

Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat



Overstromingsrisico's en droogte- risico's in een veranderend klimaat

**verkenning van wegen naar een
klimaatveranderingsbestendig Nederland**

Frans Klijn
Jaap Kwadijk
Karin de Bruijn
Joachim Hunink

1002565-000

Titel

Overstromingsrisico's en droogte-risico's in een veranderend klimaat

OpdrachtgeverPlanbureau voor de
Leefomgeving**Project**

1002565-000

Kenmerk

1002565-000-VEB-0005

Pagina's

168

Trefwoorden

Klimaatverandering, adaptatie, overstromingsrisico's, hoogwaterbescherming, droogte, landbouw, waterbeheer

Samenvatting

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) voert in samenwerking met Deltares en anderen het project '*Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*' uit. Dit rapport vormt de bijdrage van Deltares.

Het rapport gaat in op de vraag of, wanneer, in hoeverre en hoe het beleid in Nederland inzake overstromingsrisicobeheersing en waterbeheersing moet en kan worden aangepast aan veranderende omstandigheden en veranderende inzichten. Het rapport beoogt vooral bij te dragen aan het actuele debat over het inkaderen van het Deltaprogramma: wat zijn nu eigenlijk precies de problemen (qua aard, in ruimte en in tijd), hoe groot zijn ze, en welke oplossingsruimte verdient het te worden verkend?

De conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 8 te vinden. Dat hoofdstuk is te lezen als een samenvatting in de vorm van antwoord op de vragen:

- Wat zijn de problemen en hoe groot zijn ze?
- Hoelang is continueren van het huidige beleid verantwoord?
- Is er dan toch reden voor een beleidsaanpassing?
- Welke strategische alternatieven scoren relatief goed?

In het rapport reflecteren we ook op de stand van de kennis. We menen inmiddels voldoende inzicht te hebben in de overstromingsrisico's en in de kosten en baten van de verschillende strategische alternatieven om beleidsaanbevelingen te doen. Voor droogterisicobeheersing ontbreekt het echter aan voldoende kennis over de regionale waterbalansen en de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen en strategische alternatieven; hier is nog veel onderzoek nodig, waarvoor aanbevelingen worden gedaan.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2010	Frans Klijn		Eelco van Beek		Hans Vissers	
		Jaap Kwadijk					
		Karin de Bruijn					
		Joachim Hunink					

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Vraagstelling	2
1.2.1	Doelstelling	2
1.2.2	Inperking	2
1.3	Aanpak	3
1.3.1	Tijdschaal: 2050 en doorkijkjes	5
1.3.2	Ruimteschaal en gebiedsindelingen: dijkringen en waterbeheereenheden	5
1.4	Opzet	9
2	Wat komt er op ons af? Klimaatverandering en maatschappelijke ontwikkelingen	11
2.1	Klimaatverandering	11
2.1.1	Relevante klimaatfactoren en hun ontwikkeling	11
2.1.2	Klimaatscenario's en relevante hydrologische parameters: de mogelijke ontwikkelingen in cijfers	17
2.1.3	Alternatieve scenario's en nieuwste inzichten	26
2.1.4	Welke scenario's zijn relevant voor welk probleem?	28
2.2	Maatschappelijke ontwikkelingen	29
2.2.1	Relevante ontwikkelingen	29
2.2.2	Demografie en economische groei	30
2.2.3	Welke scenario's zijn relevant voor welk probleem?	30
2.2.4	Veranderingen in het landgebruik	31
2.2.5	Welke prognose voor landgebruik 2050 is gekozen?	32
3	Wanneer is beleidsrespons onontkoombaar? Omslagpunten	33
3.1	Inleiding	33
3.2	Hoogwaterbescherming	33
3.3	Zoetwatervoorziening	37
3.4	Natuur	37
4	Probleemanalyse: wat betekenen de veranderingen voor overstromingsrisico's?	41
4.1	Risicobegrip	41
4.2	Veranderende overstromingskansen	41
4.2.1	Beleidsuitgangspunten	41
4.2.2	Kust, estuaria en benedenrivierengebied	42
4.2.3	Meren	43
4.2.4	Bovenrivierengebied	43
4.3	Grotere blootstelling?	44
4.3.1	Kust en benedenrivieren	44
4.3.2	Meren	48
4.3.3	Bovenrivieren	51
4.3.4	Extrapolatie naar schadetoename alle dijkkringgebieden	51
4.3.5	Samenvatting	54
4.4	Grotere kwetsbaarheid	55
4.4.1	Aantal inwoners, potentieel aantal slachtoffers	55
4.4.2	Veranderend landgebruik, nieuwbouw en economisch schadepotentieel	56
4.5	Overstromingsrisico's bij continueren huidig beleid	57

4.5.1	Slachtofferrisico	57
4.5.2	Verandering economisch risico: oorzaken	62
4.6	Reflectie op continueren huidig beleid	62
5	Beheersen van overstromingsrisico's: maatregelen en strategische beleidsalternatieven	65
5.1	Soorten maatregelen en instrumenten	65
5.1.1	Inperking beschouwde maatregelen	66
5.2	Strategische beleidsalternatieven voor 2050 en later	67
5.2.1	Van gidsprincipes naar alternatieven	67
5.2.2	Overzicht beleidsalternatieven	68
5.2.3	Toedeling maatregelen en instrumenten aan alternatieven	68
5.2.4	Relatie met maatregelen aan het hoofdwatersysteem, vanaf circa 2050	78
5.2.5	Opties voor het Rijnmondgebied	79
5.2.6	Effectiviteit van de verschillende mogelijkheden voor het Rijnmondgebied	81
5.2.7	Opties voor het IJsselmeergebied	84
5.2.8	Opties afvoerverdeling Rijntakken	86
5.3	Wat betekenen de strategische alternatieven voor overstromingsrisico's	86
5.3.1	Alternatief 1: Beschermen met beleid (' <i>protect</i> ')	87
5.3.2	Alternatief 2: Beschermen met 'brute kracht' ('brute force')	87
5.3.3	Alternatief 3: Technisch ontkoppelen (' <i>adapt upwards</i> ')	87
5.3.4	Alternatief 4: Leven met water (' <i>accommodate</i> ')	89
5.3.5	Alternatief 5: Terugtrekken (' <i>retreat</i> ')	92
5.3.6	Overzicht	92
5.4	Beoordeling van de alternatieven	94
5.4.1	Beoordelingskader: duurzaamheidscriteria	94
5.4.2	Kosten	94
5.4.3	Neveneffecten	98
5.4.4	Vergelijking alternatieven	99
6	Probleemanalyse: wat betekenen de veranderingen voor droogterisico's?	103
6.1	Risicobegrip en droogte	103
6.1.1	Waterbalansen	103
6.2	Veranderende kansen op droge, zeer droge en extreem droge jaren	104
6.2.1	Verticale waterbalans: neerslagtekort	104
6.2.2	Horizontale waterbalans: lage rivierafvoeren	106
6.2.3	Afgeleide effecten: verzilting	108
6.2.4	Afgeleide beheersrespons: meer wateraanvoer	110
6.3	Functiespecifieke aanpak	111
6.3.1	Waarom wateraanvoer? Doelen	111
6.3.2	De verdringingsreeks	112
6.3.3	Landbouw	113
6.3.4	Scheepvaart	113
6.3.5	Natuur	114
6.4	Veranderingen in de lokale hydrologische omstandigheden	114
6.4.1	Grondwaterstanden	114
6.4.2	Zoute kwel en zoutgehalten in sloten	116
6.5	Grotere kwetsbaarheid?	117
6.5.1	Veranderingen in de landbouw: bedrijfstype, gewaskeuze, e.d.	117
6.5.2	Autonome adaptatie natuur	119
6.6	Droogterisico's bij continueren huidig beleid	120

6.6.1	Verandering economisch risico in de landbouw	120
6.6.2	Verandering risico voor scheepvaart	125
6.6.3	Veranderingen in de natuur	127
6.7	Reflectie op continueren huidig beleid	127
7	Beheersen van droogterisico's: maatregelen en strategische beleidsalternatieven	129
7.1	Soorten maatregelen en instrumenten	129
7.1.1	Concrete voorbeelden	129
7.2	Strategische beleidsalternatieven	130
7.2.1	Van gidsprincipes naar beleidsalternatieven	130
7.2.2	Overzicht beleidsalternatieven	131
7.2.3	Toedeling maatregelen en instrumenten aan alternatieven	131
7.2.4	Relatie met maatregelen aan het hoofdwatersysteem	137
7.2.5	Opties voor het IJsselmeer	138
7.2.6	Opties voor het Rijnmondgebied	138
7.2.7	Overzicht van compatibiliteit	139
7.3	Wat betekenen de alternatieven voor droogterisico's	139
7.3.1	Grootschalige wateraanvoermaatregelen (alternatief 2)	140
7.3.2	Extrapolatie naar alternatief 1	141
7.3.3	Alternatieven zonder grootschalige oppervlaktewateraanvoer: 3, 4 en 5	144
7.4	Beoordeling van de alternatieven	145
7.4.1	Criteria voor beoordeling	145
7.4.2	Kosten	146
7.4.3	Neveneffecten	148
7.4.4	Vergelijking alternatieven	149
7.5	Conclusies	150
8	Conclusies en aanbevelingen	151
8.1	Wat zijn de problemen en hoe groot zijn ze?	151
8.1.1	Overstromingsrisico's	151
8.1.2	Droogterisico's	152
8.2	Hoelang is continueren van het huidige beleid verantwoord?	154
8.3	Is er dan toch reden voor een beleidsaanpassing?	155
8.4	Welke alternatieven scoren relatief goed?	156
8.4.1	Overstromingsrisicobeheersing	156
8.4.2	Droogterisicobeheersing	158
8.4.3	Reflectie en iets over de compatibiliteit van strategische alternatieven	160
8.5	Aanbevelingen ...	161
8.5.1	... voor beleid	162
8.5.2	... voor onderzoek	162
	Literatuur	165

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Klimaatverandering houdt vele gemoederen in Nederland bezig. Omdat klimaatverandering door mitigatie door een klein land alleen niet kan worden voorkomen, maar een wereldwijde aanpak nodig is, is de aandacht in Nederland verschoven naar adaptatiebeleid: hoe dit laaggelegen kwetsbare land aan te passen aan een – naar het zich laat aanzien – deze eeuw onvermijdelijke klimaatverandering en zeespiegelstijging?

In dit verband zijn verscheidene grote en kleinere onderzoeks- en beleidsprogramma's opgezet: Adaptatieprogramma Ruimte & Klimaat (ARK), Kennis voor Klimaat (KvK), etc. Het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP; nu opgegaan in het Planbureau voor de Leefomgeving, PBL) heeft in het project 'Nederland Later' verkend hoe Nederland zich bij ongewijzigd beleid zou ontwikkelen en hoe dit meer toekomstbestendig zou kunnen (MNP, 2007). Daarbij is ruim aandacht besteed aan de vraag hoe met ruimtelijke ordening te reageren op demografische en economische ontwikkelingen in de komende decennia, mede in het licht van adaptatie aan klimaatverandering. In dat verband is door WL | Delft Hydraulics (nu opgegaan in Deltares) al gekeken naar de ontwikkeling van overstromingsrisico's bij veranderend klimaat (Klijn *et al.*, 2007), en hoe die risico's te beheersen.

Intussen heeft de Nederlandse regering advies ingewonnen over een daadkrachtig klimaatadaptatiebeleid. Daartoe is een 2^e Deltacommissie ingesteld onder leiding van oud-minister, hoogleraar en boer Cees Veerman. Deze commissie heeft een advies uitgebracht over met name het rijkswaterbeleid (Deltacommissie, 2008), waarin een voorkeur voor nog betere bescherming tegen overstromingen en het aanleggen van een grotere zoetwatervoorraad in het IJsselmeer is uitgesproken. Dit advies leidde tot veel rumoer in de samenleving en werd wel als 'onomkeerbaar voorsorteren' gekwalificeerd. Volgens velen werd te snel voor een bepaalde oplossing gekozen en was de onderbouwing van de aanbevelingen onvoldoende.

De aanbeveling van de Deltacommissie om te komen tot een Deltaprogramma om alles nu eens goed uit te zoeken en voor ieder gebied de beste oplossing te identificeren, is door de regering overgenomen in het Nationaal Waterplan. Het Deltaprogramma kan leiden tot beter onderbouwde – en eventueel andere – oplossingen.

Er bestaan echter twijfels over de vraag of de agenda van het Deltaprogramma wel voldoende breed is. De nadruk ligt immers op 'hoogwaterbescherming' en 'zoetwatervoorziening'. Beide termen impliceren daarbij al een keuze. Hoogwaterbescherming is niet hetzelfde als overstromingsrisicobeheersing: het betekent nadruk op waterkeren en weinig aandacht voor gevolgbepaling. Zoetwatervoorziening is niet hetzelfde als droogterisicobeheersing: het betekent nadruk op het leveren van water in plaats van de vraag stellen of we niet met veel minder water toe kunnen. En tenslotte is er mogelijk te weinig aandacht voor de leefomgeving in termen van natuur, cultuur en ruimtelijke kwaliteit.

Tegen deze achtergrond – en omdat de resultaten van het onderzoek in het kader van het Deltaprogramma voorlopig nog niet beschikbaar zullen zijn – zijn door PBL en Deltares vast enkele verkenningen uitgevoerd.

PBL is – mede op verzoek van de Tweede Kamer – het project '*Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*' begonnen. Dat project kent verscheidene fases en deelonderzoeken. Over de eerste fase is reeds gerapporteerd (PBL, 2009).

Deltares heeft in het kader van het project '*Klimaatbestendigheid Nederland-Waterland*' onderzoek gedaan naar beleidsomslagpunten (o.a. Kwadijk *et al.*, 2008; 2009; Passchier *et al.*, 2009) en de houdbaarheid van alternatieve waterbeheersmaatregelen (Jeuken *et al.*, 2010).

Deze twee projecten hebben weliswaar een iets verschillende focus (meer ruimtelijk, respectievelijk meer rijkswaterbeheer), maar houden toch ook nauw verband met elkaar. Dat was reden voor PBL om aan Deltares te vragen een bijdrage te leveren aan het project '*Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*', met de nadruk op 'grote wateren'¹, maar vanuit een nadrukkelijk bredere invalshoek dan alleen waterbeheer/ techniek. Daar gaat dit rapport over.

1.2 Vraagstelling

Dit rapport gaat in op de vraag of, wanneer, in hoeverre en hoe het beleid in Nederland inzake overstromingsrisicobeheersing en waterbeheersing moet en kan worden aangepast aan veranderende omstandigheden en veranderende inzichten. Veranderende omstandigheden omvatten klimaatverandering, maar ook demografische en economische veranderingen. Het gaat dus om de vraag naar het waarom van adaptatiebeleid, de houdbaarheid van het huidige beleid, de urgentie van beleidsaanpassing, en de aantrekkelijkheid van verschillende strategische beleidsalternatieven.

De vragen die in dit rapport aan de orde komen zijn dus zeer vergelijkbaar met de vragen die de Commissie Veerman zich heeft gesteld. De vragen naar het 'waarom' en het 'waarom zo snel' worden geplaatst in de context van de meest recente inzichten in klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkelingen, vanuit de gedachte: 'Nuchter omgaan met risico's'. (De Hollander & Hanemaaijer, 2003) Maar belangrijker nog is dat adaptatieopties worden verkend vanuit een breder perspectief dan het 'sectorale' van alleen waterbeheer/ techniek. Tegen de achtergrond van inmiddels ruim drie decennia integraal waterbeheer en toenemend inzicht in de voordelen van geïntegreerd RO- en waterbeleid worden niet alleen technische maar ook ruimtelijke en gemengde oplossingstrategieën verkend.

1.2.1 Doelstelling

Dit rapport beoogt vooral bij te dragen aan het actuele debat over de urgentie en de gewenste zoekrichting voor beleid voor adaptatie aan klimaatverandering. In dat debat vindt onder meer het inkaderen van het Deltaprogramma plaats: wat is nu eigenlijk precies het probleem (qua aard, in ruimte en in tijd), hoe groot zijn de problemen, en welke oplossingsruimte verdient het te worden verkend? Ook aan de discussie over die inkadering door de vele betrokken ministeries hoopt dit rapport bij te dragen.

1.2.2 Inperking

De studie is gericht op heel Nederland. Dat betekent dat het een landelijke verkenning betreft, waarbij regionale verschillen wel worden erkend en gerespecteerd, maar beleidsstrategieën zijn gericht op nationale optimalisatie. De nadruk ligt dus ook op rijksbeleid.

1. *Andere bijdragen aan dit project hebben betrekking op 'stedelijke gebieden' en 'landelijk gebied' (Van de Sandt & Goossen, 2010).*

Het gaat in deze studie om omgevingsbeleid in brede zin. Dat wil zeggen dat het de beleidsterreinen betreft van de ministeries van VROM (ruimtelijke ordening), V&W (waterbeleid en infrastructuur) en LNV (beleid voor natuur en landelijk gebied).

Op verzoek van PBL ligt de nadruk van deze deelstudie op (het beleid voor) de grote wateren, ook wel aangeduid als de rijkswateren. Dat zijn de wateren waarvoor de rijksoverheid verantwoordelijk is. Het beleid voor de rijkswateren heeft een drietal hoofddoelstellingen:

- 1 Het beheersen van risico's van overstroming en wateroverlast (risicobeheersing, gericht op 'te veel' water en op vooral het milieubeleidsdomein van *veiligheid* en welbevinden).
- 2 Het leveren van (meestal zoet) water van de gewenste kwaliteit aan economische watergebruikers en ruimtegebruikers (het voorzien in een hulpbron-functie², gericht op 'te weinig' en op vooral het milieubeleidsdomein van *economische gebruiksfuncties*).
- 3 Het beheren van water met het oog op de kwaliteit van zowel aquatische ecosystemen als van water afhankelijke terrestrische ecosystemen (natuurwaarde) en de kwaliteit van het landschap (het scheppen van condities voor natuur en ruimtelijke kwaliteit, gericht op 'te vies', 'te star' en 'te lelijk' en op het milieubeleidsdomein van *natuurlijke en culturele landschapswaarden*).

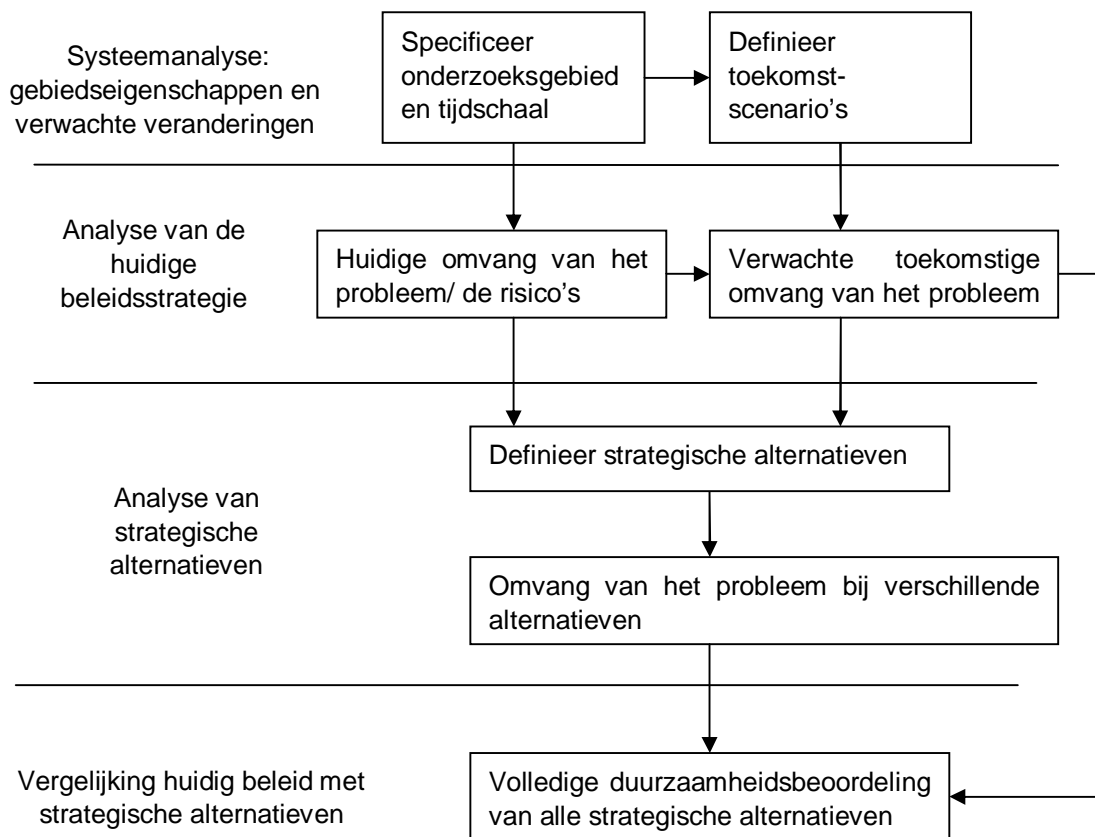
Op twee van deze onderwerpen wordt in dit rapport uitgebreid ingegaan, namelijk de overstromingsrisicobeheersing en de (zoet)watervoorziening. Aan het derde onderwerp is geen aparte analyse gewijd; dit komt slechts zijdelings ter sprake. Ten eerste omdat er in de deelstudie voor het landelijk gebied veel aandacht voor is (Van de Sandt & Goossen, 2010), ten tweede omdat de achteruitgang van natuurwaarden en de aantasting van ruimtelijke kwaliteit veel meer het gevolg zijn van menselijk handelen dan van klimaatverandering. Dat betekent dat er andere redenen zijn voor beleidsaanpassing dan klimaatverandering (zie Passchier *et al.*, 2009).

Tenslotte is relevant dat het PBL met de studie '*Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*' vooral het beleidsterrein van het ministerie van VROM adresseert. Daarom ligt de nadruk ook in dit rapport minder eenzijdig op het waterbeleid in strikte zin en meer op de ruimtelijke implicaties. Alles in het kader van een verdere beleidsintegratie dus.

1.3 Aanpak

Voor deze verkenning is een beleidsanalytische aanpak gevolgd. Dat houdt in: verkenning van het probleem in termen van maatschappelijke risico's en hun oorzaken, gevolgd door een analyse van aangrijpingspunten om het probleem te beheersen (te verkleinen) in termen van technische maatregelen en beleidsinstrumenten. Daarna worden strategische beleidsalternatieven samengesteld door afzonderlijke maatregelen en beleidsinstrumenten te combineren, waarna de implicaties van die beleidsalternatieven voor de maatschappij zo goed mogelijk worden begroot en beoordeeld. Uiterst schematisch is dat als een stappenplan of procedure weer te geven (Figuur 1.1).

² Het begrip *hulpbron* is een wat onbeholpen Nederlands equivalent van het Engelse *resource* (verg. Vink, 1976)



Figuur 1.1 Procedure of schema van stappen in een verkennende beleidsanalyse, zoals in deze studie toegepast (aangepast naar De Bruijn et al., 2008 c.q. Klijn et al., 2008)

Relevant is dat na bijna iedere stap kan worden besloten te stoppen of door te gaan. Na stap 2 is bijvoorbeeld duidelijk of het probleem nu of in de toekomst wel groot genoeg is om alternatief beleid te rechtvaardigen. Na stap 3 kan bijvoorbeeld duidelijk zijn dat alternatieven het probleem onvoldoende verkleinen. Dan kan een iteratieslag volgen (opnieuw beginnen, maar met meer voorkennis en beter toegespitst).

In essentie wordt deze methode ook toegepast in studies voor grote beleidsvraagstukken, zoals Ruimte-voor-Rivieren (uitgemond in een PKB en een uitvoeringsprogramma), de Droogtestudie (www.droogtestudie.nl), Waterveiligheid 21^e eeuw, etc. Bij zulke projecten wordt zeer uitgebreid en diepgravend onderzoek verricht, in samenspraak met veel betrokken partijen. Het voorliggende onderzoek volgt wel dezelfde stappen, maar is *veel eenvoudiger opgezet*, passend bij het karakter van een *globale verkenning*.

Het globale karakter van de studie en het doel van deze rapportage betekenen dat de analyses veel grofstoffelijker van aard zijn. Er is hoofdzakelijk gebruik gemaakt van eerder onderzoek, waaruit de relevante resultaten bij elkaar zijn gebracht. Er zijn maar weinig echt nieuwe berekeningen gedaan, maar wel zijn resultaten van eerder onderzoek zoveel mogelijk vergelijkbaar gemaakt door correctie en/of actualisering en soms zijn ze ruimtelijk specifiek gepresenteerd vanuit de basisgegevens.

1.3.1 Tijdschaal: 2050 en doorkijkjes

Klimaatverandering is een langzaam en geleidelijk proces. Dat maakt het mogelijk ver in de toekomst te kijken. Heel ver in de toekomst kijken kan echter niet of nauwelijks als het gaat om demografische en economische ontwikkelingen; enkele decennia zijn dan al heel lang.

In de verkenningen van klimaatverandering en bij de formulering van adaptatiebeleid is er een tendens steeds verder in de toekomst te willen kijken en steeds verder vooruit te willen plannen. Dat stuit op praktische problemen; en het wordt tevens discutabel of de huidige generatie wel moet/mag beslissen over maatregelen met zeer grote en mogelijk negatieve consequenties voor de toekomstige bewoners van dit land.

In dit rapport wordt gekeken naar de waarschijnlijke omvang van problemen nu en in 2050 bij het continueren van het huidige beleid en bij alternatief beleid. Dat is een overzichtelijke periode, waarover nog plausibele uitspraken mogelijk lijken. Het is tevens een periode waarop het langetermijnbeleid is gericht. Tevens wordt verkend in hoeverre de beleidsstrategieën daarna nog meekunnen: loopt een beleidsstrategie daarna niet snel dood (omslagpunt in zicht)?

1.3.2 Ruimteschaal en gebiedsindelingen: dijkringen en waterbeheereenheden

Deze studie gaat over heel Nederland. Dat betekent dat ruimtelijke verschillen slechts tot op zekere hoogte in beschouwing worden genomen. Het gaat immers om een landelijk beeld van relevante verschillen.

Voor overstromingsrisicobeleid zijn dijkkringgebieden vanouds de relevante ruimtelijke eenheid. Dijkkringgebieden zijn gebieden die door een aaneengesloten ring van dijken en/of hogere gronden worden beschermd tegen overstroming. Ze zijn in de wet verankerd.

Sommige dijkringen zijn zo groot dat wel wordt overwogen ze op te delen in compartimenten (Asselman *et al.*, 2009). Ook zullen heel grote dijkringen bij dijkdoorbraak op één locatie niet geheel onderlopen, maar slechts gedeeltelijk, onder andere door het compartimenterend effect van regionale waterkeringen en andere lijnvormige structuren. Mede daarom wordt tegenwoordig onderscheid gemaakt in dijkkringdeelgebieden (o.a. in WV21), die minder grootteverschillen kennen dan dijkkringgebieden (Figuur 1.2). In deze studie waarin heel Nederland op een grofstoffelijke wijze wordt geanalyseerd zullen we de resultaten nog veelal presenteren op het niveau van dijkkringgebieden.

Naar analogie met de dijkring(deel)gebieden zijn voor het waterkwantiteitsbeheer, en in het bijzonder de (zoet)watervoorziening, waterbeheergebieden onderscheiden (Figuur 1.3). Daarbij is gestreefd naar logische beheergebieden op twee schaalniveaus.

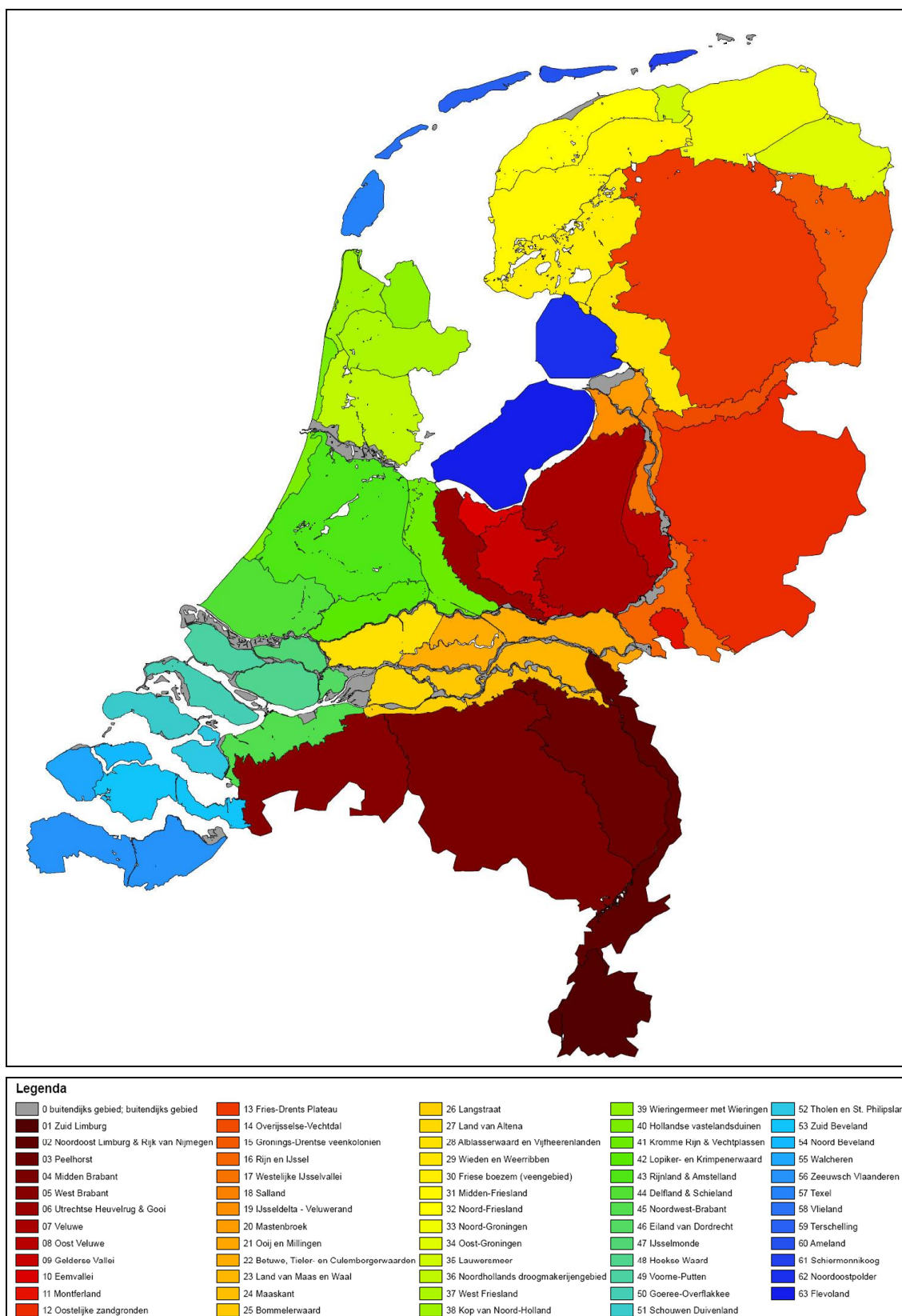
Ten eerste is dat het niveau van regio's, waarbij het onderscheid tussen hoge, vrij afwaterende, en lage, bemalen gebieden een rol speelt, evenals bodemopbouw, grondwaterstanden, en vergelijkbare fysiografische kenmerken. Op het schaalniveau daaronder zijn districten onderscheiden, die vaak aansluiten bij dijkringen, die door waterschappen immers vaak als een beheerseenheid worden behandeld, en andere als waterbeheereenheid te beschouwen gebieden.



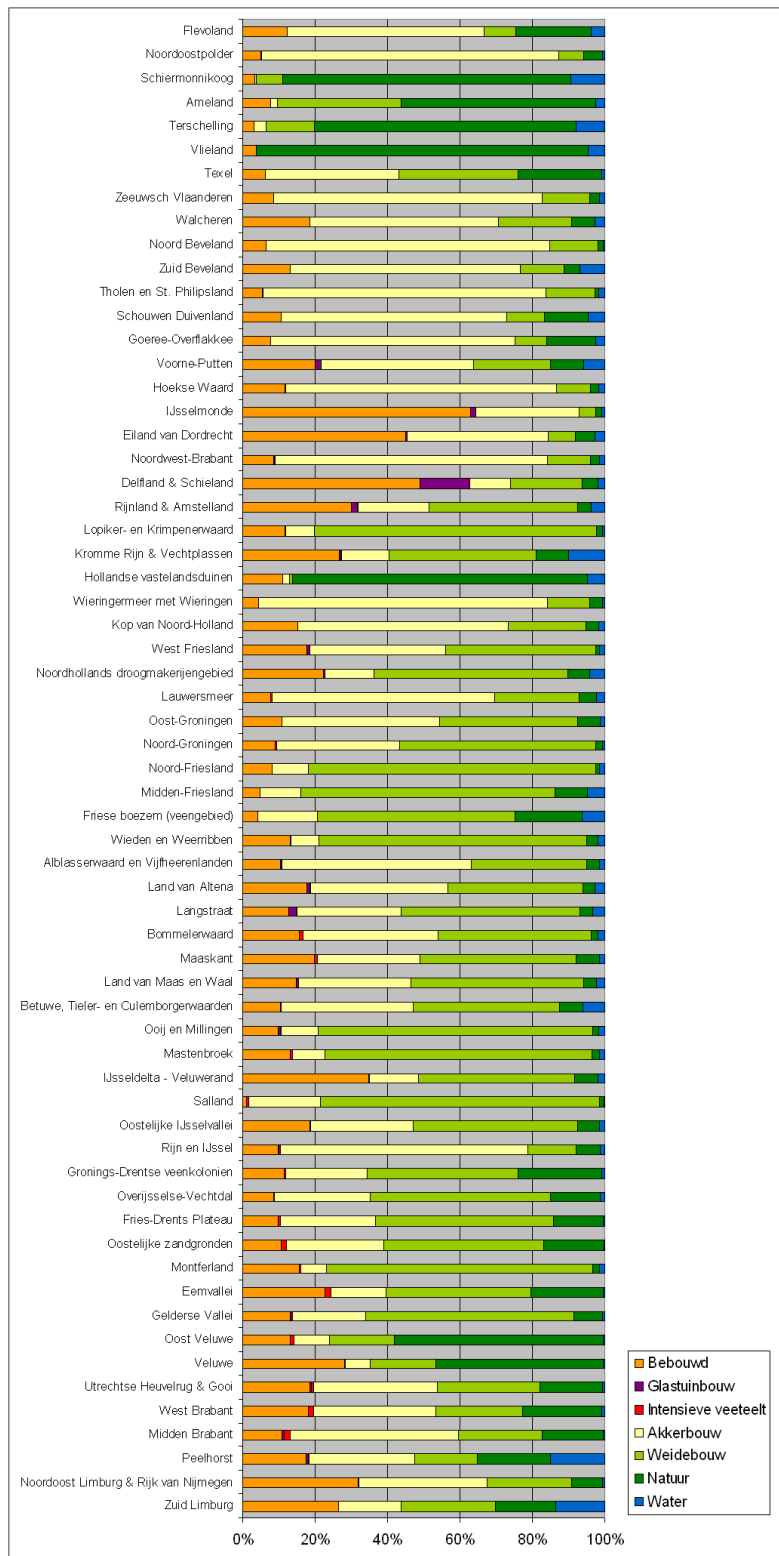
Figuur 1.2 Dijkring(deel)gebieden in Laag-Nederland, zoals onderscheiden voor WW21; grote dijkringen zoals Friesland-Groningen, de Betuwe en Noord- en Centraal Holland zijn onderverdeeld.

Deze indeling is gemaakt op basis van ervaringen in de Droogtestudie, de studie van Van Beek *et al.* (2008) en in aansluiting op ontwikkelingen rond het rekeninstrumentarium (van PAWN naar NHI: Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, met de bijbehorende effectmodules zoals AGRICOM), zowel voor deze studie als om te gebruiken in de studie naar zoetwatervoorziening in het kader van het Deltaprogramma (Van Velzen *et al.*, in voorbereiding)³.

³ De precieze ligging van de in de figuur getoonde grenzen is uiteindelijk 'gedicteerd' door de aggregatie-eenheden (Local Surface Water units) uit het PAWN-instrumentarium, waarvoor de berekeningen zijn gedaan (waterbalansen, landbouwschadeberekeningen). Met de ontwikkeling van het NHI kan de ligging van de grenzen verder worden verbeterd.



Figuur 1.3 Indeling in waterbeheergebieden (kleurgroepen regio's, omgrenzingen en kleurnuances: districten) ten behoeve van studies naar droogterisico's en zoetwatervoorziening



Figuur 1.4 Landgebruik in de onderscheiden waterbeheerdistricten, in de huidige situatie. Er zijn gebieden met veel natuur (Waddeneilanden), duidelijke akkerbouwgebieden (Flevoland, Zeeuwse eilanden), en opvallende weidebouwgebieden (Friesland); ook is de glastuinbouw duidelijk geconcentreerd.

1.4 Opzet

Na dit inleidende hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 eerst ingegaan op de vraag wat er op ons afkomt. Welke klimaatveranderingen zijn te verwachten, hoe groot zijn ze, hoe relevant zijn ze, en hoe zeker zijn we ervan? De tijdschaal daarbij is ruim: tot en soms voorbij 2100. Ook de te verwachten maatschappelijke ontwikkelingen worden besproken. Daarbij wordt minder ver in de toekomst gekeken.

In hoofdstuk 3 wordt de vraag gesteld wanneer het huidige beleid echt tegen grenzen aanloopt. Wanneer is een beleidsrespons onontkoombaar? Hier wordt de urgentie dus aan de orde gesteld.

In hoofdstukken 4 en 5 wordt nader ingegaan op overstromingsrisico's. Hoe ontwikkelen deze zich in de periode tot 2050 en wat zijn daarvan de oorzaken? En met welke maatregelen kunnen die risico's worden beheerst? Daarbij wordt expliciet aandacht besteed aan de relatie met maatregelen in het hoofdwatersysteem, zoals die nu worden verkend in het kader van het Deltaprogramma. Hoofdstuk 5 eindigt met een beoordeling van strategische beleidsalternatieven.

