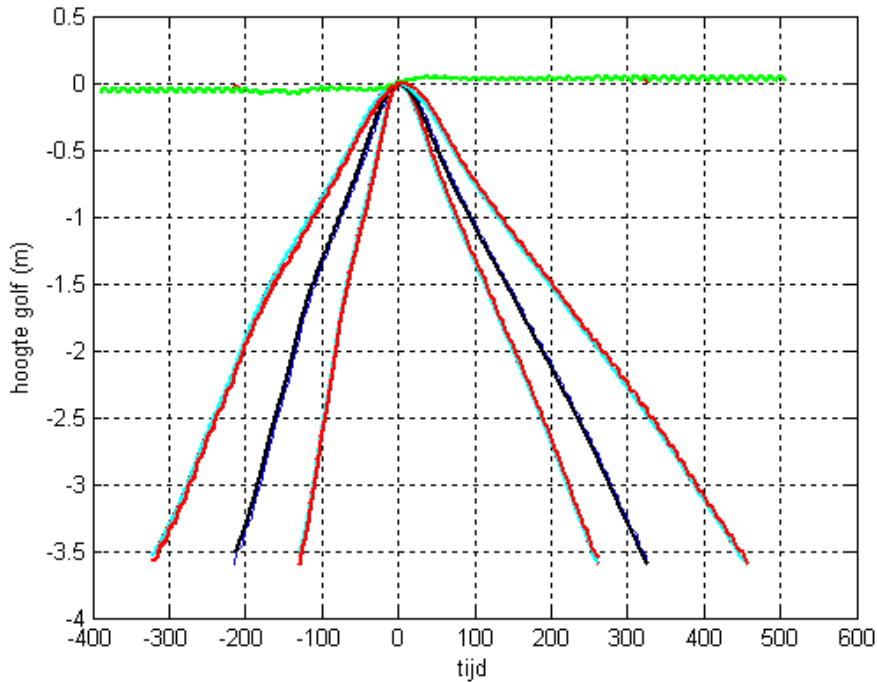
Tabel 3-2 Maximale waterstanden voor de vier gemodelleerde golfhoogtes bij de aangegeven breslocaties.

Golfbreedte

Met de variatie in de breedte van een golf, verandert de hoeveelheid water in de golf. De verschillende breedtes van een golf hebben ieder een overschrijdingsfrequentie die bestaat uit de kans van voorkomen van de betreffende breedte maal de overschrijdingsfrequentie die hoort bij de hoogte van de golf. De kans van voorkomen van de verschillende breedtes is bij elkaar opgeteld één, waardoor de overschrijdingsfrequentie van de verschillende golfbreedtes samen gelijk is aan de overschrijdingsfrequentie van de golfhoogte. In deze studie worden per overschrijdingsfrequentie drie golven doorgerend:

- 1) een 10% golf (minimum golf)
- 2) een 50% golf (gemiddelde golf)
- 3) een 90% golf (maximum golf).

In Figuur 3-4 zijn de drie verschillende golfbreedtes getoond. De 10% en 90% golf worden uitgerekend aan de hand van de 50% golf (blauwe lijn). Hiertoe is eerst de invloed van het getij (groene lijn) afgetrokken van de 50% golf. Daarna is de 50% golf vermenigvuldigd met factor 0.6 (10%) en 1.4 (90%) tot de piekwaarde en factor 0.8 (10%) en 1.5 (90%) na de piekwaarde (respectievelijk smalle en brede turquoise lijn). De factoren zijn zodanig gekozen dat de 10% en 90% golven aansluiten bij die zoals afgeleid in (RIZA, 2005). De invloed van het getij wordt weer bij de berekende golven opgeteld; dit zijn de 10% en 90% golven (respectievelijk smalle en brede rode lijn) waarmee gerekend wordt.



Figuur 3-4 Drie golven van verschillende breedte, met dezelfde waterhoogte. Blauwe lijn is 50% golf, zwarte lijn is 50% golf zonder getij (getij is groende lijn). Smalle turquoise lijn is 10% golf, brede turquoise lijn is 90 % golf. Op deze golven is het getij weer gesuperponeerd, dit levert de voor de berekeningen gebruikte rode golven.

3.3 Scenario's Meidijk

De functie van de Meidijk in het al dan niet beperken van het aantal slachtoffers en de economische schade ten gevolge van een overstroming wordt onderzocht aan de hand van vier scenario's:

1. Oneindig hoge Meidijk (scenario Hoog),
2. Huidige situatie van de Meidijk, waarbij de Meidijk waterkerend blijft in geval van overstromen (scenario Huidig),
3. Afwezigheid van de Meidijk (scenario Geen),
4. Huidige situatie van de Meidijk, waarbij in de Meidijk een (of meerdere) bres(sen) ontstaat(n) als er 15 cm water over de dijk stroomt (scenario Huidig, dijk bezwijkt).

Additioneel zijn de resultaten van scenario Geen en scenario Hoog uitgewerkt voor het fictieve geval waarin geen water via de primaire kering terug de dijkkring in kan stromen. Dit is apart van de niet-fictieve resultaten uitgewerkt in hoofdstuk 6.

3.4 Bresgroei

Het moment waarop de bres ontstaat is het moment waarop de waterstand van de golf maximaal is. In 10 minuten ontwikkelt de bres zich vanaf de dijkhoogte naar het maaiveld, vervolgens ontwikkelt de bres zich in de breedte (volgens Verheij-vdKnaap, 2002). In de modellering van de bresgroei is rekening gehouden met het materiaal van de dijk. Bij Brakel bestaat de dijk uit zand en is de factor van kritieke stroomsnelheid ingesteld op 0.2 m/s. Bij Zuilichem bestaat de dijk uit klei, hier is de factor van de kritieke stroomsnelheid 0.5 m/s.

3.5 Resumé

Voor beide breslocaties (paragraaf 3.1) in dijkring 38 zijn 12 gebeurtenissen (paragraaf 3.2) en 4 scenario's (paragraaf 3.3) doorgerekend, zie Tabel 3-3. Dit resulteert in 96 (overstromingsberekeningen voor dijkring 38.

Golfhoogte	Golfbreedte	Scenario's	Breslocatie
TP	10%	Hoog	Zuilichem
TP+2/3D	50%	Huidig	Brakel
TP+4/3D	90%	Geen	
TP+6/3D		Huidig, dijk bezwijkt	

Tabel 3-3 Overzicht van alle overstromingsberekeningen.

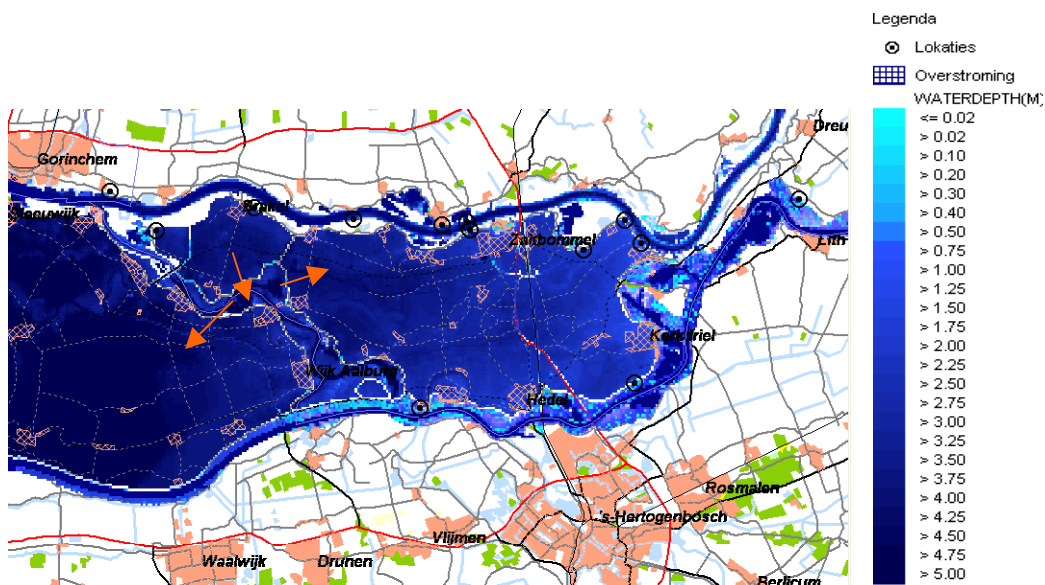
4 Resultaten

Hier worden eerst de belangrijkste punten van de resultaten van de overstromingsberekeningen toegelicht. Daarna worden frequentielijnen van de maximale waterstand bij de Meidijk getoond. In de volgende paragraaf worden de resultaten van de schade en slachtoffer berekeningen gepresenteerd.

4.1 Resultaten overstromingsmodel

Uit de modellering blijkt dat de Meidijk niet overstromt. Voordat het water tot kruinhoogte van de dijk gestegen is, stroomt het al over de 'primaire c kering' de Afgedamde Maas in. In een dergelijke situatie is het peil van de Afgedamde Maas volkomen beheerst doordat deze is gescheiden van zowel de Waal als de Maas.

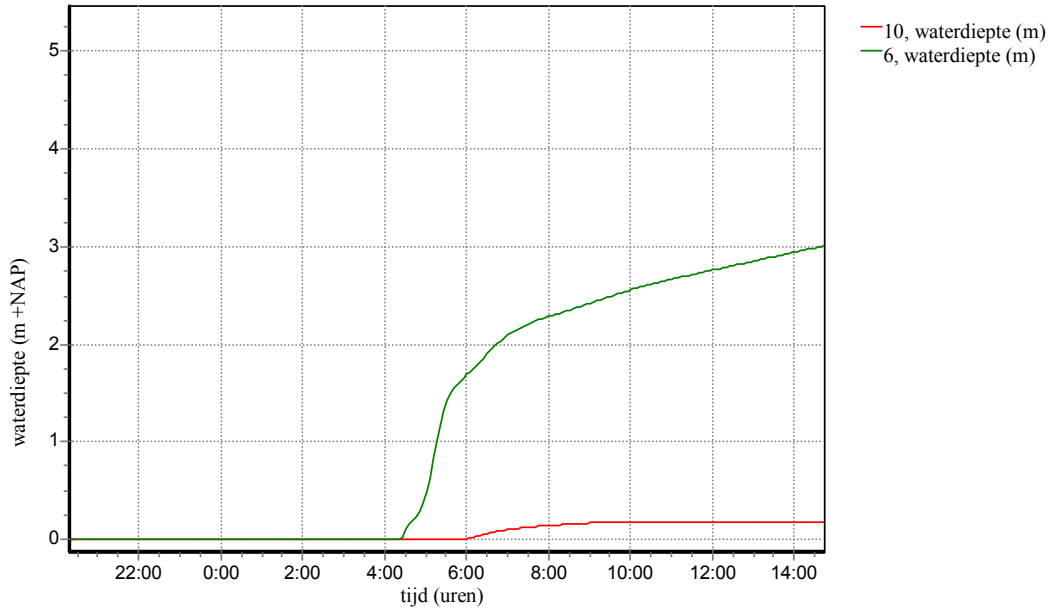
Een van de randvoorwaarden in de modellering is dat het peil in de Afgedamde Maas regelbaar is en dus tijdens een hoogwaterperiode op een vast peil onder de kering staat. Hiervoor is in de berekeningen dan ook een vaste waterstand aangenomen die overeen komt met een waterstand bij deze extreme situaties. Het water dat uit het ene compartiment van de Bommelerwaard de Afgedamde Maas instroomt, stroomt via de c kering het andere compartiment van de Bommelerwaard in. Ook stroomt het naar dijkkring 24 ten westen van de Bommelerwaard. Deze dijkkring is verder niet onderzocht. Een voorbeeld van een overstroming via de primaire c kering, is gegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 *Bres bij Brakel West, golf op toetspeil + 6/3 D, 10%. Dijkscenario: Hoog (oneindig hoog). Eindsituatie (buitenwater weer op initieel peil). Met oranje pijlen is de stroomrichting van het water de Afgedamde Maas in en uit weergegeven.*

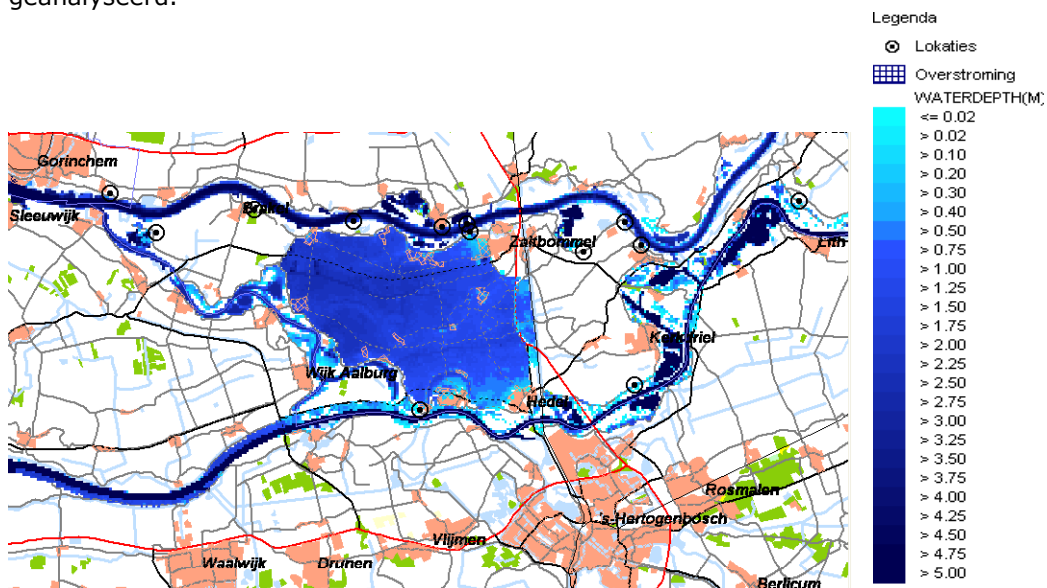
Doordat de c kering langs de Afgedamde Maas lager is dan de Meidijk, overstromt de Meidijk pas als beide compartimenten van de Bommelerwaard al (deels) gevuld zijn. In Figuur 4-2 is het waterstandsverloop in een locatie op de Meidijk en een locatie achter de Meidijk gegeven. De Meidijk overstromt hier pas terwijl er al water aan beide zijden van de dijk staat. Wanneer er water aan beide zijden van de dijk staat op het moment dat deze overstromt, zal de dijk

niet meer ondermijnd worden. Het scenario Huidig, dijk bezwijkt is dan ook niet doorgerekend, daar deze situatie niet optreedt.

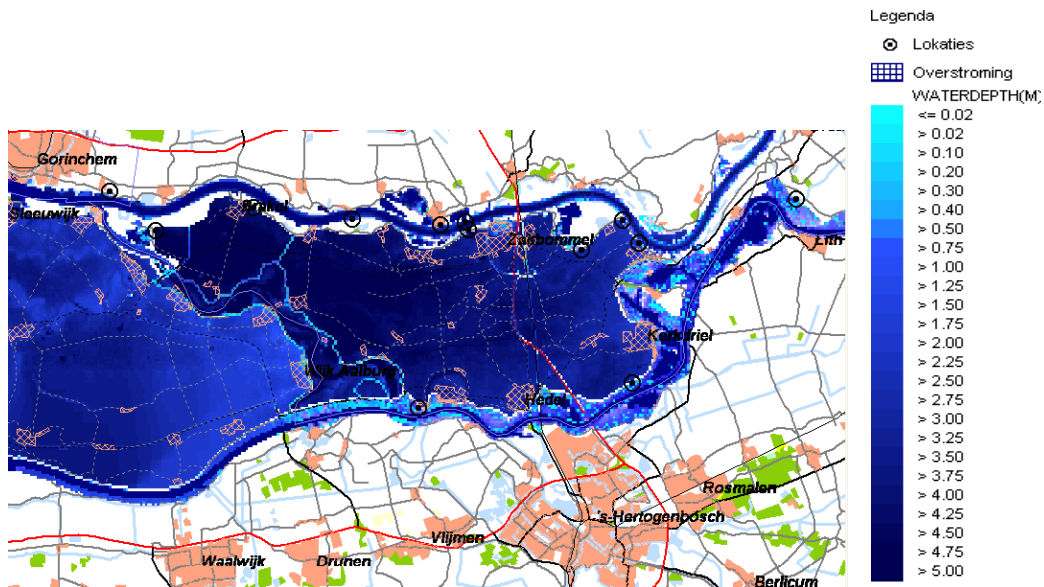


Figuur 4-2 Waterstandsverloop tijdens een overstroming van dijkkring 38, op een locatie op de Meidijk (10) en een locatie ten oosten van de dijk (6). De bres in de primaire kering bevindt zich ten westen van de dijk. Het water is eerder op locatie 6 (dus achter de dijk) dan dat de dijk begint te overstromen.

Een ander voorbeeld van een berekeningsresultaat wordt gegeven in Figuur 4-3 en Figuur 4-4. In beide situaties is de golf op het buitenwater nog niet geheel gepasseerd, er stroomt nog steeds water de Bommelerwaard in. In Figuur 4-4 stroomt er echter ook al water via de Afdamde Maas naar een volgende dijkkring (systeemwerking). Dit is verder buiten beschouwing gelaten, alleen de gevolgen van de overstromingen in dijkkring 38 zijn geanalyseerd.



Figuur 4-3 Bres bij Zuilichem, golf op toetspeil, 90%. Dijkscenario: Huidig (dijk overstroomt maar bezwijkt niet). Situatie na 15 uur.

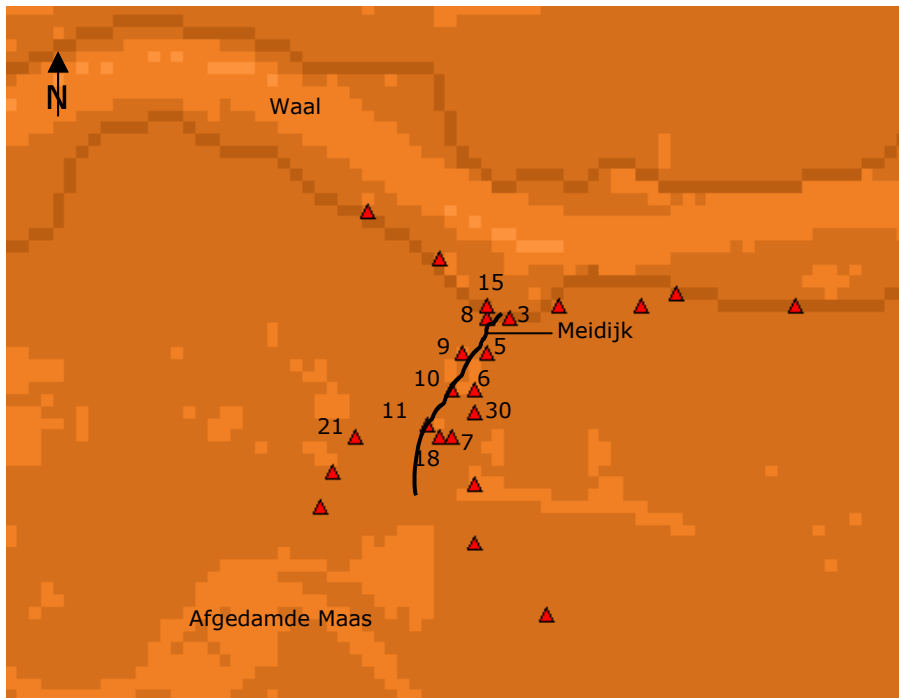


Figuur 4-4 *Bres bij Zuilichem, golf op toetspeil, 90%. Dijkscenario: Huidig (dijk overstromt, maar bezwijkt niet). Situatie na 4 dagen.*

In alle uitgevoerde berekeningen stroomt de gehele dijk vol. Ook stroomt het water via de c kering door de Afgedamde Maas de dijkkring uit en dijkkring 24 in. Dit gebeurt reeds voordat de Meidijk overstromt, daar het niveau van de Meidijk hoger is dan het niveau van de primaire c kering langs de Afgedamde Maas.

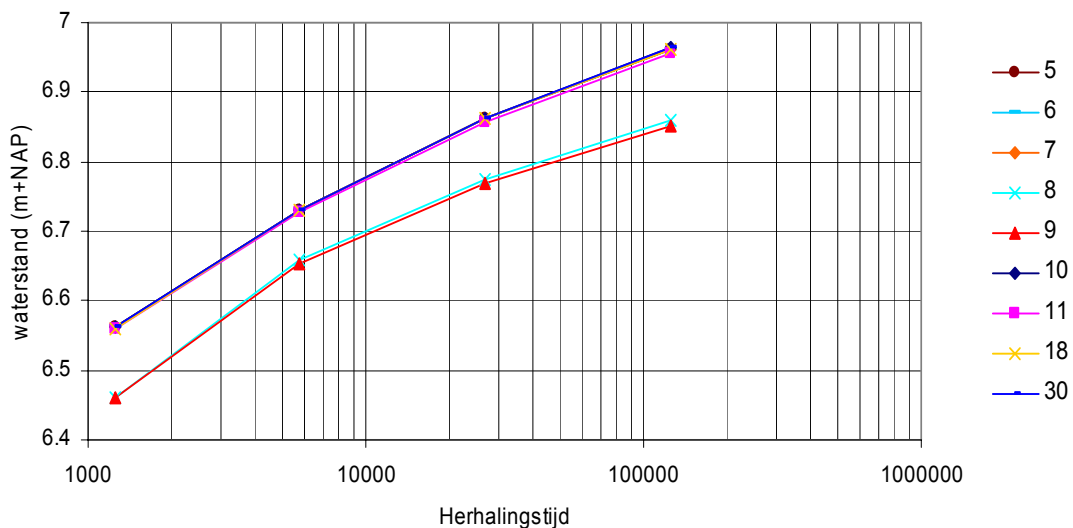
4.2 Waterstandfrequentielijnen

Op verschillende locaties op en langs de dijk is in het overstromingsmodel de waterstand bepaald (zie Figuur 4-5). De frequentielijnen van maximale waterstanden bij de Meidijk worden bepaald op drie punten; locatie 6 ten oosten van, locatie 9 ten westen van en locatie 10 op de dijk. Deze punten zijn voldoende om de waterstanden goed weer te geven, zie Figuur 4-6.



Figuur 4-5 Locaties van uitvoer-punten op en rond de Meidijk. Locatie 10 en 11 liggen op de Meidijk, locatie 3 en 15 liggen op de primaire kering.

In Figuur 4-6 is duidelijk te zien dat er een verdeling gemaakt kan worden in twee groepen. De locaties ten oosten van of op de dijk (locaties 5, 6, 7, 10, 11, 18 en 30) hebben dezelfde waterstanden en verschillen van de locaties ten westen van de dijk (8, 9 en 21), die ook allen ongeveer gelijke waterstanden hebben.

