

Opdrachtgever:

RIVM

Overstromingsrisico dijkringen in Nederland

betoglijn en deskundigenoordeel

Frans Klijn, Hanneke van der Klis, Jan Stijnen, Karin de Bruijn, Matthijs Kok

Rapport

April 2004



Inhoud

Samenvatting

1	Inleiding	1—1
1.1	Achtergrond.....	1—1
1.2	Vraagstelling.....	1—1
1.3	Doelstelling	1—1
1.4	Uitgangspunten en aannames.....	1—2
1.5	Aanpak op hoofdlijnen en leeswijzer	1—3
1.6	Uitvoering.....	1—4
2	Overstromingskansen	2—1
2.1	Inleiding.....	2—1
2.1.1	Van overschrijdingkans naar overstromingskans.....	2—3
2.1.2	Aanpak voor het schatten van overstromingskansen.....	2—3
2.1.3	Fysisch maximum aan het gevaar?.....	2—4
2.1.4	Systeemwerking.....	2—5
2.2	Methode 1: redeneren en schatten	2—6
2.2.1	Redenering op hoofdlijnen	2—6
2.2.2	Bovenrivierengebied.....	2—7
2.2.3	Benedenrivierengebied	2—10
2.2.4	Kust	2—12
2.2.5	Meren	2—16
2.2.6	Conclusie op basis van redenering	2—17
2.3	Methode 2: eerdere kansberekeningen en extrapolatie naar andere dijkringen.....	2—19
2.3.1	Beschikbaar materiaal.....	2—19

2.3.2	Algemene aannames	2—19
2.3.3	Vier dijkringen: resultaten uit het TAW-rapport	2—20
2.3.4	Bovenrivierengebied: de verkennende beleidsanalyse	2—22
2.3.5	Vaststellen bandbreedtes	2—25
2.3.6	Overzicht berekende overstromingskansen en bandbreedtes ...	2—27
2.3.7	Extrapolatie naar andere dijkringen	2—28
2.4	Confrontatie uitkomsten en eindoordeel.....	2—28
2.4.1	Vergelijking uitkomsten methoden 1 en 2.....	2—28
2.4.2	Invloed systeemwerking	2—29
2.4.3	Eindoordeel	2—30
2.4.4	Defaults?	2—30
2.4.5	Doorkijk ‘situatie op orde’, <i>casu quo</i> toekomstige situatie	2—32
2.5	Discussie.....	2—34
2.5.1	Overstromingskansen: opvallende uitkomsten	2—34
2.5.2	Gelijktijdige overstroming van meer dan één dijkkring	2—34
2.5.3	Onzekerheden	2—35
3	Overstromingsverloop.....	3—1
3.1	Inleiding.....	3—1
3.2	Wat bepaalt het overstromingsverloop?.....	3—1
3.3	Uitwerking invloedsfactoren.....	3—2
4	Economische schade.....	4—1
4.1	Aanpak.....	4—1
4.2	Categorieën overstromingsschade	4—1
4.3	Factoren die de schade beïnvloeden	4—2
4.4	Schadeberekening in de standaardmethode.....	4—3
4.5	Factoren die wel/ niet zijn verdisconteerd	4—4

4.5.2	Resultaten.....	4—6
5	Slachtoffers.....	5—1
5.1	Inleiding.....	5—1
5.1.1	Bepaling aantal slachtoffers volgens standaardmethode	5—1
5.1.2	Eerder onderzoek naar bepaling van aantallen slachtoffers.....	5—1
5.2	Aanpak.....	5—2
5.2.1	Evacuatie.....	5—2
5.2.2	Overstromingsverloop	5—4
5.2.3	Effecten van hoogbouw	5—5
5.3	Schatting aantal slachtoffers per dijkkring	5—5
5.3.1	Het aantal inwoners per dijkkring (hoogbouw/ laagbouw)	5—6
5.3.2	Aantal slachtoffers per diepteklasse	5—8
5.3.3	Invloed overstromingsverloop op aantal slachtoffers	5—10
5.4	Samenvatting en eindresultaten voor slachtoffers.....	5—13
5.5	Discussie.....	5—13
6	Conclusies en reflectie op overstromingsrisico	6—1
6.1	Algemeen.....	6—1
6.2	Overstromingskansen.....	6—2
6.3	Overstromingsverloop.....	6—3
6.4	Schade.....	6—3
6.5	Aantallen slachtoffers.....	6—3
7	Literatuur	7—1

Bijlagen

A	Kansentabel.....	A-1
B	Logboek van het bepalen van de correctie op de schades van DWW (2003). ..	B-1
C	Schades per dijkkring.....	C-1
D	Correctie op het aantal slachtoffers door overstromingssimulaties	D-1
E	Slachtoffers per dijkkring.....	E-1

Samenvatting

Over het onderzoek

Het Milieu- en Natuur Planbureau van het RIVM werkt op dit moment aan een evaluatie van het Nederlandse beleid inzake de veiligheid tegen overstromen. In het kader van deze evaluatie heeft het RIVM aan WL | Delft Hydraulics gevraagd in samenwerking met HKV LIJN IN WATER de vraag te beantwoorden hoe groot het overstromingsrisico in Nederland is, zowel op economische schade als op slachtoffers.

De hoofdvraag van het onderzoek was:

welk risico van overstromingen bestaat op dit moment, dat wil zeggen zonder dat de maatregelen waarvan de uitvoering nu wordt voorbereid (Ruimte voor Rivieren, noodoverloopgebieden, versterking zwakke plekken kust) zijn geïmplementeerd?

De hoofddoelstellingen waren het verkrijgen van een goede indruk van de overstromingsrisico's voor zoveel mogelijk dijkringen in een vorm die vergelijking mogelijk maakt met andere veiligheidsvraagstukken, en het geven van een beeld van de ruimtelijke differentiatie in overstromingsrisico's over geheel Nederland.

De onderzoeksvraag moest in korte tijd worden beantwoord (circa 6 weken) met gebruikmaking van alleen openbare, bij voorkeur gepubliceerde, informatie. Bij de beantwoording stond de lijn van het betoog om overstromingskansen en -risico's te beredeneren/ berekenen centraal, aangezien de tijd en de gegevens ontbraken om een gedegen en volledige berekening voor alle dijkringen te kunnen doen. Daarom is bijzondere aandacht besteed aan de vele aannames die noodzakelijkerwijze moesten worden gedaan, en aan de consequenties van die aannames (met name wat betreft betrouwbaarheid van het eindresultaat).

Algemene uitgangspunten, beoordeelde situatie

In het onderzoek spreken we pas van een overstroming als er een bres in een waterkering ontstaat (bijvoorbeeld door overloop of doordat een kunstwerk het begeeft) en/of er over een grote lengte zulke grote hoeveelheden water over een kering lopen dat de instroom niet kan worden gestopt met noodmaatregelen (bijvoorbeeld met zandzakken) – kortom, als er sprake is van een onbeheerste overstroming.

Het overstromingsrisico is geschat voor de huidige situatie, dat wil zeggen *zonder* dat de maatregelen in het kader van Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd (in voorbereiding), *zonder* versterking van de zwakke dijk- en duinvakken langs de kust (in uitvoering), en *zonder* noodoverloopgebieden (in discussie). Er is echter wel aangenomen dat de zwakke schakels in de dijkringen – die op dit moment in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) worden geïdentificeerd – zijn aangepakt. En er is uitgegaan van de huidige hydraulische randvoorwaarden volgens het Randvoorwaardenboek 2001.

Aanpak en nauwkeurigheid schattingen

Er is een ruwe schatting gevraagd van de overstromingsrisico's per dijkkring. Meer dan een ruwe schatting is ook niet mogelijk op basis van de beschikbare informatie, die beperkt is en omgeven met onzekerheden.

Het rapport geeft dan ook vooral een *betooglijn* weer om overstromingsrisico's te bepalen. Daarenboven is per dijkkringgebied de *kans* op overstroming geschat, alsmede de economische *schade* en het aantal *slachtoffers* van overstroming. De eindoordeelen worden gegeven in orden van grootte en bandbreedtes.

Met de gegeven kansen en gevolgen kan worden gekomen tot een schatting van het risico door de kansen en de gevolgen te vermenigvuldigen of ze ten opzichte van elkaar in een grafiek uit te zetten. Dat kan voor de economische schade, waaruit een gemiddelde jaarlijkse schade resulteert. Het kan ook voor de aantallen slachtoffers, waaruit een verwachtingswaarde voor slachtoffers resulteert. Daarbij is relevant dat het zeer onwaarschijnlijk is dat alle dijkringen tegelijk worden getroffen, maar bij historische overstromingsrampen (1926 rivierengebied, 1953 kust) bleef het nooit beperkt tot één dijkkring.

Omdat voor zowel de overstromingskansen als de schades en/of slachtoffers bandbreedtes zijn gegeven, kan een 'gebied' worden aangegeven waarbinnen het risico zich bevindt.

Overstromingskansen

De *kans* op een overstroming is op twee manieren bepaald: via redenering (methode 1) en door resultaten van eerdere kansberekeningen te herzien met aangepaste randvoorwaarden (methode 2). In gepubliceerd materiaal is slechts voor een beperkt aantal dijkkringgebieden informatie te vinden over de kans op een overstroming; het betreft vooral dijkringen langs de Rijntakken en de Maas. De resultaten van beide methoden zijn vergeleken en daarop berust een eindoordeel. Voor dijkringen waarover onvoldoende gegevens beschikbaar waren zijn *default*-waarden gegeven. Dit is gerapporteerd in Hoofdstuk 2. De resultaten zijn samengevat in bijlage A.

Omdat de geschatte kans op overstroming afhangt van een groot aantal aannames betreffende (onzekerheden in) de hydraulische belasting en de sterkte van de waterkering is er ook een schatting gemaakt van een 'ondergrens' en een 'bovengrens'. We achten het onwaarschijnlijk dat de werkelijke overstromingskans zich buiten deze twee grenzen bevindt.

De ondergrens en de bovengrens van de overstromingskansen liggen veelal een factor 10 uit elkaar en maximaal een factor 50. Deze grote bandbreedte hangt samen met de beperkte beschikbaarheid van gegevens en de korte looptijd van het onderzoek. Indien gewerkt kan worden met goede gegevens, zoals in het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart, zullen de bandbreedtes versmald kunnen worden. Daar staat tegenover dat sommige onzekerheden nu eenmaal inherente onzekerheden zijn – bijv. de maatgevende afvoer, of de golfbelasting op de kust – die berusten op een onvermijdelijk beperkte reeks meetgegevens en extrapolatie ver buiten het gemeten bereik.

De kans op overschrijding van de maatgevende omstandigheden kan worden berekend, maar is omgeven met onzekerheden; de extra hoeveelheid overloop/overslag bij bovenmaatgevende omstandigheden kan ook worden berekend, maar ook daarbij is sprake van onzekerheden. Wat een overmatige overslag betekent voor de kans dat de kering het begeeft blijft het meest ongewis, omdat met name de (rest)sterkte van keringen bij overbelasting onvoldoende bekend is. Misschien blijven ze wel intact, ook al loopt het water er met tientallen liters /m/s overheen, met name bij de zeekeringen. De sterkte van de dijken langs de bovenrivieren is vermoedelijk veel kleiner.

De overstromingskans bleek in een aantal gevallen – vooral in het rivierengebied – groter te zijn dan de ontwerpnorm voor overschrijding van maatgevende omstandigheden zoals genoemd in de Wet op de Waterkering, maar soms was deze ook – tot een orde – kleiner.

Dat de berekende kansen op overloop/overslag in het rivierengebied vaak groter zijn dan de norm voor overschrijding van de maatgevende omstandigheden, kan voor het grootste deel worden toegeschreven aan het feit dat de maatgevende afvoer recentelijk is verhoogd, terwijl de waterkeringen, c.q. de riviergeometrie, daarop nog niet zijn aangepast.

De (aangenomen) fysisch maximale afvoer op de Rijn heeft grote invloed op de geschatte kansen op overstroming, omdat veel rivierdijken in het bovenrivierengebied hoger zijn dan de vermoedelijke waterstand bij de fysisch maximale afvoer. De overstromingskans kan tot een factor 10 kleiner zijn dan wanneer geen fysisch maximum wordt aangenomen.

Overstromingsverloop

Simulaties van het verloop van overstromingen wijzen uit dat *grote* dijkringen, zoals Centraal-Holland, Noord-Holland of Friesland-Groningen, slechts voor een deel onderlopen en dat de waterdiepten in grote delen vaak ook nog beperkt blijven. Dat blijkt nu al het geval te zijn, zelfs bij het ontbreken van speciaal daartoe aangelegde compartimenteringsdijken.

Deze bevinding heeft grote implicaties voor het aantal slachtoffers en de waarschijnlijke overstromingsschade, die bij realistische overstromingssimulaties veel lager uitvallen dan men zou verwachten op grond van de bevolkingsomvang en de potentiële schade in deze dijkringen indien ze volledig zouden worden gevuld tot de laagste dijkhoogte, zoals berekend door DWW. In *kleine* dijkringen is de waarschijnlijke schade daarentegen (vrijwel) gelijk aan de maximale.

Schade

De economische *schades* zijn afgeleid uit de waarden die zijn berekend met de standaardschademodule van het hoogwaterinformatiesysteem (HIS-SSM) door de DWW, waarbij boven- en ondergrenzen zijn vastgesteld op basis van beschikbare overstromingssimulaties. De werkwijze wordt besproken in hoofdstuk 4.

De door de DWW beschikbaar gestelde gegevens leveren een bovengrens op voor de economische schade. Er zijn vervolgens ‘reductiefactoren’ voor onder meer areaal en waterdiepte gebruikt om een reëlere schatting te verkrijgen van de economische schade.

De schattingen van de schade bedragen voor relatief kleine dijkkringgebieden enkele miljarden euro's en voor het grootste dijkkringgebied circa 200 miljard euro. De resultaten zijn samengevat in bijlage C.

Aantallen slachtoffers

De aantallen slachtoffers (eveneens boven- en ondergrenzen) zijn berekend met gebruikmaking van de rekenregels van de herziene slachtoffermodule van het hoogwaterinformatiesysteem (HIS-SSM). De werkwijze en uitkomsten worden besproken in hoofdstuk 5.

Met deze methode is een hoge en lage schatting gemaakt van het aantal slachtoffers. Verschillen tussen beide worden vooral veroorzaakt door de aannames betreffende preventieve evacuatie, waarvoor de uitkomsten (ondergrens) zeer gevoelig zijn.

De bovengrens en ondergrens van het aantal slachtoffers verschillen gemiddeld een factor 10. Het aantal slachtoffers varieert overeenkomstig van circa 0,2 - 2 % van het aantal getroffen. De resultaten zijn samengevat in bijlage E.

Algemene bevindingen

In dit onderzoek bleek de kans op een overstroming moeilijker vast te stellen dan de waarschijnlijke gevolgen. Daar staat tegenover dat de gevolgen van een overstroming weer volledig afhankelijk zijn van de plaats en de ontwikkeling van een bres in de waterkering, en dus van waar inzake de overstromingskans naar wordt gekeken.

Dat de kans op een overstroming moeilijker vast te stellen bleek, is vooral het gevolg van het ontbreken van de benodigde gegevens. Die zouden bij voorkeur op uniforme wijze op een centrale plaats beschikbaar moeten zijn. Daaraan wordt in het kader van het VNK-project gewerkt, maar op dit moment is er geen sprake van zo'n centraal en makkelijk toegankelijk gegevensbestand.

Het bovenstaande leidt tot de conclusie – die op zich niet nieuw is – dat alleen voor *concrete overstromingsscenario's* de bijbehorende schades en slachtoffers goed kunnen worden geschat. Voor een uitspraak over gehele dijkringen moeten dan alle relevante scenario's worden bekeken, omdat een gebeurtenis met een relatief grote kans soms kleine gevolgen heeft en een zeldzamer gebeurtenis soms grote gevolgen.

Over de toepasbaarheid van de resultaten

De beperkte tijd en de werkwijze betekenen dat sprake is geweest van een zeer globale benadering. De resultaten – met name de getalswaarden – moeten dan ook in dat licht worden gezien: ze zijn gebaseerd op alleen de direct beschikbare gegevens en bijgevolg omgeven met grote onzekerheden. Ze mogen *alleen gebruikt worden in grofstoffelijke vergelijkingen* met andere risicodomeinen.

I Inleiding

I.1 Achtergrond

Het Milieu- en Natuur Planbureau van het RIVM werkt op dit moment aan een evaluatie van het Nederlandse beleid inzake de veiligheid tegen overstromen. In het kader van deze evaluatie zal onder meer een vergelijking worden gemaakt tussen het overstromingsrisico en de risico's van andere (externe) veiligheidsdomeinen in de samenleving. Hierbij spelen drie vragen:

1. hoe groot is het overstromingsrisico in Nederland?
2. welk risico is acceptabel uitgaande van een kosten-baten analyse (economische beschouwing)? en
3. hoe groot zou het risico mogen zijn als de maatschappelijke acceptatie van overlijdensrisico (het externe veiligheidsdenken) wordt meegenomen?

De beantwoording van deze vragen dient om de veiligheid tegen overstromen in perspectief te plaatsen ten opzichte van andere (externe) veiligheidsvraagstukken in de samenleving. Hiertoe moet het overstromingsrisico worden uitgedrukt in kentallen die de vergelijking met andere veiligheidsdomeinen mogelijk maakt.

RIVM heeft WL | Delft Hydraulics gevraagd in samenwerking met HKV LIJN IN WATER vraag 1 te beantwoorden met gebruikmaking van alleen openbare, bij voorkeur gepubliceerde, informatie.

I.2 Vraagstelling

De hoofdvraag is welk risico van overstromingen bestaat op dit moment, dat wil zeggen zonder dat de maatregelen waarvan de uitvoering nu wordt voorbereid (Ruimte voor Rivieren, noodoverloopgebieden, versterking zwakke plekken kust) zijn geïmplementeerd.

Het begrip overstromingsrisico wordt hier in een tweeledige betekenis gebruikt, aangezien twee sterk verschillende gevolgen relevant kunnen zijn, nl. dodelijke slachtoffers respectievelijk economische schade van overstromingen. De vraag heeft dan ook betrekking op het risico op overlijden en het economisch risico van overstromingen.

I.3 Doelstelling

Hoofddoelen zijn:

- een goede indruk te verkrijgen van de overstromingsrisico's voor zoveel mogelijk (in principe: alle) dijkringen in een vorm die vergelijking mogelijk maakt met andere veiligheidsvraagstukken; en

- een goed beeld te geven van de ruimtelijke differentiatie in overstromingsrisico's over alle dijkringen in Nederland.

Hierbij staat de lijn van het betoog om overstromingskansen en –risico's te beredeneren / berekenen centraal, aangezien de benodigde tijd en gegevens ontbraken om een gedegen en volledige berekening voor alle dijkringen te kunnen doen. Daarom is bijzondere aandacht besteed aan de vele aannames die noodzakelijkerwijze moesten worden gedaan, en aan de consequenties van die aannames (met name wat betreft betrouwbaarheid van het eindresultaat).

I.4 Uitgangspunten en aannames

Definitie overstroming

Wanneer is er sprake van een overstroming? Niet als er kniediep water staat in een beekdal of polder; en ook niet als er wat water over een dijk loopt of door een persleiding. We spreken van een overstroming als er een bres in een waterkering ontstaat (bijvoorbeeld door overloop of doordat een kunstwerk het begeeft) en/of er over een grote lengte zulke grote hoeveelheden water over een kering lopen dat de instroom niet kan worden gestopt met noodmaatregelen (bijvoorbeeld met zandzakken) – kortom, als er sprake is van een onbeheerste overstroming. Dat betekent dat bijvoorbeeld lekkage van een klepduiker of sluisdeur, zonder dat er wezenlijk gevaar dreigt op een onbeheersbare situatie zolang adequaat wordt ingegrepen, niet wordt meegenomen.

De beoordeelde situatie

Op verzoek van de opdrachtgever wordt het overstromingsrisico geschat voor de huidige situatie:

- *zonder* dat de maatregelen in het kader van Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd (in voorbereiding);
- *zonder* versterking van de zwakke dijk- en duinvakken langs de kust (in uitvoering);
- *zonder* noodoverloopgebieden (in discussie).

Daarbij is echter wel aangenomen dat de zwakke schakels in de dijkringen – die op dit moment in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) worden geïdentificeerd – zijn aangepakt en geen aanleiding geven tot het ernstig falen van de waterkering, en tevens dat de steenzettingen langs de kust, de deltawateren en het IJsselmeer zijn versterkt en daar geen bres zal ontstaan door het wegslaan van de bekleding.

Ten aanzien van het klimaat nemen we aan dat dit niet zo snel zal veranderen dat het aanleiding geeft tot gewijzigde randvoorwaarden, hetzij in termen van een hogere gemiddelde zeestand, hetzij in termen van een hogere maatgevende rivierafvoer. Ofwel: we gaan uit van de huidige randvoorwaarden: het Randvoorwaardenboek 2001 (HR2001; DWW et al., 2001). Wel is verkend wat de – door velen gedeelde – nieuwe inzichten over de golfbelasting op de kust (TAW, 2002) betekenen.

Maar er is geen aandacht besteed aan zich voortdurend vernieuwende inzichten bij de Specialistische Diensten van Rijkswaterstaat (bijv. Hydra-project met KNMI, hydraulische belasting benedenrivierengebied, e.d.).

In principe zijn waterkeringen zodanig ontworpen dat de kans op een overstroming door overloop of golfloop en -overslag bepalend is, en de kans op een overstroming door andere faalmechanismen daarvan slechts een fractie. Van sommige locaties is echter bekend dat de dijk niet voldoet aan de huidige opvattingen over voldoende sterkte. Aangezien in de literatuur echter geen uitspraken worden gedaan over wat dat betekent voor de kans dat de dijk het daar begeeft, kunnen we de kans daarop alleen schatten op basis van het (niet gepubliceerde) oordeel van specialisten. Tegen deze achtergrond concentreren we ons hoofdzakelijk op de kans op overstroming door overloop en overslag, waarbij we aannemen dat de sterkte van de waterkeringen voldoet tot de normen ten aanzien van overloop/overslag (HR2001 en nieuwe golfbrandvoorwaarden).

Informatiebronnen

Het betoog voeren we op grond van reeds beschikbare en gepubliceerde informatie. Het oordeel over die informatie berust op kennis van specialisten van WL en HKV.

Soms wordt deze informatie aangevuld met schattingen van specialisten, wat in dat geval uitdrukkelijk bij de betreffende gegevens vermeld staat.

Nauwkeurigheid schattingen

Er is een ruwe schatting gevraagd van de overstromingsrisico's per dijkkring in de huidige situatie, zonder details, maar met een duidelijke onderbouwing. Meer dan een ruwe schatting is ook niet mogelijk op basis van de beschikbare informatie, die beperkt en vaak erg onzeker is.

Het eindoordeel wordt dan ook gegeven in termen van ordes van grootte en betrouwbaarheidsintervallen.

1.5 Aanpak op hoofdlijnen en leeswijzer

Het onderzoek is uitgevoerd in korte tijd (circa 6 weken), op basis van uitsluitend gepubliceerde gegevens en zonder modelberekeningen uit te voeren. Wel zijn spreadsheetberekeningen uitgevoerd.

De kans op een overstroming is op twee manieren bepaald: via redenering (methode 1) en door resultaten van eerdere kansberekeningen te herzien met aangepaste randvoorwaarden (methode 2). Dit is gerapporteerd in Hoofdstuk 2.

De economische schades zijn afgeleid uit gegevens van DWW (Holterman et al., 2003), waarbij boven- en ondergrenzen zijn vastgesteld met gebruikmaking van beschikbare overstromingssimulaties. De schades zijn gerapporteerd in hoofdstuk 4, nadat eerst de betekenis van kennis over het overstromingsverloop is behandeld in hoofdstuk 3.

De aantallen slachtoffers (eveneens boven- en ondergrenzen) zijn berekend met gebruikmaking van de rekenregels van de herziene slachtoffermodule van het hoogwaterinformatiesysteem (HIS-SSM). Ook voor de schatting van de aantallen slachtoffers is gekeken naar het overstromingsverloop (hoofdstuk 3). Over de mogelijke aantallen slachtoffers wordt gerapporteerd in hoofdstuk 5.

1.6 Uitvoering

Het project is uitgevoerd door medewerkers van WL | Delft Hydraulics en HKV LIJN IN WATER. Van WL-zijde waren betrokken:

- dr.ir. Hanneke van der Klis (hoofduitvoerder, kansen)
- ir. Karin. M. de Bruijn (overstromingsverloop & schades)
- dr. Frans Klijn (projectleiding)
- ir. Jos P.M. Dijkman (review en kwaliteitsborging)

Van HKV-zijde waren betrokken:

- dr.ir. Jan Stijnen (uitvoerder kansen extrapolatie en slachtoffers)
- dr. ir. Matthijs Kok (projectleiding en kwaliteitsborging deel HKV)

Voor het beantwoorden van specifieke vragen stonden paraat:

- dr.ir. Ferdinand Diermanse (randvoorwaarden en statistiek)
- dr.ir. Herman Gerritsen (kust en delta)
- ir. Mark Klein-Breteler (waterkeringen en steenzettingen)
- ir. Herman van der Most (beleidsanalyse, VNK)

Het onderzoek is begeleid door een klankbordgroep, waarin deskundigen van de Specialistische Diensten van Rijkswaterstaat en het RIVM zitting hadden. Deze deskundigen zaten op persoonlijke titel in de klankbordgroep vanwege hun deskundigheid op specifieke onderdelen of kennis van (overstromings)risico's in het algemeen. Ze dragen geen verantwoordelijkheid voor de in dit rapport weergegeven resultaten of meningen.

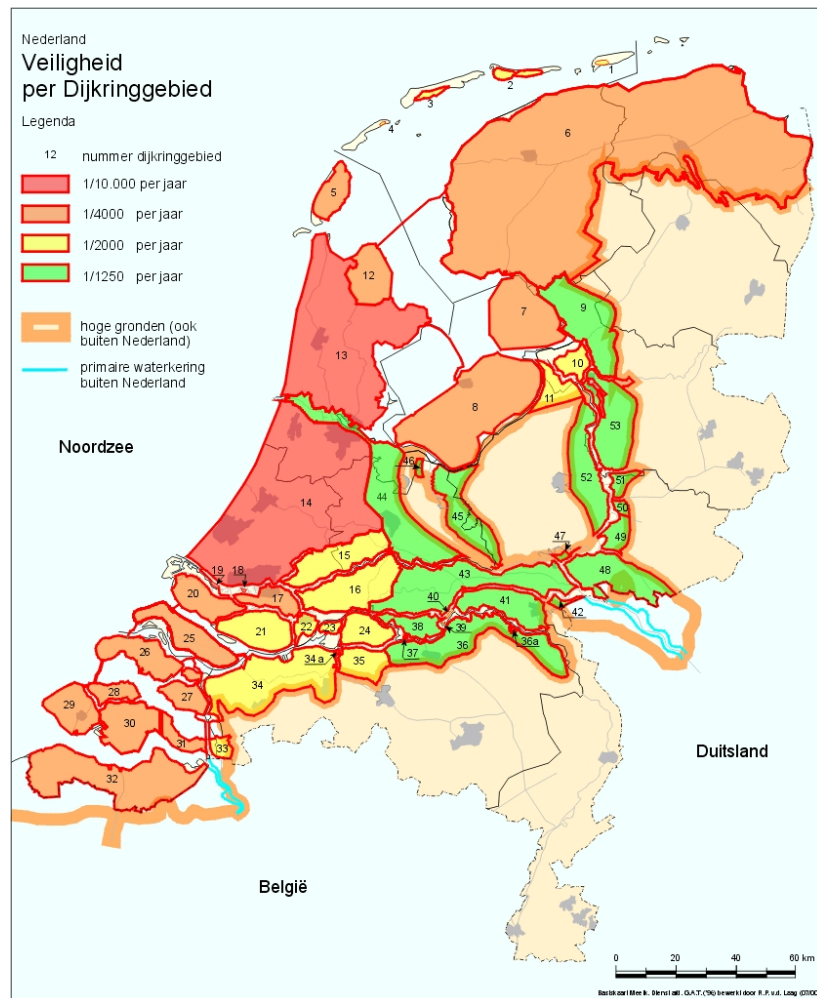
- ir. Bert A. Bannink, RIVM
- dr. Wilfried B.M. ten Brinke, RIVM
- ir. Martine Brinkhuis, RWS-DWW
- ir. Stephanie R. Holterman, RWS-DWW
- drs. Jarl M. Kind, RWS-RIZA
- ir. Kees van Luijk, RIVM
- dr. ir. Jos Post, RIVM
- ir. John G. de Ronde, RWS-RIKZ
- drs. Alex Roos, RWS-DWW
- ir. Wim Silva, RWS-RIZA
- ir. Robert Slomp, RWS-RIZA

De auteurs danken de leden van de klankbordgroep voor hun adviezen, de vele gegevens die – op een verzoek onzerzijds – onmiddellijk ter beschikking werden gesteld, hun meedenken, *et cetera*.

2 Overstromingskansen

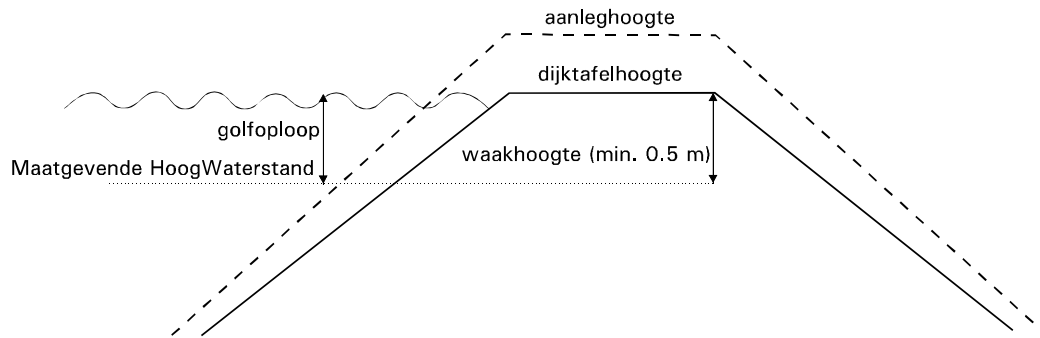
2.1 Inleiding

Conform de huidige veiligheidsbenadering inzake overstromingen worden dijken zo ontworpen dat deze veilig van te voren vastgestelde maatgevende omstandigheden (hier kortheidshalve aan te duiden als MO) kunnen keren. In het rivierengebied gaat het dan om maatgevende waterstanden (maatgevend hoogwater: MHW), langs de kust om een maatgevende storm met waterstandsopzet en golfhoogte, etc. Deze MO vormen de zogenaamde ontwerpcondities, waarvoor per dijkkringgebied een norm is vastgesteld in termen van een *overschrijdingskans*. Voor de Nederlandse dijkringen varieert die overschrijdingskans van 1/1250 tot 1/10.000 per jaar (Figuur 2-1).



Figuur 2-1: Overzicht van dijkringgebieden en normen voor overschrijding van maatgevende omstandigheden volgens de Wet op de Waterkering.

Een *overschrijdingskans* is dus niet hetzelfde als een *overstromingskans*. Als de ontwerpcondities worden overschreden, dan zal het gebied achter de dijken/duinen immers niet onmiddellijk overstromen. Er zijn namelijk extra veiligheidsmarges ingebouwd, zodat de dijken/duinen hoger en sterker zijn dan strikt noodzakelijk om precies de ontwerpomstandigheden te keren (TAW, 2000; Figuur 2-2). Zo wordt bijvoorbeeld in het bovenrivierengebied nog rekening gehouden met golfloop en de mogelijkheid een dijk bij hoogwater te inspecteren (TAW, 2000).



Figuur 2-2: Ontwerp van een rivierdijk.

De normen voor de maatgevende omstandigheden zijn voor dijkringgebied 14 (Centraal-Holland) afgeleid door de Deltacommissie (Van Dantzig, 1960). Op grond van de in de jaren '50 te beschermen belangen kwam men voor Centraal-Holland tot een economisch optimaal beschermingsniveau overeen komend met een overstromingskans van 1/125.000 per jaar. Centrale aanname in de beschouwing van de Deltacommissie was: *“Er is een ondubbelzinnig bepaald “kritiek peil”, dat is een peil zodanig, dat waterstanden te Hoek van Holland, die er beneden blijven, geen stormvloedschade in het beschouwde poldergebied veroorzaken, en waterstanden die het te boven gaan, wel. Indien het kritieke peil overschreden wordt, gaat de laaggelegen inhoud van de polder volledig verloren”* (Van Dantzig, 1960, par. 3.3). Impliciet worden hier overstromingskans en overschrijdingskans aan elkaar gelijk gesteld. De hier aangehaalde econometrische analyse is echter pas uitgevoerd nadat door regering en parlement een besluit was genomen over het Deltaplan, getuige het volgende citaat. *“Daar dus het Nederlandse volk bij monde van regering en parlement zijn beslissing heeft genomen, bestaat er in deze geen besliskundig probleem meer. Wij kunnen ons dus van de taak, onze in de voorafgaande hoofdstukken ontwikkelde theoretische beschouwingen en methoden op het Deltaplan zelve toe te passen, ontheven achten. Desondanks komt het ons zinvol voor, ook op grond van de in deze bijdrage gevolgde methoden, de economische aspecten van het Deltaplan nader te beschouwen”* (Van Dantzig, 1960, par. 8.1).