Hoofdstukken 6 en 7 hebben dezelfde opzet, maar dan toegesneden op 'droogterisico'. Er is geprobeerd deze problematiek op vergelijkbare wijze aan te pakken en te bespreken. Dat betekent ook hier eerst een probleemanalyse in hoofdstuk 6 gevolgd door het identificeren en beoordelen van strategische beleidsalternatieven.

In hoofdstuk 8 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Daarbij is er aandacht voor de mogelijke synergie tussen maatregelen gericht op waterbeheersing voor overstromingsrisico's en droogterisico's, maar ook voor de ruimtelijke implicaties, in het bijzonder voor landgebruik, natuurontwikkeling en ruimtelijke kwaliteit. Vanzelfsprekend zijn de robuustheid en flexibiliteit van de beleidsalternatieven punt van aandacht.

2 Wat komt er op ons af? Klimaatverandering en maatschappelijke ontwikkelingen

2.1 Klimaatverandering

Klimaatverandering wordt soms gezien als de meest urgente reden om ons watersysteem in de komende tijd aan te gaan passen. Over het feit dat het klimaat verandert, bestaat brede consensus, evenals over de richting. En omdat het klimaat een langzaam reagerend mondiaal systeem is, zijn projecties over relatief lange termijnen mogelijk.

Over de afgelopen 100 jaar is de temperatuur wereldwijd gestegen. Ook is de verwachting dat het wereldwijd in de toekomst warmer wordt. Hoeveel en hoe snel het warmer zal worden, verschilt van plaats tot plaats. Een en ander is afhankelijk van de emissies van broeikasgassen in de atmosfeer en van de onzekerheid in de klimaatmodellen waarmee dit berekend wordt. Voor de verhoging van de wereldwijde gemiddelde temperatuur aan het einde van deze eeuw lopen de schattingen uiteen tussen de 1.1 en de 6.4 °C. Veel terug- en meekoppelingsprocessen zijn namelijk nog onvoldoende gekend en de toename van de drijvende kracht (broeikasgassen) is ongewis; vaak reden om met verscheidene scenario's te werken (verg. IPCC, 2007) in plaats van met één enkele projectie.

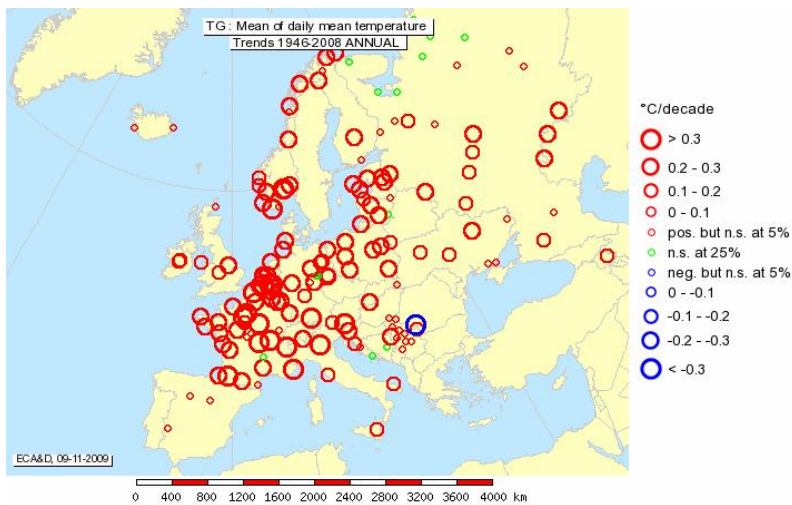
2.1.1 Relevante klimaatfactoren en hun ontwikkeling

Klimaatverandering uit zich ten eerste in een toename van de gemiddelde temperatuur. Voor overstromings- en droogterisico's is de temperatuur zelf echter niet zo belangrijk, maar veeleer een aantal daaraan gerelateerde factoren, waaronder:

- verandering in zeespiegelstand;
- veranderingen in neerslagregime;
- veranderingen in verdampingsregime;
- veranderingen in windsnelheid en sterkte (stormregime);
- veranderingen in afvoerregime van rivieren (hoogwaters en laagwaters, hoogte en duur).

Van deze factoren zullen we de gemeten trends en verwachtingen ten aanzien van toekomstige ontwikkeling kort bespreken.

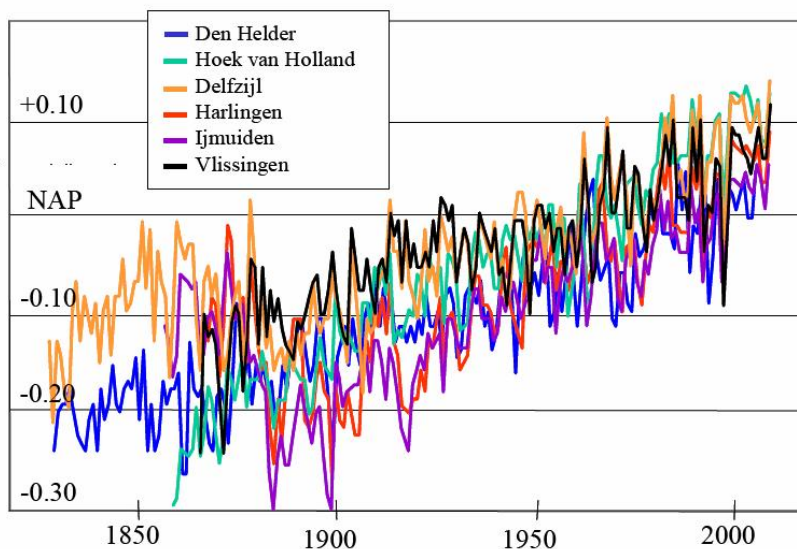
Onderzoek laat zien dat er over geheel West-Europa een duidelijke stijgende trend is te zien in de **temperatuur** (Figuur 2.1). De stijging is groter dan de stijging die klimaatmodellen voor dit deel van de wereld prognosticeren.



Figuur 2.1 Waargenomen verandering van de gemiddelde dagtemperatuur in Europa tussen 1946 en 2008 (Van Engelen et al., 2008)

De trend in de **zeespiegelstand** is eveneens duidelijk, deze stijgt. De snelheid waarmee dit gebeurt, is wat minder duidelijk. Op basis van metingen van stations langs de Nederlandse kust is de schatting voor de huidige trend rond de 20 cm stijging per eeuw, na een versnelling die aan het einde van de 19^e eeuw is begonnen.

Metingen met satellieten laten voor de laatste 10 jaar een stijging van circa 30 cm per eeuw zien.



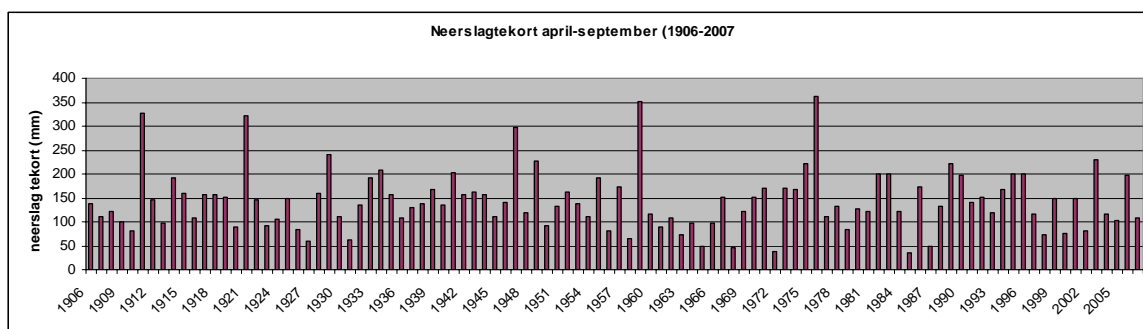
Figuur 2.2 Waargenomen gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust.

Hoeveel de zeespiegel in de toekomst zal stijgen, hangt op de kortere termijn af van de opwarming van de oceanen, waardoor deze uitzetten (thermische expansie).

Op de langere termijn hangt de stijging vooral af van het gedrag van de grote ijskappen op de Zuidpool en Groenland. Op basis van het 4^e – laatste – IPCC *assessment report* (IPCC, 2007) geeft het KNMI een schatting tussen de 35 en 85 cm aan het einde van deze eeuw. Deze getalswaarden moeten opgevat worden als een *waarschijnlijke* boven- en ondergrens, waarbij is uitgegaan van een versnelling in de 2^e helft van deze eeuw.

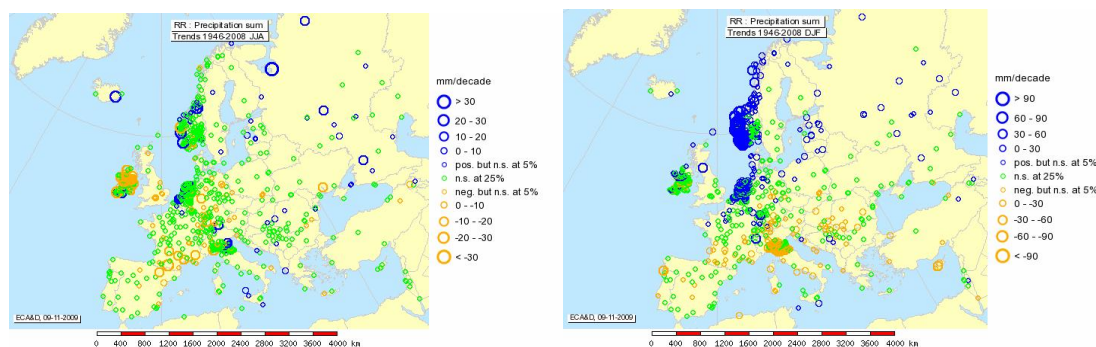
De Deltacommissie (Vellinga *et al.*, 2008) heeft een *plausibele* bovengrens van 130 cm rond 2100 aangehouden, inclusief bodemdaling. Dat wil; zeggen dat het zeer onwaarschijnlijk is dat de zeespiegel deze eeuw meer zal stijgen dan deze 130 cm.

Droogterisico's zijn afhankelijk van *neerslagregime* en het *verdampingsregime*, twee factoren die samen het *neerslagtekort* (of het neerslagoverschot) bepalen. Figuur 2.3 laat het neerslagtekort in Nederland over de afgelopen eeuw zien (gegevens van www.knmi.nl). Deze reeks laat duidelijk zien dat de variatie van jaar tot jaar groot is. Er is geen significante trend waar te nemen.



Figuur 2.3 Het neerslagtekort in Nederland sinds 1906

Gemeten *neerslagveranderingen* over West Europa laten een ruimtelijk veel diverser beeld zien dan dat van de gemiddelde temperatuur. De winterneerslag laat in het algemeen een stijgende trend zien. In de zomerneerslag overheerst een dalende tendens. In Nederland is een trend waarneembaar dat de totale gemiddelde neerslag per jaar toeneemt.



Figuur 2.4 Veranderingen in de zomer- (links) en winterneerslag (rechts) in mm/decade over Europa tussen 1946 en 2000 (Van Engelen *et al.*, 2008)

Ook projecties voor neerslagverandering in de toekomst zijn minder eenduidig dan die voor de temperatuur of de zeespiegel. De verwachtingen worden dan ook geregeld bijgesteld. Gaven de scenario's voor Waterbeheer 21^e eeuw nog aanleiding om vooral meer neerslag te verwachten; de KNMI scenario's voor Nederland van 2006 laten al een veel diverser beeld zien. Voor alle 4 scenario's geldt dat de neerslag 's winters toeneemt maar voor de zomer lopen de verwachtingen uiteen van een lichte toename (G en W) tot een sterke afname (W+). De KNMI-2006 verwachting was dat ook de meer extreme zomerbuien in intensiteit zouden toenemen, zelfs in die scenario's volgens welke de gemiddelde zomerneerslag afnam.

Voor **verdampingsveranderingen** geldt dat deze nauw samenhangen met de temperatuur. Daarom is de verwachte ontwikkeling hierin weer eenduidiger, namelijk dat de verdamping toeneemt.

Meer dan van de gemiddelde zeespiegel, hangt het overstromingsrisico vanuit zee af van de **stormvloedstand**. Deze is afhankelijk van de gemiddelde zeespiegelstand en van stormopzet. Stormopzet is afhankelijk van zowel de sterkte en de richting van de wind. Momenteel wordt de kustverdediging gedimensioneerd op een stormopzet van ca 5 m boven NAP. Noordwesterstormen zijn hiervoor maatgevend.

Wanneer naar gemeten maximale windsnelheden wordt gekeken lijkt er sprake van een lichte dalende trend. Deze is echter erg klein ten opzichte van de jaarlijkse variatie. Klimaatmodellen suggereren juist een lichte stijgende trend van windsnelheden, maar dan vooral vanuit zuidwestelijke richting.

Bij de huidige stand van de kennis is over veranderingen in de toekomstige stormopzet dan ook weinig te zeggen.

Veranderingen in neerslag en verdamping hebben ook invloed op **het afvoerregime van de grote rivieren**. En die zijn weer relevant voor overstromings- en droogterisico's.

Een groot internationaal onderzoek (CHR/KHR, 2007) concludeerde dat de afvoer van de Rijn steeg, met name in de winter. Ook de zomer- en ook de jaarafvoer stijgen licht, maar niet significant. De stijging kan worden toegeschreven aan een stijgende trend in de (met name winter-)neerslag in het Rijnstroomgebied.

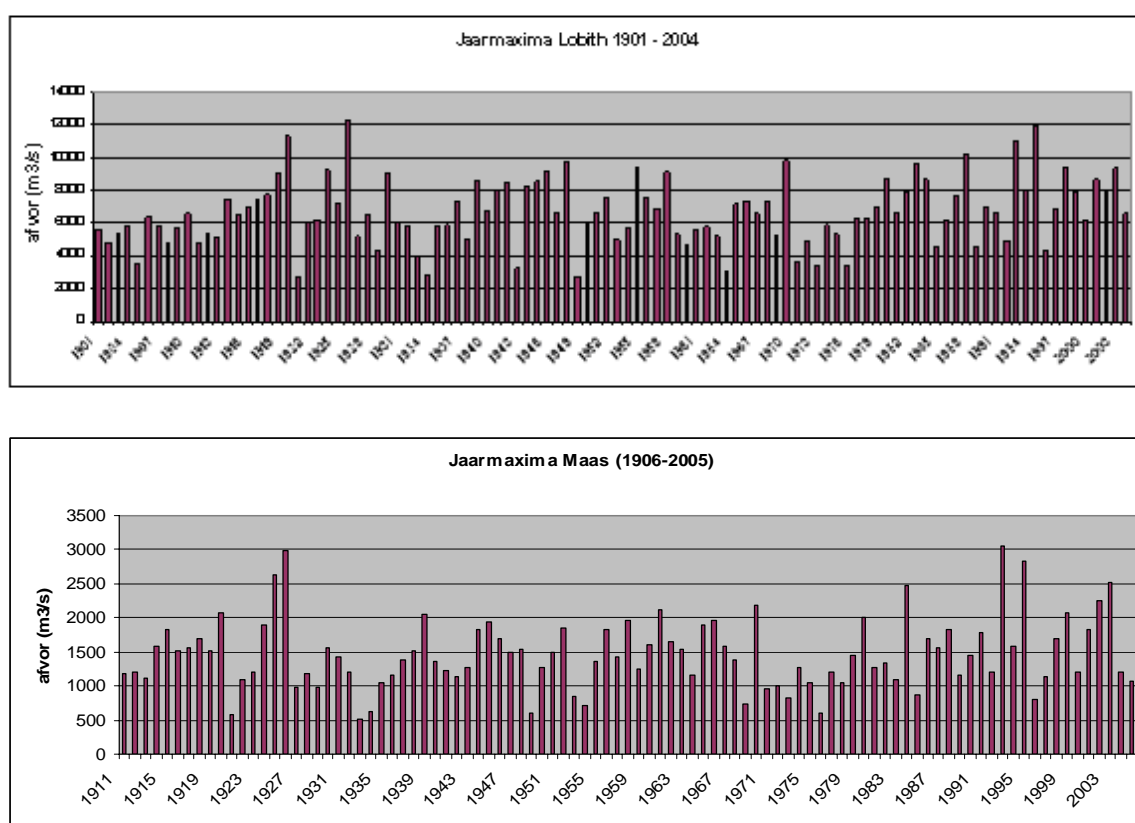
Tu Min *et al.* (2005) tonen een stijgende trend aan in de hoge winterafvoeren in de Maas; terwijl de lage afvoeren daarentegen een dalende trend laten zien. In de laatste 20 jaar kan de verhoging van de Maasafvoer in de winter aan natuurlijke variabiliteit in de neerslag worden toegeschreven. Wateronttrekkingen zijn substantieel ten opzichte van het afvoervolume. Omdat voor de Maas geldt dat de precieze omvang van wateronttrekkingen onzeker is – maar zeer zeker substantieel ten opzichte van de laagwaterafvoer –, zijn de oorzaken van de trends in de ontwikkeling van lage afvoeren lastig vast te stellen.

Voor de **maatgevende hoogwaterafvoeren** geldt dat trends in de jaarmaxima in de rivieren – belangrijk voor het overstromingsrisico – niet of nauwelijks waarneembaar zijn (Figuur 2.5). Daarbij moet wel opgemerkt worden dat trends in deze reeksen sowieso moeilijk te detecteren zijn omdat de natuurlijke variabiliteit erg groot is. Voordat een trend aantoonbaar is in de metingen, moet deze wel erg groot zijn. Zelfs een kunstmatige opgelegde trendsgewijze toename van 20% kan gemakkelijk als zijnde statistisch niet significant worden beoordeeld (Diermanse *et al.*, in voorbereiding).

De conclusie dat maatgevende hoogwaters niet toenemen omdat er (nog) geen trends in de afvoerreeksen waar te nemen zijn, is daarom voorbarig. Op grond van verwachtingen over veranderingen in het neerslagregime, is immers zeer plausibel dat ook de jaarlijks hoogste afvoeren in zowel de Maas als de Rijn in hoogte zullen toenemen.

Voor de Rijn wordt de maatgevende (1/ 1250 per jaar) afvoer niet alleen door klimaatfactoren bepaald, maar ook door de hoogwaterbescherming bovenstrooms van Lobith – in het bijzonder langs de Niederrhein tussen Bonn en de Duits-Nederlandse grens. Momenteel is hier een lager beschermingsniveau van kracht dan in Nederland. Dit betekent dat bij zeer hoge afvoeren, boven de 12.000 m³/s, langs de Niederrhein overstromingen kunnen gaan plaatsvinden, die de hoogwatergolf aftoppen.

De Maas daarentegen stroomt bovenstrooms van Nederland door een relatief smal dal. Aftopping van de hoogwatergolf is in deze rivier veel minder te verwachten dan in de Rijn. De klimaatfactoren zijn bepalend.



Figuur 2.5 Waargenomen jaarmaxima voor de Rijn bij Lobith en de Maas bij Borgharen

Voor **de laagwaters** (extreem lage afvoeren) is de verwachting dat deze in de Rijn lager en langduriger zullen worden. Dit wordt veroorzaakt door een grotere verdamping en een vermindering van het aandeel van smeltende sneeuw in de afvoer. Van beide effecten zijn we tamelijk zeker, omdat deze samenhangen met een stijgende temperatuur. Klimaatscenario's die een vermindering van de zomerneerslag laten zien versterken de verlaging van de afvoeren in de Rijn gedurende de droge periode.

In de Maas zijn de afvoeren in de late zomer nu al erg laag. In deze rivier wordt dit voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door wateronttrekkingen in België. De meeste klimaatscenario's laten een lichte verdere verlaging zien.

De *richting* van de besproken waarnemingen en verwachtingen ten aanzien van de trends vatten we samen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Geobserveerde en verwachte trends in de belangrijkste klimaatparameters voor overstromings- en droogterisico's. + is stijgend/toename, 0 geen verandering, - is dalend/afname

		jaar	zomer	winter
temperatuur	metingen	+	+	+
	verwachting	+	+	+
zeespiegel	metingen	+		
	verwachtingen	+		
neerslag	metingen	+	0	+
	verwachting	0	- / +	- / 0
	extreem gemeten	?	?	?
	extreem verwacht	+	+	0 / +
verdamping	metingen			
	verwachting	+	+	0
windsnelheid	metingen	0		
	verwachting	0		
	extreem NW gemeten	-		
	extreem NW verwacht	0		
stormopzet	metingen	0		
	verwachtingen	+		
Rijnafvoer	metingen	0 / +	0 / +	+
	verwachting	0	-	+
	jaarmaxima gemeten	0		
	jaarmaxima verwacht	+		
Maasafvoer	metingen	0	-	+
	verwachtingen	0	- / 0	+
	jaarmaxima gemeten	0 / +		
	jaarmaxima verwacht	+		

De mate van waarschijnlijkheid van de verwachte ontwikkelingen en gevolgen geven we hieronder weer, op basis van *expert judgement*, en rekening houdend met de meest recente stand van zaken in het onderzoek naar klimaatveranderingen en hun gevolgen. We gebruiken daarbij dezelfde aanduidingen als MNP (2005) en IPCC (2007, 2001, 1995), namelijk:

- *Zeer waarschijnlijk* (meer dan 90% waarschijnlijk).
- *Waarschijnlijk* (66-90% waarschijnlijk).
- *Fifty-Fifty* (33-66% waarschijnlijk).
- *Onwaarschijnlijk* (10-33% waarschijnlijk).
- *Zeer onwaarschijnlijk* (minder dan 10% waarschijnlijk).

Dit geeft het volgende beeld:

- een stijgende temperatuur (zeer waarschijnlijk);
- een stijgende zeespiegel (zeer waarschijnlijk);
- meer regen in de winter (waarschijnlijk);
- toename van extreme neerslag gedurende de winter (waarschijnlijk);
- meer verdamping in de zomer (zeer waarschijnlijk);
- afname van de neerslag in de zomer (fifty/fifty);
- toename van de extreme neerslag gedurende de zomer (waarschijnlijk);
- stormen nemen toe in kracht (fifty/fifty).

Voor de ontwikkelingen in het waterbeheer ten aanzien van het overstromings- en droogterisico heeft dit de volgende consequenties:

- hogere gemiddelde winterafvoeren van Rijn en Maas (zeer waarschijnlijk);
- vaker en hogere extreme afvoeren van Rijn en Maas in de winter (zeer waarschijnlijk);
- vaker hogere waterstanden in de boven- en benedenrivieren (zeer waarschijnlijk);
- lagere gemiddelde afvoeren in de (late) zomer en herfst in de Rijn (zeer waarschijnlijk);
- vaker extreem laagwater in de (late) zomer en herfst in de Maas (waarschijnlijk);
- toename van de duur en intensiteit van extreme laagwaterperiodes in de Rijn (zeer waarschijnlijk);
- toename van de duur en intensiteit van laagwaterperiodes in de Maas (waarschijnlijk);
- toename van de zomerdroogte (verdampingsoverschot) (zeer waarschijnlijk);
- groter worden van de grondwaterdruk (zeer waarschijnlijk);
- zouter worden van het hoofdwatersysteem in West Nederland (zeer waarschijnlijk);
- groter worden van de kwel en hogere voorjaarsgrondwaterstanden (zeer waarschijnlijk);
- zouter worden van het kwelwater nabij de kust en in de diepe droogmakerijen (zeer waarschijnlijk);
- hogere watertemperatuur in de zomer (zeer waarschijnlijk);
- afname van de ijsgang op de rivieren en het IJsselmeer (zeer waarschijnlijk);
- hogere waterstanden door stormopzet (fifty/fifty);
- hogere golven op zee (fifty/fifty).

2.1.2 Klimaatscenario's en relevante hydrologische parameters: de mogelijke ontwikkelingen in cijfers

Om een beeld van de te verwachten veranderingen in de toekomst te krijgen heeft het KNMI in 2006 vier scenario's opgesteld voor 2100 (Tabel 2.2).

Deze klimaatscenario's voor Nederland zijn gebaseerd op de toen nieuwste inzichten van het wereldwijde klimaatonderzoek. Bij het samenstellen van de scenario's is uitgegaan van hetzelfde bronmateriaal als voor het 4^e IPCC-rapport is gebruikt.

De KNMI'06-klimaatscenario's zijn gebaseerd op de simulaties met een aantal mondiale klimaatmodellen (GCM's) die voor het 4^e IPCC-rapport zijn gemaakt. Met de gemiddelde wereldwijde luchttemperatuur en luchtstromingspatronen als belangrijke invoervariabelen zijn vervolgens klimaatscenario's voor Nederland gegenereerd. Tevens zijn op basis van de IPCC-resultaten regiospecifieke scenario's gemaakt voor de zeespiegelstijging in het oostelijke deel van de Atlantische Oceaan en voor de windsnelheden in het Noordzeegebied.

Tabel 2.2 *Klimaatprojecties volgens vier scenario's voor 2100 (KNMI, 2006)*

KNMI 2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		2	2	4	4
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter	Gemiddelde temperatuur	2.0	2.0	4.0	4.0
	Koudste winterdag per jaar	1.8	2.2	3.6	4.6
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	8%	14%	14%	28%
	Aantal natte dagen (>+ 0,1mm)	0%	2%	0%	4%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	8%	12%	16%	24%
	Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	4%	-2%	8%
Zomer	Gemiddelde temperatuur	1.8	2.8	3.6	5.6
	warmste zomerdag per jaar	2.0	3.8	4.0	7.6
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	6%	-20%	12%	-40%
	Aantal natte dagen (>+ 0,1mm) dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	-4%	-20%	-8%	-40%
	potentiële verdamping	26%	10%	52%	20%
Zeespiegel absolute stijging	6%	16%	12%	32%	
Zeespiegel absolute stijging	30-50	30-50	40-85	40-85	

De procentuele veranderingen zijn weergegeven ten opzichte van het klimaat omstreeks 1990 dat is afgeleid uit de metingen over de periode 1976- 2005. De extreme temperatuur- en neerslagwaarden zijn geconstrueerd op basis van experimenten met verscheidene regionale klimaatmodellen, gevolgd door een statistische bewerking.

In theorie hebben deze scenario's een gelijke kans bewaarheid te worden; in werkelijkheid hangt het af van de uitstoot van broeikasgassen (en dus de effectiviteit van beleid om dit te beperken) of G of W waarschijnlijker is, en van de vraag of grootschalige luchtstromingen over Noordwest-Europa daardoor zullen veranderen of gelijk zullen blijven en of zich dus eventueel een + -scenario voordoet. Beide zijn onbekend en voorsnog onkenbaar (fundamenteel onzeker).

Deze KNMI-scenario's zijn de afgelopen jaren in diverse studies doorgerekend op hun gevolgen voor de Nederlandse waterhuishouding. We beperken ons hier tot de voor overstromingsrisico's en droogterisico's relevante factoren.

Zeespiegel

De mondiale absolute zeespiegelstijging wordt veroorzaakt door (a) een volumetoename in de oceanen als gevolg van het warmer worden van het water (thermische uitzetting) en (b) een toename van de vloeibare watermassa als gevolg van het afsmelten van gletsjers, kleine ijskappen en de ijskappen van Groenland en Antarctica. Schattingen over de omvang hiervan variëren. De schattingen van het KNMI (2006) zijn gebaseerd op de uitkomsten van klimaatmodellen die ook de basis vormen voor de schattingen in het 4de assessment report van de IPCC (2007). De schattingen voor de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging lopen uiteen van 18 tot 59 cm aan het einde van deze eeuw.

De bovenschatting van 59 cm kan niet worden gezien als de hoogst denkbare zeespiegelstijging. De onzekerheid hierover is groot.

Deze onzekerheid komt ten eerste voort uit de onzekerheid over de bijdrage van de grote poolijskappen aan de stijging van de zeespiegel. Er zijn twee belangrijke processen die deze bijdrage bepalen (a) de verandering in de massabalans van deze ijskappen en (b) de verandering in de stroming van deze ijskappen. De schattingen van de IPCC (2007) hielden vooral rekening met veranderingen in de massabalans van de ijskappen, maar weinig met de stroming. De dynamica van de ijskappen bepaalt onder meer de snelheid van het afkalven van de ijskappen. Er zijn aanwijzingen dat de afgelopen tijd delen van de Ijskappen van Groenland en Antarctica sneller afkalven. De periode waarover deze waarnemingen zijn gedaan is echter zeer kort. Als deze versnelde afkalving doorzet in de 21e eeuw, stijgt de zeespiegel met nog 10 tot 20 centimeter extra. Op dit moment is niet te beoordelen hoe groot de kans is dat de trend inderdaad doorzet, stelt het IPCC (http://www.knmi.nl/cms/content/67033/11._zeespiegelstijging).

Ten tweede zal – indien de temperatuur wereldwijd aan het einde van deze eeuw meer dan 4 graden zou zijn gestegen – ook de oceaan meer zijn opgewarmd en dus uitgezet. Dan zal ook de zeespiegel meer zijn gestegen.

De scenario's van het KNMI voor de situatie in Nederland laten schattingen zien voor de zeespiegelstijging tussen 35 en 85 cm aan het einde van deze eeuw. Deze waarden zijn hoger dan die van het IPCC voor de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging. Dit komt omdat het KNMI een aantal effecten meeneemt die tot een hogere stijging leiden langs de Nederlandse kust. De stijging van de zeespiegel verschilt namelijk van plaats tot plaats. De verschillen hangen samen met windpatronen, zeestromingen en verschillen in het zwaartekrachtsveld. Verder nemen de KNMI-scenario's extra zeespiegelstijging mee als gevolg van het versnelde afsmelten van de Groenlandse en Antarctische ijskap.

Voor na 2100 kan worden aangenomen dat de zeespiegel zeer waarschijnlijk zal blijven stijgen. Een verder stijgen van de wereldwijde temperatuur zal zeker leiden tot meer thermische uitzetting en daarmee tot een hogere zeespiegel.

Door thermische uitzetting alleen zal de stijging aan het einde van de 23^e eeuw 30-80cm meer zijn dan aan het einde van deze eeuw. Maar een doorgaande temperatuurstijging is daarentegen verhoudingsgewijs onzeker.

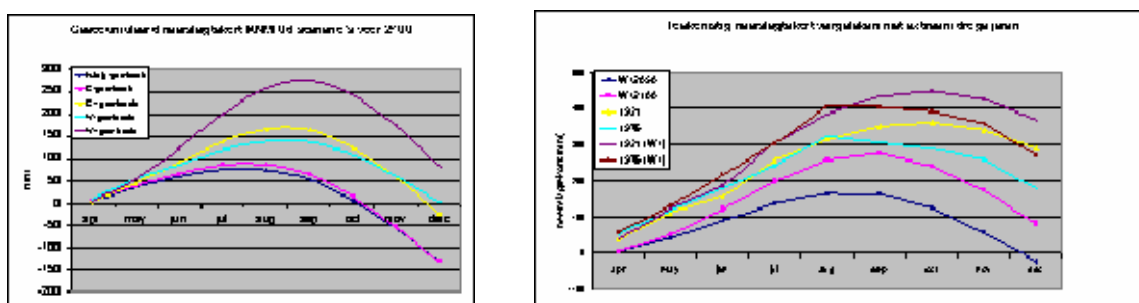
Daar staat tegenover dat al bij het huidige klimaat de Groenlandse ijskap op de lange duur zou kunnen verdwijnen, als inderdaad een onomkeerbaar afsmeltproces zou blijken te zijn ingezet. Hoogtemetingen met satellieten wijzen erop dat er de laatste jaren jaarlijks meer ijs afgaat dan erbij komt. De gehele Groenlandse IJskap kan maximaal 6-7m zeespiegelstijging veroorzaken. Volledig afsmelten zal echter enkele duizenden jaren vergen. Tot hoeveel stijging dit langs de Nederlandse kust zal leiden wordt mede bepaald door de verandering van het zwaartekrachtsveld. Een secundair effect is namelijk dat door het afsmelten van een ijskap er veranderingen optreden in het gravitatieveld van de aarde. Dit betekent dat de stijging in verschillende delen van de oceanen aanmerkelijk kan afwijken. Voor Nederland lijkt het erop dat het afsmelten van de Groenlandse IJskap tot een veel kleinere stijging zal leiden dan de wereldwijd gemiddelde 6-7m.

Het IPCC noch het KNMI hebben het gravitatie-effect verdisconteerd in hun verwachtingen van de zeespiegelstijging, evenmin als de Commissie Veerman (Vellinga *et al.*, 2008) dit bij het vaststellen van de bovengrensscenario's (high-end scenario's) heeft gedaan.

Neerslag en verdamping: neerslagtekorten

De ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort (potentiële verdamping minus neerslag) is voor de verschillende KNMI- scenario's berekend. In Figuur 2.6 is te zien dat het neerslagtekort sterk toeneemt bij de "+" scenario's, als de grootschalige luchtstromingen boven West-Europa veranderen.

Vergeleken met de droogste jaren uit de historie, 1976 en 1921 blijkt dat een gemiddeld jaar onder W+ condities in 2100 sterk lijkt op de omstandigheden die nu in zeer droge jaren heersen.



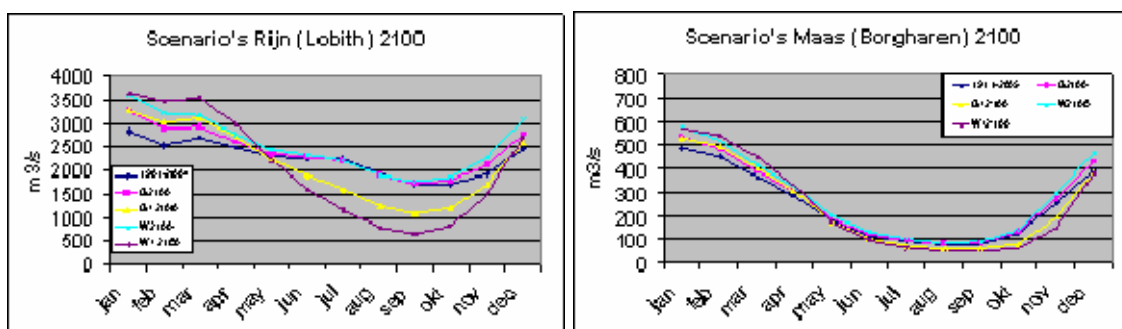
Figuur 2.6 Verloop van het neerslagtekort (potentiële verdamping- neerslag) voor verschillende scenario's in vergelijking met bekende droge jaren.

Rivierafvoeren

Afvoerscenario's voor de Rijn en Maas zijn gemaakt door de KNMI- scenario's voor neerslag en verdamping op de stroomgebieden van deze twee rivieren te projecteren. Uitgangsmateriaal zijn de waargenomen daggemiddelde temperatuur, de dagelijkse neerslagsom en de dagelijkse potentiële verdamping voor de periode 1961-1990 voor het Rijn- en Maasstroomgebied.

Voor elk scenario zijn de tijdseries vervolgens gewijzigd met een gemiddelde 10-daagse verandering van de temperatuur, neerslag en verdamping (ook wel 'delta-methode' genoemd). De verandering is niet ruimtelijk gedifferentieerd. De aldus verkregen tijdseries zijn gebruikt om met de hydrologische modellen RHINEFLOW en MEUSEFLOW de gevolgen voor de gemiddelde rivierafvoeren te berekenen.

De figuren laten zien dat vooral de Rijnafvoer sterk beïnvloed wordt door veranderingen in het klimaat. Alle scenario's suggereren een hogere winterafvoer. De lage afvoeren in zomer en herfst nemen volgens de +-scenario's in de Rijn substantieel af.



Figuur 2.7 Afvoer van Rijn en Maas volgens de verschillende KNMI 2006 scenario's.

Extreem hoge (en maatgevende) afvoeren

Klimaatveranderingen leiden ook tot veranderingen in de maatgevende afvoeren van de grote rivieren. Momenteel is de maatgevende afvoer vastgesteld op 16,000 m³/s voor de Rijn en op 3600 m³/s voor de Maas. Er zijn inmiddels twee methoden gebruikt waarmee een indruk kan worden verkregen van de maatgevende afvoeren bij toekomstige klimaatomstandigheden.

Methode 1

In de eerste methode zijn voor elk KNMI scenario langjarige afvoerseries voor de Rijn en de Maas gegenereerd, zoals hierboven beschreven. Dit levert voor elk scenario een 100-jarige reeks dagafvoeren op. Uit deze dagafvoeren zijn voor elk scenario de jaarlijkse maxima geselecteerd. Op deze langjarige maximale afvoeren is een frequentieanalyse uitgevoerd uitgaande van een Gumbel-verdeling, waarbij een *censoring* is toegepast bij 7000 m³/s. Dit levert de resultaten op die zijn weergegeven in Tabel 2.3, waarbij alle waarden zijn afgerond op 500 m³/s.

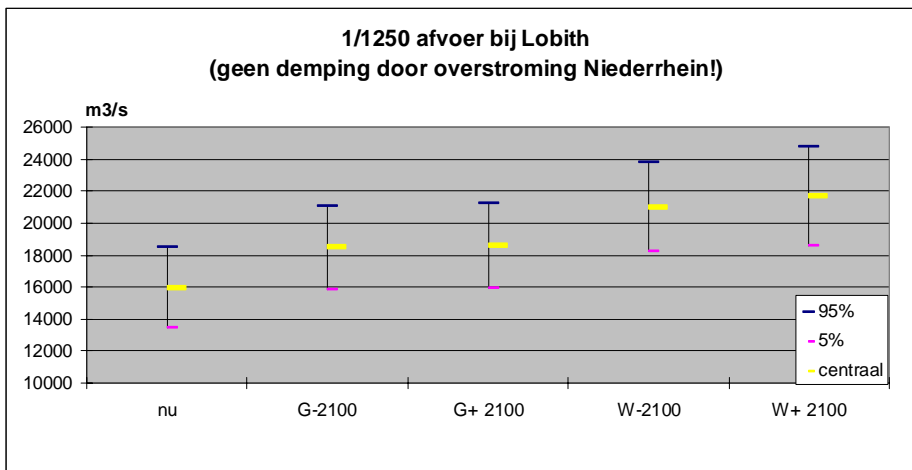
Een afvoer van omstreeks 12.000 m³/s – zoals in 1926, 1993 en 1995 is voorgekomen – met momenteel een herhalingstijd van ongeveer 50 jaar, zal in 2100 veel vaker kunnen voorkomen. In het meest extreme scenario (W+) zal dit gemiddeld eens per 10 jaar worden, in het G scenario is de verwachting dat het gemiddeld eens per 23 jaar is.