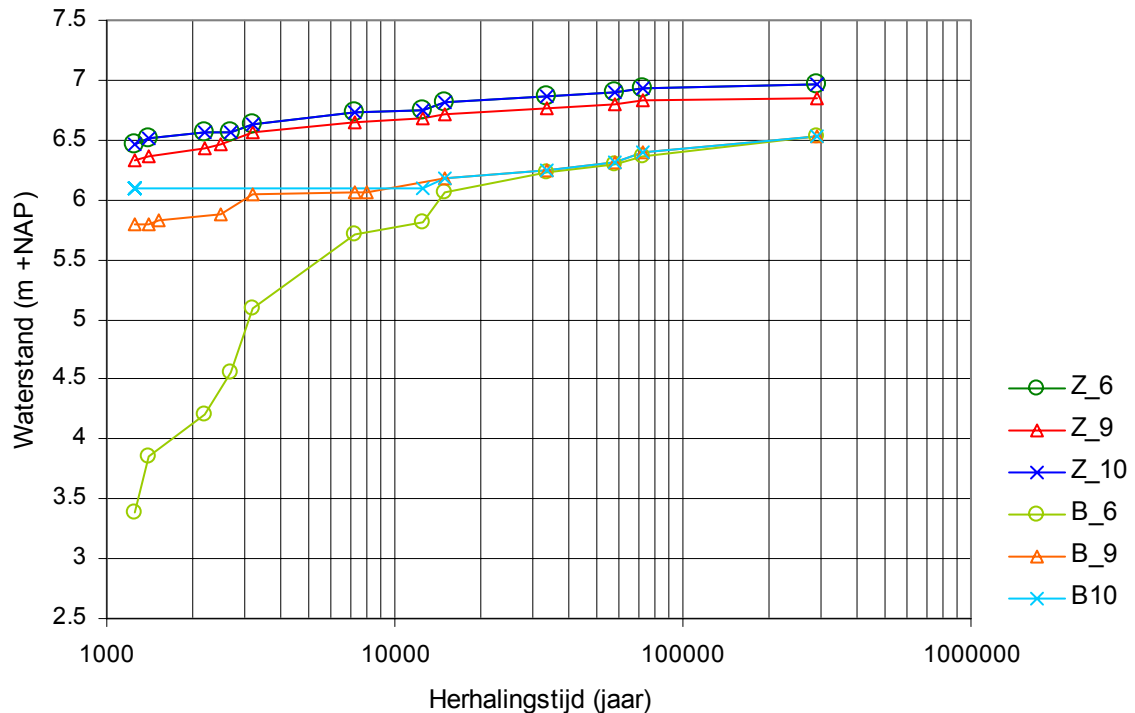


Figuur 4-6 Herhalingstijden van de maximale waterstand langs en op de Meidijk, na een doorbraak bij Zuilichem. Scenario Huidig, golf van 90%. Zie voor de locaties van de punten Figuur 4-5.

Ten oosten van de dijk komt het water hoger dan ten westen van de dijk, doordat de doorbraak in de primaire kering zich ten oosten van de dijk bevindt. Het water komt dan ook van een hoger gelegen plaats op de rivier, waar de waterstand hoger is.

De waterstanden op drie locaties (een ten oosten, een ten westen en een op de dijk) worden verder verwerkt tot frequentielijnen.

In Figuur 4-7 zijn de waterstandfrequentielijnen getoond. Hiervoor zijn de maximale waterstanden gedurende de overstroming gebruikt, in het scenario Huidig.



Figuur 4-7 Waterstanden en hun herhalingstijd. De waterstanden Z_x zijn na een doorbraak bij Zuilichem, de waterstanden B_x zijn na een doorbraak bij Brakel. De waterstanden zijn uitgerekend voor scenario Huidig. Voor locaties van de meetpunten (x), zie Figuur 4-5. Locatie 6 ligt aan de oostelijke zijde van de Meidijk, 9 aan de westelijke zijde en 10 op de Meidijk.

Na een doorbraak bij Zuilichem is het verschil in maximale waterhoogte aan weerszijden van de dijk klein. Dit is ook na een doorbraak bij Brakel het geval voor de grotere herhalingstijden. Bij de lagere herhalingstijden (grotere overschrijdingskans) is er wel een verschil tussen de maximale waterstand aan de oost- en aan de westkant van de dijk. Er stroomt dus bij lagere herhalingstijden minder water om de Meidijk heen de Bommelerwaard Oost in. Hier heeft de kering wel degelijk een effect.

Door het lagere toetspeil bij Brakel, levert een doorbraak daar minder water dat de polder in kan stromen. Na een doorbraak bij Brakel is er verschil in maximale waterstand op en naast de dijk ((het verloop van) de waterstand op locatie 10 wijkt af van die op locaties 9 en 6), na een doorbraak bij Zuilichem is de waterstand op de dijk gelijk aan die aan de oostkant (is kant van de doorbraak).

4.3 Schade en Slachtoffers

De gevolgen van een overstroming in dijkkring 38 voor wat betreft het aantal slachtoffers en de economische schade worden bepaald met HIS-SSM versie 2.2. HIS-SSM combineert de hydraulische gegevens van een overstroming (in dit geval een waterdieptegrid en het stijghoogteverloop) met gebiedsspecifieke karakteristieken (als infrastructuur en landgebruik), door middel van schadefuncties (Huizinga et al., 2005).

In de modellering van het aantal slachtoffers en de economische schade ten gevolge van een overstroming wordt er geen rekening gehouden met de stroomsnelheid van het water en evacuatie van inwoners. De bepaling van schade en slachtoffers wordt gegeven als totaal voor de Bommelerwaard, en uitgesplitst naar de door de Meidijk gescheiden compartimenten west en oost (zie Figuur 2-1). Alle eventuele gevolgen van de overstromingen buiten dijkkring 38 zijn niet meegenomen in de bepaling van de schade en slachtoffers. Er is vanuit gegaan dat er geen evacuatie heeft plaatsgevonden.

In Tabel 4-1 en Tabel 4-2 zijn de schadebedragen en slachtofferaantallen per gebeurtenis en scenario gegeven. De schade die hier is weergegeven is de gewogen schade, hetgeen wil zeggen dat er een weging voor directe en indirecte schade is uitgevoerd.

Bij een doorbraak bij Brakel nemen de verschillen tussen oost en west sterk toe naarmate de gebeurtenis extremer (hogere en bredere golf) wordt, behalve in het scenario waarin de Meidijk niet bestaat. Bij de minst extreme golf zijn de schade en het aantal slachtoffers in west in dezelfde orde van grootte als bij de meest extreme gebeurtenis (schade verschilt 76 miljoen euro op een maximum van 435 miljoen; slachtoffers verschilt 27 personen op een maximum van 76). In oost daarentegen nemen de schade en het aantal slachtoffers aanzienlijk toe naarmate de gebeurtenis extremer is (schade verschilt 3,274 miljoen euro op een maximum van 3,787 euro; slachtoffers verschilt 367 personen op een maximum van 408).

Bij een doorbraak bij Zuilichem zijn de schade- en slachtofferverhoudingen tussen oost en west tussen de verschillende gebeurtenissen veel constanter. De schade in totaal is hoger wanneer de doorbraak bij Zuilichem optreedt dan wanneer deze bij Brakel optreedt; dit komt door het hogere toetspeil bij Zuilichem, wat een grotere hoeveelheid water levert. De schade en slachtoffers in de scenario's met een oneindig hoge dijk en met de huidige dijk die overstroomt maar niet bezwijkt zijn vrijwel hetzelfde. Wanneer er geen compartimenteringdijk is, zijn de totale hoeveelheid schade en aantal slachtoffers na een doorbraak bij Zuilichem minder, terwijl deze na een doorbraak bij Brakel meer zijn. Dit maakt duidelijk dat er in hoeveelheid schade en aantal slachtoffers een sterke gevoeligheid is voor aan welke kant van de compartimenteringdijk de breslocatie zich bevindt. Het effect van de verschillende scenario's op schade en slachtoffers is eenduidig, wanneer er minder schade is zijn er ook minder slachtoffers. De totale hoeveelheid schade en slachtoffers is in oost groter dan in west, onafhankelijk van de locatie van de doorbraak. Dit komt doordat oost groter is (in oppervlak) en meer inwoners heeft.

Gebeurtenis	Frequentie	Hoog			Huidig			Geen			
		West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	
TP, 10%	1:1250	€*	421	3,738	4,159	422	3,708	4,130	428	3,585	4,013
		†	67	401	468	68	397	465	73	379	452
TP + 2/3D, 10%	1:5802	€*	430	3,977	4,407	431	3,938	4,369	436	3,799	4,235
		†	72	438	510	73	432	505	79	410	489
TP + 4/3D, 10%	1:26931	€*	441	4,194	4,635	442	4,165	4,607	446	4,120	4,566
		†	82	474	556	83	470	553	89	462	551
TP + 6/3D, 10%	1:125000	€*	445	4,439	4,884	447	4,401	4,848	450	4,345	4,795
		†	88	519	607	89	512	601	96	502	598
TP, 50%	1:1250	€*	424	3,808	4,232	425	3,778	4,203	431	3,652	4,083
		†	69	411	480	69	407	476	75	368	443
TP + 2/3D, 50%	1:5802	€*	437	4,025	4,462	438	3,982	4,420	442	3,935	4,377
		†	77	446	523	78	439	517	84	431	515
TP + 4/3D, 50%	1:26931	€*	443	4,290	4,733	444	4,257	4,701	448	4,205	4,653
		†	84	492	576	85	486	571	92	476	568
TP + 6/3D, 50%	1:125000	€*	446	4,493	4,939	447	4,455	4,902	451	4,400	4,851
		†	89	530	619	90	522	612	98	512	610
TP, 90%	1:1250	€*	430	3,893	4,323	431	3,859	4,290	437	3,765	4,202
		†	72	425	497	73	419	492	79	405	484
TP + 2/3D, 90%	1:5802	€*	441	4,155	4,596	442	4,128	4,570	446	4,083	4,529
		†	81	468	549	82	463	545	88	455	543
TP + 4/3D, 90%	1:26931	€*	445	4,383	4,828	446	4,347	4,793	449	4,291	4,740
		†	87	509	596	88	502	590	94	492	586
TP + 6/3D, 90%	1:125000	€*	447	4,549	4,996	448	4,510	4,958	452	4,457	4,909
		†	91	542	633	92	542	634	99	522	621

Tabel 4-1 Schade en slachtoffers per gebeurtenis, per scenario, uitgesplitst naar Bommelerwaard West en Bommelerwaard Oost; berekend voor de doorbraak bij Zuilichem. Voor scenario's zie paragraaf 3.3.

Brakel	Gebeurtenis	Frequentie	Hoog			Huidig			Geen		
			West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
TP, 10%	1:1250	€*	359	513	872	359	513	872	267	1,812	2,079
		†	49	41	90	49	41	90	31	156	187
TP + 2/3D, 10%	1:5802	€*	392	1,566	1,958	391	1,567	1,958	360	2,670	3,030
		†	57	126	283	57	126	183	51	261	312
TP + 4/3D, 10%	1:26931	€*	407	2,720	3,127	407	2,732	3,139	416	3,325	3,741
		†	61	267	328	61	268	329	67	343	410
TP + 6/3D, 10%	1:125000	€*	420	3,421	3,841	421	3,434	3,855	433	3,644	4,077
		†	67	356	423	67	358	425	76	387	463
TP, 50%	1:1250	€*	364	934	1,298	364	934	1,298	291	2,022	2,313
		†	50	68	118	50	68	118	36	181	217
TP + 2/3D, 50%	1:5802	€*	393	1,964	2,357	393	1,966	2,359	385	2,927	3,312
		†	57	174	231	57	174	231	57	293	350
TP + 4/3D, 50%	1:26931	€*	408	3,066	3,474	408	3,077	3,485	421	3,421	3,842
		†	62	310	372	62	311	373	70	356	426
TP + 6/3D, 50%	1:125000	€*	426	3,534	3,960	427	3,541	3,968	435	3,696	4,131
		†	70	372	442	70	373	443	77	395	472
TP, 90%	1:1250	€*	370	1,329	1,699	370	1,329	1,699	336	2,442	2,778
		†	51	101	152	51	101	152	46	233	279
TP + 2/3D, 90%	1:5802	€*	395	2,589	2,984	395	2,590	2,985	405	3,166	3,571
		†	58	251	309	58	251	309	63	323	386
TP + 4/3D, 90%	1:26931	€*	415	3,333	3,748	415	3,337	3,752	427	3,520	3,947
		†	64	344	408	64	345	409	72	370	442
TP + 6/3D, 90%	1:125000	€*	435	3,787	4,222	436	3,791	4,227	440	3,834	4,274
		†	76	408	484	76	409	485	81	415	496

Tabel 4-2 Schade en slachtoffers per gebeurtenis, per scenario, uitgesplitst naar Bommelerwaard West en Bommelerwaard Oost; berekend voor de doorbraak bij Brakel. Voor scenario's zie paragraaf 3.3.

In Tabel 4-3 zijn de jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers gegeven, zowel in absolute aantallen als procentueel ten opzichte van de situatie zonder compartimenteringdijk. In Figuur 4-8 zijn de totale absolute aantallen weergegeven. De jaarlijkse verwachte schade en slachtoffers zijn berekend volgens:

$$JVS = \frac{1}{T_n} * S(T_n) + \dots + \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) * \frac{S(T_2) + S(T_1)}{2}$$

waarin

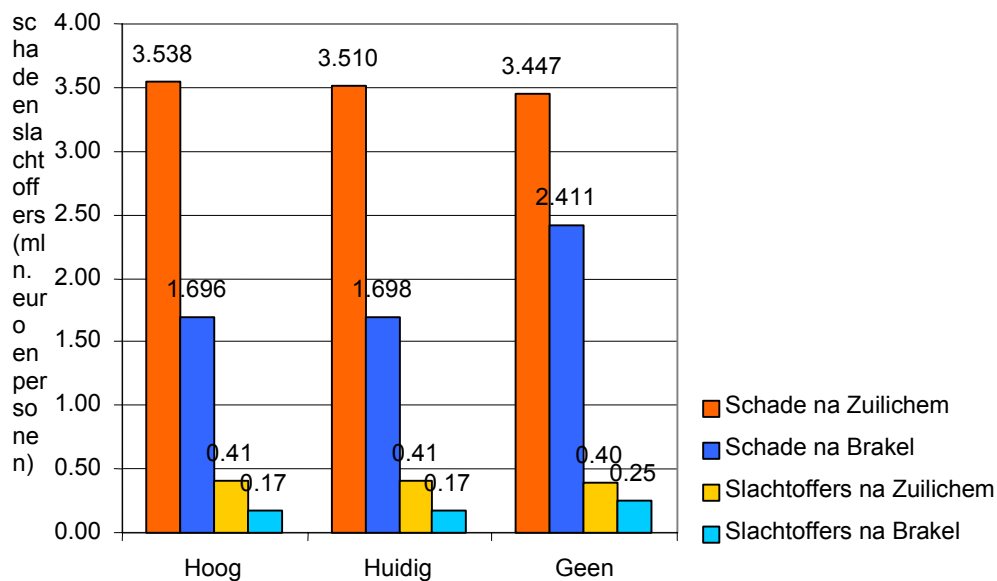
JVS = jaarlijks verwachte schade/slachtoffers

$1/T_{1,n}$ = overschrijdingsfrequentie van 1 (grootste) tot n (kleinste)

S(T) = schade/slachtoffers behorende bij overschrijdingsfrequentie 1/T

Scenario	Doorbraak bij Zuilichem						Doorbraak bij Brakel					
	Schade			Slachtoffers			Schade			Slachtoffers		
	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
Absoluut (mln euro en p.)												
Hoog	0.34	3.19	3.54	0.06	0.35	0.41	0.31	1.39	1.70	0.04	0.12	0.17
Huidig	0.35	3.16	3.51	0.06	0.35	0.41	0.31	1.39	1.70	0.04	0.12	0.17
Geen	0.35	3.10	3.45	0.07	0.33	0.40	0.28	2.13	2.41	0.04	0.21	0.25
Procentueel (%)	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal	West	Oost	Totaal
Hoog	99	103	103	92	106	103	108	65	70	108	60	68
Huidig	99	102	102	93	104	102	108	65	70	108	60	68
Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabel 4-3 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, in absolute bedragen en aantallen en procentueel t.o.v. schade en slachtoffers in de situatie zonder dijk.



Figuur 4-8 Staafdiagram van de totale hoeveelheid (dus west en oost opgeteld) schade en slachtoffers na een doorbraak bij Zuilichem en na een doorbraak bij Brakel, voor de verschillende scenario's (zie paragraaf 3.3).

In Tabel 4-4 en Tabel 4-5 is per gebeurtenis, per scenario de bijdrage aan de jaarlijks verwachte schade en het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers gegeven, na een doorbraak bij Zuilichem en na een doorbraak bij Brakel.

Gebeurtenis	Frequentie	Hoog		Huidig		Geen	
		West	Oost	West	Oost	West	Oost
TP, 10%	1:1250	15.4	15.2	15.4	15.2	15.4	15.0
		14.6	14.9	14.6	14.9	14.6	14.8
TP + 2/3D, 10%	1:5802	3.4	3.5	3.4	3.5	3.4	3.5
		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
TP + 4/3D, 10%	1:26931	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8
		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
TP + 6/3D, 10%	1:125000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
TP, 50%	1:1250	46.8	46.2	46.8	46.2	46.7	46.1
		45.9	45.7	45.7	45.7	45.8	45.1
TP + 2/3D, 50%	1:5802	10.3	10.6	10.3	10.6	10.3	10.7
		10.9	10.8	10.9	10.8	10.9	11.0
TP + 4/3D, 50%	1:26931	2.2	2.4	2.2	2.4	2.2	2.4
		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
TP + 6/3D, 50%	1:125000	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
TP, 90%	1:1250	15.8	15.8	15.8	15.8	15.9	15.9
		16.0	15.9	16.1	15.9	16.0	16.2
TP + 2/3D, 90%	1:5802	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.7
		3.8	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8
TP + 4/3D, 90%	1:26931	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
TP + 6/3D, 90%	1:125000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

Tabel 4-4 Procentuele bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Zuilichem.

Uit de resultaten blijkt:

- De verschillende decimeringshoogtes hebben daadwerkelijk een bijdrage aan de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers; dit blijkt uit de bijdrage aan de JVS bij extreme gebeurtenissen. Bijvoorbeeld: Zowel bij de doorbraak bij Zuilichem als die bij Brakel is de bijdrage van TP + 2/3D aan de JVS in de verschillende golfpercentielen ongeveer een kwart van de bijdrage van TP. Dit komt door de sterk toenemende schade in het gebied als gevolg van de toenemende hoeveelheid water.
- Voor beide doorbraken, alle situaties, blijkt ook het nut van het beschouwen van de verschillende afvoerpercentielen. De bijdrage van het 90% percentiel is groter dan het 10% percentiel. Uitgaan van alleen het gemiddelde (de 50% golf) zou een onderschatting opleveren. Hierbij wordt opgemerkt dat voor andere locaties het belang van de 10% en de

90% vrijwel gelijk is. Voor deze situaties zou het niet nodig zijn dit onderscheid te maken.

- Het eventueel laten vervallen van klassen van decimeringshoogte en afvoerpercentielen is afhankelijk van de ontwikkeling van de schade. In deze showcase in het rivierengebied loopt de dijkkring vrijwel geheel vol. De schade is dan ook maximaal waardoor het nut van de klassen wellicht beperkt zou zijn. De bijdrage van de verschillende gebeurtenissen aan de JVS toont echter het nut ook in het rivierengebied aan. In een situatie waarin een gebied niet altijd vol komt te staan zal het belang van de verschillende klassen groter zijn. Daarnaast kan het belang van de verschillende klassen, en eventueel vervallen hiervan, alleen worden aangetoond op basis van de resultaten.

Gebeurtenis	Frequentie	Hoog		Huidig		Geen	
		West	Oost	West	Oost	West	Oost
TP, 10%	1:1250	15.3	9.4	15.3	9.4	13.9	13.2
		15.0	8.4	15.0	8.4	12.6	12.6
TP + 2/3D, 10%	1:5802	3.5	4.2	3.5	4.2	3.7	3.8
		3.6	4.3	3.6	4.3	3.9	3.9
TP + 4/3D, 10%	1:26931	0.8	1.3	0.8	1.3	0.9	1.0
		0.8	1.5	0.8	1.5	1.0	1.0
TP + 6/3D, 10%	1:125000	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3
		0.2	0.5	0.2	0.5	0.3	0.3
TP, 50%	1:1250	46.3	39.3	46.4	39.3	44.9	43.8
		45.6	36.7	45.6	36.7	42.9	42.8
TP + 2/3D, 50%	1:5802	10.6	14.7	10.6	14.7	11.5	12.1
		10.9	15.8	10.9	15.8	12.6	12.6
TP + 4/3D, 50%	1:26931	2.4	4.2	2.4	4.2	2.6	2.9
		2.6	4.8	2.6	4.8	3.1	3.2
TP + 6/3D, 50%	1:125000	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	0.8
		0.8	1.4	0.8	1.4	0.9	0.9
TP, 90%	1:1250	15.6	17.7	15.6	17.7	16.4	16.5
		15.5	17.8	15.5	17.8	16.8	16.7
TP + 2/3D, 90%	1:5802	3.6	5.8	3.6	5.8	4.0	4.2
		3.7	6.5	3.7	6.5	4.5	4.5
TP + 4/3D, 90%	1:26931	0.8	1.5	0.8	1.5	0.9	1.0
		0.9	1.8	0.9	1.8	1.1	1.1
TP + 6/3D, 90%	1:125000	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3
		0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3

Tabel 4-5 Procentuele bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers per gebeurtenis, voor een doorbraak bij Brakel.

5 Normering

De twee in de Leidraad onderscheiden aanpakken om tot normering te komen zijn hieronder uitgewerkt. Beide aanpakken zijn uitgewerkt voor de Bommelerwaard als totaal, oost en west zijn hierin niet apart bekeken. Hierna volgt een discussie betreffende de normering.

5.1 Conditionele kans

De mogelijke normering op conditionele kans op basis van de vermeden overstromingsschade is uitgewerkt voor een doorbraak bij Brakel. Voor een doorbraak bij Zuilichem heeft de Meidijk een negatief effect; de dijk voorkomt geen overstromingsschade (veroorzaakt deze zelfs) en kan dus niet op deze manier genormeerd worden. Zie voor de procentuele voorkomen schade en slachtoffers Tabel 4-3. In deze situatie voldoet de norm via de conditionele kans methode niet.