De norm voor de waterkeringen, gedefinieerd als een jaarlijkse overschrijdingskans van de maatgevende omstandigheden, is 1/10.000 voor Centraal-Holland. De stap van 1/125.000 naar 1/10.000 is in het rapport van de Deltacommissie niet verder onderbouwd. Het lijkt erop dat deze is ingegeven door de eis om snel te besluiten over het Deltaplan, en dat het besluit is genomen voordat de econometrische analyse was afgerond. Gelet op de destijds zeer onveilige situatie is dit niet onbegrijpelijk.

2.1.1 Van overschrijdingkans naar overstromingskans

In juni 2000 presenteerde de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen de studie ‘Van overschrijdingkans naar overstromingskans’ (TAW, 2000). Het centrale idee hierachter is dat een gehele dijkkring zo sterk is als de zwakste schakel (dijkvak, duin of kunstwerk). Deze benadering is ook al in de vijftiger jaren van de vorige eeuw voorgesteld door de Deltacommissie, maar destijds was het nog niet mogelijk om de overstromingskans van een gehele dijkkring voldoende nauwkeurig te berekenen.

De methode om overstromingskansen te berekenen onderscheidt zich door (TAW, 2000):

- De overstap van een dijkvak- naar een dijkkringbenadering – met niet alleen dijkvakken, maar ook kunstwerken en duinen;
- Het op een vergelijkbare (probabilistische) wijze rekening houden met andere faalmechanismen dan overloop/overslag;
- Het betrekken van alle onzekerheden in de berekening van de overstromingskans.

Inmiddels streeft het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) naar het berekenen van de overstromingskansen van alle Nederlandse dijkringen. Door de enorme gegevensbehoefte en de logistieke problemen die de verzameling van alle gegevens met zich meebrengt, komen de resultaten van dit project niet op korte termijn beschikbaar. Mede daarom is door het RIVM om het voor u liggende rapport gevraagd.

2.1.2 Aanpak voor het schatten van overstromingskansen

Om tot een zo goed mogelijke schatting van overstromingskansen te komen, worden twee methoden gevolgd:

1. een schatting op basis van redeneren (2.2); en
2. een schatting op basis van de resultaten van eerder uitgevoerde berekeningen en extrapolatie van de bevindingen naar andere dijkringen (2.3).

Vervolgens vergelijken we de resultaten van beide methoden met elkaar. Op basis daarvan wordt een eindoordeel gevormd over de overstromingskans per dijkkring en de bandbreedte/betrouwbaarheid van deze schattingen (2.4).

De waterkeringen langs de rivieren worden door een volstrekt andere oorzaak (hoge rivierafvoer) belast dan de waterkeringen aan zee (stormvloed) of langs het IJsselmeer. De maatgevende omstandigheden worden dus door andere oorzaken bepaald en ook de ontwerpen van de waterkeringen zijn duidelijk op een andere leest geschoeid. Daarom onderscheiden we vier verschillende invloedsgebieden:

- Bovenrivierengebied;
- Benedenrivierengebied;
- Kust- en estuariagebied; en
- Merengebied.

Voor dijkringen die vanuit verschillende invloedsgebieden belast worden (zoals Centraal-Holland) worden de overstromingskansen in eerste instantie voor ieder invloedsgebied afzonderlijk vastgesteld. Vervolgens wordt een oordeel voor de gehele dijkkring gevormd op basis van de kansen per invloedsgebied.

2.1.3 Fysisch maximum aan het gevaar?

In de huidige kansberekeningen wordt in het algemeen geen rekening gehouden met eventuele fysische maxima aan de bedreigingen van buitenaf. Voor de zee mag voor zover bekend niet worden uitgaan van een fysisch maximum voor stormvloedpeilen en golfhoogten, omdat er geen fysisch maximum is aan de windsnelheid en duur. Ook voor de meren wordt een fysisch maximum aan de maatgevende condities onwaarschijnlijk geacht, omdat dit vooral wordt bepaald door windsnelheden.

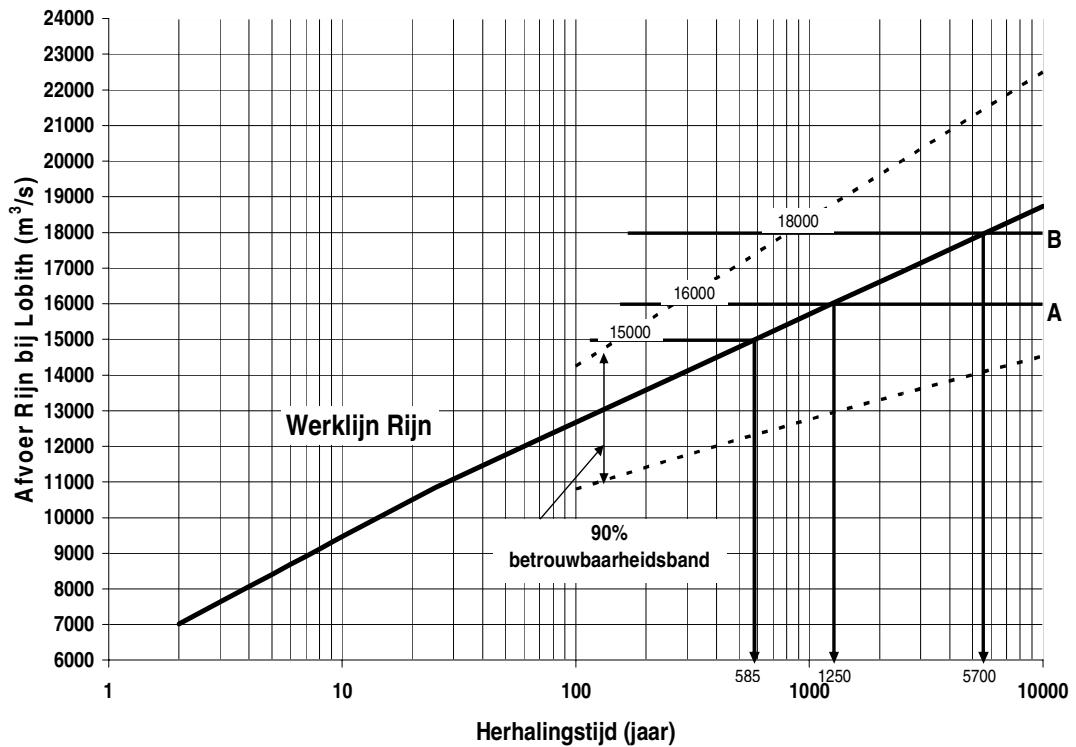
Dat ligt anders in het bovenriviereengebied. Er is wel degelijk sprake van een fysisch maximum aan de Rijnaafvoer die ons land – tussen de dijken – kan bereiken. Ook voor de Maas geldt dat er een fysisch maximum is aan de hoeveelheid water die het bedijkte deel van de Maas op Nederlands grondgebied kan bereiken. In beide gevallen wordt het fysisch maximum bepaald door, ten eerste, de hoogte van de dijken in het buitenland – als deze overlopen verlaat een deel van de afvoer de rivier – en, ten tweede, het bergingsvolume van het dan onderlopende gebied, waarin de top van de afvoergolf wordt geborgen.

In de gebruikelijke methoden van kansberekening wordt uitgegaan van werklijnen voor de afvoeren op de Rijn bij Lobith en op de Maas bij Borgharen die gebaseerd zijn op statistische extrapolatie van waargenomen piekafvoeren vanaf 1901 (Parmet et al., 2001a en 2001b). Deze afvoerstatistiek houdt echter geen rekening met fysische beperkingen in de aanvoer van water via de rivieren. Doen we dit wel, dan mag de werklijn boven een bepaalde maximumafvoer niet rechtdoor worden getrokken, maar moet deze horizontaal gaan lopen.

- De Duitse Niederrhein kan tussen de huidige dijken maximaal circa 16.000 m³/s afvoeren (Dijkman et al., 2003, p. 6-13), resulterend in een maximale Rijnaafvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Overstromingen langs de Niederrhein zullen overigens ook delen van Nederland treffen, omdat de dijkringen zowel aan de linker- als de rechteroever op Nederlands grondgebied doorlopen;
- Rond 2015, na uitvoering van de hoogwaterbeschermingsmaatregelen in Nordrhein-Westfalen, kan via de Niederrhein ongeveer 18.000 m³/s worden afgevoerd (Silva et al., 2000; Dijkman et al., 2003, p. 6-14). Dit resulteert in een maximale afvoer bij Lobith van 18.000 m³/s;
- Voor de Maas is vastgesteld (Ogink en Barneveld, 2002; Goudriaan et al., 2003) dat een afvoer van 4600 m³/s Nederland kan binnenstromen (debiet bij meetstation Borgharen). In de huidige situatie, zonder dat de rivierverruiming Grensmaas is uitgevoerd, zullen de dijken langs het mijnverzakkingsgebied aan de Belgische zijde van de Grensmaas echter beginnen over te lopen bij een Maasafvoer van ongeveer 3300 m³/s. Omdat de bergingscapaciteit van dit gebied echter beperkt is, is de verlaging van de afvoerpiek echter maximaal 200 m³/s (Ogink en Barneveld, 2002). Daarom wordt aangenomen dat toch ook voor het bedijkte deel van de Maas rekening moet worden gehouden met een maximale afvoer van bijna 4600 m³/s.

De consequentie van een fysisch maximum voor de zogenaamde werklijn is dat deze naar een horizontaal knikt ter hoogte van de fysisch maximale afvoer (Dijkman et al., 2003; Figuur 2-3). Ook de onzekerheidsband rond de werklijn verandert; deze vernauwt weer bij zeer hoge afvoeren met zeer kleine kansen.

In de berekening van de overstromingskansen voor het bovenrivierengebied worden de consequenties van het fysisch maximum voor de Rijn verder besproken.



Figuur 2-3 Werklijn van de Rijn bij Lobith met 90%-betrouwbaarheidsband en twee fysische maxima (A: bij 16.000 m³/s; B: bij 18.000 m³/s)

2.1.4 Systemwerking

Over systeemwerking wordt meestal gesproken als het gaat over het rivierengebied. Dan wordt bedoeld dat overstroming van één dijkkring invloed kan hebben op de afvoer door de rivier, en dus de waterstanden en dus op de kans dat meer benedenstrooms een dijk overloopt. Overstroming van één dijkkring heeft zo gunstig effect op de overstromingskansen van meer benedenstrooms gelegen dijkringen: dit is een zogenaamde *tegenkoppeling*. Een vergelijkbare systeemwerking kan optreden in het benedenrivierengebied of het merengebied, waar de hoeveelheid ‘beschikbaar’ water beperkt is: meer beschikbaar oppervlak leidt dan tot lagere waterstanden.

In feite is het hierboven behandelde onderwerp van een fysisch maximum dat wordt bepaald door de dijkhoogten in Duitsland respectievelijk België een voorbeeld van deze vorm van systeemwerking. Maar ook binnen Nederland is systeemwerking nog relevant, en wel vooral in het bovenrivierengebied met z'n in principe gelijke veiligheidsniveaus.

Een tweede vorm van systeemwerking pakt negatief uit: een *meekoppeling* of sneeuwbaaleffect. Zo kan een overstroming van een dijkkring via de 'achterdeur' plaatsvinden als het water door een naastgelegen dijkkring een binnendijk belaaft. Aldus kan de overstromingskans van een dijkkring vergroot worden als deze niet alleen door een bres in een buitendijk, maar ook via een binnendijk kan vollopen. Een voorbeeld is een dijkdoorbraak van de Betuwe, die kan leiden tot een overstroming van de Alblasserwaard als de Diefdijk (scheidingsdijk tussen beide dijkringen) het begeeft. Ook kan bij een overstroming van de dijkkring Land van Maas en Waal zoveel water van de Rijn naar de Maas vloeien dat dijkringen langs de Maas bedreigd worden.

2.2 Methode 1: redeneren en schatten

2.2.1 Redenering op hoofdlijnen

In deze paragraaf beschrijven we in het kort de redenering die we in Methode 1 volgen om tot een uitspraak over de overstromingskansen te komen. Bij het schatten van een overstromingskans per dijkkring moeten we met veel factoren rekening houden. Om tot een schatting te komen, doorlopen we achtereenvolgens de volgende zes stappen:

1. **Belasting.** Wat zijn de belangrijkste hydraulische randvoorwaarden per invloedsgebied en hoe wordt daaruit de belasting op de waterkeringen berekend? Wat kunnen we zeggen over de *overschrijdingskansen* van de maatgevende omstandigheden in extreme omstandigheden, voor de nieuwe randvoorwaarden (HR2001)?
2. **Belastbaarheid 1: hoogte.** Vervolgens schatten we de kans op overloop of overslag op basis van actuele dijkhoogtes voor dijkringen waarvan deze bekend zijn.
3. **Belastbaarheid 2: sterkte.** De aanname dat de kans op overstromingen door instabiliteit van de dijken ondergeschikt is aan de kans op overloop, golfoploop of -overslag is niet altijd terecht. We bespreken in kwalitatieve termen wat de bijdrage van andere faalmechanismen aan de overstromingskansen is.
4. **Reduceerbaarheid kans op falen.** Een te lage of verzwakte dijk hoeft niet in alle gevallen werkelijk tot dijkbreuk en overstroming te leiden. We schatten kwalitatief in hoeverre noodmaatregelen nog mogelijk zijn
5. **Systeemwerking.** Omdat in het bovenrivierengebied systeemwerking een significante invloed heeft op de overstromingskansen verwoorden we onze schatting over de invloed hiervan op ons eindoordeel in kwalitatieve termen. In bijlage A is met - of - - aangegeven hoe sterk systeemwerking op de overstromingskans doorwerkt.
6. **Oordeel.** Op basis van de verzamelde informatie in de voorgaande stappen formuleren we een oordeel over de overstromingskans per dijkkring in de huidige situatie.

Omdat niet al deze stappen overal relevant zijn, vindt bespreking per gebiedstype plaats. Getalswaarde en het oordeel worden niet in de tekst gegeven, maar zijn terug te vinden in bijlage A.

2.2.2 Bovenrivierengebied

Belasting

De waterkeringen in het bovenrivierengebied worden voornamelijk belast door waterstanden, waarbij hoge waterstanden met name worden bepaald door hoge afvoeren op de Rijn of de Maas (DWW et al., 2001, blz. 39).

Volgens de randvoorwaarden van 1996 werd het veiligheidsniveau voor de Rijn van 1/1250 per jaar bepaald door een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith. Volgens de nieuwe randvoorwaarden (HR2001) heeft een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith een kans van 1/1250 per jaar, en 15.000 m³/s een kans van (afgerond) 1/600 per jaar, met een 95 % betrouwbaarheidsinterval van (afgerond) 1/100- 1/10.000 (Parmet et al., 2001a, blz. 21).

De Maas heeft volgens de randvoorwaarden van 1996 een afvoer van 3650 m³/s bij Borgharen met een kans van 1/1250 per jaar. Volgens de huidige randvoorwaarden moeten we met een kans van 1/1250 per jaar een afvoer van 3800 m³/s verwachten en heeft een afvoer van 3650 m³/s een kans van ongeveer 1/700, met een 95%-betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 1/200 - < 1/10.000 (Parmet et al., 2001b, blz. 15-16).

De onzekerheid ten aanzien van de kans op hoge waterstanden wordt niet alleen bepaald door de onzekerheid in de kans op hoge afvoeren, maar ook door (Silva, 2001, p.11-13; Dijkman et al., 2003, p.7-6 e.v.):

- de vorm van de afvoergolf die kan verschillen van de ontwerp golf;
- de afvoerverdeling over de splitsingspunten in de Rijn, die kan afwijken;
- de bodemligging en stromingsweerstand van zomer- en winterbed, die kunnen afwijken en in de tijd veranderen;
- de zijdelingse toestroming, die groter kan zijn dan aangenomen; en/of
- het optreden van ijsgang en/of ijssdammen.

Door RIZA is de *standaardafwijking* in berekende maatgevende waterstanden geschat, gebaseerd op aannames en slechts bedoeld als indicatie (Van Vuuren, 2003): Waal circa 14 cm, Neder-Rijn/Lek 14 cm en IJssel 17 cm. Dijkman et al. (2003) bespreken hoe deze onzekerheden doorwerken op de frequenties van de maatgevende waterstanden en concluderen dat deze op de Waal en de Neder-Rijn/Lek de overschrijdingskansen vergroten van 1/1250 naar circa 1/1000 en op de IJssel van 1/1250 naar circa 1/900. Een verdubbeling van de standaardafwijkingen heeft met name een grote invloed op de IJssel (van 1/1250 naar 1/300). Deze cijfers illustreren dat onzekerheden een significante invloed hebben op de overschrijdingskansen en dat deze invloed vooral groot is op de IJssel, omdat voor die Rijntak de onzekere waterverdeling bij twee splitsingspunten een rol speelt.

We nemen aan dat onzekerheid in de lokale golfloop ondergeschikt is aan de onzekerheid in de waterstanden, gezien de smalte van de rivieren en de beperkte golfopbouw bij kleine strijklengtes.

Belastbaarheid: hoogte

Voor de rivierdijken hebben we informatie over actuele dijkhoogten gebruikt uit het Referentie Alternatief Dijkhoogte (RAD; Arcadis et al., 2003; Hoogendoorn, 2003), onderdeel van de PKB-studie Ruimte voor de Rivier. Hiermee kan worden bepaald wat de overhoogte is van de dijken ten opzichte van de huidige randvoorwaarden (HR2001). Het begrip ‘overhoogte’ is in het RAD voor het bovenrivierengebied gedefinieerd als de actuele dijkhoogte minus het toetspeil volgens HR2001, minus 50 cm waakhoogte (RAD; Arcadis et al., 2003). We nemen aan dat het dijkvak met de kleinste overhoogte de grootste kans heeft over te lopen.

Voor de faalmechanismen overloop en golfoploop/-overslag nemen we voor het bovenrivierengebied aan dat de dijken waterstanden tot aan de waterstand waarop deze ontworpen zijn (= kruinhoogte – waakhoogte) ‘met grote waarschijnlijkheid’ kunnen keren. Over de vraag in hoeverre de waakhoogte als kerend beschouwd kan worden verschillen de meningen van deskundigen. Voor het bovenrivierengebied hebben we aangenomen dat de dijk pas bezwijkt door overlopen als het water over de kruin loopt, dus los van golfoverslag e.d.

Voor de stap van de overhoogte van dijken naar de bijbehorende kans op overstromen door overloop gebruiken we de volgende vuistregel: een afvoerverandering van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ leidt op de Waal tot een verandering in de waterstand van 4 cm, op de Neder-Rijn/Lek van 8 cm en op de IJssel van 9 cm (Silva, 2001, p.16). De redenering is dan verder als volgt: de overhoogte + de waakhoogte ($\geq 50 \text{ cm}$) van een dijk geeft de extra waterstand die door de dijk gekeerd kan worden voor deze *overloopt* ten opzichte van het toetspeil volgens HR2001; de vuistregel geeft de vertaling naar *overloopkans*.

Effect fysisch maximum afvoeren

Voor het bovenrivierengebied is het fysisch maximum aan de rivierafvoeren relevant voor de kansen op bepaalde afvoeren, en één op één voor de kansen op de waterstanden die daarbij bereikt worden. We schatten hier het effect van deze fysische bovengrenzen aan de Rijn- en Maasafvoer op de overstromingskansen door overloop.

We nemen aan dat via de Rijn op dit moment maximaal $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ Nederland binnen kan komen. We nemen hierbij nog een onzekerheidsmarge in acht van $500 \text{ m}^3/\text{s}$, wat overeenkomt met een marge in de waterstanden van 20 cm voor de Waal, 40 cm op de Neder-Rijn en 45 cm op de IJssel. Dus, dijkringen met een overhoogte ten opzichte van HR2001 groter dan deze marges hebben een orde kleinere kans op overstroming door overloop.

Dit geldt voor de dijkringen:

- Mastenbroek
- IJsseldelta
- Bommelerwaard
- Ooij en Millingen
- Kromme Rijn

- Gelderse Vallei
- Arnhemse- en Velpsebroek
- Rijn en IJssel

De kansentabel (Bijlage A) geeft de resultaten van deze stap expliciet weer.

Belastbaarheid: sterkte

In de vorige stap namen we aan dat de sterkte van de rivierdijken voldoende is om waterstanden tot aan de waakhogte te keren, waarmee de kans op overloop bepalend is voor de overstromingskans van een dijkkring. De ontwerprichtlijn stelt een duidelijke eis aan de sterkte van de dijken, namelijk dat de kans op overstroming ten gevolge van andere oorzaken dan overloop en golfoverslag verwaarloosbaar klein moet zijn, maar dat geldt tot maatgevende waterstanden (TAW, 1985, blz. 18). Voor een schatting van de overstromingskans van de dijkringen is de vraag dus of de sterkte van de dijken inderdaad voldoet aan de aannames, en of de 0,5 m waakhogte wel stabiel is bij bovenmaatgevende waterstanden.

Om zwakke dijktrajecten in het bovenrivierengebied te lokaliseren is gebruik gemaakt van de sterktoets uit het project RAD (Arcadis et al., 2003; Hoogendoorn, 2003) en van de bevindingen van de toetsronde van 1996-2001 (DWW, 2002a).

In de toetsronde 1996-2001, waarin de dijken zijn getoetst aan de 'oude' randvoorwaarden, zijn geen dijktrajecten gesignaleerd die onvoldoende stabiel waren, met de kanttekening dat op een aantal trajecten verbeteringswerkzaamheden aan de gang waren.

In de sterktoets van het RAD, die was gericht op de stabiliteit van de overhoogtes van de dijken ten opzichte van de huidige randvoorwaarden, wordt geconcludeerd dat de sterkte van veel van de dijken in het bovenrivierengebied onvoldoende is om meer dan de maatgevende waterstanden volgens HR2001 te keren. Met andere woorden: men garandeert niet dat de waakhogte keert.

Hieruit blijkt dus dat er twijfels bestaan over de stabiliteit van de waakhogte – en daarmee de hele dijk – onder bovenmaatgevende waterstanden. Maar daar staat tegenover dat sommigen menen dat de meeste dijken in werkelijkheid sterker zijn dan strikt noodzakelijk en dan bij het toetsen (waarop men kan worden afgerekend!) wordt aangenomen.

Tegen de achtergrond van het bovenstaande nemen we aan dat andere faalmechanismen dan overloop en golfoploop/-overslag niet meer dan 10 % van de totale overstromingskans van een dijkkring veroorzaken (vergelijk TAW, 1985, blz. 18). Dit betekent dat er van wordt uitgegaan dat dijkringen met voldoende overhoogte ten opzichte van de waterstanden bij de fysisch maximale afvoer een overstromingskans hebben van slechts 10 % van de geschatte kans zónder zo'n fysisch maximum aan de afvoer.

Reduceerbaarheid

Als een overstroming dreigt zijn er in het bovenrivierengebied noodmaatregelen denkbaar om een daadwerkelijke overstroming te voorkomen, bijvoorbeeld met behulp van stortzand, folies, zandzakken, *geobags* of mobiele waterkeringen. Dijkbewaking speelt hierbij een essentiële rol, voor het tijdig signaleren van zwakke dijken en van locaties waar dijken dreigen te bezwijken of over te lopen.

In voorgaande stappen is voor het bovenrivierengebied aangenomen dat de waakhoogte kerend is. Alhoewel dat een discutabele aanname is, houden we hieraan vast, gegeven het feit dat in het bovenrivierengebied relatief (in vergelijking met de kust) gemakkelijk noodmaatregelen kunnen worden genomen. We nemen dus – in de context van reduceerbaarheid – *niet* aan dat met zandzakken een verder verhoging van de dijk kan worden gerealiseerd om het overlopen te stoppen, maar menen wel dat het feit dat relatief gemakkelijk noodmaatregelen kunnen worden ingezet de aanname van een kerende waakhoogte rechtvaardigt. Ofwel: de waakhoogte keert, maar bij overlopen is het gedaan.

2.2.3 Benedenrivierengebied

Belasting

In het benedenrivierengebied worden maatgevende omstandigheden bepaald door een combinatie van hoge waterstanden en golven. De hoge waterstanden worden veroorzaakt door een combinatie van hoge rivierafvoeren en hoge waterstanden op zee (stormvloed), waarbij het sluitingsregime van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg en van de Hartelkering een belangrijke rol speelt. Bij extreme omstandigheden wordt de belasting van de dijk tenslotte beïnvloed door opwaaiing, seiches, buistoten en –oscillaties en windgolven (DWW et al., 2001, blz. 42).

Het benedenrivierengebied kan wat de bedreigingen door afvoeren en stormvloeden betreft ruwweg in drieën worden ingedeeld (Geerse, 2003): het gebied waar de invloed van de zee het grootst is, het overgangsgebied waar zowel de rivier- als de zeeinvloed groot is, en het rivierengebied waar de invloed van de rivierafvoer het grootst is.

Sinds de toetsingsronde 1996-2001 zijn alleen de randvoorwaarden voor rivierafvoeren veranderd. Dit heeft enige invloed in het rivierendeel van het benedenrivierengebied en is vertaald in een taakstelling voor het Ruimte voor de Rivier-project.

De hydraulische belasting op de keringen door combinaties van bedreigingen vanuit zee, rivieren en de wind is omgeven met tal van onzekerheden. Door Slomp (2004) worden verschillende bronnen van onzekerheid genoemd, waaronder de gemiddelde stormduur die mogelijk groter is dan verondersteld, onzekerheid omtrent de windmodellering en modelonzekerheden. Slomp verwacht dat het totaaleffect van deze onzekerheden leidt tot een verhoging van de toetspeilen met ongeveer 0,5 m in het Haringvliet en Hollandsch Diep en met enkele decimeters in het door de rivieren gedomineerde deel van het benedenrivierengebied. Daarmee ligt in het geval van het Haringvliet en het Hollands Diep het verhogende effect van de onzekerheden op de hydraulische belasting in dezelfde orde van grootte als de decimeringshoogte. We concluderen daarom dat de kans op overloop en overslag een factor 10 groter is door de invloed van de onzekerheden. In het rivierengebied is de invloed van de onzekerheden ongeveer eenderde van de decimeringshoogte, wat overeenkomt met een verhoging van de overstromingskans met een factor 3.

Naast kansverhogende onzekerheden geeft Slomp (2004) een aantal veiligheidsmarges aan die in Hydra-B zijn ingebouwd.

Voorbeelden hiervan zijn de aanname dat de maximale wind samenvalt met de hoogste waterstand, dat in de overslagformuleringen een veiligheidsmarge gebruikt wordt van 10 % en dat de reststerkte van dijken (bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m) niet in rekening wordt gebracht.

Belastbaarheid: hoogte

De waterkeringen in het benedenrivierengebied worden ontworpen voor een bepaald maximaal overslagdebiet. Tot dat debiet worden ze sterk genoeg geacht. Er is dus geen sprake van een extra waakhogte. Het overslagdebiet wordt bepaald door de hoogte van de kering (en de vorm van het buitentalud).

Met de actuele dijkhoogtes schatten van de kans op overloop en golfoverslag. Net als voor het bovenrivierengebied gebruiken we informatie uit het Referentie Alternatief Dijkhoogte (RAD; Arcadis et al., 2003; Hoogendoorn, 2003) om te bepalen wat de overhoogte is van de dijken ten opzichte van de huidige randvoorwaarden (HR2001). Het dijkvak met de kleinste overhoogte bepaalt waar overloop of golfoverslag in de betreffende dijkkring het meest waarschijnlijk optreedt.

De redenering is dan als volgt: dijkvakken met een overhoogte van 0 cm hebben een hoogte gelijk aan het toetspeil volgens HR2001. Dit dijkvak heeft daarmee een kans op te veel overloop/golfoverslag gelijk aan de normfrequentie voor de betreffende dijkkring. Hogere dijken kunnen in principe hogere belastingen keren, waarmee de kans op overloop/overslag kleiner is. Voor de stap van de overhoogte van dijken naar de bijbehorende kans op overstroming door overloop gebruiken we decimeringshoogtes (Lodder, 2004; Duits & Thonus, 2001), ofwel, het verschil in hoogte behorende bij een factor 10 in de overschrijdingsfrequentie. De redenering is dan als volgt: de overhoogte van een dijk geeft de extra hydraulische belasting die door de dijk gekeerd kan worden; de decimeringshoogte geeft de vertaling naar de bijbehorende overschrijdingskans.

De kansentabel (bijlage A) geeft de resultaten van deze stap.

Belastbaarheid: sterkte

Ook voor het benedenrivierengebied stelt de ontwerprichtlijn de eis aan de sterkte van de dijken dat de kans op falen door andere oorzaken dan overloop en overslag tot maatgevende omstandigheden verwaarloosbaar moet zijn.

In het benedenrivierengebied is bij het dijkontwerp in het algemeen rekening gehouden met een beperkte duur van hoge waterstanden. Als om welke reden dan ook deze tijdsduur wordt verlengd, kan dat de stabiliteit van de dijk negatief beïnvloeden (Dijkman, 2002).

In het benedenrivierengebied liggen tal van waterkeringen die na de afsluiting van de zeegaten van functie zijn veranderd. De dijken langs de Nieuwe Waterweg, het Haringvliet, en langs de tussenliggende wateren zijn na de ramp van 1953 gerepareerd en ten dele ook versterkt. Deze dijken zijn over grote lengtes hoger en sterker dan thans wordt geëist. Dit verkleint de kans op overstroming (Dijkman, 2002).

In de toetsronde 1996-2001 (DWW, 2002a), waarin de dijken zijn getoetst aan de ‘oude’ randvoorwaarden, zijn geen dijktrajecten gesignaleerd die wat sterkte betreft niet aan de norm voldeden, met de kanttekening dat op een aantal trajecten verbeteringswerkzaamheden aan de gang waren.

In de sterktestoets van het RAD, die zich richt op de stabiliteit van de overhoogtes van de dijken ten opzichte van de huidige randvoorwaarden, wordt geconcludeerd dat de sterkte van veel van de dijken in het benedenrivierengebied onvoldoende is om meer dan de maatgevende omstandigheden volgens HR2001 te keren. Met andere woorden: men durft in het kader van de toetsing de stabiliteit van de waakhoogte niet te garanderen. Voor het schatten van overstromingskansen zijn formele aansprakelijkheid en wettelijke verantwoordelijkheid niet van belang en volgen we een andere redenering: we nemen aan dat de overhoogte wel kerend is.

Reduceerbaarheid

Waar in het bovenrivierengebied in het algemeen ruim van te voren een kritieke situatie wordt voorzien is in het benedenrivierengebied meestal veel minder tijd beschikbaar: in dat gebied is immers het optreden van storm(vloed) op zee medebepalend voor gevaarlijke omstandigheden. We nemen daarom aan dat noodmaatregelen mogelijk zijn, vooral in het rivierendeel van het benedenrivierengebied, maar in veel mindere mate dan in het bovenrivierengebied.

2.2.4 Kust

Belasting

De waterkeringen aan de kust bestaan uit duinen en harde keringen, vooral dijken. Deze worden belast door stormvloeden, waarbij hoge waterstanden en hoge golven tegelijk optreden. Die hoge golven zijn al op de Atlantische Oceaan en in de noordelijke Noordzee ontstaan. Bovenop deze doorslaggevende factoren komen nog lokale windgolven, buistoten, bui-oscillaties en seiches (DWW et al., 2001, blz. 52-53).

Om de hydraulische belasting door golven op de waterkeringen te schatten wordt uitgegaan van golfhogten en -perioden in diep water (-20 m lijn), die via statistische extrapolatie zijn afgeleid uit metingen. Voor dijken wordt met numerieke analyse een vertaalslag gemaakt van de golfrandvoorwaarden in diep water naar golven aan de voet van de keringen. Voor de duinen wordt de belasting door windgolven analytisch bepaald op basis van de golfrandvoorwaarden in diep water (DWW et al., 2001, hoofdstuk 2; DWW, 2002b; DWW, 2003; WL, 2003).

In verschillende rapporten wordt gewaarschuwd voor grote onzekerheden in de randvoorwaarden die voor de keringen worden berekend (TAW, 2002; DWW, 2002b; DWW, 2003; WL, 2003), veroorzaakt door:

1. onzekerheid over golfhoogte en -periode in diep water; en
2. onzekerheid in de rekenmethode waarmee de diepwater-golfrandvoorwaarden omgerekend worden naar golven aan de voet van de keringen.

Deze onzekerheden, door zowel gebrek aan meetgegevens onder extreme omstandigheden als door gebrek aan kennis, worden door WL (2003) uitgebreid besproken, maar niet gekwantificeerd. Volgens dit rapport is nog niet duidelijk in welke mate elke schakel in de beoordelingsmethode bijdraagt aan de onzekerheid over de belasting van de waterkeringen (WL, 2003, blz. 3-2). De golfvoortplanting vanuit diep water naar ondiep water is met name onzeker in de estuaria en de Waddenzee (TAW, 2002).