Figuur 2.8 geeft voor de verschillende scenario's de 95%- onzekerheidsband voor de verwachte maatgevende afvoer (1/1250 per jaar) weer, op basis van statistische onzekerheid. Deze zegt weinig over de fysische grenzen, want er is geen rekening gehouden met mogelijke overstromingen – en dus aftopping – bovenstrooms.

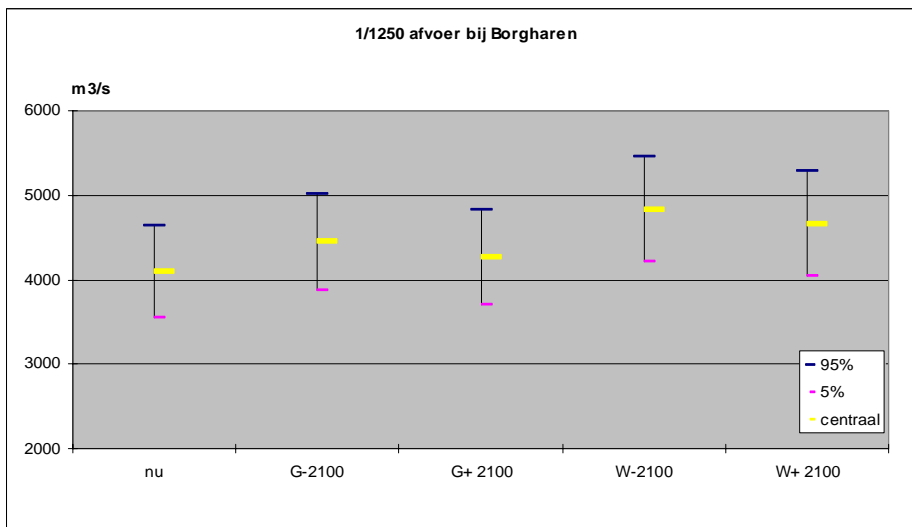
Wel kan worden vastgesteld dat een maatgevende afvoer van 18,000 m³/s volgens alle scenario's omstreeks 2100 klimatologisch (ruim) kan zijn overschreden.

Tabel 2.3 Herhalingstijden voor toekomstige Rijnafvoeren volgens twee KNMI- scenario's op basis van Rhineflow-III en frequentie- analyse zonder rekening te houden met mogelijke effecten van overstromingen bovenstrooms van Nederland

	Herhalingstijd (jr)				
	50	100	250	500	1250
Schatting op basis van de metingen (1901-2004)	12.000	13.000	14.000	15.000	16.000
Schatting op basis vd controle run (1901-2004)	11.500	12.500	14.000	15.000	16.000
Minimum schatting 2100 (= G-scenario)	13.000	14.500	16.000	17.000	18.500
Maximum schatting 2100 (= W+ -scenario)	15.500	17.000	18.500	20.000	21.500



Figuur 2.8 Afvoeren met een kans op 1/1250 bij Lobith bij diverse KNMI scenario's voor 2100



Figuur 2.9 Afvoeren met een kans van 1/1250 per jaar bij Borgharen bij diverse KNMI scenario's voor 2100

Ook in de Maas worden, net als op de Rijn, de winterafvoeren volgens alle klimaatscenario's groter. Ook hier zullen de extreme hoogwaters dus kunnen toenemen. Een afvoer van omstreeks 3000 m³/s, zoals die in 1993 en 1995 optrad, heeft momenteel een geschatte herhalingsstijd van 85 jaar. Bij het W scenario in 2100 zal de herhalingsstijd van deze afvoer ca 30 jaar zijn en bij het G+ scenario ca 70 jaar.

Ook voor de Maas is voor de 4 scenario's een schatting gemaakt van de maatgevende (1/1250 per jaar) afvoer bij Lobith. De resultaten, met statistische onzekerheidsband, staan in Figuur 2.9. Opvallend is dat de grootste veranderingen optreden in scenario W en de minste in scenario G+, terwijl dat bij de Rijn respectievelijk W+ en G zijn. Dat komt door het andere karakter van het stroomgebied.

Methode 2

Bij de tweede methode wordt gebruik gemaakt van het FEWS-ED instrumentarium van Deltares. Daarmee zijn berekeningen gemaakt voor de bepaling van de herhalingsstijd van extreme afvoeren (ED= Extreme Discharges). FEWS-ED omvat een stochastische neerslaggenerator om extreme meteorologische situaties te simuleren. Met behulp van de generator kunnen tijdreeksen met een willekeurige lengte van neerslag en temperatuur in het Rijngebied worden gegenereerd die statistisch met de historische gegevens overeenkomen. In ons geval zijn afvoerreeksen van 8000 jaar gegenereerd, niet voor het huidige klimaat, maar voor elk van de KNMI- scenario's voor het zichtjaar 2100.

De gegenereerde tijdreeksen zijn gebruikt als invoer voor het HBV neerslag-afvoermodel van het Rijngebied. Dit model berekent op dagbasis de afvoeren voor de gehele Rijn als functie van neerslag, temperatuur en verdamping. De modelschematisatie is dezelfde als die wordt gebruikt voor de hoogwatervoorspelling voor Nederland. Met dit model wordt de afvoer berekend als resultante van de 'gegenereerde' neerslag in de stroomgebieden van zijrivieren van de Rijn en de Rijn zelf bij Basel.

Omdat HBV de voortplanting van afvoergolven door de rivier niet kan simuleren, wordt verder in FEWS-ED gebruik gemaakt van een 1-D hydrodynamisch model.

De hier gepresenteerde uitkomsten voor Lobith zijn verder aangepast door rekening te houden met overstromingen langs de Niederrhein in Duitsland. Daartoe zijn simulaties gedaan met 2-D overstromingsmodellen (Lammersen, 2004).

Tabel 2.4 laat de resultaten zien voor de maatgevende afvoer bij Lobith. Er zijn grote verschillen te zien met de uitkomsten van methode 1 (Tabel 2.3), waarbij geen rekening werd gehouden met overstromingen in Duitsland. Het is duidelijk dat deze een aanmerkelijk dempend effect hebben op de te verwachten afvoer bij Lobith.

De verschillen tussen beide methoden, en met name de grote invloed van aannames over wel of geen overstromingen in Duitsland (aftopping) en ten aanzien van maatregelen aan de rivier (rivierverruimend of dijkverhoging) die Duitsland ergens in deze eeuw nog zou kunnen nemen, geeft aan dat de toekomst in deze erg ongewis is. Het ligt in de rede aan te nemen dat een lagere maatgevende afvoer dan de huidige niet waarschijnlijk is, maar dat een maatgevende afvoer boven 20.000 m³/s in deze eeuw niet erg waarschijnlijk is. Zolang er in Duitsland geen ingrijpende maatregelen plaatsvinden, zal de 'fysieke aftopping' langs de Niederrhein bepalend zijn voor de maatgevende afvoer bij Lobith.

Tabel 2.4 Met FEWS-ED berekende herhalingstijden voor huidige en toekomstige condities. Voor afvoeren boven 15.000 m³/s is het effect van overstromingen in Duitsland meegenomen, aannemende dat in Duitsland geen andere dan de al voorgenomen maatregelen worden uitgevoerd.

	Berekende maatgevende afvoer (herhalingstijd 1250 jaar)		Idem, afgerond op 500	
	laag	hoog	laag	hoog
Huidig klimaat	14674	14837	14500	15000
KNMI G - 2100	15518	15798	15500	16000
KNMI G + - 2100	16137	16148	16000	16000
KNMI W -2100	16476	16722	16500	17000
KNMI W +2100	17220	17389	17000	17500

Extreem lage afvoeren

Voor het zichtjaar 2100 zijn voor de KNMI-2006 scenario's analyses gemaakt over het voorkomen van lage afvoeren in de Rijn op basis van een 8000 jaar lange synthetische afvoerreeks. Eerste is voor elk van de scenario's de jaarlijkse kans vastgesteld dat de afvoer lager wordt dan een bepaalde waarde (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Kans (uitgedrukt als fractie) dat een lage afvoer (Q_{min}) wordt onderschreden voor de KNMI-2006 scenario's. Ref geeft de huidige kans op onderschrijding weer

Q_{min}	Ref (P<Q)	W+2100 (P<Q)	W-2100 (P<Q)	G+2100 (P<Q)	G-2100 (P<Q)
500	0.01	0.21	0.00	0.03	0.00
600	0.04	0.54	0.01	0.13	0.02
700	0.13	0.82	0.05	0.33	0.08
800	0.28	0.95	0.14	0.58	0.20
900	0.49	0.99	0.29	0.78	0.37
1000	0.68	1.00	0.46	0.90	0.56
1100	0.82	1.00	0.64	0.96	0.73
1200	0.91	1.00	0.78	0.99	0.85
1300	0.96	1.00	0.88	1.00	0.93

Tabel 2.6 Gemiddeld aantal dagen per jaar dat een minimum afvoer wordt onderschreden voor de KNMI- 2006 scenario's. Ref geeft het huidige aantal dagen weer

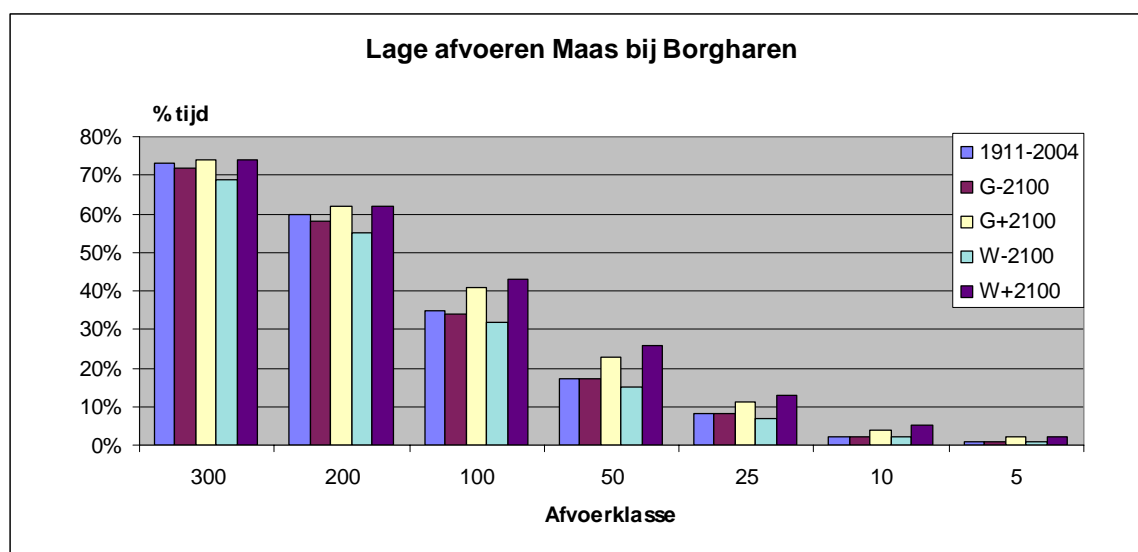
	Referentie	W 2100	W+2100	G 2100	G+ 2100
1000 m ³ /s	23	12	105	17	53
700 m ³ /s	<4	<1	55	<2	10

De tabel laat zien dat 'extreem lage' afvoeren tamelijk 'regelmatig voorkomende' afvoeren kunnen worden, vooral in het W+ scenario. Waar de kans op een afvoer van minder dan 1000 m³/s nu ongeveer 50 % is, zal deze in het W+ scenario elk jaar kunnen voorkomen. Een extreem lage afvoer van rond de 700 m³/s, wordt dit in dit scenario in ruim 80% van de jaren onderschreden. En in het W+ scenario worden zelfs afvoeren van minder dan 500 m³/s eens in de 5 jaar gemeten.

Behalve de laagst voorkomende afvoer is ook de duur van een lage afvoer van belang. Op basis van dezelfde 8000 jaar dagafvoeren is daarom ook het gemiddeld aantal dagen berekend (Tabel 2.6) waarop de afvoer onder de 1000 m³/s (kritische afvoer voor de scheepvaart) en 700 m³/s (kritische afvoer voor zoutindringing op de Nieuwe Waterweg).

De tabellen laten duidelijk zien dat op het gebied van lage afvoeren de mogelijke ontwikkelingen zeer ver uiteenlopen. Waar het G en het W scenario geen extreem lage afvoeren opleveren, leiden de +- scenario's tot zeer sterke verlagingen van de lage rivierafvoeren.

Voor de Maas zijn de veranderingen kleiner (Figuur 2.10). Dat komt deels doordat onder de huidige omstandigheden de afvoer in de droge periode al erg laag is. Daar komt bij dat vooral ten tijde van lage afvoeren in België veel water wordt onttrokken ten opzichte van de totale afvoer.



Figuur 2.10 Afvoerduur van lage afvoeren in de Maas

Stormopzet op zee en maatgevende waterstanden aan de kust

De stormopzet op de Noordzee hangt sterk af van de windsnelheid en de windrichting. Bij langdurige noordwestenwind is de opzet het grootst en kunnen gevaarlijk hoge stormvloed op treden.

Het KNMI (2006) voorziet weinig veranderingen in de daggemiddelde windsnelheden als gevolg van klimaatverandering. De cijfers voor de verschillende scenario's in Tabel 2.2, liggen binnen de variaties die van jaar tot jaar zijn waar te nemen. De KNMI- scenario's geven evenmin veranderingen aan in overheersende windrichting.

Ten aanzien van veranderingen in de maatgevende waterstanden langs de kust is dan ook de verwachting dat deze vrijwel zeker uitsluitend worden beïnvloed door de relatieve zeespiegelstijging, maar dat over grotere windsnelheden of een frequentere noordwesterstorm geen enkele zekerheid bestaat (*fifty-fifty*). Vooralsnog mag van de maatgevende waterstanden aan de kust dan ook worden aangenomen dat deze evenveel stijgen als de zeespiegel.

2.1.3 Alternatieve scenario's en nieuwste inzichten

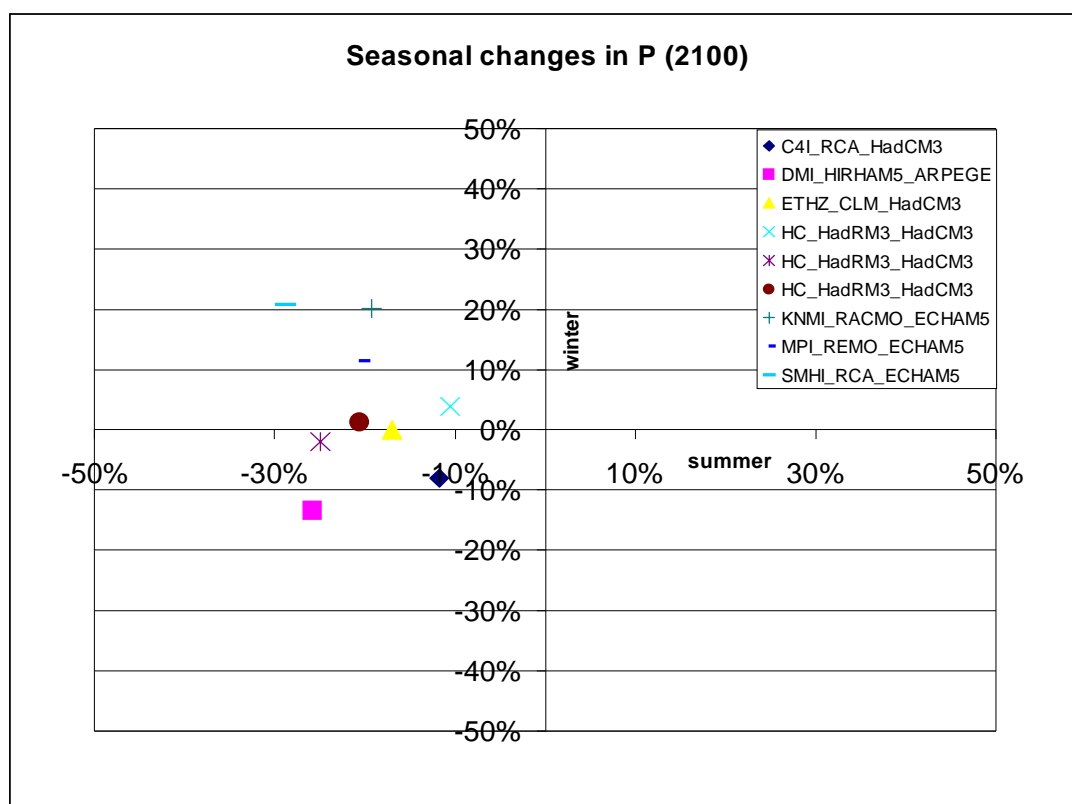
Sinds het uitbrengen van de KNMI 2006 scenario's zijn verscheidene studies uitgevoerd waarbij op andere manieren naar toekomstige klimaatontwikkelingen is gekeken.

In de eerste plaats is dat gebeurd voor de Commissie Veerman (Deltacomissie, 2008). Deze stelde de vraag wat de grootst denkbare doch plausibele veranderingen zouden kunnen zijn aan het einde van deze eeuw. Via expertbijeenkomsten zijn hiervoor scenario's opgesteld voor de zeespiegelstijging, stormvloed en de Rijnafvoer (Vellinga *et al.*, 2008).

De belangrijkste bevindingen waren:

- Uitgaande van een mondiale temperatuurstijging van maximaal 6 °C in 2100 en van maximaal 8 °C in 2200 is de bovengrens voor de mondiaal gemiddelde stijging van de zeespiegel geschat op 0,55- 1,10 m in 2100 en 1,5 – 3,5 m in 2200. Afhankelijk van de toegepaste gravitatie- en elastische “vingerafdrukken” van de twee grote ijskappen en regionale verschillen in thermische uitzetting, zijn voor de Nederlandse kust bandbreedtes van de lokale zeespiegelstijging van 0,5 – 1,15 m en 0,05 – 1,25 m berekend tot 2100; tot 2200 zijn deze bandbreedtes respectievelijk 1,5 - 4 m en 0,5 – 4,0 m.
- Veranderingen van de 50 en 100-jaar herhalingstijden van windsnelheden in 2100 zijn veel kleiner dan de natuurlijke variabiliteit (van jaar tot jaar). De modellen wijzen op een tendens naar meer westelijke wind, terwijl geen toename worden verwacht van noordelijke en noordwestelijke wind – die het grootste gevaar vormen voor de Nederlandse kust. Er wordt geen significante bijdrage van zwaardere stormcondities verwacht voor de stormvloedhoogte langs de Nederlandse kust.
- Ervan uitgaande dat de afvoercapaciteit van de Rijn in Duitsland niet ingrijpend zal worden vergroot, zullen de ranges voor de 1/1250 per jaar afvoer van de Rijn bij Lobith (ontwerpafvoer) uitkomen op 15.500 – 17.000 m³/s in 2050 en 16.000 – 17.500 m³/s in 2100.

Ten tweede is voor de rivieren nieuw onderzoek gedaan. Het merendeel van de scenario's voor de afvoeren van de grote rivieren zijn via de zogenaamde ‘deltamethode’ vastgesteld. Het nadeel van deze aanpak is dat eventuele veranderingen in variabiliteit in het weer niet worden meegenomen. Sinds kort zijn ook enkele onderzoeken gedaan waarbij gecorrigeerde uitvoergegevens uit klimaatmodellen direct zijn gebruikt als invoer voor een hydrologisch model (Te Linde *et al.*, 2010). Deze aanpak wordt de ‘directe methode’ genoemd. Deze heeft het voordeel dat een eventuele verandering in variabiliteit wel wordt meegenomen. Voor 2050 komt deze methode uit op een verhoging van 17%, hetgeen een maatgevende afvoer tussen de 18.000 en 19.000 m³/s zou opleveren, indien geen rekening wordt gehouden met overstromingen stroomopwaarts (aanne: ‘in Duitsland oneindig hoge dijken’).



Figuur 2.11 Projecties voor zomer- en winterneerslag in het Rijngebied volgens verschillende GCM - RCM combinaties voor 2100

Ten derde is relevant dat momenteel een groot Europees project wordt uitgevoerd genaamd ENSEMBLES. In dit project worden vele klimaatprojecties gemaakt met verschillende combinaties van GCM's en RCM's. Het onderzoek is nog niet afgerond, maar alle resultaten tot nu toe wijzen erop dat de zomers droger worden. En was tot voor kort het algemene beeld dat de winters in het Rijnstroomgebied natter zouden worden, deze meest recente simulaties suggereren weinig tot geen verhoging in de winterneerslag. Zelfs een daling valt niet uit te sluiten. Ten opzichte van de KNMI 2006 scenario's lijkt er een verschuiving te zijn in de richting van de *plus* scenario's.

Voor 2050 laten de projecties weliswaar kleine verschuivingen zien in seizoensneerslagen maar deze blijven merendeels binnen de historische variatie. Dit betekent dat volgens deze projecties met name de hogere Rijnafvoeren in ieder geval tot 2050 vermoedelijk maar weinig zullen veranderen.

Met deze nieuwe neerslagprognoses zijn nog geen rivierafvoeren gesimuleerd, maar ze zullen vermoedelijk leiden tot lagere maatgevende afvoeren. Droogterisico's zullen daarentegen sterker toenemen.

Een vierde recent inzicht hangt samen met de zeer hevige regenbuien die de afgelopen jaren in de late zomer langs de Nederlandse kust voorkomen. Deze zorgen op verschillende plaatsen voor zeer veel wateroverlast. De buien zijn dusdanig hevig en komen nu zo regelmatig voor dat er geen sprake is van een toevallige samenloop van omstandigheden. Zowel het W als het G scenario verwachten een (zeer) grote toename van de extreme buien, met name in de zomer. De opgetreden buien zijn echter ook groter dan hetgeen we op grond van deze scenario's zouden verwachten.

Analyse van deze gebeurtenissen door het KNMI heeft laten zien dat ze samenhangen met hoge zeewatertemperaturen in de Noordzee aan het einde van de zomer.

In de klimaatmodellen worden door de resolutie deze zeewatertemperaturen onderschat. Simulaties waarbij een dergelijke hoge watertemperatuur werd opgelegd, lieten direct een zeer sterke toename van de intensiteit van buien langs de kust zien. Het ligt in de lijn van de verwachting dat zulke buien in de toekomst heviger zullen worden en vaker zullen voorkomen. Dit betekent dat bijvoorbeeld stedelijk waterbeheer langs de kust met verhevigde buien rekening moet gaan houden.

Samenvattend kunnen we zeggen dat er voor de Nederlandse situatie grote onzekerheden blijven in de lange termijn hydrologische projecties ten aanzien van klimaatverandering. Uitgaande van de nieuwste scenario's (ENSEMBLES) ziet het er naar uit dat de veranderingen op de korte termijn (eerstkomende decennia) niet dusdanig groot zijn de klimaatverandering zal leiden tot hydrologische omstandigheden die zeer sterk afwijken van hetgeen we al gewend zijn. Voor lokale systemen is de toename in de intensiteit van buien wel een trend waarmee rekening gehouden dient te worden (effect van stijgende watertemperatuur in Noordzee). Maar voor op korte termijn sterk ingrijpen in het hoofdwatersysteem bieden de nieuwste inzichten in klimaatverandering *als zodanig* onvoldoende reden.

2.1.4 Welke scenario's zijn relevant voor welk probleem?

Met het uitkomen van de KNMI 2006 scenario's is er steeds meer aandacht gekomen voor sector- of beleidsthemaspecifieke scenario's. Het idee hierbij is dat niet elk scenario even belangrijk is voor elke sector, c.q. elk beleidsterrein; niet elk scenario is dan ook relevant voor iedere sector/ beleidsterrein bij voornemens tot het opstellen van langetermijnplanning. Men dient dan ook te beginnen met een inventarisatie welke scenario's tot significante en relevante veranderingen zouden kunnen leiden.

In Tabel 2.7 is op basis van de nieuwste inzichten aangegeven welk scenario voor de drie hoofd- en subthema's van het waterbeleid in brede zin de grootste verwachte risicotoename zal laten zien.

In dit overzicht zien we dat de klimaatscenario's W+ en W het vaakst de grootste veranderingen veroorzaken, en dat voor de hydrologische afgeleide condities ENSEMBLES en de Commissie Veerman de grootste opgave betekenen. Dat laatste is geen wonder, want die commissie heeft gezocht naar een plausibele bovengrens, en heeft dus een soort slechtste geval (*worst case*) gedefinieerd.

Dat W+ de grootste opgave betekent is evenmin een wonder, als men bedenkt dat ten eerste de W-scenario's zich verhouden tot de G-scenario's als 2: 1 (2x sterkere temperatuurstijging als *driver* achter de rest van de klimaatverandering) en dat de +- scenario's daar ten opzichte van de niet- +-scenario's een gewijzigde luchtstroming bij aannemen. Dat verklaart dat in Tabel 2.2 veel getalswaarden zich verhouden als:

- $W = 2 G$
- $W+ = 2 G+$

W+ is dus eigenlijk het 'bovenscenario' van de 4 KNMI-scenario's, waar de Commissie Veerman voor enkele parameters (zeespiegel) nog een schepje bovenop doet. Daar komt bij dat de tabel 2100 betreft. Voor 2050 – de zichthorizon in dit onderzoek waarin verkend wordt welke beleidsaanpassingen voor 2050 gewenst zijn – kunnen alle getalswaarden nog eens worden gehalveerd.

Dit alles kan worden geïnterpreteerd als: het loopt waarschijnlijk/mogelijk niet zo'n vaart, maar hou oog op de lange termijn.

Tabel 2.7 *Kwalitatieve beoordeling van de relevantie van verschillende scenario's voor de diverse waterbeleids(sub)thema's. De genoemde scenario's zullen vermoedelijk de grootste opgave opleveren.*

Beleidsthema	Subthema	KNMI 2006	Nieuwste inzichten / alternatieve scenario's
<i>Bescherming tegen overstromen</i>	Kust	W / W+	Commissie Veerman
	Rivieren Rijn en Maas	W+	<i>Direct method</i> scenario's
	IJsselmeer	W+	Commissie Veerman
<i>Watervoorziening en economisch watergebruik</i>	Waterkwaliteit Rijn	W+	ENSEMBLES scenario's
	Waterkwaliteit Maas	W+	ENSEMBLES scenario's
	Drinkwater	W+	ENSEMBLES scenario's
	Energie	W+	ENSEMBLES scenario's
	Landbouwwatervoorziening	W+	ENSEMBLES scenario's
<i>Natuur en ruimtelijke kwaliteit</i>	Terrestrische gebieden	W+	ENSEMBLES scenario's
	Aquatische natuur	W+	ENSEMBLES scenario's
	Natuur rivierengebied	W+	ENSEMBLES scenario's
	Natuur kustzone	W+	ENSEMBLES scenario's

2.2 Maatschappelijke ontwikkelingen

2.2.1 Relevante ontwikkelingen

Niet alleen het klimaat verandert, ook de maatschappij. Het gaat daarbij om demografische veranderingen en economische veranderingen.⁴ In deze studie volgen we daarom niet alleen voor klimaatverandering een scenariobenadering, maar ook voor bevolkingsgroei en economische groei. We sluiten daarbij losjes aan bij de scenario's die zijn gebruikt voor de scenariostudie Welvaart en Leefomgeving (WLO), die het CPB heeft uitgevoerd met onder andere het Milieu- en Natuurplanbureau en het Ruimtelijk Planbureau (CPB *et al.*, 2006; Janssen *et al.*, 2006).

We merken op dat scenario's voor maatschappelijke ontwikkelingen doorgaans minder ver vooruitkijken dan scenario's voor klimaatverandering. Dat heeft te maken met de grotere reactiesnelheid van het maatschappijsysteem in vergelijking met het klimaatsysteem en de grotere snelheid van veranderingen.

⁴ Veranderende maatschappelijke opvattingen zijn zeer moeilijk voorspelbaar en worden hier niet in beschouwing genomen.

2.2.2 Demografie en economische groei

De kerngegevens van de vier WLO-scenario's voor Nederland zijn samengevat in Tabel 2.8. Ze verschillen ten eerste qua bevolkingsomvang, maar ook qua economische groei en ruimtedruk.

2.2.3 Welke scenario's zijn relevant voor welk probleem?

Voor de kwetsbaarheid voor overstromingen zijn vooral de bevolkingsomvang en – samenstelling en de economische betekenis van een gebied relevant. In de meeste scenario's groeit de Nederlandse bevolking nog enigszins, vooral in het westen van het land. Ook de economie groeit in de meeste scenario's over lange termijnen gezien gestaag, ondanks tijdelijke perioden van crisis, zoals we die nu doormaken. Dat leidt tot grotere economische risico's. Voor beide kunnen we dan ook stellen dat scenario's met sterke bevolkingsgroei en sterke economische groei het meest relevant zijn om de omvang van het overstromingsrisico in de toekomst te bepalen.

Tabel 2.8 Enkele kerngegevens van Nederland voor de periode 1971-2040en voor 4 scenario's van maatschappelijke ontwikkeling: GE=Global economy; SE=Strong Europe; TM=Transatlantic market; RC=Regional communities. (WLO, 2006).

	1971-2001	GE 2040	SE 2040	TM 2040	RC 2040
Bevolking (miljoen personen)	16.0*	19.7	18.9	17.1	15.8
Aandeel 65+ (%)	14*	23	23	25	25
Aantal huishoudens (miljoen)	7.0*	9.8	8.3	8.5	6.9
Werkzoekenden zonder baan (%)	3.3	4.3	5.5	4.7	7.7
Groei BBP per hoofd per jaar (%) 2002-2040	1.9	2.1	1.5	1.7	1.2
BBP per hoofd (2001=100)	100*	221	156	195	133
Claims op ruimte wonen en werken (2002=100)	100 [#]	139	75	76	13
Claims op ruimte recreatie en natuur (2002=100)	100 [#]	156	163	112	128

* 2001; [#] 2002

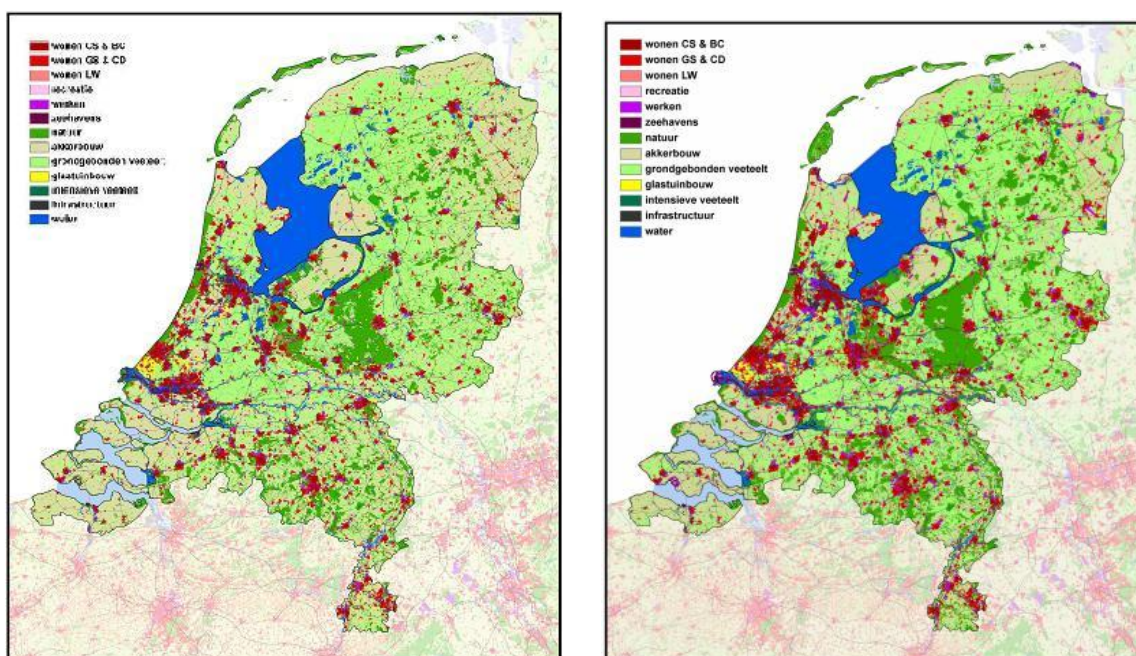
De demografische en economische ontwikkelingen hebben weer invloed op het landgebruik, waarbij ook de wereldmarkt en het Europees (landbouw)beleid een rol spelen. Dat kan invloed hebben op de betekenis van de Nederlandse landbouw in Europese context en op en de belangrijkheid van droogterisico's voor economische sectoren en dus op de vraag naar (zoet) water.

Van deze 4 scenario's wordt er hier uit praktische overwegingen en omwille van de interpretatie slechts één gebruikt, namelijk diegene die het nauwst aansluit bij de huidige ontwikkelingen in Nederland. Ten tijde van het onderzoek 'Nederland Later' (MNP, 2007) leek Nederland zich nog te ontwikkelen volgens het GE-scenario ('hoge ruimtedruk'), inmiddels lijkt het meer op het TM- scenario ('matige ruimtedruk').

2.2.4 Veranderingen in het landgebruik

Van de kerngegevens zijn de ruimteclaims door het MNP gebruikt om met de Ruimtescanner het ruimtegebruik van Nederland in 2010, 2020 en 2040 in beeld te brengen, uitgaande van de situatie 2005 en reeds vastgesteld beleid (zie Kuiper & Bouwman, 2009). De consequenties voor het ruimtegebruik in het TM- scenario voor 2040 worden weergegeven in Figuur 2.12.

Door de bevolkingsgroei, de 'verdunding', en de economische groei leidt dit scenario tot een forse toename van bebouwd gebied en meer kassenteelt. De toename van bebouwing is in het gehele land sterk, maar met zwaartepunten in Randstad, Zandstad (Brabantse steden), KAN- gebied (Knooppunt Arnhem- Nijmegen) en Twente.



Figuur 2.12 Landgebruik in huidige situatie en in 2040 bij trendscenario van bevolkingsgroei en economische groei (Transatlantic Market), bepaald met de Ruimtescanner (Kuiper & Bouwman, 2009).

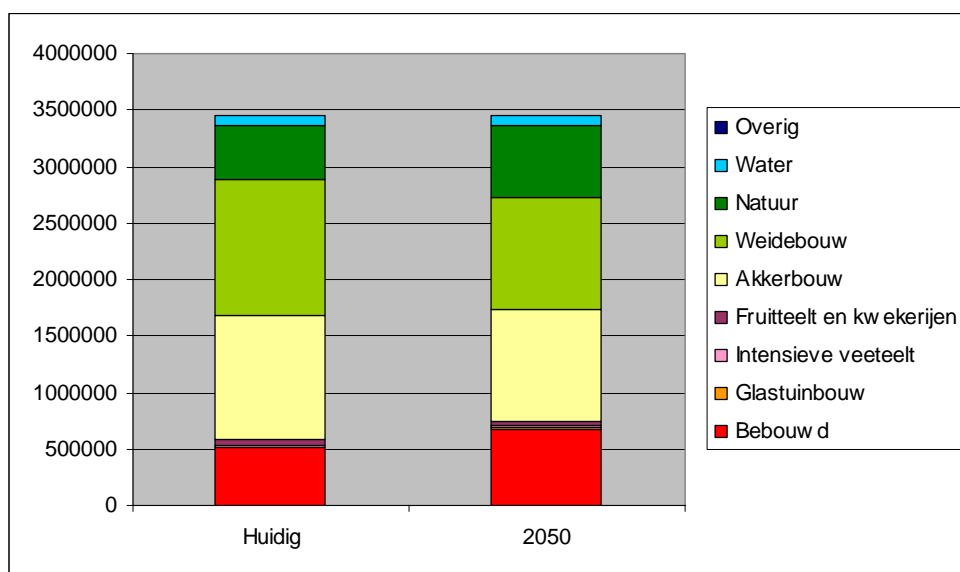
2.2.5 Welke prognose voor landgebruik 2050 is gekozen?

Omdat geen landgebruikprojectie voor 2050 beschikbaar was is uitgegaan van de projecties van PBL voor 2040, en wel van die het nauwst aansluit bij het WLO- scenario *Transatlantic Market*. De op dit moment waargenomen ontwikkelingen in demografie en economie komen daarmee het nauwst overeen (mondelijke mededeling PBL).

Er is aangenomen dat het beeld van 2040 een goede indruk geeft van wat *Transatlantic Market* in 2050 zou kunnen opleveren, omdat ook voor de ontwikkeling van het ruimtegebruik geldt dat de aard en richting van de veranderingen niet wezenlijk is veranderd, maar dat de recente crisis wel het tempo van de veranderingen tijdelijk heeft vertraagd.

Dat betekent dat de in Figuur 2.12 weergegeven kaart een ‘aardige indruk’ geeft van het mogelijke landgebruik in 2050, bij ongewijzigd beleid.

Een kwantitatieve weergave van de landgebruikveranderingen voor heel Nederland (Figuur 2.13) laat goed zien dat wonen en werken in areaal toenemen, evenals natuur, terwijl akkerbouw en grondgebonden veeteelt areaal inleveren. Daarbij wordt aangetekend dat voor zowel overstromingsrisico's als droogterisico's (met landbouw als grootste watervrager) regionale verschillen relevant zijn. Daar is bij de analyses hierna vanzelfsprekend rekening mee gehouden.



Figuur 2.13 Verwachte landgebruikveranderingen over geheel Nederland per landgebruikcategorie tussen nu en 2050, conform scenario *Transatlantic Market*.

3 Wanneer is beleidsrespons onontkoombaar? Omslagpunten

3.1 Inleiding

In het project 'Klimaatbestendigheid van Nederland- Waterland' (Kwadijk *et al.*, 2008; Passchier *et al.*, 2009) heeft Deltares in samenwerking met Rijkswaterstaat Waterdienst onderzocht waar en wanneer bestaande – en mogelijke toekomstige – beheerstrategieën voor het hoofdwatersysteem worden geconfronteerd met zulke grote veranderingen in het klimaat en daarvan afhankelijke waterhuishoudkundige omstandigheden, dat een wijziging van het beleid noodzakelijk wordt of zeer gewenst. Met andere woorden: wanneer noopt klimaatverandering ons tot majeure keuzes?