Na een doorbraak bij Brakel is de schade in huidige toestand 70% van de schade die op zou treden wanneer er geen compartimenteringdijk zou zijn. De Meidijk voorkomt dus 30% van de schade, dit levert een conditionele kans van 1/10 (HKV, 2006). Dit houdt in dat de dijk een overstroming met een herhalingsdijk van 12,500 jaar moet kunnen keren. De waterstand bij de kering die deze belasting oplevert is (zie Figuur 4-7):

- 6.10 m +NAP aan de westkant van de dijk
- 5.82 m +NAP aan de oostkant van de dijk.

Bij het toekennen van deze norm worden de volgende kanttekeningen gemaakt:

- De primaire c kering van de afgedamde Maas ligt lager dan dat de hierboven uitgewerkte norm voor de Meidijk aangeeft. Extra hoogte van de Meidijk ten opzichte van de primaire c kering heeft geen zin, daar het water dan toch over de primaire kering het andere compartiment van de Bommelerwaard instroomt.
- Er is een contradictio, op basis van de situatie bij Brakel wordt een norm met een conditionele kans vastgesteld, voor een doorbraak bij Zuilichem is het effect hiervan negatief. Dit zou kunnen pleiten voor het aanleggen van kunstwerken met beheersprotocollen in de Maasdijk.

5.2 Kosten-baten

Een kosten-baten analyse is uitgevoerd voor zowel de doorbraak bij Brakel als die bij Zuilichem. Hieronder wordt deze besproken.

5.2.1 Baten

De baten van dijkophoging bestaan uit voorkomen overstromingsschade. De baten worden uitgedrukt in contante waarde om de kosten-baten analyse over een zeker tijdshorizon uit te kunnen voeren. Hiertoe is de contante waarde (CW) van de overstromingsschade berekend (zie Tabel 5-1), dit is gedaan volgens:

$$CW = C * \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right) * \frac{1}{r}$$

waarin

C = overstromingsschade per jaar (jaarlijks verwachte schade)

r = disconteringsvoet

n = aantal jaar

Wanneer n naar oneindig gaat reduceert de formule tot

$$CW = \frac{C}{r}$$

CW (mln. euro)	Doorbraak bij Zuilichem			Doorbraak bij Brakel		
	Hoog	Huidig	Geen	Hoog	Huidig	Geen
50 jaar	8.87	8.78	8.58	3.62	3.62	5.35
oneindig	10.32	10.22	9.98	4.21	4.21	6.23

Tabel 5-1 Contante waarde (CW) in miljoenen euro's, uitgerekend over een tijdshorizon van 50 jaar en oneindig (disconteringsvoet is 4%).

Er is in de berekening geen rekening gehouden met economische groei. Wanneer er wel rekening gehouden wordt met een economische groei van 2% per jaar, dan neemt de contante waarde in Tabel 5-1 toe met een factor 2.

5.2.2 Kosten

De kosten van dijkophoging bestaan uit de kosten voor dijkophoging. De kosten van dijkophoging worden gezien als eenmalige investering, jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud zijn hier (nog) niet beschouwd. Als eerste benadering is een kostenschatting gemaakt op basis van kengetallen (excelsheet Bouwdienst) voor ophoging van de hele dijk, zie Tabel 5-2.

Hoogte (m)	Investering (mln. euro)
1	1.6
2	4.3

Tabel 5-2 De aangenomen investeringskosten voor dijkophoging.

5.2.3 Netto contante waarde

De netto contante waarde is berekend als de contante waarde van vermeden overstromingsschade (baten, hiervoor is het verschil tussen de contante waarde van de overstromingsschade uit scenario Hoog en scenario Geen genomen), min de investeringskosten voor dijkophoging (kosten). In Tabel 5-3 is hiervan het resultaat gegeven. Het verschil in overstromingsschade tussen de verschillende scenario's na een doorbraak bij Zuilichem is zodanig klein dat de netto constante waarde vrijwel geheel door de investeringskosten voor dijkophoging bepaald wordt. Hieruit volgt dat de dijk niet zou worden opgehoogd. Na een doorbraak bij Brakel is het gunstig om de dijk (met 1 m) te verhogen, maar het verschil tussen kosten en baten is klein (afgerond: 0 mln. euro).

De vermindering in schade door een hogere Meidijk dan in de huidige situatie is laag (Brakel) of zelfs negatief (Zuilichem). Voor een doorbraak bij Zuilichem is investeren in ophoging van de dijk niet kosten efficiënt. Ook verlaging van de dijk, wat tot minder schade zou leiden, is waarschijnlijk niet kosten-efficiënt. Bij Brakel is een ophoging van 1 m wel kosten-efficiënt.

Voor een doorbraak bij Zuilichem zou de huidige hoogte de norm worden. De kering zou een belasting gelijk aan deze hoogte moeten keren. Dat betekent voor de Meidijk dat deze verstevigd moet worden, omdat de verwachting is dat deze bij een dergelijke belasting zou bezwijken als gevolg van piping.

Tijdshorizon	Ophoging	NCW (mln. euro)	
		Doorbraak bij Zuilichem	Doorbraak bij Brakel
50 jaar	1 m	-1.9	0.1
50 jaar	2 m	-4.6	-2.3
oneindig	1 m	-1.9	0.4
oneindig	2 m	-4.6	-2.0

Tabel 5-3 De netto contante waarde (NCW) van dijkophoging, voor een doorbraak bij Zuilichem en een doorbraak bij Brakel.

5.3 Evaluatie

Toepassen van de leidraad

We doen de volgende constatering op basis van de Showcase:

- De Leidraad is toepasbaar voor de Meidijk en wordt verwacht ook toepasbaar te zijn voor andere vergelijkbare keringen.
- De indeling in klassen van decimeringshoogte en afvoerpercentielen is zinvol en levert een beter inzicht in de belasting van de kering.
- In sommige situaties kunnen het aantal klassen worden verminderd, hiervoor zal eerst een complete set gebeurtenissen moeten worden doorgerekend. Hiertoe kan in de leidraad een stappenplan worden opgenomen.
- Reduceren van de klassen kan op basis van de ontwikkeling van het schadepatroon. Hierbij speelt de relatie tussen het wateraanbod en de grootte van het dijkkringgebied een rol:
 - Voor het rivierengebied loopt een dijkkring vrijwel altijd vol (ook een conclusie van VNK) vanwege de lange duur van het hoogwater. Ook loopt het water altijd naar het laagste punt in de dijkkring vanwege de helling in het gebied. Dat betekent dat de schade hier vrijwel altijd maximaal is.
 - Voor de doorbraak bij Brakel is aangetoond dat dit niet altijd volledig het geval hoeft te zijn. Dit komt mede doordat de Meidijk vanaf een benedenstroomse locatie (met lagere waterstanden) wordt bedreigd.
 - In laag Nederland, in een grotere dijkkring, of in een situatie met minder aanvoer van water loopt een dijkkring niet vol. Hierbij kan (iets) meer water leiden tot overstromen van lokale hoogten en zodoende extra schade veroorzaken. Onderscheid in klassen lijkt juist hier nog belangrijker.

Ten aanzien van het gebied in de Showcase

- De Meidijk is hoger dan de hoogte van de primaire c kering in de dijkkring; dat betekent dat de Meidijk niet zal overstromen voordat het water over de primaire c kering stroomt en zodoende het water 'achterom' het compartiment aan de andere zijde van de Meidijk in dezelfde dijkkring stroomt.
- Door het overlopen van de primaire kering stromen ook andere dijkkringen onder water, deze zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten.
- De Meidijk zal in alle gevallen vrijwel geheel overstromen omdat het wateraanbod groot is. De hele Bommelerwaard raakt vol (door aanvoer naar tweede compartiment via de primaire c kering) waarna het water integraal stijgt.

Op meer abstract niveau constateren we:

- Het gebied rondom de compartimenteringdijk is van invloed op de hoogte van deze kering. Het lijkt bijvoorbeeld tegenstrijdig om een compartimenteringdijk hoger te maken dan een omliggende primaire kering.

Normering

- Op basis van de conditionele kans kan een norm worden bepaald. Deze norm wordt echter voornamelijk ingegeven door belasting van één zijde. Een norm gebaseerd op belasting van de andere zijde kan hier strijdig mee zijn. Mogelijk kan hier de norm worden uitgebreid met kunstwerken die duidelijke protocollen bevatten.
- De norm gebaseerd op de conditionele kans (bijvoorbeeld verlagen van de dijk) kan in strijd met de schade en slachtoffers (meer bij een lagere dijk), zie bijvoorbeeld Figuur 4-8, hieruit is duidelijk dat oneindig ophogen van de Meidijk negatief effect heeft op schade en bijna geen effect heeft op slachtoffers. Dit kan optreden bij meerdere keringen.
- Op basis van kosten-baten wordt voor de Meidijk geadviseerd tot niet-ophogen van de waterkering. De huidige situatie is optimaal, daar het ook niet aannemelijk lijkt dat verlagen van de waterkering op basis van kosten-baten wel een alternatief is.
- Het lijkt zinvol om een maximale bovengrens aan de hoogte van de compartimenteringdijk te koppelen. Voor de Meidijk is gebleken dat zijn nut beperkt blijft wanneer de primaire kering overstroomt; hoger dan die kering hoeft de Meidijk dus niet te zijn.

De momenteel in de Leidraad opgenomen normeringvoorstellen zijn niet eenduidig toepasbaar. Een aantal ideeën aanvullend op de normeringsvoorstellen:

- Normering op basis van conditionele kans uitbreiden met kunstwerken en beheerprotocollen. Hierdoor kan onderscheid worden gemaakt afhankelijk van de zijde van de belasting. Nadeel is het bedienen van deze keringen tijdens calamiteiten.
- De normering met conditionele kansen lijkt alleen toepasbaar wanneer het achterliggend gebied van de kering niet altijd via andere routes (zoals hier de primaire c kering) overstroomt. Er zou een extra klasse kunnen worden toegevoegd om met deze situaties rekening te houden; deze klasse zou kunnen bestaan uit een maximale bovengrens in dijkhoogte die gekoppeld is aan de hoogte van de primaire kering.
- Rekening houden met de huidige situatie als een extra klasse door:
 - Bij een situatie als de Meidijk (hellend gebied, het water kan via een achterdeur terugstromen waarna de kering als gevolg geheel verdrinkt) heeft het weinig effect dat de dijk wordt aangewezen als een compartimenteringdijk (geredeneerd vanuit kosten-baten en slachtoffers).
 - Aansluiten bij watersysteem (bijv. dijk niet hoger dan de primaire waterkering)

- In vlakke, grotere gebieden speelt het via een achterdeur overstromen van het gebied naar verwachting geen rol. Hier kan op basis van kosten-baten of conditionele kans mogelijk wel een norm worden bepaald (case Zuid-Holland en Flevoland).
- Tijdvertraging levert wel perspectief voor een eventuele evacuatie van slachtoffers en voorkomen van schade. Dit is nu buiten beschouwing gelaten. Kosten-baten krijgt hiermee een maatschappelijke component.

6 Fictief scenario

Door het overstromen van de primaire c kering en het vervolgens vollopen beide compartimenten van de Bommelerwaard, is de normdiscussie lastig te voeren aan de hand van de uitgevoerde showcase. Om toch meer inzicht te krijgen in mogelijkheden voor normering, is een fictief scenario waarbij er geen water via de primaire c kering terugstroomt de Bommelerwaard in bestudeerd.

De scenario's Hoog en Geen zijn opnieuw bestudeerd voor de situatie waarbij verondersteld is dat er geen water terug de dijkkring in kan stromen. Dit is gedaan aan de hand van de reeds uitgevoerde berekeningen.

6.1 Schade en slachtoffers

6.1.1 Scenario hoog

Voor de situatie 'hoog' nemen we aan dat alleen schade ontstaat in het compartiment waarin de doorbraak plaats vindt. Het andere compartiment zal bij een oneindig hoge dijk niet overstromen, daar is dus geen schade en vallen geen slachtoffers. Er is hierbij uitgegaan van de schadegetallen zoals die reeds berekend zijn voor de niet fictieve scenario's. Dit houdt in dat de schade en slachtoffers, in het compartiment waarin de doorbraak niet plaatsvindt op 0 worden gezet.

De schade en slachtoffers staan in Tabel 6-1. Voor de bijbehorende jaarlijks verwachte schade en slachtoffers wordt verwezen naar Tabel 6-2. Voor de bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers wordt verwezen naar Tabel 4-4 en Tabel 4-5.

6.1.2 Scenario geen

In de situatie wanneer er geen compartimenteringdijk is en er geen water via de primaire c kering terug het gebied in stroomt, zullen de hoeveelheid schade en slachtoffers hetzelfde zijn als in het reeds doorgerekende scenario zonder compartimenteringdijk. Het totaal van schade en slachtoffers in beide compartimenten van die berekening is hetzelfde als wat het nu in het fictieve scenario zou zijn.

De schade en slachtoffers staan gepresenteerd in Tabel 6-1. Voor de bijbehorende jaarlijks verwachte schade en slachtoffers wordt verwezen naar Tabel 6-2. Voor de bijdrage aan jaarlijks verwachte schade en slachtoffers wordt verwezen naar Tabel 4-4 en Tabel 4-5. In dit scenario is de hoeveelheid schade en slachtoffers nu duidelijk hoger dan wanneer de compartimenteringdijk oneindig hoog is, in tegenstelling tot de niet fictieve scenario's.

Gebeurtenis	Frequentie		Hoog		Geen	
			Brakel	Zuilchem	Brakel	Zuilchem
TP, 10%	1:1250	€*	359	3,738	2,079	4,013
		♣	49	401	187	452
TP + 2/3D, 10%	1:5802	€*	392	3,977	3,030	4,235
		♣	57	438	312	489
TP + 4/3D, 10%	1:26931	€*	407	4,194	3,741	4,566
		♣	61	474	410	551
TP + 6/3D, 10%	1:125000	€*	420	4,439	4,077	4,795
		♣	67	519	463	598
TP, 50%	1:1250	€*	364	3,808	2,313	4,083
		♣	50	411	217	443
TP + 2/3D, 50%	1:5802	€*	393	4,025	3,312	4,377
		♣	57	446	350	515
TP + 4/3D, 50%	1:26931	€*	408	4,290	3,842	4,653
		♣	62	492	426	568
TP + 6/3D, 50%	1:125000	€*	426	4,493	4,131	4,851
		♣	70	530	472	610
TP, 90%	1:1250	€*	370	3,893	2,778	4,202
		♣	51	425	279	484
TP + 2/3D, 90%	1:5802	€*	395	4,155	3,571	4,529
		♣	58	468	386	543
TP + 4/3D, 90%	1:26931	€*	415	4,383	3,947	4,740
		♣	64	509	442	586
TP + 6/3D, 90%	1:125000	€*	435	4,549	4,274	4,909
		♣	76	542	496	621

Tabel 6-1 Schade en slachtoffers na een doorbraak bij Brakel en na een doorbraak bij Zuilichem voor de fictieve scenario's Hoog en Geen waarbij er geen water via de primaire kering de dijkkring instroomt.

Scenario	Doorbraak bij Zuilichem		Doorbraak bij Brakel	
	Schade	Slachtoffers	Schade	Slachtoffers
Absoluut (mln euro en p.)				
Hoog	3.19	0.35	0.31	0.04
Geen	3.45	0.40	2.41	0.25
Procentueel (%)	Schade	Slachtoffers	Schade	Slachtoffers
Hoog	93	88	13	16
Geen	100	100	100	100

Tabel 6-2 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, in absolute bedragen en aantallen en procentueel t.o.v. schade en slachtoffers in de situatie zonder dijk.

6.2 Normering

6.2.1 Doorbraak bij Zuilichem

Conditionele kans

Als uitgegaan wordt van een oneindig hoge dijk als huidige situatie, wordt door de dijk ongeveer 10% van de overstromingsschade voorkomen. Dit levert een conditionele kans van 1/2 (HKV, 2006); dat houdt in dat de dijk een overstroming met een herhalingskans van 2500 jaar moet kunnen keren. De waterstand bij de kering is dan (zie Figuur 4-7): 6.6 m +NAP (aan de oostkant van de dijk). Hiertoe moet de dijk worden opgehoogd.

Kosten-baten

De baten worden nu genomen als het verschil in overstromingsschade tussen scenario Hoog en scenario Geen. Dit verschil is bijna een miljoen euro; dit weegt dus niet op tegen de investeringskosten voor dijkophoging (zie paragraaf 5.2.2). De netto contante waarde van dijkophoging is gegeven in Tabel 6-3.

Tijdshorizon	Ophoging	NCW (mln. euro)
50 jaar	1m ophogen	-0.6
50 jaar	2m ophogen	-3.3
oneindig	1m ophogen	-0.6
oneindig	2m ophogen	-3.3

Tabel 6-3 Netto contante waarde (NCW) van dijkophoging voor een dijkdoorbraak bij Zuilichem.

Volgens deze normeringmethode wordt de dijk niet opgehoogd.

6.2.2 Doorbraak bij Brakel

Conditionele kans

Als uitgegaan wordt van een oneindig hoge dijk als huidige situatie, wordt door de dijk ruim 80% van de overstromingsschade voorkomen. Dit levert een conditionele kans van 1/25 (HKV, 2006); dat houdt in dat de dijk een overstroming met een herhalingskans van 31250 jaar moet kunnen keren. De waterstand bij de kering is dan (zie Figuur 4-7): 6.2 m +NAP (aan de westkant van de dijk). Dit betekent dat de dijk niet of nauwelijks hoeft te worden opgehoogd.

Kosten-baten

De baten worden nu genomen als het verschil in overstromingsschade tussen scenario hoog en scenario geen. Dit verschil is 4.4 miljoen euro; hiermee wordt investeren in dijkophoging economisch rendabel. De netto contante waarde van dijkophoging is gegeven in Tabel 6-4.

Tijdshorizon	Ophoging	NCW (mln. euro)
50 jaar	1m ophogen	2.8
50 jaar	2m ophogen	0.1
oneindig	1m ophogen	2.8
oneindig	2m ophogen	0.1

Tabel 6-4 *Netto contante waarde (NCW) van dijkophoging voor een dijkdoorbraak bij Brakel.*

Volgens deze normeringmethode wordt de dijk opgehoogd.

6.2.3 Evaluatie

De conditionele kans en de kosten-baten analyse leiden voor een doorbraak bij Zuilichem en een doorbraak bij Brakel tot tegengestelde conclusies. Na een doorbraak bij Zuilichem zou er volgens de conditionele kans opgehoogd moeten worden, waar dit volgend de kosten-baten analyse niet rendabel is. Voor een doorbraak bij Brakel levert de conditionele kans het advies niet op te hogen, waarde kosten-baten analyse aangeeft dat dit wel rendabel is. Het al dan niet ophogen van de dijk blijft ook in het fictieve scenario afhankelijk van de locatie van de doorbraak, en gekozen normeringsmethode.

7 Referenties

Hydraulische randvoorwaarden 2006 benedenrivierengebied –Toelevering afvoergolven voor bepaling waterstandsverlopen en snelle val, RIZA –werkdokument 2005.125x

Sobek help, Formule bresgroei Verheij-vdKnaap (2002).

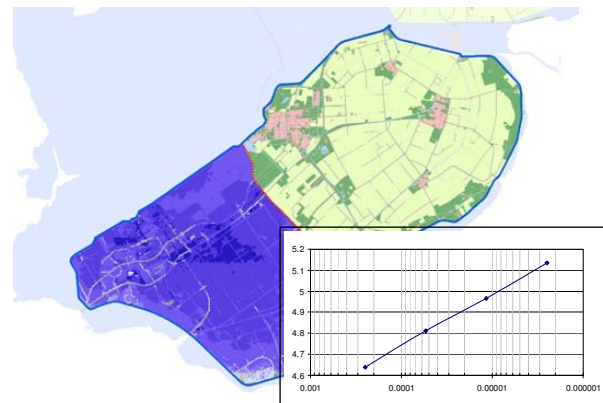
H.J. Huizinga, M. Dijkman, W.E.W. van den Braak, R. Waterman, HIS- Schade en Slachtoffer Module Versie 2.2, Gebruikershandleiding, HKV lijn in water en GEODAN IT, 2005.

C. Geerse, J. Stijnen, B. Kolen, Leidraad normering compartimenteringdijken (eerste aanzet), HKV lijn in water, 2006.

SHOWCASE MERENGEBIED:
KNARDIJK, FLEVOLAND

Opdrachtgever:

Stowa



Casestudie Flevoland

Leidraad normering compartimenteringsdijken

Nelen & Schuurmans



september 2006

Project:

Casestudie Flevoland

Leidraad normering compartimenteringsdijken

Opdrachtgever:

Stowa
Postbus 8090
3503 RB Utrecht

Nelen & Schuurmans
Postbus 1219
3500 BE Utrecht
Tel. 030 - 2330200

WWW.NELEN-SCHUURMANS.NL

KVK, UTRECHT 30152280

Projectgegevens:

Dossier : H0033

Datum : september 2006

Niets uit deze rapportage mag worden veelevoudigd of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doelstelling	4
1.3	Uitgangspunten en randvoorwaarde	5
1.4	Werkwijze/ methodiek	5
2	Gebiedsbeschrijving / inventarisatie	6
2.1	Dijkvak Flevoland	6
2.2	Compartimenteringsdijk	6
2.3	Overstromingsmodel	7
3	Gebeurtenissen en randvoorwaarden	8
3.1	Breslocaties	8
3.2	Waterstanden en overschrijdingsfrequentie	9
3.3	Waterstandsverloop	10
3.3.1	Verloop en meerpeilen	10
3.3.2	Meenemen doorbraak op randvoorwaarde	10
3.4	Bresgrootte en -groei	12
3.5	Compartimenteringsdijk	12
3.6	Resumé beschouwde gebeurtenissen en scenario's	13
4	Modelresultaten	14
4.1	Effecten van de kering	14
4.2	Schade en slachtoffers	15
4.2.1	Schade en slachtoffers	15
4.2.2	Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers	16
4.3	Frequentieoverschrijdingslijnen waterstand	16
4.4	Kosten/baten analyse	17
5	Normering	18
5.1	Normering compartimenteringsdijk op basis van conditionele kans	18
5.1.1	Klassering	18
5.1.2	Hoogte kering	19
5.2	Normering compartimenteringsdijk op basis van kosten en baten	19
6	Discussie	20
6.1	Evaluatie normeringsmethodiek leidraad	20
6.2	Evaluatie normering	20
6.3	Beschouwing	20

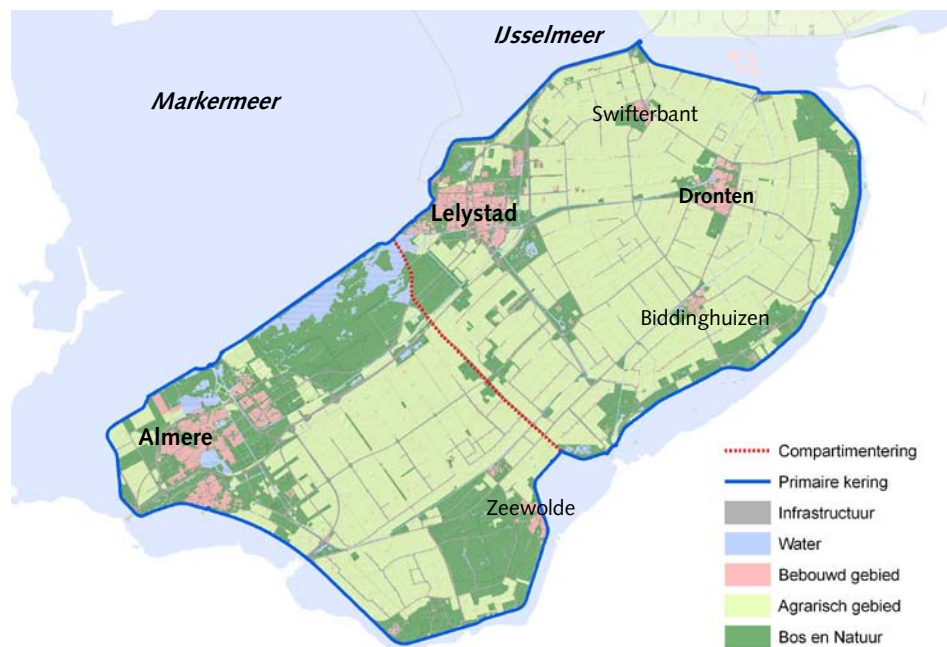


1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Als een primaire kering faalt, zijn er vaak nog zo genaamde “droge” keringen die de gevolgen van een overstrooming aanmerkelijk kunnen beperken. In opdracht van de STOWA stelt Nelen & Schuurmans in samenwerking met HKV een leidraad op voor de normering van deze regionale keringen. Deze leidraad geeft een uniforme methode voor het toekennen van veiligheidsnormen aan compartimenteringsdijken in Nederland.