Recent zijn ook nog ‘nieuwe inzichten’ ontstaan over de mogelijke hydraulische belastingen van de kust door golven. Ten eerste bestaat de indruk dat de tot nu toe gebruikte golfrandvoorwaarden in diep water een onderschatting zijn van de werkelijkheid (TAW, 2002; DWW, 2002b; DWW, 2003; WL, 2003). Ten tweede zijn er ‘nieuwe inzichten’ over de omrekening van de golfrandvoorwaarden in diep water naar de golfoploop en golfoverslag bij de (harde) keringen (TAW, 2002; WL, 2003). Deze ‘nieuwe inzichten’ leiden tot andere hydraulische randvoorwaarden, maar dit is slechts voor enkele plaatsen gekwantificeerd. Overigens zetten buitenlandse experts nog veel vraagtekens bij de ‘nieuwe inzichten’ ten aanzien van de golfperiode en -hoogte (bijlagen in WL, 2003).

We onderschrijven de stelling van TAW en WL dat hiernaar extra onderzoek gewenst is, maar zien geen mogelijkheid de overstromingskans op grond van deze onzekerheden significant groter te schatten.

We hebben – door de beperkingen van dit onderzoek – geen gepubliceerde overschrijdingsfrequenties gevonden van de maatgevende hydraulische belasting op keringen aan de kust. Daarom kunnen we slechts concluderen dat de uitgangspunten en berekeningswijzen van de hydraulische belasting van de zeeeringen grote onzekerheden met zich meebrengen. Bij gebrek aan beter gebruiken we de randvoorwaarden 2001, maar we voegen eraan toe dat het niet ondenkbaar is dat de overstromingskansen langs de kust (een factor 2-4) groter zijn dan de kansen die door ons worden gepresenteerd.

Belastbaarheid: hoogte

Voor de belastbaarheid van de waterkeringen moet onderscheid worden gemaakt tussen de duinen en de harde keringen. Voor de duinen wordt gewerkt met de mate van duinafslag bij maatgevende stormcondities, in verhouding tot de hoeveelheid zand die na een storm nog overblijft (reststerkte). Voor de duinen is hoogte *sec* in de praktijk dus nergens doorslaggevend. Voor de dijken wordt ervan uitgegaan dat een overslagdebiet tot ‘de norm’ geen aanleiding geeft tot bezwijken, want dat de dijk dan sterk genoeg is (zie hierna bij sterkte).

Informatie over de kans op golfoverslag voor de waterkeringen langs de kust en estuaria putten we uit het toetsingsrapport 1996-2001 (DWW, 2002a) en uit het onderzoek van DWW naar de consequenties van de nieuwe golfbelastingen voor de kust (DWW, 2002b). Beide documenten gaan alleen in op de vraag of de keringen voldoen aan de norm, volgens de hydraulische randvoorwaarden, dan wel volgens de nieuwe inzichten. Er worden geen uitspraken gedaan over de hoeveelheden golfoverslag, of over decimeringshoogtes.

Uit de toetsingsronde 1996-2001 (DWW, 2002a) kwamen langs de kust geen waterkeringen die wat de hoogte betreft niet voldeden aan de norm, behalve de Helderse Zeewering bij Den Helder.

Bij Den Helder werden door DWW (2002b) echter geen problemen verwacht volgens de nieuwe inzichten in de golfrandvoorwaarden. Door DWW (2002b) is getoetst welke kruinhoogtes nodig zijn bij een golfoverslagnorm van 10 l/s/m en bij 1 l/s/m, en hoe de huidige kruinhoogtes zich daartoe verhouden. De gebruikte aanname was dat de kering zonder meer voldoet als de overslag minder dan 1 l/s/m bedraagt, en niet voldoet als deze meer dan 10 l/s/m bedraagt. Voor kruinhoogtes daartussen is nader onderzoek geboden naar de erosiebestendigheid van het binnentalud. DWW vond dat geen van de onderzochte locaties met harde waterkeringen langs de kust niet voldeed, maar dat vier locaties nader onderzoek vergen. Samengevat: in de harde keringen wordt voor vier locaties geconstateerd dat het overslagdebiet onder de nieuwe golfrandvoorwaarden groter is dan 1 l/s/m, maar minder dan 10 l/m/s, zodat de waterkeringen niet zonder meer te laag worden bevonden.

Belastbaarheid: sterkte

In (DWW, 2002b) wordt geconcludeerd dat de *duinkust* op twee locaties niet voldoet aan de norm onder de nieuwe golfrandvoorwaarden (bij Callantsoog en Terheijde). Langs de Zeeuwse kust is het op een aantal locaties twijfelachtig of aan de norm wordt voldaan. Er wordt verder niet gekwantificeerd wat dan wel de kans is dat de duinen op de betreffende locaties bezwijken. Op basis van gepubliceerd materiaal kunnen we daarom geen uitspraak doen over de overstromingskans van de betreffende dijkringen (Noord-Holland en Centraal-Holland).

De ontwerprichtlijn stelt dat de *dijken* zodanig moeten worden geconstrueerd dat de faalkans bepaald wordt door de kans op overslag, en dat de kans op andere faalmechanismen hieraan ondergeschikt is. In de praktijk wordt er bij dijkontwerpen vanuit gegaan dat de belangrijkste oorzaak van bezwijken is gelegen in erosie van het binnentalud; water dat over de dijk slaat c.q. loopt, tast de grasmat aan, waarna door terugschrijdende erosie de kruin wordt bedreigd en na enige tijd een bres kan ontstaan. De kruin en het binnentalud van zeeweringen worden verondersteld sterk genoeg te zijn om het overslagdebiet waarop getoetst wordt aan te kunnen. Er wordt dus uitgegaan van een vereiste minimum sterkte en niet zozeer van de feitelijke sterkte van de dijk (WL, 2003, blz. 2-5). Met een eventuele reststerkte van de dijken wordt geen rekening gehouden.

In dit verband is het relevant om op te merken dat dijken meestal behoorlijk overgedimensioneerd zijn, waardoor de dijk waarschijnlijk niet bezwijkt onder de omstandigheden waarop wordt getoetst en in werkelijkheid nog een stuk veiliger is.

Voor de dijken aan de kust geldt dat er na de ramp van 1953 twee extra veiligheden zijn ingebouwd: hogere dijken en een flauwer binnentalud, waardoor minder snel erosie optreedt. De dijken zijn dus meestal overgedimensioneerd, maar er is niet bekend wat dit betekent voor de sterkte.

Volgens de toetsing 1996-2001 (DWW, 2002a) voldeden niet alle waterkeringen qua stabiliteit aan de toen geldende norm (HR1996; DWW et al., 1996). Een voorbeeld is de steenzetting op het buitentalud, die vroeger werd aangelegd met een bezwijkkans van 1/100 per jaar, vanuit het idee dat schade niet meteen leidt tot het bezwijken van de kering en na de storm hersteld zou kunnen worden; dit gold als normaal onderhoud. Volgens de huidige opvattingen mag een steenzetting geen schade ondervinden van maatgevende omstandigheden. Dergelijke steenzettingen zijn nog niet overal verwezenlijkt. Waar de steenzetting niet voldoet is echter wel bekend, en er wordt aan gewerkt om deze te vervangen. Wat zwakke steenzettingen betekenen in termen van overstromingskansen is in de literatuur niet gekwantificeerd.

Voor de harde zeeweringen langs de kust is door ir. M. Klein Breteler (mondelijke mededeling februari 2004) geschat wat de invloed van de zwakke steenzettingen is op de overstromingskansen.

Zo voldoet langs de Westerschelde de steenzetting van sommige dijken niet aan de norm. Omdat de golfbelasting op deze dijken groot kan zijn (> 3 m hoge golven) kan beschadiging van de steenzetting leiden tot de vorming van een bres. De kans daarop is gemakkelijk een orde groter dan de norm voor overschrijding van maatgevende omstandigheden. Deze dijken worden momenteel met voorrang verstevigd.

Ook langs de Oosterschelde voldoet de steenzetting van sommige dijken niet. Door de Oosterscheldedam worden de waterstanden in de Oosterschelde echter op maximaal 3 m +NAP gehouden, terwijl de dijken destijds gebouwd zijn op de situatie zonder dam. Daardoor is de invloed van onderbemeten steenzettingen kleiner dan voor de Westerschelde. In dit onderzoek wordt de overstromingskans in de huidige situatie geschat, maar is er van uitgegaan dat de zwakke schakels en ondeugdelijke steenzettingen zijn aangepakt. De bovenstaande opmerkingen hebben dan ook geen consequenties voor de te schatten overstromingskansen in bijlage A.

Wel achten we het denkbaar dat de genoemde zwakke plekken in de duinen de overstromingskans van de betreffende dijkringen vergroten met een factor 10. Aangezien de duinen volgens de Leidraad duinafslag van 1984 in de praktijk beschermen tegen maatgevende omstandigheden die optreden met een kans van circa 10^{-5} , is dat tot een kans van orde 10^{-4} . Veel hangt echter af van de reststerkte van het totale duinmassief na grootschalige afslag. Mogelijk blijft er een strandwal achter waar nauwelijks water overheen komt (zie ook hoofdstuk 3 en bijlage B).

Reduceerbaarheid

We gaan ervan uit dat het aan de kust niet mogelijk is om de keringen onder storm(vloed)condities adequaat te bewaken, laat staan om noodmaatregelen te treffen. Tijdens extreem zware storm kunnen de dijken niet worden betreden; ze moeten het 'alleen' doen.

2.2.5 Meren

Belasting

Langs de meren worden grote belastingen op de waterkeringen veroorzaakt door een combinatie van verhoogde waterstanden en windgolven. Hoge meerpeilen treden op bij beperkte spuimogelijkheden, maar maatgevende omstandigheden ontstaan pas bij opwaaiing (DWW et al., 2001, blz. 49). Dit leidt vooral in grote en relatief ondiepe meren (IJsselmeer) tot forse lokale waterstandsverhogingen.

De hydraulische randvoorwaarden voor de meren zijn niet veranderd sinds de periode 1996-2001. Uit een studie van de TU Delft (Meermans, 1999) volgt echter dat met name de onzekerheid over de wind van grote invloed is op de toetspeilen voor de dijken rond het IJsselmeer. De onzekerheden in de hydraulische belasting zouden zelfs een verhoging van de *toetspeilen* nodig kunnen maken van enkele decimeters tot een meter. Voor de schatting van de overstromingskans gaan we uit van de bestaande randvoorwaarden.

Belastbaarheid: hoogte

In de door ons verzamelde literatuur is geen informatie gevonden over de huidige hoogtes van de waterkeringen langs de meren. Ook stonden geen gepubliceerde decimeringshoogtes ter beschikking. Informatie over dijkhoogten moet van de dijkbeheerders komen, en daar was in deze studie geen plaats voor. We kunnen dus geen uitspraak doen over de overloop/overslagkansen van de betreffende dijken op basis van literatuur.

Belastbaarheid: sterkte

Volgens de toetsing 1996-2001 (DWW, 2002a) voldeed de stabiliteit van niet alle waterkeringen langs de meren aan de vereisten. De steenzetting op het buitentalud voldoet bijvoorbeeld nog niet op alle locaties. Deze locaties zijn echter wel bekend en opgenomen in het programma om de keringen te versterken. Wat de onvoldoende sterke steenzetting betekent voor de overstromingskans, is nergens gekwantificeerd.

Ook voor de harde zeekeringen langs de meren is door ir. M. Klein Breteler (mondelijke mededeling februari 2004) geschat wat de invloed van de zwakke plekken is op de overstromingskansen. Van de Noord-Hollandse dijken aan het IJsselmeer voldoet de steenzetting niet. Hier worden geen problemen verwacht, omdat de dijken ooit gedimensioneerd zijn op de situatie zonder Afsluitdijk en omdat de golven relatief laag blijven. Van de IJsselmeerdijk van de Wieringermeer is geconstateerd dat de (grondmechanische) stabiliteit onvoldoende is. Dit kan de overstromingskans met een ordegrrootte doen toenemen. Van de Noordoostpolder is bekend dat de dijken oorspronkelijk te krap zijn ontworpen. Hier is echter al veel versterkt, waardoor we geen significante invloed op de overstromingskans meer verwachten van de dijktrajecten die volgens de toetsing nog niet aan de norm voldeden.

In dit onderzoek wordt de overstromingskans in de huidige situatie geschat, maar is er van uitgegaan dat de zwakke schakels en ondeugdelijke steenzettingen zijn aangepakt.

De bovenstaande opmerkingen hebben dan ook geen consequenties voor geschatte overstromingskansen in bijlage A.

Reduceerbaarheid

De grootste dreiging voor de dijken langs het merengebied komt voort uit het 'kantelen' van de waterschijf door wind. Dit gebeurt bij minder extreme stormen dan de stormen die aan de kust tot kritieke situaties leiden, en bovendien is sprake van een snelle respons. Dit betekent dat er weinig tijd is om gevaar te constateren en noodmaatregelen te treffen. We nemen aan dat dit niet tijdig mogelijk is.

2.2.6 Conclusie op basis van redenering

In de kansentabel in Bijlage A staan de beredeneerde kansen op overloop/overslag samengevat, maar hieronder is ook een samenvatting gegeven in Tabel 2-1. De beredeneerde kansen berusten op een overschrijdingsfrequentie volgens HR2001, een onzekerheidsband daaromheen (voorzover bekend; anders een onzekerheidsfactor per gebiedstype), en de huidige laagste dijkhoogte in een dijkkring. Er wordt een schatting gegeven zonder een fysisch maximale afvoer aan te nemen en met een fysisch maximum.

Let op: dit is dus *niet* een zogeheten eindoordeel; dat wordt mede gebaseerd op de resultaten van methode 2 (hierna te bespreken).

Tabel 2-1 Overzicht van beredeneerde overstromingskansen (methode 1) op basis van hydraulische belasting, hoogte en sterkte van de waterkering voor die dijkringen waarvan voldoende gegevens beschikbaar waren voor een globale schatting.

Dijkkring-nummer	Dijkkringnaam	Normfrequentie overschrijding	Beredeneerde kans op overloop	Idem, met fysisch maximum rivierafvoer
10	Mastenbroek	1/2000	1/25.000	1/250.000
11	IJsseldelta	1/2000	1/25.000	1/250.000
14	Centraal-Holland	1/10.000	1/100.000	n.v.t.
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	1/2000	1/750	1/750
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	1/2000	1/300	1/300
17	IJsselmonde	1/4000	1/125.000	n.v.t.
20	Voorne-Putten	1/4000	1/400	n.v.t.
21	Hoeksche Waard	1/2000	1/10.000	n.v.t.
22	Eiland van Dordrecht	1/2000	1/2000	1/2000
23	Biesbosch	1/2000	1/150	1/150
24	Land van Altena	1/2000	1/900	1/900
25	Bommelerwaard	1/1250	1/2000	1/20.000
40	Heerewaarden	1/500	1/400	1/400
41	Land van Maas en Waal	1/1250	1/400	1/400

Dijkring-nummer	Dijkringnaam	Normfrequentie overschrijding	Beredeneerde kans op overloop	Idem, met fysisch maximum rivierafvoer
42	Ooij en Millingen	1/1250	1/2000	1/20.000
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1/1250	1/600	1/600
44	Kromme Rijn	1/1250	1/27.000	1/270.000
45	Gelderse Vallei	1/1250	1/27.000	1/270.000
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1/1250	1/27.000	1/270.000
48	Rijn en IJssel	1/1250	1/40.000	1/400.000
49	IJsselland	1/1250	1/2200	1/2200
50	Zutphen	1/1250	1/2200	1/2200
51	Gorssel	1/1250	1/1250	1/1250
52	Oost Veluwe	1/1250	1/4000	1/4000
53	Salland	1/1250	1/7000	1/7000

Aan de hand van enkele voorbeelden uit het bovenriviereengebied illustreren we wat de invloed van sommige aannames is op de geschatte overstromingskansen (Tabel 2-2); of beter: hoe gevoelig de uitkomsten zijn voor de aannames bij iedere stap in de redenering.

Tabel 2-2 Invloed van aannames op de beredeneerde kans op overstroming, voor een drietal dijkringen in het riviereengebied (zie tekst).

Dijkring-nummer	Dijkringnaam	Normfrequentie overschrijding toetspeil	HR1996 → HR2001 overschrijding toetspeil	Halve waakhoogte kerend, overloop	Hele waakhoogte kerend, overloop	Fysisch maximum afvoeren overloop
43	Betuwe	1/1250	1/600	1/350	1/600	1/600
44	Kromme Rijn	1/1250	1/600	1/10.500	1/27.000	1/270.000
50	Zutphen	1/1250	1/600	1/500	1/2200	1/2200

Allereerst hebben de nieuwe randvoorwaarden (HR2001, afgeleid uit de werklijnen) een grote invloed op de kans op *overschrijding* van *de maatgevende waterstand*. Deze invloed wordt duidelijk uit het effect van de aanpassing van deze werklijnen in HR2001: waar volgens de oude randvoorwaarden een Rijnafvoer van 15.000 m³/s een overschrijdingskans van 1/1250 had, is dit volgens de huidige inzichten een kans van 1/600 per jaar.

Vervolgens laten de voorbeelden zien dat de aanname over het al of niet kerend zijn van (een deel van de) waakhoogte een grote invloed heeft op de kans op *overloop*, waarbij de werkelijke actuele dijkhoogten rond de dijkringen in beschouwing zijn genomen.

Tenslotte heeft het fysisch maximum voor de Rijnafvoer een grote invloed op de overstromingskans van die dijkringen die al relatief veilig zijn (voorbeeld dijkkring 44: Kromme Rijn), omdat daar de waterstanden (haast) niet meer boven de dijk kunnen uitkomen. Alleen andere faalmechanismen kunnen dan nog tot een overstroming leiden.

2.3 Methode 2: eerdere kansberekeningen en extrapolatie naar andere dijkringen

2.3.1 Beschikbaar materiaal

De overstromingskansen van een beperkt aantal dijkringen zijn eerder berekend. Over deze berekeningen is gerapporteerd in:

- ‘Van overschrijdingskans naar overstromingskans’ (TAW, 2000). In dit rapport is een methode geïntroduceerd waarbij overstromingskansen voor 4 dijkringen zijn bepaald: Centraal-Holland, Groningen–Friesland, de Hoeksche Waard en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. De door de TAW berekende overstromingskansen voor de Betuwe en de Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkkring 43) zijn overgenomen door Van Manen et al. (2001) voor de ‘Pilot Case Overstromingsrisico (PICASO)’;
- ‘Beperking van overstromingsrisico’s in het bovenrivierengebied’ (Kok et al., 2003a). In deze studie is voor een aantal dijkringen in het bovenrivierengebied de overstromingskans uitgerekend.

Voor de berekeningen zijn in deze rapporten aannames gedaan, die we hieronder uiteen zullen zetten. Tegen de achtergrond van deze aannames bespreken we de resultaten van de berekeningen, waarna we een schatting maken van de meest waarschijnlijke overstromingskansen voor deze dijkringen. Vervolgens doen we, wederom op basis van deze rapporten, een schatting voor de bandbreedte rondom deze meest waarschijnlijke overstromingskansen. Tenslotte gaan we na in hoeverre een extrapolatie van de bevindingen naar de overige dijkringen mogelijk is.

Ook de resultaten van deze methode zijn verzameld in de kansentabel in Bijlage A.

2.3.2 Algemene aannames

In paragraaf 2.1.2 is een opdeling gemaakt van Nederland in 4 typen watersystemen: het bovenrivierengebied, het benedenrivierengebied, het merengebied en de kust. De boven genoemde studies betreffen met name het rivierengebied (een paar uitzonderingen daargelaten). Er zal daarom in deze paragraaf vooral over het rivierengebied worden gesproken en in mindere mate over het merengebied en de kust.

De aannames die ten grondslag liggen aan de berekeningen in het bovenrivierengebied zetten we hier kort op een rij. Waar relevant zullen we de aannames die voor elke studie specifiek gelden ook kort noemen.

Huidige situatie (mechanisme overloop/ overslag)

De onderhavige studie geeft een schatting van de overstromingsrisico's voor de huidige situatie. Dit betekent dat voor de Rijn wordt uitgegaan van een 1/1250 per jaar afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith en voor de Maas van 3800 m³/s bij Borgharen.

Ook de statistiek voor de afvoeroverschrijdingskansen en de gebruikte verbanden tussen de afvoeren bij Lobith respectievelijk Borgharen en de lokale waterstanden (Qh-relaties) zijn gebaseerd op deze maatgevende afvoeren (zie respectievelijk Parmet et al., 2001; en Diermanse et al., 2003)). Verder wordt gekeken naar hoe het huidige rivierensysteem er momenteel bij ligt. Met andere woorden: er wordt uitgegaan van actuele gegevens van bijvoorbeeld kruinhoogtes en strijklengtes.

De huidige dijken langs Rijn en Maas zijn niet allemaal gedimensioneerd op maatgevende afvoeren van 16000 m³/s bij Lobith en 3800 m³/s bij Borgharen. Momenteel is er sprake van een 'gekantelde' dijk, omdat de dijkhoogten uit verschillende perioden zijn gebaseerd op verschillende veiligheidsniveaus en verschillende maatgevende afvoeren van 15.000 m³/s, 16.000 m³/s, 16.500 m³/s of 18.000 m³/s, met maatgevende hoogwaterstanden die bepaald zijn met verschillende hydrodynamische modellen. Dit is niet zo vreemd, aangezien bij het vaststellen van nieuwe maatgevende omstandigheden moeilijk verwacht kan worden dat de waterkeringen onmiddellijk worden aangepast. Hier gaan bij de vele honderden kilometers waterkering al gauw decennia overheen, zowel bij dijkverhoging als rivierverruiming. Zoals in paragraaf 1.4 aangegeven, nemen we aan dat de overstromingskans niet bepaald wordt door lokaal aanwezige zwakke plekken. Als een dijkkring zwakke plekken bevat die snel kunnen worden hersteld (en die dus bekend zijn), dan gaan we ervan uit dat dit ook gebeurt. Het betreft hier veelal lokale problemen, zoals sluisdeuren of bedieningsprotocollen van kunstwerken. We gaan er hier van uit dat de veiligheid van een waterkering niet wordt bepaald door zwakke plekken die snel hersteld kunnen worden.

2.3.3 Vier dijkringen: resultaten uit het TAW-rapport

In de studie 'Van overschrijdingskans naar overstromingskans' (TAW, 2000) zijn 4 dijkringen (Centraal-Holland, Groningen-Friesland, Hoeksche Waard en Betuwe) onderzocht in verschillende delen van het land. Van elk van deze dijkringen is een selectie gemaakt van 30% van het totale aantal dijkvakken, die in ieder geval de kwetsbare dijkvakken bevatten. De gegevens daarover zijn door de beheerders aangeleverd.

De door TAW (2000) gerapporteerde overstromingskansen gelden bij de volgende aannames:

- De maatgevende afvoer is 15.000 m³/s (HR1996), in plaats van de 16.000 m³/s zoals deze momenteel is vastgesteld (HR2001);
- Menselijke fouten worden uitgesloten en deze zijn dan ook niet verdisconteerd in de berekende kansen;
- In elk van de 4 onderzochte dijkringen is sprake van één of meer zwakke schakels. Er is aangenomen dat deze makkelijk kunnen worden weggenomen en voor de kans op overstroming van een gehele dijkkring niet van belang zijn.

Per dijkkring komt TAW (2000) tot de volgende conclusies ten aanzien van de overstromingskansen:

- In Centraal-Holland zijn er zwakke schakels nabij Moordrecht waar zich zandmeevoerende wellen kunnen voordoen die de dijk van binnenuit verzwakken en in de bediening van de persleiding bij Monster (Westland) (faalkans 1/2000). Worden deze twee zwakke schakels weggenomen, dan resulteert een overstromingskans van 1/75.000 per jaar;
- In de dijkkring Groningen-Friesland vormt de coupure bij Harlingen een zwakke schakel (berekende faalkans 1/4300 per jaar). Verhoging van de dijk ter plaatse brengt de kans op overstroming van deze dijkkring op 1/9000 per jaar;
- De grootste faalkans in de Hoeksche Waard ligt in het niet op tijd sluiten van het inlaatkunstwerk bij Mariapolder. Er zijn nog enkele andere kunstwerken waarvoor dit gevaar bestaat en er zijn enkele zandmeevoerende wellen. Uitgaande van goed functionerende kunstwerken is de berekende overstromingskans 1/20.000 per jaar;
- In dijkkring 43 bevindt zich één zwakke schakel in de buurt van Tiel. Het betreft mogelijk zandmeevoerende wellen bij het ter plaatse aanwezige kunstwerk. Onder voorwaarde dat dit knelpunt is opgelost wordt een kans op overstrooming gevonden die gelijk is aan 1/1000 per jaar. De gevolgen van een hogere maatgevende afvoer voor Dijkkring 43 zijn beschreven door de TAW (2000) en hebben tot gevolg dat de overstromingskans voor de betreffende dijkkring van 1/1000 naar 1/400 per jaar gaat.

In Tabel 2-3 staan de resultaten voor dijkkring 6, 14 en 21 bij elkaar. Voor deze dijkringen langs de kust zijn de maatgevende omstandigheden niet significant gewijzigd. Voor dijkringen 6 (Groningen-Friesland) en 14 (Centraal-Holland) zijn de door de TAW gepresenteerde resultaten dan ook nog actueel. Dijkkring 21 (Hoeksche Waard) ligt in het overgangsgebied tussen de bovenrivieren en de benedenrivieren. Ook hier wordt verondersteld dat de invloed van een inmiddels hogere maatgevende afvoer van de Boven-Rijn geen significante invloed heeft op de berekende overstromingskans (zie Geerse, 2003). De gepresenteerde overstromingskansen achten we nog actueel.

Voor dijkkring 43 (Betuwe) is door de TAW (2000) uitgegaan van een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s. Deze geldt op het moment niet meer. Daarom is in Tabel 2-4 weergegeven welke overstromingskans voor dijkkring 43 zou resulteren, als gerekend wordt met een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s.

Tabel 2-3: Overstromingskansen volgens TAW (2000). Er is gebruik gemaakt van HR1996.

Dijkkring-nummer	Dijkkringnaam	Normfrequentie overschrijding toetspeil	Overstromingskansen
14	Centraal-Holland	1 / 10.000	1 / 75.000
6	Groningen-Friesland	1 / 4000	1 / 9000
21	Hoeksche Waard	1 / 2000	1 / 20.000

Tabel 2-4: Overstromingskansen volgens TAW (2000). Er is gebruik gemaakt van een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s.

Dijkring-nummer	Dijkringnaam	Normfrequentie overschrijding toetspeil	Overstromingskansen
43	Betuwe, Tieler- & Culemborgerw.	1 /1250	1 / 400

2.3.4 Bovenrivierengebied: de verkennende beleidsanalyse

Door Kok et al. (2003) is de overstromingskans voor alle dijkringgebieden – met uitzondering van enkele kleintjes – in het bovenrivierengebied van de Rijntakken op een globale manier bepaald. De kansen die vermeld staan in het bijlagenrapport van deze beleidsanalyse (Kok et al., 2003c) zijn gebaseerd op een reeks aannames. Hieronder zetten we de belangrijkste nog eens onder elkaar:

- Alleen het faalmechanisme ‘golfoverslag en overloop’ is meegenomen;
- Zwakke schakels in de vorm van ‘kunstwerken’ (zoals sluizen, coupures, leidingen) in dijkringen zijn niet meegenomen;
- Er is aangenomen dat de waakhoogte kerend is;
- Het kritieke overslagdebiet voor het faalmechanisme golfoverslag is gelijk aan 1 l/s/m (conform de ‘Leidraad ontwerpen rivierdijken’ van de TAW, 1985). De zogenaamde reststerkte is dus niet meegenomen;
- De overstromingskans van een dijkring is gelijk gesteld aan de faalkans van de zwakste schakel in die dijkring. In Bijlage L van Kok et al. (2003c) is de invloed van deze aanname onderzocht door de uitkomsten te vergelijken met die van PC-Ring. De invloed bleek kleiner dan 20%;
- De bijdrage van andere mechanismen (zoals *piping*, instabiliteit, e.d.) is globaal meegenomen door aan te nemen dat deze altijd 25% is van de overstromingskans door golfoverslag en overloop¹;
- Er is gerekend met onzekerheden in: afvoer (zowel natuurlijke variabiliteit als kennisonzekerheid), windrichting, windsnelheid en waterstand (gegeven de afvoer). Deze onzekerheden zijn verdisconteerd (‘uitgeïntegreerd’) in de berekening van de overstromingskans (zie Stijnen et al., 2002; en Kok et al., 2003a);
- Er is uitgegaan van feitelijke dijkhoogtes volgens het DWW-dijkhoogtebestand, versie 0.3, 16 december 2002;
- Voor de teenhoogtes van de dijken is gebruik gemaakt van informatie uit Baseline (1998). De teenhoogtes zijn gebruikt om in afhankelijkheid van waterstanden, windrichting en windsnelheid de golfperiode en golfhoogtes aan de dijk uit te rekenen;
- Er is aangenomen dat alle dijken van dezelfde standaardconstructie zijn, met een helling van het buitentalud van 1 op 3 (zie ook Stijnen et al., 2002).

¹ Merk op dat bij de overstromingskansen in de tabellen uit Hoofdstuk 6 van het rapport van Kok et al. (2003a) nog géén rekening is gehouden met deze 25%. Dit percentage is pas toegevoegd bij de berekening van de baten in Hoofdstuk 7.

Omdat we hier slechts geïnteresseerd zijn in ordegroottes voor de overstromingskansen zijn de resultaten van de verkennende beleidsanalyse (Kok et al., 2003a-c) afgerond op 100-tallen. In de volgende paragrafen is op basis van de resultaten uit deze studie een schatting gemaakt van de overstromingskansen voor de onderzochte dijkringen.

Huidige situatie (mechanisme ‘overloop/overslag’)

We geven hier eerst de overstromingskansen voor de dijkringen langs de Rijntakken, zoals deze te vinden zijn in Tabel D-1 van het Bijlagenrapport van Kok et al. (2003c) (Tabel 2-5). Voor de Maas zijn soortgelijke berekeningen gemaakt, die zijn gerapporteerd in Tabel E-1 in het bijlagenrapport van Kok et al. (2003c) (2-6). Bij deze berekeningen is uitgegaan van een fysisch maximum op de Boven-Rijn van 18.000 m³/s en voor de Maas van 4600 m³/s (Ogink en Barneveld, 2002; Goudriaan et al., 2003). In de derde kolom van beide tabellen is expliciet gemaakt wat de consequenties zijn van het meenemen van de bijdrage van de overige faalmechanismen (25% toename in overstromingskansen).

Tabel 2-5: Berekende overstromingskansen per dijkkring, aangepast naar Kok et al. (2003c; Tabel D-1). Het fysisch maximum op de Boven-Rijn is gelijk aan 18.000 m³/s.

Dijkkringnummer	Dijkkringnaam	Overstromingskans overloop/overslag	Overstromingskans alle faalmechanismen (× factor 1,25)
38	Bommelerwaard	1 / 1000	1 / 800
41	Land van Maas en Waal	1 / 1800	1 / 1400
42	Ooij en Millingen	1 / 1300	1 / 1000
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1 / 800	1 / 600
44	Kromme Rijn	1 / 19000	1 / 15200
45	Gelderse Vallei	1 / 7800	1 / 6200
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1 / 4100	1 / 3300
48	Rijn en IJssel	1 / 1800	1 / 1400
49	IJsselland	1 / 400	1 / 300
50	Zutphen	1 / 400	1 / 300
51	Gorssel	1 / 200	1 / 200
52	Oost-Veluwe	1 / 1200	1 / 1000
53	Salland	1 / 400	1 / 300

Tabel 2-6: Berekende overstromingskansen per dijkkring, aangepast naar Kok et al. (2003c; Tabel E-1). Het fysisch maximum op de Maas is gelijk aan 4600 m³/s.

Dijkkringnummer	Dijkkringnaam	Overstromingskans overloop/overslag	Overstromingskans alle faalmechanismen (× factor 1,25)
36	Land van Heusden / De Maaskant	1 / 400	1 / 300
38	Bommelerwaard	1 / 1400	1 / 1100
41	Land van Maas en Waal	1 / 1000	1 / 800

Wat opvalt is de grote spreiding aan uitkomsten voor dijkringen waarvoor in principe dezelfde veiligheidsnormen gelden. Omdat met actuele dijkhoogten is gerekend, komt de aanwezige overhoogte rechtstreeks terug in de overstromingskansen. De dijken langs dijkkring 44 hebben bijvoorbeeld veel overhoogte en bijgevolg een kleine overstromingskans. De dijkringen langs de IJssel daarentegen worden gekenmerkt door grotere overstromingskansen. Op deze rivier is sprake van een grote onzekerheid in de waterstanden (de dijkkringgebieden liggen immers benedenstrooms van twee splitsingspunten), die zijn verdisconteerd in de berekende overstromingskansen.