Meer concreet is gezocht naar die mate van klimaatverandering die een beleidsomslag onontkoombaar maakt of als voldoende zwaarwegend argument kan gelden voor een beleidomslag. Reden tot beleidsomslag kan zijn (zie Kwadijk *et al.*, 2008):

- Technisch; continuering van de beleidsstrategie wordt technisch onmogelijk of vergt teveel ruimte.
- Financieel; continuering van de beleidsstrategie wordt onbetaalbaar, of onaanvaardbaar kostbaar.
- Maatschappelijk; continuering van de beleidsstrategie vergt ingrepen met onacceptabele gevolgen, sociaal (ongelijkheid) of door aantasting of verlies van cultuur- en natuurwaarden.

In de praktijk zal een beleidsomslag zelden onontkoombaar zijn; het is in ons rijke land meer de vraag hoeveel inspanning de maatschappij zich wil getroosten (Passchier *et al.*, 2009). Dat betekent dat de zwaarwegendheid van het argument rekbaar is en er van een glijdende schaal sprake kan zijn.

De zoektocht naar knikpunten/ beleidsomslagpunten is uitgevoerd voor het waterbeleid, meer in het bijzonder het rijkswaterbeleid. Dat is, als onderdeel van het algemeen omgevingsbeleid, niet in eerste instantie gericht op de wensen en eisen van individuele sectoren, maar meer op het algemeen belang, bij gebrek aan een betere term ook wel aangeduid als 'nutsfuncties'. Het gaat concreet om het leveren van bescherming tegen overstroming, het voorzien van zoetwater en het realiseren van (goede condities voor) natuur- en landschapswaarden. Over deze drie onderwerpen gaat dit hoofdstuk.

3.2 Hoogwaterbescherming

De afgelopen tijd is er uitgebreid onderzoek gedaan bij welke zeespiegelstijging er problemen in de kustverdediging zullen gaan optreden (Kwadijk *et al.*, 2008; Passchier *et al.*, 2009). Het blijkt dat de duinkust met zandsuppleties goed op sterkte kan worden gehouden en dat er ook bij de dichte dammen voorlopig geen problemen zijn te verwachten. Daarbij is aangenomen dat intensivering van de zandsuppleties en periodieke verhoging van dijken en dammen kunnen worden beschouwd als onderdeel uitmakend van het huidig beleid. Dat omvat immers een 5-jaarlijkse 'APK-keuring' conform de Wet op de Waterkering/ Waterwet (verg. Passchier *et al.*, 2009).

Omslagpunten of knikpunten (ingekort naar Passchier *et al.*, 2009)

Een omslagpunt is in de strikte betekenis een punt waarbij een 'systeem' van de ene evenwichtstoestand in een andere evenwichtstoestand terecht komt; bijvoorbeeld een glas dat schever en schever wordt geduwd tot het omvalt en dan opnieuw stabiel is, zij het liggend in plaats van staand (zie Russill & Nissa, 2009). Kenmerkend voor dergelijk omslagpunten is de zogeheten niet-lineariteit (het bij een kleine vermeerdering van de externe belasting in een totaal andere toestand geraken), ook wel niet-proportionaliteit genoemd (een kleine vermeerdering van de externe belasting heeft plotseling een groot gevolg). Dit grote gevolg is meestal veroorzaakt doordat een drempelwaarde wordt overschreden, waarna zelfversterkende effecten gaan optreden.

Dergelijke omslagpunten zijn bekend dan wel vermoed van fysieke systemen (afsmeltgedrag landijs Groenland), van ecosystemen (instortende vispopulaties; plotseling afstervende koraalriffen) en van socio-economische systemen (groepsgedrag van voetbalfans in een stadion; kredietcrisis).

Beleidsomslagpunten zijn duidelijk van een andere aard dan de hierboven genoemde omslagpunten. Bij beleidsomslagpunten wordt bewust een andere koers ingeslagen ten opzichte van het bestaande beleid, waarbij een nieuw *adagium* leidend wordt. Zo'n koerswijziging wordt ook wel aangeduid met de term '*transitie*'. Een transitie gaat vaak wat geleidelijker dan een omslag van een systeemevenwicht. De koerswijzigingen zijn vaak ook niet zodanig groot dat van een omslagpunt/ keerpunt kan worden gesproken, maar eerder van een knikpunt (de term die door Kwadijk *et al.* (2008) is gebruikt).

Bij een stijgende zeespiegel zijn als eerste problemen te verwachten bij de stormvloedkering in de **Nieuwe Waterweg**, de Maeslantkering. Ten eerste is de kering technisch ontworpen op een zeespiegelstijging van ten hoogste 50cm. Ten tweede is de kering functioneel ontworpen om slechts zelden dicht te gaan; de kering is immers mede gebouwd om een onbelemmerde invaart van de Rotterdamse haven te garanderen. Volgens de huidige criteria sluit de kering indien de verwachte waterstand bij Hoek van Holland +3.00 m NAP of hoger zal worden, of +2.90 m of hoger bij Dordrecht. Bij de huidige zeespiegelstand sluit de kering gemiddeld eenmaal in de tien jaar in verband met hoogwater door storm op zee.

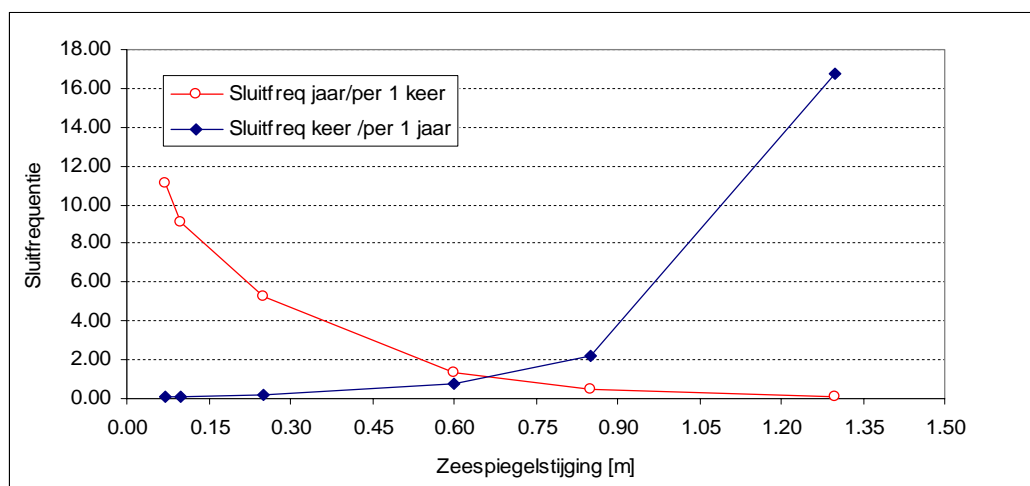
Bij een stijgende zeespiegel zal de kering vaker dicht moeten. Dat betekent meer hinder voor de scheepvaart, snellere slijtage en moeilijker onderhoud⁵.

Figuur 3.1 laat zien dat bij een zeespiegelstijging van 85 cm de kering – bij handhaving van het sluitcriterium! – naar verwachting gemiddeld eens per jaar zou moeten sluiten. De gepercipieerde bereikbaarheid van de Rotterdamse haven neemt hierdoor af, met mogelijk imagoschade voor de Rotterdamse Haven⁶. Indien de zeespiegel 130 cm zou stijgen, betekent dit dat de kering ongeveer 30 maal per jaar zou moeten sluiten.

In het meest ongunstige scenario (= Veerman) wordt een zeespiegelstijging van 50 cm omstreeks 2060 bereikt. Aangezien de zeespiegelstijging in dat scenario in de tweede helft van deze eeuw aanmerkelijk sneller verloopt dan gedurende de eerste 50 jaar kan worden aangenomen dat een stijging van 85cm, waarbij de kering eenmaal per jaar zal sluiten, omstreeks 2070 bereikt zal worden. Onder het meest gunstige KNMI- scenario daarentegen (G of G+) zal een stijging van 50 cm pas aan het einde van de eeuw bereikt worden. In dit scenario zal een stijging van 85 cm pas na meer dan 200 jaar bereikt worden.

⁵ De kering wordt jaarlijks in de zomer onderhouden en is dan tijdelijk niet bruikbaar.

⁶ De Maasvlakte blijft natuurlijk gewoon bereikbaar, want deze ligt buiten de kering. En het valt te bezien of schepen tijdens zeer zware storm wel binnenlopen.

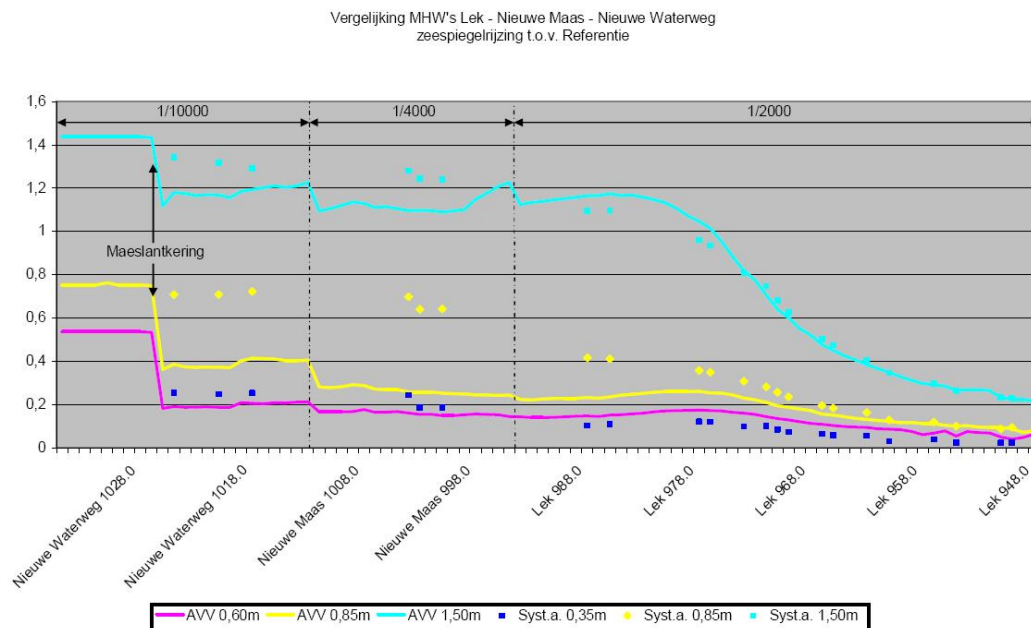


Figuur 3.1 Sluitfrequentie/gemiddelde herhalingsjijd van de Maeslantkering als functie van de zeespiegelstijging bij handhaving van het huidig sluitcriterium (Q. Gao, Deltares, interne notitie)

Eén en ander betekent dat op zijn vroegst over ongeveer 50 jaar een keuze moet zijn gemaakt hoe het Rijnmondgebied met alle daartoe behorende wateren tegen stormvloed te beschermen bij hogere zeestand. De commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) heeft voor dit gebied een ‘afsluitbaar open’ oplossing gesuggereerd, waarop we in hoofdstuk 5 terugkomen. Daarbij merken we vast op dat er voor de Nieuwe Waterweg drie keuzemogelijkheden zijn (a) dicht (b) open, en (c) afsluitbaar, zoals nu, maar eventueel uitgebreid met een stelsel van beweegbare keringen in de achterlandverbindingen. De keuze is bepalend voor de maatgevende waterstanden in het Rijnmondgebied en dus voor de dijkverzwaringsopgave aldaar. In hoofdstuk 5 gaan we er verder op in.

Los van de vraag wanneer de Maeslantkering zal worden heroverwogen, is van belang dat de maatgevende waterstand aan de landzijde van de kering de zeespiegel voor een groot deel zal volgen.

Uit alle analyses blijkt de Maeslantkering bij hogere zeestanden nauwelijks meer effectief voor het verlagen van de toetspeilen (Figuur 3.2). Dit komt door de relatief grote faalkans van de kering, die naar huidig inzicht in 1 op de 100 keren niet naar behoren zal sluiten. Omdat het aantal keren dat de kering bij hogere zeespiegel zal sluiten toeneemt, zal ook de jaarlijkse faalkans flink toenemen. En die werkt door in de kans dat toetspeilen worden bereikt, of beter: in de hoogte van de toetspeilen bij gelijkblijvende normkans in (zie de blokjes in Figuur 3.2). Van 35 cm zeespiegelstijging (bovengrens W scenario's 2050) blijft in het toetspeil 25 cm over, aflopend naar 5 cm op de lek bij Vianen; van 85 cm zeespiegelstijging blijft 75 cm over, aflopend naar 10 cm bij Vianen; en van 1,50 m (waarschijnlijk pas ver in de volgende eeuw) blijft 1,35 m over, aflopend naar 20 cm bij Vianen. Dat betekent dat hier hoe dan ook een dijkverzwaringsopgave ligt.



Figuur 3.2 Het effect van een hogere zeestand op de maatgevende waterstanden in het noordelijk deltabekken bij verschillende faalkansen van de Maeslantkering, bij een faalkans van 1/1000 per sluiting (AVV: getrokken lijn) respectievelijk 1/100 per sluiting (Systeemanalyse Rijn-Maasmonding: blokjes).

Voor het **IJsselmeergebied** kan eenzelfde redeneerlijn worden gevolgd: wanneer kan het huidige spuien naar de Waddenzee onder vrij verval niet langer plaatsvinden en moet dus een keuze gemaakt worden over de streefpeilen op het IJsselmeer? Naar het zich laat aanzien hoeft daar niet voor 2050 een keuze over te worden gemaakt (Kwadijk *et al.*, 2008). Tot die tijd zouden de extra spuisluisen die nu worden gebouwd moeten voldoen. Daarna kan worden gekozen voor (a) meestijgen met de zeespiegel, of (b) pompen om het huidige peil te handhaven.

De keuze is bepalend voor de maatgevende waterstanden op het IJsselmeer en nabij de IJsselmonding en dus voor de dijkverzwaringsopgaven aldaar. Zie verder hoofdstuk 5.

Voor het **zuidwestelijk estuariumgebied**, en in het bijzonder de Oosterschelde, worden cruciale beslistmomenten pas later voorzien (Passchier *et al.*, 2009). De Oosterscheldekering zal frequenter sluiten, maar dit hoeft voorlopig geen probleem op te leveren, omdat de nevenfunctie (getij toelaten voor natuur en schelpdieren) geen gevaar loopt. Het zuidwestelijk estuariumgebied wordt veeleer 'van achteren' bedreigd.

Bij grotere rivierafvoeren voldoet de (tijdelijke) bergingscapaciteit van het Volkerak-Zoommeer niet langer en zijn ook Grevelingen en Oosterschelde nodig. Dat kan worden beschouwd als een beleidsomslag, waarop nu al wordt gestudeerd. Hoogwaterberging in deze bekkens vraagt echter wel aanpassing van de dijken en overige waterkeringen rond deze bekkens.

Ook dient te worden onderkend dat met hoogwaterberging vermoedelijk wel de extra rivierafvoer van Rijn en Maas kan worden opgevangen tot ca 18.000 resp. 4600 m³/s, maar dat de invloed van een hogere zeespiegel er niet mee kan worden gepareerd (Passchier *et al.*, 2009). De effectiviteit van waterberging wordt immers kleiner (hogere beginwaterstand).

3.3 Zoetwatervoorziening

Voor gebieden waar **zoetwateraanvoer** kan plaatsvinden, bepaalt de verticale waterbalans de behoefte aan irrigatiewater voor niet-zouttolerante gewassen. Bovendien zullen de zeespiegelstijging en de bodemdaling leiden tot grotere kwelintensiteiten langs de kust en op de Hollandse en Zeeuwse (schier)eilanden. Het gaat daar om zoute kwel. Daardoor zullen de sloten verziltten. Dit wordt *interne verzilting* genoemd. Om de zoutgehalten in de sloten laag te houden is (veel) meer spoelwater nodig. De behoefte aan zoet spoelwater groeit.

Vervolgens is de vraag of aan die behoefte kan worden voldaan door levering van water uit het hoofdwatersysteem. Door de stijging van de zeespiegel zal de zoutgrens verder landinwaarts schuiven. Dat wordt nog versterkt in perioden met lage rivierafvoeren; die worden vooral verwacht in de scenario's G+ en W+. Dit is de zogenaamde *externe verzilting*. De inlaatpunten voor zoetwater bij Gouda (voor Midden-West Nederland), bij Bernisse aan het Spui (voor Brielse Meer en Westland), en op Goeree-Overflakkee zullen langduriger onbruikbaar worden, omdat de zoutgehalten daar ongewenste waarden bereiken.

Het moment waarop de zoutgehalten te vaak te hoog zullen zijn om zoetwaterinlaat mogelijk te maken is moeilijk vast te stellen. Ten eerste wordt de nu al optredende externe verzilting grotendeels veroorzaakt door maatschappelijke keuzes: voor een *open* Nieuwe Waterweg (die getijstrooming mogelijk maakt), voor een zeer *diepe* Nieuwe Waterweg (die de instroom van een zoutwatertong langs de bodem mogelijk maakt), voor het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen en voor een zout Volkerak. Hier is sprake van een afweging van belangen, die mogelijk deels aan herziening toe is. Ten tweede wordt de externe verzilting door de zeespiegelstijging versterkt: vroeger of later worden de bestaande inlaatpunten *sowieso* onbruikbaar.

Dat is aanleiding om nu al na te gaan of de zoetwatervoorziening van (bepaalde functies in) delen van het zuidwestelijk estuariumgebied en Midden-West Nederland niet geheel anders geregeld zou moeten worden (Anonymus, 2009b). En of de waterhuishouding van het Noordelijk deltabekken niet geheel op de schop moet (studie Zoetwatervoorziening van RWS-Waterdienst en Deltares). Daarop wordt in hoofdstuk 7 verder ingegaan.

Voor het gebied dat vanuit het IJsselmeer van zoet water wordt voorzien geldt dat de grenzen van de voorraad zelden worden bereikt; althans niet in absolute zin. Wel wordt in zeer droge zomers bij dalend waterpeil het aanvoeren van water naar Friesland-Groningen, Noord-Holland en verder (Midden-West Nederland via de Tolhuisluisroute, zie hoofdstuk 6) steeds moeilijker, maar dit komt vooral doordat de doorvoercapaciteit van de watergangen geleidelijk tekort gaat schieten en inlaat onder vrij verval bij lage IJsselmeerpeilen steeds langzamer gaat. Er kan hier echter niet duidelijk van een beleidsomslagpunt worden gesproken, omdat er geen harde grens is waarbij kan worden gesteld dat het huidige beleid tekort schiet.

3.4 Natuur

Klimaatverandering kan invloed hebben op ecosystemen en daarin voorkomende soorten door de volgende relevante veranderingen:

- Zeespiegelstijging (verdrinken intergetijdegebied en laaggelegen buitendijkse terrestrische natuur; langs de rivieren frequentere en langduriger overstromingen): zeer waarschijnlijk.
- Opschuiven zout-zoetgrens (verlies aan areaal zoete aquatische ecotootypen en toename zoute plus bijbehorende soorten): waarschijnlijk.

- Hogere watertemperaturen (verschuiven in de tijd van het optimale seizoen voor algenbloei, waardoor balansverstoringen tussen trofische niveaus kunnen optreden): mogelijk.
- Toename stormintensiteit en frequentie (afslag kust): denkbaar.

Behalve directe effecten van klimaatverandering kunnen ook adaptatiemaatregelen voor kustbescherming, hoogwaterbescherming en watervoorziening effecten hebben op de natuur. Deze effecten zijn vaak groter dan die van de klimaatverandering zelf (Haasnoot *et al.* 2004).

Kwadijk *et al.* (2008) hadden al geconstateerd dat een omslagpunt voor het natuur(gerichte water)beleid in veel wateren al is gepasseerd. Niet zozeer door klimaatverandering, maar door het feit dat de concrete doelstellingen in termen van te handhaven populaties en/of habitats niet zijn toegesneden op systemen die nog evolueren. Veel grote wateren bevinden zich nog middenin een ontwikkeling, waarbij ze morfologisch en ecologisch naar een nieuw (schijnbaar) evenwicht op weg zijn. Die ontwikkeling is de vertraagde respons op de afsluiting van de Zuiderzee, de aanleg van de deltawerken, de riviernormalisaties, en ander menselijk ingrijpen. Bijgevolg kunnen de 'instandhoudingsdoelen' niet worden bereikt en is er bijvoorbeeld in de Oosterschelde en het IJsselmeer duidelijk sprake van een Autonome Neergaande Trend (ANT), waar nu uitgebreid monitoringsonderzoek aan plaatsvindt. Dit is door Passchier *et al.* (2009) als volgt geïnterpreteerd: voor het natuurbeleid zijn de concrete doelstellingen buiten bereik en is het punt waarop een beleidsomslag nodig is allang gepasseerd. Er zijn echter verschillen per gebied, waar we hier kort op ingaan.

Westerschelde

In de Westerschelde zou zeespiegelstijging in theorie tot een afname van het schorareaal en het areaal intergetijdegebied kunnen leiden, omdat deze verdrinken. Het gaat dan onder meer om de schorren van het Verdrongen Land van Saeftinge. Langs de Westerschelde is er maar weinig hoger gelegen gebied dat bij een zeespiegelstijging van meer dan 50 cm af en toe onder water zal komen te staan en schorverlies door verdrinking kan compenseren.

Daar staat tegenover dat opslibbing het effect van zeespiegelstijging zou kunnen compenseren. De geobserveerde opslibbingsnelheden liggen plaatselijk tussen 0,4 en 7,5 cm per jaar, terwijl de maximaal verwachte stijgsnelheid van de zeespiegel na 2050 om en nabij de 2 cm per jaar ligt. Potentieel kan de sedimentatie de stijging – in ieder geval plaatselijk – dus bijhouden. Door de vele ingrepen in de Westerschelde, waaronder de bedijking en het frequente uitbaggeren van de scheepvaartgeul, is de Westerschelde echter veel dieper geworden, en is het totale getijvolume de laatste decennia fors toegenomen. En dit neemt nog steeds toe, ten koste van intergetijdegebied. Er is nog onvoldoende inzicht in de verwachte langetermijnontwikkeling van de bathymetrie en geomorfologie van de Westerschelde.

Oosterschelde

In de Oosterschelde is er een trend dat de zandplaten in oppervlak afnemen. Deze ontwikkeling was al voorzien bij de aanleg van de Oosterscheldedekering (Kohsiek *et al.*, 1987) en is nu waarneembaar. Het wordt wel aangeduid als 'zandhonger' (zie tekstkader). De oorzaak is de afgenomen getijdestroming door de aanleg van de Oosterscheldedekering, waardoor het evenwicht tussen geuldimensies en getijvolume verstoord is geraakt; de geulen zijn veel te ruim voor de hoeveelheid water die er per getij door stroomt.

De platen vormen een belangrijk deel van het zogenaamde intergetijdegebied, dat het foerageergebied vormt voor vele (trek)vogels en het rustgebied is voor zeehonden. De verwachting is dat de zeespiegelstijging het verlies aan plaatareaal zal versnellen. Niet doordat de afslag sneller gaat, maar doordat platen ook nog eens verdrinken. Passchier *et al.* (2009) schatten dat het plaatverlies bij een zeer snelle stijging van de zeespiegel – volgens het Veermansscenario met 1,3 m deze eeuw – circa twee maal zo snel zal gaan.

Zandhonger in de Oosterschelde

Vóór de deltawerken werd de ontwikkeling van het zuidwestelijk estuariumgebied sterk beïnvloed door de zeespiegelstijging, die sedert 1850 bijna 20 cm bedroeg. In deze transgressieperiode werden de estuaria groter en slonk het land. De groei van de estuaria heeft er bijvoorbeeld voor gezorgd dat het getijvolume in de Oosterschelde van 1872 tot en met 1983 is toegenomen, waarbij circa 340 miljoen m³ zand vanuit de Oosterschelde naar zee is gespoeld.

Na de bouw van de stormvloedkering en de Oesterdam en Philipsdam is het getijvolume sterk afgenomen waardoor de geulen 'te groot' zijn geworden. De grootte van de geulen heeft een directe relatie met het getijvolume; het water moet de geulen uitschuren. Bij een verminderd getijvolume moeten de geulen kleiner worden. Hiervoor hebben de geulen zand nodig (zandhonger). Omdat dat zand niet uit zee kan komen door de barrièrewerking van de stormvloedkering, wordt dat zand aan de platen en schorren onttrokken. Dat leidt tot erosie van schorren en platen – areaalverlies. En het leidt tot verlies aan extreem diep en extreem hoog – nivellering.

Om een nieuw evenwicht te kunnen bereiken hebben de geulen 400 tot 600 miljoen m³ sediment nodig, terwijl er maar 200 miljoen m³ beschikbaar is in de aanwezige platen en schorren (Geurts van Kessel, 2004)⁷.

De ontwikkeling van de plaat- en schorafslag voltrekt zich in grote lijnen zoals bij de aanleg van de Deltawerken is voorspeld (Kohsiek *et al.*, 1987), maar het gaat veel sneller dan verwacht. De netto afname van het intergetijdengebied bedroeg tussen 1990 en 2007 ongeveer 600 ha (Royal Haskoning, 2008). In een prognose op basis van de opgetreden veranderingen tussen 1990, 2001 en 2007 is voor het jaar 2060 de invloed van de zandhonger op het areaal plaat en slik in de Oosterschelde berekend (Royal Haskoning, 2008). Het blijkt dat het areaal hoog intergetijdengebied de komende eeuw zal afnemen met ongeveer 60% en het areaal laag intergetijdengebied met ruim 20%. In totaal komt dat overeen met een afname met ca. 4000 hectare intergetijdengebied (bijna 40% van het huidige totaal) in de 21^e eeuw. In deze prognose is het effect van de zeespiegelstijging niet meegenomen.

Haringvliet, Hollands Diep en Biesbosch

Zolang het Haringvliet afgesloten blijft en het beheer van de spuisluizen niet aangepast wordt, is het belangrijkste gevolg van klimaatverandering de stijgende waterstand. Bij een stijging van de zeespiegel van 130 cm is de verwachting dat het peil in het Haringvliet 125 cm zal stijgen. Het gevolg is dat huidige droogvallende gebieden – het Haringvliet heeft enige decimeters getij – permanent onder water komen te staan en dat schorren zullen onderlopen. Een zelfde trend is te verwachten in de het Hollands Diep en de Biesbosch. Hier zullen het areaal dat permanent droog is, het intergetijdegebied en de oppervlakte aan kreken sterk afnemen.

Voor het Hollands Diep/ Haringvliet geldt echter dat de sedimentbalans geheel anders is dan die in de Westerschelde en Oosterschelde.

⁷ Ter vergelijking: langs de hele Nederlandse kust wordt op dit moment jaarlijks 'slechts' 12 miljoen m³ gesuppleerd om de basiskustlijn op z'n plek te houden.

Voor de Rijn voert nog een substantiële hoeveelheid sediment aan, die het frequent uitbaggeren van scheepvaartgeulen⁸ nodig maakt. Alhoewel het grotendeels om fijn sediment gaat⁹, kan dit de waterstandstijging mogelijk toch compenseren.

Dat kan gelden voor zowel het ondiepe water als de buitendijkse gronden (gorzen). Daarmee is het Hollands Diep- Haringvliet mogelijk één van de weinige grote wateren in het zuidwestelijk estuariumgebied waar de sedimentatie de waterstandstijging kan bijhouden, estuariene morfodynamiek kan worden bevorderd, en de natuur zich in gunstige richting kan ontwikkelen; de sedimentbalans moet echter nader – kwantitatief – worden onderzocht.

De invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging op de zoutindringing in het Haringvliet is bij gelijkblijvend spuibeheer klein. Significante effecten zijn alleen te verwachten van maatschappelijke keuzes en menselijke ingrepen om de estuariene dynamiek te vergroten, zoals het zogenaamde “Kierbesluit” dat in een ander spuibeheer van de Haringvlietdam voorziet.

De Waddenzee

Ook voor de Waddenzee geldt natuurlijk dat deze in theorie bij een stijgende zeespiegel kan verdrinken. De Waddenzee verschilt echter van het zuidwestelijk estuariumgebied, doordat deze zich aan het eind van de transportband van zand langs de Hollandse kust bevindt. Daardoor wordt relatief veel zand naar de Waddenzee gevoerd, althans zolang de Hollandse kust met zandsuppleties wordt onderhouden en niet wordt versterkt/ onderbroken met strandhoofden. De schattingen van de *maximale* sedimentatie in de Waddenzee zijn in de orde van 6 cm per jaar. Dat betekent dat ook hier de verdrinking van intergetijdegebied, althans plaatselijk, bij de verwachte stijgsnelheid van de zeespiegel makkelijk wordt gecompenseerd.

-
8. *Net benedenstrooms van de Moerdijkbruggen loopt een zeevaartgeul van de Dortse Kil naar het industriegebied Moerdijk.*
 9. *Grof sediment, zand en grind, wordt al veel verder stroomopwaarts afgezet in uiterwaarden of verdwijnt door baggeren uit het systeem.*

4 Probleemanalyse: wat betekenen de veranderingen voor overstromingsrisico's?

4.1 Risicobegrip

Overstromingsrisico's worden over het algemeen gedefinieerd als (de integraal van) de kans op overstroming vermenigvuldigd met de gevolgen van die overstroming. Of eenvoudiger: kans x gevolg (FLOODsite, 2009; Klijn *et al.*, 2007)

De gevolgen kunnen mensen en hun goederen betreffen, maar ook uitval van economische activiteit. In het algemeen wordt onderscheid gemaakt tussen economisch risico en slachtofferrisico, waarbij ecologische schade en risico's en psychologische schade en risico's worden verwaarloosd. Dat heeft te maken met de veel grotere relatieve belangrijkheid die wordt toegekend aan slachtoffers (heel belangrijk) en economische schade (die naar verwachting in Nederland heel groot is).

Soms wordt daarbij nog onderscheid gemaakt in de blootstelling van mensen en goederen als gevolg van het verloop van een overstroming (aankomsttijd van het water, stijgsnelheid, diepte, e.d.) en de kwetsbaarheid van die mensen en/of goederen.

Tegen deze achtergrond kan de verandering van overstromingsrisico's door klimaatverandering en andere veranderingen worden geanalyseerd, namelijk door achtereenvolgens te kijken naar:

- veranderende overstromingskansen door zeespiegelstijging en hydrologische gevolgen van klimaatverandering;
- veranderende blootstelling door hogere buitenwaterstanden;
- veranderende kwetsbaarheid door demografische, economische en landgebruik-ontwikkelingen.

4.2 Veranderende overstromingskansen

4.2.1 Beleidsuitgangspunten

Ingevolge de Waterwet worden in Nederland alle waterkeringen 5-jaarlijks getoetst aan de dan geldende hydraulische randvoorwaarden. Ook die randvoorwaarden – in termen van waterstanden en golfhoogten en -perioden – worden iedere 5 jaar herzien als daar aanleiding toe is. De metingen van de laatste jaren worden daar dan in verwerkt.

Als de waterkeringen niet aan de vereisten voldoen worden deze versterkt in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), zodat ze weer even mee kunnen. Daarbij wordt tegenwoordig 'robuust' ontworpen en rekening gehouden met klimaatverandering. Ook wordt geanticipeerd op mogelijke zetting e.d. Over het algemeen leidt dat tot waterkeringen die een tijd lang ruim aan de technische toetsingscriteria voldoen.

Met deze 'periodieke keuring' wordt beoogd dat de waterkeringen altijd het in de wet vastgestelde beschermingsniveau leveren. Dat beschermingsniveau verschilt per dijkkring (zie bijv. Klijn *et al.*, 2004). Op dit moment voldoen nog niet alle waterkeringen aan de wettelijke eisen, maar er lopen verscheidene programma's om de achterstand in te lopen.

Er wordt verwacht dat vanaf 2015 alle waterkeringen op orde zijn en de rivieren verruimd, zodat overal aan de norm wordt voldaan. Die – toekomstige – situatie wordt in deze studie als referentie beschouwd net als in de studie voor Nederland Later (verg. Klijn *et al.* 2007).

Uitgangspunten voor deze situatie zijn dus concreet:

- de rivieren zijn verruimd conform de PKB;
- waar nodig zijn de dijken verzwaard;
- alle zwakke schakels langs de kust zijn aangepakt, evenals de steenbekleding;
- de onlangs gesignaleerde onvoldoende sterkte of hoogte van waterkeringen (zie toetsingsronde 2006) is aangepakt en weggewerkt.

Samengevat: de afgesproken en wettelijk vastgelegde norm wordt overal gehaald.

In hoeverre de normen nog voldoen tegen de achtergrond van de gegroeide bevolking en de waardetoeename van het bedijkte gebied wordt momenteel onderzocht in het kader van het Deltaprogramma (WaterVeiligheid 21^e eeuw; Kind *et al.*, in voorbereiding; Van der Most *et al.*, in voorbereiding). Voor de referentiesituatie wordt daarom uitgegaan van de huidige normen. Aanpassing van de normen wordt beschouwd als deel uitmakend van strategische beleidsalternatieven (hoofdstuk 5).

Om de waterkeringen ook in 2050 nog aan de beschermingsnormen te laten voldoen moeten deze aangepast worden aan de intussen veranderende hydraulische randvoorwaarden. In welke mate en met welke middelen verschilt per gebied. Daarom wordt dit hieronder voor verschillendsoortige gebieden kort besproken.

4.2.2 Kust, estuaria en benedenrivierengebied

Voor de kust en de wateren die in (half)open verbinding staan met de zee wordt aangenomen dat de maatgevende waterstanden evenveel stijgen als de zeespiegel. De verwachte absolute zeespiegelstijging tot 2050 ligt waarschijnlijk tussen 15 cm (ondergrens G en G+) en 45 cm (bovengrens W en W+). In vergelijking met de decimeringshoogten voor de kust (van ca. 0,3-0,9 m, afhankelijk van de plek) levert dat gemiddeld een toename van de overstromingskans op met een factor 2-3. In 2100 zou de overstromingskans bij 'niets doen' gemiddeld met een factor 10 kunnen toenemen en plaatselijk met een factor > 100.

Voor het benedenrivierengebied wordt aangenomen dat bij ongewijzigd beleid de waterstanden de zeespiegel voor 90-95% volgen (verg. Passchier *et al.*, 2009) en dat de consequenties voor de toename van de overstromingskansen tussen 2015 en 2050 vergelijkbaar zijn.

Ook voor de kust en het benedenrivierengebied geldt dat het beleid streeft naar het handhaven van de beschermingsniveaus, door zandsuppleties respectievelijk dijkverzwaringen. Dat dit goed kan is aannemelijk gemaakt in de 'knikpuntenstudie' door Kwadijk *et al.* (2008) en Passchier *et al.* (2009). In de praktijk zal de overstromingskans bij ongewijzigd beleid dus gelijk blijven.

4.2.3 Meren

Voor het IJsselmeergebied is in Nederland Later aangenomen dat het vergroten van de spuicapaciteit in de Afsluitdijk en het bouwen van een groot gemaal bij IJmuiden de meerpeilstijging nog tot 2050 kunnen beperken tot ca 0,2 m. Daarna is meestijgen met de zee zeer waarschijnlijk noodzakelijk, tenzij wordt gekozen voor zeer grootschalig pompen. Bij een zeespiegelstijging van minimaal 15 cm (G en G+) tot maximaal 85 cm (W en W+) zou de totale meerpeilstijging in 2100 tussen 0,2 en 0,8 m bedragen. Het maatgevende meerpeil zal die stijging ongeveer volgen, waarbij de grotere waterdiepte enerzijds tot hogere golven zal leiden, maar anderzijds tot een geringer opwaaiingseffect.

De Commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) heeft voorgesteld het IJsselmeerpeil met maximaal 1,5 m te laten stijgen, uitgaande van een zeespiegelstijging van 1,30 m. Dat zou voor de maatgevende waterstand ook een stijging betekenen, die voor verschillende aannames is berekend door Ter Maat en Van Meurs (2009). Uit de berekeningen volgen verhogingen van de maatgevende waterstand voor de dijk die variëren van 0 tot meer dan 2 m, afhankelijk van de plaats.

Voor de overstromingskans geldt dat we er hier – naar Klijn *et al.* (2007) – van uitgaan dat de meerpeilstijging van 0,2 m in 2050 niet tot grotere overstromingskansen leidt. Daarbij wordt aangenomen dat de dijken die op dit moment al als onvoldoende worden beoordeeld (verg. Ter Maat & Van Meurs, 2009) op orde zijn gebracht.

4.2.4 Bovenrivierengebied

Het rivierengebied wordt momenteel door rivierverruiming geschikt gemaakt voor de geldende maatgevende afvoer van 16.000 m³/s. Er wordt echter een toename van de maatgevende afvoer mogelijk geacht in de loop van deze eeuw (paragraaf 2.1.2). Afhankelijk van aannames over maatregelen in Duitsland kan de schatting van de maatgevende (1/1250 per jaar) afvoer oplopen tot 17.500 m³/s bij het W+-scenario in 2100 als met fysieke aftopping rekening wordt gehouden en 21.500 m³/s als dat niet wordt gedaan (onbeperkte afvoercapaciteit in Duitsland). Voor de Maas geldt een vergelijkbaar verhaal.

Via lineaire interpolatie zou voor 2050 met een afvoer van afgerond ca 17000 m³/s rekening moeten worden gehouden. Op basis van de verandering van waterstand per 100 m³/s afvoertoe name op de Rijntakken (Silva *et al.*, 2001; resp. 4, 8 en 9 cm voor Waal, Nederrijn en IJssel per 100 m³/s extra afvoer) vertaalt zich dat in een overschrijding van de maatgevende waterstand met zo'n 15- 20 cm op de Waal, 10-15 cm op Nederrijn/Lek en ca. 10 cm op de IJssel. Voor Nederland Later (Klijn *et al.*, 2007) is daarover geconcludeerd dat bij 'niets doen' de overstromingskansen dan bijna 2x groter worden: *'Terugrekenen via decimeringshoogten ten opzichte van de schatting voor 2020 (systeem op orde met overal een overhoogte van de dijken van ca 0,5 m) en uitgaande van ongewijzigde afvoerverdeling betekent het dat de overstromingskans langs alle takken bijna 2 x groter wordt. Dat houden we voor de Maas ook aan.'*

Conform het vigerend adaptatiebeleid zal dit worden voorkomen door de rivierafvoeren nauwkeurig te monitoren, de hydraulische randvoorwaarden bij te stellen en vast te anticiperen op hogere maatgevende afvoeren. In de praktijk zal de overstromingskans dan ook gelijk worden gehouden door rivierverruiming en/of plaatselijke dijkverhoging. De opgave voor 2050 voor één van die twee opties is dus mogelijk 1-2 dm (bij W+), maar kan ook meevallen (ander klimaatscenario) of tegenvallen (door maatregelen in Duitsland).