Om de praktische toepasbaarheid te toetsen en een norm te kunnen afleiden wordt een aantal case studies uitgevoerd. Eén van deze casussen, die in dit rapport wordt uitgewerkt, is het normeren van de compartimenteringsdijk Knardijk. De Knardijk ligt in de provincie Flevoland halverwege de polder.



Figuur 1-1 Dijkkring 8, Flevoland

1.2 Doelstelling

Het doel van het normeren van de compartimenteringsdijk Knardijk in Flevoland. Deze normering moet een hydraulische belasting of hoogte opleveren waaraan de compartimenteringsdijk moet gaan voldoen.

Het doel van deze casestudie is om de werkwijze, die beschreven is in de leidraad, te toetsen op de praktische toepasbaarheid. Hiervoor zal de compartimenteringsdijk Knardijk in Flevoland genormeerd worden.



1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarde

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd in de leidraad voor de normering:

- De primaire kering bezwijkt zodra het toetspeil wordt overschreden (overschrijdingskansen methode). Golfoverslag, piping of afschuiving worden niet meegenomen;
- Er treedt één bres tegelijkertijd op;
- De hydraulische randvoorwaarden, die worden afgeleid voor het toetsen van de primaire waterkeringen, worden gehanteerd als hydraulische randvoorwaarden bij het bepalen van de belasting van de compartimenteringskering. Impliciet wordt hierbij aangenomen dat de conditionele belasting van de compartimenteringsdijk één op één gerelateerd is aan de afgeleide hydraulische belasting van de primaire kering. Met andere woorden, de 1:40.000 jaar hydraulische belasting bij een kering met een norm van 1:4.000 levert de 1:10 jaar belasting op voor de compartimenteringsdijk.
- Kosten en baten worden berekend op basis van een tijdshorizon van 50 jaar en rentevoet van 4%;
- Preventieve evacuatie vindt niet plaats;
- De kans op een doorbraak aan één van beide zijden is gelijk. (deze aanname wordt gebruikt bij het optellen van de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers).
- De bres wordt niet gedicht.

De volgende case specifieke uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Het effect van de doorbraak op de buitenwaterstand wordt, anders dan aangegeven in de leidraad, wel verdisconteerd in de hydraulische randvoorwaarde.

1.4 Werkwijze/ methodiek

Begonnen is met een inventarisatie van de benodigde gegevens voor het toetsen van de Knardijk. Vervolgens zijn verschillende gebeurtenissen, bestaande uit de hydraulische randvoorwaarden, breslocatie en bresgroei bepaald en afgeleid (hoofdstuk 3). De gebeurtenissen en scenario's zijn doorgerekend met het hydraulische 2d model. De resultaten zijn naverwerkt tot schade en slachtoffers, frequentieoverschrijdinglijnen voor de waterstand ter hoogte van de Knardijk en de kosten en baten (hoofdstuk 4). Op basis van deze naverwerkte resultaten zijn de twee toetsingsmethoden uitgeprobeerd (hoofdstuk 5). Tot slot is in de discussie (hoofdstuk 6) de methode en normering beschouwd.



2 Gebiedsbeschrijving / inventarisatie

2.1 Dijkvak Flevoland

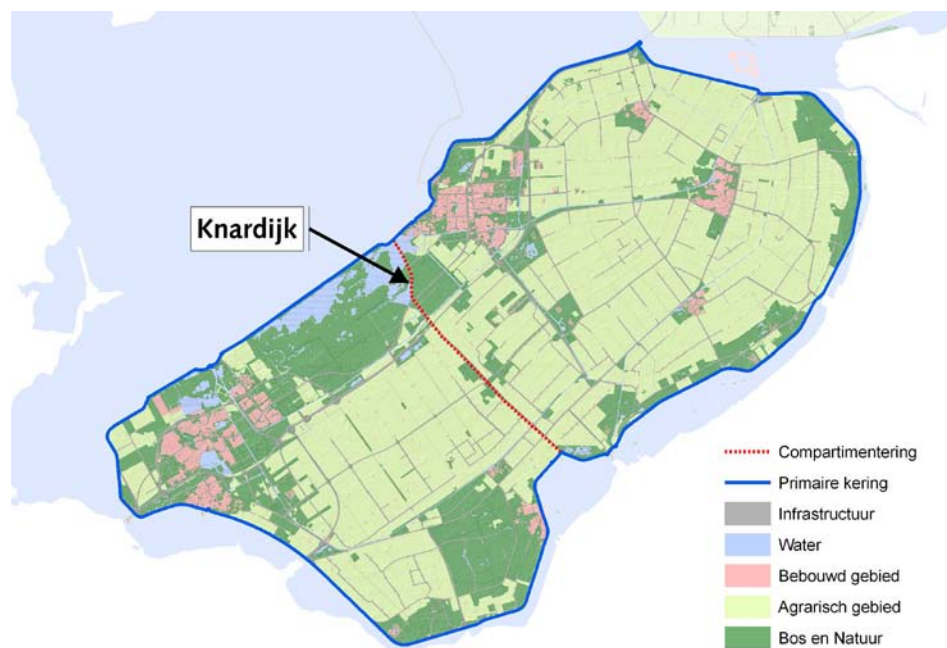
De Flevopolder wordt omsloten door het IJsselmeer in het Noordwesten, het Markermeer in het westen, het Gooimeer-Eemmeer aan de zuidzijde en het Ketelmeer-vossemeer aan de noordzijde (dit meer staat in openverbinding met het IJsselmeer). Het IJsselmeer en het Markermeer zijn de grootste plassen, met een oppervlak van respectievelijk 119.300 en 74.000 ha.

De dijkkring telt ongeveer 250.000 inwoners.

2.2 Compartimenteringsdijk

De knardijk is de compartimenteringskering die in deze studie wordt genormeerd. De Knardijk scheidt de Flevopolder in een noordelijk en zuidelijk compartiment, zie Figuur 2-1 . De Knardijk is ongeveer 2,8 m NAP hoog. De dijk wordt op twee plaatsen doorsneden door de boezem. Op deze plaatsen zitten beweegbare schuiven om de Knardijk af te sluiten.

Het compartiment ten noorden is ongeveer 54.000 ha groot. Het zuidelijke compartiment is ongeveer 43.250 ha groot. Het zuidelijke compartiment ligt ook iets lager dan het noordelijke met het laagste maaiveld rond -5,80 m NAP.



Figuur 2-1 Locatie van de Knardijk



2.3 Overstromingsmodel

Het overstromingsmodel, dat is gemaakt voor de studie 'Inundatie berekeningen Dronten en Zeewolden' is gebruikt voor deze studie. Het is een hydrodynamisch 1d/2d model in het modelprogramma Sobek. Het bewerkte hoogtegrid (50 x 50 m) is hierbij gekoppeld aan het strengenmodel van de hoofdwatergangen (boezem). Het model staat in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Het 1d/2d model van de Flevopolder



3 Gebeurtenissen en randvoorwaarden

De compartimenteringsdijk wordt belast, zodra de primaire kering bezwijkt. Hoe de dijk wordt belast hangt af van hoe groot de belasting op het buitenwater is, hoe snel het water het dijkvak binnenloopt en hoe het zich verspreid. Om de belasting bij de compartimenteringsdijk te bepalen en te kijken naar de effecten van de dijk zijn een aantal gebeurtenissen afgeleid, bestaande een breslocatie en verschillende belastingen op het buitenwater. Daarnaast zijn er een aantal scenario's gekozen, waarbij het gedrag en de hoogte van de compartimenteringsdijk is gevarieerd.

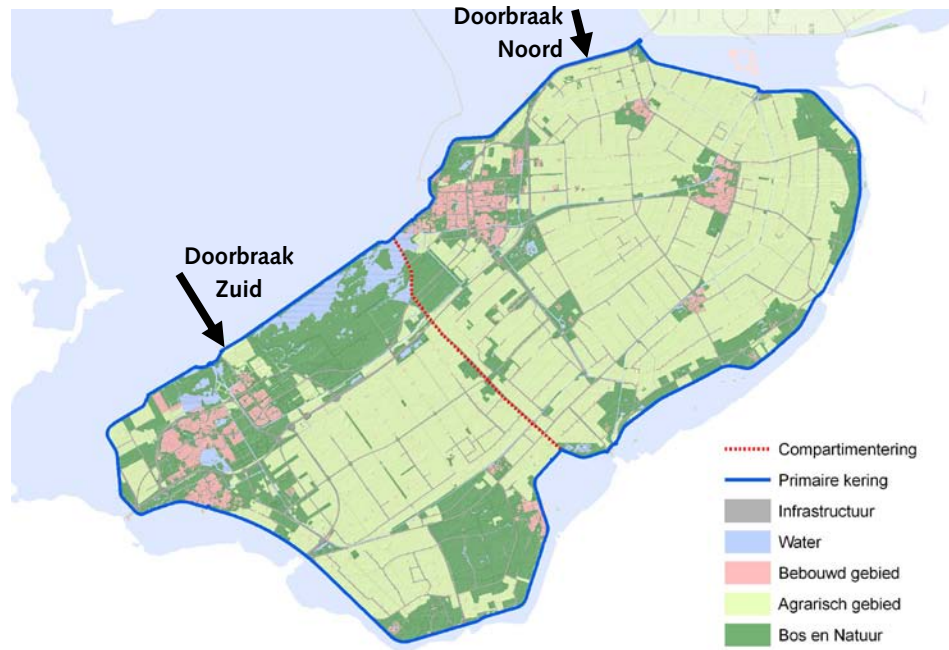
3.1 Breslocaties

Twee breslocaties zijn gekozen, aan beide zijden van de Knardijk één. Voor de nadere locatie keuze geldt dat de breslocatie zo gekozen moet worden dat deze (bij een gelijke herhalingskans) de hoogste waterstanden (grootste belasting) oplevert ter hoogte van de compartimenteringsdijk. De volgende locatiefactoren hebben invloed op deze keuze:

1. De locatie ligt op een plek waar deze voor de grootste belasting van de compartimenteringsdijk zorgen. Over het algemeen zal dit in de buurt van de compartimenteringsdijk zijn.
2. Hoogte van het voor en achterland. Deze parameters hebben invloed op de diepte en breedte van de bres;
3. Het materiaal van de dijk (zand of klei). Deze parameter heeft met name invloed op de snelheid waarmee de bres zich ontwikkeld;
4. De waterstand en het waterstandsverloop waarbij de primaire kering bezwijkt (het toetspeil wordt overschreden).

De breslocatie is gekozen op basis van de hoogte van het voor en achterland. Op de gekozen locaties zijn deze relatief laag, waardoor de bres relatief groot zal zijn. De locatie van de bres ten opzichte van de doorbraaklocatie heeft weinig invloed, omdat het compartiment zich gelijkmatig vult.

De gekozen locatie aan de noordzijde langs het IJsselmeer is F220 IJsselmeerdijk en aan de zuidzijde langs het Markermeer is Hm 18.0 Oostvaardersdijk, zie Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Breslocaties

3.2 Waterstanden en overschrijdingsfrequentie

Het toetspeil, de waterstand bij een herhalingstijd van 1:4.000, is 1,8 m NAP voor doorbraaklocatie noord en 0,6 m NAP voor doorbraaklocatie zuid.

Conform de leidraad, worden gebeurtenissen gedefinieerd voor buitenwaterstanden bij vier herhalingstijden. De eerste herhalingstijd is gelijk aan de norm van 1:4.000. De overige herhalingstijden worden bepaald tot twee maal de decimeringswaarde, waarbij de stapgrootte gelijk is aan 2/3 van de decimeringswaarde. De beschouwde herhalingstijden worden hiermee respectievelijk 1:4.000, 1:18.600, 1:86.000 en 1:400.000.

Waterstanden met een herhalingstijd groter dan 1:10.000 zijn niet te berekenen met Hydra-M. Om toch een inschatting te kunnen maken, is bij lagere herhalingstijden de decimeringswaarde bepaald en deze is geëxtrapoleerd. De decimeringswaarde voor de doorbraaklocatie aan de noordzijde is 45 cm, die aan de zuidzijde 21 cm.

Tabel 3-1 Herhalingstijden en bijbehorende waterstanden

Overschrijdingsfrequentie	Waterstand Locatie noord [m NAP]	Waterstand Locatie zuid [m NAP]
1 : 4.000	1,8	0,6
1 : 18.600	2,1	0,74
1 : 86.000	2,4	0,88
1 : 400.000	2,7	1,02

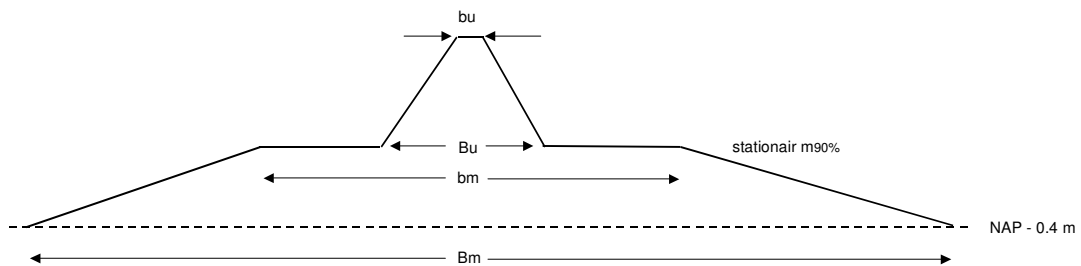


3.3 Waterstandsverloop

3.3.1 Verloop en meerpeilen

De vorm en opbouw van het waterstandsverloop bij meren staat in Figuur 3-2. De maximale hoogte is gelijk aan de waterstanden die zijn afgeleid in de vorige paragraaf. Deze opzet is het gevolg van opwaaiing. Daarnaast wordt het (gemiddelde meerpeil) meegenomen in het verloop, wat drie vormen per herhalingstijd oplevert. Voor het meerpeil worden de percentielen 10%, 50% en 90% beschouwd. Later worden deze gemiddeld op basis van een relatieve kans, deze kansen zijn als volgt:

- m90%, met een relatieve kans van optreden van 0,2;
- m50%, met een relatieve kans van optreden van 0,6;
- m10%, met een relatieve kans van optreden van 0,2.



Figuur 3-2 Opbouw waterstandsverloop

Het m90% percentiel is gehaald uit de basis gegevens van de Hydra module. Het m50% percentiel is gelijk genomen aan het meerpeil en voor het m10% percentiel is een inschatting gemaakt. De werkelijke percentielen komen in de nieuwe Hydra module Hydra-VIJ te zitten, deze percentielen zijn rond oktober 2006 bekend).

De percentielen voor het IJsselmeer en Markermeer staan in Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Meerpeil percentielen

Percentiel	IJsselmeer [mNAP]	Markermeer [mNAP]
m90%	-0,14	-0,33
m50%	-0,40	-0,50
m10%	-0,50	-0,60

De waarden voor bu en Bu zijn respectievelijk 4 en 35 uur. De rest van de vorm (bm en Bm) zijn niet van belang, omdat het of voor de doorbraak is of dat de waterstand al beïnvloed is door andere effecten.

3.3.2 Meenemen doorbraak op randvoorwaarde

Bij het bepalen van de hydraulische randvoorwaarde is afgeweken van de leidraad. Omdat de Flevopolder van dezelfde orde grootte is als het IJsselmeer en Markermeer, heeft een doorbraak een significant effect op het meerpeil. Dit effect is meegenomen.



Bij een doorbraak stroomt het water de polder in totdat de waterstand op het meer gelijk is aan de waterstand in de polder, het evenwichtspeil. Het meer en de polder zijn als het ware twee bakken die in elkaar overlopen. Met de eigenschappen, zoals de oppervlakken, diepten en initiële waterpeilen (zie Tabel 3-3), kunnen deze evenwichtspeilen worden berekend.

Tabel 3-3 Enkele parameters voor het bepalen van het evenwichtspeil

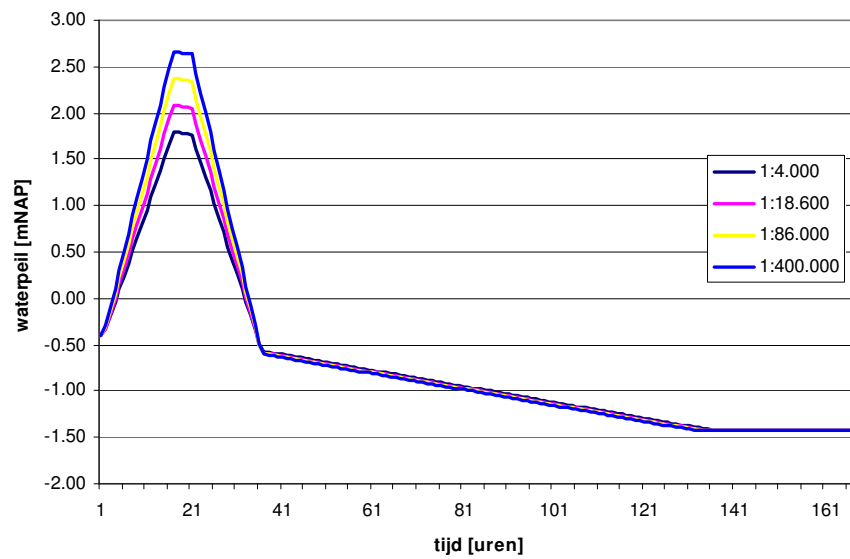
Parameter	Waarde
Oppervlak IJsselmeer	119.300 ha
Oppervlak Markermeer	74.000 ha
Oppervlak compartiment noord	54.151 ha
Gemiddelde bodemhoogte noord	-3,7 m NAP
Oppervlak compartiment zuid	43.254 ha
Gemiddelde bodemhoogte zuid	-3,8 m NAP

Tabel 3-4 Berekende evenwichtspeilen

Scenario	Initiële meerpeil	Evenwichtspeil bij huidige kering	Evenwichtspeil bij geen kering
noord 10% percentiel	-0,5	-1,50	-1,96
noord 50% percentiel	-0,4	-1,43	-1,91
noord 90% percentiel	-0,14	-1,25	-1,76
zuid 10% percentiel	-0,6	-1,78	-2,02
zuid 50% percentiel	-0,5	-1,72	-1,96
zuid 90% percentiel	-0,33	-1,61	-1,87

Het effect van de windopzet is vervolgens opgeteld bij het effect van het uitzakken tot evenwichtspeil. Het uitzakken van meerpeil tot evenwichtspeil is hierbij lineair verondersteld. De benodigde tijd om het evenwichtspeil te bereiken varieert van 7 dagen bij de huidige kering tot 11 dagen zonder kering. Deze duur tot evenwichtspeil is iteratief bepaald.

Totaal levert het 48 verschillende randvoorwaarden op. Enkele verlopen zijn gegeven in Figuur 3-3.

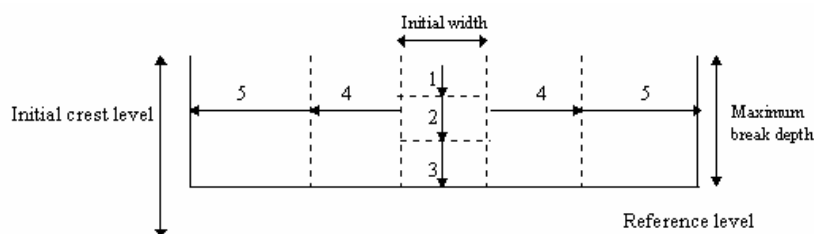


Figuur 3-3 Hydraulische randvoorwaarden voor een doorbraak in het noorden, met de bestaande kering en een meerpeil bij m50%

3.4 Bresgrootte en -groei

De bresgroei is gekozen conform de eerder uitgevoerde studie 'Inundatieberekeningen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland'

In Figuur 3-4 staat hoe de bresgroei in Sobek wordt gemodelleerd. De bres houdt in eerste instantie een vaste breedte en wordt steeds dieper. Vervolgens wordt de bres steeds breder totdat de maximale breedte wordt bereikt. De bresgroei start zodra het toetspeil wordt overschreden.



Figuur 3-4 Bresgroei modellering in Sobek (Bron: Sobek-manual)

3.5 Compartimenteringsdijk

Voor de analyses en nabewerkingen worden drie situaties bekeken voor de compartimenteringsdijk, de huidige situatie, de situatie waarbij de compartimenteringsdijk er niet is en de situatie waarbij de kering maximaal wordt opgehoogd.

Omdat van de huidige situatie niet bekend is of de compartimenteringsdijk blijft staan of bezwijkt als hier water overheen loopt, worden beide situaties beschouwd.