Zoals reeds geconstateerd in paragraaf 2.1.3 is er op het moment sprake van een relevant fysisch maximum aan de afvoer van de Rijn, dat wordt bepaald door de dijkhoogten in Nordrhein-Westfalen. Daardoor is het huidige fysisch maximum 16.000 m³/s voor de Rijn (Dijkman et al., 2003). In de bundel met memoranda die horen bij de verkennende beleidsanalyse (Duits & Stijnen, 2003) zijn voor deze afvoer resultaten gegeven. Daarbij is echter nog geen rekening gehouden met actuele dijkhoogten.

Voor de onderhavige studie zijn de actuele dijkhoogten alsnog gecombineerd met het fysisch maximum van 16.000 m³/s op de Boven-Rijn (Tabel 2-7) In de derde kolom is weer expliciet gemaakt wat de consequenties zijn van een bijdrage van overige faalmechanismen van 25% toename van de overstromingskansen.

Uit de berekeningen blijkt dat de verwachting ten aanzien van de fysisch maximaal mogelijke afvoer heel belangrijk is, want vergelijking van de waarden in Tabel 2-7 met die in Tabel 2-5 leert dat de doorwerking op de overstromingskansen in sommige gevallen groot is (tot factor 8 voor bijvoorbeeld dijkkring 47).

Tabel 2-7: Berekende overstromingskans per dijkkring, gebaseerd op de resultaten uit de bijbehorende bundel met memoranda uit de verkennende beleidsanalyse (Duits & Stijnen, 2003), met een fysisch maximum op de Boven-Rijn van 16.000 m³/s en actuele dijkhoogtes.

Dijkkringnummer	Dijkkringnaam	Overstromingskansen overloop/overslag	Overstromingskansen alle faalmechanismen (× factor 1,25)
38	Bommelerwaard	1 / 1300	1 / 1000
41	Land van Maas en Waal	1 / 4200	1 / 3400
42	Ooij en Millingen	1 / 2000	1 / 1600
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1 / 800	1 / 600
44	Kromme Rijn	1 / 150.000	1 / 120.000
45	Gelderse Vallei	1 / 92.000	1 / 73.600
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1 / 32.000	1 / 25.600
48	Rijn en IJssel	1 / 3800	1 / 3000
49	IJsselland	1 / 400	1 / 300
50	Zutphen	1 / 400	1 / 300
51	Gorssel	1 / 200	1 / 200
52	Oost-Veluwe	1 / 1500	1 / 1200
53	Salland	1 / 500	1 / 400

2.3.5 Vaststellen bandbreedtes

Voor de overstromingsberekeningen in de verschillende rapporten zijn vele aannames gedaan. Deze aannames hebben grote consequenties voor de berekende overstromingskansen. Met andere woorden: de resultaten van de berekeningen zijn gevoelig voor de aannames. Zowel door de TAW (2000) als door Kok et al. (2003c) zijn gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd om de gevolgen van de afzonderlijke aannames en combinaties ervan voor de berekende overstromingskansen kwantitatief vast te stellen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de invloed van het wel of niet als kerend beschouwen van de waakhoogte, de grootte van het kritieke overslagdebiet voor het bezwijken door overslag, e.d.

Sommige gevoeligheden leiden tot kleinere overstromingskansen, andere juist tot grotere overstromingskansen. Met gevoeligheidsberekeningen kunnen we per gebiedstype een onder- en een bovengrens berekenen voor de overstromingskansen. Merk op dat we het hier hebben over 'uitgeïntegreerde' kansen: er is steeds expliciet rekening gehouden met verschillende onzekerheidsbronnen. De resulterende onder- en bovengrenzen zijn géén betrouwbaarheidsintervallen, maar geven uitkomsten weer bij iets andere uitgangspunten.

We verwerken daartoe de resultaten van de boven genoemde gevoeligheidsanalyses als volgt:

- Uit het achtergrondrapport van de TAW (2000) volgt dat de effecten van het meenemen van onzekerheden groot kunnen zijn. Er is geconstateerd dat de overstromingskansen als volgt veranderen (waarbij nog *geen* rekening is gehouden met de aanname dat lokaal de zwakste schakels reeds versterkt zijn):
 - Hoeksche Waard: toename met een factor 5 (1/4000)
 - Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden: toename met een factor 3 (1/100)
 - Groningen en Friesland: toename met een factor 6 (1/700)
 - Centraal-Holland: afname met een factor 5 (1/10000)Om consistent te geraken met de gevoeligheden die in andere studies zijn bepaald (zie de twee punten hieronder) nemen we hier aan dat de overstromingskansen *een factor 3 groter of kleiner* kunnen worden door andere aannames;
- Door een vergroting van het kritieke overslagdebiet van 1 l/s/m naar 10 l/s/m worden de overstromingskansen ongeveer een factor 1,6 kleiner. Dit volgt uit een vergelijking van Tabel 6-4 uit het Rijntakkenrapport (Kok et al., 2003a) met Tabel D-1 uit het Bijlagenrapport (Kok et al., 2003c). In de praktijk worden vaak nog grotere waarden van het kritieke golfoverslagdebiet gevonden. We concluderen dat de overstromingskansen in de praktijk wel eens een *factor 3 kleiner* kunnen worden. Het effect van golven wordt dan steeds minder belangrijk en de overstromingskansen worden voor het grootste gedeelte bepaald door de waterstand. Merk op dat door de TAW (2000) gerekend wordt met een kritiek overslagdebiet van 50 l/s/m. De ondergrens in de overstromingskansen voor deze aanname is voor de door de TAW onderzochte dijkringen dus reeds verdisconteerd;
- Door de waakhoogte als niet volledig kerend te beschouwen, maar slechts voor de helft, nemen de overstromingskansen ongeveer met een factor 1,25 toe. Ook dit volgt uit een vergelijking van Tabel 6-4 uit het Rijntakkenrapport (Kok et al., 2003a) met Tabel D-1 uit het Bijlagenrapport (Kok et al., 2003c). Als de waakhoogte in zijn geheel als niet kerend wordt beschouwd, kunnen de overstromingskansen wel een *factor 2 tot 3 groter* uitvallen (zie Stijnen et al., 2002). In het TAW-rapport wordt de waakhoogte als volledig kerend beschouwd voor het mechanisme overloop en golfoverslag, maar omdat ook gewerkt is met mechanismen als *piping* en afschuiving, worden de door TAW berekende overstromingskansen minder gevoelig geacht voor deze aanname.

Ter illustratie geven we de bepaling van de bandbreedtes voor enkele dijkringen:

- **Centraal-Holland:** De in TAW (2000) gerapporteerde kans van 1/75.000 kan ook best een factor 3 kleiner of groter zijn. De overstromingskansen uit deze rapportage worden niet gevoelig geacht voor het kerend zijn van de waakhoogte en het kritieke overslagdebiet (zie punt 2 en 3 hierboven). De ondergrens is dus 1/225.000 per jaar en de bovengrens 1/25.000 per jaar.
- **Friesland en Groningen:** De door de TAW (2000) gerapporteerde overstromingskans na versterking van de zwakke plekken is 1/9000 per jaar. Hier geldt dezelfde redenering als bij Centraal-Holland: de ondergrens is dus 1/27.000 per jaar en de bovengrens 1/3000 per jaar.

- **Rijn en IJssel:** De verwachting voor dit dijkringgebied is 1/3000 per jaar (Kok et al., 2003). Bij een fysisch maximum van 18.000 m³/s op de Boven-Rijn – hetgeen momenteel 16.000 m³/s is – neemt deze kans toe tot 1 / 1400 per jaar. Als we ook de gevoeligheid voor de waakhoogte in ogenschouw nemen, kan deze kans nog verder toenemen tot ongeveer 1/500 per jaar. De gevoeligheid voor het kritieke overslagdebiet werkt in omgekeerde richting met een factor 3 en ook een overstromingskans van 1/9000 per jaar is dus mogelijk. De ondergrens is dus 1/9000 per jaar en de bovengrens 1/500 per jaar.

2.3.6 Overzicht berekende overstromingskansen en bandbreedtes

In Tabel 2-8 is een overzicht gegeven van bandbreedtes rond de overstromingskansen die zijn gebaseerd op de resultaten uit eerder uitgevoerde onderzoeken.

Tabel 2-8: Verzameltabel van de in de literatuur en hierboven berekende overstromingskansen, inclusief berekende bandbreedtes (BER: benedenrivierengebied; BOR: bovenrivierengebied).

Dijkring nummer	Dijkringnaam	Gebieds type	Berekende overstromingskans	Ondergrens overstr. kans	Bovengrens overstr. kans
6	Friesland en Groningen	Kust	1 / 9000	1 / 27.000	1 / 3000
14	Centraal Holland	Kust	1 / 75.000	1 / 225.000	1 / 25.000
21	Hoeksche Waard	BER	1 / 20.000	1 / 60.000	1 / 7000
36	Land van Heusen / de Maaskant	BOR	1 / 300	1 / 900	1 / 100
38	Bommelerwaard	BOR	1 / 1000	1 / 3000	1 / 700
41	Land van Maas en Waal	BOR	1 / 700	1 / 2100	1 / 200
42	Ooijpolder	BOR	1 / 1600	1 / 4800	1 / 500
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerw	BOR	1 / 600	1 / 1800	1 / 100
44	Kromme Rijn	BOR	1 / 120.000	1 / 120.000	1 / 19.000
45	Gelderse Vallei	BOR	1 / 73.600	1 / 73.600	1 / 7800
47	Arnhemse- en Velpsebroek	BOR	1 / 25.600	1 / 25.600	1 / 4100
48	Rijn en IJssel	BOR	1 / 3000	1 / 9000	1 / 500
49	IJsselland	BOR	1 / 300	1 / 1200	1 / 200
50	Zutphen	BOR	1 / 300	1 / 900	1 / 200
51	Gorssel	BOR	1 / 200	1 / 600	1 / 100
52	Oost-Veluwe	BOR	1 / 1200	1 / 3600	1 / 200
53	Salland	BOR	1 / 400	1 / 1200	1 / 200

Alle volgens methode 2 berekende overstromingskansen met bandbreedtes zijn ook terug te vinden in de overzichtstabel bijlage A, en wel in de kolommen onder resultaten literatuur methode 2.

2.3.7 Extrapolatie naar andere dijkringen

Gezien de grote spreiding in de berekende overstromingskansen per dijkkring is het onmogelijk te komen tot een verantwoorde extrapolatie van de uitkomsten. Daarvoor is de gevoeligheid van de uitkomsten te groot voor met name kennis over de actuele dijkhoogten. En net die kennis ontbreekt van de overige dijkringen. We zien daarom af van een extrapolatie *sensu stricto* (maar zie paragraaf 2.4 over *defaults*).

2.4 Confrontatie uitkomsten en eindoordeel

De kansentabel (bijlage A) geeft de resultaten van beide methoden voor het schatten van de overstromingskansen per dijkkring in verschillende kolommen weer. Op beide resultaten baseren we een eindoordeel over de overstromingskansen en de bijbehorende bandbreedtes voor die dijkringen waarvoor hetzij berekeningsresultaten beschikbaar waren, hetzij voldoende gegevens om de redeneringsmethode met enige betrouwbaarheid te kunnen doorlopen, danwel beide.

2.4.1 Vergelijking uitkomsten methoden 1 en 2

Van de dijkringen waarvoor beide methoden een schatting opleveren staan de resultaten ter vergelijking in Tabel 2-9.

Tabel 2-9 Resultaten van de geschatte overstromingskans volgens methode 1 en de berekende overstromingskans volgens literatuur (of aangepast aan andere aannames en uitgangspunten; methode 2) voor dijkringen waarvoor beide beschikbaar zijn. Aannames voor beide zijn: wel fysisch maximum aan rivierafvoer, geen systeemwerking.

Dijkkring-nummer	Dijkkringnaam	Normfrequentie overschrijding toetspeil	Methode 1	Methode 2
14	Centraal-Holland	1 / 10.000	1/ 100.000	1/ 75.000
21	Hoeksche Waard	1 / 2000	1 /10.000	1/ 20.000
38	Bommelerwaard	1 / 1250	1/ 20.000	1/ 1000
41	Land van Maas en Waal	1 / 1250	1/ 400	1/ 700
424	Ooij en Millingen	1 / 1250	1/ 20.000	1/ 1600
43	Betuwe	1 / 1250	1/ 600	1/ 600
44	Kromme Rijn	1 / 1250	1/ 270.000	1/ 120.000
45	Gelderse Vallei	1 / 1250	1/ 270.000	1/ 73.600
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1 / 1250	1/ 270.000	1/ 25.600
48	Rijn en IJssel	1 / 1250	1/ 400.000	1/ 3000
49	IJsselland	1 / 1250	1/ 2200	1 /300
50	Zutphen	1 / 1250	1/ 2200	1/ 300
51	Gorssel	1 / 1250	1/ 1250	1/ 200
52	Oost Veluwe	1 / 1250	1/ 4000	1/ 1200
53	Salland	1 / 1250	1/ 7000	1/ 400

Voor sommige dijkringen komen de schattingen redelijk bij elkaar in de buurt, maar er zijn ook grote verschillen.

Op de verschillen gaan we nader in:

- Over de gehele linie geldt dat de volgens methode 2 berekende kansen vaker groter zijn dan kleiner dan die volgens methode 1. Dat is het gevolg van de methode, waarbij door het uitintegreren van onzekerheden ten aanzien van aannames deze onzekerheden in de meeste gevallen leiden tot een grotere kans. In methode 1 zijn de beredeneerde kansen daardoor kleiner, maar de bandbreedtes eromheen groter;
- Voor de Bommelerwaard zit het verschil in de mate van verwachting of het fysisch maximum van de Rijnafoer de overstromingskans bepaalt of niet. De verschillende waarden berusten grotendeels op de aangenomen actuele dijkhoogte op het kritieke dijktraject. Er is van verschillende gegevensbestanden uitgegaan;
- Voor zowel Ooij & Millingen, Arnhemse- en Velperbroek, als Rijn & IJssel heeft het fysische maximum van de Rijnafoer volgens beide methoden invloed op de overstromingskans, maar Methode 2 schat dit effect veel kleiner, omdat onzekerheden hieromtrent in de berekende kans zijn verdisconteerd. Ook hier berusten verschillen deels op verschillen in gebruikte gegevens over actuele dijkhoogten;
- Voor de dijkringen langs de IJssel (47-53) zijn volgens Methode 1 de overstromingskansen structureel kleiner dan volgens Methode 2. Deels komt dit door de aangenomen actuele dijkhoogten, maar voor het grootste deel wordt het verschil veroorzaakt door de relatief grote invloed van onzekerheden in de hydraulische belasting op de overstromingskansen aan de IJssel, die in Methode 2 zijn verdisconteerd in de kansberekening.

2.4.2 Invloed systeemwerking

Alle hiervoor in dit rapport gegeven overstromingskansen voor het rivierengebied negerden systeemwerking binnen het Nederlandse bovenrivierengebied. Wel is rekening gehouden met systeemwerking door het overlopen van dijken in het buitenland, want er is uitgegaan van een maximale afvoer van de Boven-Rijn bij Lobith doordat de Duitse dijken overlopen, en een maximale afvoer naar de bedijkte Maas door het overstromen van de dijk langs het Belgische mijnverzakkingsgebied.

Binnen Nederland zou een vergelijkbare systeemwerking kunnen optreden als alle dijkringen langs de bovenrivieren een gelijke kans op overstroming zouden kennen. Dat bleek in het voorgaande juist niet het geval. Het is zelfs zo dat de dijkringen die vanuit een nationaal veiligheidsperspectief bij voorkeur eerder zouden moeten overstromen (Ooijpolder en Rijn & IJssel; beide voorgesteld als noodoverloopgebieden) een kleinere overstromingskans hebben dan de kwetsbare Betuwe. In plaats van een verhoopte systeemwerking is hier het tegendeel het geval: door de hoge dijken langs Ooijpolder en Rijn & IJssel loopt de Betuwe meer gevaar. Overigens zijn er ook verscheidene voorbeelden waar het tegendeel geldt: zo hebben de dijkringen Gelderse Vallei en Kromme Rijn zeer hoge dijken en ook nog eens baat van de lagere dijken langs de dijkringen stroomopwaarts. De kans op overloop wordt voor die dijkringen door systeemwerking alleen nog maar kleiner.

Voor het vormen van een eindoordeel is in Bijlage A een kolom 'invloed systeemwerking' opgenomen, waarin is aangegeven of en in hoeverre er een afname van de overstromingskans door systeemwerking (tegenkoppeling) kan worden verwacht. Dit is betrokken bij het vormen van een eindoordeel.

2.4.3 Eindoordeel

Ons eindoordeel (bijlage A, kolom(men) eindoordeel) volgt niet volgens strikte rekenregels uit de gegeven getalswaarden e/of redenering. Daarvoor ontbreken teveel gegevens en zijn de onzekerheden te groot. Daarom combineren we de resultaten uit beide methoden naar eigen inzicht. Hierbij proberen we wel systematisch te werk te gaan volgens de volgende richtlijnen:

- We formuleren ons eindoordeel in 'orde van grootte', namelijk als kansen van 1 gedeeld door 1, 2 of 5 maal 10^n ;
- We houden de volgende prioriteitenlijst aan voor de te maken keuzes en afrondingen:
 1. de schatting op basis van de berekeningen uit de beleidsstudie;
 2. de schatting op basis van de redenering *cf.* Methode 1;
 3. de schatting volgens TAW.
- Het deskundigenoordeel over de onvoldoende sterkte van de waterkeringen en onze beoordeling van de mogelijkheid om noodmaatregelen in te zetten gebruiken we alleen om de mate van afronden van de kansschattingen te bepalen.
- Voor het bovenrivierengebied betrekken we de mogelijke systeemwerking in het eindoordeel, waarbij de ligging van de dijkringen (bovenstrooms respectievelijk stroomafwaarts) en de berekeningsresultaten voor de andere dijkringen langs de betreffende rivier(tak) worden meegewogen.

2.4.4 Defaults?

Voor dijkringen waarvoor onvoldoende gegevens ter beschikking stonden, kon geen kans worden beredeneerd volgens methode 1. En ook extrapolatie van de uitkomsten van methode 2 is alleen mogelijk als er gegevens zijn over die factoren waarvoor de kansberekening zeer gevoelig is, bijvoorbeeld dijkhoogtes. Ook dat bleek onmogelijk bij gebrek aan gegevens.

Daarmee is het feitelijk onmogelijk om over de overige dijkringen een gefundeerde uitspraak te doen. Omdat het voor een overzicht over Nederland (en de verschillen daarbinnen) toch gewenst is voor *alle* dijkringen over een overstromingskans te beschikken, hebben we gemeend defaults te mogen genereren op basis van:

- de geldende veiligheidsnorm;
- de ligging in Nederland (gebiedstypen); en
- de in het voorafgaande beredeneerde overstromingskans en bandbreedte voor de voor die gebiedstypen representatieve dijkringen.

De redenering hierachter is dat de overstromingskans in hoofdzaak wordt bepaald door de hydraulische belasting en dat de waterkeringen daaraan zijn aangepast.

In het bovenrivierengebied (BOR) zijn de rivierafvoeren dus bepalend voor de hydraulische belasting, terwijl langs de kust juist stormvloed bepalend is. En we nemen dus tevens aan dat de primaire waterkeringen in hetzelfde watersysteem ongeveer eenzelfde sterkte hebben en slechts verschillen qua hoogte. Die hoogte is direct gerelateerd aan de geldende norm (Figuur 2-1).

De defaults (gegeven in bijlage A) zijn als volgt beredeneerd:

- In principe:
 - *bovengrens* overstromingskans = 2-3 maal groter dan de kans op overschrijding van de *norm* voor maatgevende omstandigheden, vanuit de gedachte dat de dijken de maatgevende belasting met 90% zekerheid moeten kunnen keren (men zou kunnen zeggen: bij wet vastgelegd) – dat is dus geen 100 % – en dat bovendien het verdisconteren van onzekerheden blijkt te leiden tot een grotere kans (zie berekeningsresultaten methode 2);
 - *meest waarschijnlijke* overstromingskans: 2-3 x kleiner dan de kans op overschrijding van de norm, op grond van de bevinding dat – waar de waterkeringen voldoen aan de normen – de overstromingskans over het algemeen enkele malen kleiner is dan de kans op overschrijding van die norm (en omdat de waterkeringen op in ieder geval de maatgevende omstandigheden worden ontworpen, met eerder overmaat dan ondermaats);
 - *ondergrens* overstromingskans: nog eens 10 keer zo klein, vanwege het feit dat de harde waterkeringen zijn overbemeten (onbekend hoeveel) en mogelijk niet bezwijken en de duinen mogelijk ook een veel grotere afslag kunnen weerstaan voor er werkelijk een grote bres en een oncontroleerbare situatie ontstaat.
- Zo resulteren kansen en bandbreedtes die qua orde van grootte redelijk aansluiten bij de eendoordelen voor vergelijkbare dijkringen, waarvan de dijken niet te laag of de duinen te zwak zijn.
- Vervolgens is de *waarschijnlijke* overstromingskans *vergroot* (factor 2-5) als er hoogtetekorten of soortgelijk bekend zijn (uit de Toetsing danwel Verkenning zwakke schakels kust).
 - En waar de maatgevende condities verzaagd zijn (bovenrivierengebied) zijn zowel de waarschijnlijke kans als de onder- en bovengrens met een factor 2 *vergroot* (behalve waar een fysisch maximum van toepassing is).

Aldus ontstaan defaultwaarden met een bandbreedte van factor 2-5 aan de bovenkant (grote kansen) en een factor 10 aan de onderkant (kleine kans dat een overlopende waterkering niet bezwijkt). Dat doet enigszins recht aan het feit dat het uitintegreren van kansen in de praktijk vaak leidt tot een enigszins scheve verdeling, waarin het zwaartepunt vaker dichterbij de bovengrens dan bij de ondergrens ligt.

Let wel: het gaat om *defaults* en niet om extrapolaties; maar de gegeven waarden zijn qua orde van grootte wel vergeleken met de beredeneerde en berekende waarden. Voor de dijkringen waarvoor alleen defaults beschikbaar zijn, zijn de waarden in bijlage A in aparte kolom(men) geplaatst. *Gebruik hiervan wordt afgeraden* voor andere doeleinden dan het maken van globale overzichten van overstromingsrisico's in relatie tot andere (externe) veiligheidsdomeinen.

2.4.5 Doorkijk 'situatie op orde', *casu quo* toekomstige situatie

De vraag hoe de overstromingskansen zouden zijn als de situatie op orde is, vergt wederom dat een reeks aannamen wordt gedaan. Zo kan men voor de Nederlandse waterkeringen aannemen dat:

- de hoogte van alle harde keringen precies voldoet aan de daarvoor gestelde eisen in de Wet op de Waterkering (hetzij door versterking, hetzij – in het rivierengebied – door rivierverruiming);
- de duinen voldoende zandvolume bevatten en eveneens aan de daarvoor gestelde eisen voldoen.

In het eerste punt hierboven staat: 'precies voldoen'. Dat betekent dat zou worden aangenomen dat dijken die nu hoger zijn dan nodig, verlaagd worden, of dat rivierverruiming achterwege blijft. Dat lijkt in de praktijk weinig waarschijnlijk. Zo zijn op het moment de rivierdijken van de Gelderse Vallei en het Kromme-Rijngebied hoger dan nodig. Daardoor loopt het water eerder aan de Betuwse kant over de dijken langs de Neder-Rijn, dan aan de noordkant. Belangrijker is dit punt echter voor de dijkringen Ooij & Millingen en Rijn & IJssel. Deze hebben langs de Boven-Rijn nu zulke hoge dijken dat ze een kleinere kans op overlopen hebben dan de dijken van de Betuwe bovenstrooms van Nijmegen en Arnhem. Die laatste situatie is tegengesteld aan wat vanuit een gedachte van systeemwerking en differentiatie van veiligheidsnormen wenselijk lijkt. Desalniettemin is het weinig waarschijnlijk dat de dijken hier verlaagd zullen worden, tenzij in het geval van een aanwijzing vanuit het beleid inzake noodoverloopgebieden (zie hieronder).

Er moeten vervolgens ook aannamen worden gedaan over de maximale afvoer op de rivieren en de stand van de zeespiegel (en hoe dat weer doorwerkt op de golfbelasting). Voor de Rijn is aannemelijk (Dijkman et al., 2003) dat in Nordrhein-Westfalen de lopende dijkversterking het mogelijk maakt dat maximaal 18.000 m³/s ons land tussendijks kan bereiken, in plaats van de huidige 16.000 m³/s.

Tenslotte is de vraag relevant of noodoverloopgebieden worden ingesteld of niet, en met welke capaciteit.

Omdat over de toekomst dus veel onzeker is, wordt hier slechts *bij wijze van gevoeligheidsbepaling* een doorkijkje gepresenteerd voor de dijkringen langs de Rijntakken, waarbij dezelfde berekeningswijze is aangehouden als hiervoor in paragraaf 2.3.4.

Berekeningen rivierengebied 'volgens de Wet op de Waterkering'

We richten ons hier nogmaals op de onderzochte dijkringen langs de Rijntakken. We gaan daarbij uit van de volgende aannamen:

- Het fysisch maximum van de Boven-Rijn is 18.000 m³/s;
- Het project Ruimte voor de Rivier is uitgevoerd en de rivieren zijn aangepast aan de nieuwe maatgevende afvoeren door rivierverruiming. Dit houdt in dat alle dijkhoogtes minimaal gelijk zijn aan het toetspeil (voor de periode 2001-2006; DWV et al., 2001) plus waakhogte;
- We gaan er van uit dat bestaande dijken met overhoogte *niet* worden verlaagd.

Op basis van de resultaten uit Tabel 6-4, Tabel 6-5 en Tabel D-2 uit de beleidsanalyse van Kok et al. (2003a en 2003c) vinden we de resultaten die in Tabel 2-10 hieronder zijn weergegeven.

Tabel 2-10: Berekende overstromingskansen per dijkkring, gebaseerd op de resultaten uit de bundel met memoranda bij de verkennende beleidsanalyse (Duits en Stijnen, 2003). Het fysisch maximum op de Boven-Rijn is gelijk aan 18.000 m³/s. In de derde kolom is expliciet gemaakt wat de consequenties zijn van het meenemen van een bijdrage van overige faalmechanismen van 25 %.

Dijkkring-nummer	Dijkkringnaam	Overstromingskansen Overloop/overslag	Overstromingskansen Alle faalmechanismen (× 1,25)
38	Bommelerwaard	1 / 1700	1 / 1400
41	Land van Maas en Waal	1 / 2400	1 / 1900
42	Ooij en Millingen	1 / 2100	1 / 1700
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1 / 1100	1 / 900
44	Kromme Rijn	1 / 150.000	1 / 120.000
45	Gelderse Vallei	1 / 93.000	1 / 74.000
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1 / 6100	1 / 4900
48	Rijn en IJssel	1 / 2100	1 / 1700
49	IJsselland	1 / 1300	1 / 1000
50	Zutphen	1 / 1400	1 / 1100
51	Gorssel	1 / 700	1 / 600
52	Oost-Veluwe	1 / 2700	1 / 2200
53	Salland	1 / 2400	1 / 1900

Vergelijking van deze resultaten met die in Tabel 2-5 leert dat de overstromingskansen ‘in de toekomst’ over de hele linie afnemen, omdat de waterstanden door rivierverruiming worden verlaagd tot (onder) het toetspeil 1996.

Doorkijk in algemene zin

Uit de berekeningen kan worden afgeleid dat voor het rivierengebied de fysisch maximale afvoer een zeer belangrijke factor is: hogere fysische maxima kunnen de overstromingskans met een factor 10 doen toenemen, omdat het huidig fysisch maximum van zowel Rijn als Maas zich *net rond de maatgevende* afvoer bevindt.

Verder blijkt zeer bepalend voor de overstromingskansen of dijken precies voldoen aan de vereisten, of hoger zijn. En specifiek in het rivierengebied geldt dan ook nog dat de interactie tussen diverse dijkringen (systeemwerking) de kansen gemakkelijk met een factor 2 of meer kan beïnvloeden. Veel hangt dan ook af van aannames betreffende andere dijkringen dan de dijkkring in kwestie.

2.5 Discussie

2.5.1 Overstromingskansen: opvallende uitkomsten

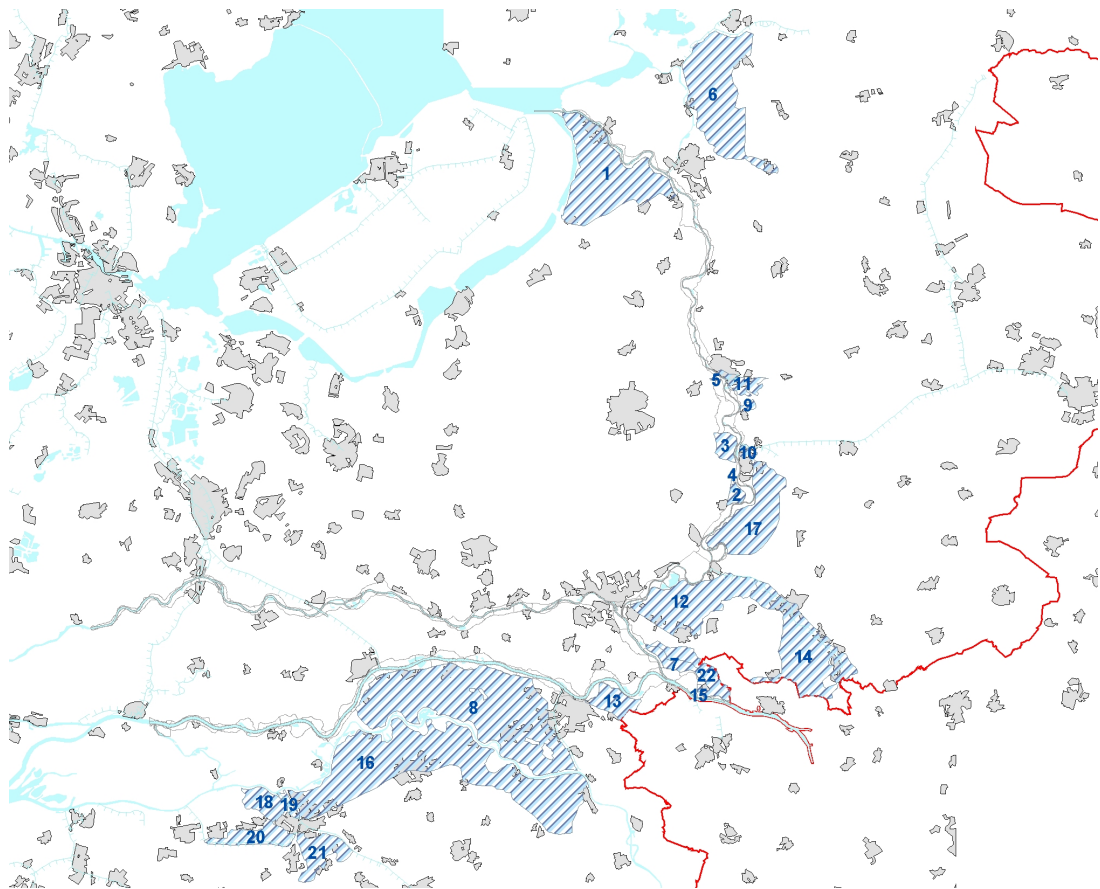
Ondanks de vele onzekerheden (zie hieronder in paragraaf 2.5.3) zijn toch enkele opmerkingen met grote zekerheid te maken:

- Voor Mastenbroek, IJsseldelta, Kromme Rijn en Gelderse Vallei is de kans op een overstroming vanuit het rivierengebied erg klein, waarmee de dreiging uit het merengebied komt;
- De Betuwe (met Tieler- en Culemborgerwaarden) heeft naar maatstaven voor de bovenrivieren een relatief grote kans op een overstroming, mede doordat de maatgevende rivierafvoer recentelijk is verhoogd en de waterkeringen (c.q. het rivierbed) daarop nog niet zijn aangepast. Doordat juist de bovenstrooms gelegen dijkringen Rijn & IJssel respectievelijk Ooij & Millingen relatief hoge dijken hebben, heeft de Betuwe ook geen voordeel van systeemwerking.

2.5.2 Gelijktijdige overstroming van meer dan één dijkkring

Bij de vraag hoe groot de kans is op een overstroming per individuele dijkkring is ook de vraag van belang hoe groot de kans is dat meer dijkringen gelijktijdig worden getroffen tijdens een hoogwater of stormvloed. Dat is bepalend voor de totale schade, c.q. het totaal aantal slachtoffers, en dus het totaalrisico van een extreme gebeurtenis. Allereerst kan worden vastgesteld dat de extreme omstandigheden in het rivierengebied en die aan de kust toch wel erg verschillen. Het gaat om stormvloed respectievelijk extreme neerslag in het stroomgebied van de grote rivieren. Naar verwachting treedt dat niet tegelijk op; dat is ook in het verleden niet gebeurd.