4.3 Grotere blootstelling?

Waar voor de studie Nederland Later (Klijn *et al.*, 2007) de door klimaatverandering veranderende overstromingskansen al wel onderwerp van studie waren, was dat niet het geval voor het effect van hogere waterstanden op het overstromingsverloop en de resulterende blootstelling. Dat effect werd toen – voor 2040 – verwaarloosbaar geacht. Met de aandacht voor grotere zeespiegelstijgingen (Deltacommissie, 2008) en langere planningstermijnen (2050 en 2100) voor het Deltaprogramma, is hier nu wel aandacht aan besteed.

Een hogere buitenwaterstand door een hogere zeespiegel en extreme rivierafvoeren kan leiden tot langduriger instroom door een bres in een dijk/ duin en grotere waterdiepten. Dat betekent grotere gevolgen van overstroming. De mate van toename in gevolgen verschilt per gebiedstype.

Bij gebieden die nu al helemaal ondergaan, zal de waterdiepte groter worden en zullen daardoor de schade en het aantal slachtoffers kunnen toenemen. Bij gebieden die nu slechts gedeeltelijk onderlopen, kan ook het areaal dat onderloopt toenemen. Dit is met name het geval in grote dijkkringen zoals Centraal-Holland (dijkkring 14) en Friesland en Groningen (6) en in dijkkringen die vanouds nogal 'gecompartimenteerd' zijn zoals Zeeuws-Vlaanderen (32) en Oostelijk Zuid-Beveland (31).

Voor de bovenrivieren wordt met rivierverruiming beoogd de grotere debieten af te voeren zonder dat de waterstanden hoger worden. Dat zou betekenen dat de toekomstige maatgevende buitenwaterstanden gelijk blijven aan de huidige. Wel kan de duur van de hoogwatergolf iets toenemen, waardoor instroom door een bres langer kan duren.

Om meer kwantitatief inzicht te krijgen in het effect van hogere waterstanden en afvoeren op de gevolgen van overstromingen zijn enkele verkennende analyses gedaan. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen kust en benedenrivieren (onbepaalde hoeveelheid water en zeestand bepalend), het merengebied (bepaalde hoeveelheid water en 'communicerende vaten') en het bovenrivierengebied (waterstand beperkt door rivierverruiming). Deze verschillende situaties worden in de volgende paragrafen beschreven. Vervolgens worden de analyses geëxtrapoleerd naar de rest van Nederland. Tenslotte worden de bevindingen samengevat.

4.3.1 Kust en benedenrivieren

Aan de kust en in het benedenrivierengebied liggen een aantal grote en deels sterk 'gecompartimenteerde' dijkkringen. Daar kunnen de gevolgen van overstromingen toenemen doordat bij een hogere zeestand de waterdiepte alsook het overstroomd areaal kunnen toenemen. De schade kan groter worden, doordat de piekwaterstanden tijdens storm hoger zijn en doordat ook na de storm bij 'gewoon' hoogwater meer water in zal stromen en bij laagwater minder water uit dan bij lagere zeestand het geval was. De uiteindelijke schade is natuurlijk sterk afhankelijk van het landgebruik in het (extra of dieper) overstroomde gebied: gaat het om landbouwgebied, natuur of stedelijk gebied?

Om inzicht te krijgen in het effect van hogere buitenwaterstanden aan de kust en in het de benedenrivierengebied zijn enkele verkennende sommen gedaan voor dijkkring 14 (Centraal Holland) bij de huidige omstandigheden en bij een zeespiegel die 1,3 m hoger staat.

Ten tweede zijn resultaten van berekeningen in het kader van VNK-2 met een hogere stormvloedstand bestudeerd. En ten derde zijn resultaten van eerdere berekeningen aan hypothetische overstromingen langs de Westerschelde (De Bruijn *et al.*, 2008) bekeken.

Verkennde berekeningen voor dijkkring 14

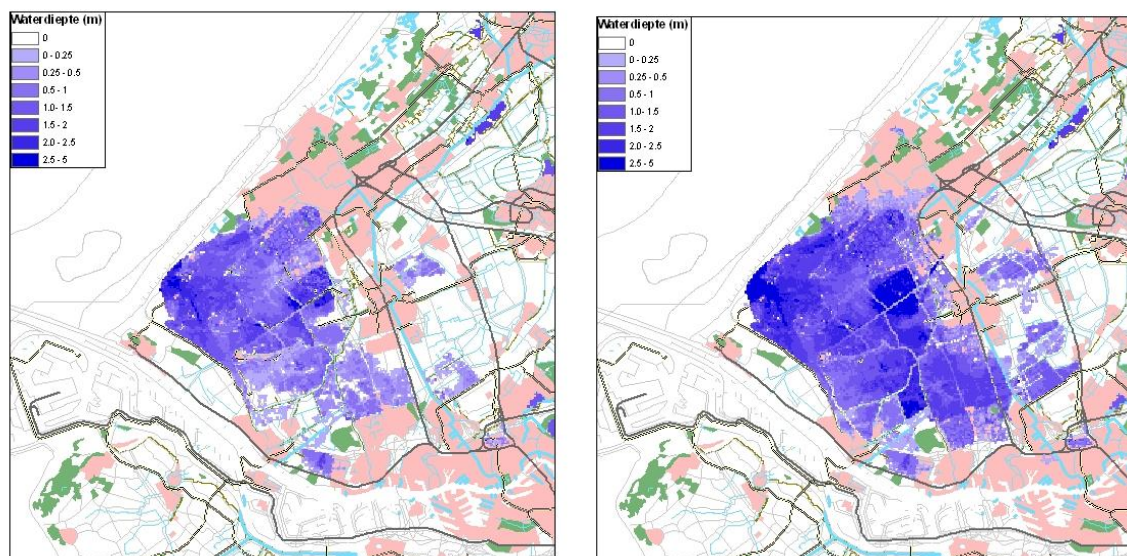
De gevolgen van een dijkdoorbraak bij huidige zeestand en bij een 1,3 m hogere zeespiegel zijn berekend voor de locaties Ter Heijde, Katwijk en Kralingen. Het verschil in waterdiepte en overstromd areaal is geïllustreerd in Figuur 4.1 en Figuur 4.2.

Tabel 4.1 laat zien dat de toename in schade bij een zeespiegelstijging van 1,3 m een factor 2 tot 4 bedraagt (aannemende dat de dijk zo verhoogd wordt dat deze het begeeft bij maatgevende condities die 1,3 m hoger zijn). De toename in slachtoffers is een factor 3 tot 5. De toename in gevolgen wordt veroorzaakt door de hogere buitenwaterstanden die leiden tot een grotere bresbreedte, een groter bresdebiet en een grotere waterdiepte in een soms groter overstromd gebied (zie Tabel 4.1 en Figuur 4.1; Figuur 4.2).

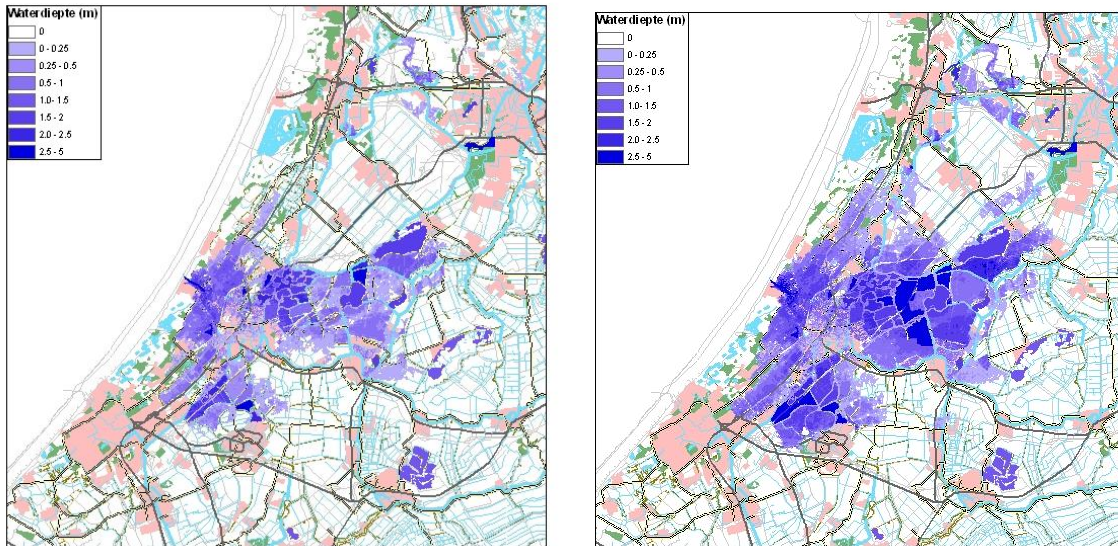
Bij een doorbraak te Kralingen nemen de gevolgen het meeste toe. Dit komt doordat daar de overstroming bij de huidige zeespiegelstand en maatgevende waterstanden beperkt blijft tot een klein gebied dat ruimtelijk begrensd wordt door een dijk, terwijl bij de hogere waterstanden de compartimenteringsdijk overloopt en een veel groter gebied onderloopt. Het oppervlak stedelijk gebied dat overstromd raakt wordt belangrijk groter.

Tabel 4.1 Resultaten van de verkennde sommen voor dijkkring 14

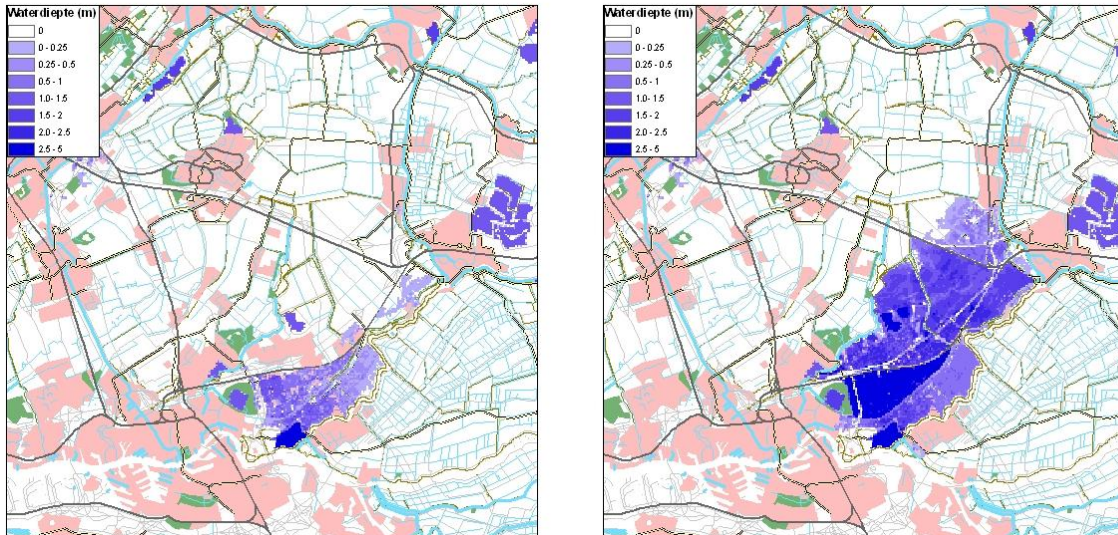
Locatie	Ter Heijde			Katwijk			Kralingen		
	+0	+1,3 m	Vershil	+0	+1,3 m	Vershil	+0	+1,3 m	Vershil
Max bresdebiet (m ³ /s)	1300	2600	2,0	1716	2180	1,3	630	1330	2,1
Bresdebiet vloed (m ³ /s)	12	400	33,3	400	745	1,9	160	350	2,2
Bresdebiet eb (m ³ /s)	-4	-40	10,0	-150	-150	1,0	-100	-150	1,5
Eindbreedte (m)	95	132	1,4	47	53	1,1	49	75	1,5
Schade (miljard euro)	4,9	10,6	2,2	3,2	8,2	2,6	2,9	10,6	3,7
Slachtoffers	359	1119	3,1	283	1079	3,8	2600	12097	4,7



Figuur 4.1 Het verschil in overstromd areaal en waterdiepte na een doorbraak bij Ter Heijde bij maatgevende condities in de huidige situatie en bij een 1,3 m hogere zeespiegel (let op: schalen verschillen)



Figuur 4.2 Het verschil in overstroomd areaal en waterdiepte na een doorbraak bij Katwijk bij maatgevende condities in de huidige situatie en bij een 1,3 m hogere zeespiegel (let op: schalen verschillen)



Figuur 4.3 Het verschil in waterdiepte door een doorbraak bij Kralingen bij maatgevende condities in de huidige situatie en na een zeespiegelstijging van 1,3 m.

Zwaardere storm en doorbraak bij Katwijk (uit VNK2)

Om te kijken hoe de schade kan toenemen wanneer alleen hogere stormvloedstanden optreden, maar de zeestand zelf gelijk blijft zijn VNK2-resultaten voor Katwijk bekeken. In VNK2 zijn namelijk berekeningen gedaan voor waterstanden die 1, respectievelijk 2 decimeringswaarden hoger zijn dan de maatgevende. Dat komt voor Katwijk overeen met uiterst zeldzame stormen (kans 1/ 100.000 en 1/1.000.000 per jaar) bij de huidige zeestand.

Bij Katwijk neemt de schade bij een verhoging van het toetspeil met 1 decimeringshoogte toe met een factor 1,1 en bij een verhoging met twee decimeringshoogtes met een factor 1,5. (De decimeringshoogte daar is ongeveer 90 cm).

Bij een altijd hogere zeestand door klimaatverandering is hierboven een schadetoename met factor 2,6 gevonden voor Katwijk. Ondanks de grote verschillen in de simulaties is wel duidelijk dat de effecten van klimaatverandering (hierboven besproken) groter zijn dan die van alleen een zwaardere storm (VNK2), want bij een hogere zeestand zijn ook de eb- en vloedstanden na de storm hoger. Die leiden tot een grotere instroom en een geringere uitstroom na de stormvloed (bij 'gewoon' hoog- en laagwater).

Berekeningen rond de Westerschelde

In het kader van FLOODsite zijn berekeningen uitgevoerd om het effect van klimaatverandering op overstromingsrisico's te bepalen voor de dijkringen langs de Westerschelde. De Bruijn *et al.* (2008) vonden daar bij gelijke overstromingskansen een toename van het risico door uitsluitend hogere waterstanden met een factor 2,3 bij een zeespiegelstijging van 85 cm (van 0,53 Miljoen euro per jaar naar 1,2 miljoen euro per jaar). Lineair extrapolerend naar een zeespiegel die 1,3 m hoger zou zijn (cf. Deltacommissie, 2008) zou dit een toename betekenen met een factor 3,5.

Ook is gekeken naar de toename in slachtofferrisico's. Door de toename in het slachtofferrisico berekend door De Bruijn *et al.* (2008) te delen door de veranderde bevolkingsomvang die daarin is meegenomen kan de toename ten gevolge van uitsluitend de hogere zeestand bepaald worden. Deze is een factor 4,3 gemiddeld voor de gehele Westerschelde bij een zeespiegelstijging van 1,3 m.

Overzicht en extrapolatie naar alle dijkringen in het benedenrivierengebied en langs de kust?

Hieronder wordt de berekende schade- en slachtoffertoename als gevolg van grotere blootstelling door hogere buitenwaterstanden in Tabel 4.2 samengevat voor die gebieden waarvoor simulaties zijn uitgevoerd.

Tabel 4.2 Overzicht van de toenamefactoren voor schade en slachtoffers bij doorbraken op verschillende locaties bij een zeespiegel die 1,3 m hoger is dan de huidige

Locatie	Toename schade	Toename slachtoffers
Ter Heijde	2,2	3,1
Katwijk	2,6	3,8
Kralingen	3,7	4,7
Westerschelde	3,5	4,3

Op basis van deze verkennende berekeningen wordt voorgesteld om voor een zeespiegelstijging van 1,3 m uit te gaan van een factor 3 tot 5 voor de schadetoename in die dijkringen in het benedenrivierengebied en langs de kust waar niet alleen de diepte, maar ook het overstromd oppervlak kan toenemen. Dat zijn de grotere en/of 'gecompartimenteerde' dijkringen.

Bij deze factoren wordt ten eerste aangetekend dat de vier KNMI scenario's een zeespiegelstijging aangeven tussen 30 (ondergrens G en G+) en 85 cm (bovengrens W en W+) voor 2100. Ten tweede wordt opgemerkt dat een gemiddelde economische groei van 2,3 % gedurende een eeuw een schadetoename met een factor 10 betekent (Klijn *et al.*, 2007).

4.3.2 Meren

De waterdiepte bij overstroming van IJsselmeerpolders is vooral afhankelijk van het peil in het IJsselmeer. Het gaat immers om communicerende vaten en een beperkte hoeveelheid water in het meer. Een hoger peil in het IJsselmeer als reactie op zeespiegelstijging zal dus gevolgen hebben voor de waterdieptes bij overstroming van de polders.

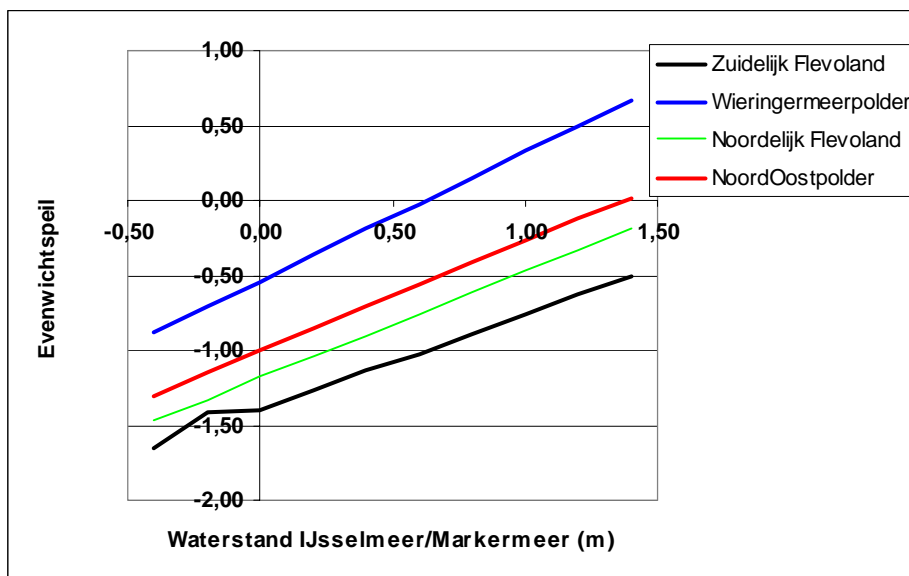
Aan de oostzijde van het IJsselmeer worden de maatgevende omstandigheden – en een eventuele dijkdoorbraak dus eveneens – veroorzaakt door storm. Desalniettemin is de eindwaterdiepte in de overstromde polder afhankelijk van het meerpeil en niet van de waterstand door stormopzet. De storm zet het water in het meer immers alleen tijdelijk scheef. Maar het is de hoeveelheid beschikbaar water die uiteindelijk de eindwaterdiepte in de overstromde polders bepaalt.

Aan de westzijde van het IJsselmeer worden de maatgevende condities bepaald door hoge IJsselmeerpeilen zelf. Storm speelt een ondergeschikte rol. Het huidige toetspeil (1/10.000 per jaar) ligt daar op 1,0 m (Wieringen) en + 1,1 m (Noord-Holland) voor het IJsselmeer en op + 0,7 m voor het Markermeer.¹⁰ Dergelijke hoge IJsselmeerpeilen kunnen optreden na een lange extreem natte periode, waarbij de IJsselafvoer, de toevoer vanuit andere waterlopen en de toevoer vanuit de polders hoog zijn. Dat het IJsselmeer inderdaad lang een hoog peil kan hebben bleek in 1998 toen de waterstand in het IJsselmeer zo'n twee weken boven de + 0,4 m stond. Het streefpeil lag op dat moment op - 0,4 m. De hoge waterpeilen die maatgevend zijn voor de westzijde duren langer dan de door stormopzet veroorzaakte hoge waterstanden aan de oostzijde en zijn dus bepalend voor de schade die zal ontstaan. Overigens moet worden opgemerkt dat de dijken aan de westzijde van het IJsselmeer allemaal veel hoger zijn dan het toetspeil, omdat ze stammen uit de tijd van de Zuiderzee.

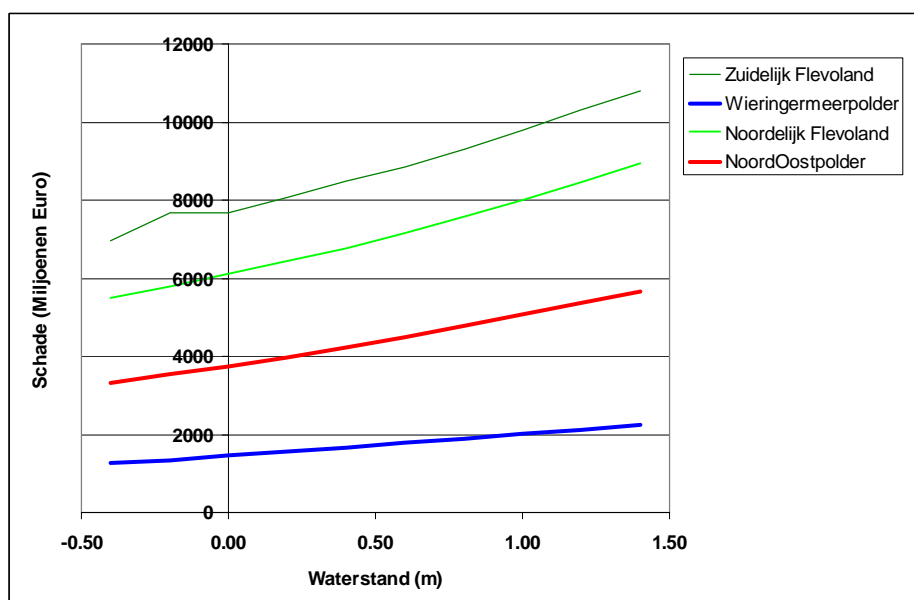
Bij een doorbraak langs het IJsselmeer zal een deel van het water uit het meer de polder inlopen tot het peil in het IJsselmeer gelijk is geworden aan dat in de polder. De polder en het meer gedragen zich daarbij min of meer als communicerende vaten. De te verwachten overstromingsdiepte in de polders bij een hoger IJsselmeerpeil is daardoor eenvoudig te berekenen en loopt lineair op met hogere meerpeilen (Figuur 4.4).

Met het Standaard Schade en Slachtoffermodel uit HIS (Kok *et al.*, 2005) is vervolgens inzicht verkregen in de schade en het potentieel aantal slachtoffers bij verschillende IJsselmeerpeilen. Deze lopen niet lineair op omdat de gebieden verschillende bodemhoogtes kennen, het landgebruik in de ruimte varieert, de schadefuncties niet lineair zijn, en de bevolking niet gelijkmatig verdeeld is, maar geconcentreerd in steden en dorpen. De resultaten voor de grote IJsselmeerpolders zijn weergegeven in Figuur 4.5 en Figuur 4.6.

¹⁰ Ter vergelijking, aan de oostzijde variëren de toetspeilen van de dijkvakken tussen de 1,6 en 3,4 m voor een kans van 1/4000 per jaar i.p.v. 1/10.000 per jaar.

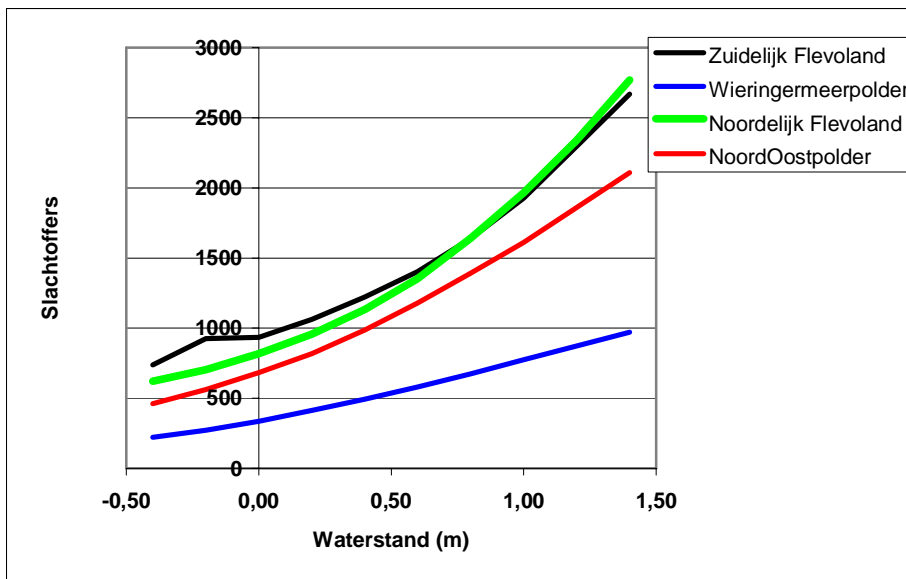


Figuur 4.4 Evenwichtswaterpeil dat ontstaat bij overstrooming in zowel het meer als in de ondergelopen polder bij verschillende meerpeilen (voor Zuidelijk Flevoland het Markermeer, voor de overige gebieden het IJsselmeer)¹¹



Figuur 4.5 Verwachte schade bij verschillende IJsselmeerpeilen (voor Zuidelijk Flevoland is uitgegaan van overstrooming vanuit het Markermeer)

11. In de bodemhoogtebestanden van het Markermeer lijken onwaarschijnlijk veel cellen de waarde van 0 m +NAP te hebben. Dit verklaart de 'hobbel' in de lijn. De resultaten worden hierdoor enigszins beïnvloed..



Figuur 4.6 Slachtofferpotentieel bij verschillende IJsselmeerpeilen (voor Zuidelijk Flevoland is uitgegaan van het Markermeer) (Alleen 'lage slachtofferfunctie' is gebruikt)

De figuren laten zien dat de toename van het meerpeil resulteert in een vrijwel lineaire toename van het evenwichtspeil, de schade en het aantal slachtoffers. De resultaten zijn gebaseerd op een bakjesaanpak. De resultaten zijn vergeleken met schades die zijn berekend op basis van overstromings simulaties. De resultaten bij de huidige streefpeilen (-0.4) komen redelijk overeen met die van de huidige overstromingsberekeningen van dijkringen.

Tabel 4.3 geeft bij wijze van overzicht de toenamefactoren voor de schade en het potentieel aantal slachtoffers voor een meerpeil dat 1,2 m hoger staat dan het huidige.

Tabel 4.3 Resulterende toenames voor de IJsselmeerpolders bij een meerpeilstijging van 1.2m

Meerpeil	Zuidelijk Flevoland		Wieringermeerpolder		Oostelijk Flevoland		Noordoostpolder	
	Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst
Eindpeil	-1,66	-0,89	-0,88	0,15	-1,47	-0,61	-1,3	-0,41
Schade	6968	9303	1253	1888	5510	7582	3322	4783
Slachtoffers	739	1639	221	673	622	1641	462	1392
Dieptetoename	0,77		1,03		0,86		0,89	
Schadetoename	1,3		1,5		1,4		1,4	
Slachtoffertoename	2,2		3,0		2,6		3,0	

Voor de dijkringen langs het IJsselmeer kan dus gewerkt worden met een schadetoename van een factor 1,3 tot 1,5 voor een meerpeil dat 1,2 m hoger staat. De slachtoffertoename daarbij is een factor 2 a 3 (zonder rekening te houden met slachtoffertoename door grotere stijgsnelheid).

4.3.3 Bovenrivieren

Als rivierverruimende maatregelen zullen worden uitgevoerd, zullen de waterstanden bij een afvoertoeename van 16.000 tot 18.000 m³/s niet boven de huidige ontwerpwaterstanden uitkomen. De afvoergolf kan wel breder worden en dus langer duren. Indien in afwijking van het vigerend beleid uit kostenoverwegingen toch voor dijkverhoging zou worden gekozen kunnen de waterstanden wel hoger worden.

Voor Rijn en IJssel (dijkring 48) is door de provincie Gelderland bepaald wat het effect van een bredere afvoergolf op de te verwachten schade is. De golfbreedte is daarbij sterk vergroot. Een bredere golf gaf daar een schadetoename van 3-11 % voor de doorbraaklocaties Spijk, Loo en Giesbeek. Het aantal getroffen en nam toe met 0-3 %.

Voor de Betuwe is in het kader van de compartimenteringsstudie onderzocht wat een grotere bres, een eerder ontstane dijkbreuk en een andere afvoergolf betekenen voor het overstromingsverloop en de resulterende schades en slachtoffers (Ter Maat & Klijn, 2008). Ook in dit geval bleken de verschillen klein, namelijk slechts 3- 5%, omdat de dijkring in vrijwel alle gevallen toch al geheel gevuld raakte.

Gezien de kleine toename in gevolgen bij een grote toename in de golfbreedte en de onzekerheden in golfvormen wordt hier aangenomen dat rivierafvoertoeenames tot 18.000 m³/s bij rivierverruiming verwaarloosbare effecten op de overstromingspatronen zullen hebben. Daarbij wordt aangetekend dat de kans op cascadowerking toeneemt, omdat dijkringen aan de benedenstroomse zijde kunnen gaan overlopen voordat de instroom is gestopt (vergelijk Ter Maat & Klijn, 2008).

4.3.4 Extrapolatie naar schadetoename alle dijkkringgebieden

Op basis van deze indicatieve analyses is voor alle dijkringen een factor voor schadetoename afgeleid. Dat is gebeurd in twee stappen: eerst dieptetoename en daarna eventuele correctie voor areaaltoename.

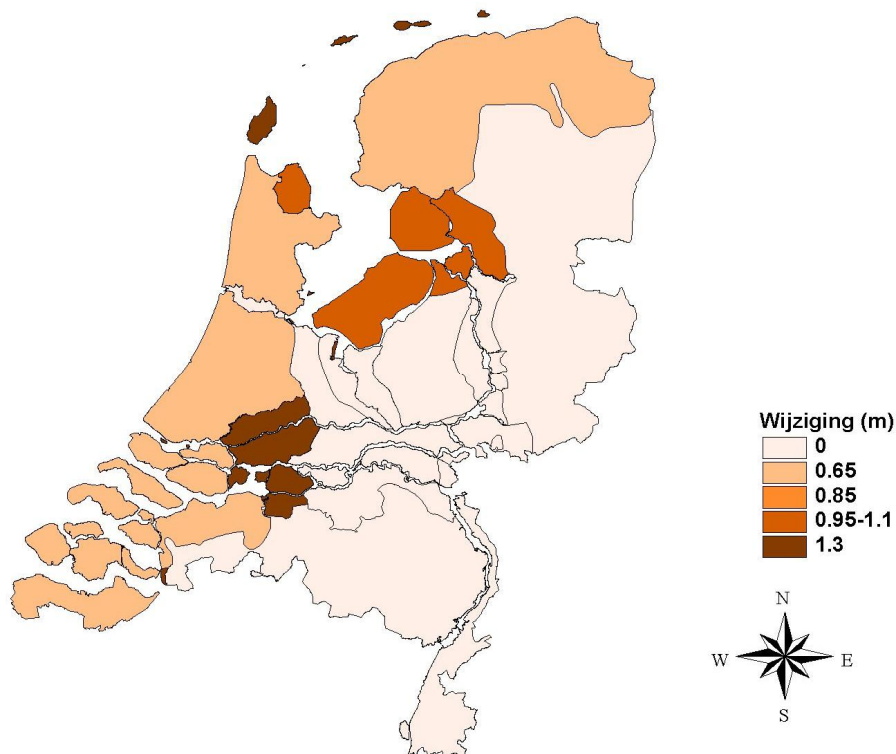
Voor de dieptetoename is gebruik gemaakt van de provinciale waterdieptekaart (die is gebaseerd op simulaties van overstromingen bij de huidige zeespiegel en maatgevende omstandigheden), waarop de dieptes zijn aangepast voor een zeespiegelstand die 1,3 m hoger is dan nu. De waterdieptes in de verschillende dijkringen zijn vergroot met – al naar gelang de gebiedseigenschappen – waarden zoals gespecificeerd in Tabel 4.4 en geografisch weergegeven in Figuur 4.7. Deze kaart geeft een indruk van het effect van zeespiegelstijging op de toename van de waterdiepte in alle dijkringen in Nederland.

Voor de huidige provinciale waterdieptekaart en de waterdieptekaart bij hogere zeestand zijn schades en slachtofferaantallen per dijkkring bepaald met het HIS-SSM. Dit levert de toename in schades en slachtoffers door uitsluitend de grotere waterdiepte. Voor grote en/of 'gecompartimenteerde' dijkkringen waar ook het overstromd oppervlak zal toenemen is vervolgens nog een correctiefactor van 2 toegepast. Dit levert de totale te verwachten schadetoename door grotere blootstelling bij hogere zeestand en hoger meerpeil: tabel 2.5.

De resultaten laten zien dat de toenames in schade allemaal liggen tussen de 1 en 3. Dit komt qua orde van grootte goed overeen met de verkenningen.

Tabel 4.4 Waterdieptetoename ten opzichte van de provinciale risicokaart voor zeespiegel die 1,3 m hoger is dan de huidige

Groep	Dijkringen	Waterdiepteverandering (m)
Grote dijkringen kust en gecompartmenteerde dijkringen waarvan nu een slechts een deel onderloopt	6, 13, 14, 17, 20, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34	+ 0,65
Kleine dijkringen die nu al geheel onder lopen: kust/ benedenrivieren/ IJsselmeer	1-5, 18, 19, 22, 46	+ 1,3
Benedenrivieren	15, 16, 24, 35	+ 1,3
Bovenrivieren	36 t/m 53 (behalve 46)	0
Markermeer oost	8 (zuidelijk)	+ 0,8
IJsselmeer oost	8 (noordelijk)	+ 0,95
IJsselmeer west	12	+ 1,1
IJsseldelta	9, 10 en 11	+ 1,0



Figuur 4.7 Schatting van de gemiddelde toename van de waterdiepte in het overstroomde gebied bij een zeespiegel die 1,3 m hoger is dan de huidige

Tabel 4.5 Schadetoe name (factor) door grotere waterdiepte en eventueel groter overstroomd areaal bij 1,3 m hogere zeestand

DIJkringnr	Schadetoe name door diepte (factor)	Correctie voor toename areaal (factor)	Totale toename (factor)
1	1,56	1	1,6
2	1,51	1	1,5
3	1,53	1	1,5
4	1,71	1	1,7
5	1,52	1	1,5
6	1,73	2	3,5
7	1,41	1	1,4
8	1,44	1	1,4
9	1,68	1	1,7
10	1,47	1	1,5
11	1,47	1	1,5
12	1,55	1	1,5
13	1,43	2	2,9
14	1,50	2	3,0
15	1,73	1	1,7
16	1,51	1	1,5
17	1,41	2	2,8
18	1,20	1	1,2
19	1,68	1	1,7
20	1,33	2	2,7
21	1,39	2	2,8
22	1,65	1	1,6
24	1,68	1	1,7
25	1,36	2	2,7
26	1,29	2	2,6
27	1,30	2	2,6
28	1,28	2	2,6
29	1,39	2	2,8
30	1,53	2	3,1
31	1,33	2	2,7
32	1,43	2	2,9
34	1,42	2	2,8
34-a	1,33	1	1,3
35	1,75	1	1,8
36	1,00	1	1,0
38	1,00	1	1,0
39	1,00	1	1,0
40	1,00	1	1,0
41	1,00	1	1,0
42	1,00	1	1,0
43	1,00	1	1,0

DIJKRINGNR	Schadetoename door diepte (factor)	Correctie voor toename areaal (factor)	Totale toename (factor)
44	1,00	1	1,0
45	1,00	1	1,0
46	2,42	1	2,4
47	1,00	1	1,0
48	1,00	1	1,0
49	1,00	1	1,0
50	1,00	1	1,0
51	1,00	1	1,0
52	1,00	1	1,0
53	1,00	1	1,0
nvt	1,42	1	1,4

4.3.5 Samenvatting

De schade door overstromingen kan met een factor 1- 3 toenemen door grotere blootstelling in termen van waterdiepten en overstroomd areaal als gevolg van klimaatverandering en zeespiegelstijging. De toename verschilt per gebied en hangt af van de eigenschappen van het gebied en de bron van het water (rivier, meer of zee). De toename is in het bovenrivierengebied het kleinst – tot verwaarloosbaar – indien het rivierverruimingsbeleid wordt voortgezet.

De toename is daarentegen fors in die dijkringen waar het overstroomd oppervlak flink kan toenemen: dit zijn de grote en sterk gecompartmenteerde dijkringen, waaronder:

- Groningen & Friesland;
- Centraal-Holland;
- Noord-Holland;
- de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden en Zeeuws Vlaanderen.

Bij deze factoren wordt ten eerste aangetekend dat de vier KNMI scenario's een zeespiegelstijging aangeven tussen 30 (ondergrens G en G+) en 85 cm (bovengrens W en W+) voor 2100, en nog geen 1,3 m. Voor 2050 gaat het dan om 15 (ondergrens G en G+) en 50cm (bovengrens W en W+). Om daarvoor een grofstoffelijke indruk te verkrijgen kan eventueel lineair worden geïnterpoleerd. Dat leidt tot een schadetoename met een factor tussen de 1,0 en 1,7 maximaal.