Totaal levert dit de volgende scenario's op:

1. Situatie met de huidige kering, waarbij deze niet bezwijkt bij overlopen. Dit scenario wordt verder 'huidig, niet bezwijken' genoemd.
2. Situatie met de huidige kering waarbij deze wel bezwijkt zodra het water met een straal van 15 cm eroverheen stroomt. Dit scenario heet 'huidig, bezwijken';
3. Situatie met verhoogde kering, genaamd 'verhoogde kering';
4. Situatie zonder kering, genaamd 'geen kering'.

Zoals blijkt bij de resultaten, zijn scenario 2 en 3 niet relevant. De Knardijk ligt zo hoog dat deze nooit overloopt. De dijk bezwijkt niet bij overlopen, omdat deze niet overloopt en nog verder verhogen levert geen andere resultaten op. Deze scenario's zijn verder in de rapportage niet meegenomen.

3.6 Resumé beschouwde gebeurtenissen en scenario's

Totaal zijn er:

- 2 breslocaties;
- 4 waterstanden met verschillende herhalingstijden;
- 3 waterstandsverloop;
- 1 bresgroei;
- 2 scenario's over de hoogte en het gedrag van de compartimenteringdijk;

Dit zijn 24 (2x4x3x1) gebeurtenissen met 2 scenario's per gebeurtenis. Dit levert in totaal 48 sommen op.

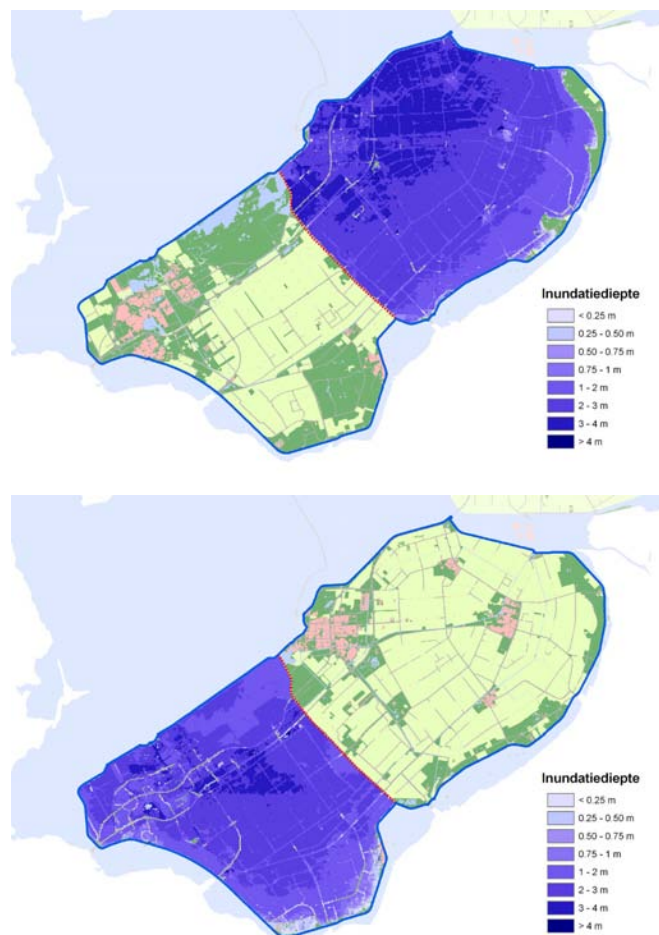


4 Modelresultaten

4.1 Effecten van de kering

In Figuur 4-1 worden twee eindsituaties gegeven bij een doorbraak aan de noorzijde en zuidzijde. In beide gevallen vult het compartiment zich gelijkmatig, alleen in de buurt van de doorbraak komen hogere waterstanden voor dan het evenwichtspeil.

De duur totdat de maximale waterstand is bepaald, varieert van 7 dagen (met kering) tot 11 dagen (geen compartimenteringskering). De windopzet voor de primaire kering heeft effect tot 19 uur na de doorbraak. Dit is vergeleken met de duur tot de instroom klein. Het effect van een hoge waterstandsverloop (met hetzelfde meerpeil) is daardoor alleen terug te vinden in de snelheid waarmee het compartiment bij het begin volloopt, maar uiteindelijk niet in de maximale waterstanden. De effecten van de meerpeilen zijn wel terug te vinden in de resultaten, omdat deze verschillende evenwichtspeilen opleveren.



Figuur 4-1 Overstromingspatroon van de huidige situatie bij een doorbraak in het noordelijke compartiment en het zuidelijk compartiment



4.2 Schade en slachtoffers

4.2.1 Schade en slachtoffers

Tabel 4-1 geeft de schade en slachtoffers voor de scenario's en gebeurtenissen. Omdat de verschillen tussen de diverse herhalings tijden (1:4.000 tot 1:400.000) verwaarloosbaar is (minder dan 1%), zijn deze bij een iteratieslag om de golfvorm te verfijnen (met name de tijd totdat het evenwichtspeil wordt bereikt), niet meer gedifferentieerd.

De schade en slachtoffers zijn bepaald met de HIS schade en slachtoffers module. De input hiervoor zijn de maximale waterstanden en stroomsnelheden.

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de compartimenteringsdijk zorgt voor een afname van het aantal schade en slachtoffers. Als gevolg van de dijk neemt de schade en het aantal slachtoffers in het compartiment van de doorbraak wel toe, als gevolg van de hogere waterstanden.

Tabel 4-1 Doorbraaklocatie noord

Scenario	Percentiel	Compartiment noord		Compartiment zuid		Totaal	
		Schade [xmilj. €]	Slacht-offers	Schade [xmilj. €]	Slacht-offers	Schade [xmilj. €]	Slacht-offers
Huidig	m 10%	5.469	376	-	-	5.469	376
	m 50%	5.596	392	-	-	5.596	392
	m 90%	5.964	436	-	-	5.964	436
Geen kering	m 10%	4.597	285	5.741	405	10.339	690
	m 50%	4.679	294	5.868	418	10.547	712
	m 90%	4.928	323	6.236	458	11.164	781

Tabel 4-2 Doorbraaklocatie zuid

Scenario	Percentiel	Compartiment noord		Compartiment zuid		Totaal	
		Schade [xmilj. €]	Slacht-offers	Schade [xmilj. €]	Slacht-offers	Schade [xmilj. €]	Slacht-offers
Huidig	m 10%	-	-	6.076	452	6.076	452
	m 50%	-	-	6.221	469	6.221	469
	m 90%	-	-	6.495	501	6.495	501
Geen kering	m 10%	4.500	274	5.588	390	10.088	664
	m 50%	4.597	285	5.741	405	10.339	690
	m 90%	4.744	302	5.967	428	10.711	730

De resultaten van de verschillende percentielen kunnen gemiddeld worden op basis van de kans van voorkomen. Conform de leidraad kan het gewogen gemiddelde worden berekend door de meerpeil percentielen 10%, 50% en 90% te vermenigvuldigen met respectievelijk 0,2 0,6 en 0,2. De gewogen gemiddelden staan in Tabel 4-3.



Tabel 4-3 Gewogen gemiddelde schade en slachtoffers

scenario	Schade [xmilj. €]	Slachtoffers
noord - huidig	5.644	398
noord - geen kering	10.629	721
zuid - huidig	6.247	472
zuid - geen kering	10.363	693

4.2.2 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers

Op basis van de schade en de herhalingstijden zijn de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers berekend, ofwel het schaderisico en slachtoffersrisico.

De jaarlijks verwachte schade per scenario staat in Tabel 4-4. De jaarlijks verwachte schade is voor beide compartimenten opgeteld tot een totaal. Bij het optellen is aangenomen dat de kans van het optreden van een doorbraak in één van de compartimenten gelijk is aan de overschrijdingskansen, zodat deze opgeteld kunnen worden.

Tabel 4-4 Resumé schade risico's

Scenario	Locatie noord [€ /jaar]	Locatie zuid [€ / jaar]	Totaal [€/ jaar]
Huidig	1.411.000	1.562.000	2.973.000
Geen kering	2.657.000	2.591.000	5.248.000

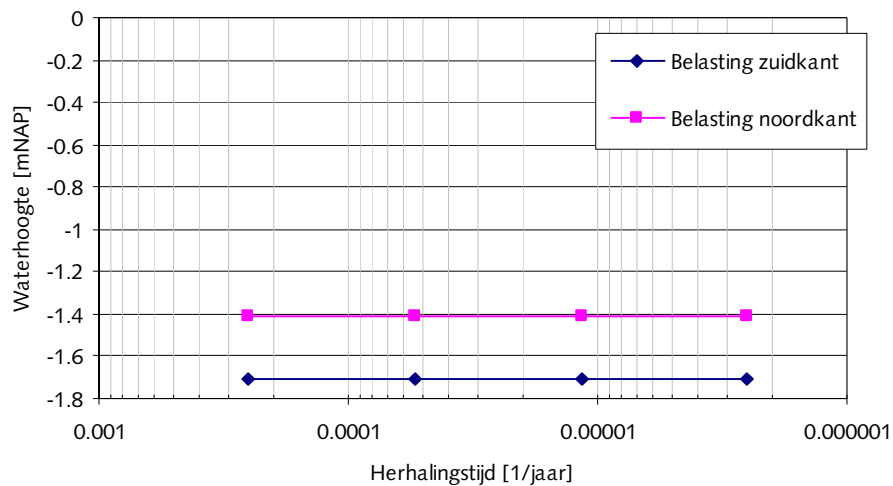
De jaarlijks verwachte slachtoffers, ofwel het slachtoffers risico, staan in Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Resumé slachtoffers risico

Scenario	Locatie noord [aantal /jaar]	Locatie zuid [aantal / jaar]	Totaal [aantal / jaar]
Huidig	0,099	0,118	0,217
Geen kering	0,180	0,173	0,353

4.3 Frequentieoverschrijdingslijnen waterstand

Op basis van de maximale waterstanden langs de kering uit het scenario 'verhoogd', zijn de frequentieoverschrijdingslijnen voor de waterstand gemaakt voor beide zijden van de kering. De frequentieoverschrijdingslijnen zijn weergegeven in Figuur 4-2. De hoogste waterstanden treden op aan de noordkant. Over de lengte van de dijk zijn de maximale waterstanden gelijk.



Figuur 4-2 Frequentieoverschrijdingslijnen van de waterstand voor beide zijden van de kering

De frequentieoverschrijdingslijnen lopen vlak, voor alle herhalingstijden. Dit komt omdat bij de hydraulische randvoorwaarden, de herhalingstijd alleen effect heeft op de opwaaiing en daarmee de maximale waterstand bij de primaire kering. De waterstanden bij de compartimenteringskering wordt in deze case bepaald door het meerpeil, dat niet afhankelijk is voor de gekozen herhalingstijd. Idealiter zou het meerpeil in sterke mate betrokken moeten worden bij het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden.

4.4 Kosten/baten analyse

De baten van een maatregel is de afname van het overstromingsrisico. In Tabel 4-6 worden de baten berekend van het geval dat de kering verwijderd wordt. De baten zijn het verschil aan risico met de huidige situatie. Om te kijken wat voor een investering gerechtvaardigd is zijn de Netto Contante Waarde (NCW) van de baten bepaald.

De baten van het verwijderen van de kering zijn negatief. Ook neemt het verwachte aantal slachtoffers over een periode van 50 jaar toe met 7 extra slachtoffers.

De baten van een verhoging zijn niet berekend, maar omdat de huidige kering niet overloopt zijn de baten van verhogen gelijk aan 0.

Andersom kan ook gezegd worden dat de huidige kering een positief effect heeft en vergeleken met de situatie waarbij geen kering aanwezig is, zorgt voor een risico afname van € 2.275.000 per jaar.

Tabel 4-6 Baten van verhogen of verlagen in geval dat de huidige compartimenteringsdijk niet bezwijkt

Scenario	Risico [€ /jaar]	Baten [€ /jaar]	NCW 50 jaar [€]
Huidig	2.973.000		
Geen kering	5.248.000	-2.275.000	-47.775.000



5 Normering

De normering is uitgewerkt conform de twee voorstellen in de leidraad. Door de normering toe te passen kan gekeken worden of deze normeringsmethoden, eventueel met een aanpassing in de normen, leidt tot bruikbare resultaten.

5.1 Normering compartimenteringsdijk op basis van conditionele kans

De normen zijn geclassificeerd aan de hand van de procentuele afname van de schade als gevolg van de kering. Hierbij wordt gekeken naar de verhoogde situatie en de situatie zonder kering. Op basis daarvan volgt een norm uitgedrukt in een conditionele kans. De normhoogte van de kering kan vervolgens uit de frequentieoverschrijdingslijn worden afgelezen bij deze conditionele kans.

Er zijn twee mogelijkheden om deze normering uit te voeren:

- Per zijden kijken wat het effect is van de kering. De conditionele kans leidt vervolgens via de frequentieoverschrijdingslijn van elke zijde tot een hoogte. De hoogste van beide hoogten wordt de toetshoogte.
- Het totale effect bekijken (optelsom van beide zijden). De conditionele kans die hieruit volgt wordt langs de hoogste frequentieoverschrijdingslijnen gelegd en hieruit volgt de toetshoogte.

De normering is uitgevoerd op basis van de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers, waarbij de slachtoffers uitgedrukt zijn in (financiële) schade.

5.1.1 Klassering

Tabel 5-1 en Tabel 5-2 geven het effect van de compartimenteringskering per doorbraaklocatie en het totaal.

Tabel 5-1 Schade afname van het risico door de compartimenteringskering

Scenario	Locatie noord [€ /jaar]	Locatie zuid [€ /jaar]	Totaal [€ /jaar]
Hoog (huidig)	1.411.000	1.562.000	2.973.000
geen kering	2.657.000	2.591.000	5.248.000
Effect kering op het risico	-47%	-40%	-43%



Tabel 5-2 Slachtoffers afname van het risico door de compartimenteringskering

Scenario	Locatie noord	Locatie zuid	Totaal
	[€ /jaar]	[€ /jaar]	[€ /jaar]
Hoog (huidig)	0,099	0,118	0,217
geen kering	0,180	0,173	0,353
Effect kering op het risico	-45%	-32%	-39%

Het effect van de compartimenteringskering bij een doorbraak in zowel het noordelijke als zuidelijke compartiment is positief, waarbij de schade en de slachtoffers worden gereduceerd met ongeveer 40%. De daarbij horende conditionele kans is in alle gevallen 1/10.

5.1.2 Hoogte kering

De hoogtes zijn -1,41 m NAP voor de belasting in het noorden en -1,71 m NAP voor het zuiden van de kering. Omdat de waterstand, bij toepassing van de leidraad, niet verschillen bij de diverse herhalingstijden is het resultaat niet afhankelijk van de conditionele kans.

De normhoogte wordt hiermee -1,41 m NAP plus extra hoogte voor opwaaiing en golfoploop.

Opgemerkt wordt bij dit resultaat dat bij de gekozen breslocaties de maximale waterstanden overall gelijk zijn. Het is denkbaar dat een bres vlak bij de Knardijk, zowel aan de west als oostkant, lokaal tot hogere waterstanden leidt. Deze effecten zullen echter zeer lokaal zijn.

5.2 Normering compartimenteringdijk op basis van kosten en baten

Voor de kosten-baten zijn 3 scenario's beschouwd:

- De huidige situatie;
- De situatie zonder kering (totaal afgraven);
- De situatie met een verhoogde kering.

Het verhogen van de kering levert geen baten op, omdat de Knardijk in de huidige situatie niet overloopt (mogelijk is het effect wel positief als overslag en daarmee falen wordt voorkomen). Het verwijderen van de kering levert negatieve baten op. Een (extreme) verandering ten opzichte van de huidige situatie lijkt daarmee geen goede maatregel. Het handhaven van de huidige situatie lijkt daarmee optimaal.



6 Discussie

6.1 Evaluatie normeringsmethodiek leidraad

De stappen om tot de normering te komen zijn goed uitvoerbaar. Het aantal berekeningen is groot (48) en gezien de verschillen in uitkomsten niet noodzakelijk.

Bij de volgende twee uitgangspunten worden kantekeningen geplaatst:

1. Het niet verdisconteren van het effect van de overstroming op de hydraulische randvoorwaarden. In deze case is het daarom wel gedaan.
2. Impliciet wordt aangenomen dat de conditionele belasting van de compartimenteringsdijk één op één gerelateerd is aan de afgeleide hydraulische belasting van de primaire kering. Met andere woorden, de 1:40.000 jaar hydraulische belasting bij een kering met een norm van 1:4.000 levert de 1:10 jaar belasting op voor de compartimenteringsdijk.

Dit uitgangspunt gaat voor deze case niet op. De belasting van de primaire kering wordt bepaald door opwaaiing, terwijl de belasting op de compartimenteringsdijk wordt bepaald door het meerpeil. In feite moet worden gezocht naar een belasting waarbij de dijk (net) bezwijkt en waarbij het meerpeil zo hoog mogelijk is.

6.2 Evaluatie normering

Beide manieren van normeren leveren een antwoord op of de huidige situatie voldoet.

De normering op basis van de conditionele kans levert een duidelijke normhoogte op. De kosten-baten analyse geeft een beeld van de effecten van de compartimenteringsdijk, maar levert geen duidelijk toetspeil op.

6.3 Beschouwing

Een compartimenteringskering heeft een duidelijk andere functie dan de eerste kering. De kering is bedoeld om schade en slachtoffers bij een calamiteit te reduceren en niet om zoals bij de eerste kering op schade en slachtoffers te voorkomen. Er zijn twee typen keringen, compartimentering die bij het overschrijden van het kerende peil, bezwijken en keringen die daarna als overloop gaan functioneren.

De compartimenteringskering reduceert het instromende volume overstromingswater niet in de eerste plaats, maar kan het overstromingsgebied, de overstromingsdiepte en de overstromingssnelheid van dit gebied beïnvloeden. Afhankelijk van de beschouwde situatie kan dit positief, maar ook negatief uitpakken. Doordat de overstromingsdiepte en stijgsnelheid in het gebied tussen de eerste kering en de compartimenteringskering kan toenemen, kunnen meer slachtoffers vallen. Het proces van aanwijzen van compartimenteringskeringen moet daarom bijzonder zorgvuldig geschieden.

Het normeren van de hoogte van compartimenteringskering is wezenlijk anders dan het normeren van eerste keringen. Het is immers niet altijd "hoe hoger hoe beter" en er is veel meer maatwerk nodig, waarbij rekening wordt gehouden met de lokale situatie.

De voorgestelde werkwijze is in eerste instantie om voor een groot aantal mogelijke doorbraken de effecten van de compartimenteringskeringen in kaart te brengen. De effecten worden getoond in overstromingsbeelden, maar uitgedrukt in schade en slachtoffers. Dit proces kan daarmee ook worden beschouwd als een extra toetsing en kwantificering van het eerder uitgevoerde aanwijzingsproces van de keringen. Vervolgens kan via eenzelfde procedure het effect van een verhoogde kering inzichtelijk worden



gemaakt. Indien blijkt dat het verhogen van de kering zinvol is, kan op basis van een kostenbeschouwing duidelijk worden gemaakt wat de meerwaarde is van het verhogen in termen van reductie van schade en slachtoffers.

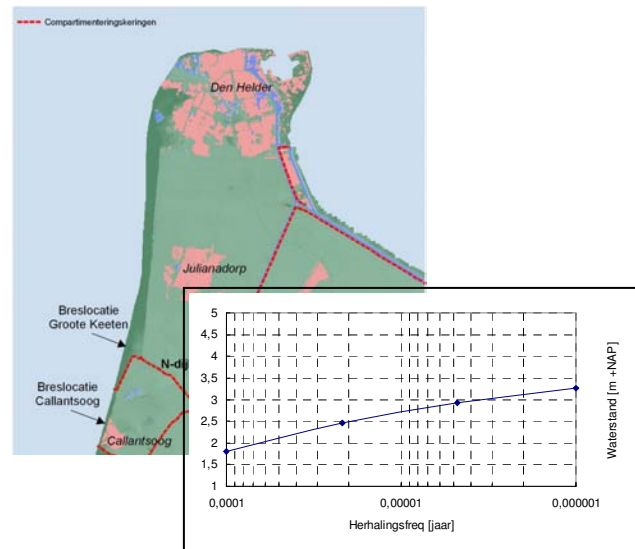
De volgende aspecten maken het eenduidig normen van compartimenteringkeringen complex:

- Hoe worden schade en slachtoffers onderling gewogen? Het verhogen van een kering kan een reductie van de schade betekenen, maar een verhoging van de slachtoffers;
- Hoe moet worden omgegaan met onzekerheden bij het vaststellen van kosten, schade en slachtoffers? Onzekerheden zijn inherent, maar het bepalen van slachtoffers is indicatief. Het slachtoffermodel (HIS SSM) heeft bijvoorbeeld grote sprong in aantal slachtoffers wanneer de stijgsnelheid van het water groter wordt dan 0,5 m/uur.
- Op basis van de uitgevoerde case studies blijkt dat het aanpassen van de hoogte van de compartimenteringkeringen kostbaar is en weinig meerwaarde biedt. Wel is veel voordeel te halen als het mogelijk is om, afhankelijk van de opgetreden situatie, het overstromingswater met behulp van de compartimenteringkeringen actief te sturen zodat een beheersbaar en voorspelbaar overstromingsscenario optreedt.