Vervolgens kan de vraag hoeveel dijkringen tegelijk kunnen worden getroffen niet eenduidig worden beantwoord. Wel kan worden verwezen naar de ervaringen met de laatste grote overstromingen in 1953 (Zeeuwse en Hollandse kust) en 1926 (rivierengebied; Figuur 2-4). In beide gevallen werden meer dijkringen getroffen, maar niet alle. Voor het rivierengebied kan dat worden toegeschreven aan een zekere systeemwerking (zie Ververs & Klijn, 2004), waarbij in 1926 de Betuwe gespaard bleef, maar Ooij & Millingen, Rijn & IJssel, Land van Maas & Waal, Maaskant en een aantal dijkringen aan de oostzijde van de IJssel werden getroffen. Voor de ruimtelijk gedifferentieerde gevolgen van de stormvloedramp van 1953 zijn zeer veel verschillende oorzaken aanwijsbaar: de dijken waren niet overal even hoog/sterk, soms was sprake van compartimentering, een ontstane bres in dijkkring Zuid-Holland werd met een schip gesloten, maar Texel werd wel getroffen, e.d.



Figuur 2-4 Gebieden (dijkkringen) die in 1926 onder zijn gelopen bij de laatste grote rivieroverstromingen (uit Ververs & Klijn, 2004, naar Departement van Waterstaat, 1926)

In het algemeen kan men zeggen dat een overstromingsramp zelden tot één dijkkring beperkt blijft als de omstandigheden echt extreem zijn, maar de kans dat alle dijkringen in een bepaald invloedsgebied gelijktijdig worden getroffen lijkt daarentegen verwaarloosbaar.

2.5.3 Onzekerheden

De onzekerheid over de geschatte overstromingskansen is erg groot. Deels wordt dit al weerspiegeld in de gegeven bandbreedtes.

Grote onzekerheden bestaan er over de *hydraulische belasting*. In alle gebieden wordt gewerkt met extrapolaties van meetgegevens van circa 100 jaar, waarop uitspraken over omstandigheden worden gebaseerd met kansen van 1/1000 tot 1/10.000 per jaar. Voor het bovenrivierengebied wordt de onzekerheid in deze weer wat kleiner doordat de fysisch maximale afvoer kan worden beredeneerd en ongeveer gelijk is aan de maatgevende afvoer. Zodra dit fysisch maximum en de maatgevende afvoer weer uit elkaar gaan lopen (door de lopende Duitse dijkversterking), neemt de onzekerheid weer toe. Bovendien is over de kans op de maatgevende afvoer al eerder gesteld dat deze beredeneerbaar achterloopt door de invloed van klimaatverandering op het afvoerregime.

Een laatste opmerking in dit verband betreft de 'nieuwe inzichten' ten aanzien van de golfperiode tijdens storm op de Noordzee (TAW, 2002; WL, 2003).

We hebben de indruk dat het nieuwe inzicht niet is dat de golfbelasting met zekerheid significant groter is, maar veeleer dat we nog bij lange na niet genoeg weten, c.q. hebben gemeten, van golven op diep water en op hun weg naar het strand/ de dijk. Dat zou ook kunnen verklaren dat er nog geen grote consequenties in termen van dijkverbeteringswerken aan zijn verbonden.

De *tweede* – en naar ons oordeel mogelijk grootste – bron van onzekerheid betreft de (sterkte en) reststerkte van waterkeringen bij maatgevende en bovenmaatgevende overslagvolumes. Daarover lopen de meningen van deskundigen zeer ver uiteen, en onderzoeksgegevens ontbreken. De uiteenlopende meningen kunnen meestal worden teruggevoerd op persoonlijke (optimist, pessimist) kenmerken en/of maatschappelijke overwegingen (aandacht willen vragen voor het onderwerp versus geen onrust willen veroorzaken). ‘Objectief’ valt er vrijwel niks over te zeggen.

3 Overstromingsverloop

3.1 Inleiding

Voor het bepalen van de economische schade van een overstroming en het aantal slachtoffers als gevolg van een dijkdoorbraak is het nodig om het overstromingsverloop en de resulterende waterdieptes te bestuderen. Voor het schatten van de schades en slachtoffers (hoofdstukken 4 en 5) wordt in eerste instantie uitgegaan van de maximale schade per dijkkring zoals berekend door DWW (DWW, 2003a) en gegevens over de bevolkingsomvang per dijkkring (en waterdiepteklasse). In beide gevallen wordt het overstromingspatroon niet in detail bekeken, maar is uitgegaan van een waterdiepte corresponderend met een waterstand gelijk aan de laagste dijkhoogte (Kok et al, 2002). Ook is er een schadegetal berekend waarbij voor de hellende gebieden die droogvallen bij bovengenoemde waterstand een waterdiepte van 1 m is genomen.

Om de economische schade en het aantal slachtoffers als gevolg van een dijkdoorbraak te bepalen is eerst bekeken of de door DWW (2003a) aangenomen waterdieptes en overstroomde oppervlaktes aansluiten bij de te verwachten overstromingsverlopen bij dijkdoorbraken op verschillende locaties binnen een dijkkring. Dit wordt gedaan door resultaten van bestaande overstromingssimulaties te bekijken of door op basis van hoogte- en landgebruikskaarten de waarschijnlijke overstromingspatronen en de onzekerheid hierin te schatten. Op basis hiervan wordt een indicatie gegeven van de verwachte onder- of overschatting van de schade per dijkkring zoals gerapporteerd door DWW (2003a; zie hoofdstuk 4 en bijlage B). Hierbij wordt systeemwerking buiten beschouwing gelaten. Iets soortgelijks gebeurt voor de schatting van aantallen slachtoffers (zie hoofdstuk 5 en bijlage D).

Vervolgens is op basis van de overstromingspatronen een grove indicatie van mogelijke systeemwerking gegeven, waarmee in dit verband een sneeuwbaaleffect wordt bedoeld: de overstroming van een gebied leidt via de ‘achterdeur’ tot overstroming van aangrenzende dijkringen.

3.2 Wat bepaalt het overstromingsverloop?

Het overstromingsverloop hangt ten eerste af van de doorbraaklocatie en van de hoeveelheid water die het gebied in kan stromen. Verder wordt het bepaald door het reliëf in het gebied en door obstructies en geleidende elementen, zoals dijken, wegen, spoorwegen en waterlopen. Ook het landgebruik kan door verschil in hydraulische ruwheid van invloed zijn op de stroomsnelheid en zo op het overstromingsverloop. Hoge lijnvormige obstructies kunnen een onbedoelde compartimentering betekenen, beperken aldus het overstroomde areaal, en verkleinen de schade.

De invloed van alle obstructies die uiteindelijk wel overlopen en van de ruwheid is vooral te zien in de stroom- en stijgsnelheid en minder in de ‘eindwaterdiepte’.

Daarmee is deze invloed vooral belangrijk voor evacuaties, het aantal slachtoffers en vermijdbare schade (zoals schade aan voertuigen en verplaatsbare inboedel); en minder belangrijk voor de schade aan gebouwen, gewassen, infrastructuur en dergelijke. Aan stroom- en stijgsnelheid wordt hier verder geen aandacht besteed.

De invloed van het overstromingsverloop is samen te vatten in het volgende rijtje factoren:

- locatie van de doorbraak;
- beschikbare hoeveelheid water en bresgrootte;
- helling/reliëf in de dijkkring;
- aanwezigheid van secundaire dijken en andere obstructies.

Deze factoren worden hieronder uitgewerkt. In bijlage C is een overzicht gegeven in de vorm van een tabel voor alle dijkringen. In bijlage B is per dijkkring in telegramstijl een beschrijving gegeven van factoren die de schade beïnvloeden en redenen zijn om de schade zoals gegeven door DWV (2003a) te corrigeren.

3.3 Uitwerking invloedsfactoren

Locatie van de doorbraak

In een aantal dijkringen is de locatie zeer bepalend voor het volume water in het gebied en het overstroomde oppervlak en dus ook voor de schade. Zo loopt de Gelderse Vallei bijvoorbeeld voor een zeer groot deel onder bij een doorbraak van de Grebbedijk langs de Neder-Rijn, terwijl bij een doorbraak van de dijk langs het Eemmeer slechts een klein deel in het uiterste noorden zal vollopen. De verwachte schade is in dat laatste geval dus veel lager. De locatie van de doorbraak is met name van belang voor grote, hellende dijkringen, in het bijzonder als er bedreigingen vanuit verschillende bronnen zijn. Het geldt voor:

- Land van Heusden/ de Maaskant (36)
- Betuwe, Tieler en Culemborgerwaard (43)
- Kromme Rijn (44)
- Gelderse Vallei (45)
- Rijn en IJssel (48)
- Salland (53)

Beschikbare hoeveelheid water en bresgrootte

De hoeveelheid water die naar binnen kan stromen bepaalt of de gehele dijkkring of een gedeelte zal onderlopen. Dit geldt voor een aantal dijkringen langs de zee, waar de instroom beperkt is door de getijdebeweging: bij laagwater zal de instroom (tijdelijk) stoppen of zal het water zelfs naar buiten stromen (bijvoorbeeld Noord-Holland, dijkkring 13). Ook in hellende dijkringen langs de rivier zoals de Betuwe is bij een doorbraak bovenstrooms de waterdiepte in het hellende gebied afhankelijk van hoeveel er door de bres stroomt. Dit hangt af van de bresgrootte en de waterstand en afvoer in de rivier. Kleine dijkringen stromen vaak helemaal vol tot het over de laagste dijk weer begint uit te stromen.

Dijkringen waarbij de bresgrootte en de beschikbare hoeveelheid water bepalend is voor de schade zijn met name:

- Friesland en Groningen (6)
- Noord Oostpolder (7)
- Flevoland (8)
- Vollenhove (9)
- Noord-Holland (13)
- Centraal-Holland (14)
- Lopiker en Krimpener waard (15)
- Land van Heusden/de Maaskant (36)
- Land van Maas en Waal (41)
- Ooij & Millingen (42)
- Betuwe, Tieler en Culemborgerwaard (43)
- Kromme Rijn (44)
- Gelderse Vallei (45)
- Rijn & IJssel (48)

Door de verwachte waterdiepte en de grootte van het overstroomde oppervlak te vergelijken met de door DWW (2003a) aangenomen waterstand, waterdiepte en overstroomde oppervlakken en de landgebruikkaart is een schatting gemaakt van de te verwachten schadereductie (zie bijlagen B en C). Alleen bij de dijkkring Groningen-Friesland en de dijkkring Noord-Holland is voor een doorbraak van een dijk langs het IJsselmeer zeer moeilijk te schatten welk oppervlak zal onderlopen. Het is echter niet waarschijnlijk dat de gehele dijkkring onder zal lopen met slechts het IJsselmeer als bron van water. Om die reden is als bovenschatting de waarde van DWW (2003a) aangenomen en als onderschatting 50% van deze waarde. De invloedsfactor is dus meegenomen door een brede onzekerheidsband te definiëren.

Helling/ reliëf in dijkkring

De helling van een gebied bepaalt mede de overstromingsdiepte en de richting van de stroming over het oppervlak. Een helling kan ook het overstroomde oppervlak beperken, bijvoorbeeld bij een benedenstroomse instroom (zie Betuwe; dijkkring 43). Deze factor hangt nauw samen met de hoeveelheid beschikbaar water en de invloed van de bresgrootte. In hellende gebieden is bij een bovenstroomse doorbraak vaak het schadegetal van DWW (2003a) gebruikt dat uitgaat van een waterdiepte van 1m in het hellende gebied, terwijl bij een benedenstroomse dijkdoorbraak het getal dat uitgaat van een vlakke waterstand gelijk aan de minimale kruinhoogte is gebruikt. Bij de laatste aanname blijft het hoger gelegen gebied in de dijkkring droog. In de tabel in bijlage C is alleen het gebruikte getal van DWW (2003a) per doorbraaklocatie weergegeven.

Dijkringen waar de helling zeer belangrijk is, zijn:

- Land van Heusden/de Maaskant (36)
- Betuwe, Tieler en Culemborgerwaard (43)
- Kromme Rijn (44)
- Gelderse Vallei (45)
- Arnhemse- en Velpsebroek (47)
- Rijn & IJssel (48)
- Zutphen (50)
- Gorssel (51)
- Oost Veluwe (52)
- Salland (53)

Secundaire dijken/ obstructies

Secundaire dijken/ obstructies reduceren in sommige gevallen het overstroomde oppervlak. Ook kan de waterdiepte in bepaalde gebieden groter of kleiner zijn door obstructies zoals dijken en wegen. Zo is het in Zeeland zeer onwaarschijnlijk dat een gehele dijkkring onderloopt omdat een aantal van de talloze secundaire dijken het water zullen tegenhouden en een deel van het gebied zullen beschermen. De dijkringen waarvoor secundaire dijken van belang zijn, zijn:

- Flevoland (8)
- Noord-Holland (13)
- Voorne Putten (20)
- Hoekse Waard (21)
- De Zeeuwse eilanden (Goeree-Overflakkee (25), Schouwen Duivenland (26), Tholen en St. Philipsland (27), Noord Beveland (28), Walcheren (29), Zuid Beveland west (30), Zuid Beveland oost (31), Zeeuwsch Vlaanderen (32), de Kreekrakpolder (33))
- West-Brabant (34)
- Betuwe, Tieler en Culemborgerwaard (43)
- Kromme Rijn (44)
- Gelderse Vallei (45)
- Rijn & IJssel (48)

4 Economische schade

4.1 Aanpak

De schatting van de economische schade door een grootschalige overstroming van alle dijkringen wordt gebaseerd op de getallen die hierover zijn gepubliceerd door de DWW (Holterman et al., 2003).

Om de schades die worden gegeven door de DWW (Holterman et al., 2003) te kunnen evalueren beschrijven we in deze paragraaf eerst de typen schades die op kunnen treden als gevolg van een overstroming. Vervolgens worden factoren die de schade bepalen besproken en wordt aangegeven welke van deze factoren meegenomen zijn door de DWW. Ook wordt besproken wat de invloed is van factoren die niet zijn meegenomen en wordt aangegeven hoe hier in het onderhavige project mee is omgegaan. De invloed van de waterdiepte en het overstromd oppervlak zijn reeds besproken in het voorgaande hoofdstuk.

4.2 Categorieën overstromingsschade

Overstromingsschade kan onderverdeeld worden in verschillende categorieën door onderscheid te maken naar (De Bruijn & Ruijgh, 2003) (zie ook Tabel 4-1):

1. De **oorzaak** van de schade:
 - Schade die ontstaat door het water wordt *directe schade* genoemd.
 - Schade die ontstaat als gevolg van bedrijfsuitval wordt in de internationale literatuur *indirecte* schade genoemd. Wij gaan hier echter uit van de OEEI-leidraad (Eijgenraam, 2002) waarin deze schade benoemd wordt als ‘directe schade door bedrijfsuitval’. Deze term komt ook overeen met de categorieën in de standaardmethode (Kok et al., 2002).
2. Het **gebied** waar de schade optreedt:
 - *Primaire* schade ontstaat in het overstroomde gebied zelf.
 - *Secundaire* schade ontstaat buiten dit gebied, bv. doordat toeleverende bedrijven in het overstroomde gebied stil liggen. In de OEEI-leidraad wordt deze schadecategorie ‘indirecte schade’ genoemd (zie Tabel 4-1).
 - *Geïnduceerde* schade is schade die moeilijk aan een gebied is toe te kennen, zoals kosten van de rijksoverheid voor evacuatie, informatievoorzieningen etc.
3. De mogelijkheid om de schade in **geld** uit te drukken:
 - Monetair waardeerbare schade is schade die in geld uit te drukken is, zoals het instorten van een gebouw.
 - Voorbeelden van niet-monetair waardeerbare schade zijn; slachtoffers, stress bij de bevolking, verlies van voorwerpen met een emotionele waarde zoals foto’s en familie erfstukken, schade aan cultuurgronden en schade aan ecosystemen.

Tabel 4-1 Schadecategorieën en voorbeelden (alleen de vet gedrukte worden meegenomen in de standaardmethode cf. Kok et al., 2002)

Categorie internationaal	<i>OEEI-leidraad</i>	Monetair waardeerbaar	Niet monetair waardeerbaar
Primair direct	<i>Directe schade door beschadiging</i>	Kapitaalgoederen (huizen, akkers, auto's)	Slachtoffers , ecosystemen, cultuur
Primair indirect	<i>Directe schade door bedrijfsuitval</i>	Inkomstenderving, productieverlies in het overstromde gebied	Sociale ontwrichting, emotionele schade
Secundair	<i>Indirecte schade</i>	Productieverliezen buiten overstromd gebied	Verdriet, schade aan ecosystemen buiten overstromd gebied
Geïnduceerd		Noodhulp, evacuatie	Evacuatiestress

DWW (Holterman et al., 2003) vond een verdeling van de schade over de verschillende categorieën van 95 % primair direct, 4 % primair indirect en 1 % geïnduceerde schade. In het vervolg van deze tekst wordt de terminologie van de standaardmethode en de OEII leidraad (Eijgenraam et al., 2002) gevolgd.

4.3 Factoren die de schade beïnvloeden

Factoren die de schade kunnen beïnvloeden kunnen verdeeld worden in factoren die de vermijdbare directe schade beïnvloeden en factoren die de overige (onvermijdbare) schade beïnvloeden.

Factoren die de vermijdbare directe schade kunnen beïnvloeden zijn: ervaring met overstromingen, voorbereiding (aanwezigheid van effectieve noodplannen, duidelijke procedures en afspraken over verantwoordelijkheden etc), afvoervoorstellingen en tijdige waarschuwing, etc. In Nederland zijn de afgelopen 50 jaar geen grootschalige overstromingen opgetreden als gevolg van dijkdoorbraken; daarom kan er vanuit gegaan worden dat factoren als voorbereiding en ervaring geen schade-reducerende werking hebben. De invloed van de ervaring opgedaan tijdens de evacuatie van 1995 langs de Rijn, en de invloed van goede waarschuwingen en voorstellingen wordt hier als verwaarloosbaar beschouwd. Voor meer informatie over het effect van ervaring en voorbereiding op overstromingsschade wordt verwezen naar De Bruijn & Den Heijer (2001).

Factoren die de directe en/ of indirecte onvermijdbare schade beïnvloeden zijn (De Bruijn & Ruijgh, 2003):

- Factoren die met de overstroming zelf te maken hebben: maximale waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid, storm, duur van de overstroming. In het schademodel kunnen al deze factoren worden meegenomen, alleen voor de overstromingsduur zijn aannames gedaan in de kentallen voor de directe schade door bedrijfsuitval en in die voor de indirecte schade;
- Andere fysische factoren: seizoen, tijdstip van de dag/ week, temperatuur, zoutgehalte, verontreinigingen, waterkwaliteit (niet inbegrepen in het schademodel);

- Sociaal-economische factoren: landgebruik, economische en infrastructurele relatie met andere gebieden, waarschuwingstijd, waarschuwingsefficiëntie, noodmaatregelen, gedrag van mensen, evacuatieplannen (hiervan is het landgebruik meegenomen in de getallen van DWW).

Van deze lijst zijn de factoren die te maken hebben met de overstroming zelf en het landgebruik meegenomen in de standaardmethode (Kok et al., 2002). De factoren zijn niet allemaal even belangrijk en de relatie tussen deze factoren en de resulterende schade is niet eenduidig. In de volgende paragraaf wordt beschreven hoe de schade in de standaardmethode berekend wordt en hoe deze factoren meegenomen worden.

4.4 Schadeberekening in de standaardmethode

De standaardmethode (Kok et al., 2002) is gericht op de berekening van de monetaire directe schade en indirecte schade en het aantal slachtoffers. De schade van ieder object wordt berekend door de maximale schade per object te vermenigvuldigen met een schadefactor die afhangt van de stroomsnelheid en de waterdiepte. De schadefactor varieert tussen 0 en 1 afhankelijk van de waterdiepte en de stroomsnelheid. De stroomsnelheid is alleen van invloed als deze hoger is dan 3 m/s. In dat geval krijgt de schadefactor de waarde '1', onafhankelijk van de waterdiepte. De totale schade per dijkkring wordt verkregen door de schade van alle objecten te sommeren:

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

met α_i = schadefactor categorie i

n_i = aantal eenheden in categorie i

S_i = maximale schade per eenheid in categorie i

De belangrijke aannames en keuzes in het schademodel zijn (Kok et al., 2002):

- de schadefuncties en maximale schadebedragen zijn gebaseerd op het prijspeil 2000 en zijn voor geheel Nederland gelijk;
- de maximale schadebedragen zijn gebaseerd op herbouwwaarde (gebouwen), vervangingswaarde (kapitaalgoederen, inboedels, voertuigen e.d) of marktwaarde (landbouwproducten als gewassen en vee);
- de maximale schadebedragen door bedrijfsuitval zijn gebaseerd op de toegevoegde waarde van de bedrijven (omzet minus inkoopkosten);
- de indirecte schade is gebaseerd op een input-outputanalyse;
- er wordt geen onderscheid gemaakt tussen zee- en rivieroverstromingen;
- de fysische factoren die hierboven genoemd zijn, zijn niet meegenomen.

De effecten van deze aannames op de schadebedragen worden in de volgende paragraaf bediscussieerd.

4.5 Factoren die wel/ niet zijn verdisconteerd

In deze studie wordt uitgegaan van de schade zoals berekend door de DWW (Holterman et al., 2003). Schadeverhogende of -verlagende effecten die ontstaan door de aannames over de waterdiepte zijn reeds besproken in hoofdstuk 3. De effecten van andere factoren en van de keuzes in de standaardmethode (Kok et al., 2002) worden hieronder besproken.

Stroomsnelheid

Indien de stroomsnelheid van het water in het overstroomde gebied groot is, leidt dit tot extra schade. In de getallen van de DWW (Holterman et al., 2003) is de invloed van de stroomsnelheid verwaarloosd. De kritische stroomsnelheid (de stroomsnelheid waarbij gebouwen instorten) voor een bepaalde constructie hangt af van het materiaal van de constructie. Voor huizen van gietbeton ligt de kritische stroomsnelheid tussen 4 en 8 m/s voor gebouwen van metselwerk (boerderijen en laagbouwwooningen) tussen 1 en 2 m/s (Kok et al., 2002).

In het bovenrivierengebied zal de stroomsnelheid hoogst waarschijnlijk slechts in een klein gebied rond de bres de kritische stroomsnelheid overschrijden. Omdat de verwachte invloed klein is, wordt deze verder verwaarloosd. Ook bij overstromingen vanuit het IJsselmeer, de randmeren en de Vechtdelta zal de invloed van de stroomsnelheid waarschijnlijk gering zijn en mag deze worden verwaarloosd.

In het benedenrivierengebied en in de kustgebieden kunnen getijden hoge stroomsnelheden veroorzaken. Langs de Westerschelde bijvoorbeeld, is de getijdewerking sterk. In de andere (voormalige) Zeeuwse en Zuid-Hollandse estuaria worden de getijdes beperkt door de Deltawerken. Uit analyses van overstromingen van 1953 in Westelijk Zuid-Beveland (Stone, 2004) en van een doorbraak bij Katwijk (Asselman & Heynert, 2003) bleek dat de maximale stroomsnelheden niet boven de 2,5 m/s uit komen. Daarom wordt de invloed van de stroomsnelheid ook hier verder verwaarloosd.

Correctie voor prijspeil en economische groei

Het gebruik van het prijspeil van 2000 levert te lage prijzen op voor 2004. En economische groei sedert 2000 heeft het schadepotentieel doen groeien. Om die reden worden alle schadebedragen volgens DWW met 10 % verhoogd.

Duur van de overstroming

De duur van de overstroming kan de schade beïnvloeden. Bij gebieden met getijdewerking zal met name de aanhoudende golfwerking tot extra schade kunnen leiden. Deze extra schade is niet meegenomen in dit project. De duur van de overstroming beïnvloedt verder met name de directe schade door bedrijfsuitval en de indirecte schade. Daar deze overstromingsduur onzeker is en deze schadeposten relatief klein zijn (resp. 4 % en 1 %) is de invloed van de overstromingsduur verder verwaarloosd.

Overige fysische factoren

Het effect van het verwaarlozen van storm lijkt gerechtvaardigd, daar de standaardmethode aangeeft dat storm zeer weinig invloed heeft op de schade (Kok et al., 2002). Voor bijvoorbeeld een eengezinswoning of boerderij zonder enige beschutting in 3 m diep water neemt de schadefactor toe door storm van 0,350 naar 0,356. Voor waterdieptes boven de 5 m is de schadefactor ook zonder storm al 1,0. Alleen in de kleine polders in Zeeland mag door storm en door de lange overstromingsduur extra schade verwacht worden.

De overige factoren zijn zeer onzeker en worden daarom hieronder bij onzekerheden besproken.

Sociaal-economische factoren

De invloed van het landgebruik is meegenomen in de schadefuncties. De belangrijkheid van de andere sociaal-economische factoren is moeilijk te beoordelen. Daarom zijn deze terug te vinden onder het kopje onzekerheden hieronder.

Onzekerheden

De belangrijkste onzekerheid is natuurlijk het overstromingsverloop. Andere onzekerheden die een rol spelen zijn:

- onzekerheden over de maximale schadebedragen en in de schadefuncties (grote onzekerheid);
- onzekerheden over de overstromingsduur en het effect hiervan op de schade (daar slechts ongeveer 6 % van de schade door de overstromingsduur bepaald wordt is deze gering);
- onzekerheid over het gedrag van mensen (effectiviteit noodmaatregelen en evacuatie) (deze onzekerheid beïnvloedt met name de vermijdbare schade, maar kan in het rivierengebied ook het overstromd areaal en daarmee de totale schade beïnvloeden);
- onzekerheden doordat vooraf niet zeker is in welk seizoen overstroming plaats vindt, of het stormt of regent of vriest in de periode dat het land onder water staat;
- onzekerheden over de verspreiding van slib en vervuild water, gevolgen van deze vervuiling en kosten van het opruimen ervan;
- onzekerheden over de economische effecten van de overstroming voor niet overstromde gebieden in Nederland (secundaire schade).

De onzekerheden zijn meegenomen in dit project door niet één schadebedrag te geven, maar een bandbreedte. Deze bandbreedte is gevonden door per dijkkring het overstromingspatroon te bekijken en op grond hiervan een eventuele correctie uit te voeren op het schadegetal volgens DWW (Holterman et al., 2003).

Er is geprobeerd een ondergrens en een bovengrens te geven, en tevens om een uitspraak te doen over de verwachte schade.

In grote dijkringen lijkt de door DWW gegeven waarde een goede bovenschatting op te leveren, maar een overschatting te zijn van een verwachte schade; niet de gehele dijkkring loopt immers vol en/ of de bereikte waterdieptes zijn kleiner dan waar door DWW van is uitgegaan. Voor alle dijkringen is de waarde van DWW – gecorrigeerd voor prijspeil en economische groei – daarom als bovengrens aangehouden.

Indien overstromingssimulaties beschikbaar waren, is de verwachte schade – en soms ook de ondergrens van de schade – gebaseerd op het overstromingsverloop. Voor kleine dijkringen blijkt de verwachte schade dan vaak gelijk te zijn aan de bovengrens, maar voor grote dijkringen is deze vaak (fors) lager.

Voor grote dijkringen waarover door het ontbreken van overstromingssimulaties geen beredeneerde uitspraak gedaan kon worden over de verwachte schade, is deze op de helft van de door DWW gegeven waarde geschat. De ondergrens van de schade is – bij wijze van default – consequent op de helft van de verwachte schade gesteld, behalve waar overstromingssimulaties anders uitwezen.

Deze laatste stap is apart weergegeven in bijlage C, zodat het onderscheid duidelijk is tussen wanneer op basis van overstromingsverloop een schatting tot stand gekomen is en wanneer op basis van algemene onzekerheden een bandbreedte is toegekend.

4.5.2 Resultaten

Voor de eindresultaten en tussenresultaten per stap van de schattingen van economische overstromingsschade wordt verwezen naar bijlage C, waar een bovengrens, een ondergrens en een verwachte schade worden gegeven.

5 Slachtoffers

5.1 Inleiding

Het aantal slachtoffers is moeilijk te schatten omdat vele toevalsfactoren een grote rol spelen. Vanuit de casuïstiek kunnen we slechts een grote lijn afleiden, zij het met grote onzekerheden, omdat in de afgelopen 50 jaar weinig slachtoffers zijn gevallen door overstromingen in Nederland. De casuïstiek betreft de watersnood van 1953 (toen 1835 slachtoffers vielen, op een totale getroffen bevolking van 250.000 mensen), de overstroming langs de grote rivieren van 1926 (waarbij geen directe slachtoffers vielen; Departement van Waterstaat, 1926) en overstromingen uit het buitenland.

Jonkman et al. (2004) geven een overzicht van de beschikbare gegevens van slachtoffers bij overstromingen wereldwijd, waaronder drainageproblemen, 'flash floods', rivieroverstromingen en kustoverstromingen. Voorbeelden zijn de rivieroverstromingen langs de Elbe (2002), de overstromingen in Tsjechië (2002), de overstromingen van de Oder (1997) en overstromingen na de orkaan Floyd in de Verenigde Staten (1999). Jonkman et al. (2004) geven ook een overzicht van enkele historische overstromingen in Nederland. In het rapport wordt als eerste grove vuistregel gesteld dat het aantal slachtoffers bij overstromingen circa 1% van de getroffen bevolking is (mortaliteit van 1%). Tevens wordt aangegeven dat het schatten van het aantal slachtoffers zeer sterk afhangt van lokale omstandigheden, zoals het type overstroming en van de bijbehorende overstromingskarakteristieken.

5.1.1 Bepaling aantal slachtoffers volgens standaardmethode

In de standaardmethode wordt het aantal slachtoffers afhankelijk gesteld van de volgende factoren (Vrisou van Eck & Kok, 2001):

- de maximale overstromingsdiepte per locatie;
- de maximale stroomsnelheid (gemiddeld of per locatie);
- de stijgsnelheid (gemiddeld of per locatie);
- de beschuttingsfactor (gemiddeld of per locatie);
- storm (golven).

Deze factoren zijn alle afhankelijk van het overstromingsverloop (zie hoofdstuk 3).

5.1.2 Eerder onderzoek naar bepaling van aantallen slachtoffers

Tot nu toe zijn slechts weinig onderzoeken uitgevoerd waar het schatten van aantallen slachtoffers expliciet (mede)doel was. Het betreft ten eerste Jonkman (2001), die op basis van overstromingsscenario's voor dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) naar aantallen slachtoffers heeft gekeken. Van Manen et al. (2001) hebben in het kader van het PICASO-project gebruik gemaakt van overstromingsscenario's voor dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden).

En tenslotte hebben Asselman & Jonkman (2003) naar aantallen slachtoffers gekeken bij verschillende overstromingsscenario's in dijkkring 14 (Centraal-Holland) met onder meer een doorbraak bij Rotterdam.

De spreiding in gerapporteerde aantallen slachtoffers is groot. Deze spreiding kan niet alleen worden verklaard uit het verschillende overstromingsverloop bij verschillende scenario's, maar voor een zeer groot deel ook uit de verschillende aannames omtrent (preventieve) evacuatie.

5.2 Aanpak

In lijn met de aanpak bij de overstromingskansen en de schade, maken we in dit hoofdstuk een schatting van het aantal dodelijke slachtoffers in geval van een overstroming, waarbij we ditmaal *alleen een bandbreedte* opgeven waartussen het aantal slachtoffers zich naar alle waarschijnlijkheid zal bevinden. Er wordt dus geen 'waarschijnlijk aantal' gegeven. We baseren de schatting op bevolkingsomvang per dijkkring, overstromingsdieptes en overstromingsverloop.

We nemen aan dat het aantal slachtoffers in hoofdzaak wordt bepaald door:

- (preventieve) evacuatie;
- het overstromingsverloop (locatie van de bres, overstromingsdieptes, stijgsnelheid, etc.);
- de aanwezigheid van hoogbouw.

Elk van deze factoren zal hieronder nader aan bod komen. De aannames die we daarbij doen bespreken we in achtereenvolgens paragrafen 5.2.1 t/m 5.2.3. De methode om op basis hiervan tot een schatting van het aantal slachtoffers te komen, is uiteengezet in paragraaf 5.3. In bijlage E tenslotte zijn de verwachte bandbreedtes voor het aantal slachtoffers voor elk van de dijkringen in een overzichtstabel samengevat.

5.2.1 Evacuatie

Evacuatie kan worden gedefinieerd als een *'door de overheid gelaste verplaatsing van groepen personen met daaronder begrepen: vervoer (begeleiding), opnemings, verzorging, en terugkeer van de groepen, de voorbereiding daarvan en de nazorg'* (Barendregt et al., 2002). Maar eigenlijk is alleen van belang dat potentiële slachtoffers het met overstroming bedreigde gebied tijds verlaten hebben. Daarbij gaat het om preventieve evacuatie (voordat er een bres is opgetreden) enerzijds en evacuatie tijdens (gedurende) een overstroming anderzijds. Dit laatste wordt meestal vluchten genoemd. Wat deze beide betekenissen voor het aantal slachtoffers zetten we hieronder uiteen.

Preventieve evacuatie

Onder preventieve evacuatie wordt verstaan het evacueren van personen (en vee) uit de bedreigde dijkkring tot het moment dat het water het gebied binnenstroomt. Bij een levensbedreigende overstroming hangt het aantal slachtoffers in belangrijke mate af van of preventieve evacuatie plaatsgevonden heeft of niet.

De mogelijkheid tot evacuatie wordt vooral bepaald door tijdige voorspelling en waarschuwing; deze bepaalt de beschikbare tijd voor preventieve evacuatie (Barendregt et al., 2002).