Ten tweede wordt opgemerkt dat een gemiddelde economische groei van 2,3 % gedurende een eeuw een schadetoename met een factor 10 betekent (Klijn *et al.*, 2007). Bij 2% is dat een factor 7 in een eeuw. Dit is dus substantieel meer dan door klimaatverandering. Daar wordt hieronder op ingegaan.

4.4 Grotere kwetsbaarheid

De kwetsbaarheid van overstroombare gebieden kan in de tijd toenemen door bevolkingsgroei en economische groei. Bevolkingsgroei leidt tot meer getroffen en potentieel meer slachtoffers. Economische groei uit zich in een groter schade potentieel door waardevermeerdering van bestaande goederen en nieuwbouw en aanschaf van nieuwe goederen. Beide zijn in de studie Nederland Later al onder de loep genomen (Klijn *et al.*, 2007). De resultaten van die studie worden hier grotendeels nog van toepassing geacht; nieuwe berekeningen in het kader van VNK en WV21 zijn nog onvoldoende landsdekkend respectievelijk definitief om hier al als vervanging te kunnen dienen.

Voor Nederland Later zijn de scenario's voor bevolkingsontwikkeling en economische groei van de WLO studie en de projecties van het landgebruik door PBL gebruikt, zoals besproken in paragraaf 2.2. Daarmee zijn de verwachte schades berekend voor de situatie 2040. Gezien de momenteel vertraagde economische ontwikkeling achten we deze nu voldoende illustratief voor de waarschijnlijke situatie rond 2050.

4.4.1 Aantal inwoners, potentieel aantal slachtoffers

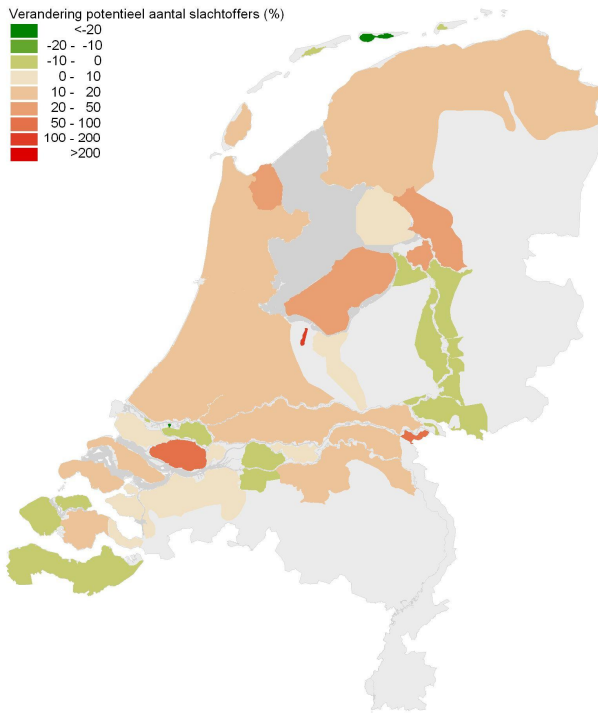
De invloed van de demografische ontwikkeling op het overstromingsrisico kan worden afgeleid uit de ontwikkeling van het aantal verwachte slachtoffers bij een overstroming tussen nu en 2050. Voor Nederland Later is dat per dijkkring gekwantificeerd in procenten (Figuur 4.8).

In sommige delen van het land treedt voor 2050 al enige krimp op, maar de meeste gebieden vertonen nog een geringe groei. Opvallende groeiers, waarvan is vastgesteld dat ze bij ongewijzigd waterkeringbeleid ook flink kunnen bijdragen aan het slachtofferrisico, zijn de Betuwe, de Alblasserwaard, de Hoekse Waard en Zuidelijk Flevoland.

Behalve door de bevolkingsomvang zal het verwachte aantal slachtoffers van een overstroming in een dijkkring kunnen veranderen door:

- de plaats en aard van nieuwbouw (woonhuizen en bedrijfspanden), in het bijzonder de ligging daarvan binnen de dijkkring;
- (verandering van) het gedrag van burgers en bedrijven bij een dreigende overstroming.

Voor Nederland Later zijn door Klijn *et al.* (2007) de verwachte aantallen slachtoffers geschat – met een bandbreedte – in de huidige situatie, 2020 en 2040. Die laatste aantallen achten we nu nog een bruikbare indicatie van de te verwachten aantallen in 2050, bij autonome groei en ongewijzigd ruimtelijk beleid. Met die getalswaarden wordt hier verder gerekend – onder verwijzing naar het betreffende rapport.



Figuur 4.8 Verandering van het verwachte aantal slachtoffers bij autonome ruimtelijke ontwikkeling (Transatlantic Market, huidig beleid), tussen nu en 2050 (naar Klijn *et al.*, 2007).

4.4.2 Veranderend landgebruik, nieuwbouw en economisch schadepotentieel

Door een overstroming kan economische schade ontstaan. Die bestaat uit directe schade en uit indirecte schade door bijv. uitval van bedrijven, zowel binnen als buiten het gebied. De potentiële schade in een gebied is dan ook allereerst een functie van het landgebruik en de hoeveelheid aanwezige goederen, bedrijven, e.d.

Voor ieder landgebruikstype is vastgesteld welke relatieve schade (fractie) ontstaat bij welke waterdiepte, terwijl met de waarde van landgebruiks- en bewoningstypen de absolute schade kan worden berekend.

Voor Nederland Later (Klijn *et al.*, 2007) zijn de landgebruikscenario's van PBL omgezet in een groei van de schade door nieuwbouw en een groei van de schade door waardevermeerdering van 'het bestaande'.

De procentuele groei van het schadepotentieel door *landgebruikverandering* is berekend met behulp van de 'damage scanner' van De Bruijn (zie Klijn *et al.*, 2007).

Op basis van die berekening geven we hier de verwachte gemiddelde schadetoename door landgebruikveranderingen tot 2050 (Tabel 4.6), maar wijzen erop dat de verschillen per dijkkring aanzienlijk zijn: Pernis en Schiermonnikoog zijn relatieve dalers (-7% en -2% in het *Transatlantic Market* scenario), terwijl gebieden waarin veel nieuw wordt gebouwd bovengemiddeld sterk stijgen, zoals de Betuwe (+33% in *Transatlantic Market*).

Tabel 4.6 Gemiddelde toename van het overstromingsschadepotentieel door landgebruikverandering in procenten ten opzichte van huidig voor geheel Nederland bij twee scenario's

Scenario	2050
Transatlantic Market	+ 22 %
Global Economy	+ 45 %

Daarbovenop komt de toename van het schadepotentieel door waardevermeerdering. Om dat te berekenen zijn de economische groeipercentages uit de WLO-scenario's en de percentages groei aan huishoudens, bedrijven en kantoren met elkaar verrekend. Dat geeft voor de beide scenario's *Transatlantic Market* en *Global Economy* de volgende groeipercentages (uit Klijn *et al.*, 2007, blz. 6-15) De economische groei in deze scenario's bedraagt respectievelijk 1,9 en 2,6 % per jaar. Voorzover economische groei (toename BBP) tot uiting komt in enerzijds nieuwbouw en anderzijds waardevermeerdering en toename van eigendommen en productie, kan het effect van die laatste berekend worden door de nieuwbouw af te trekken van de totale economische groei. De jaarlijkse waardevermeerdering wordt dan ongeveer 1,5 % in beide scenario's (zie Tabel 4.7), hetgeen tot een toename van het schadepotentieel leidt die significant groter is dan die door de nieuwbouw. De waardevermeerdering leidt tot een toename van het schadepotentieel tussen nu en 2050 met ca 74% bij *Transatlantic Market* respectievelijk met 89% bij *Global Economy*.

Tabel 4.7 Waardevermeerdering (in procenten per jaar) voor twee scenario's voor de periode 2010-2050

Scenario	Transatlantic Market	Global Economy
Jaarlijkse groei BBP (%)	1,9	2,6
Jaarlijkse nieuwbouw (%)	0,5	1,0
Jaarlijkse waardevermeerdering (%)	1,4	1,6

4.5 Overstromingsrisico's bij continueren huidig beleid

4.5.1 Slachtofferrisico

Slachtofferrisico's kunnen vanuit verschillende gezichtspunten worden beschouwd. Vanuit individueel gezichtspunt is het individueel plaatsgebonden risico relevant. Dit is in het kader van WV21 gedefinieerd als de kans op overlijden op een bepaalde plek, los van de vraag of daar überhaupt mensen wonen (vergelijk De Bruijn, 2008a; Pieterse *et al.*, 2009).

Daarnaast is het groepsrisico een maat, waaraan door de overheid in toenemende mate belang wordt toegekend, omdat grote aantallen slachtoffers als maatschappelijk onacceptabel worden beschouwd (Klijn & De Grave, 2008; Deltacommissie, 2008). Daarbij gaat het om de relatie tussen (grote) slachtofferaantallen en de kans daarop (Beckers *et al.*, 2008).

Tenslotte is het gemiddeld aantal slachtoffers per jaar een eenvoudige maat voor het slachtofferrisico. Dat kan worden weergegeven per gebied –een dijkkringgebied bijvoorbeeld – of voor het gehele land.

Individueel plaatsgebonden risico

Het individueel plaatsgebonden is een functie van de kans op een overstroming en van de blootstellingskarakteristieken stroomsnelheid, stijgsnelheid en eindwaterdiepte.

Bij continuering van het huidige waterkeringsbeleid zouden de overstromingskansen niet mogen stijgen. Het beleid is er immers op gericht dat iedere 5 jaar de hydraulische randvoorwaarden worden bijgesteld, en dat de waterkeringen daaraan worden getoetst en waar nodig versterkt. Dat betekent dat – nadat alle waterkeringen op orde zijn gebracht en Ruimte voor de rivier is uitgevoerd – het individueel plaatsgebonden risico niet toeneemt door grotere overstromingskansen.

Dat de blootstellingskarakteristieken kunnen veranderen door hogere buitenwaterstanden is besproken in paragraaf 4.3. Dat kan de plaatsgebonden risico's vergroten, vooral in de dijkringen die door de zeespiegelstijging worden beïnvloed. De stroomsnelheden en stijgsnelheid kunnen toenemen, en daarmee de kans op overlijden.

De toename van het individueel plaatsgebonden risico door grotere blootstelling is ongeveer evenredig aan de mate van zeespiegelstijging. Voor 2050 geven de KNMI-scenario's 15- 45 cm zeespiegelstijging. Dat leidt tot een risicotoenamen met factor 1,2 tot factor 1,7 langs de kust, de meren en in het benedenrivierengebied.

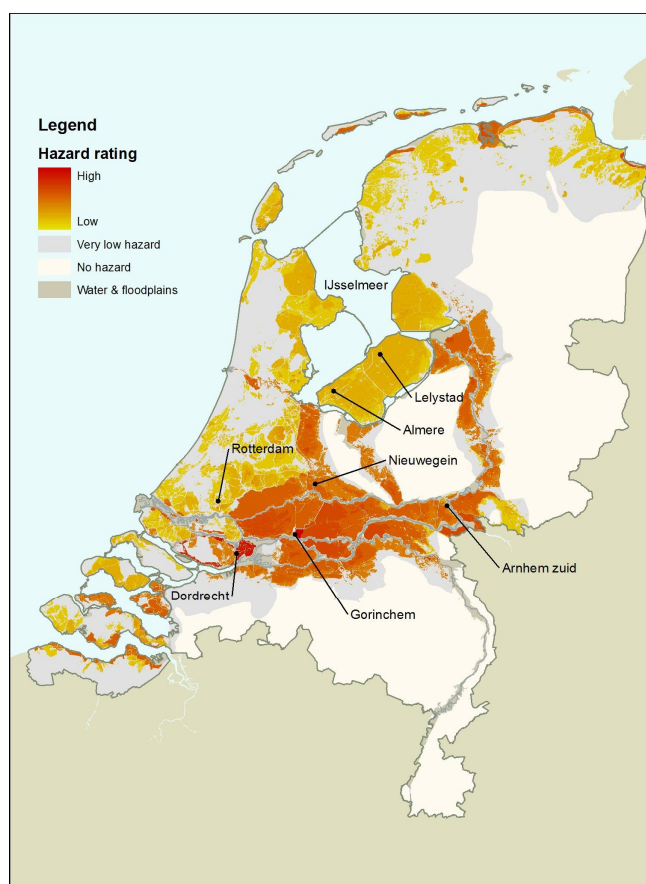
Verandering groepsrisico

Voor de ontwikkeling van het groepsrisico gelden dezelfde factoren als hierboven besproken: de overstromingskans die gelijk blijft en de blootstelling die iets toeneemt. Daarbij is echter het aantal mensen relevant en in het bijzonder de plaats waar die (zijn gaan) wonen. Nieuwe bevolkingsconcentraties op gevaarlijke plekken kunnen het groepsrisico doen toenemen.

Gevaarlijke plekken zijn locaties waar bij een overstroming het water snel komt (korte waarschuwingstijd), snel stijgt, diep wordt, en waarvandaan het lastig evacueren/ vluchten is (verg. De Bruijn & Klijn, 2009). Een indicatie van de mate van gevaar is gegeven in Figuur 4.9.

Bevolkingstoenames op gevaarlijke plekken zijn vooral te verwachten door grote stedelijke uitbreidingen. Waar de bevolkingsgroei in de meeste grote dijkringen net boven de 10 % ligt, zijn er enkele plekken waar het groepsrisico wel bovengemiddeld toeneemt (Figuur 4.8).

Dat is grotendeels verklaarbaar door de groei van steden als Almere, Arnhem en Nijmegen die de Betuwe inschuiven, Zwolle dat in polder Mastenbroek uitbreidt, agglomeratie Rotterdam die de Hoekse Waard in zou kunnen groeien, Oss en Den Bosch die naar het noorden groeien en het dichtslibben van de corridors langs de A15/Betuwelijn (Alblasserwaard, Tielerwaard) en A2 (Utrecht).



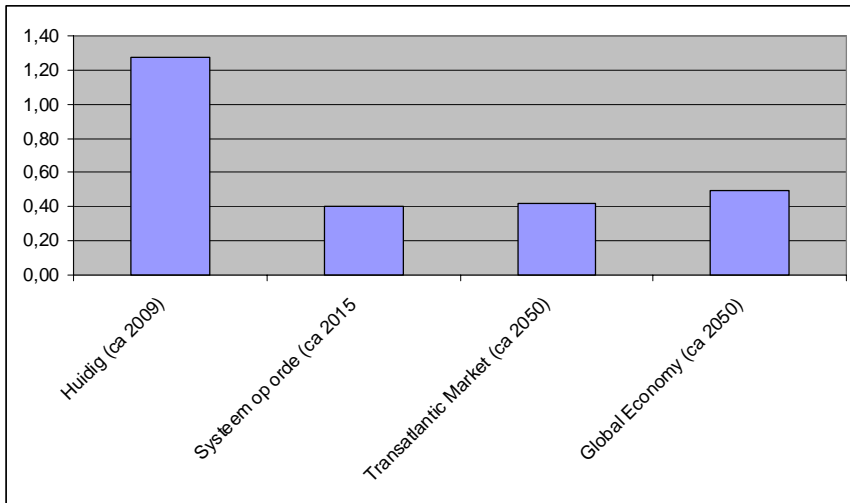
Figuur 4.9 Relatieve 'mate van overstromingsgevaar' in Nederland, als functie van overstromingskans en blootstellingskarakteristieken (De Bruijn & Klijn, 2009, naar een methode van De Bruijn, 2007)

Slachtofferrisico algemeen

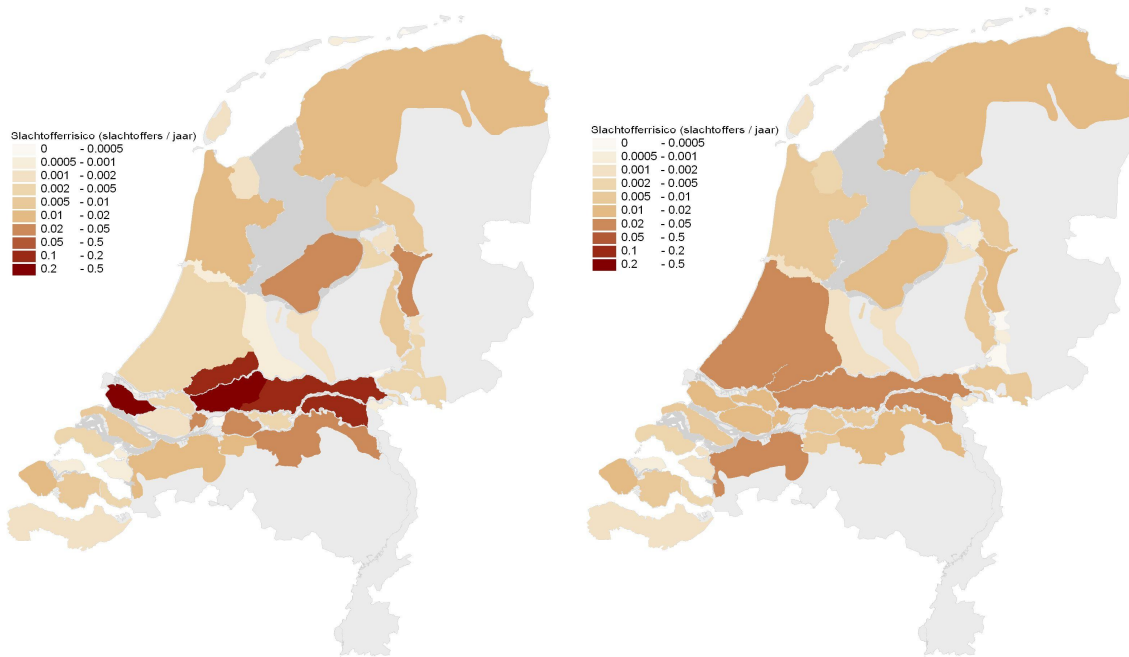
Sedert 1950 is de kans op een overstroming zo sterk verkleind dat het slachtofferrisico sterk is teruggelopen. Tussen nu en ca 2015 a 2020 neemt het slachtofferrisico nog verder af, met een factor 3, doordat de waterkeringen verder op orde worden gebracht, zwakke schakels worden aangepakt en doordat de rivieren worden verruimd.

De verandering van het gemiddeld slachtofferrisico voor geheel Nederland nadien hangt – bij ongewijzigd beleid – af van de demografische veranderingen; en die verschillen per bevolkingsscenario (Figuur 4.10).

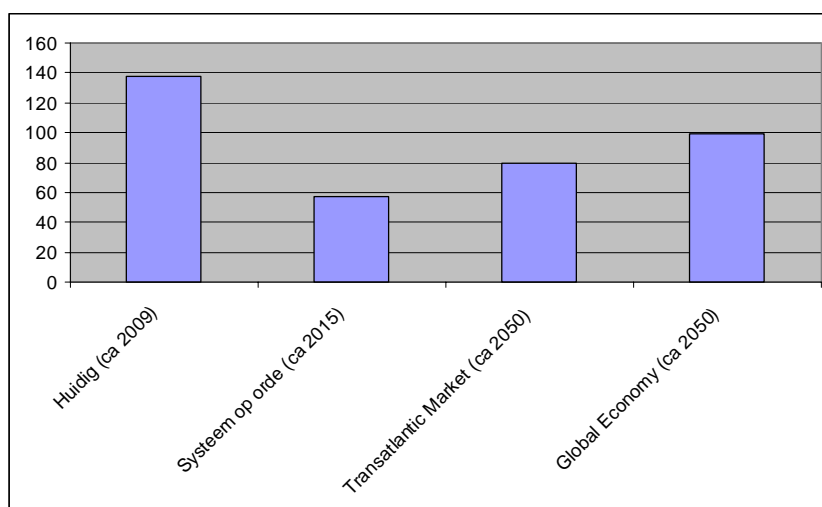
Bij scenario Transatlantic Market is het effect klein, omdat de bevolking nauwelijks meer groeit en de verdere concentratie in de Randstad ook langzaam gaat. Het gemiddeld slachtofferrisico groeit tot 2050 met minder dan 2 %. Bij scenario Global Economy groeit het gemiddeld slachtofferrisico met bijna 20%, omdat de bevolking dan wel groeit en vooral in het westen.



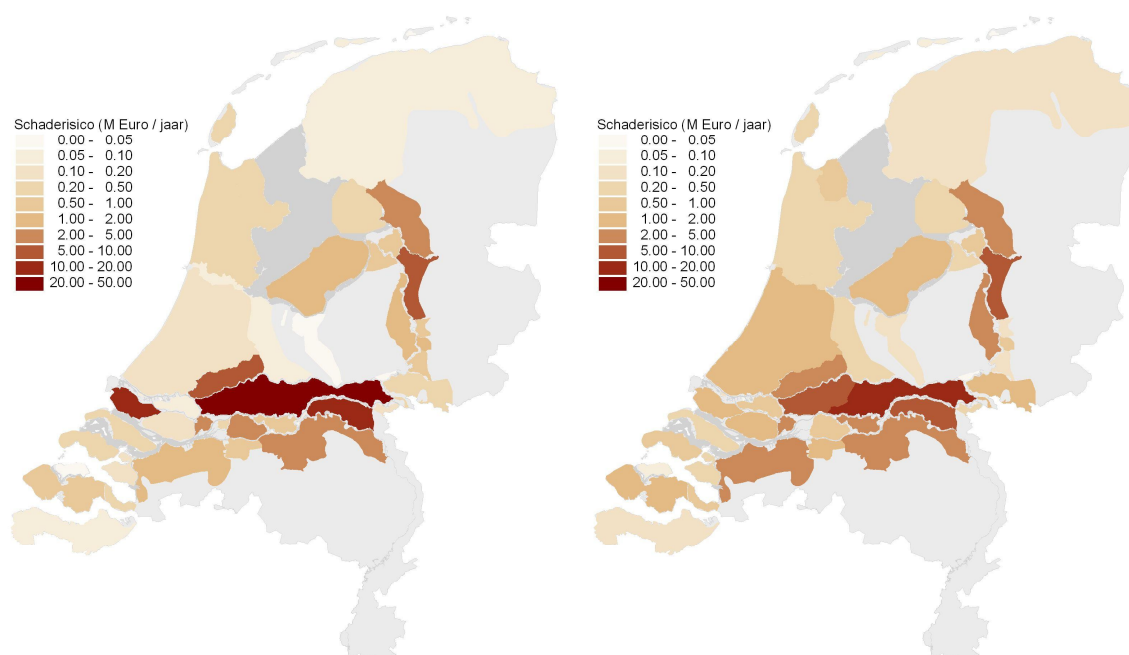
Figuur 4.10 *Indicatieve verandering van het slachtofferrisico (gemiddeld aantal slachtoffers per jaar) en de groei daarvan bij twee verschillende demografische scenario's (zie tekst voor verklaring)*



Figuur 4.11 *Ruimtelijke verdeling van het slachtofferrisico over Nederland, als functie van kans en gevolg, in de huidige situatie (ca 2009) en de toekomstige (ca 2050 bij scenario Transatlantic Market) bij huidig beleid (zie tekst voor verklaring)*



Figuur 4.12 *Indicatieve verandering van het economisch schaderisico (gemiddelde jaarlijkse schade in miljoenen euro's) en de invloed daarop van verschillende economische groeiscenario's (zie tekst voor verklaring)*



Figuur 4.13 *Ruimtelijke verdeling van het schaderisico (miljoenen euro's/jaar) over Nederland, als functie van kans en gevolg, in de huidige situatie (ca 2009) en de toekomstige (ca 2050 bij scenario Transatlantic Market) bij huidig beleid (zie tekst voor verklaring)*

4.5.2 Verandering economisch risico: oorzaken

Ook voor het economisch risico geldt dat dit de eerstkomende jaren nog kleiner wordt door de kleinere overstromingskansen (Klijn *et al.*, 2007).

Continuering van het huidige waterkeringsbeleid betekent dat de overstromingskansen daarna in principe gelijk blijven. In de praktijk is echter sprake van een zaagtandeffect dat verschilt van plaats tot plaats: geleidelijk groter wordende kansen door klimaatverandering en sprongsgewijze verkleining door dijkverhoging en/of rivierverruiming in discrete stappen (zie Eijgenraam, 2006; Kind, 2009).

De invloed van hogere buitenwaterstanden op de blootstellingskarakteristieken is besproken in paragraaf 4.3. Dat leidt tot grotere economische (schade)risico's, vooral in de dijkringen die door de zeespiegelstijging worden beïnvloed: tot factor 2 a 3 bij een zeespiegelstijging van 1,3 m. Voor 2050 geven de KNMI-scenario's echter slechts 15- 45 cm zeespiegelstijging. Dat leidt tot een toename van het schaderisico met een van dijkkring tot dijkkring verschillende factor tussen 1,2 en 1,7 langs de kust, de meren en in het benedenrivierengebied.

Continuering van het huidige ruimtelijke ordeningsbeleid betekent dat uitbreiding van bebouwing kan plaatsvinden, waar nodig en toegestaan. In paragraaf 4.4.2 is al aangegeven dat de bijdrage daarvan verschilt per scenario. Daar bovenop komt de waardevermeerdering van alle bestaande grondgebruik. Deze toename van de kwetsbaarheid bepaalt voor het grootste deel de toename van het economisch risico, vanaf het moment dat de waterkeringen op orde zijn. Afhankelijk van het scenario neemt het economisch risico tussen ca 2015 en 2050 geleidelijk toe, in scenario Transatlantic Market met bijna 40% en in het hoge groeiszenario Global Economy met meer dan 70 % tussen 2015 en 2050 (Figuur 4.12).

4.6 Reflectie op continueren huidig beleid

Bij de vraag of en hoelang het huidig beleid voor de beheersing van overstromingsrisico's nog adequaat is, kan onderscheid worden gemaakt in de volgende vragen:

- Kan het beleid technisch en financieel worden volgehouden, gegeven de klimaatverandering?
- Wegen de voordelen van de huidige beleidsstrategie op tegen de nadelen, c.q. zijn andere strategieën niet beter, want bijv. efficiënter, of duurzamer, of ...?

De eerste vraag is al geadresseerd in hoofdstuk 3, dat is gebaseerd op de 'knikpuntenstudie(s)' (zie Kwadijk *et al.*, 2008; Passchier *et al.*, 2009).

De tweede vraag vergt een bredere afweging van alternatieve strategieën voor de beheersing van overstromingsrisico's, waarbij voortzetting van de huidige strategie wordt vergeleken met een eventuele transitie naar een alternatieve strategie. Zo'n benadering is al eens gevolgd voor Nederland Later (Klijn *et al.*, 2007) en voor de Westerschelde in FLOODsite (De Bruijn *et al.*, 2008). Op die lijn gaan we voort in hoofdstuk 5. Daaraan voorafgaand een korte reflectie op de bevindingen in dit hoofdstuk.

De overstromingskansen zijn sedert 1950 allengs afgenomen en nemen in de komende jaren nog verder af door de uitvoering van maatregelen waartoe reeds is besloten: aanpak van de zwakke schakels aan de kust, rivierverruiming en dijkversterkingen waar nodig.

Doordat de kansen sterker zijn verkleind dan de kwetsbaarheid door bevolkingsgroei en economische groei is toegenomen, zullen de overstromingsrisico's rond 2015-2020 naar verwachting kleiner zijn dan ooit tevoren.

De overstromingsrisico's zijn niet overal in Nederland even gering. Er is nog steeds sprake van 'gevaarlijk grote dijkkringgebieden', waar een overstroming tot grote schade en/of grote aantallen slachtoffers kan leiden (vergelijk Klijn & De Grave, 2008; Figuur 4.11 en Figuur 4.13), en er zijn relatief risicovolle plekken, waar een dijkbreuk tot grote aantallen slachtoffers zou kunnen leiden. De commissie Veerman ziet daarin aanleiding te pleiten voor substantiële verkleining van het risico in alle dijkringen (Deltacommissie, 2008). Maar er is ook iets te zeggen voor nadere compartimentering (Asselman *et al.*, 2008), differentiatie van beschermingsnormen (Van der Most *et al.*, 2006) en/of doorbraakvrije dijkvakken voor bevolkingsconcentraties (De Bruijn & Klijn, 2009).

De verdere ontwikkeling van de overstromingsrisico's in de eerste helft van deze eeuw wordt bij huidig beleid bepaald door twee factoren: 1) grotere blootstelling door stijgende waterstanden als gevolg van klimaatverandering en 2) grotere kwetsbaarheid door demografische en economische ontwikkelingen.

Voor het slachtofferrisico kan de klimaatverandering in sommige dijkringen de belangrijkste oorzaak zijn, omdat grotere gebieden kunnen onderlopen en het dieper kan worden, terwijl de bevolking nauwelijks groeit. Maar die invloed is in het huidige beleid beperkt tot het kustgebied; langs de rivieren wordt met rivierverruiming waterstandstijging voorkomen. De bevolkingsgroei verschilt per scenario. Bij Global Economy levert deze een significante bijdrage aan de risicotename, mede door de trek naar de Randstad en het centrale rivierengebied (corridor Rijnmond-Ruhrgebied).

Voor het economisch schaderisico is bij huidig beleid de toename van de kwetsbaarheid een belangrijker factor voor de toename van het risico dan de klimaatverandering, of een minstens even belangrijke.

De toename van de blootstelling kan deels gepareerd worden door de bestaande 'gecompartimenteerdheid' van grote dijkringen door historische en regionale waterkeringen en overige lijnvormige infrastructuur aan te passen voor hogere waterstanden. Grotere waterdiepten kunnen zo niet worden voorkomen, maar toename van het overstromingsareaal mogelijk wel.

De toename van de kwetsbaarheid kan alleen worden voorkomen door gericht ruimtelijke-orderingsbeleid.

Het huidig beleid zet hoofdzakelijk in op het voorkomen van overstromingen met waterkeringsbeleid), en laat het beheersen van de blootstelling (bijvoorbeeld door compartimentering) of het verkleinen van de kwetsbaarheid (door ruimtelijk beleid) vrijwel geheel over aan lagere overheden (Nationaal Waterplan, 2010). Dat impliceert dat er geen rijksbeleid is om de toename van gevolgen van overstromingen te voorkomen.

5 Beheersen van overstromingsrisico's: maatregelen en strategische beleidsalternatieven

5.1 Soorten maatregelen en instrumenten

Er kunnen 3 'knoppen' worden onderscheiden, waarmee overstromingsrisico's kunnen worden beheerst, namelijk met maatregelen en beleidsinstrumenten (zie tekstkader):

- om de kans op een overstroming te verkleinen;
- om de blootstelling te verkleinen en;
- om de kwetsbaarheid te verkleinen.

Het verkleinen van de kans op een overstroming vergt meestal fysieke maatregelen, zoals dijken, dammen, stormvloedkeringen e.d. Dit wordt wel aangeduid als 'beschermen' (vergelijk het Nationaal Waterplan). Deze maatregelen zullen grotendeels door de water- en dijkbeheerders worden geïmplementeerd.

Blootstellingsverkleining vraagt ook fysieke maatregelen, maar op een kleinere schaal, namelijk door binnen dijkkringen te voorkomen dat het water zich verspreidt of erg diep wordt: compartimentering, ringdijken, geleidedijken, overlaten om de instroom te beperken, e.d.

Gebruikte begrippen (deels naar FLOODsite, 2009)

(Fysieke) maatregelen: fysiek ingrijpen in het milieu of het ruimtegebruik, bijv. met dijken, dammen, drijvende kassen.

Beleidsinstrumenten: wet- en regelgeving, financiële en communicatieve middelen om actoren/ derden te bewegen tot een bepaald gedrag/ handelen, bijv. door vergunningen, subsidies, heffingen, voorlichting. Ook wel aangeduid als 'babbel, worst, stok' naar de praktische volgorde waarin ze vaak worden ingezet.

Fysieke maatregelen kunnen zelden of nooit zonder beleidsinstrumenten worden geïmplementeerd (denk aan Waterwet, Beleidslijn Ruimte voor de Rivier, e.d.), het omgekeerde kan wel. De Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren geldt als een zeer geslaagd voorbeeld. We zien in de praktijk dat in het waterbeheer veel van fysieke maatregelen gebruik wordt gemaakt, terwijl dat in het RO-beleid nauwelijks het geval is: daar zijn wet- en regelgeving en medefinanciering gebruikelijke instrumenten.

Beleidsstrategieën: samenhangend geheel van maatregelen en beleidsinstrumenten, met een planning ten aanzien van hun implementatie, monitoring, evaluatie en evt. bijstelling.

Omdat in deze definitie een heel proces is vervat (incl. tijdspad en aanpassingen), is een term bedacht voor het eerste inhoudelijke deel, nl:

Strategisch beleidsalternatief: samenhangend geheel van (technische en ruimtelijke ordenings-) maatregelen en beleidsinstrumenten.

Bij kwetsbaarheidsverkleining gaat het om het verkleinen van de kwetsbaarheid van mensen en goederen (huizen, inboedels, e.d.) in geval van overstroming. Dat kan worden bereikt door planners, hulporganisaties en privépersonen te stimuleren tot actie met beleidsinstrumenten (zie tekstkader). Kwetsbaarheidsverkleining omvat bijvoorbeeld de verhoogde aanleg van nieuwbouwwijken, terpen, huizen op palen, e.d. En behalve 'anders' bouwen/aanleggen, is ook 'elders' bouwen/ aanleggen een vorm van kwetsbaarheidsverkleining, namelijk door van nieuwe ontwikkelingen te voorkomen dat ze blootgesteld zullen worden. Dat vraagt een gericht ruimtelijke-orderingsbeleid. Van hulporganisaties vraagt het goede voorbereiding en van individuele mensen dat ze de risico's kennen en bekend zijn met hun eigen handelingsperspectief.

Maatregelen en beleidsinstrumenten kunnen worden ingezet om risico's preventief te verkleinen, of curatief, als een overstroming dreigt en tijdens en na die overstroming.

Tabel 5.1 Voorbeelden van verschillendsoortige risicobeperkende maatregelen (naar Klijn & De Grave, 2008)

	Preventief	Curatief
Verminderen van kans	Aanleg en verhogen van dijken Verbreiden en verhogen van duinen Stormvloedkeringen Rivierverruiming Grote eenmalige zandsuppletie	Zandzakken en strobalen op dijken Zwakke plekken tijdelijk versterken Kleine frequente zandsuppleties
Beperken van gevolgen (blootstelling en kwetsbaarheid)	Aanleg compartimenteringsdijken Aanleg overstroombare dijken en andere maatregelen om overstromingen beter te kunnen controleren Beschermen cruciale infrastructuur Overstromingsbewust (aangepast) bouwen en inrichten van dijkringen	Evacuatie (horizontaal en verticaal) In veiligheid brengen van waardevolle goederen en andere schadebeperkende noodmaatregelen

5.1.1 Inperking beschouwde maatregelen

In deze studie worden niet alle mogelijke maatregelen en beleidsinstrumenten stuk voor stuk op hun mogelijke effectiviteit geanalyseerd. Ten eerste past dat niet bij de doelstelling van het onderzoek (naar beleidsstrategieën op nationale schaal), ten tweede is het praktisch onmogelijk. In plaats daarvan beperken we ons tot maatregelen met ruimtelijke implicaties en maken we gebruik van de in andere kaders opgedane kennis omtrent de effectiviteit van maatregelen en instrumenten. Concreet wil het zeggen dat we vooral aanpassing van water(kerings)systemen en ruimtelijke orderingsmaatregelen in beschouwing nemen. Dat zijn (variaties op) de maatregelen die in Tabel 5.1 in de kolom 'Preventief' staan, maar aangevuld met aannames over evacuatie.

Bij de beschrijving van strategische alternatieven is aangegeven welke maatregelen in welk alternatief zijn opgenomen.

Een uitzondering op het niet analyseren van de effectiviteit van afzonderlijke maatregelen maken we voor sleutelkeuzen betreffende het hoofdwatersysteem, en wel voor 2 deelgebieden waarvoor de Commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) zeer concrete voorzetsen heeft gegeven, namelijk:

- De bescherming van het Rijnmondgebied in relatie tot een open Nieuwe Waterweg.
- Het al dan niet opzetten van het waterpeil op het IJsselmeer.

En daarbij aansluitend verkennen we mogelijke keuzen over hoe om te gaan met hogere rivierafvoeren en specifiek met de afvoerverdeling over de Rijntakken, alsmede een eventueel afleiden van rivierafvoeren naar het zuidwesten.

We merken daarbij op dat deze maatregelen niet zozeer het beheersen van overstromingsrisico's centraal stellen, maar veeleer het beheersen van waterstanden; dat is slechts een tussenvariabele zonder eigen maatschappelijke betekenis. Ten tweede merken we op dat deze majeure ingrepen in de nationale waterhuishouding, naar de laatste inzichten, waarschijnlijk niet voor 2050 noodzakelijk zijn maar pas daarna. Daarom richten we de aandacht vooral op de vraag hoe keuzes hierover interfereren met keuzes voor strategische beleidsalternatieven voor overstromingsrisicobeheersing.

5.2 Strategische beleidsalternatieven voor 2050 en later

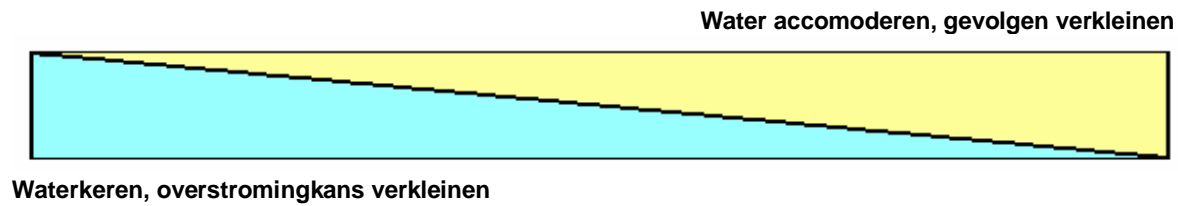
5.2.1 Van gidsprincipes naar alternatieven

Overstromingsrisicobeheersing is gericht op het zodanig verkleinen van de risico's voor mens en maatschappij dat de maatschappelijke kosten en baten in verhouding staan. Over dat achterliggende doel is weinig discussie, maar over het hoe dit te bereiken kunnen de meningen fors verschillen. Dit kan worden verkend, en aldus onderwerp van maatschappelijk debat worden gemaakt, door verschillende strategische beleidsalternatieven te onderzoeken.