SHOWCASE KUST:
CALLANTSOOG, NOORD-HOLLAND

Opdrachtgever:

Stowa



Casestudie Noord-Holland

Leidraad normeren compartimenteringskeringen

Nelen & Schuurmans



februari 2007

Opdrachtgever:
Stowa
Postbus 8090
3503 RB Utrecht

Nelen & Schuurmans
Postbus 1219
3500 BE Utrecht
Tel. 030 - 2330200

WWW.NELEN-SCHUURMANS.NL

KVK, UTRECHT 30152280

Project:

Casestudie Noord-Holland

Leidraad normeren compartimenteringskeringen

Projectgegevens:

Dossier : H0033.3

Datum : februari 2007

Niets uit deze rapportage mag worden veelevoudigd of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doelstelling	1
	1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarde	2
	1.4 Werkwijze/ methodiek	2
2	Gebiedsbeschrijving / inventarisatie	3
	2.1 Dijkkring 13	3
	2.2 Compartimenteringskeringen in onderzoeksgebied	3
	2.3 Primaire keringen	4
	2.4 Overstromingsmodel	4
3	Gebeurtenissen en randvoorwaarden	5
	3.1 Breslocaties	5
	3.2 Waterstanden en overschrijdingsfrequentie	6
	3.3 Waterstandverloop	6
	3.4 Bresgrootte en –groei	7
	3.5 Gedrag compartimenteringsdijk	8
	3.6 Beschouwde gebeurtenissen en scenario's	8
4	Modelresultaten	9
	4.1 Effecten van de kering	9
	4.2 Schade en slachtoffers	10
	4.2.1 Bres Callantsoog	10
	4.2.2 Bres Groote Keeten	13
	4.2.3 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers	15
	4.3 Frequentieoverschrijdingslijnen waterstand	16
	4.4 Kosten/baten analyse	17
	4.4.1 Kosten maatregelen	17
	4.4.2 Baten	17
5	Normering	19
	5.1 Normering compartimenteringsdijk op basis van conditionele kans	19
	5.1.1 Algemeen	19
	5.1.2 Klassering	19
	5.2 Normering compartimenteringsdijk op basis van kosten en baten	21
6	Discussie	22
	6.1 Evaluatie normeringmethode leidraad	22
	6.2 Evaluatie normering	22
	6.2.1 Normering op basis van conditionele kans	22
	6.2.2 Normering op basis van kosten/baten	22
	6.3 Beschouwing aan de hand van deze case	22
	Literatuurlijst	24
I	Berekening schaderisico	25

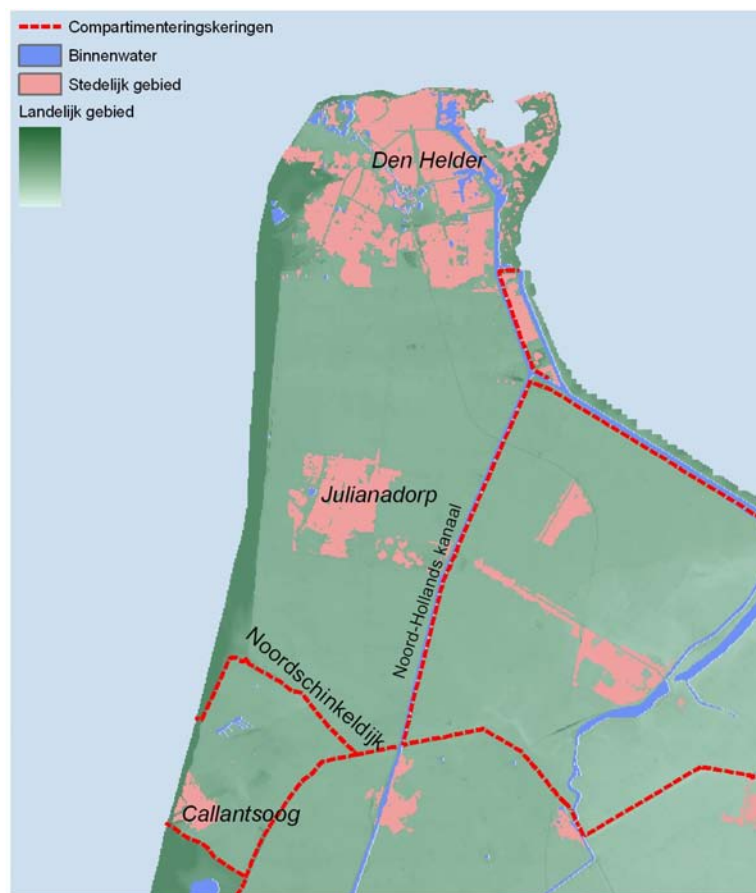


1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Als een primaire kering faalt, zijn er vaak nog zogenaamde “droge” keringen die de gevolgen van een overstroming aanmerkelijk kunnen beperken. In opdracht van de STOWA stelt Nelen & Schuurmans in samenwerking met HKV een leidraad op voor de normering van deze droge keringen. Deze leidraad geeft een uniforme methode voor het toekennen van veiligheidsnormen aan compartimenteringskeringen in Nederland

Om de praktische toepasbaarheid te toetsen en een norm te kunnen afleiden wordt een aantal casestudies uitgevoerd. Eén van deze casussen, die in dit rapport wordt uitgewerkt, is het normeren van de compartimenteringsdijk Noordschinkeldijk in het noordelijke gedeelte van dijkkringgebied 13 in Noord Holland.



Figuur 1-1: Overzichtskartaal onderzoeksgebied

1.2 Doelstelling

Het doel van deze casestudie is om de werkwijze die beschreven is in de leidraad te toetsen op de praktische toepasbaarheid. Hiervoor wordt de compartimenteringsdijk Noordschinkeldijk in Noord-Holland genormeerd.



1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarde

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd in de leidraad voor de normering:

- De primaire kering bezwijkt zodra het toetspeil wordt overschreden (overschrijdingskansen methode). Golfoverslag, piping of afschuiving worden niet meegenomen;
- Er treedt één bres tegelijkertijd op;
- De hydraulische randvoorwaarden, die worden afgeleid voor het toetsen van de primaire waterkeringen, worden gehanteerd als hydraulische randvoorwaarden bij het bepalen van de belasting van de compartimenteringskering. Impliciet wordt aangenomen dat de conditionele belasting van de compartimenteringsdijk één op één gerelateerd is aan de afgeleide hydraulische belasting van de primaire kering. Met andere woorden, de 1:40.000 jaar hydraulische belasting bij een kering met een norm van 1:4.000 levert de 1:10 jaar belasting op voor de compartimenteringsdijk;
- Kosten en baten worden berekend op basis van een tijdshorizon van 50 jaar en rentevoet van 4%;
- Preventieve evacuatie vindt niet plaats;
- De kans op een doorbraak aan één van beide zijden is gelijk. (deze aanname wordt gebruikt bij het optellen van de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers);
- De bres wordt niet gedicht.

De volgende case specifieke uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Eén van de scenario's is de huidige situatie. Omdat het gedrag van de kering bij overlopen niet bekend is worden twee scenario's bekeken, het scenario waarbij de kering niet bezwijkt bij overlopen en een scenario waarbij de Noordschinkelsedijk bezwijkt als er water overheen loopt. Aangenomen is dat de kering bezwijkt zodra er 0,15 m water overloopt;
- Voor de overige compartimenteringsdijken wordt aangenomen dat deze niet bezwijken als gevolg van overlopen.
- De effecten van de normering van de andere compartimenteringskeringen en eventuele aanpassingen worden niet meegenomen in de normering van de Noordschinkeldijk;
- De diverse duikers, pompen, spuien en sluizen zijn gesloten tijdens een hoogwatersituatie.

1.4 Werkwijze/ methodiek

Eerst is begonnen met gegevensverzameling over het gebied. Dit om inzicht te krijgen in de situatie en de benodigde modelparameters voor het gebruikte 2d-overstromingsmodel te verkrijgen. Belangrijk zijn de data betreffende de waterstandverlopen bij de gegeven hydraulische randvoorwaarden, de breslocaties en de bresgrootte en -groei. De gegevensverzameling is beschreven in hoofdstuk 2 en 3.

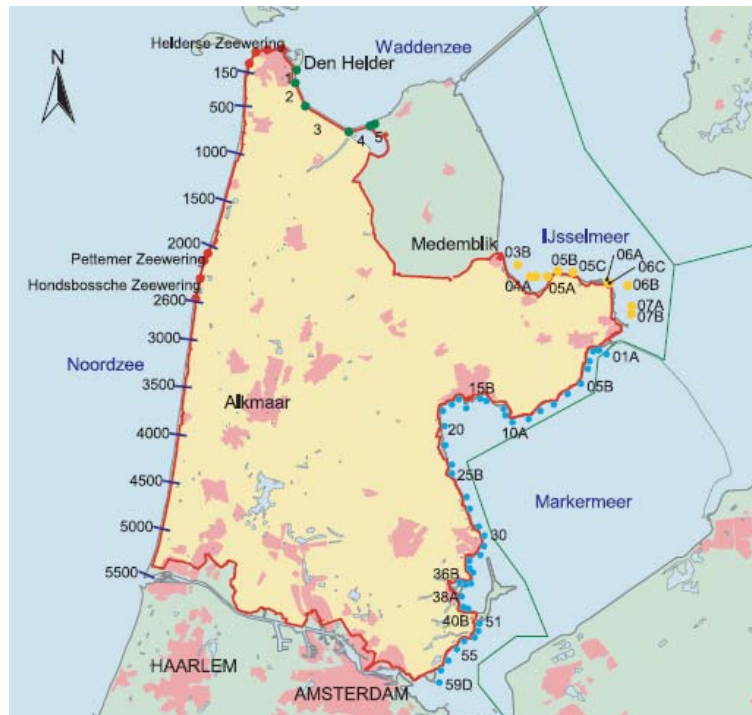
Vervolgens zijn de modelresultaten van het overstromingsmodel gebruikt als input voor het Schade en Slachtoffer Model (SSM). De resultaten zijn naverwerkt tot schade en slachtoffers, frequentieoverschrijdingslijnen voor de waterstand ter hoogte van de Noordschinkeldijk en de kosten en baten. De naverwerking is te vinden in hoofdstuk 4. Op basis van de naverwerkte resultaten in hoofdstuk 4 zijn twee toetsingsmethoden uitgetoetst (hoofdstuk 5). In hoofdstuk 6 worden de gebruikte toetsingsmethoden beschouwd.



2 Gebiedsbeschrijving / inventarisatie

2.1 Dijkkring 13

In Figuur 2-1 is dijkkring 13 weergegeven. Het wordt omgeven door de Noordzee, de Waddenzee, Het IJsselmeer en het Markermeer. De zuidkant is begrensd door het Noordzeekanaal. De Noordschinkeldijk ligt tussen Jarkusraai 500 en 1000. Alleen het noordelijke gedeelte van dijkkring 13 wordt in deze case beschouwd.



Figuur 2-1: Dijkkring 13 (bron: Hydraulisch randvoorwaardenboek 2001)

2.2 Compartimenteringskeringen in onderzoeksgebied

Zoals in Figuur 1-1 weergegeven, bevindt de Noordschinkeldijk zich tussen Callantsoog en Julianadorp. De hoogte van de Noordschinkeldijk is ongeveer 2,60 m NAP. De andere keringen rond Callantsoog hebben een hoogte van ongeveer 3,0 m NAP. De overige compartimenteringskeringen in het onderzoeksgebied hebben een hoogte tussen de 3,0 m NAP en 3,4 m NAP.

In de kaden zit een aantal lagere coupures (dijkovergangen) welke conform het calamiteitenplan allen tijdig, in de aanloop naar hoogwater op zee, dichtgezet worden tot dijkhoogte.

Rond Callantsoog is de bodemhoogte rond NAP. Callantsoog zelf ligt iets hoger. Noordelijk van de Noordschinkeldijk tot aan Den Helder ligt de bodemhoogte tussen de 0 en 0,5 m NAP. Oostelijk van het Noord-Hollands kanaal loopt de bodemhoogte af tot rond de -2 m NAP.



2.3 Primaire keringen

Voor de primaire keringen rond het dijkvak geldt dat deze een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1:10.000 jaar moeten keren. Deze primaire keringen bestaan voornamelijk uit duinen. Bij Callantsoog bevindt zich een zeedijk.

Tabel 2-1 laat de voorgeschreven rekenpeilen zien in het onderzoeksgebied.

Tabel 2-1: Rekenpeilen primaire keringen in onderzoeksgebied (bron: Hydraulisch randvoorwaardenboek 2001)

Jarkus raai	Plaatsaanduiding	Rekenpeil [m+NAP]
150 – 348	Den Helder	4,80
356 – 499		4,80
501 – 598	Noordduinen	4,90
600 – 827		4,90
835 – 999	Callantsoog	4,90

2.4 Overstromingsmodel

Een bestaand overstromingsmodel uit het afstudeeronderzoek aan de TU Delft (Adriaan Dedel) is gebruikt. Dit model is in april 2003 gemaakt. Diverse kleine aanpassingen zijn gemaakt betreffende sluizen en duikers in samenspraak met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK).

Het model betreft een hydrodynamisch 2 dimensionaal model gekoppeld aan een 1 dimensionaal stromingsmodel voor de watergangen. Het gekoppelde model is gemaakt in het modeleerprogramma Sobek. Het model heeft een bewerkt hoogtetgrid van 100x100 meter. De hydraulische weerstand is ontleend aan het landgebruik.



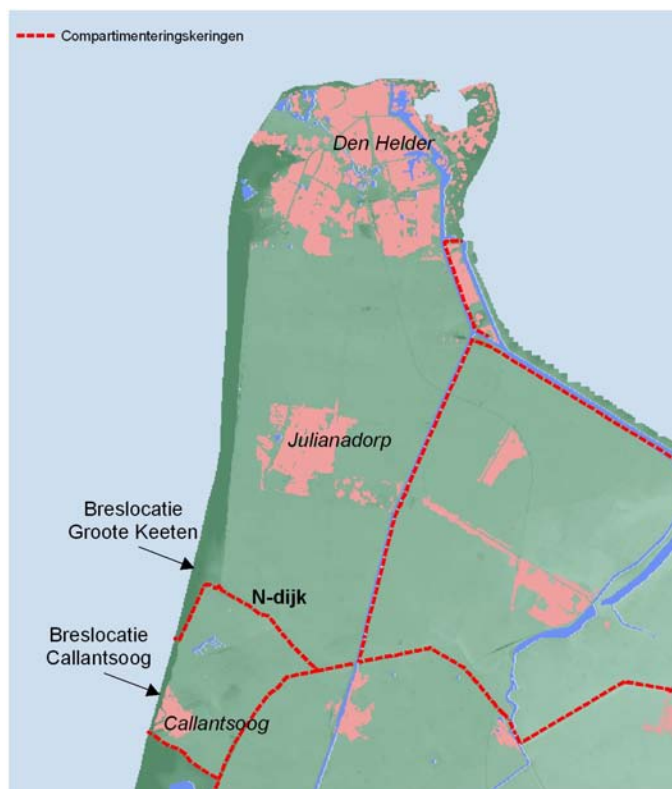
3 Gebeurtenissen en randvoorwaarden

De compartimenteringsdijk wordt belast, zodra de primaire kering bezwijkt. Hoe de dijk wordt belast hangt af van hoe groot de belasting op het buitenwater is, hoe snel het water het dijkvak binnenloopt en hoe het zich verspreidt. Om de belasting bij de compartimenteringsdijk te bepalen en te kijken naar de effecten van de dijk zijn een aantal gebeurtenissen afgeleid, bestaande uit een breslocatie en verschillende belastingen op het buitenwater. Daarnaast zijn een aantal scenario's gekozen, waarbij het gedrag en de hoogte van de compartimenteringsdijk is gevarieerd.

3.1 Breslocaties

Twee breslocaties zijn gekozen, aan beide zijden van de Noordschinkeldijk één. De keuze voor de locatie van de bressen is bepalend voor de belasting van de compartimenteringsdijk. Om deze locaties te bepalen is gebruik gemaakt van de deskundigheid van de beheerders van het gebied. Ook is gebruik gemaakt van het afstudeeronderzoek van Dedel (2003), waarin hij met behulp van het rekenprogramma WinKust, welke de formules hanteert uit de TAW leidraad "Beoordeling van de duinen als primaire waterkering" uit 1984, de afslag bij diverse duinlocaties gesimuleerd heeft.

De uiteindelijke keuze is gevallen op duinraai 1258 bij Callantsoog en duinraai 948 bij Groote Keeten. Beide locaties worden gezien als zwakke plek in de primaire kering, waardoor de bres zich relatief snel ontwikkelt en tevens relatief groot wordt. Beide locaties liggen ook dicht bij de Noordschinkeldijk, waardoor een maximale belasting op de Noordschinkeldijk verwacht wordt. In Figuur 3-1 zijn de breslocaties weergegeven.



Figuur 3-1: Breslocaties



3.2 Waterstanden en overschrijdingsfrequentie

Conform de leidraad, worden gebeurtenissen gedefinieerd voor buitenwaterstanden bij vier herhalingstijden. De eerste herhalingstijd is gelijk aan de norm van 1:10.000 jaar. De overige herhalingstijden worden bepaald tot tweemaal de decimeringswaarde, waarbij de stapgrootte gelijk is aan 2/3 decimeringswaarde.

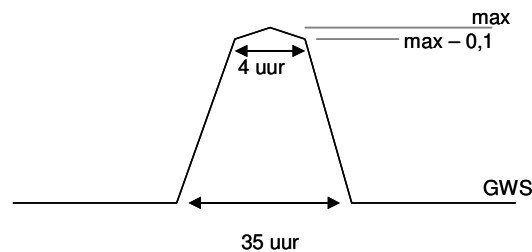
Het rekenpeil (=toetspeil) 2006 bij de duinenkust rond Callantsoog bij een herhalingstijd van 1:10.000 is 4,90 m (zie Tabel 2-1) De decimeringshoogte is 0,60 m (Rijkswaterstaat DWW).

Bovenstaande levert de waterstanden als vermeld in Tabel 3-1 op. Deze maximale waterstanden worden gebruikt om het waterstandsverloop samen te stellen voor de vier verschillende overschrijdingsfrequenties.

Tabel 3-1 Herhalingstijden en bijbehorende waterstanden

Overschrijdingsfrequentie [jaar]	Toetspeil locatie Callantsoog en Grootte Keeten [m NAP]
1:10.000	4,90
1:46.000	5,30
1:210.000	5,70
1:1.000.000	6,10

3.3 Waterstandverloop

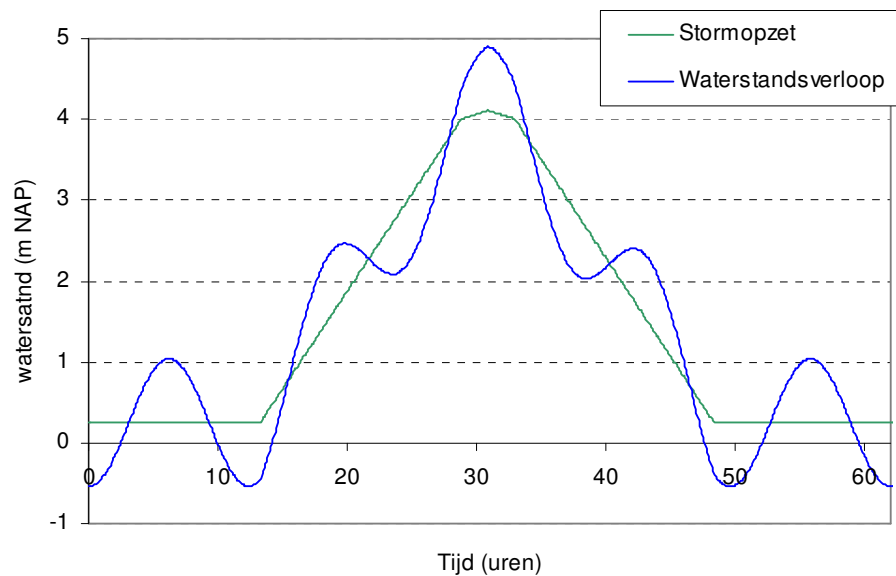


Figuur 3-2: Stormopzet, waarbij het getijdenverloop wordt opgeteld

Het waterstandverloop is gelijk aan het getijdenverloop plus de stormopzet. De stormopzet is schematisch weergegeven in Figuur 3-2 (bron: Ministerie van verkeer en waterstaat (2004)) De Gemiddelde Waterstand (GWS) bedraagt, volgens het meetpunt Putten Zuid, 0,25 m NAP. Het getijdenverloop is geconstrueerd aan de hand van de Gemiddelde Getij amplitude (GGA) over 2006 als gemeten op het zelfde meetpunt als de gemiddelde waterstand. De gemiddelde getij amplitude is 1,58 m NAP.

Het maximum van het waterstandverloop is gelijk aan het toetspeil. Het toetspeil minus een halve GGA geeft het maximum van de stormopzet. Deze is bij een overschrijdingsfrequentie van 1:10.000 dus $4,90 - 0,79 = 4,11$ m

Zie Figuur 3-3 voor het waterstandverloop bij een overschrijdingsfrequenties van 1:10.000 jaar.



Figuur 3-3 Waterstandverloop bij overschrijdingsfrequentie van 1:4. 000 jaar

3.4 Bresgrootte en –groei

De parameters voor de bresgroei zijn gebaseerd op de eerder uitgevoerde studie van Dedel (2003). Enkele aanpassingen zijn gemaakt. Zo heeft Dedel gebruikt gemaakt van een stormopzet duur van 48 uur, terwijl conform het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) 35 gehanteerd zou moeten worden.

Uit de WinKust berekenen van Dedel (2003) is gebleken dat de initiële bres in de duinen pas na 24 uur ontstaat. De storm moet in elk geval 24 uur duren om een doorbraak te forceren in de duinen die als initiële situatie kan dienen voor de hydraulische berekeningen. Wanneer een stormopzet duur van 35 uur gehanteerd wordt, blijft 11 uur over om de initiële bres te laten groeien. In dit geval is de stormopzet alweer sterk afgenomen, waardoor buitenwatertand te laag is om de bres te laten groeien en er geen overstroming van het binnenland is.

In deze studie is aangenomen dat de initiële bres begint, zodra het toetspeil wordt overschreden. De eindhoogte van de bres is aangenomen op maaiveldniveau. In Tabel 3-2 staan de gebruikte modelparameters voor de bresgroei op beide breslocaties.

Tabel 3-2: Te gebruiken parameters voor bres

Parameter	Bres Callantsoog	Bres Grootte Keeten
Hoogte Initiële bres (m + NAP)	5,0	5,0
Eindhoogte bres (m + NAP)	1,2	0,5
Breedte initiële bres (m)	10	10
rekenmethode	Verheij_vdKnaap 2001	Verheij_vdKnaap 2001



3.5 Gedrag compartimenteringsdijk

Voor de analyses en nabewerkingen worden drie situaties bekeken voor de compartimenteringsdijk, de huidige situatie, de situatie waarbij de compartimenteringsdijk er niet is en de situatie waarbij de kering maximaal wordt opgehoogd.

Omdat van de huidige situatie niet bekend is of de compartimenteringsdijk blijft staan of bezwijkt als hier water overheen loopt, worden beide situaties beschouwd.

Totaal levert dit de volgende scenario's op:

1. Situatie met de huidige kering, waarbij deze niet bezwijkt bij overlopen. Dit scenario wordt verder 'huidig, niet bezwijken' genoemd;
2. Situatie met de huidige kering waarbij deze wel bezwijkt zodra het water er met een straal van 15 cm eroverheen loopt. Dit scenario heet 'huidig, bezwijken';
3. Situatie zonder kering, genaamd 'geen kering';
4. Situatie met verhoogde kering, genaamd 'verhoogde kering'.

3.6 Beschouwde gebeurtenissen en scenario's

In totaal zijn er:

- 2 breslocaties (Hoogte Keeten en Callantsoog);
- 4 watertanden met verschillende herhalingsstijden (1:10.000 – 1:1.000.000);
- 1 waterstandsverloop;
- 1 bresgroei;
- 4 scenario's over de hoogte en het gedrag van de compartimenteringsdijk.

Dit geeft 32 verschillende situaties welke allen doorgerekend zijn met het hydraulische 2d-model.