In de praktijk is een overstroming vaak een onverwachte gebeurtenis. Hoewel een hoogwater soms – bijvoorbeeld op de grote rivieren – tot enkele dagen vooruit is te voorspellen, is een overstroming dit niet, omdat het bezwijken van een dijk niet goed valt te voorspellen. Bovendien kan een dijk bezwijken door een ander faalmechanisme dan overloop; en dat kan al bij beneden-maatgevende waterstanden. Voor het bepalen van een bovengrens aan het aantal slachtoffers wordt er dan ook van uitgegaan dat geen preventieve evacuatie heeft plaatsgevonden. Voor een ondergrens wordt wel uitgegaan van preventieve evacuatie.

De beschikbare tijd voor preventieve evacuatie is de tijd vanaf de voorspelling van een hoogwater tot het begin van een overstroming (Barendregt et al., 2002). Deze beschikbare tijd is afhankelijk van de voorspelbaarheid van een overstroming. De voorspelbaarheid hangt af van het type bedreiging (zee, meer, rivier) en het faalmechanisme.

Om het aspect van preventieve evacuatie mee te kunnen nemen, doen we per gebiedstype een andere aanname over de beschikbare tijd hiervoor, te weten voor de bovenrivieren, de benedenrivieren, het merengebied en de kust.

- **Bovenrivieren (Rijn(takken), Maas)**

Voor overstromingen van dijkringen in het bovenrivierengebied geldt dat deze voornamelijk afvoergedomineerd zijn. Voor de Rijn geldt dat een hoogwater ongeveer 2 dagen vooruit voldoende nauwkeurig te voorspellen is. Dit geeft voldoende tijd om ‘alle’ inwoners preventief te evacueren (99 %). De ervaring leert dat niet alle bewoners zullen vertrekken (Barendregt et al., 2002).

Een hoogwater op de Maas bij Borgharen kan minder nauwkeurig voorspeld worden dan op de Rijn (ongeveer 6 tot 12 uur vooruit), omdat de Maas sneller reageert dan de Rijn. Het is bekend dat een hoogwatergolf te Borgharen er ongeveer 40 uur over doet alvorens het bedijkte deel van de Maas te bereiken. Dit resulteert in een beschikbare tijd voor preventieve evacuatie van eveneens ongeveer 2 dagen (6 tot 12 uur plus 40 uur). Voor de dijkringen langs de Maas betekent dit ook dat 99 % van de bewoners preventief geëvacueerd kan worden.

Voor de IJssel- en Vechtdelta, waar het gevaar vaak vanuit het IJsselmeer komt of – in geval van de Overijsselse Vecht – minder lang vooruit te voorspellen valt, wordt verondersteld dat 50 % van de bevolking preventief geëvacueerd kan worden (conform Barendregt et al., 2002).

- **Meren**

De voorspelbaarheid van hoogwater op meren is klein, omdat overstroming dreigt bij plotselinge windbuien en -schiften bij het passeren van een front. Er wordt aangenomen dat ongeveer 50% van de bevolking preventief geëvacueerd kan worden.

- **Kust- en benedenrivierengebied**

Langs de kust is stormvloed de dominante belasting. Volgens de Stormvloedwaarschuwingsdienst (of StormvloedSeinDienst, SVSD) kan de waterstand te Hoek van Holland maximaal 6 uur vooruit voorspeld worden. Dat houdt in bij een dreiging vanuit zee er weinig tijd is om preventief te evacueren (Barendregt et al., 2002).

Ook voor het benedenrivierengebied geldt dat de invloed van stormvloed groot is. Er wordt vanuit gegaan dat slechts 1 % van de mensen preventief geëvacueerd kunnen worden.

De inwoners van een dijkkring wonen niet gelijkmatig verdeeld over het totale oppervlak van een dijkkring, maar geconcentreerd in steden dorpen. Omdat in de meeste gevallen volstrekt onbekend is waar een bres zal ontstaan, is aangenomen dat de inwoners wel gelijkmatig over een dijkkring verdeeld wonen. Dat betekent dat in een dijkkring waar 50 % van de mensen preventief geëvacueerd kunnen worden, ook 50 % minder slachtoffers vallen.

De aangenomen percentages preventief geëvacueerde mensen zijn vermeld in Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Percentages preventief geëvacueerde mensen per gebiedstype.

Gebiedstype	Percentage preventief geëvacueerden
Bovenrivieren (Rijn / Maas)	99%
Bovenrivieren (IJssel / Vecht)	50%
Benedenrivieren	1%
Merengebied	50%
Kustgebied	1%

Vluchten

De stijgsnelheid van het water tijdens een overstroming is zeer bepalend voor het aantal slachtoffers. Grote stijgsnelheden kunnen alleen optreden in relatief kleine dijkringen, waar het volume van de dijkkring klein is in vergelijking met de binnenstromende hoeveelheden water. De meeste dijkringen zijn dermate groot dat mensen die ver van de bres vandaan wonen nog een grote kans hebben uit het gebied weg te kunnen vluchten. Het totaal aantal mensen dat kan vluchten hangt dus af van het overstromingsverloop.

5.2.2 Overstromingsverloop

Voor het aantal slachtoffers is vervolgens belangrijk waar een bres optreedt en hoe de overstroming verloopt. Daarom wordt veelal gewerkt met verschillende overstromingsscenario's, met elk een specifiek overstromingspatroon, specifieke stroomsnelheden en specifieke (tussen- en eind-) waterstanden. Holterman et al., (2003) geven aan dat er geen standaardmethode is om te komen tot overstromingsscenario's. Voor elke studie moet opnieuw een afweging worden gemaakt van de aantallen en de gewenste mate van detail van overstromingsberekeningen.

In dit onderzoek moeten we het doen met reeds beschikbare overstromingssimulaties. Uit eerder onderzoek gericht op het schatten van aantallen slachtoffers beschikken we over verscheidene simulaties voor:

- Dijkkring 43: Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (Jonkman, 2001);
- Dijkkring 43: Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (Van Manen et al., 2001);
- Dijkkring 14: Centraal Holland (Asselman & Jonkman, 2003).

Verder zijn dezelfde overstromingssimulaties gebruikt die ook zijn gebruikt om de economische schades te schatten. Voor een beschrijving van de wijze waarop de resultaten van deze overstromingssimulaties zijn meegenomen bij de schatting van het aantal slachtoffers wordt verwezen naar Bijlage D.

5.2.3 Effecten van hoogbouw

Mensen die zich in hoogbouw bevinden of deze weten te bereiken, worden verondersteld veilig te zijn. Op locaties met hoogbouw is daarom aangenomen dat iedereen naar boven gaat en dus veilig is (Huizinga, 2004).

In de standaardmethode wordt van hoogbouw gesproken in geval van gebouwen met 4 of meer etages. Wij volgen deze definitie.

5.3 Schatting aantal slachtoffers per dijkkring

Om tot een schatting te komen van het aantal slachtoffers per dijkkring gaan we uit van de volgende basisgegevens per dijkkring:

- het totale aantal inwoners;
- het aantal mensen in hoogbouw; en
- het aantal mensen in laagbouw.

Deze basisgegevens zijn afkomstig uit de HIS-SSM, versie 2.03 (zie Huizinga, 2004) en zijn gegeven in Tabel 5-2.

Per dijkkring wordt vastgesteld hoeveel personen – *uitsluitend in laagbouw* – zich binnen verschillende diepteklassen bevinden. Hiertoe worden diepteklassen onderscheiden met waterdiepten tot 1 m, van 1-2 m en zo verder. Per klasse wordt het aantal potentieel getroffen (dit is niet hetzelfde als ‘slachtoffers’) geschat. Dit wordt nader uitgewerkt in paragraaf 5.3.2.

Op grond van overstromingssimulaties komen we vervolgens tot een bandbreedte voor het aantal *getroffenen* (niet: ‘slachtoffers’) in een dijkkring. Dat varieert van allemaal (bovengrens) tot alleen dat percentage dat volgens de simulaties onderloopt (ondergrens).

Tevens wordt per gebiedstype de aanname over het percentage mogelijk preventief te evacueren personen doorgevoerd om de ondergrens verder naar beneden bij te stellen. Voor de bovengrens wordt ervan uitgegaan dat de overstroming te plotseling optreedt om evacuatie mogelijk te maken.

Tenslotte komen we tot uitspraken over de bandbreedtes van het aantal slachtoffers per dijkkring door de hoge en lage schatting verder uit te werken op grond van slachtofferfuncties.

De samenvatting van deze stapsgewijze aanpak luidt dus als volgt:

1. Op grond van overstromingssimulaties bepalen we het overstromingsverloop (areaal en dieptes), leidend tot een lage en een hoge schatting. Deze worden uitgedrukt als percentages van het aantal *getroffenen* binnen een dijkkring.
2. Vervolgens bepalen we het aantal *potentiële slachtoffers*: het aantal personen dat in het getroffen gebied resteert na (preventieve) evacuatie. Ook nu geven we weer een lage en hoge schatting.
3. Tenslotte bepalen we het aantal *werkelijke slachtoffers* op basis van verschillende aannames inzake stroomsnelheden, stijgsnelheden, e.d., die op hun beurt ook weer leiden tot lage respectievelijk hogere uitkomsten.

5.3.1 Het aantal inwoners per dijkkring (hoogbouw/ laagbouw)

Deze basisinformatie (Tabel 5-2) zegt niet direct iets over het aantal slachtoffers, maar geeft wel een beeld van de potentiële omvang van het probleem.

Tabel 5-2: Basisgegevens over inwoneraantallen per woningtype per dijkkring uit het HIS-SSM, zoals die zijn gebruikt voor de bepaling van het aantal slachtoffers

Dijkkring nr.	Naam dijkkring	Totaal aantal inwoners	Aantal inwoners laagbouw	Aantal inwoners hoogbouw
1	Schiermonnikoog	1.016	1.016	0
2	Ameland	3.550	3.550	0
3	Terschelling	1.895	1.895	0
4	Vlieland	584	584	0
5	Texel	14.331	14.326	5
6	Friesland en Groningen	1.079.363	1.051.265	28.098
7	Noordoostpolder	60.198	59.672	526
8	Flevopolder	244.427	238.801	5.626
9	Vollenhove	87.972	87.038	934
10	Mastenbroek	30.215	29.269	946
11	IJsseldelta	46.552	45.439	1.113
12	Wieringen	20.630	20.630	0
13	Noord-Holland	1.005.818	959.537	46.281
13-a	IJburg	0	0	0
13-b	Marken	2.146	2.146	0
14	Centraal-Holland	3.605.583	3.255.922	349.661
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	202.775	195.628	7.147
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	209.707	197.513	12.194
17	IJsselmonde	365.706	335.953	29.753
18	Pernis	4.438	4.438	0

Dijkkring nr.	Naam dijkkring	Totaal aantal inwoners	Aantal inwoners laagbouw	Aantal inwoners hoogbouw
19	Rozenburg	14.027	13.663	364
20	Voorne-Putten	155.048	149.952	5.096
21	Hoeksche Waard	83.317	82.969	348
22	Eiland van Dordrecht	106.276	98.252	8.024
23	Biesbosch	306	306	0
24	Land van Altena	51.340	51.186	154
25	Goeree-Overflakkee	46.550	46.489	61
26	Schouwen Duiveland	33.562	33.358	204
27	Tholen en St. Philipsland	23.016	23.004	12
28	Noord Beveland	6.520	6.438	82
29	Walcheren	113.396	110.623	2.773
30	Zuid Beveland West	70.663	69.975	688
31	Zuid Beveland Oost	18.861	18.861	0
32	Zeeuwsch Vlaanderen	109.277	105.764	3.513
33	Kreekrakpolder	64	64	0
34	West-Brabant	386.528	372.603	13.925
34-a	Geertruidenberg	7.000	7.000	0
35	Donge	97.224	95.538	1.686
36	Land van Heusen / de Maaskant	416.545	405.442	11.103
36-a	Keent	61	61	0
37	Nederhemert	30	30	0
38	Bommelerwaard	45.348	45.208	140
39	Alem	456	456	0
40	Heerewaarden	1.098	1.098	0
41	Land van Maas en Waal	251.172	242.204	8.968
42	Ooijpolder	14.131	14.038	93
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerw.	307.019	299.025	7.994
44	Kromme Rijn	651.579	604.888	46.691
45	Gelderse Vallei	262.556	247.413	15.143
46	Eempolder	8.599	8.599	0
47	Arnhemse- en Velpsebroek	77.122	71.814	5.308
48	Rijn en IJssel	193.278	155.942	37.336
49	IJsselland	19.045	18.780	265
50	Zutphen	42.365	41.005	1.360
51	Gorssel	10.598	10.598	0

Dijkring nr.	Naam dijkring	Totaal aantal inwoners	Aantal inwoners laagbouw	Aantal inwoners hoogbouw
52	Oost-Veluwe	110.704	104.669	6.035
53	Salland	201.979	192.721	9.258
Totaal		10.923.566	10.254.658	668.908

5.3.2 Aantal slachtoffers per diepteklasse

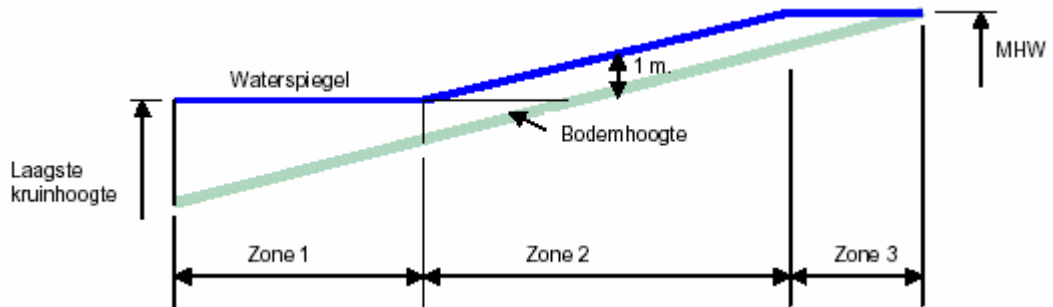
We definiëren per dijkring N diepteklassen op grond van waterschijven van steeds 1 meter oplopend. Een dijkring waarvan de laagste dijk bijvoorbeeld 3 meter boven het laagste maaiveld ligt, wordt dan verdeeld in de volgende 3 klassen:

- Klasse 1: 0 – 1 meter;
- Klasse 2: 1 – 2 meter;
- Klasse 3: 2 – 3 meter (= laagste kruinhoogte van de dijkring).

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de standaardmethode zoals die is geïmplementeerd in de nieuwste versie van de HIS-SSM (Versie 2.03). We bepalen dan het aantal slachtoffers per diepteklasse als volgt:

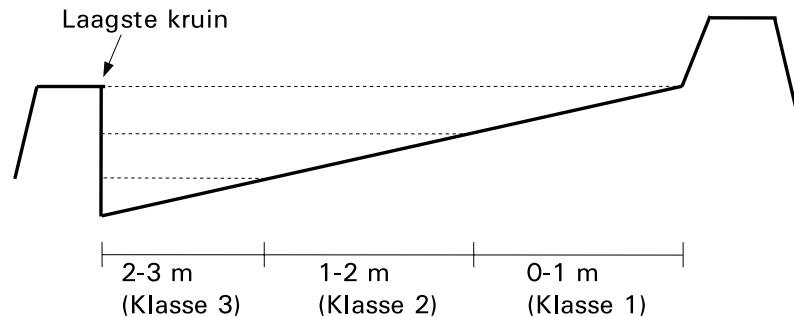
We gaan ervan uit dat er water staat tot aan de kruinhoogte van de laagste dijk in een dijkring en 1 meter op de hellende vlakken (conform Holterman et al., 2003; zie

1. Figuur 5-1).



Figuur 5-1: Langsdoorsnede van een dijkringgebied; overstroming volgens bakjesmodel.

2. Aldus kan bepaald worden hoeveel inwoners te maken hebben met overstroming van verschillende diepte: tussen de 0 en 1 meter water, tussen de 1 en 2 meter water, etc. (Figuur 5-2).



Figuur 5-2: Schematische doorsnede van een denkbeeldige dijkkring. Ook zijn de 3 overstromingsklassen gegeven.

3. Met de resultaten van de vorige stap wordt het aantal inwoners per diepteklasse bepaald.
4. Vervolgens berekenen we met behulp van de nieuwe slachtofferfuncties (Huizinga, 2004) het aantal dodelijke slachtoffers als fractie van het aantal getroffen. De slachtofferfunctie is ontleend aan Jonkman et al. (2004). De functie luidt als volgt:

$$\text{Voor } h \cdot v \geq 7 \text{ en } v \geq 2: \quad f(h) = 1$$

$$\text{Voor } w < 0.5 \text{ en } h > 0: \quad f(h) = 1.34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.59h}$$

$$\text{Voor } w \geq 0.5 \text{ en } 1.5 \leq h \leq 4.7: \quad f(h) = 1.45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.39h}$$

$$\text{Voor } w \geq 0.5 \text{ en } h < 1.5: \quad f(h) = 1.34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.59h}$$

$$\text{Voor } w \geq 0.5 \text{ en } h > 4.7: \quad f(h) = 1$$

Waarbij:

w = stijgsnelheid (m/uur)

h = waterdiepte (m)

v = stroomsnelheid (m/s)

f = slachtofferfactor (-)

Per diepteklasse nemen we aan dat het midden van elke klasse representatief is voor de hele klasse. De precieze waarden voor de stijgsnelheid, de waterdiepte en de stroomsnelheid hangen af van het overstromingsverloop. We komen hier in de volgende paragraaf op terug.

5.3.3 Invloed overstromingsverloop op aantal slachtoffers

In de slachtofferfunctie van de HIS-SSM (Versie 2.0.3) spelen de stijgsnelheid, de stroomsnelheid en de waterdiepte een rol bij de bepaling van het aantal slachtoffers. Hoewel de stijgsnelheid een grote invloed heeft, verwachten we dat het aantal dijkringen waar dit een significante rol speelt beperkt is. Vooral in kleine dijkringen en bij onbedoelde compartimenten binnen een dijkkring kan de stijgsnelheid van het water belangrijk zijn. Er wordt vanuit gegaan dat in kleine diepe dijkringen voor 10 % van de getroffen en de stroomsnelheid een rol speelt. In grotere dijkringen zal het water relatief langzaam stijgen. Aangezien het ook dan nog enige tijd duurt voordat de waterdieptes zeer groot worden, gaan we er vanuit dat in deze gevallen mensen toch ook nog enige gelegenheid hebben om te vluchten of mogelijk worden gered. Voor die grotere dijkringen wordt daarom uitgegaan van 1 % van de getroffen en waarvoor de stroomsnelheid een rol speelt.

Hoge stroomsnelheden kunnen tot slachtoffers leiden, ook in ondiep water. Dergelijke omstandigheden komen vooral voor in de directe nabijheid van een bres. Voor de meeste dijkringen betekent dit slechts een zeer klein deel van de totale oppervlakte van de dijkkring. We nemen aan dat het gebied rondom de bres waarin slachtoffers vallen door hoge stroomsnelheden de vorm heeft van een halve cirkel met een straal van enkele tientallen meters (zie Jonkman et al., 2004). We nemen aan dat het gemiddeld over alle dijkringen gaat om ongeveer 0,5 % van het oppervlak van elke dijkkring.

Met behulp van de hierboven geïntroduceerde regels en met de gegevens over de *getroffenen* per diepteklasse komen we nu in drie vervolgstappen tot een uitspraak over het aantal slachtoffers per dijkkring:

1. STAP 1: Literatuur en overstromingssimulaties

Uit deze simulaties die zijn gebruikt door Jonkman (2001), Jonkman et al. (2004), voor de PICASO-studie (Van Manen et al., 2001) en door Asselman & Jonkman (2003) blijkt dat in veel gevallen niet de gehele dijkkring onderloopt, of dat de waterdieptes minder groot zijn (maar plaatselijk juist soms groter door tussendijken) dan hiervoor aangenomen. Daarom werden in Bijlage B correcties op de schade toegepast, die op vergelijkbare wijze ook gelden voor het aantal slachtoffers. Dit resulteert in een reductiepercentage voor het aantal verwachte slachtoffers in een dijkkring (zie bijlagen D en E). Waar de literatuur getalswaarden voor aantallen slachtoffers geeft, worden deze hier ook gegeven; in andere gevallen wordt op grond van het overstromingsverloop de ondergrens van de bandbreedte vastgesteld. Hieruit volgt voor iedere dijkkring een onder- en een bovengrens voor het aantal getroffen en per diepteklasse. We nemen hierbij dus aan dat het aantal getroffen en gelijkmatig verdeeld is over de diepteklassen.

2. STAP 2: Een lage schatting

Ten eerste nemen we aan dat er in hoogbouw geen slachtoffers vallen. Ten tweede wordt aangenomen dat er preventief geëvacueerd is conform de percentages uit Tabel 5-2. Tenslotte nemen we aan dat de stijgsnelheid en de stroomsnelheid niet bijdragen aan het aantal slachtoffers ($w < 0,5$ m/uur).

Voor de laagbouw bepalen we vervolgens het aantal slachtoffers met de nieuwe slachtofferfunctie voor de verschillende diepteklassen.

3. STAP 3: Een hoge schatting

Ook hier is aangenomen dat er in hoogbouw geen slachtoffers vallen. In dit geval wordt aangenomen dat er géén preventieve evacuatie heeft kunnen plaatsvinden.

Voor het overige worden er twee aannames gedaan voor het aantal slachtoffers in de laagbouw. Ten eerste gaan we ervan uit dat ongeveer $10\%^2$ van de bevolking wordt getroffen door grote stijgsnelheden ($w = 2$ m/uur) en dat 0.5% van de bevolking wordt geconfronteerd met grote stroomsnelheden ($v = 3$ m/s) nabij de bres. Ten tweede nemen we aan dat de overige $89,5\%$ worden geconfronteerd met relatief grote overstromingsdiepten, danwel dat andere omstandigheden tegenzitten – zoals in 1953 het geval was (storm, nacht, hulpverlening traag op gang, e.d.) – waardoor meer slachtoffers vallen dan op grond van waterdiepte alleen zou mogen worden verwacht. Het aantal slachtoffers wordt weer bepaald met de nieuwe slachtofferfunctie voor de verschillende diepteklassen.

Om de werkwijze volgens stap 1 t/m 3 te illustreren, geven we in bijgaand tekstkader een eenvoudig rekenvoorbeeld voor een denkbeeldige dijkkring.

Rekenvoorbeeld

We gaan uit van een denkbeeldige dijkkring in het merengebied die gelijk op die in Figuur 5-2. Het percentage preventief geëvacueerde mensen bedraagt 50% . De laagste dijkhoogte is gelijk aan 3 meter (kruinhoogte minus maaiveldhoogte).

Stel, in totaal wonen er 13.750 mensen in het dijkkringgebied. Er loopt echter slechts 80% van het gebied onder. Dat betekent dat er 11.000 mensen in het dijkkringgebied worden getroffen. Hiervan wonen 1000 mensen in hoogbouw en voor de overige 10.000 mensen (laagbouw) vinden we de volgende verdeling uit de procentuele verdeling van diepteklassen over de gehele dijkkring:

Klasse 1: 1000 mensen (de waterdiepte is maximaal 1 meter)

Klasse 2: 3000 mensen (de waterdiepte is tussen de 1 en 2 meter)

Klasse 3: 6000 mensen (de waterdiepte is tussen de 2 en 3 meter)

Per overstromingsklasse kunnen nu verschillende situaties optreden, met in elke situatie een andere fractie van het aantal slachtoffers. Deze gevallen behandelen we apart.

Waterdiepte speelt een belangrijke rol ($v < 0.5$ m/s en $w < 0.5$ m/uur):

Klasse 1: $h = 0,5$ m, $w = 0,2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0018$

Klasse 2: $h = 1,5$ m, $w = 0,2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0032$

Klasse 3: $h = 2,5$ m, $w = 0,2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0059$

Stroomsnelheid speelt een belangrijke rol ($v \geq 2$ m/s en $hv \geq 7$ m²/s):

Klasse 1: n.v.t.

Klasse 2: n.v.t.

Klasse 3: $h = 2,5$ m, $w = 0,2$ m/uur en $v = 3$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 1$

2 Voor een aantal diepe dijkringen is afgeweken van het percentage van 10% dat overlijdt ten gevolge van hoge stijgsnelheden, en is uitgegaan van 1% .

Stijgsnelheid speelt een belangrijke rol ($w = 2$ m/uur en $v < 2$ m/s):

Klasse 1: $h = 0,5$ m, $w = 2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0018$

Klasse 2: $h = 1,5$ m, $w = 2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0117$

Klasse 3: $h = 2,5$ m, $w = 2$ m/uur en $v = 0,2$ m/s → Fractie slachtoffers: $f = 0,0468$

Lage schatting van het aantal slachtoffers

Er vallen geen slachtoffers in de hoogbouw. Door preventieve evacuatie verlaat per overstromingsklasse de helft van het aantal mensen die in laagbouw wonen het gebied:

Klasse 1: 500 mensen (de waterdiepte is maximaal 1 meter)

Klasse 2: 1500 mensen (de waterdiepte is tussen de 1 en 2 meter)

Klasse 3: 3000 mensen (de waterdiepte is tussen de 2 en 3 meter)

Er vallen geen slachtoffers door te hoge stroomsnelheden of te grote stijgsnelheden, maar alleen door de waterdiepte. Deze fracties hebben we hierboven per overstromingsklasse uitgerekend en leveren dus het volgende aantal slachtoffers per overstromingsklasse:

Klasse 1: $500 * 0,0018 = 1$

Klasse 2: $1500 * 0,0032 = 5$

Klasse 3: $3000 * 0,0059 = 18$

Totaal 24

Het totale aantal slachtoffers is dus 24, wat overeenkomt met ongeveer 1,5 ‰ (promille) van de bevolking. De mortaliteit is gelijk aan het aantal slachtoffers gedeeld door het aantal getroffen: 2 ‰.

Hoge schatting van het aantal slachtoffers

Er is geen preventieve evacuatie; er zijn geen slachtoffers in hoogbouw:

Klasse 1: 1000 mensen (de waterdiepte is maximaal 1 meter)

Klasse 2: 3000 mensen (de waterdiepte is tussen de 1 en 2 meter)

Klasse 3: 6000 mensen (de waterdiepte is tussen de 2 en 3 meter)

In 0,5 % van de gevallen speelt een hoge stroomsnelheid een rol. De waterdiepte moet hiervoor groter zijn dan 3 meter en speelt dus alleen een rol in klasse 3. In 10 % van de gevallen speelt een grote stijgsnelheid een rol. De fractie slachtoffers is echter per overstromingsklasse verschillend (zoals hierboven berekend).

Klasse 1: $90\% * 1000 * 0,0018 = 2$

$10\% * 1000 * 0,0018 = 0$

Klasse 2: $90\% * 3000 * 0,0032 = 9$

$10\% * 3000 * 0,0117 = 4$

Klasse 3: $89,5\% * 6000 * 0,0059 = 32$

$10\% * 6000 * 0,0468 = 28$

$0,5\% * 6000 * 1,0000 = 30$

Totaal 105

Het totale aantal slachtoffers is dus 105 (8 ‰), wat een mortaliteit van ongeveer 1% betekent.

5.4 Samenvatting en eindresultaten voor slachtoffers

Met gebruikmaking van basisgegevens over de bevolkingsomvang, informatie uit de literatuur, en na het bestuderen van overstromingssimulaties zijn een lage en een hoge schatting gemaakt van de *aantallen getroffen inwoners*. Daarna zijn deze lage en hoge schattingen verder aangepast op basis van de percentages voor preventieve evacuatie. Op die manier zijn een onder- en een bovengrens voor het *aantal potentiële slachtoffers* gevonden. Met behulp van gegevens over de aantallen inwoners per overstromingsklasse is tenslotte een schatting gemaakt van het *aantal slachtoffers* in een meevallende en in een tegenvallende overstromingssituatie. We komen zo tot een bandbreedte van het waarschijnlijke aantal slachtoffers per dijkkring. De resultaten zijn gepresenteerd in bijlage E. De aantallen zijn hierbij afgerond.

Wellicht ten overvloede vermelden we dat de resultaten gevoelig zijn voor de aannames die zijn gedaan, met name die betreffende het percentage preventief geëvacueerde mensen, omdat die direct doorwerkt op het aantal slachtoffers.

5.5 Discussie

We hebben een schatting gemaakt van het aantal slachtoffers per dijkkring als gevolg van een overstroming van die dijkkring. We hebben per dijkkring een ondergrens en een bovengrens van het aantal slachtoffers gegeven. Het aantal slachtoffers is lastig te schatten, omdat vele – deels lokale en onzekere – factoren een rol spelen.

De schatting berust op een grofstoffelijke methode. Daarbij moesten aannames worden gedaan, waarvan de belangrijkste betrekking hebben op het percentage preventief geëvacueerden en het verloop van de overstroming. Deze beide zijn in hoge mate onzeker, maar wel sterk bepalend voor het aantal slachtoffers.

Het percentage geëvacueerden werkt immers rechtstreeks door in het aantal slachtoffers. Ook het percentage van een dijkkring dat onder kan lopen en het aantal mensen dat hierin woont, werkt sterk door.

Voor de bepaling van de aantallen slachtoffers is gebruik gemaakt van de meest recente slachtofferfunctie uit de HIS-SSM (versie 2.03), die gebaseerd is op de heuristiek van de overstromingsramp uit 1953. Dat betekent dat impliciet rekening wordt gehouden met – bijvoorbeeld – het vluchtgedrag van mensen.

Er is ook zo goed mogelijk rekening gehouden met de omvang van het overstroomde gebied, karakteristieken van de overstroming en verschillende mogelijke doodsoorzaken. Daarvoor zouden we voor elke dijkkring graag de beschikking hebben gehad over verscheidene overstromingsscenario's, met specifieke locatie en grootte van de bres, omdat de doorbraaklocatie immers grote invloed heeft op het aantal slachtoffers. Omdat dergelijke overstromingsscenario's schaars zijn, hebben we deze gebruikt waar mogelijk, en in alle andere gevallen daarover aannames gedaan (zie bijlagen D en E).

Door de resulterende aantallen slachtoffers te vergelijken met de aantallen getroffen, kan per dijkkring de mortaliteit (%) uitgerekend worden. Uit gegevens van historische overstromingen in het buitenland wordt als grove vuistregel wel eens gesteld dat de mortaliteit bij een overstroming tussen 0,1 % en 1 % bedraagt. Wat opvalt bij de hier gegenereerde schattingen van aantallen slachtoffers is dat de ondergrens voor de mortaliteit zich voor de meeste dijkringen ruim onder die 1 % bevindt. Uitzonderingen zijn de dijkringen waarin grote waterdiepten kunnen optreden, zoals de IJsselmeerpolders, IJsselmonde, Rozenburg en Pernis. Omdat het grootste deel van de bewoners van deze dijkringen tijdens een overstroming te maken kan krijgen met waterdieptes van meer dan 5 meter, levert dit relatief meer slachtoffers.

Een vergelijkbaar verhaal geldt voor de bovengrens van de mortaliteit. Voor het merendeel van de dijkringen geldt dat de bovengrens van de mortaliteit rond de 5% ligt. Alleen voor de dijkringen die geconfronteerd worden met grotere waterdiepten is dit percentage groter. Echter, voor de bovengrens speelt niet alleen de overstromingsdiepte, maar ook de stijgsnelheid een rol. In het bijzonder de combinatie van een grote stijgsnelheid met een grote waterdiepte levert veel slachtoffers. In de diepe polders zonder preventieve evacuatie valt dan ook vaak zo'n 75 % van het totale aantal slachtoffers als gevolg van de grote stijgsnelheid.

Vergelijking van deze resultaten met de aantallen slachtoffers die zijn gevallen bij de ramp van 1953 is aanleiding de schatting van met name de ondergrens van het aantal slachtoffers met enige reserve te gebruiken. In dat verband wijzen we nogmaals op de grote invloed van de aannames betreffende evacuatie op de berekende aantallen slachtoffers (zie Tabel 5-1). In 1953 waren de omstandigheden ronduit ongunstig voor evacuatie: het hoogwater kwam via open zeegeten gedurende de nacht, in het weekend, op een tijdstip waarop de radio niet uitzond, in een tijdsgewricht waarin telefoonverkeer nog zeer beperkt was, en waarin droge infrastructuur van dammen en dijken ontbrak waarlangs vluchten naar het achterland mogelijk was. Daar staat tegenover dat de bevolkingsomvang per dijkkring tegenwoordig veel groter is, we tegenwoordig sterk afhankelijk zijn van elektriciteit (ook voor communicatie en transport), neigen met auto's te vluchten (de file in lage gebieden in). Met andere woorden: de onzekerheden zijn groot, en met name de ondergrens van het aantal slachtoffers kan voor een aantal dijkringen weleens een wat hoge schatting zijn.