In de strategische beleidsalternatieven moeten maatregelen en instrumenten op een logische manier worden gecombineerd. Het combineren van individuele maatregelen gaat het handigst als er eerst duidelijke gidsprincipes worden geformuleerd om verschillende alternatieven op te baseren. Bij gidsprincipes kunnen we denken aan 'tegenstellingen' zoals:

weerstand bieden	← →	meebewegen
weerstand	← →	veerkracht
kansen verkleinen	← →	gevolgen beperken
technische maatregelen (<i>structural</i>)	← →	'zachte' beleidsinstrumenten (<i>non-structural</i>)

Hier sluiten we aan bij de principes van het Nationaal Waterplan ("Meebewegen waar het kan, weerstand bieden waar het moet"), door een aantal alternatieve strategieën voor het omgaan met overstromingsrisico's te onderscheiden die een verschillende verhouding tussen weerstand en veerkracht kennen, terwijl ze alle het achterliggende doel van beheersing van overstromingsrisico's dienen.



Figuur 5.1 Strategische beleidsalternatieven kunnen worden samengesteld uit weerstandvergroten (links) en veerkrachtvergroten (rechts) maatregelen in verschillende verhoudingen

Voor de interpretatie van wat de begrippen meebewegen en weerstand bieden impliceren wordt aangesloten bij De Bruijn *et al.* (2008; zie ook Klijn *et al.*, 2007; De Bruijn, 2006). Die onderscheiden maatregelen die vooral bijdragen aan de *veerkracht*, zoals compartimentering, overlaatsystemen, en gevolgbeperking in het algemeen versus maatregelen die vooral de *weerstand* vergroten, zoals hogere en zwaardere dijken. De begrippen veerkracht en meebewegen horen in die zin bij elkaar, en roepen associaties op van overstromingen niet koste wat kost buiten houden, maar het aanpassen van het landgebruik, de wijze van bouwen, etc. aan af en toe water. Een (afsluitbaar) open Oosterschelde, Haringvliet en Nieuwe Waterweg horen daar ook bij. Weerstand roept veeleer de associatie op met dijkverzwaring, dammen en (Afsluit)dijken en een volledig gesloten kustfront met een op termijn afgesloten Nieuwe Waterweg.

5.2.2 Overzicht beleidsalternatieven

Met deze gidsprincipes zijn 5 alternatieven onderscheiden naast het 0-alternatief van continuering van het huidig beleid. De weerstandalternatieven bevinden zich in de linkerbovenhoek van onderstaand diagram (Tabel 5.2) en berusten vooral op het verkleinen van de overstromingskans door waterkeren. De alternatieven die meer vanuit veerkracht zijn ontwikkeld maken meer gebruik van gevolgbeperkende maatregelen, waaronder ruimtelijke ordeningsbeleid.

De belangrijkste strategische keuzen hebben hierbij dus betrekking op de verhouding tussen sturen op **overstromingskansen** door waterkeren en/of sturen op het verkleinen van de **blootstelling** en **gevolgen** door het beïnvloeden van het overstromingsverloop (bergen of geleid afvoeren van water; doorbraakvrije dijken) enerzijds en de ruimtelijke ontwikkeling (zoning, regelgeving, bouwvoorschriften of sturing op de plaats van ruimtelijke ontwikkelingen) anderzijds.

5.2.3 Toedeling maatregelen en instrumenten aan alternatieven

Ieder alternatief is opgebouwd uit een aantal fysieke maatregelen en bijbehorende beleidsinstrumenten. Alternatieven uit de linkerkolom kennen relatief veel kansverkleining door dijkverzwaring; alternatieven uit de rechterkolom gaan zoveel mogelijk uit van 'zachte' maatregelen in de sfeer van ruimtelijk ordening.

Uitgangspunt van de alternatieven 1 en 2 is dat het beperken van overstromingskansen door waterkeren – met dijken en duinen – ons in het verleden geen windeieren heeft gelegd. Waterkeren is een relatief goedkope, effectieve en bewezen techniek. Deze strategie legt binnendijs geen beperkingen op aan het ruimtegebruik. Met andere woorden: de ruimtelijke ontwikkeling kan zich vrij (autonoom) ontwikkelen, water volgt.

Tabel 5.2 Overzicht van de onderzochte strategische alternatieven voor de beheersing van overstromingsrisico's als combinatie van technische ingrepen en ruimtelijk beleid

Ruimtelijk beleid (non-structural)	Autonoom (huidig beleid)	Zonering en regelgeving	Gedifferentieerde groei	Geen uitbreiding Laag-Nederland
Waterbeleid/ techniek				
Brute kracht/ factor 10 (normaanpassing)	2 Beschermen 'brute kracht' ('Brute force')			
Extra beschermen als B/K > 1 (normaanpassing)	1 Beschermen 'met beleid' ('Protect')			
Huidig beleid (wettelijke toetsing 5-jaars cyclus)	0 Continuëren huidig beleid			5 Terugtrekken ('Retreat')
Huidig beleid + maatwerk (doorbraakvrije dijkvakken)		3 Technisch ontkoppelen ('Adapt upwards')		
Ruimte voor water (compartimenteren/ doorbraakvrije dijkvakken/ overlaten)			4 Leven met water ('Accomodate')	

Alternatief 1: Beschermen 'met beleid' ('Protect')

Alternatief 1 past bij een enigszins technocratische benadering van het veiligheidsvraagstuk met behulp van een financieel-economische kosten/baten-analyse (zoals CPB vaak uitvoert, vergelijk Eijgenraam, 2006). Dat betekent normaanpassing aan het *de factor* schadepotentieel. Het houdt in dat de beschermingsnormen voor waterkeringen worden verhoogd waar dat kosteneffectief is, en waar dat niet het geval is wordt het huidige beschermingsniveau gehandhaafd. Het wordt in de Nederlandse verhoudingen niet 'maatschappelijk haalbaar' geacht de beschermingsniveaus te laten dalen in dijkkringen die op grond van kosteneffectiviteit feitelijk 'te goed' beschermd zijn: het principe van verworven rechten en 'gelijkheid' prevaleert dan. Waar het beschermingsniveau wordt gehandhaafd moet soms worden meegegroeid met hogere waterstanden als klimaatverandering daartoe noopt.

Voor Nederland Later (Klijn et al., 2007) was al geïdentificeerd voor welke dijkkringen een verhoging van het beschermingsniveau rendabel zou zijn.

Het betrof een twaalfstal dijkkringen. Sedertdien is een diepergaande Kengetallen KBA uitgevoerd in het kader van WV21 (Kind et al., 2008), die dit beeld in grote lijnen bevestigde: de meeste dijkkringen kennen een voldoende beschermingsniveau; hogere beschermingsniveaus zijn economisch verantwoord in delen van het bovenrivierengebied en het benedenrivierengebied/ de Rijnmondregio (Kind 2008). Tegen deze achtergrond is het alternatief identiek gehouden aan het alternatief 'Beschermen' dat in Nederland later is geanalyseerd (Klijn et al., 2007).

Hier wordt in trefwoorden aangegeven wat het alternatief inhoudt:

- *Kust*: handhaven gesloten kustlijn, verkorten kustlijn als uitgangspunt (cf. Deltacommissie, 1960; waar nodig op lange termijn inkorten: evt. stormvloedkering Westerschelde bij Vlissingen).
- *Rivieren en meren*: generieke dijkverzwaring is het meest kosteneffectief. Er wordt een einde gemaakt aan het Ruimte voor de Rivierbeleid (ruimtelijke kwaliteit op kosten van de rijksoverheid), behalve waar grote *economic opportunities* bestaan en een zekere bereidheid tot investeren door lokale partijen.
- *Waterkeringen algemeen*: Veiligheidsniveaus geregeld herzien: norm naar boven aanpassen aan toenemende kwetsbaarheid via verhouding vermeden risico/kosten per dijkkring, maar slachtofferrisico meewegen; niet inboeten op huidig beschermingsniveau: norm mag niet dalen, alleen stijgen). Differentiatie in veiligheidsniveaus beperkt (ca. 5 klassen). Compartimenteren beperkt (vooral hot-spots) op basis van kosten/batenafweging alternatieven. Overdijken (extra hoge dijken) bij risicovolle plekken plekken (De Bruijn, 2007; De Bruijn & Klijn, 2009): bevolkingsconcentraties tijd voor evacuatie gunnen.
- *RO*: Wel watertoets, maar niet echt remmen in RO van Laag-Nederland.

Omdat hier geen gerichte ruimtelijke ordeningsmaatregelen worden getroffen ontwikkelt het landgebruik zich autonoom.

Alternatief 2: Beschermen 'Brute kracht

Dit alternatief wordt hier gegeven als een soort karikatuur van de aanbeveling van Veerman om het beschermingsniveau van alle dijkkringen met een factor 10 te verhogen. Deze aanbeveling is door de commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) gedaan naar aanleiding van enkele 'sigarendoosberekeningen' van het plaatsgebonden risico op overlijden, waarbij ten eerste de aanname over de overstromingskans en ten tweede die ten aanzien van evacuatiemogelijkheden de uitkomsten bepaalde. We lichten dit toe.

De commissie Veerman nam ten eerste aan dat de overstromingskans gelijk geacht mag worden aan de overschrijdingskans. Dat betekent voor Centraal-Holland nog wel 1: 10.000 per jaar, maar in het rivierengebied is het dan ca 1: 1000. Met 1% kans op verdrinking bij de getroffen en zou dat een plaatsgebonden risico van 10^{-5} opleveren.

In het licht van een richtinggevende 'norm' voor plaatsgebonden risico op overlijden zoals die in het externe veiligheidsbeleid gehanteerd wordt (10^{-6} , ofwel 1: 1.000.000), werd vervolgens geconcludeerd dat alle dijkkringen maar een factor 10 beter beschermd moeten worden. Het is duidelijk dat deze redenering wat snel tot een conclusie en aanbeveling heeft geleid, en dat ook voorbij wordt gegaan aan de vraag of met andere maatregelen niet eenzelfde mate van risicoreductie kan worden bereikt tegen lagere kosten.

In Nederland Later beredeneerden we een enige malen kleinere kans op overstroming dan op overschrijding (Klijn *et al.*, 2007) en latere nauwkeurige berekeningen voor WV21 (ongepubliceerd materiaal van E. van Velzen) lijken dat te bevestigen. Mits de waterkeringen op orde zijn en andere faalmechanismen dan overloop en overslag vrijwel kunnen worden uitgesloten¹²; en we gaan er vanuit dat dat voor 2015 (ons 'richtjaar') het geval is.

Ook zou men kunnen uitgaan van realistischer aannames betreffende evacuatiemogelijkheden. Ondanks grote onzekerheden wordt toch vrij algemeen aangenomen dat in het rivierengebied, waar men de hoogwatergolf dagen van tevoren kan zien aankomen, evacuatie effectief kan bijdragen aan het verkleinen van het aantal slachtoffers.

Intermezzo: Een andere sigarendoosberekening

In de Randstad is de kans op een overstroming kleiner dan 1/10.000. Uit onderzoek van Jonkman blijkt dat gemiddeld 1% van de achterblijvers overlijdt bij een overstroming. Dat levert voor de Randstad *gemiddeld* een plaatsgebonden risico op van 10^{-6} , ofwel één op een miljoen.

Voor het rivierengebied wees de Deltacommissie in 1960 al op de mogelijkheid tot tijdig evacueren, omdat een hoogwater zich aankondigt. In 1995 hebben we ook een succesvolle evacuatie meegemaakt. Als we uitgaan van maximaal 10% achterblijvers resulteert een gemiddeld plaatsgebonden risico kleiner dan $1/1000 * 0,10 * 0,01$ en dat is wederom 10^{-6} . Ook hier wordt de 'indicatieve norm' van 10^{-6} gehaald.

Omdat de commissie Veerman ook schreef '*... mag volgens de commissie alleen met een zeer deugdelijke onderbouwing leiden tot een lagere factor dan 10.*' (Deltacommissie, 2008; blz. 123) menen we deze karikatuur onder de aanduiding 'brute force' in deze verkenning te mogen opnemen, opdat we een indruk krijgen van de gevolgen in termen van resterende overstromingsrisico's en kosten die ervoor gemaakt moeten worden.

Het overstromingsrisico is makkelijk te bepalen, omdat de overstromingskans overal met een factor 10 wordt verkleind.

De toe te passen maatregelen zijn eenvoudig troef: Verzwaring van de waterkeringen met conventionele – bewezen – technieken, op een zodanige wijze dat de kans op overslag en overloop een factor 10 kleiner wordt en een overeenkomstige verzwaring van binnen- en buitentalud, zodat ook andere faalmechanismen een factor 10 kleiner worden. De noodzakelijke mate van verhoging verschilt van plaats tot plaats, met de ter plaatse geldende 'decimeringshoogte'¹³. Met het oog op klimaatverandering en zetting en om niet heel snel weer op dezelfde plaats te hoeven terugkeren zal een zekere overmaat aangehouden worden: in de praktijk zullen dijken met ca 0,5 tot 1,5 m verhoogd moeten worden.

12. Als dat niet het geval is kan de overstromingskans ook groter zijn dan de overschrijdingskans, , namelijk als 'piping' een grote kans van optreden heeft – ook bij lagere dan maatgevende waterstanden –, zoals berekend in VNK voor de huidige situatie.

13. De decimeringshoogte is de water- of dijkhoogte die de kans op overloop/overslag een factor 10 groter of kleiner doet worden. Deze varieert van zo'n 8-9 dm in het bovenrivierengebied tot slechts 2-3 decimeters in het benedenrivierengebied. Langs de kust is 8 dm een veel voorkomende waarde.

Alternatief 3: Technisch ontkoppelen ('Adapt upwards')

De idee achter technisch ontkoppelen is dat niet zozeer de kans op een overstroming wordt verkleind, als wel de **blootstelling** aan overstromingen wordt beperkt door (1) de instroom van water te beperken en (2) nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen van tevoren opgehoogde gronden te situeren.

Als er minder water instroomt komt het water langzamer (tijd voor evacuatie), komt het minder ver en wordt het minder diep. Om dat te realiseren zijn **doorbraakvrije dijken** nodig. De crux van dergelijke doorbraakvrije dijken is het voorkomen dat een bres in de dijk ontstaat. Aan dergelijke dijken is een verkennend onderzoek gewijd (Silva & Van Velzen, 2008), waaraan we hier vooral refereren. In 2010 krijgt dit vervolg.

Bij een doorbraakvrije dijk ontstaat geen bres als golven over de dijk slaan of als de dijk overloopt. Door wind kunnen wel golven over de dijk slaan die in het aangrenzende gebied wateroverlast en dus wat schade veroorzaken. Ook kan bij hogere waterstanden geleidelijk steeds meer water over de dijk lopen en krijgt het gebied steeds meer met overstroming in plaats van wateroverlast van doen. Daardoor neemt ook de schade geleidelijk toe. Het hangt dus vooral van de hoogte van de dijk(tafel) af hoeveel water over de dijk kan slaan/ lopen. Als de huidige dijken doorbraakvrij worden gemaakt zonder ze te verlagen zal de feitelijke 'overloopkans' een fractie zijn van de geldende overschrijdingsnorm, omdat de meeste dijken enige extra hoogte hebben in verband met golven en zetting van het dijklichaam (van 0,5 tot ruim 1 m). Dat komt overeen met ca een decimeringshoogte (factor 10 kleinere kans).

Dijken kunnen – en moeten soms – doorbraakvrij worden gemaakt met grond (flauwere taluds binnenzijde en eventueel buitenzijde, bermen), met bekleding (stenen buitentalud tegen golfaanval, bekleding binnentalud tegen erosie bij overslag) of met interne versterkingen (damwanden, dijkvernageling, mixed-in-place tegen instabiliteit en/of 'piping'). De precieze combinatie van technieken verschilt van plek tot plek, afhankelijk van de huidige waterkering, de ondergrond en de aard van de belasting. Voor details verwijzen we naar Silva & Van Velzen (2008).

Nu is het natuurlijk mogelijk alle dijken doorbraakvrij te maken, zoals is begroot in de quickscan (Silva & Van Velzen, 2008). Maar daarbij is ook gebleken dat doorbraakvrije dijken niet overall kosteneffectief zijn. In alternatief 3 gaan we daarom uit van een wat kosteneffectievere aanpak, op grond van de bevindingen van Silva & Van Velzen (2008) en in het bijzonder de kosteneffectiviteitanalyse van Kind (2008).

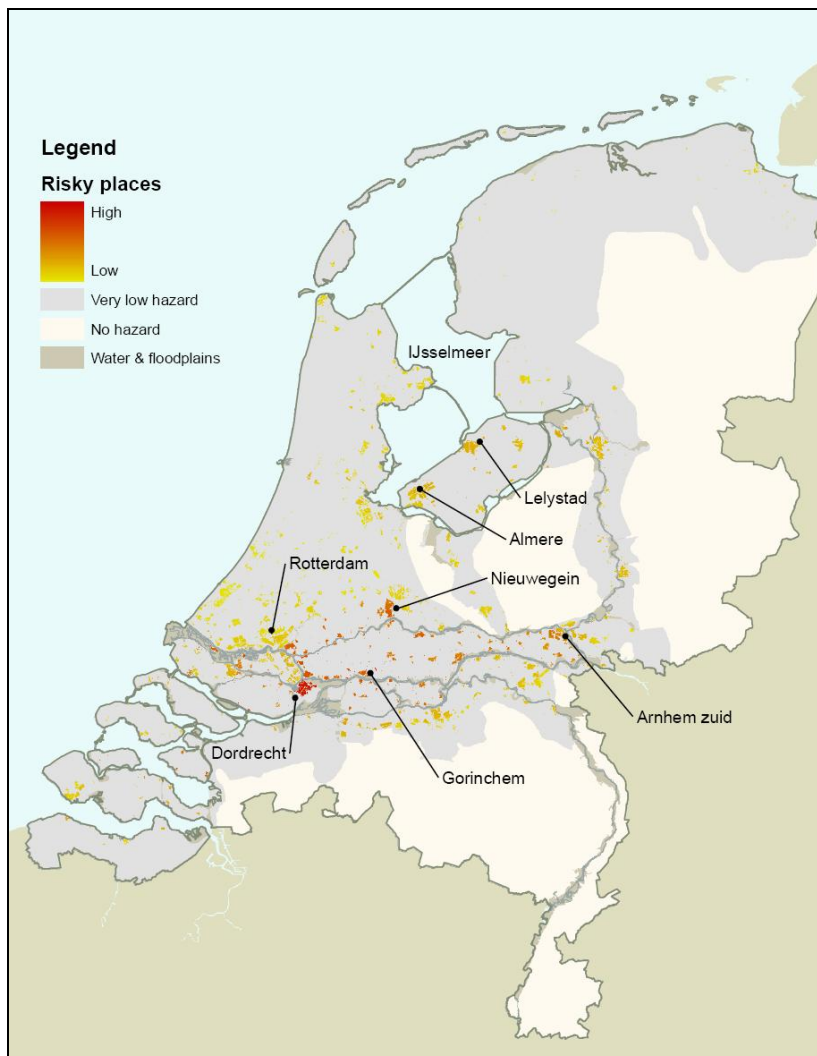
Kind heeft vastgesteld dat de maatregel vooral kosteneffectief is langs de grote rivieren (boven- en benedenrivierengebied). Daar wordt in dit alternatief de maatregel dus op toegepast, hetgeen ca. 1400 km dijk lengte betreft.

Verder wordt de maatregel toegepast op dijken voor risicovolle plekken. Risicovolle plekken zijn locaties met grote bevolkingsconcentraties nabij waterkeringen, waar de waarschuwingstijd relatief kort is en evacuatie relatief lastig (vergelijk De Bruijn, 2007; De Bruijn & Klijn, 2009; Figuur 5.2).

Op grond van de analyse van risicovolle plekken menen we de maatregel ook te moeten toepassen voor alle bevolkingsconcentraties (zie Figuur 5.2). Aldus kunnen grote aantallen slachtoffers worden voorkomen. Omdat de meeste risicovolle plekken langs de rivieren worden gevonden, vergt dit het aanvullend doorbraakvrij maken van slechts enkele 10-tallen tot ruim 100 km dijkvak langs de kust, estuaria en het IJsselmeer, bijvoorbeeld bij Den Helder, Harlingen, Vlissingen en Almere.

Voor het overige gaan we uit van het **huidig en/of voorgenomen** waterveiligheidsbeleid. Dat wil zeggen aanpak van de zwakke schakels langs de kust, rivierverruiming wanneer nodig, en dijkverzwaring van de niet-doorbraakvrije dijken wanneer de toetsing uitwijst dat dit nodig is.

Bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen van kwetsbare functies – dus woon- en werkgebieden – worden deze op kosten van de ontwikkelaar(en) dus: kopers) zodanig opgehoogd dat deze ruim boven het hoogste te verwachten waterpeil in geval van inundatie komen te liggen. Dat zal leiden tot minder ontwikkelingen in metersdiepe polders en tot slechts geringe meerkosten in ondiepe polders. Ruimtelijke ontwikkelingen langs de buitenranden van dijkeringen kunnen worden gecombineerd met het doorbraakvrij maken van die dijken; ook kunnen ruimtelijke ontwikkelingen aan de achterzijde van dijkeringen – langs hogere gronden dus – relatief aantrekkelijker zijn (vergelijk ook Pieterse *et al.*, 2009).



Figuur 5.2 Risicovolle plekken, als combinatie van relatief gevaar (korte tijd, grote diepte) en relatieve kwetsbaarheid (bevolkingsconcentraties) (De Bruijn & Klijn, 2009).

Alternatief 4: Leven met water ('Accomodate')

Dit alternatief bestaat uit een combinatie van technische maatregelen, en ruimtelijk beleid. De technische maatregelen zijn niet in eerste instantie gericht op het weren van water, maar veeleer op het beheersen van overstromingen op zodanige wijze dat de meest risicovolle plekken het best beschermd zijn door op de minst risicovolle plekken ruimte voor water te bieden.

Op die laatste plekken is 'leven met water' dan ook essentieel, omdat deze gebieden als het ware een 'waterdienst' leveren, namelijk door de waterstanden zo te verlagen dat ze geen gevaar meer vormen voor dijkdoorbraak elders.

Uitgangspunt van dit beleidsalternatief is dan ook de gedachte dat er weinig tot veel ruimte voor overstromingen beschikbaar moet zijn, waarbij de *volgorde* van inundatie van dijkringen, de *plaats* van vollopen en de *waterdiepte* zoveel mogelijk worden beheerst. Dat betekent enerzijds sturing op kansen met het oog op een optimale *systeemwerking*: 'ruimte voor water'. Maar anderzijds betekent het ook sturen op blootstelling en kwetsbaarheid door de plaats van instromen en de instroomsnelheid te beheersen – hetgeen tijd biedt voor evacuatie en vluchten – en door met RO-maatregelen ('leven met water') de schades te beperken.

Doel is om overstromingen van klein tot groot het hoofd te bieden zonder ze volledig en tegen iedere prijs uit te willen bannen. Vanuit de zekerheid van grote onzekerheden wordt gestreefd naar veerkracht en flexibiliteit met het oog op lange-termijnontwikkelingen. Dat gebeurt vooral door de ruimtelijke ontwikkeling aan te laten sluiten bij het gedrag van rivieren en zee en te anticiperen op natuurlijke (klimaat- en zeespiegel)ontwikkelingen. Tegelijkertijd worden zowel de natuur (het overstromingsverloop van het water) als de maatschappij (de ruimtelijke ontwikkeling) ook beheerst.

Dit strategische alternatief kan ook worden beschouwd als het consequent doorzetten van een trend(breuk) die is begonnen met ruimte voor rivieren, ruimte voor water en de mediacampagne leven met water.

Hier wordt weer in trefwoorden aangegeven wat het alternatief inhoudt:

- **Kust:** Landwaarts verdedigen met extra zand (duinen met groter toelaatbare-afslagprofiel) of dubbele dijk ('dubbelwandige tanker', zoals verkend in ComCoast). Zeewaarts versterken alleen in kustvakken met natuurlijke aangroei. Overstroombare dijken beter dan breekbare (overslag-bestendig).
- **Rivieren en meren:** Beter gecontroleerd overstroomden dan ongecontroleerd, dus breuk te allen tijde voorkomen. 'Positieve' systeemwerking (tegenkoppeling) proberen te realiseren door volgorde van vollopen vast te leggen en overstroombare dijkvakken/overlaten (plaats en tijdstip van overlopen vastleggen). Ruimtelijke maatregelen voorrang, zeker als ze ruimtelijke kwaliteit toevoegen (dijkverleggingen, bypasses). Dus Ruimte voor de Rivier doorzetten (extra maatregelen), ook om evt. aan hogere normen te voldoen.
- **Waterkeringen algemeen:** Veiligheidsniveaus zeer gedifferentieerd, in aansluiting op systeemwerking. Volgorde overstrooming bepaalt toelaatbaarheid economische en demografische ontwikkeling. Compartimentering van gevaarlijk grote dijkringen of dijkringen met grote verschillen in kwetsbaarheid tussen delen.
- **RO:** Gedifferentieerde ontwikkeling: van niet in frequent overstroomde dijkringen tot bij voorkeur in de laatst overstroomde dijkringen. *Ontkoppelen* investering en kwetsbaarheid: gebieden niet op slot, wel plicht tot aangepast bouwen: watervast (plavuizen/ parkeer garages onder), watervrij (palen) of drijvend.

Omvat concreet in ca 2050:

Ruimte voor Rivieren:

- Bypass Kampen.
- Bypass Zutphen.
- Bypass Deventer.
- en wat verder nog nodig is.

Compartimenteren:

- Betuwe (langs Amsterdam-Rijnkanaal).
- Dijk ten oosten van Den Bosch (ong. langs A2).
- Dijk ten westen van Spijkenisse.
- Een stelsel van regionale waterkeringen in Centraal Holland, Noord-Holland en Friesland-Groningen verzwaard.

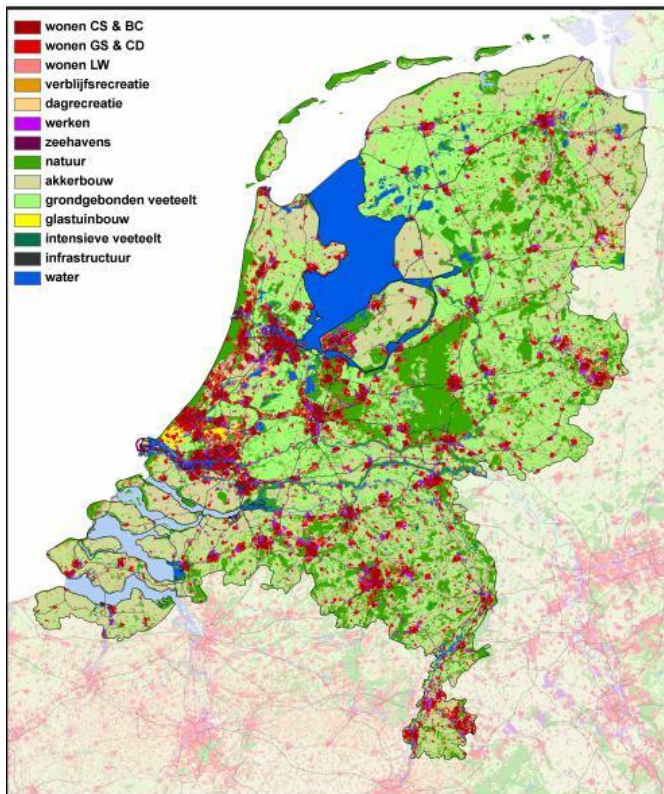
Volgorde inundatie met het oog op systeemwerking (via drempelhoogte), waarbij de laatsten in de rij veel beter beschermd zijn dan bij huidig beleid:

- Rivieren: 1) Rijnstrangen, 2) Ooijpolder, 3) Over-Betuwe, 4) Maas en Waal, 5) Bommelerwaard, 6) Tielerwaard, 7) Gelderse Vallei, 8) Kromme Rijn; soortgelijke opeenvolging langs IJssel.
- Benedenrivieren/ Zuidelijke Randstad: 1) Hoekse Waard, 2) Overflakkee, 3) Voorne 4) West-Brabant, 5) Dordrecht, 6) Putten (zonder Spijkenisse!).
- IJsselmeer: 1) Noordoostpolder, 2) Oostelijk Flevoland, 3) Zuidelijk Flevoland.

Ruimtelijke ordening:

- niet buitendijks bouwen anders dan watervast;
- niet in de zeereep bouwen;
- niet binnen 1 km achter zeedijken;
- in verband met slachtoffers en schade: niet bouwen in de diepste polders (< -2 m NAP);
- bouwen tussen -2 en +1 m NAP en in rivierengebied: vereist 2^e verdieping (vluchtplek)/ palen of drijvend.

In dit alternatief volgt de ruimtelijke ordening het water, ofwel 'water stuurt'. Dat is in de Ruimtescanner geoperationaliseerd (met uitzondering van de laatste twee bovengenoemde punten) door beperkingen op te leggen aan uitbreiding van woningbouw in polders met relatief grote overstromingskans indien alternatieve locaties voorhanden zijn in polders met lagere overstromingskans. Dat leidt tot het beeld dat is weergegeven in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 Projectie van het landgebruik in 2050 bij beleidsalternatief **Ruimte voor Water/Leven met Water** bij trendsgewijze groei (naar MNP, 2007). De riviercorridors (tussen Rijn en Maas; IJsseldal) groeien minder dicht dan bij autonome ontwikkeling, en in de Randstad, ten zuiden van Rotterdam en in Flevoland is de groei ruimtelijk meer gedifferentieerd.

Alternatief 5: Leven met water en terugtrekken ('Retreat')

Het leidend principe voor dit alternatief is de verwachting dat het voorkomen van een verdere toename van de kwetsbaarheid het meest *effectief*¹⁴ is (verg. Hooijer *et al.*, 2002; Penning-Rowsell, 2005: 'zonder mensen geen risico's'). Dat betekent dat de risicobeheersing geheel of voornamelijk plaatsvindt met behulp van het ruimtelijke-ordeningsinstrumentarium. Dit alternatief beoogt dus concreet de kwetsbaarheid van de maatschappij voor een eventuele overstroming te verkleinen door nieuwe ontwikkelingen op 'inherent veilige' locaties te laten plaatsvinden.

Voor Nederland Later zijn indertijd 2 varianten van dit alternatief verkend: *met* en *zonder* dijkverhoging om de norm te handhaven (zie Klijn *et al.*, 2007). Dit onderzoek leerde ons dat terugtrekken zonder de dijken te laten 'meegroeien' met hogere waterstanden tot een onaanvaardbaar snelle toename van het overstromingsrisico leidde. De groei van het schadepotentieel werd namelijk vooral veroorzaakt door waardevermeerdering binnen het bestaande landgebruik, en maar voor een klein deel door 'nieuwbouw'. Dit alternatief werd na die studie dan ook als niet realistisch beschouwd.

Daarom wordt in deze studie alleen nog maar gekeken naar het alternatief waarbij 'terugtrekken' wordt gecombineerd met handhaving van de huidige beschermingsniveaus.

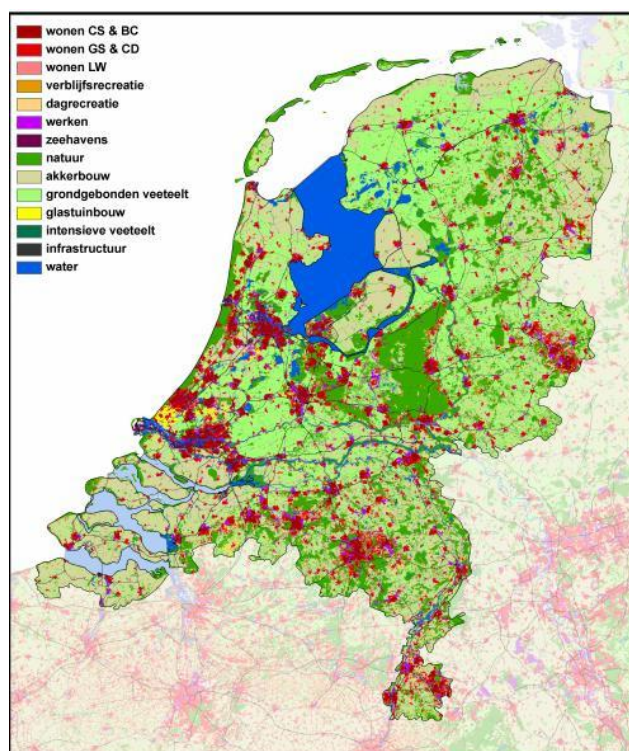
¹⁴ Overigens: *effectief* is natuurlijk niet hetzelfde als efficiënt

Essentieel aan dit alternatief is dat vol wordt ingezet op sturing van ruimtelijke nieuwontwikkeling naar de hogere gronden.

In trefwoorden bestaat dit alternatief uit:

- *Kust*: Onderhoud van kust en dijken door extra zandsuppleties, versterkingen waar nodig en dijkverzwaring (incl. verhoging) volgens de normen.
- *Rivieren en meren*: Rivierverruiming of dijkversterking waar nodig, volgens de huidige normen.
- *Dijkringen*: Dijkversterking waar nodig (incl. verhoging) volgens de normen.
- *RO*: Investerings in wonen en werken volledig naar de hogere gronden verplaatsen. Geen kapitaalsvernietiging door sloop, maar vol op de rem voor nieuwe investeringen in overstromingsgevoelig gebied. Dat betekent een nieuwbouwverbod voor alle gebied beneden ca 1 m NAP en voor de hellende dijkringen in het riviereengebied. Vanzelfsprekend geldt ook een bouwverbod voor buitendijkse gronden en de zeeoep.

In dit alternatief bepaalt de ontwikkeling van het ruimtegebruik voor het grootste deel de ontwikkeling van de overstromingsrisico's, omdat slechts de wettelijk voorgeschreven technische waterbeheersingmaatregelen worden getroffen. Wat dit betekent voor het ruimtegebruik wordt geïllustreerd met een kaart die voor Nederland Later is gemaakt met de *Ruimtescanner*. Deze is weliswaar gemaakt voor het scenario *Transatlantic Market* en het jaar 2040, maar geeft wel een indruk van een forse verschuiving van 'het nieuwe rood' naar de hogere zandgronden (o.a. Brabantse Zandstad en Twente).



Figuur 5.4 Projectie van het landgebruik in 2040 in beleidsalternatief *Terugtrekken bij groei conform Transatlantic Markets* (MNP, 2007). De grote stedelijke uitbreidingen vinden plaats in Brabant (Zandstad) en Twente, in plaats van in de Randstad.

5.2.4 Relatie met maatregelen aan het hoofdwatersysteem, vanaf circa 2050

De hier onderscheiden alternatieven verschillen in omgang met de risico's van overstroming. Maatregelen die de hoogwaterstanden (in het bijzonder de maatgevende waterstanden) in het hoofdwatersysteem proberen te beïnvloeden, kunnen daarbij worden beschouwd als randvoorwaardelijk (letterlijk: 'de hydraulische randvoorwaarde bepalend') of als 'logisch passend' bij een bepaalde strategie. Alhoewel we hebben geconstateerd dat daarover waarschijnlijk niet voor 2050 hoeft te worden beslist, kunnen lange-termijnkeuzes relevant zijn voor keuzes over beleidsstrategieën op kortere termijn.

Voor het **rivierengebied** geldt dat op hogere maatgevende rivierafvoeren kan worden gereageerd met dijkverhoging of met rivierverruiming. Beide zijn gericht op het gelijk houden (of verkleinen) van de kans op dijkbreuk. Ze horen beide thuis bij strategieën die daar – geheel of grotendeels – op berusten. In de praktijk passen ze dan ook bij alle strategieën, alhoewel dijkverzwaren meer past bij de 'geest' van alternatieven 0, 1 en 2, en rivierverruiming meer bij de 'geest' van alternatieven 3, 4 en 5. De keuze voor dijkverhogen of rivierverruimen wordt immers deels ingegeven door uiteenlopende opvattingen over acceptabele maatschappelijke kosten en gewenste maatschappelijke baten.

Hetzelfde geldt voor de keuze of de Nieuwe Waterweg nu op termijn moet worden afgesloten (dam en zeesluis), geheel geopend, of dat er een nieuwe stormvloedkering moet komen in een configuratie van 'afsluitbaar-open'. Hier lijken echter niet zozeer verschillende maatschappelijke opvattingen belangrijk, als wel de vraag welke oplossing het meest gewenst is in relatie tot de benodigde dijkverzwaringen langs de wateren in het Rijnmondgebied: wat moet allemaal wel niet gebeuren als de Nieuwe Waterweg (afsluitbaar) open blijft? Dat hangt onder andere van de effectiviteit van de verschillende oplossingen af. Daarop gaan we hieronder in, wetende dat het Deltaprogramma dit in een regiostudie nog veel diepgaander zal onderzoeken.

En het geldt ook voor het **IJsselmeer**: peil omhoog of pompen. Dat is lood om oud ijzer vanuit de hiervoor geschetste strategieën voor het omgaan met overstromingsrisico's geredeneerd, maar verschillende keuzen leiden tot grote verschillen in maatschappelijke consequenties. En tot verschillende opgaven voor dijkverzwaring. We gaan er kort op in.

Tenslotte kunnen keuzes over het Rijnmondgebied en het IJsselmeergebied nog van invloed zijn op keuzes over de **afvoerverdeling over de Rijntakken** bij hoogwater. Dat wordt slechts aangestipt.

Op het punt van overstromingsrisicobeheersing zijn deze maatregelen aan het hoofdwatersysteem vrijwel allemaal combineerbaar met de hier gekozen beleidsalternatieven, alhoewel sommige combinaties intuïtief minder voor de hand liggen. Oplossingen met open zeegaten of afsluitbare keringen (Haringvlietsluizen als stormvloedkering), maar dan *zonder* Rijnmondring, een geheel open Nieuwe Waterweg, en een meestijgend IJsselmeer passen natuurlijk meer bij 'veerkracht'-alternatieven 3, 4, of 5, dan bij de 'weerstand'-alternatieven 1 of 2.