4 Modelresultaten

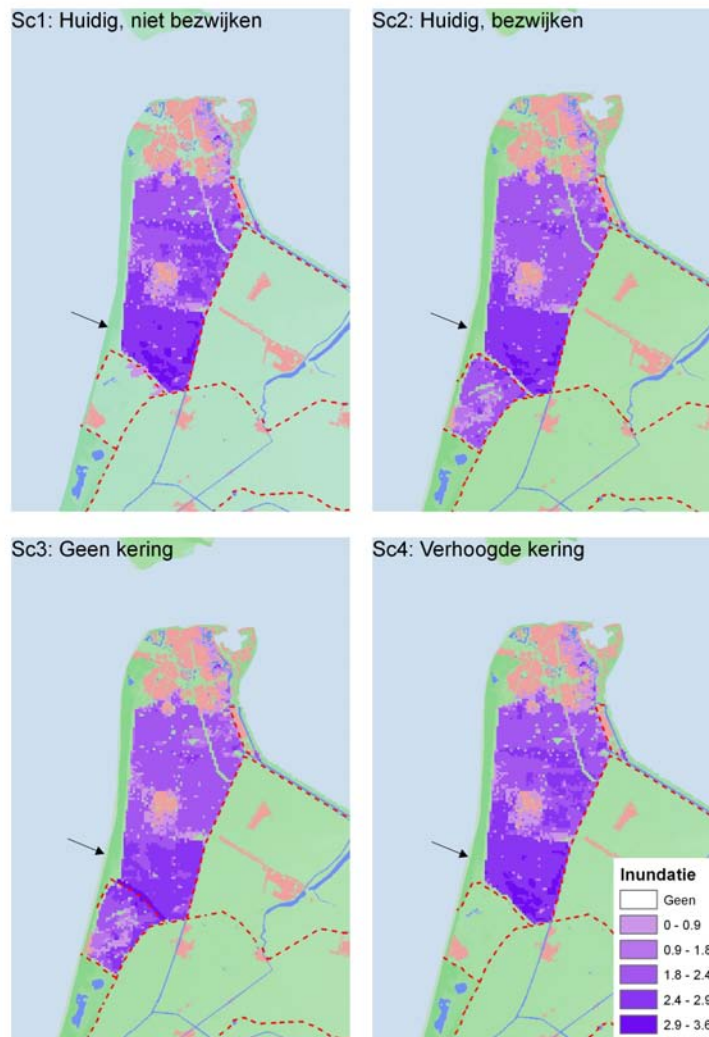
4.1 Effecten van de kering

Om de compartimenteringsdijk te kunnen normeren is het belangrijk de effecten van dit object in beeld te krijgen. De kering zorgt dat de overstroming anders verloopt, wat uiteindelijk gevolgen heeft voor de schade en slachtoffers. Om meer inzicht te krijgen in het effect van de kering op het overstromingspatroon worden hier enkele resultaten gegeven.

In Figuur 4-1 en Figuur 4-2 zijn de inundatiepatronen van de 4 scenario's weergegeven bij een overstromingsfrequentie van 1:210.000 jaar. De hoogte van de compartimenteringskering heeft invloed op het overstromingspatroon. Als de Noordschinkeldijk verhoogd wordt, blijft het water in het compartiment rond Callantssoog. Dit heeft hoge inundatiedieptes tot gevolg. Bezwijkt de huidige Noordschinkeldijk bij overstromen, dan blijft het water eerst rond Callantssoog en stroomt vervolgens richting Den Helder.



Figuur 4-1: Inundatie als gevolg van bres bij Callantssoog bij verschillende scenario's gegeven een waterstandverloop bij herhalingsfrequentie van 1: 210 000 (Fr3)



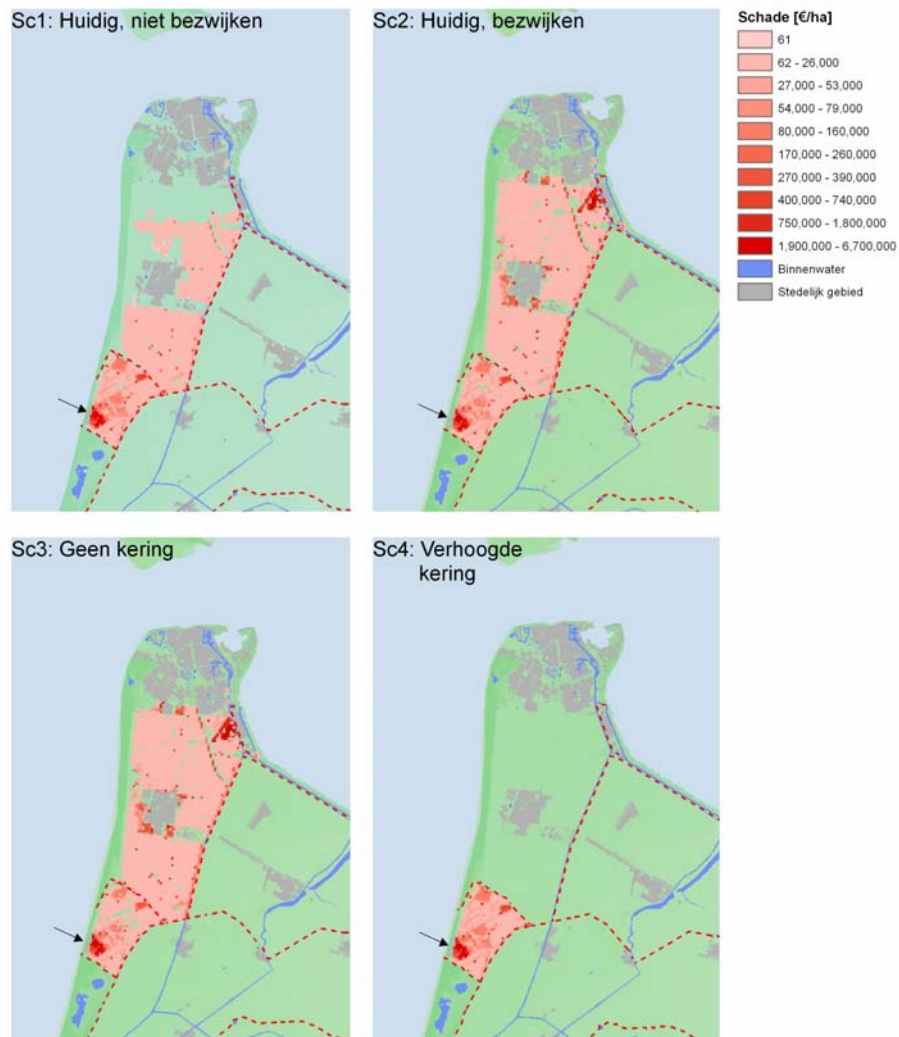
Figuur 4-2: Inundatie als gevolg van bres bij Groote Keeten bij verschillende scenario's gegeven een waterstandverloop bij herhalingsfrequentie van 1: 210.000 (Fr3)

4.2 Schade en slachtoffers

4.2.1 Bres Callantsoog

In Figuur 4-3 zijn schadekaarten weergegeven voor de 4 scenario's bij een herhalingsfrequentie van 1:210.000 jaar.

Rond de bres zijn hoge schades te zien. Hier bevindt zich het stedelijke gebied van Callantsoog. Ook zijn ter plaatse van de bres, de stroomsnelheden en waterstanden hoog. In scenario 2 en 3 is zuidoostelijk van Den Helder ook een hoge concentratie schade te zien; hier bevindt zich een vliegveld.



Figuur 4-3: Schade als gevolg van bres bij Callantsoog bij verschillende scenario's gegeven een waterstandverloop bij herhalingsfrequentie van 1: 21.000 (Fr3)

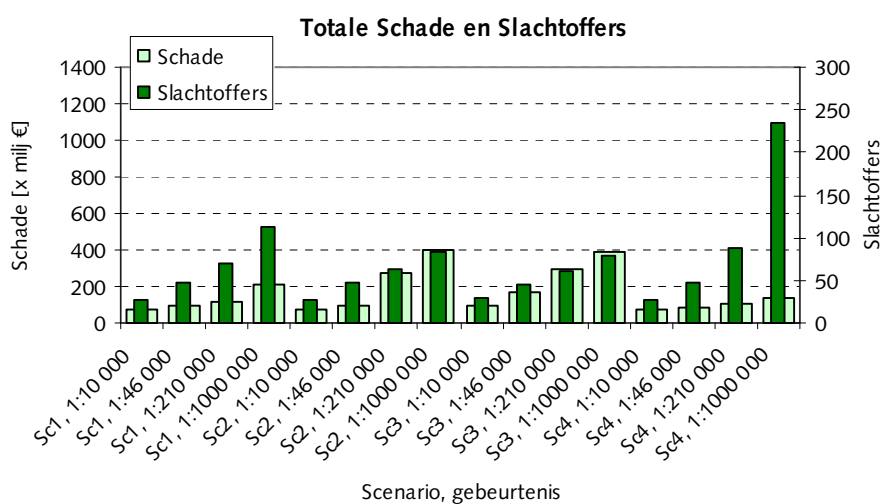
In Tabel 4-1 en Figuur 4-4 geven de schade en slachtoffers bij de verschillende cases (4 scenario's en 4 verschillende frequenties). De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers is bepaald met de HIS schade en slachtoffers module. De input hiervoor zijn de maximale waterstanden en stroomsnelheden, zoals deze berekend zijn met behulp van het hydraulisch 2d-model.

De schades en slachtoffers in de tabel zijn opgedeeld in 2 compartimenten; het zuidelijke compartiment beslaat het gebied ten zuiden van de Noordschinkeldijk, het noordelijke compartiment het gebied ten noorden van de Noordschinkeldijk.



Tabel 4-1: Schade en slachtoffers bij doorbraak Callantsoog

Scenario	Gebeurtenis [jaar]	Zuid		Noord		Totaal	
		Schade [x milj €]	Slacht- offers	Schade [x milj €]	Slacht- offers	Schade [x milj €]	Slacht- offers
Sc1: Huidige situatie zonder doorbraak N- dijk	1:10.000	72,3	28	0,0	0	72,3	28
	1:46.000	89,6	47	0,0	0	89,6	47
	1:210.000	101,3	69	19,5	1	120,8	70
	1:1.000.000	111,5	109	95,9	3	207,4	112
Sc2: Huidige situatie met doorbraak N- dijk	1:10.000	72,3	28	0,0	0	72,3	28
	1:46.000	89,6	46	0,0	2	89,6	48
	1:210.000	96,7	59	172,6	4	269,3	63
	1:1.000.000	102,4	77	301,6	6	404,0	83
Sc3: Zonder N- dijk	1:10.000	69,2	28	22,5	1	91,7	29
	1:46.000	80,5	41	91,4	4	171,9	45
	1:210.000	87,5	54	202,4	6	289,8	60
	1:1.000.000	94,3	70	300,1	8	394,4	78
Sc4: Oneindig hoge N-dijk	1:10.000	72,1	28	0,0	0	72,1	28
	1:46.000	89,3	47	0,0	0	89,3	47
	1:210.000	106,5	88	0,0	0	106,5	88
	1:1.000.000	135,9	235	0,0	0	135,9	235

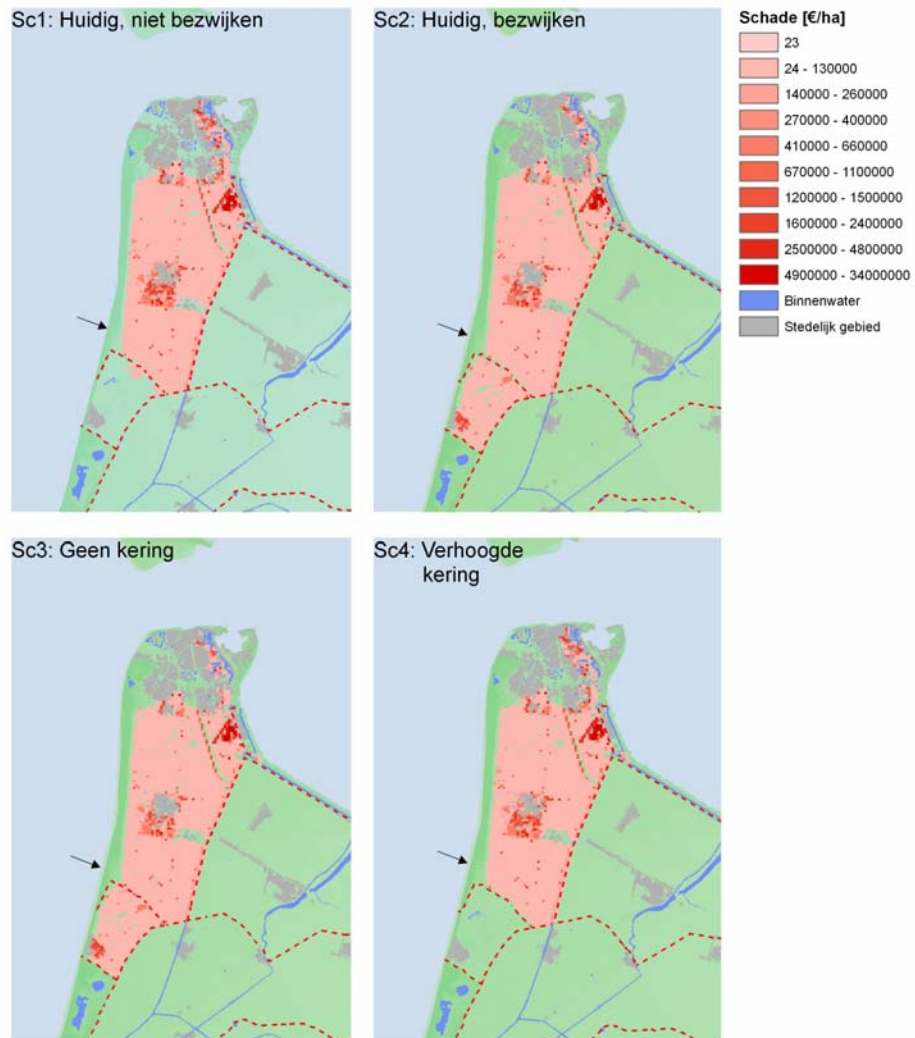


Figuur 4-4: Schade en slachtoffers bij doorbraak Callantsoog



4.2.2 *Bres Groote Keeten*

Figuur 4-5 geeft een beeld van de ruimtelijke verdeling van de schade bij de vier scenario's, gegeven een herhalingsfrequentie van 1:210.000 jaar.



Figuur 4-5: Inundatie als gevolg van bres bij Callantsoog bij verschillende scenario's gegeven een waterstandverloop bij herhalingsfrequentie van 1: 21. 000 (Fr3)

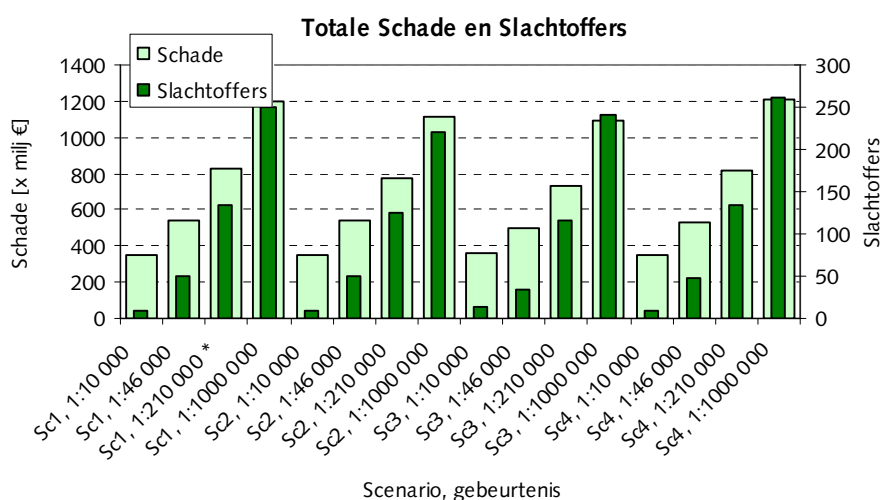
Tabel 4-2 en Figuur 4-6 geven de schade en slachtoffers voor al de verschillende scenario's en herhalingsfrequenties als berekend door de HIS schade en slachtoffers module. Ook hier is in de tabel een onderscheid gemaakt tussen het compartiment ten noorden en zuiden van de Noordschinkeldijk.



Tabel 4-2: Schade en slachtoffers bij doorbraak Groote Keeten

Scenario	Gebeurtenis [/jaar]	Zuid		Noord		Totaal	
		Schade [x milj €]	Slacht- offers	Schade [x milj €]	Slacht- offers	Schade [x milj €]	Slacht- offers
Sc1: Huidige situatie zonder doorbraak N- dijk	1:10.000	0,0	0	353,1	9	353,1	9
	1:46.000	0,0	0	537,3	50	537,3	50
	1:210.000	0,9	0	828,8	134 *	829,7	218
	1:1.000.000	13,0	0	1186,2	250	1199,2	250
Sc2: Huidige situatie met doorbraak N- dijk	1:10.000	0,0	0	353,1	9	353,1	9
	1:46.000	0,0	0	538,7	50	538,7	50
	1:210.000	65,9	15	710,1	109	776,0	124
	1:1.000.000	77,1	25	1033,5	195	1110,6	220
Sc3: Zonder N- dijk	1:10.000	26,3	3	329,4	10	355,8	13
	1:46.000	55,5	8	446,9	25	502,4	33
	1:210.000	72,9	22	655,5	95	728,3	117
	1:1.000.000	85,8	39	1002,6	202	1088,4	241
Sc4: Oneindig hoge N-dijk	1:10.000	0,0	0	350,3	9	350,3	9
	1:46.000	0,0	0	527,7	47	527,7	47
	1:210.000	0,0	0	813,3	134	813,3	134
	1:1.000.000	0,0	0	1209,7	261	1209,7	261

*) het slachtofferaantal voor Sc1, 1:210 000 is handmatig aangepast. De SSM berekening gaf een slachtofferaantal van 218. Gezien de inundatiefiguren (Figuur 4-2) wordt verwacht dat de schade en het aantal slachtoffers in de zelfde orde grootte is als scenario 4 (oneindige hoge dijk). Dezelfde waarde als bij scenario 4 is aangenomen: 134.



Figuur 4-6: Schade en slachtoffers bij doorbraak Groote Keeten



4.2.3 Jaarlijks verwachte schade en slachtoffers

Op basis van de schade en de herhalingstijden zijn de jaarlijks verwachte schade en slachtoffers berekend, ofwel het schaderisico en slachtofferrisico.

In de bijlage staan een aantal tussenstappen bij het berekenen van het risico.

Tabel 4-3 tot Tabel 4-5 laten respectievelijk het schaderisico, het slachtofferrisico en het 'schade- en slachtoffer'-risico zien. Bij deze laatste tabel zijn de slachtoffers omgerekend naar monetaire waarde door per slachtoffer 2,3 miljoen euro in rekening te brengen.

Tabel 4-3: Schade risico

Scenario	Doorbraaklocatie Callantsoog	Doorbraaklocatie Groote Keeten	Totaal [€/jaar]	Rangorde (laag naar hoog risico)
	[€/jaar]	[€/jaar]		
Huidig, niet bezwijken	7.800	41.100	48.900	2
Huidig, bezwijken bij overlopen	8.600	40.800	49.400	3
Geen kering	11.600	40.200	51.800	4
Verhoogde kering	7.700	40.600	48.300	1

Tabel 4-4: Slachtofferrisico

Scenario	Doorbraaklocatie Callantsoog	Doorbraaklocatie Groote Keeten	Totaal [n/jaar]	Rangorde (laag naar hoog risico)
	[n/jaar]	[n/jaar]		
Huidig, niet bezwijken	0,0034	0,0023	0,0057	2
Huidig, bezwijken bij overlopen	0,0033	0,0022	0,0056	1
Geen kering	0,0033	0,0023	0,0056	2
Verhoogde kering	0,0036	0,0023	0,0058	4

Tabel 4-5: Schade- en slachtofferrisico, waarbij voor een slachtoffer 2,3 miljoen euro is aangehouden

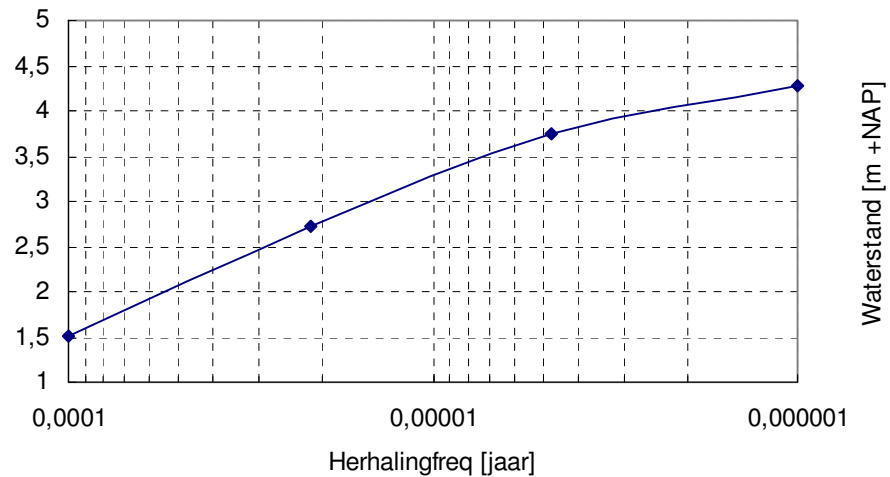
Scenario	Doorbraaklocatie Callantsoog	Doorbraaklocatie Groote Keeten	Totaal [€/jaar]	Rangorde (laag naar hoog risico)
	[€/jaar]	[€/jaar]		
Huidig, niet bezwijken	15.500	46.400	61.900	2
Huidig, bezwijken bij overlopen	16.300	46.000	62.300	3
Geen kering	19.300	45.400	64.700	4
Verhoogde kering	15.900	45.800	61.700	1

Scenario 4, 'verhoogde kering', scoort over het geheel genomen (schade + slachtoffers) het laagste risico. Wanneer alleen naar slachtofferrisico wordt gekeken scoort scenario 4 met de verhoogde kering het slechts. De onderlinge verschillen bij het slachtofferrisico zijn erg klein.