Tot slot merken we op dat de gebruikte slachtofferfunctie is gebaseerd op gegevens van één gebeurtenis, te weten de watersnoodramp van 1953. Er wordt dan ook aanbevolen om hier meer onderzoek naar te doen. Gegevens uit meer overstromingen met verschillende karakteristieken kunnen voor andere inzichten zorgen. Hoewel er rekening is gehouden met preventieve evacuatie en vluchten, is dit gezien het korte tijdsbestek van de studie slechts eenvoudig gedaan. Momenteel is een model voor het aantal preventief geëvacueerde mensen in combinatie met een verkeersmodule in ontwikkeling. Door met een reeks van representatieve overstromingssimulaties per dijkkring te werken, kunnen de risico's op slachtoffers beter in beeld gebracht worden.

6 Conclusies en reflectie op overstromingsrisico

6.1 Algemeen

Dit rapport betreft vooral een betooglijn over overstromingsrisico's: hoe deze te bepalen, hoe tot schatting te komen van de kans op een overstroming, hoe gevolgen in beeld te brengen e.d. Daarenboven is in dit rapport per dijkkringgebied de kans op overstroming geschat op basis van gepubliceerde gegevens; en er is per dijkkringgebied een schatting gemaakt van de economische schade en het aantal slachtoffers. De aard van de opdracht vergde dat het onderzoek in zeer korte tijd werd uitgevoerd.

Dit impliceert dat sprake is geweest van een zeer globale benadering, opdat een overzicht kon worden gegenereerd voor alle dijkringen in Nederland. De resultaten – met name de getalswaarden – moeten dan ook in dat licht worden bezien: ze zijn gebaseerd op alleen de direct beschikbare gegevens en bijgevolg omgeven met grote onzekerheden. Ze mogen *alleen gebruikt worden in grofstoffelijke vergelijkingen* met andere risicodomeinen. De *resultaten* vormen dan ook *geen vergelijkingsmateriaal* voor resultaten uit het project Veiligheid Nederland in Kaart (met een looptijd van verscheidene jaren), waarbij het geavanceerde kansberekeningsinstrument PC-ring wordt gebruikt.

Met de gegeven kansen en gevolgen kan worden gekomen tot een schatting van het risico door de kansen en de gevolgen te vermenigvuldigen. Dat kan voor de economische schade, waaruit een gemiddelde jaarlijkse schade resulteert. Het kan ook voor de aantallen slachtoffers, waaruit een verwachtingswaarde voor slachtoffers resulteert.

Omdat voor zowel de overstromingskans als de gevolgen in termen van schades en/of slachtoffers bandbreedtes zijn gegeven, kan een heel 'gebied' ontstaan waarbinnen het risico zich bevindt. Dat maakt interpretatie lastig. Om een globale indruk te krijgen van de risico's is bij wijze van verkenning de geschatte kans (dus niet de onder- en bovengrens) vermenigvuldigd met de bandbreedte van schade en slachtoffers. De resultaten zijn niet in dit rapport weergegeven, maar leidden wel tot het inzicht dat soms een vrij grote overstromingskans is beredeneerd op grond van een lage dijk op een plaats waar een dijkbreuk naar onze overtuiging niet zo erg veel schade zou veroorzaken – bijv. in het geval van Voorne-Putten, waar een dijkbreuk langs het Hartelkanaal het meest waarschijnlijk is.

In dit onderzoek bleek de kans op een overstroming moeilijker vast te stellen dan de waarschijnlijke gevolgen. Daar staat tegenover dat gevolgen van een overstroming weer volledig afhankelijk zijn van de plaats en de ontwikkeling van een bres in de waterkering, en dus van de kans. Dat de kans op een overstroming moeilijker vast te stellen bleek, is vooral het gevolg van het ontbreken van de benodigde gegevens. Die zouden bij voorkeur op uniforme wijze op een centrale plaats beschikbaar moeten zijn. Daaraan wordt in het kader van het VNK-project gewerkt, maar op dit moment is er geen sprake van zo'n centraal en makkelijker toegankelijk gegevensbestand.

Het bovenstaande leidt tot de conclusie – die op zich niet nieuw is – dat alleen voor *concrete overstromingsscenario's* de bijbehorende schades en slachtoffers goed kunnen worden geschat. Voor een uitspraak over gehele dijkringen moeten dan alle relevante scenario's worden bekeken, omdat een gebeurtenis met een relatief grote kans soms kleine gevolgen heeft en een zeldzamer gebeurtenis soms grote gevolgen; welke maatgevend is voor het risico kan verschillen per dijkkring (zie ook Van Manen et al., 2003).

6.2 Overstromingskansen

In gepubliceerd materiaal is slechts voor een beperkt aantal dijkkringgebieden informatie te vinden over de kans op een overstroming. Het betreft vooral dijkringen langs de Rijnakken en de Maas. Voor de dijkkringgebieden waarover geen informatie gevonden kon worden is een 'default' geschat.

Omdat de geschatte kans op overstroming grotendeels afhangt van een groot aantal aannames betreffende (de onzekerheden in) de hydraulische belasting en de sterkte van de waterkering is er ook een schatting gemaakt van een 'ondergrens' en een 'bovengrens'. We achten het onwaarschijnlijk dat de werkelijke overstromingskans zich buiten deze twee grenzen bevindt.

De ondergrens en de bovengrens van de overstromingskansen liggen veelal een factor 10 uit elkaar en maximaal een factor 50. Deze grote bandbreedte hangt samen met de beperkte beschikbaarheid van gegevens en de korte looptijd van het onderzoek. Indien gewerkt kan worden met goede gegevens, zoals in het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart, zullen de bandbreedtes versmald kunnen worden. Daar staat tegenover dat sommige onzekerheden nu eenmaal inherente onzekerheden zijn – bijv. de maatgevende afvoer, of de golfbelasting op de kust – die berusten op een noodgedwongen beperkte reeks meetgegevens en extrapolatie ver buiten het gemeten bereik (zie ook Silva et al., 2000).

De overstromingskans bleek in een aantal gevallen – vooral in het rivierengebied – groter te zijn dan de ontwerpnorm voor overschrijding van maatgevende omstandigheden zoals genoemd in de Wet op de Waterkering, maar soms was deze ook – tot een orde – kleiner. Factoren die de kans vergroten zijn andere faalmechanismen dan overloop/overslag en de lengte van de dijkkring. Factoren die de kans verkleinen zijn extra waakhoogte en overhoogte, en mogelijke reststerkte.

Dat de berekende kansen op overloop/overslag in het rivierengebied vaak groter zijn dan de norm voor overschrijding van de maatgevende omstandigheden, kan voor het grootste deel worden toegeschreven aan het feit dat de maatgevende afvoer recentelijk is verhoogd, terwijl de waterkeringen, c.q. de riviergeometrie, daarop nog niet zijn aangepast. Dat is voorgenomen in het project Ruimte voor de Rivieren.

De (aangenomen) fysisch maximale afvoer op de Rijn heeft grote invloed op de geschatte kansen op overstroming, omdat veel rivierdijken in het bovenrivierengebied hoger zijn dan de vermoedelijke waterstand bij de fysisch maximale afvoer. De overstromingskans kan tot een factor 10 kleiner zijn dan wanneer geen fysisch maximum wordt aangenomen.

Onzekerheden

De kans op overschrijding van de maatgevende omstandigheden kan worden berekend, maar is omgeven met onzekerheden; de extra hoeveelheid overloop/overslag bij bovenmaatgevende omstandigheden kan ook worden berekend, bijv. met behulp van decimeringshoogten, maar ook daarbij is sprake van onzekerheden. Wat een overmatige overslag betekent voor de kans dat de kering het begeeft blijft het meest ongewis, omdat met name de (rest)sterkte van keringen bij overbelasting onvoldoende bekend is. Misschien blijven ze wel staan, ook al loopt het er met tientallen liters /m/s overheen, met name bij de zeekeringen. De sterkte van de dijken langs de bovenrivieren is vermoedelijk veel kleiner, want die zijn niet ontworpen op overslag, maar op een waterstand tot maatgevende hoogte.

6.3 Overstromingsverloop

Simulaties van het verloop van overstromingen wijzen uit dat grote dijkringen, zoals Centraal-Holland, Noord-Holland of Friesland-Groningen, slechts voor een deel onderlopen en dat de waterdiepten vaak ook nog beperkt blijven. Dat blijkt nu al het geval te zijn, zelfs bij het ontbreken van speciaal daartoe aangelegde compartimenteringsdijken. Dat heeft grote implicaties voor het aantal slachtoffers en de waarschijnlijke overstromingsschade, die bij realistische overstromingssimulaties veel lager uitvallen dan verwacht op grond van de bevolkingsomvang en de potentiële schade in deze dijkringen (bij volledige vulling van de dijkkring tot de laagste dijkhoogte, zoals berekend door DWV (Holterman et al., 2003)). In kleine dijkringen is de waarschijnlijke schade daarentegen (vrijwel) gelijk aan de maximale.

6.4 Schade

Voor het schatten van de overstromingsschade is gebruik gemaakt van de schade- en slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS-SSM). De door de DWV beschikbaar gestelde gegevens leveren een bovengrens op voor de economische schade. Er zijn vervolgens 'reductiefactoren' gebaseerd op het overstromingsverloop (areaal en waterdiepte) gebruikt om een reële schatting te verkrijgen van de economische schade. De schattingen van de schade bedragen voor relatief kleine dijkkringgebieden enkele miljarden euro's en voor het grootste dijkkringgebied circa 200 miljard euro.

Om te kunnen komen tot een schatting van het economisch risico kunnen de kansen en de gevolgen worden vermenigvuldigd, zodat een gemiddelde jaarlijkse schade resulteert. Een dergelijke exercitie is in dit beperkte onderzoek niet uitgevoerd.

6.5 Aantallen slachtoffers

Ook voor het schatten van de aantallen slachtoffers is gebruik gemaakt van de schade- en slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS-SSM). Op basis van deze module is een hoge en lage schatting gemaakt van het aantal slachtoffers. De verschillen worden vooral veroorzaakt door aannames betreffende preventieve evacuatie en door gebrek aan kennis over lokale stijgsnelheden. Uit onderzoek van DWV is gebleken dat vooral hoge stijgsnelheden in combinatie met grote waterdieptes veel slachtoffers kunnen veroorzaken. De verschillen tussen de bovengrens en ondergrens van het aantal slachtoffers bedragen een factor 10 en de fractie slachtoffers bedraagt circa 0,2 - 2 % van het aantal getroffen.

7 Literatuur

- Arcadis, Royal Haskoning & Fugro, 2003. Referentie Alternatief Dijkversterking (RAD). Bijlagenrapport. Rapport 110303/OF3/110/000262/as.
- Asselman, N.E.M. & S.N. Jonkman, 2003. Consequences of floods: the development of a method to estimate the loss of life. Delft Cluster publication 02.03.03-01, Delft.
- Asselman, N.E.M., 2001. Modellerings rampenscenario's Vallei en Eem. WL-rapport nr. Q2903. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Asselman, N.E.M., 2002. Overstromingsmodellerings dijkkring 44. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Asselman, N.E.M., 2003. HIS-Simulatie Delta 2003. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Asselman N.E.M. & K. Heynert, K. 2003. Consequences of floods: 2D hydraulic simulations for the case study area Central Holland. Delft Cluster Publication DC1-233-5, Delft.
- Barendregt, A., J.M. van Noortwijk, M.F.A.M. van Maarseveen, S.I.A. Tutert, M.H.P. Zuidgeest & K.M. van Zuilekom, 2002. Evacuatie bij dreigende overstromingen. HKV-rapport PR 546, Lelystad.
- Briene, M., S. Koppert, A. Koopman & A. Verkennis, 2002. Financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade. NEI B.V.
- Crebas, J. 2001. Inundatieberekeningen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland. WL-rapport Q2884. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Crebas, J. 2003. Inundatieberekeningen Dronten en Zeewolde. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- De Bruijn, K.M., 2002. Potential flood damages and flood risks along the lower Rhine River. Proceedings Congress EWRI ASCE Floods & Droughts in Virginia, USA.
- De Bruijn, K.M., 2002. Consequences of extreme discharges for the downstream part of the Rhine River. TU Delft/ WL | Delft Hydraulics, Delft.
- De Bruijn, K.M. & F. den Heijer, 2001. Flood damage modelling in the Netherlands. Damage reduction by non-structural measures, report R3436. (Gepubliceerd in reeks (In: IKSR, Working Group floods, 2001. Non-structural floodplain management. Measures and their effectiveness).
- De Bruijn, K.M. & E. Ruijgh, 2003. Het bepalen van de mogelijke schade als gevolg van overstromen van een dijkkring. Memo Q3457/08. WL | Delft Hydraulics, Delft, Nederland.
- Dedel, C.P.A., 2003. Overstromings- en risicoanalyse van een duindoorkraak in de Kop van Noord-holland. Afstudeerrapport TU Delft, Delft.
- Departement van Waterstaat, 1926. Verslag van het voorgevallene tijdens het hoge opperwater op de Nederlandsche rivieren in den winter van 1925 op 1926. Algemene Landsdrukkerij, 's Gravenhage.
- Diermanse, F., B. Thonus, I. Lammers & F. den Heijer, 2003. De veiligheid van Nederland in Kaart - Hydraulische randvoorwaarden; Fase 1 - Inventarisatie en gegevensverzameling. WL | Delft Hydraulics & HKV LJN IN WATER, Delft.
- Duits, M.T. & Thonus, B.I., 2001. Hydraulische Randvoorwaarden 2001 Benedenrivierengebied Hydra-B. HKV LJN IN WATER, Lelystad.
- Duits, M.T. & Stijnen, J.W., 2003. Gebundelde memoranda voor verkennende beleidsanalyse, HKV-rapport PR740, HKV LJN IN WATER, Lelystad.
- Dijkman, J.P.M., 2002. Hoogwaterbescherming in het BER-gebied: onzekerheden en omgaan met onzekerheden. Rapport Spankrachtstudie, nummer Q2975.31. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Dijkman, J.P.M., H.J.M. Ogink, F. Klijn & H van der Most, 2003. Aanvullend deskundigenoordeel noodoverloopgebieden. WL-rapport Q3570 a, Delft, met bijlage: Dijkman, J.P.M., H.J.M. Ogink, F. Klijn, H van der Most en anderen, 2003. Toelichting aanvullend deskundigenoordeel noodoverloopgebieden. WL-rapport Q3570 b, Delft
- DWW, RIKZ & RIZA, 1996. Hydraulische Randvoorwaarden 1996 voor het toetsen van primaire waterkeringen. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, 1996.
- DWW, RIKZ & RIZA, 2001. Hydraulische Randvoorwaarden 2001, voor het toetsen van primaire waterkeringen. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, 2001.

- DWW, 2002a. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Achtergrondrapport. Resultaten van de eerste toetsronde van 1996-2001. DWW, Delft.
- DWW, 2002b. Consequenties nieuwe golfbelastingen voor de kust. Rapport DWW-2002-130.
- DWW, 2003. Nieuwe inzichten in golfbelastingen langs de kust. Samenvatting aanvullende beheerderoordelen. Rapport DWW-2003-123. DWW & RIKZ.
- Eijgenraam et al., C., 2002. Evaluatie van infrastructuurprojecten. Leidraad voor kosten-batenanalyse. (OEEI-leidraad) CPB & NEI.
- Geerse, C.P.M., 2003. Probabilistisch model voor het benedenrivierengebied. Concept. RIZA – werkdocument 2003.128x. RIZA, Lelystad.
- Geerse, C.P.M., 2003a. Systeemwerking dijkringen, een gevoeligheidsmodel. Concept notitie, RIZA, Lelystad.
- Geerse, C.P.M., 2003b. Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden Benedenrivierengebied. Werkdocument 2003.128x. RIZA, Lelystad.
- Goudriaan, J., W. van Leussen, U. Boot, M. de Wit, A. Winden, H.J.M. Ogink, H.J. Barneveld, J. Kwadijk, R. Passchier, J. Peerboom, J. de Bijl & A. Wijbenga, 2003. Klimaatverandering in het Maasstroomgebied – een verkenning van mogelijkheden voor afvoerreductie. Eindrapport van de Themagroep Internationaal van het project Integrale Verkenning Maas (IVM), Maastricht.
- Heuer, L. & Vervoorn, H., 2003. Overstromingsberekeningen Provincie Overijssel, calibratie en bouw modellen dijkkring 10 en 11. Rapport 4H1707, Provincie Overijssel, Zwolle.
- Holterman, S., M. Brinkhuis-Jak, P. Cappendijk & K. Wouters, 2003. Schade na een grootschalige overstroming. DWW-rapport 2003-056, DWW, Delft.
- Hoogendoorn, R., 2003. Toelichting op de kaarten ‘Overhoogte in benedenrivierengebied (1 kaartblad) en Overhoogte in bovenrivierengebied (2 kaartbladen)’ en 5 kaarten op A3-formaat. Memo DWW, Delft.
- Huizinga, J., 2004. Experimentele schadefunctie en shadeset zonder hoogbouwbezoekers. HKV-rapport PR 730, HKV LJN IN WATER, Lelystad.
- Jonkman, S.N., 2001. Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten. TU Delft / DWW, Delft.
- Jonkman, S. et al., 2004. Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming - Onderbouwing van de slachtofferfunctie voor de Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. Concept-document, DWW, Delft.
- Kok M., et al., 2002. Standaardmethode 2002 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. HKV LJN IN WATER & TNO-Bouw, Lelystad.
- Kok, M., Stijnen, J.W., Barendregt, A., Heynert, K., Hooijer, A. & Dijkman, J., 2003a. Bepaling van overstromingsrisico's in het bovenrivierengebied; Een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen langs de Rijntakken, HKV-rapport PR640, Lelystad.
- Kok, M., Stijnen, J.W., Barendregt, A., Heynert, K., Hooijer, A. & Dijkman, J., 2003b. Bepaling van overstromingsrisico's in het bovenrivierengebied; Een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen langs de Maas, HKV-rapport PR640, Lelystad.
- Kok, M., Stijnen, J.W., Barendregt, A., Heynert, K., Hooijer, A. & Dijkman, J., 2003c. Bepaling van overstromingsrisico's in het bovenrivierengebied; Een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen, Bijlagenrapport. HKV-rapport PR640, Lelystad.
- Lodder, Q., 2004. Bepaling van de decimeringshoogten in het benedenrivierengebied en de IJsseldelta, Rijkswaterstaat / RIZA, Lelystad.
- Meermans, W., 1999. Onzekerheidsanalyse HYDRA-M. Onzekerheid en de invloed daarvan op het met reprofuncties berekende kruinhoogtetekort voor dijken rond het IJsselmeer. TU Delft.
- Ogink H.J.M. & H.J. Barneveld, 2002. Quick Scan maximale wateraanvoer Maas. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Ogink, H.J.M., 2003. Nauwkeurigheid toetspeilen. WL-rapport Q3634, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Parmet, B.W.A.H., W. van de Langemheen, E.H. Chbab, J. Kwadijk, F.L.M. Diermanse & D. Klopstra, 2001a. Analyse van de maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith. RIZA rapport 2001.012. RIZA, Arnhem.
- Parmet, B.W.A.H., W. van de Langemheen, E.H. Chbab, J. Kwadijk, F.L.M. Diermanse & D. Klopstra, 2001b. Analyse van de maatgevende afvoer van de Maas te Borgharen. RIZA rapport 2001.013. RIZA, Arnhem.
- RIZA, 2004. Onderbouwing Hydraulische Randvoorwaarden 2001 Benedenrivierengebied. RIZA-rapport 2001.017 Concept 2.
- Schropp, M.H.I., 2003 Waterstandsverlaging door falen dijkringen. Memo WSR 2003-003. RIZA, Arnhem.

- Silva, W., F. Klijn & J.P.M. Dijkman, 2000. Ruimte voor Rijntakken; wat het onderzoek ons heeft geleerd. RIZA nota 2000.026, Arnhem/ WL-rapport R3294, Delft.
- Silva, W., 2001. Hoogwaterbescherming langs de Rijntakken; Onzekerheden en omgaan met onzekerheden. Rijkswaterstaat, RIZA, Werkdocument nr 2000.179x, 2001.
- Slomp, R., 2004. Onderbouwing Hydraulische Randvoorwaarden 2001 Benedenrivierengebied, Onderbouwing, toelichting en analyse van verschillen ten opzichte van het verleden. RIZA-rapport 2001.017 Concept 2, Hoofdstuk 8, RIZA, Arnhem.
- Stone, K., 2003. Bijlage bij HIS-Simulatie Delta 2003. WL- rapport nr. Q3641, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Stijnen, J.W., M. Kok & M.T. Duits, 2002. Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken; Onzekerheidsbronnen en gevolgen van maatregelen. HKV-rapport PR464, Lelystad.
- TAW, 1985. Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 – Bovenrivierengebied. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen., Delft.
- TAW, 2000. Van Overschrijdingskans naar Overstromingskans. Achtergrondrapport. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen., Delft.
- TAW, 2002. Brief aan de staatssecretaris van V&W: 'zwaardere golfbelasting op de Nederlandse kust'. TAW 02-78, 30 oktober 2002.
- Van Dantzig, D., 1960. Het economisch beslisprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloeden.. Bijdrage II.2 in deel 3 van Rapport Deltacommissie, Beschouwingen over stormvloeden en getijbeweging. Staatsdrukkerij, Den Haag.
- Van Manen, S., M. van der Doef, K. Slijkhuis, M. Brinkhuis-Jak, J.E. Venema & M. Hussaarts, 2001. Pilot Case Overstromingsrisico. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat / Bouwdienst / DWW, WB-1595, PICASO-4-00.020. Delft.
- Van Mierlo, M.C.L.M., 1999. Onderzoek naar het inundatieverloop in de Noordoostpolder. Een voorstudie. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Van Mierlo, M.C.L.M., A.C.W.M. Vrouwenvelder, E.O.F. Calle, J.K. Vrijling, S.N. Jonkman, K.M. de Bruijn, A.H. Weerts, 2003. Effects on river system behaviour on flood risks. Delft Cluster Report DC-1-211-1. Delft.
- Van Vuuren, W., 2003. Een analyse van de spreiding in opgetreden piekwaterstanden tijdens de historische hoogwaters op de Rijntakken over de periode 1901-2001. RIZA memo WSR 2003-011, RIZA, Arnhem.
- Ververs, M. & F. Klijn, geaccepteerd/ in druk 2004. Werken noodoverloopgebieden? Wat leert ons de overstroming van 1926? *Geografie*
- Vrisou van Eck, N. en Kok, M., 2001 Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. HKV LIJN IN WATER, februari 2001.
- WL | Delft Hydraulics, 2001. Case study naar effecten en consequenties van noodoverloopgebieden. WL-rapport Q2902, Delft.
- WL | Delft Hydraulics & EAC/RAND, 1992. Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen. Eindrapport + 4 deelrapporten. WL | Delft Hydraulics, Delft.
- WL | Delft Hydraulics, 2003. Second opinion inzake de problematiek van wijzigingen in de golftrandvoorwaarden voor de Nederlandse kust. WL-rapport H4204, Delft.

Bijlagen

A Kansentabel

Redeneerlijn voor de schatting van overstromingskansen (methode 1), berekende kansen (methode 2), eindoordeel en defaults.

B Logboek van het bepalen van de correctie op de schades van DWW (2003)

Deze bijlage geeft een zeer beknopte motivatie in telegramstijl van de getallen en correcties in bijlage C. Het doel van dit logboek is het verantwoorden van de redenering achter de getallen.

Bovenrivieren

Boven-Rijn

42: Ooijpolder

- DWW (2003): Waterstand 15,70 m + NAP. Maximale waterdieptes in het overstroomde gebied 3-5 m;
- De Bruijn (2002a, 2002b) heeft een doorbraak bij Kalkar (Duitsland) gesimuleerd bij een afvoer bij Lobith van 16000 m³/s te Lobith. Hierbij ontstaat een waterstand van 16,05 m + NAP. De maximale waterdieptes liggen dan rond de 4.5- 6.5 m. (boven de 5 m is de schade maximaal). De kruinhoogte van de Waaldijk bij Nijmegen is beperkend voor de waterdiepte en niet de bresgrootte. In het gebied zijn geen belangrijke grote obstructies of andere elementen aanwezig;
- *Geen reden voor schadecorrectie.*

48: Rijn en IJssel

DWW (2003): Waterstand: 11,80 m + NAP. De waterdiepte in het Rijnstrangengebied is 1 m (volgens aanname van 1 m waterdiepte in het hellende gebied). De laagste dijk ligt langs de IJssel.

Overstroming vanuit IJssel (geen simulaties van bekend):

Waarschijnlijk blijft het Rijnstrangengebied droog. De schadeschatting is daarom gebaseerd op het getal van DWW (2003) corresponderend met een waterdiepte gelijk aan de hoogte van de laagste dijk. Het hellend gebied blijft hierbij droog. Geen correctie.

Overstroming vanuit Boven-Rijn:

De Bruijn (2002) simuleerde afvoergolven met pieken van 16000 m³/s en 18000 m³/s bij Lobith en een doorbraak bij Spijk (Boven-Rijn).

Het Rijnstrangengebied kreeg bij deze simulaties een waterdiepte variërend tussen de 3,5 en 5 m. In dit gebied liggen de plaatsen: Pannerden, Spijk, Lobith, Herwerth en Aerdt. DWW (2003) neemt voor dit gebied een waterdiepte aan van 1 m, wat een ongeveer 40 % te lage schade oplevert. (De schadefactor van huizen wordt namelijk ongeveer 0,6 i.p.v. 0,2 en die van landbouw 1 i.p.v. 0,6). De schade in het Rijnstrangengebied is ongeveer 20 % van de totale schade bij een inundatie waarbij de schade wel goed is meegenomen. Om deze reden is een correctie van ongeveer + 10 procent nodig.

Bij de simulaties vond De Bruijn (2002) waterstanden van 10,36 m in het gebied langs de IJssel.

De waterdieptes in steden als Zevenaar, Westervoort en Duiven varieerden hierbij tussen de 0 en 0,8 m. In DWW (2003) zijn liggen deze waterdieptes rond de 1,4 m. De oppervlakte is echter beperkt en de invloed op de schade ook. Daarom is geen correctie voorgesteld.

Samenvattend: De verwachte schade en maximale schade zijn met 10 % verhoogd.

Overstroming vanuit het Pannerdens Kanaal:

De verwachte schade is gelijk aan één van de bovenstaande scenario's. Als overstroming plaats vindt aan de zuidkant en het Rijnstrangengebied (RS) onderloopt, dan is de schade gelijk aan die bij een doorbraak langs de Boven-Rijn, als RS niet onderloopt doordat de doorbraak noordelijker plaats vindt, dan zal de schade gelijk zijn aan die bij een doorbraak langs de IJssel.

Waal

41: Land van Maas en Waal

- DWW (2003): Dijkhoogte en waterstand 8,70 m + NAP. Waterdieptes bij DWW: 4,6 m benedenstrooms, 1 m bovenstrooms (als aanname van 1 m waterdiepte in hellende gebieden gebruikt wordt, anders 0 m);
- Eindwaterstand in De Bruijn (2003): 9,0 m + NAP;
- De hoogte van de Maasdijk is beperkend voor de waterdiepte, niet de instroom door de bres;
- Als de aanname van 1 m waterdiepte in hellende gebieden NIET gebruikt wordt is het overstromd oppervlak iets te klein (5 % op zijn hoogst). Ook zijn de waterdieptes iets onderschat (0,5 tot 1 m);
- *Gekozen: Schadecorrectie van + 10 % op de maximale schade: de verwachte schade blijft ongecorrigeerd.*

43: Betuwe

Overstroming helemaal bovenstrooms in Betuwe

- DWW (2003): Oostelijk gebied krijgt 1 m water, verder is de waterstand in het westen tot voorbij het Amsterdam Rijnkanaal gelijk aan de laagste dijkhoogte;
- De Bruijn (2002) heeft simulaties gedaan met afvoeren van 16000 en 18000 m³/s bij Lobith en een doorbraak helemaal bovenstrooms. Hierbij was de oppervlakte overstromd kleiner dan in DWW (2003) door de aanwezigheid van secundaire dijken (ongeveer 10 %);
- De waterdieptes in De Bruijn (2002) zijn westelijk van het ARkanaal 0,5-1 m hoger dan in DWW (2003). De oorzaak hiervan is de hogere eindwaterstand (6,54 m i.p.v 5,9 m + NAP) De Diefdijk is zeker hoger dan deze 5,9 m. Het is zeer aannemelijk dat de waterstanden door DWW (2003) onderschat zijn;
- Oostelijk van het AR kanaal zijn de waterdieptes in De Bruijn (2002) beduidend hoger (1 tot 2 m) dan die van DWW (2003). (De waterstand is 7,03 m i.p.v 5,9 m + NAP). Het AR kanaal zorgt voor een opstuwung van de waterdieptes;
- Deze onderschatting van waterstanden en waterdieptes leidt tot een onderschatting van de schade van ongeveer 10 % (Zie tabel 1);
- Conclusie: door onterechte overstroming van oostelijke en noordelijke delen is de schade van DWW (2003) ongeveer 10 % te hoog, door onderschatting van waterdieptes echter weer ongeveer 10 % te laag;

- *Gekozen correctie: verwachte schade gelijk aan getal DWW (2003), maximale schade en minimale schade resp. 10 % meer en 10 % minder.*

Overstroming westelijk van AR kanaal

- Het gebied ten oosten van AR-kanaal blijft droog (WL, 2001). Het overstromde oppervlak van DWW (2003) is ongeveer 20 % te groot. Daarom is er een schade correctie van – 20 % gekozen;
- *De verwachte schade is dus het DWW (2003) getal *0,8, de maximale schade is de schade bij $d =$ laagste kruinhoogte.*

38: Bommelerwaard

- DWW (2003): Schade 2500 miljoen euro, max. waterstand 5,30 m + NAP;
- Het gebied is vrij vlak: het hele gebied loopt onder als water tot aan de laagste kruin staat. Het gebied is relatief klein, dus waarschijnlijk is er voldoende water om het hele gebied onder te zetten. De bres zal vermoedelijk niet beperkend zijn. De MHW's zijn hoger dan de gekozen waterstand in DWW (2003), waarschijnlijk doordat de laagste dijk van dit gebied langs de afgedamde Maas ligt (de laagste MHW langs Maas ligt op 5,7 m bij kmr 226). Stel dat de waterdiepte toeneemt met 40 cm dan levert dit een schadetoename van maximaal 10 % op. Echter, de maximale waterstand lijkt goed gekozen. *Geen schadecorrectie nodig.*

Maas

36: Land van Heusden/de Maaskant

- DWW (2003): Schade met hellende gebieden 17.602 miljoen euro. Schade zonder hellende gebieden 10.047 miljoen euro. Maximale waterstand: 5,20 m + NAP. Het grootste deel van het gebied valt droog bij deze waterstand;
- Er zijn van dit gebied geen simulaties bekend;
- De dijkkring is erg groot en helt sterk naar het westen en naar het zuiden. De bovenstroomse MHW's (kmr 150 bij Boxmeer) liggen rond de 14,5 m. De bodemhoogte daar is ruim 14 m. De bodemhoogte in het noordwesten is slechts rond de 0,8 m (Heusden). Het gebied omvat de steden Den Bosch en Oss en veel landbouwgebieden (oosten);
- Een bovenstroomse dijkdoorbraak zal vermoedelijk leiden tot een watergolf door het gebied richting het westen en het noorden. Het uiterste zuidoosten blijft waarschijnlijk gewoon droog. Het oppervlak ondergelopen gebied met een waterdiepte van 1 m in DWW (2003) is waarschijnlijk overschat, echter daar de randen in het zuiden en oosten veelal in gebruik zijn als landbouwgebied zal de overschatting van de schade klein zijn;
- *Correctie: de waarde van DWW is gebruikt als bovengrens. De verwachte schade is geschat als 90 % hiervan. Bij een benedenstroomse dijkdoorbraak blijft het hoger gelegen oostelijk deel droog. Het DWW getal is hiervoor niet gecorrigeerd en wordt gebruikt zowel voor de bovengrens van de schade als voor de verwachte waarde.*

36a, 37, 39 en 40: Keent, Nederhemert, Alem en Heerewaarden

Deze dijkringen zijn eilanden in of tussen de Maas en Waal. *Geen schadecorrecties toegepast. De schade genoemd in DWW (2003) is waarschijnlijk een bovengrens!*

Neder-Rijn

45: Gelderse Vallei

- DWW (2003): De waterdiepte in het grootste deel van het gebied is 1 m (de overstromingsdiepte is afgeleid uit de waterstand bij het Eemmeer). Alleen ten noorden van de lijn noordpunt Amersfoort – centrum Nijkerk variëren waterdieptes tussen 1 en 2 m. De gebruikte waterstand is: 1,8 m + NAP.

Overstroming vanuit het Eemmeer:

In simulaties (Asselman, 2001) overstroomt bij een doorbraak van de dijk langs het Eemmeer slechts een klein gebied langs het Eemmeer. Amersfoort en de rest van de Gelderse Vallei blijven droog. De schatting in DWW (2003) zonder hellende gebieden lijkt redelijk. *Geen correctie toegepast.*

Overstroming door doorbraak van de Grebbedijk

De waterdieptes door een doorbraak in de Grebbedijk worden ter plaatse van het Binnenveld en Veenendaal groter dan 3 m (Asselman, 2001). Boven de A12 zijn de resulterende waterdieptes echter veel kleiner, eerder 0,1 tot 0,5 m. In DWW (2003) is voor het gehele gebied gerekend met een waterdiepte van 1 m. *Geen correctie toegepast.*

44: Kromme Rijn

- DWW (2003): Maximale waterstand is 1,9 m + NAP. Het oostelijk deel en het uiterste zuiden is hellend en heeft een waterdiepte van 1m. De waterdiepte in het overige gebied varieert van 0,6 m in het zuiden tot ruim 3 m in het noordwesten;
- Asselman (2002): Bij een doorbraak bij Amerongen (Neder-Rijn) zijn de waterdieptes sterk afhankelijk van de locatie van de bres (A27/ Amerongen), de breedte van de bres en het debiet door de Lek. Verder is het spuiregime belangrijk. Waterdieptes in het zuiden variëren tussen de 0,5 en 2 m afhankelijk van het scenario. Utrecht loopt niet onder en Amsterdam ook niet. De schade komt op 2 - 4 miljard euro. *Dit is een correctie van 80%!*
- Bij een doorbraak langs het Randmeer blijven ook Utrecht en Amsterdam droog. *De gekozen schadereductie voor die situatie is 80 %;*
- Doorbraak Randmeer of Noordzee waardoor gebied rond Amsterdam overstroomt overstroomd oppervlak waarschijnlijk overschat met ruim 80 % (getal: d = minimale kruinhoogte gebruiken) *Er is hier een schadecorrectie van – 80 % gekozen.*

IJssel

47: Arnhemse en Velpsebroek

Getal komberging (aanneme d = diepte laagste kruinhoogte) genomen. *Geen correctie.*

49: IJsselland

Dit gebied helt van oost naar west, terwijl de rivier van zuid naar noord stroomt. Komberging is dan geen onredelijke aanname. *Geen correcties.*

50: Zutphen

Dit gebied helt van oost naar west, terwijl de rivier van zuid naar noord stroomt. Komberging is dan geen onredelijke aanname. *Geen correcties.*

51: Gorssel

Dit gebied helt van oost naar west, terwijl de rivier van zuid naar noord stroomt. Komberging is dan geen onredelijke aanname. *Geen correcties.*

52: Oost-Veluwe & Salland

Bij een bovenstroomse dijkdoorbraak zal een groot gedeelte van het zuidelijke dijkkringgebied onderlopen, bij een benedenstroomse doorbraak niet. Om deze reden is voor een bovenstroomse doorbraak het DWW-getal horend bij een waterdiepte gebaseerd op de laagste kruinhoogte en 1 m in de hellende gebieden genomen, terwijl bij een benedenstroomse dijkdoorbraak het getal gekozen is waarbij het zuidelijk gedeelte droog blijft.

Benedenrivieren

Zuid-Holland

15: Lopiker- en Krimpenerwaard

- DWW (2003): Maximale waterstand: 1,90 m + NAP. Resulterende waterdieptes in het grootste gedeelte tussen de 3 en 5 m. In het westen soms groter dan 5 m. In het uiterste oosten, langs de rivieren tussen de 1 en 3m. Landgebruik: grotendeels landbouw. Alleen in het oosten en zuiden bebouwing;
- HKV (2003) heeft simulaties gedaan voor verschillende doorbraken:
 - Bij een doorbraak bij Nieuwegein in het oosten bij maatgevende condities ontstaat een waterdiepte van 0- 0,5 m in het westen en 0,5- 1,5 m in het oosten. Ten noorden van de Hollandse IJssel en ten zuiden van de A12 (buiten dijkkring 15) worden waterdieptes van 1- 2 m bereikt. De eindbresbreedte is hier 40 m;
 - Bij een doorbraak bij IJsselstein ontstaan waterdieptes van 2,5 m in het westen, 2 meter in het oosten en 1,5 m ten noorden van de IJssel. De eindbresbreedte is hier 85 m;
 - Bij een doorbraak bij Lopik ontstaan waterdieptes tussen de 2.5m (westen) en de 1.75m (oosten) in het gebied. De eindbresbreedte is hier 90m;
 - Bij een doorbraak bij Lekkerkerk ontstaan waterdieptes die van west naar oost van 2,5 naar 1,25 m aflopen. Ten noorden van de Hollandse IJssel komt nauwelijks water. De bres groeit tot ongeveer 65 m;
 - Een doorbraak bij Krimpen aan de Lek resulteert in waterdieptes die van west naar oost variëren van 0,5 m ten westen van de Vlist tot 0 m ten oosten van de Vlist. Slechts een gedeelte van dijkkring 15 loopt onder. De bres groeit tot een breedte van ongeveer 50 m;

- Bij een doorbraak bij Cappelle aan de IJssel loopt slechts een heel klein gebied onder tot een maximale diepte van 0,3 m. De bres groeit tot een breedte van ongeveer 28 m;
- Samenvattend: de schade volgens het DWW-getal lijkt een bovengrens. De waterdiepte is erg groot. Als correctie wordt 50 % geschat voor een doorbraak langs de Lek. Bij een doorbraak langs de Hollandse IJssel is de verwachte schade echter nog veel lager.

16: Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, 17: IJsselmonde, 18 & 19: Pernis en Rozenburg

Dit zijn diepe polders die onderlopen met waterdieptes van 3 tot 5 m. Er is waarschijnlijk voldoende water beschikbaar in de Waal om deze gebieden helemaal onder water te zetten. Bij een overstroming vanuit een andere tak zoals de Lek en de Noord is dit niet zeker. Het DWW-getal is daarom als bovengrens gekozen. *Er zijn geen correcties gedaan.*

20: Voorne-Putten

- DWW (2003): waterstand van 3,81 m + NAP, schade van 16.200 miljoen euro;
- Voorne-Putten kan vanuit zee of vanuit Hartelkanaal/ Oude Maas/ Haringvliet overstromen. Is er voldoende water beschikbaar om het gehele gebied onder te zetten. Er zijn veel binnendijken in het gebied aanwezig. Waarschijnlijk loopt niet het hele gebied onder, *daarom is een onzekerheidsmarge van 50 % genomen. DWW-getal is als maximum genomen.*

21: Hoeksche Waard

- De Hoekse Waard kan vanuit zee of vanuit Hollands Diep, Oude Maas, de Dordtse Kil en het Spui overstromen. Het is niet zeker of er voldoende water beschikbaar is om het gehele gebied onder te zetten ook is de ligging en sterkte van eventuele binnendijken niet bekend. Het gaat te ver in dit project om dit uit te zoeken. Waarschijnlijk loopt niet het hele gebied onder, *daarom is een onzekerheidsmarge van 50% genomen. DWW (2003) is als maximum genomen.*

22: Eiland van Dordrecht,

Dit is een klein gebied waarin waterdieptes van meer dan 3 m verwacht mogen worden. *Er is geen reden voor schadecorrectie.*

23: Biesbosch en 24: Land van Altena, 34a: Geertruidenberg, 35: Donge

Geen reden tot schadecorrectie.

IJssel- en Vechtdelta

9: Vollenhove

- DWW (2003): schade bij waterdiepte gelijk aan laagste kruinhoogte en 1 m in hellende gebieden: 5.175 miljard euro, schade met waterdiepte gelijk aan laagste dijk: 4.805 miljard euro. Maximale waterstand: 2,80 m + NAP. Een groot deel van het gebied loopt onder met een waterdiepte > 5 m;
- Ten zuidwesten liggen het Zwarte Meer, het Zwarte Water en de Vecht. Het lijkt onwaarschijnlijk dat zo'n groot gebied diep onder water gaat door een overstroming uit een relatief kleine rivier als de Vecht of door een overstroming vanuit het Zwarte meer of het Zwarte Water. *Om die reden is het getal van DWW als bovengrens genomen en is 50 % als de verwachte schade gekozen.*

10: Mastenbroek

- De schade verwacht door DWW is 1 miljard euro bij een maximale waterstand van 1,70 m + NAP. De waterdiepte varieert van 4 tot 1,3 m.
- Dit is een laaggelegen gebied met veel sloten en weinig binnendijken. Uit de studie Heuer & Vervoorn (2003) blijkt dat de waterdieptes in het gebied afhangen van de doorbraaklocatie en variëren van 4,20 tot ruim 5 m in de diepste polder en 0- 5 m in de rest van het gebied. Bij een overstroming vanuit IJsselmuiden varieert de diepte van 5 tot 1,5 m, bij een doorbraak te Veecaten tussen de 5,3 en ruim 2 m en bij een doorbraak te Westenholte blijft ruim de helft van het gebied droog;
- *Als verwachte schade is de waarde van DWW aangehouden, de maximale schade is 10% hoger gekozen en de minimale schade 50 % lager.*

11: IJsseldelta

- De schade verwacht door DWW is 1 miljard euro bij een maximale waterstand van 1,40 m + NAP. Bij deze waterstand blijft het zuiden van de dijkkring droog en is de waterdiepte in het grootste gebied rond de 1,5 m;
- Uit de simulaties van Heuer & Vervoorn (2003) blijkt dat de resulterende waterdiepte bij een doorbraak te Kampen in het centrum van het gebied rond de 2,2 m bedraagt, in het grootste gedeelte van het gebied tussen de 1 en 2 m ligt en naar de randen toe afneemt tot 0. Bij een doorbraak te Zalk ontstaat een vergelijkbaar patroon;
- Het DWW-getal waarbij de hellende gebieden droog blijven, is gebruikt zonder correctie.

Kustgebieden

Zeeland

27: Tholen en St. Philipsland

- DWW (2003): Schade 2294 miljoen euro, waterstand 3,85 m + NAP. Het gehele gebied komt diep onder water te staan;
- In 1953 liep bijna geheel St Philipsland onder water en ongeveer de helft van Tholen door de aanwezigheid van veel secundaire waterkeringen. De huidige staat en sterkte van deze keringen is onzeker. Door de Deltawerken is de berekende geïnundeerde oppervlakte bij doorbraken zoals in 1953 en de huidige maatgevende hoogwaterstanden en getij iets kleiner dan in 1953;
- De DWW (2003) waterstand is aan de hoge kant, 3 m lijkt een betere schatting;
- Het DWW getal is gekozen als bovengrens. *Correctie verwachte waarde: 50 % omlaag.*

30: Zuid Beveland West

- DWW (2003): schade 10 miljoen euro, waterstand 4,50 m + NAP. Hele gebied diep onder water (ruim 3,5 m).

- Stone (2004) heeft een simulatie gedaan van een dijkdoorbraak gelijk aan die in 1953 in het huidige landschap. De resultaten laten zien dat bij een dijkdoorbraak zoals die in 1953 optrad, er slechts een klein gedeelte van de dijkkring onder water loopt. De waterstand in de polder direct achter de doorgebroken dijk bedraagt in de simulaties 3,80 m + NAP, in de andere polders wordt de waterstand minder hoog. De waterdiepte varieert van rond de 4 m in de diepste polder tot 1 m in de ondiepste polder. Het grootste gedeelte van de polders blijft droog. De resulterende stroomsnelheden waren maximaal 2,4 m/s.
- Waarschijnlijk zou nu weer slechts een gedeelte van de dijkkring onderlopen. *Daarom is het DWW-getal als bovengrens gekozen en is de verwachte schade geschat op 50 % hier van.*

31: Zuid Beveland oost

- DWW 2003: waterstand 5,10 m. Hele gebied diep onder water.
- In 1953 liep slechts 1/5 deel onder met een waterdiepte van 1 tot maximaal 4 m. In simulaties met nieuwe maatgevende omstandigheden en de dijkdoorbraaklocaties van 2003 loopt een groter gebied onder dan in 1953: ongeveer 70 % van de dijkkring loopt nu onder (Asselman, 2003). Het DWW-getal, gebaseerd op het onderlopen van het gehele gebied is dus een bovengrens. De waterstand van DWW (2003) lijkt aan de hoge kant. In (Asselman, 2003) bedraagt deze maximaal 4,5 m;
- *Correctie: de verwachte schade is geschat als 70 % van het getal van DWW (2003).*

32: Zeeuwsch Vlaanderen

- DWW (2003): waterstand 5,5 m + NAP. Het gehele gebied komt diep onder water te staan.
- In 1953 liep slechts 1 % onder door de aanwezigheid van veel secundaire waterkeringen. Bovendien was de waterstand veel lager (eerder 3,5 m maximaal). Bij simulaties voor Delta 2003 liep maximaal 5 % onder.
- *Correctie van 95% genomen DWW-getal is een bovengrens.*

26: Schouwen Duiveland

28: Noord Beveland

29: Walcheren

25: Goeree-Overflakkee

20: Voorne Putten

33: Kreekrakpolder

34: West-Brabant

Veel secundaire waterkeringen. DWW-getal is een bovengrens. Correctie van 50 % gekozen op basis van andere gebieden in Zeeland.

Waddeneilanden

Geen hoge delen binnen de dijkkring, alles loopt onder. *Geen redenen tot correcties.*

Friesland en Groningen

DWW (2003): waterstand max 2,80 m + NAP. Bijna de hele dijkkring loopt onder. Dit lijkt onwaarschijnlijk. *Onzekerheidsmarge van 50 % genomen.*

Noord- en Zuid-Holland

12: Wieringen

- DWW (2003): schade met 1 m waterdiepte in de hellende gebieden: 2.906 miljoen euro, schade bij $d =$ minimale kruinhoogte: 2.840 miljoen euro bij een maximale waterstand van 1,90 m +NAP. Bij deze waterstand blijft alleen de noordrand droog, in de rest van het gebied staat ongeveer 5 m water;
- Dit is een kleine diepe polder. *Geen reden tot schadecorrectie.*

13: Noord-Holland

- DWW (2003): maximale waterstand 1,90 m. Alles loopt onder behalve de Duinen.
- *Doorbraak vanuit Noordzee:* Noordhollandse Kop (ten noorden van de duinen) volgens Dedel (2003): bij een waterstand gelijk aan 5,40 m + NAP (ongeveer 1/100000 jaar) en een stormopzet gedurende 48 uur en breuk bij Callandsoog overstroomt slechts 6,6 km² (660 ha); indien er twee breuken zijn, 1 bij Groote Keeten en 1 bij Callandsoog loopt slechts 3800 ha onder (2 % van de dijkkring). Dedel (2003) berekent bij deze laatste situatie een schade van 401 miljoen euro (schade & Slachtoffermodule versie 1, prijspeil 1999). Dit is slechts 0,6 % van het getal van DWW. Bij een doorbraak vanuit de Noordzee is de schade dus waarschijnlijk veel lager dan het getal van DWW. *Voorstel correctie: - 95 % als minimum schadegetal DWW als maximum, verwachte schade 10 % van DWW-bedrag.*
- *Doorbraak van de duinen:* dit lijkt zeer onwaarschijnlijk.
- *Doorbraak vanuit IJsselmeer:* Geen simulaties bekend. Waarschijnlijk loopt slechts een deel van het gebied onder. Het oosten is veel lager gelegen dan het westen. Daarom meer schade verwacht. *Voorgestelde correctie: minimum 10 % van DWW-getal, maximum gelijk aan DWW-getal, verwachte schade: 50 % van DWW-getal.*

14: Zuid-Holland

- DWW (2003): Maximale waterstand: 1,90 m + NAP. Alles loopt onder behalve de duinen.
- *Doorbraak bij Krimpen aan de IJssel (Hollandse IJssel):* Asselman & Heijnert (2003) hebben een scenario bestudeerd dat representatief is voor een combinatie van hoge rivierafvoeren en storm op zee waarbij de keringen gesloten zijn. In dit scenario loopt ongeveer 20 % onder. De waterdiepte in het grootste deel van het overstroomde gebied bedraagt meer dan 2,3 m, een klein deel blijft ondieper. De steden Den Haag, Leiden, Delft en het kassengebied in het Westland blijven grotendeels droog. De stad Zoetermeer loopt diep onder. Delen van Vlaardingen en Schiedam komen ook onder water te staan. De geschatte schade in dit overstroomde gebied (bepaald door een grove selectie te maken in de schadekaart van DWW) is ongeveer 5,5 miljard euro. Dit is ongeveer 2 % van het getal van DWW.
- *Doorbraak bij Katwijk.* Asselman & Heijnert (2003) simuleerden een doorbraak te Katwijk bij een waterniveau van 5,75 m (toetspeil). De dijk breekt bij het eind van de vloed, wanneer het water weer gaat zakken. Het water zakt vervolgens tot 3 m + NAP en stijgt vervolgens tijdens vloed weer naar ongeveer 4,3 m. Ook de derde vloedpiek is nog hoog (3 m + NAP). De waterdieptes en oppervlaktes resulterend na een doorbraak bij Katwijk zijn kleiner dan die na een doorbraak bij Rotterdam. Rotterdam en Den Haag blijven grotendeels droog, ook Amsterdam blijft droog. Leiden loopt echter wel onder. De schade is naar verwachting nog kleiner dan bij bovenstaand scenario.

- Als waarschijnlijke schade is voor de dijkkring 5 % van het DWW-getal gekozen.

Meren

7: Noordoostpolder

- DWW (2003): Waterstand 2,8 m + NAP. Waterdiepte overall groter dan 5 m (vaak groter dan 7 m!);
- Van Mierlo (1999) heeft verschillende doorbraakscenario's in de Zuidermeerdijk en de Westermeerdijk bekeken bij een maatgevend waterstandsverloop in het IJsselmeer. De bres groeit in 25 uur van 0 tot 500 m breed. Ook is een scenario bekeken waarin de bres in 50 uur groeit naar 50 m breed. De maximale waterstand in de polder wordt bij deze scenario's -1,18 m + NAP (evenwichtswaterstand in het IJsselmeer). Deze waterstand wordt na ongeveer 100 uur bereikt. Alleen het voormalig eiland Urk, Schokland en enkele gebieden aan de Noordoostzijde wordt niet geïnundeerd.
- Samenvattend kunnen we aannemen dat het getal van DWW (2003) een bovengrens is. In werkelijkheid kan een 4 m lagere waterstand verwacht worden en liggen de waterdieptes in het grootste deel van het gebied tussen de 2,5 en 4 m en in het oosten tussen de 0 en 2,5 m. Voor de landbouwgebieden maakt dit niet zo veel uit. Voor de steden kan dit wel uitmaken. Als Emmeloord i.p.v met 6,7 m slechts 2,7 m onderloopt, dan daalt de schadefactor voor huizen van 1 naar ongeveer 0,4. Het percentage huizen is slechts ongeveer 5 %, maar de schade per oppervlak in stedelijke gebieden is veel groter dan in landelijke gebieden.
- *Schadecorrectie van 50 %.*

8: Flevopolder

- DWW (2003): maximale waterstand: 1,5 m. Hierbij staat het gehele gebied onder water. De waterdiepte is in het overgrote gedeelte van het gebied > 5 m. In een klein gebied langs de noordoost rand is deze 'slechts' 1,7 m;
- Crebas (2001, 2003) heeft simulaties gedaan voor een doorbraak bij Dronten, Zeewolde, Lelystad en Almere. Er is rekening gehouden met een 'worst case situation': het waterstandsverloop heeft een kans van 1/4000 per jaar. Er is gerekend met scenario's waarin de sluizen in de Knardijk gesloten zijn en waarbij dit niet zo is. Bresgroei is berekend en niet opgelegd.
 - Bij een doorbraak bij Dronten waarbij het gat van 0 tot 683 m groeide in 114 uur waarbij aangenomen is dat de sluizen in de Knardijk open waren, wordt de waterdiepte ongeveer 2 – 2,5 m in het noorden en 0,2 – 2 m in het zuiden. De steden en dorpen (Lelystad, Almere, Swifterbant, Dronten en Zeewolde) staan ongeveer 1 a 1,2 m onder water. Is de knardijk gesloten dan krijgt het noordelijk gedeelte een waterdiepte van rond de 3m, en de woonkernen een waterdiepte van maximaal 2 m. Het zuidelijk gebied blijft droog.
 - Bij een doorbraak bij Zeewolde worden de waterdieptes slechts 0,2-0,5 m en blijft ruim de helft van het gebied droog (waaronder een groot deel van de woonkernen);
 - Een dijkdoorbraak te Almere resulteert, indien de Knardijksluizen geopend zijn tot een waterdiepte van 1,5 – 2 m in het gehele gebied. Als de Knardijksluizen gesloten zijn wordt de waterdiepte 1,8 tot 2,5 m in het zuidelijke gebied en blijft het noordelijke gebied droog. De bresgroei die bij dit laatste scenario is aangenomen: 0 – 322 m in 54 uur.

- Een dijkdoorbraak bij Lelystad onder maatgevende omstandigheden leidt tot een waterdiepte van 1,5 – 2 m in het noordelijk gebied en 0,2 – 1,5 m in het zuidelijk gebied wanneer de Knardijksluizen open staan en een waterdiepte van 2 – 2,5 m in het noordelijke gedeelte als de sluisen dicht zijn.

Samenvattend kunnen we stellen dat de schade door DWW waarschijnlijk is overschat omdat de waterdieptes zijn overschat. De schade in het zuidelijk gedeelte is dit 20 miljard euro, en voor het noordelijk gedeelte 14 miljard euro (berekend op basis van de schadekaart uit DWW (2003). Indien we aannemen dat slechts het zuidelijk of het noordelijk gebied zal overstromen dan daalt de schade dus al met zo'n 40 – 60 %. Indien we bovendien lagere waterdieptes verwachten in met name de stedelijke gebieden dan kunnen we de verwachte schade nogmaals verlagen. Een combinatie van zowel een kleinere waterdiepte als een kleiner overstroomd oppervlak leidt tot een verwachte schade van ongeveer 50 %. *Als bovengrens kan het DWW-getal aangehouden worden.*

46: Eempolder

Geen reden voor correcties.

13a: IJburg en 13b: Marken

Voor deze twee dijkringen zijn geen schadegetallen bekend en zijn er dus ook geen correcties.

C Schades per dijkkring

Tabel met schades en berekeningswijze

D Correctie op het aantal slachtoffers door overstromingssimulaties

Voor de beschrijvingen van de simulaties wordt verwezen naar Bijlage B. In die bijlage staan de precies uitgevoerde simulaties inclusief conclusies die hieraan verbonden kunnen worden. In Bijlage B zijn bandbreedtes gekozen voor de economische schade. Op vergelijkbare wijze geven we in deze bijlage de consequenties voor het aantal slachtoffers weer. Alleen de dijkringen waarbij er op grond van Bijlage B reden is om de bandbreedte van het aantal slachtoffers aan te passen worden besproken.

Bovenrivieren

48: Rijn en IJssel

Iets grotere dieptes in een deel van het gebied (rond de 4 meter i.p.v. rond de 1 meter) zorgen voor een groter aantal slachtoffers ten gevolge van de waterdiepte (factor 5). Verwachting is dat er 10 % minder slachtoffers zullen vallen.

43: Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden

- Bij een overstroming helemaal bovenstrooms in de Betuwe treden iets grotere dieptes op oostelijk van het Amsterdam-Rijnkanaal (rond de 7 meter i.p.v. rond de 6 meter). Dit effect is reeds gecompenseerd in de benadering met waterschijven van 1 meter die in het huidige betoog wordt gehanteerd.
- Bij een overstroming westelijk van het AR-kanaal neemt de oppervlakte van het geïnundeerde gebied met ongeveer 20 % af. Er wordt aangenomen dat dit een vergelijkbaar percentage minder slachtoffers oplevert.

36: Land van Heusden / de Maaskant

Een klein deel van het gebied blijft waarschijnlijk droog. We nemen aan dat het aantal slachtoffers met 10 % afneemt.

44: Kromme Rijn

Grote delen van deze dijkkring blijven naar alle waarschijnlijkheid droog, waaronder gebieden met een grote bevolkingsdichtheid zoals Utrecht en Amsterdam. Er wordt verwacht dat het aantal slachtoffers met 70 % tot 90 % afneemt.

IJssel

52 en 53: Oost-Veluwe en Salland

Afhankelijk van de locatie van de dijkdoorbraak is het mogelijk dat de helft van het gebied niet onderloopt. Het aantal slachtoffers zou dan 50 % minder zijn.

Zuid-Holland

15: Lopiker- en Krimpenerwaarden

Afhankelijk van het de locatie van de bres treden kleinere waterdieptes op. Deze zijn grofweg een factor 2 lager. Dit kan een factor 2 à 3 minder slachtoffers opleveren ten gevolge van waterdiepte.

20: Voorne Putten

Er bestaat onzekerheid of het gehele gebied onder zal lopen. Dit kan ervoor zorgen dat uiteindelijk maar ongeveer 50 % van het gebied onder water zal staan. Het aantal slachtoffers zou hierdoor grofweg halveren.

21: Hoeksche Waard

Er bestaat onzekerheid of het gehele gebied onder zal lopen. Dit kan ervoor zorgen dat uiteindelijk maar ongeveer 50 % van het gebied onder water zal staan. Het aantal slachtoffers zou hierdoor grofweg halveren.

IJssel- En Vechtdelta

9: Vollenhove

Er wordt verwacht dat niet het gehele gebied onder water zal komen te staan. Het aantal slachtoffers zal waarschijnlijk slechts de helft bedragen.

10: Mastenbroek

Afhankelijk van de doorbraaklocatie kunnen enerzijds de waterdieptes iets groter worden dan nu door de DWW wordt gehanteerd, terwijl anderzijds het mogelijk is dat de helft van het gebied droog blijft. Voor het aantal slachtoffers nemen we daarom aan dat dit 10 % hoger zou kunnen zijn, maar ook 50 % lager.

Kustgebieden

27: Tholen en St. Philipsland

Het is mogelijk dat bij een overstroming als in 1953 slechts de helft van het gebied onderstroomt. Correctie op het aantal slachtoffers is dan 50 %.

30: Zuid Beveland west

Uit simulaties blijkt dat slechts een deel van het gebied onderloopt. Correctie op het aantal slachtoffers is dan 50 %.

31: Zuid Beveland oost

In simulaties komt ongeveer 70 % van het gebied onder water te staan. Het aantal slachtoffers wordt in dat geval met 0,7 vermenigvuldigd.

32: Zeeuwsch Vlaanderen

In simulaties loopt slechts zo'n 5 % van het gebied onder. Het aantal slachtoffers zou dan ook slechts 5 % bedragen van wat nu is geschat.

6: Friesland en Groningen

Het lijkt onwaarschijnlijk dat de gehele dijkkring onder zal lopen. Als ondergrens wordt aangenomen dat de helft onder water komt te staan. Het aantal slachtoffers wordt dan met 50 % gereduceerd.

13: Noord-Holland

Uit de simulaties volgt dat slechts een heel klein deel van de dijkkring onderloopt (tot maximaal 5 %). Conform het voorstel voor de economische schade uit Bijlage B stellen we de schatting van de ondergrens voor het aantal slachtoffers op 5 % van het totaal.

14: Zuid-Holland

Volgens de simulaties is het mogelijk dat slechts 20 % van de dijkkring onderloopt, waarbij steden als Den Haag, Leiden en Delft droog blijven. We nemen als ondergrens 5 % van het aantal slachtoffers.

Merengebied

7: Noordoostpolder

Volgens uitgevoerde simulaties zullen de waterdieptes een stuk kleiner worden. Als de waterdiepte van 7 m naar 3 m gaat, neemt het aantal slachtoffers ten gevolge van waterdiepte grofweg met een factor 10 af.

8: Flevopolder

Als we aannemen dat slechts het zuidelijke of noordelijke deel zal onderlopen en tevens rekening houdend met kleinere waterdieptes, zal het aantal slachtoffers met een factor 2 af kunnen nemen.

E Slachtoffers per dijkkring

Tabel met slachtoffers, en wijze waarop deze zijn berekend.

Dijkringnummer	Naam	Dijkring omschrijving	Getroffen		Mensen buiten overstromingsgebied (geen hoopboom)		Mensen aan het getroffen		Mensen aan het potentieel getroffen		Potentiele slachtoffers		Diepte		Stijgmeelheid		Stroomsnelheid		Mortaliteit			
			Mensen buiten overstromingsgebied (geen hoopboom)	Mensen aan het getroffen	Mensen aan het getroffen	Mensen aan het potentieel getroffen	Maximale aantal slachtoffers	Maximale aantal potentiële slachtoffers	Maximale aantal potentiële slachtoffers	Maximale aantal potentiële slachtoffers	Ondergrens aantal slachtoffers (overstromingsdijke)	Ondergrens aantal slachtoffers (stijgmeelheid)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)	Ondergrens aantal slachtoffers (slachtoffers)
1	Schermerhoek	Geen correctie	200	800	700	800	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Ameiland	Geen correctie	0	3.500	3.400	3.500	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	Wierland	Geen correctie	0	1.300	1.200	1.300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	Vilard	Geen correctie	200	300	1.200	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	Texel	Geen correctie	300	14.000	13.800	14.000	100	100	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Friesland en Groningen	Geen correctie	4.800	523.200	1.046.400	250.000	460.000	250.000	460.000	5.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Noordopolder	50% - 100%	1.100	29.200	58.500	700	2700	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Flevoland	50% - 100%	1.000	119.300	238.700	1400	5700	0	1.900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	Vollehave	50% - 100%	4.000	41.500	83.000	80	300	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	Mastbroek	50% - 100%	200	14.500	32.200	80	90	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	Usseldelta	Geen correctie	0	45.400	45.400	500	500	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Usseldelta	50% - 100%	20	45.400	45.400	500	500	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	Noord-Holland	50% - 100%	10.200	47.400	949.300	300	5.600	0	10.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	Uburg	Geen correctie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	Marron	Geen correctie	0	2.100	2.100	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	Centraal-Holland	50% - 100%	60.100	159.700	3.195.800	2.500	45.100	0	84.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	Lopiker- en Krampeneerwaard	50% - 100%	100	97.700	195.400	600	1.000	0	1.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	Alblaswaard en Vijfheerlanden	Geen correctie	0	197.500	197.500	2.500	2.300	0	2.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	Usseldelta	Geen correctie	600	335.300	335.300	4.500	9.000	0	7.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	Juselmonde	50% - 100%	0	4.400	4.400	200	200	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Perms	Geen correctie	0	13.400	13.400	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Voortvliet	Geen correctie	0	13.400	13.400	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	Wachterwaard	50% - 100%	100	74.900	149.800	3.100	3.100	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	Voornepolder	50% - 100%	0	82.900	82.900	1.200	1.200	0	3.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	Hoeksche Waard	Geen correctie	0	98.200	98.200	500	900	0	1.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	Eiland van Dordrecht	Geen correctie	0	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	Biesbosch	Geen correctie	0	51.100	51.100	400	400	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	Land van Allena	50% - 100%	200	23.100	46.300	500	400	0	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	Goeree-Overflakkee	50% - 100%	100	16.600	33.200	300	500	0	1.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Schouwen Duivendijk	50% - 100%	300	1.300	22.700	100	200	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	Tholen en St. Philipsland	50% - 100%	0	55.200	110.500	800	1.400	0	5.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	Tholen en St. Philipsland	50% - 100%	0	55.200	110.500	800	1.400	0	5.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	Wachterwaard	50% - 100%	0	34.900	69.800	500	900	0	2.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	Zuid Beveland west	50% - 100%	0	13.100	18.800	300	400	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	Zuid Beveland oost	50% - 100%	0	5200	105.700	80	1.400	0	4.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	Zeeuwisch Vlaanderen	50% - 100%	0	30	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	Kreekrakpolder	50% - 100%	157.300	107.600	215.300	400	700	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	West-Brabant	Geen correctie	800	6.100	6.100	20	20	0	6.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	Geertruidenberg	Geen correctie	8.100	87.400	87.400	300	300	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	Donge	Geen correctie	3.200	360.100	400.600	100	1.100	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	De Oude Maas	Geen correctie	0	60	60	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	Van Heusden/de Maasakant	Geen correctie	0	30	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	37	Nedardameert	Geen correctie	0	45.200	45.200	4	200	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Bommelwaard	Geen correctie	0	400	400	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	Alm	Geen correctie	0	1.000	1.000	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	Heerwaarden	Geen correctie	0	1.000	1.000	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	Land van Maas en Waal	Geen correctie	51.600	190.500	190.500	60	400	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	Ooijen Millingen	Geen correctie	3.300	10.700	10.700	1	110	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	Beuwe, Teller- en Cullimborgwaard	80% - 100%	0	239.200	239.200	70	1.800	0	4.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	Beuwe, Teller- en Cullimborgwaard	80% - 100%	0	239.200	239.200	70	1.800	0	4.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	GeleeseVallie	Geen correctie	100	247.300	247.300	90	500	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	Empolder	Geen correctie	5.100	3.500	3.500	2	100	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	Arnhemse- en Velthebroek	Geen correctie	38.600	35.200	35.200	7	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	Rijn en IJssel	90% - 100%	6.100	167.400	166.100	50	400	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	IJsseland	Geen correctie	5.200	13.600	13.600	5	30	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	Zuiphen	Geen correctie	1.600	39.500	39.500	10	100	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	Gorssele	Geen correctie	2.500	8.000	8.000	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	Oost Velluwe	50% - 100%	19.600	45.200	45.200	20	200	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	Oost Velluwe	50% - 100%	19.600	45.200	45.200	20	200	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	Salland	50% - 100%	6.700	92.900	185.900	30	400	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Verklaring afkortingen
 R1 Bovenmieren
 R2 Benedenmieren
 J Usseldelta
 V Vechtdelta
 W Mieren
 Z Zee en estuaria