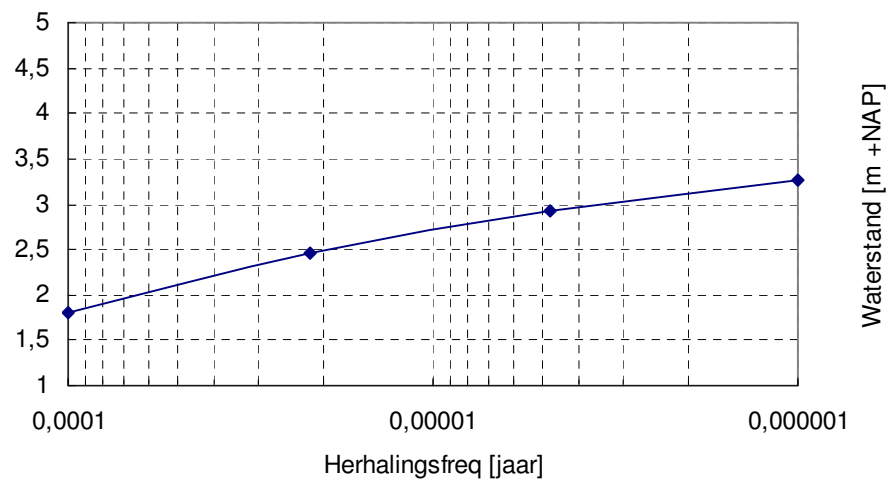


4.3 Frequentieoverschrijdingslijnen waterstand

Op basis van de maximale waterstanden langs de kering (in het geval dat deze verhoogd is) zijn de frequentieoverschrijdingslijnen voor de waterstand gemaakt voor beide zijden van de kering. De frequentieoverschrijdingslijnen zijn weergegeven in Figuur 4-7 en Figuur 4-8.



Figuur 4-7: Overschrijdingslijn van de waterstand aan de Callantsoog-zijde



Figuur 4-8: Overschrijdingslijn van de waterstand aan de Grootte Keeten-zijde

Voor de overschrijdingslijn aan de waterkant van Callantsoog geldt dat het water bij de hogere overschrijdingsfrequenties geconcentreerd blijft binnen de dijkring rond Callantsoog. Voor de overschrijdingslijn aan de kant van Grootte Keeten geldt hetzelfde.



4.4 Kosten/baten analyse

4.4.1 Kosten maatregelen

Uit Figuur 4-7 blijkt dat de waterstand bij een herhalingstijd van 1.000.000 jaar, 4,3 m bedraagt. Om de dijk te verhogen zodat hij niet bezwijkt als gevolg van de waterstand, wordt aangenomen dat de dijk tot 4,5 m opgehoogd dient te worden. De Noordschinkeldijk is in de huidige situatie over 2 km gemiddeld ongeveer 3 m NAP en over 1 km oplopend van 3 m NAP naar 4,5 m NAP (gemiddeld 3,75 m NAP). Over een gedeelte van de dijk is een secundaire weg van ongeveer 2 km. De rest is hoger dan 4,5 m NAP en hoeft dus niet opgehoogd te worden.

Uitgaande van de kosten voor het ophogen van een dijk van profiel B uit de leidraad (dijkhoogte 4 m, kruinbreedte 8 m) worden de volgende kosten, omgerekend in Netto Contante Waarde (NCW), geraamd voor het ophogen tot 4,5 m NAP.

Tabel 4-6: Kosten ophoging Noordschinkeldijk

Omschrijving huidig deel	Lengte [m]	Benodigde ophoging [m]	NCW per 0,5 m ophoging per streckende meter [€/m]	NCW [€]
3 m +NAP, met weg	1250	1,5	160	600.000
3 m +NAP, zonder weg	750	1,5	730	1.642.500
3,75 +NAP, met weg	1000	0,75	730	1.095.000
			Totaal:	3.337.500
				≈ 3.500.000

De kosten voor het afgraven van de Noordschinkeldijk over de volledige lengte zijn direct gekoppeld aan het grondverzet. De prijs voor het verzetten van 1 m³ grond wordt geschat op € 15,- Wanneer uitgegaan wordt van een binnen en buiten talud van 1:3 en een kruinbreedte van 8 m, dan bevat het dijkgedeelte van 3 m +NAP per strekkende meter 51 m³ grond. Het dijkgedeelte van 3,75 NAP bevat ongeveer 64 m³.

Gegeven de lengtes uit Tabel 4-6 wordt de totale prijs voor het afgraven van de Noordschinkeldijk geschat op 1 miljoen euro.

Opgemerkt moet worden dat de geraamde kosten voor dijkophoging en dijkafgaving zeer grof zijn, ze dienen als indicatie en niet als precieze berekening van de kosten.

4.4.2 Baten

De baten van een maatregel is de afname van het overstromingsrisico. Elke maatregel (verhogen dijk en afgraven dijk) wordt vergeleken met de huidige situatie om zo de afname van het overstromingsrisico te bepalen. Onderscheid is gemaakt tussen de huidige situatie waarbij de Noordschinkeldijk bezwijkt (Tabel 4-7) en de huidige situatie waarbij de Noordschinkeldijk niet bezwijkt maar overloopt (Tabel 4-8).

De baten worden in eerste instantie gebaseerd op de overstromingsschade en vervolgens wordt getoetst of het slachtofferrisico in dezelfde orde grote veranderd. De reden om in



eerste instantie niet het totale schade- en slachtofferrisico te nemen is dat het uitdrukken van slachtoffers in monetaire waarde erg subjectief is.

Om een vergelijking te kunnen maken met de kosten, zijn de baten (risicoafnames) teruggerekend naar de Netto Contante Waarde (NCW), uitgaande van een reële rentevoet van 4% en een looptijd van 50 jaar.

Tabel 4-7: Baten (risicoafname) van verhogen of verlagen ten opzicht van het scenario huidig, niet bezwijken

Scenario	Risico [€/jaar]	Afname risico tov huidig scenario [€/jaar]	NCW 50 jaar [€]
Huidig, niet bezwijken	48.900	-	-
Verhogen	48.300	600	12.600
Geen kering	51.800	-2.900	-60.900

In het scenario waarbij geen kering is, neemt het risico toe. Hierdoor is de risicoafname negatief.

Het slachtofferrisico over 50 jaar bedraagt in de huidige situatie (niet bezwijken) 0,36. Voor het scenario zonder kering en verhoogde kering is dit respectievelijk 0,36 en 0,37. Het verschil is nihil.

Tabel 4-8: Baten (risicoafname) van verhogen of verlagen ten opzicht van het scenario huidig, bezwijken bij overlopen

Scenario	Risico [€/jaar]	Afname risico tov huidig scenario [€/jaar]	NCW 50 jaar [€]
Huidig, bezwijken bij overlopen	49.400	-	-
Verhogen	48.300	900	18.900
Geen kering	51.800	-2400	-50.400

Het slachtofferrisico over 50 jaar bedraagt in de huidige situatie (bezwijken bij overlopen) 0,35. Voor het scenario zonder kering en verhoogde kering is dit respectievelijk 0,36 en 0,37. Het verschil is wederom nihil.



5 Normering

De normering is uitgewerkt conform de twee voorstellen in de leidraad: normering op basis van conditionele kans en normering op basis van kosten en baten. Door de normering toe te passen kan gekeken worden of deze normeringmethodes tot bruikbare resultaten leiden.

5.1 Normering compartimenteringsdijk op basis van conditionele kans

5.1.1 Algemeen

Naarmate de compartimenteringsdijk een groter percentage van de schade kan voorkomen zal een zwaardere norm opgelegd worden. In de leidraad zijn conditionele kansen gedefinieerd, behorende bij verschillende percentages van voorkomen schade. Aan de hand van deze conditionele kansen kan, met behulp van de frequentieoverschrijdingslijn een normhoogte bepaald worden.

Er zijn twee mogelijkheden om deze normering uit te voeren:

1. Per zijde kijken wat het effect is van de kering. De conditionele kans leidt vervolgens via de frequentieoverschrijdingslijn van elke zijde tot een hoogte. De hoogste van beide hoogten wordt de toetshoogte
2. Het totale effect (optelsom van beide zijden). De conditionele kans die hieruit volgt wordt langs de hoogste frequentieoverschrijdingslijn gelegd, waaruit de toetshoogte volgt.

5.1.2 Klassering

Beide voorgaande methoden zijn uitgewerkt in Tabel 5-1. Duidelijk is dat, als per zijde gekeken wordt, de Callantsoog zijde een hoog risico afname heeft ten opzichte van het scenario 'geen kering'. Aan de Groote Keeten zijde neemt het risico juist toe opzichte van het scenario 'geen kering'. Daarom zijn de risicoafnames hier negatief. Methode 2 (optelsom van beide zijden) laat een relatief lage afname van het risico zien. De conditionele kansen die horen bij klassen van risico afname, als gedefinieerd in de leidraad, zijn ook vermeld in Tabel 5-1. Hierbij is de volgende verdeling gebruikt:

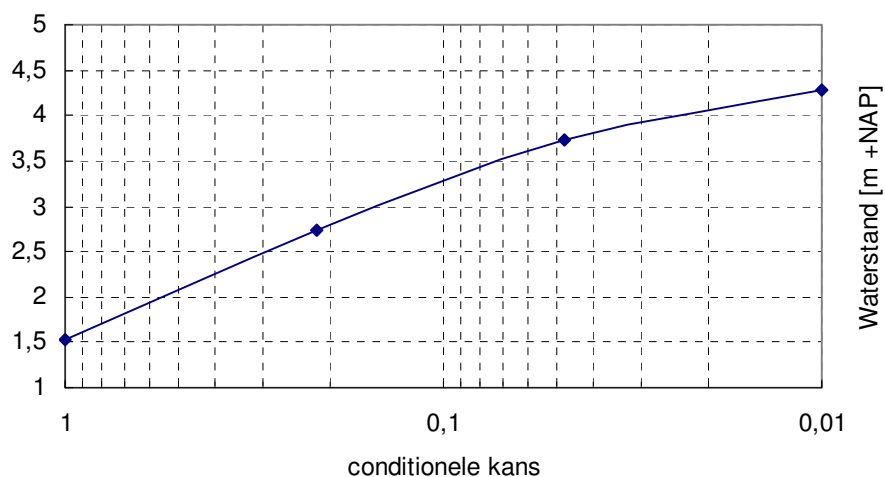
- Conditionele kans van 1/2 bij voorkomen van 0-10% van de schade
- Conditionele kans van 1/10 bij voorkomen van 11-50% van de schade
- Conditionele kans van 1/25 bij voorkomen van 51-80% van de schade



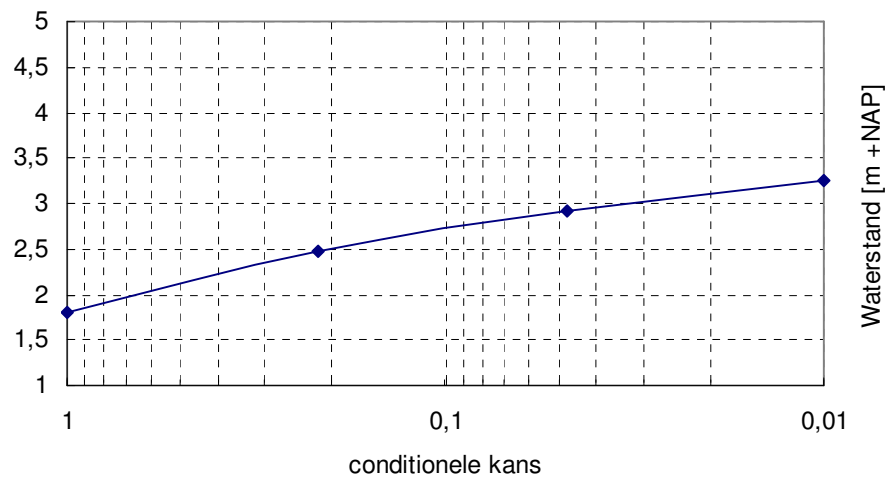
Tabel 5-1: Afname risico en bijbehorende conditionele kansen

Scenario	Callantsoog zijde			Groote Keeten zijde			Totaal		
	Risico [€/jaar]	Afname risico	Cond kans	Risico [€/jaar]	Afname risico	Cond kans	Risico [€/jaar]	Afname risico	Cond kans
Geen kering	11.600	-	-	40.200	-	-	51.800	-	-
Verhoogd	7.700	33%	1/10	40.600	-1%	-	48.300	7%	1/2

Nu de conditionele kansen bekend zijn, kan met behulp van de frequentieoverschrijdingslijnen (Figuur 4-7 en Figuur 4-8) een normhoogte bij de conditionele kansen bepaald worden. Een waterstand die bij de compartimenteringsdijk eens in de 1.000.000 jaar voorkomt wordt gelijk verondersteld aan de kans op een bres in de primaire kering (gegeven een kans van 1:10.000 jaar) vermenigvuldigd met een conditionele kans van 1:100 dat de betreffende waterstand bij de compartimenteringsdijk gehaald wordt. Dus in 1 van de 100 gevallen dat de primaire kering doorbreekt kan deze waterstand voorkomen. Figuur 5-1 en Figuur 5-2 zijn volgens deze methodiek samengesteld. Nu de conditionele kansen in Tabel 5-1 bepaald zijn, kunnen de normhoogtes uit de grafieken afgelezen worden.



Figuur 5-1: Kans-waterstand relatie, gegeven een bres in de primaire kering bij Callantsoog



Figuur 5-2: Kans-waterstand relatie gegeven een bres in de primaire kering bij Grootte Keeten

Een conditionele kans van 1/10 aan de Callantssoog zijde geeft een hoogte van 2,8 m NAP plus extra hoogte voor opwaaing en golfoploop.

Aangezien er geen conditionele kans aan de Grootte Keeten zijde kan worden bepaald, gezien de negatieve risicoafname, kan ook geen normhoogte bepaald worden.

Wanneer naar de optelsom van beide zijden wordt gekeken, dan levert de conditionele kans van 1/2 de hoogste waterstand op in de kans-waterstand relatie van Callantssoog: 2,1 m +NAP. De normhoogte wordt dan 2,1 m NAP plus extra hoogte voor opwaaing en golfoploop.

De huidige hoogte van de Noordschinkeldijk is overal hoger dan 2,65 m+NAP.

5.2 Normering compartimenteringsdijk op basis van kosten en baten

Uitgaande van de huidige situatie (bezwijken bij overstromen) wordt duidelijk dat de berekende kosten en baten uit paragraaf 4.4 geen positief resultaat opleveren (Tabel 5-2). De kosten van het verhogen of verwijderen van de Noordschinkeldijk overtreffen veruit de baten. In het scenario 'geen kering' zijn de baten zelfs negatief.

Gezien het grote verschil tussen de kosten en de baten wordt niet verwacht dat bij een geringere ophoging of afgraving een positief resultaat kan ontstaan. Op basis van deze getallen kan aangenomen worden dat het handhaven van de huidige situatie het beste is en dat deze genormeerd dient te worden.

Tabel 5-2: Kosten en baten ten opzichte van huidige kering, bezwijken bij overstromen

	NCW Kosten [€]	NCW Baten [€]	NCW Resultaat [€]
Geen kering	2.500.000	- 50.400	-2.550.400
Verhoogde kering	3.500.000	18.900	-3.481.100



6 Discussie

6.1 Evaluatie normeringmethode leidraad

Het volgen van het stappenplan is goed uitvoerbaar. Er moeten echter veel hydrodynamische berekeningen worden uitgevoerd (32).

De keringen om een compartiment hebben invloed op elkaar. Wanneer een beschouwde secundaire kering onderdeel uitmaakt van een dijkkring, ligt het voor de hand om niet alleen deze secundaire kering als de compartimenteringsdijk te beschouwen, maar de gehele dijkkring. Een dijkkringbenadering wordt voorgesteld.

6.2 Evaluatie normering

6.2.1 Normering op basis van conditionele kans

Het is onduidelijk waarom de gedefinieerde conditionele kansen bij een bepaalde schadeafname horen (grondslag van de norm is onduidelijk of niet aanwezig). De kosten/baten analyse geven hetzelfde resultaat als de normering op basis van conditionele kans; handhaven van de huidige situatie als beste optie. In deze case lijken de gedefinieerde conditionele kansen bruikbaar te zijn.

6.2.2 Normering op basis van kosten/baten

Ondanks het feit dat de risicoafnames (baten) en de dijkverhoging en dijkafgraving (kosten) erg grof bepaald worden, geeft de kosten/baten analyse een goed beeld van de ordegrote van het effect van een bepaalde ingreep. In het geval van de Noordschinkeldijk zijn de voorkomen risico's (veel) te laag om de kosten van dijkverhoging of verlaging goed te maken. De verwachting is daarom dat, als een huidige compartimenteringsdijk als uitgangspunt wordt genomen, het vaak voorkomt dat het handhaven van de huidige situatie de beste optie is.

Als ophogen of verlagen effect heeft, is het mogelijk om de optimale hoogte te bepalen. Stapsgewijs moet de schade en het risico worden doorgerekend voor verschillende dijkhoogten. Daarna moeten de kosten voor de betreffende ingreep worden bepaald. Dit levert veel rekenwerk op.

6.3 Beschouwing aan de hand van deze case

Aangezien de Noordschinkeldijk het laagste gedeelte is in een dijk/duinring rond Callantsoog vormt het in eerste plaats een geschikt kunstwerk waarmee regulering van risico's mogelijk zijn. Het aantal compartimenteringskeringen in Noord Holland is relatief gering, in verzeleken met bijvoorbeeld gebieden in Zeeland. Dit maakt de dynamiek van het volstromen van compartimenten en het overstromen naar andere compartimenten relatief overzichtelijk.

De gedefinieerde bressen geven helaas een onzekerheid aangezien er beperkte data beschikbaar is over het gedrag van bresgroei in duinen. Daarnaast wordt gerekend met veel factoren die onzekerheden bevatten.

Gegeven deze kantekeningen lijkt het overstroombaar maken van de huidige Noordschinkeldijk de beste optie te zijn. Het risico op basis van de schade is het laagst terwijl het slachtofferisico niet significant verschilt van de andere scenario's. In de methode zijn geen kosten opgenomen voor het overstroombaar maken van de Noordschinkeldijk, dit moet nader beschouwd worden. Wanneer kosten gemaakt moeten worden aan een



secundaire kering is het van belang om ook het geval in beschouwing te nemen waarin deze kosten in de primaire kering zouden worden gestoken.

Concluderend kan gezegd worden dat de leidraad over het algemeen goed toepasbaar is op deze case en dat het leidt tot bruikbare resultaten.



Literatuurlijst

STOWA, *Leidraad normering compartimenteringsdijken, eerste aanzet*

Dedel C.P.A (2003), *Overstromings- en risicoanalyse van een duindoorkraak in de Kop van Noord-Holland*, Delft: Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele techniek en Geowetenschappen Sectie Watermanagement

Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al (2001), *Hydraulisch randvoorwaarden 2001*, Delft: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouwkunde (DWW), Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ), Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)

Rijkswaterstaat en Dienst Weg en Waterbouwkunde (DWW), *Decimeringshoogte per dijkringgebied t.b.v het prioriteringsinstrument*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004), *De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland, Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV)*



I Berekening schaderisico

Tabel 6-1: Schaderisico en slachtofferisico bij doorbraak Callantsoog

Case	Kans [/jaar]	Kans bijdrage [/jaar]	Schade [xmilj euro]	Slacht offers	Schade risico [€/jaar]	Slachtoffer risico [n/jaar]	Schaderisico per scenario [€/jaar]	Slachtoffer risico per scenario [n/jaar]
Sc1: Huidige situatie zonder doorbraak N- dijk	0.000100	0.000078	72.3	28	5661	0.0022		
	0.000022	0.000017	89.6	47	1521	0.0008		
	0.000005	0.000004	120.8	70	455	0.0003		
	0.000001	0.000001	207.4	112	207	0.0001	7844	0.0034
Sc2: Huidige situatie met doorbraak N- dijk	0.000100	0.000078	72.3	28	5660	0.0022		
	0.000022	0.000017	89.6	48	1521	0.0008		
	0.000005	0.000004	269.3	63	1013	0.0002		
	0.000001	0.000001	404.0	83	404	0.0001	8598	0.0033
Sc3: Zonder N- dijk	0.000100	0.000078	91.7	29	7179	0.0023		
	0.000022	0.000017	171.9	45	2918	0.0008		
	0.000005	0.000004	289.8	60	1090	0.0002		
	0.000001	0.000001	394.4	78	394	0.0001	11583	0.0033
Sc4: Oneindig hoge N-dijk	0.000100	0.000078	72.1	28	5645	0.0022		
	0.000022	0.000017	89.3	47	1517	0.0008		
	0.000005	0.000004	106.5	88	401	0.0003		
	0.000001	0.000001	135.9	235	136	0.0002	7699	0.0036



Tabel 6-2: Schaderisico en slachtofferisico bij doorbraak Groote Keeten

Case	Kans [jaar]	Kans bijdrage [jaar]	Schade [xmilj euro]	Slacht offers	Schade risico [€/jaar]	Slachtoffer risico [n/jaar]	Schaderisico per scenario [€/jaar]	Slachtoffer risico per scenario [n/jaar]
Sc1: Huidige situatie zonder doorbraak N-dijk	0.000100	0.000078	353.1	9	27634	0.0007		
	0.000022	0.000017	537.3	50	9122	0.0008		
	0.000005	0.000004	829.7	134	3121	0.0005		
	0.000001	0.000001	1199.2	250	1199	0.0003	41077	0.0023
Sc2: Huidige situatie met doorbraak N-dijk	0.000100	0.000078	353.1	9	27637	0.0007		
	0.000022	0.000017	538.7	50	9145	0.0008		
	0.000005	0.000004	776.0	124	2919	0.0005		
	0.000001	0.000001	1110.6	220	1111	0.0002	40812	0.0022
Sc3: Zonder N-dijk	0.000100	0.000078	355.8	13	27843	0.0010		
	0.000022	0.000017	502.4	33	8529	0.0006		
	0.000005	0.000004	728.3	117	2740	0.0004		
	0.000001	0.000001	1088.4	241	1088	0.0002	40200	0.0023
Sc4: Oneindig hoge N-dijk	0.000100	0.000078	350.3	9	27411	0.0007		
	0.000022	0.000017	527.7	47	8959	0.0008		
	0.000005	0.000004	813.3	134	3059	0.0005		
	0.000001	0.000001	1209.7	261	1210	0.0003	40639	0.0023

COLOFON

Uitgave: STOWA, Utrecht 2007

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

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

STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

PROJECTUITVOERING

Ir. B. Kolen (HKV [LIJN IN WATER](#))

Dr. C.P.M. Geerse (HKV [LIJN IN WATER](#))

Dr. Ir. J.W. Stijnen (HKV [LIJN IN WATER](#))

Dr. Ir. M. Kok (HKV [LIJN IN WATER](#))

FOTO'S BESCHIKBAAR GESTELD

Drs. D.J.F. Lagendijk (provincie Zeeland)

H.N. van Hemert (STOWA)

GRAFISCHE VERZORGING

Dratex, Lelystad

De druk van deze Richtlijn is mogelijk gemaakt dankzij een financiële bijdrage van de provincies Zeeland, Zuid – en Noord – Holland

rapportnummer ORK 2007-03

ISBN 978.5773.408.3

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:

Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,

TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl

onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