5.2.5 Opties voor het Rijnmondgebied

In grote lijnen zijn er voor de **lange termijn** aan de kustzijde drie mogelijkheden om de hoogwaterstanden in het Rijnmondgebied te beheersen:

- volledig afsluiten (ook wel de ‘Amsterdamse oplossing’ genoemd: een dam met zeesluis);
- volledig open (waar nodig buitendijkse terreinen ophogen en achterland beschermen met hogere dijken);
- stormvloedkering opwaarderen.

Dan moet ook nog rekening worden gehouden met de aanvoer van de rivieren, waarvoor ook weer 3 mogelijke oplossingen bestaan:

- met afgedamde Lek en Beneden-Merwede en afleiding naar het zuidwesten via Nieuwe Merwede en Hollands Diep;
- met open rivieren (= huidige situatie);
- met beweegbare keringen ook in de rivieren, ook wel afsluitbaar open genoemd (of ‘de Veerman-oplossing’).

Omdat sommige combinaties erg onlogisch zijn (bijv. open zeearmen, maar dichte dammen aan rivierzijde), resulteren de volgende configuraties (zie ook Tabel 5.4):

1. Open.
2. De Maeslantkering en Hartelkering aanpassen zodat deze ook bij hogere zeespiegelstanden kunnen opereren: huidig + zeespiegelstijging.
3. Een stelsel van beweegbare keringen waarbij rivierwater naar het zuiden wordt afgeleid: afsluitbaar open (cf. voorstel commissie Veerman). Haringvlietsluizen naar keuze beheerd als spuisluizen of stormvloedkering.
4. Afsluiten van de Nieuwe Waterweg met een dam + zeesluis: dicht. Haringvlietsluizen naar keuze beheerd als spuisluizen of stormvloedkering.
 - a. Open aan rivierzijde. Zonder berging in de Zeeuwse en Zuid-Hollandse wateren.
 - b. Afsluitbaar aan rivierzijde. Met berging in de Zeeuwse en Zuid-Hollandse wateren.
 - c. Met dammen in de rivieren en afleiding en berging in de Zeeuwse en Zuid-Hollandse wateren. Rijnmondgebied als boezemwater bemalen.

Het verschil tussen 4a en 4b is dat bij b de rivierzijde kan worden afgesloten met rivierkeringen. Tevens is er verschil waar het rivierwater bij gestremde afvoer geborgen wordt en dus waar de ingrijpendste dijkverzwaringen nodig zijn: alleen in het Noordelijk deltabekken (bij a) of ook in de Zeeuwse wateren (bij b). 4c kan worden gezien als een gesloten dijkring rond het Rijnmondgebied, vergelijkbaar met 3, maar dan met permanent dichte keringen (dammen met sluisen) om de ‘faalkans’ van sluiten te verkleinen.

Figuur 5.5 tot en met Figuur 5.7 geven de belangrijkste mogelijkheden op kaart, met uitzondering van geheel ‘open’ (1) en geheel dicht (4c), want die spreken voor zich.



Figuur 5.5 Huidige situatie, Maeslantkering evt. aangepast aan zeespiegelstijging (variant 2)



Figuur 5.6 Afsluitbaar – open: een stelsel van beweegbare stormvloed- en hoogwaterkeringen (variant 3)



Figuur 5.7 Dicht, met een dam en/of zeesluis in de Nieuwe Waterweg en berging van rivierwater in de Zuid-Hollandse en Zeeuwse wateren (variant 4b)

Met name variant 3 krijgt momenteel veel aandacht, omdat de Deltacommissie deze mogelijke toekomst voor het Rijnmondgebied – die door Ties Rijcken van de TU Delft was geopperd – in haar rapport heeft opgenomen¹⁵. De idee is dat de Rotterdamse haven goed bereikbaar blijft terwijl de hoogwaterbescherming op orde blijft. En dit zonder dat op grote schaal dijkverhoging nodig is, die immers lastig te realiseren is in dit dichtgebouwde gebied en waar ook nog veel buitendijkse bebouwing is.

Bij volledig afsluiten van het Rijnmondgebied (4c) – al dan niet met een zeesluis – zouden dijkverhogingen rond Rotterdam en de Drechtsteden niet nodig zijn, maar moet de afvoer van de Lek worden afgeleid. Dat betekent een forse afwenteling op het bovenrivierengebied (Jeuken *et al.*, 2010). Ook moeten sommige zeehavenactiviteiten meer buitengaats worden gebracht. Met het aanleggen van de Maasvlakten 1 en 2 is deze trend in feite al begonnen.

Een volledig open Nieuwe Waterweg betekent dat verhoging van alle waterkeringen in het Rijnmondgebied en langs de benedenrivieren noodzakelijk zal zijn.

5.2.6 Effectiviteit van de verschillende mogelijkheden voor het Rijnmondgebied

Er is verkend in hoeverre de bovengenoemde opties bij een verder stijgende zeespiegel de stijging van de maatgevende waterstanden kunnen voorkomen (Jeuken *et al.*, 2010). Hiervoor zijn de effecten op de maatgevende waterstanden bij Rotterdam, Dordrecht en Hellevoetsluis berekend. Voor deze locaties gelden normkansen op overschrijding van de MHW van respectievelijk 1/10.000, 1/2000 en 1/4000 per jaar.

Voor verschillende configuraties van dammen en stormvloedkeringen is op grond van een groot aantal waterstandberekeningen (met combinaties van stormvloed en rivierafvoer) het effect op de maatgevende waterstanden berekend. De gecombineerde kansberekening is uitgevoerd met de zogenaamde MHW-processor. De rivierafvoeren zijn berekend met SOBEK.

Voor deze berekeningen is uitgegaan van de plausibele bovengrens voor de klimaatomstandigheden in 2100 conform de Commissie Veerman; dat wil zeggen een zeespiegelstijging van 130 cm, een maatgevende Rijnafvoer van 18.000 m³/s, en een stormduur van 35 uur.

Zonder extra maatregelen – dus bij continueren van het huidig beheer van de huidige stormvloedkeringen – leiden de hogere zeespiegel en hogere rivierafvoeren tot hogere maatgevende waterstanden overall in het Rijnmondgebied (Tabel 5.3). Dat komt deels doordat de stormvloedkering niet altijd sluit als deze zou moeten sluiten (aangenomen faalkans 1/100 per sluiting), deels door de hogere rivierafvoeren.

Figuur 5.8 laat zien hoe sterk de invloed van de faalkans van de Maeslantkering is op de doorwerking van de hogere zeespiegel op de maatgevende hoogwaterstanden. Het beeld is: hoe dichterbij de kering, hoe groter de doorwerking. Meer landinwaarts is de procentuele invloed van de rivieren op de MHW veel groter en is de bijdrage van stormvloed evenredig kleiner.

¹⁵ Zonder voldoende quick-scan van hydraulica en kosten.

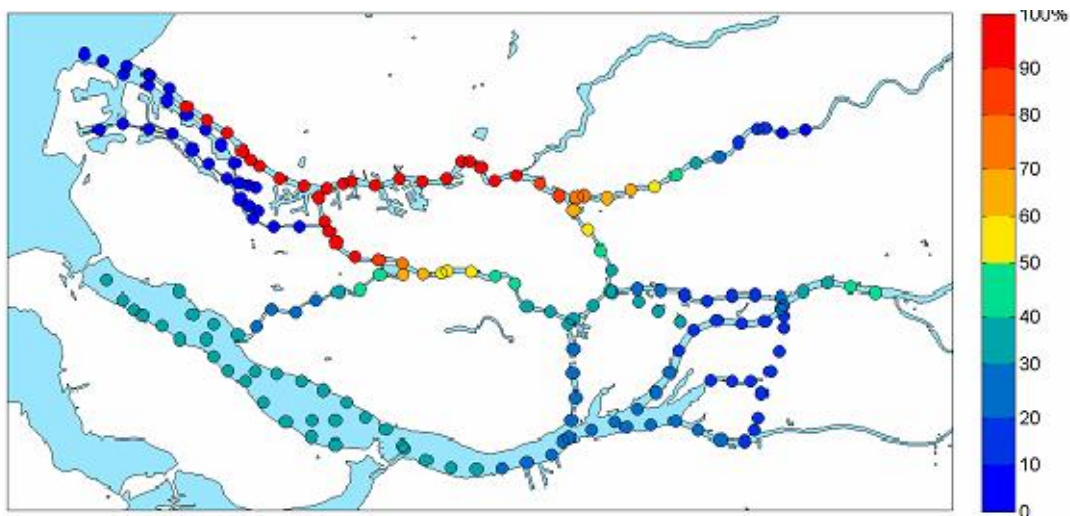
Tabel 5.3 Stijging van de maatgevende waterstanden in het Rijnmondgebied bij verschillende klimaatscenario's

Locatie	MHW [m+NAP] (TMR2006)	Toename t.o.v. huidig klimaat [m]	
		KNMI G ⁺	Veerman
		Zeespiegel +0,60 m	Zeespiegel +1,30 m
		Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	0,5	1,2
Dordrecht	2,9	0,4	0,9
Moerdijk	2,7	0,5	1,0
Hellevoetsluis	2,6	0,4	1,1
Dalem	6,0	0,7	0,8

In de praktijk is de kans dat gecompliceerde beweegbare keringen, zoals de Maeslantkering, niet dichtgaan als dat moet ca 1/100 per keer. Bij hogere zeespiegel moet de kering vaker dicht, van eens in de 10 jaar nu tot 30 keer per jaar bij een zeespiegelstijging van 1,3 m. Daarmee zal de jaarlijkse faalkans van de kering ook toenemen, met als gevolg dat de frequentie van hoogwaters toeneemt. Dit heeft als resultaat dat voor de huidige kering voor 2100 in dit klimaatscenario een forse verhoging van de maatgevende waterstand bij Rotterdam (1/10.000 per jaar) is berekend (Figuur 5.9).

Om dit te voorkomen zou de eigen faalkans van de kering 1 op 10.000 sluitingen moeten zijn; dat wordt door deskundigen als praktisch onmogelijk beschouwd.

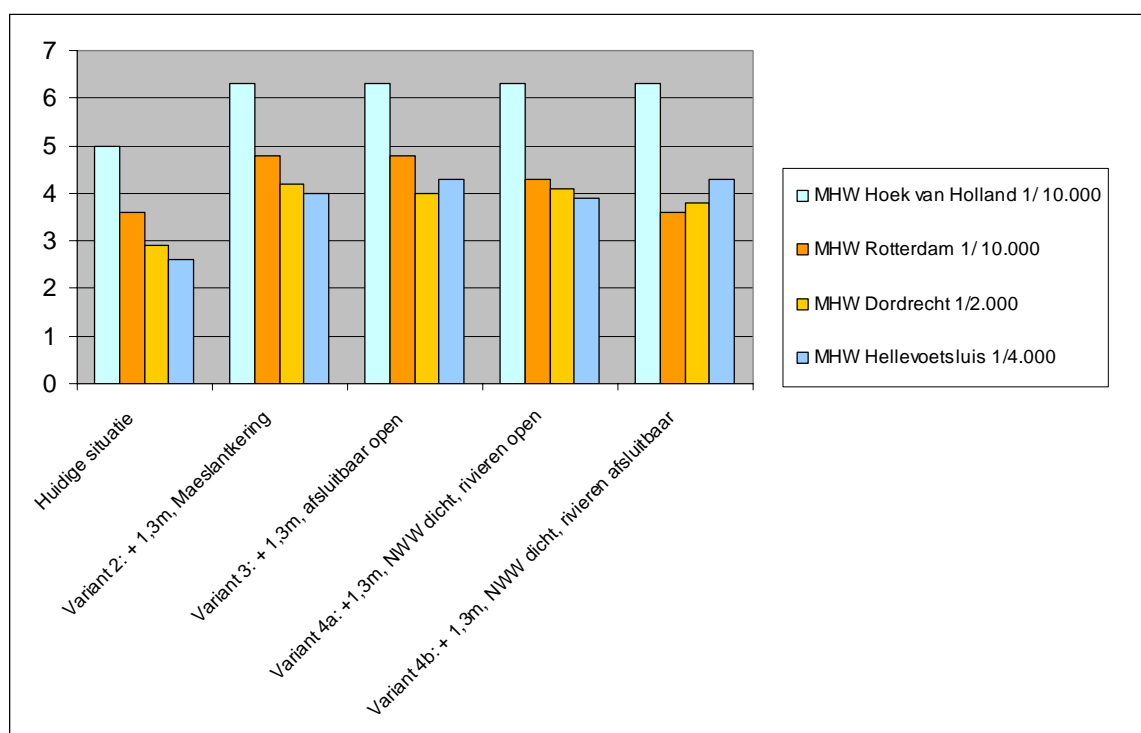
Overigens geldt ook voor de andere varianten – afsluitbaar open Rijnmond of een dam in de Nieuwe Waterweg – iets soortgelijks. Afsluitbaar open is ook heel kwetsbaar voor het falen van één van de keringen. Alleen de Nieuwe Waterweg dicht in combinatie met rivierkeringen (zie Variant 4b in Figuur 5.9) kan de stijging van de maatgevende waterstand in Rotterdam met enkele decimeters beperken.



Figuur 5.8 Procentuele invloed van het al dan niet sluiten van de Maeslantkering op de doorwerking van een hogere zeespiegel op de maatgevende waterstanden

Voor Dordrecht en Hellevoetsluis geldt dat de aangenomen zeespiegelstijging en de aangenomen hogere afvoeren voor de Rijn en de Maas altijd leiden tot hogere maatgevende waterstanden, vrijwel los van de mogelijk getroffen maatregelen. De verschillende configuraties maken op dit punt maar weinig verschil.

De figuur laat overigens ook zien dat keringen (afsluitbaar of geheel dicht) bij een stijgende zeespiegel de stormvloed wel degelijk effectief buiten houden, want de MHW-binnenwaterstand is in alle gevallen ruim een meter lager dan de MHW- buitenwaterstand van ca 6,3 m. Maar ook blijkt dat de invloed van de zeespiegelstijging op de MHW's niet of nauwelijks teniet wordt gedaan; aan de landzijde van de kering is de *verhoging* van de maatgevende waterstand nauwelijks kleiner dan die op zee.



Figuur 5.9 Maatgevende waterstanden (MHW) bij 1,3 m hogere zeespiegel bij verschillende varianten voor het Rijnmondgebied in vergelijking met de huidige MHW (NWW = Nieuwe Waterweg, HV is Haringvliet) (naar Jeuken et al., 2010)

De optie 'geheel open', waarbij de Haringvlietdam is verwijderd, leidt tot veel hogere maatgevende waterstanden bij Hellevoetsluis, van 6,3 m boven NAP. Dit is gelijk aan de maatgevende waterstand op zee. Meer naar het oosten neemt de doorwerking af, evenals meer naar het noorden door de kleine doorsnee van Spui en Dordtse Kil.

De verschillende varianten laten een grote stijging van de waterstanden rond Dordrecht zien, door verschillende oorzaken. Bij de varianten met een stormvloedkering aan zeezijde komt het door de grote faalkans van de kering en de grote onzekerheid in de voorspelling van de waterstanden; bij de varianten met een dam aan de zeezijde komt het door opstuwning van de rivierafvoer.

Eén en ander leidt ertoe dat geen van de doorgerkende varianten kan voorkomen dat de maatgevende waterstanden bij Dordrecht fors zullen stijgen, behalve dan volledige afsluiting van alle rivieren rond Dordrecht.

Bij een stijgende zeespiegel en een realistische aanname van de faalkans van de beweegbare keringen, kan forse stijging van de maatgevende waterstanden in het Rijnmondgebied en de benedenrivieren niet worden voorkomen, behalve door volledige afsluiting van het Rijnmondgebied.

Tabel 5.4 Overzicht van keuzes voor het Rijnmondgebied aan zeezijde en rivierzijde (varianten), en hun consequenties voor de opgave om hogere maatgevende waterstanden te keren ter hoogte van Rotterdam respectievelijk Dordrecht (dijkversterkingsopgave). Afgewenteld betekent een grote opgave voor het (boven)rivierengebied (evt. kortsluiting Lek -Merwede), Hollands Diep en verder.

varianten Rijnmondgebied	Zeekant (half)open/ dicht	MHW rond Rijnmond	MHW rond Drechtsteden	Rivierkant (half)open/ dicht
variant 1	open	zeer grote opgave	zeer grote opgave	open
variant 2	afsluitbaar	grote opgave	grote opgave	open
variant 3	afsluitbaar	grote opgave	lets kleinere opgave	afsluitbaar
variant 4a	dicht	kleinere opgave	grote opgave	open
variant 4b	dicht	kleinere opgave	lets kleinere opgave	afsluitbaar
variant 4c	dicht	geen opgave (afgewenteld)	geen opgave (afgewenteld)	dicht

5.2.7 Opties voor het IJsselmeergebied

Voor de **lange termijn** moet voor het IJsselmeergebied een keuze worden gemaakt over het meestijgen met de zeespiegel versus het handhaven van het huidig peil door pompen. Kortom: meestijgen of pompen.

De Commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) heeft bepleit het IJsselmeer mee te laten stijgen om twee redenen: om onder vrij verval te kunnen spuien (veiligheidsargument) en om een forse zoetwaterschijf beschikbaar te hebben voor de watervoorziening (economisch argument).

Aangezien al is vastgesteld dat alle strategische alternatieven kunnen worden gecombineerd met zowel meestijgen als pompen, is hier nog slechts aan de orde wat deze keuze betekent in termen van de opgave voor het waterkeringbeleid.

Het betreft dan vooral de waterkeringen rond het IJsselmeer zelf, eventueel met het Markermeer en/of de randmeren, alsmede de IJsselmond en benedenloop van de IJssel en Overijsselse Vecht (omgeving Kampen-Zwolle).

In het kader van een quick-scan naar de toekomstvastheid van de bypass Kampen zijn verscheidene alternatieven in beeld gebracht voor het geval het IJsselmeerpeil zou worden verhoogd (Anonymus, 2009). Daarbij zijn verschillende vormen van dijkversterking in beeld gebracht, alsmede mogelijkheden om de waterstandsverhoging rond de IJsselmonding te beperken door een stormvloedkering of compartimenteringsdam tussen Urk en Lelystad – al dan niet met afleiding van rivierwater via de bestaande randmeren of een nieuw randmeer langs de Noordoostpolder.

In het kader van het Deltaprogramma worden de meest perspectiefrijke oplossingen nader onderzocht, evenals een optie waarbij de opstuwing in het Ketelmeer via een randmeer langs de Noordoostpolder wordt verminderd, ook zonder stormvloedkering bij Ketelbrug.

Tabel 5.5 Overzicht van keuzes voor het IJsselmeergebied en mogelijke aanvullende maatregelen rond de Flevopolders (varianten), en hun consequenties voor de opgave om hogere maatgevende waterstanden te keren rond het IJsselmeer en nabij de IJsselmonding (dijkversterkingopgave).

varianten IJsselmeergebied	Peil	MHW rond IJsselmeer	MHW rond IJsselmond	aanvullende maatregel
variant 1	meestijgen	grote opgave	grote opgave	Ketelmeer open
variant 2	meestijgen	grote opgave	kleinere opgave	Ketelmeer open + bergen randmeren (incl. NOP)
variant 3	meestijgen	grote opgave	kleine opgave	Ketelkering (stormvloed- kering)
variant 4	pompen	kleine opgave	kleine opgave	

In Tabel 5.5 geven we een overzicht van de – ons inziens – meest onderscheidende mogelijkheden. De andere door Anonymus (2009) in beeld gebrachte opties zijn te beschouwen als varianten daarvan. De tabel geeft ook een indruk van de grootte van de opgave voor dijkversterking. Deze opgave betreft een kleiner gebied dan bij Rijnmond, en omdat het IJsselmeer in alle opties getijvrij blijft, is de verticale opgave ook geringer. Daar komt bij dat de IJssel minder water afvoert dan de Waal plus Nederrijn doen, terwijl de openwateroppervlakte van het IJsselmeer (ca 140.000 ha) veel groter is dan die van het Rijnmondgebied (ca 36.000 ha na aftrek van hoogwatervrije terreinen; eventueel uitbreidbaar met Volkerak en Zeeuwse wateren met bijna 63.000 ha). De waterstandstijging tijdens storm op zee – als niet kan worden gespuid – is dus ook geringer.

5.2.8 Opties afvoerverdeling Rijntakken

De afvoerverdeling over de Rijntakken bij hoogwater wordt bepaald door de configuratie van de splitsingspunten. De afvoerverdeling bij laagwater wordt grotendeels bepaald met de stand van de stuwen in de Nederrijn. De afvoerverdeling bij hoogwater kan dan ook los worden beschouwd van die bij laagwater.

Welke hoogwaterafvoeren mogelijk zijn is natuurlijk afhankelijk van de afvoercapaciteit van de 3 Rijntakken. Nu is de verdeling grofweg: Waal ca 2/3 van totale afvoer, Nederrijn-Lek ca 2/9 en IJssel ca 1/9. De afvoercapaciteit van de takken kan worden vergroot door rivierverruimende maatregelen of dijkverhoging; beide vergroten de 'natte doorsnede' van de rivier en dus de capaciteit.

Welke afvoerverdeling gewenst is, is echter ook afhankelijk van het 'ontvangende water'. Waar komt het terecht? En willen we het daar wel hebben? Die vragen zijn relevant voor de lange termijn, en hangen samen met de sleutelkeuzes over het hoofdwatersysteem die hierboven zijn benoemd. Kunnen we bij nog hogere afvoeren – door klimaatverandering – het water wel kwijt in het Rijnmondgebied en/of de deltabekken in Zuidwest Nederland? Hoeveel stijgt het water daar dan en wat is nodig om dat te accommoderen? Past dat Lek-water wel in een 'afsluitbaar open' Rijnmondgebied en, zo niet, is het dan af te leiden naar het zuiden? Of kan het maar beter meteen naar het IJsselmeergebied worden afgeleid, waarvan het oppervlak in ieder geval veel groter is? Daar zal de peilstijging kleiner zijn en is dijkverzwaring misschien minder ingrijpend.

Op deze vragen wordt hier geen antwoord gegeven. Wel wordt verwezen naar WL (1998, zie ook Baan & Klijn, 1998), die vanwege bovenstaande zaken pleitten voor aanpassing van de afvoerverdeling met alle *extra* afvoer door het IJsseldal (Rijn op Termijn). En we raden aan flexibiliteit na te streven door met ruimtelijk beleid te voorkomen dat het riviereengebied (IJsseldal en Centraal Riviereengebied) 'dichtgroeit' zodat op termijn onvoldoende rivierverruimende maatregelen meer mogelijk zouden zijn (zie MNP, 2007).

Het ligt in de rede dat het Delta(deel)programma Grote Rivieren de lange-termijnopgave nogmaals scherp in beeld brengt en daarbij ook verschillende afvoerverdelingen onder de loep neemt. Dat moet in samenhang met keuzes voor het Rijnmondgebied en het IJsselmeergebied.

5.3 Wat betekenen de strategische alternatieven voor overstromingsrisico's

Door vermenigvuldiging van de kans op overstroming met het gevolg van overstroming kan het risico per dijkkring worden vastgesteld, zowel voor schades als voor slachtoffers. We doen dat op dezelfde wijze als in gedaan voor Nederland Later (Klijn *et al.*, 2007), waar werd gesteld dat dat met de gebruikte gegevens verantwoord was omdat de blootstelling deels was verdisconteerd in de kansschatting (kans op dijkbreuk zonder gevolgen niet te zwaar gewogen) en deels in de bepaling van gevolgen (door gebruik te maken van alle beschikbare overstromingsscenario's). Dan kan de volgende formule worden toegepast (verg ook FLOODsite, 2009):

$$\text{Risico} = \text{kans} * \text{gevolg (in termen van schade, c.q. slachtoffers)}$$

Om een indruk te krijgen van de onzekerheidsband is de lage schatting van de kans (kleine kans) gecombineerd met de hoge schatting van het gevolg (groot gevolg), omdat grote rampen in het algemeen een kleine kans van optreden hebben – en omgekeerd.

Waar in Klijn *et al.* (2007) nog uitgebreid op onzekerheden en onzekerheidsbanden is ingegaan laten we die in dit rapport buiten beschouwing.

Daar valt op af te dingen, maar in deze studie – met sterk verkennend karakter¹⁶ – zijn we vooral op zoek naar de onderlinge verschillen tussen alternatieve beleidsstrategieën. Die komen ook naar voren zonder (herhaling van de) uitgebreide beschouwingen over onzekerheid.

5.3.1 Alternatief 1: Beschermen met beleid ('protect')

De strengere beschermingsnorm voor dijkringen waar dat kosteneffectief is leidt daar tot kleinere schaderisico's. Dat is zichtbaar (Figuur 5.14) het geval in Centraal-Holland, Voorne-Putten, IJsselmonde en Hoekse Waard, de Krimpenerwaard en Alblasserwaard, de Betuwe en Rijn & IJssel, de Maaskant/ Land van Heusden. Voor de Gelderse Vallei en het Kromme Rijngebied ontstaan – ondanks de strengere normen – nog geen zichtbare verschillen met 'huidig beleid', omdat bij die dijkringen sprake is (en blijft) van overhoogte ten opzichte van de 'overzijde' van de rivier. Dat leidt tot een positief gevolg van systeemwerking voor de overstromingskans.

Voor de slachtofferrisico's geldt vrijwel hetzelfde verhaal, zoals is te zien in Figuur 5.15.

In het algemeen lijkt het erop dat de verschillen in risico-omvang binnen Nederland iets afnemen – alhoewel de verschillen in grootte tussen de dijkkringgebieden interpretatie bemoeilijken.

5.3.2 Alternatief 2: Beschermen met 'brute kracht' ('brute force')

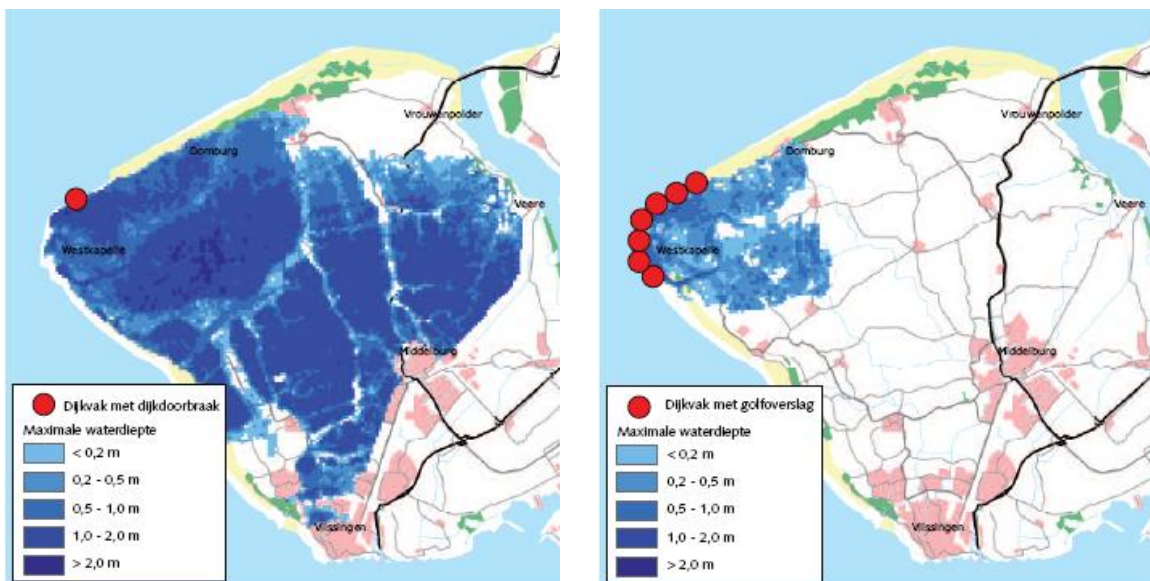
De schade- en slachtofferrisico's in dit alternatief nemen af, evenredig met de verkleining van de overstromingskans met een factor 10. Los van de vraag of dat in werkelijkheid allemaal valt te garanderen, is het risico berekend door de kans door 10 te delen, waarmee ook de schade- en slachtofferrisico's in iedere dijkkring met een factor 10 kleiner worden.

De bestaande *ruimtelijke verschillen* in risico's tussen dijkkringgebieden *blijven gelijk*, en leveren dus het beeld op dat is te zien in Figuur 5.14 en Figuur 5.15 onder a (= continueren huidig beleid), maar dan overal een factor 10 kleiner. Er zijn geen kaarten van gemaakt: deze kan men zich gemakkelijk voorstellen.

5.3.3 Alternatief 3: Technisch ontkoppelen ('adapt upwards')

Doorbraakvrije dijkvakken leiden tot geringere instroomvolumina, waardoor er meer tijd is voor evacuatie en de omvang van de overstroming veel kleiner blijft (Figuur 5.10 en Figuur 5.11), zowel qua areaal als qua diepte. In plaats van een ondraaglijke overstroming is er eerder sprake van plaatselijk forse wateroverlast.

¹⁶ In het onderzoek dat Deltares uitvoert voor Waterveiligheid 21^e eeuw wordt uitgebreid op onzekerheden in allerlei schattingen ingegaan.

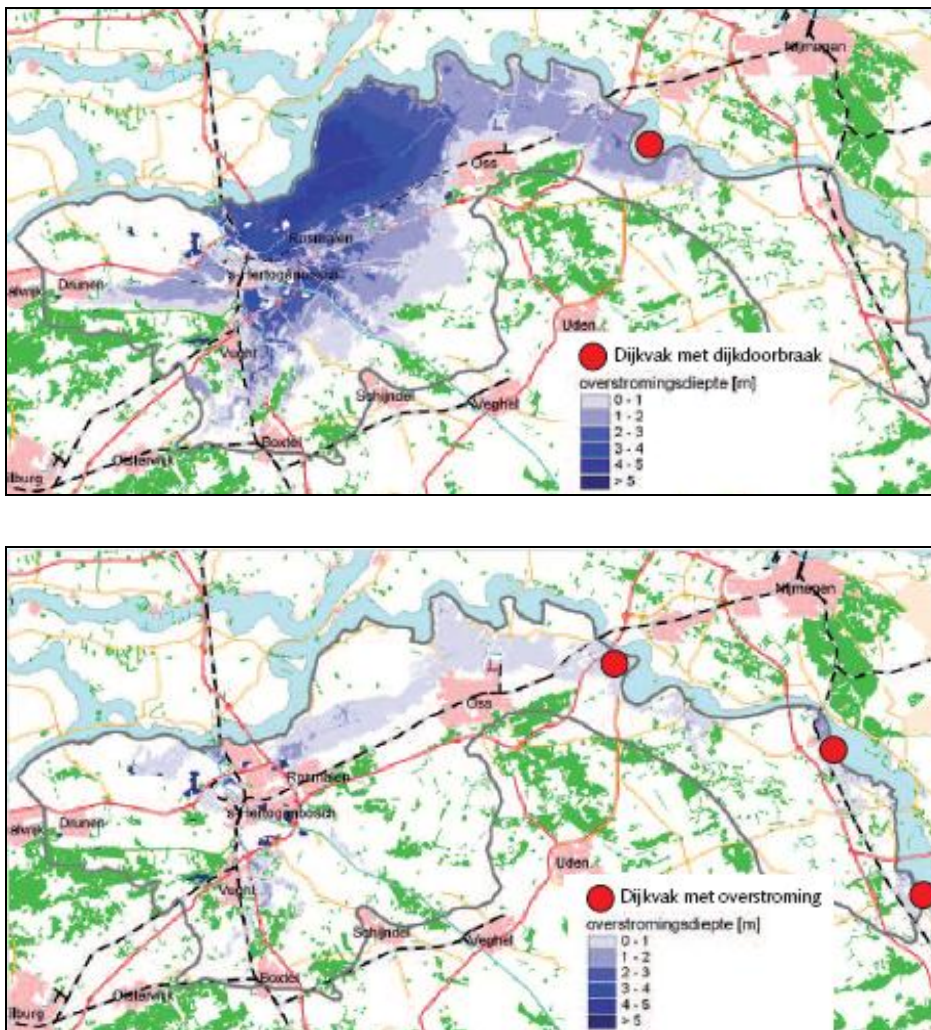


Figuur 5.10 Waterdiepte bij doorbraak van de huidige respectievelijk bij golfoverslag van doorbraakvrije dijken in Walcheren (indicatief naar Stijnen, 2008; uit Silva & Van Velzen, 2008).

Stijnen (2008) heeft in het kader van de studie naar doorbraakvrije dijken voor Walcheren en de Noordoostpolder berekend wat dat betekent voor het slachtoffer risico en het schaderisico. Hij vond afnames van de schade met 96% voor de Noordoostpolder en 93% op Walcheren. De aantallen getroffen waren 90% en 93% minder en het aantal slachtoffers werd gereduceerd met 100, respectievelijk 94%. Maar de precieze uitkomsten worden beïnvloed door de ligging van de dijken ten opzichte van stedelijk gebied (in beide casussen relatief veraf) en door de lengte waarover overslag plaatsvindt. In eerdere analyses aan de Tielerwaard en in Land van Heusden/ de Maaskant werd de afname van gevolgen dan ook iets minder groot geschat, omdat de stedelijke gebieden van Gorinchem (-Oost) respectievelijk Den Bosch forse wateroverlast kregen.

Indien doorbraakvrije dijken overal zouden worden toegepast, zou de reductie van het slachtoffer risico en dat van het schaderisico beide tenminste factor 10 zijn. Dat is vergelijkbaar met de reductie door de veel zwaardere dijken in Alternatief 2 ('brute force').

In alternatief 3 hebben we de doorbraakvrije dijken echter alleen consequent toegepast langs de grote rivieren (boven- en benedenrivierengebied). Voor de dijkkringen in die gebieden gaan we dus uit van een schade- en slachtoffer risicoreductie van 90%. Verder zijn ze toegepast bij de risicovolle plekken langs de kust, de estuaria en rond het IJsselmeergebied, zoals deze in kaart zijn gebracht door De Bruijn (2007). Daar wordt aan grote bevolkingsconcentraties dus meer evacuatie- en vluchttijd geboden. Daar wordt aangenomen dat het slachtoffer risico met 50% wordt gereduceerd, omdat de doorbraak in landelijk gebied plaatsvindt en er een langere tijd is om het gebied uit of naar een hoog gebouw te vluchten.

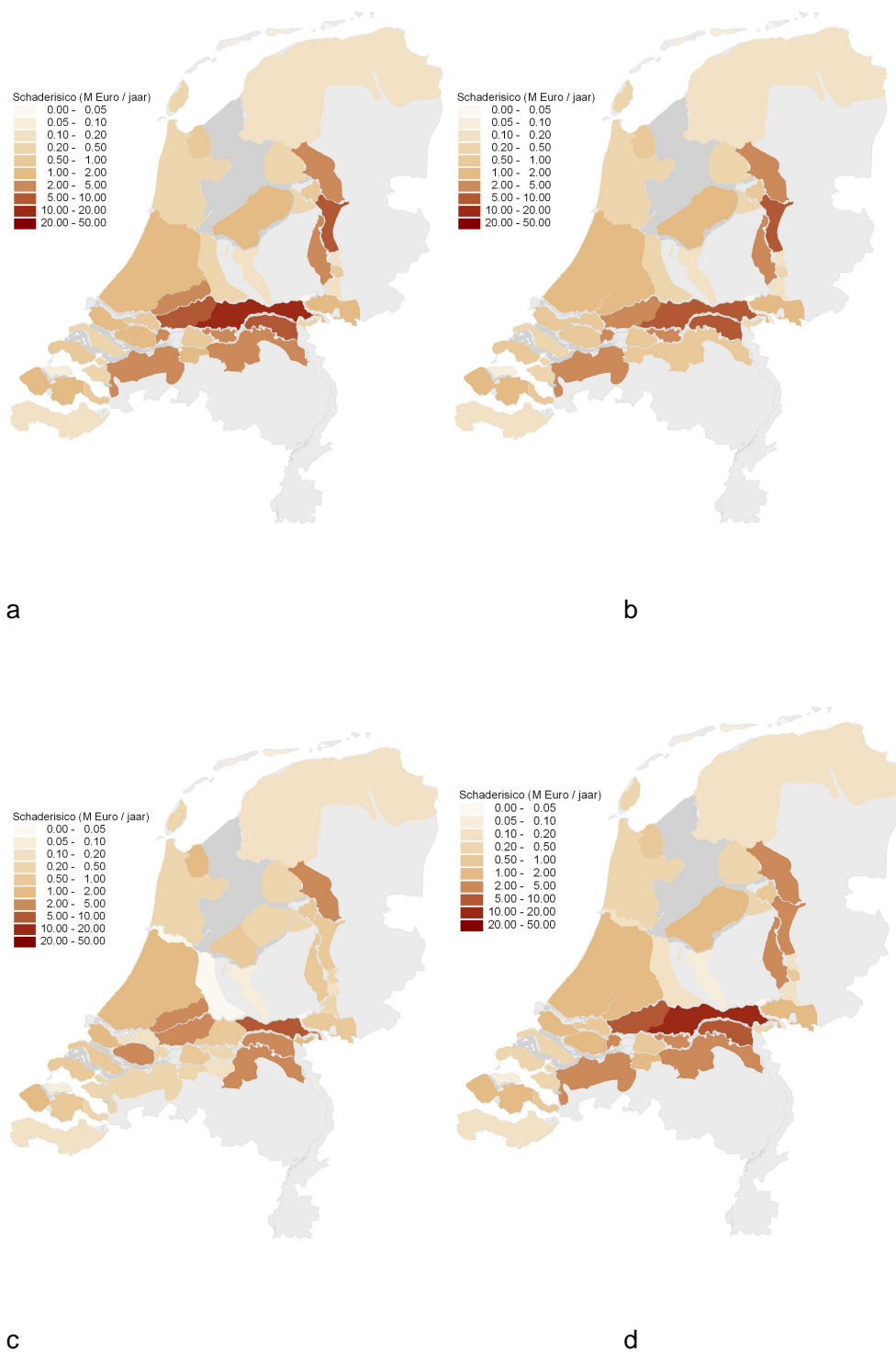


Figuur 5.11 Waterdiepte bij doorbraak van de huidige respectievelijk bij overloop van doorbraakvrije dijken in Land van Heusden – de Maaskant (indicatief; Silva & Van Velzen, 2008).

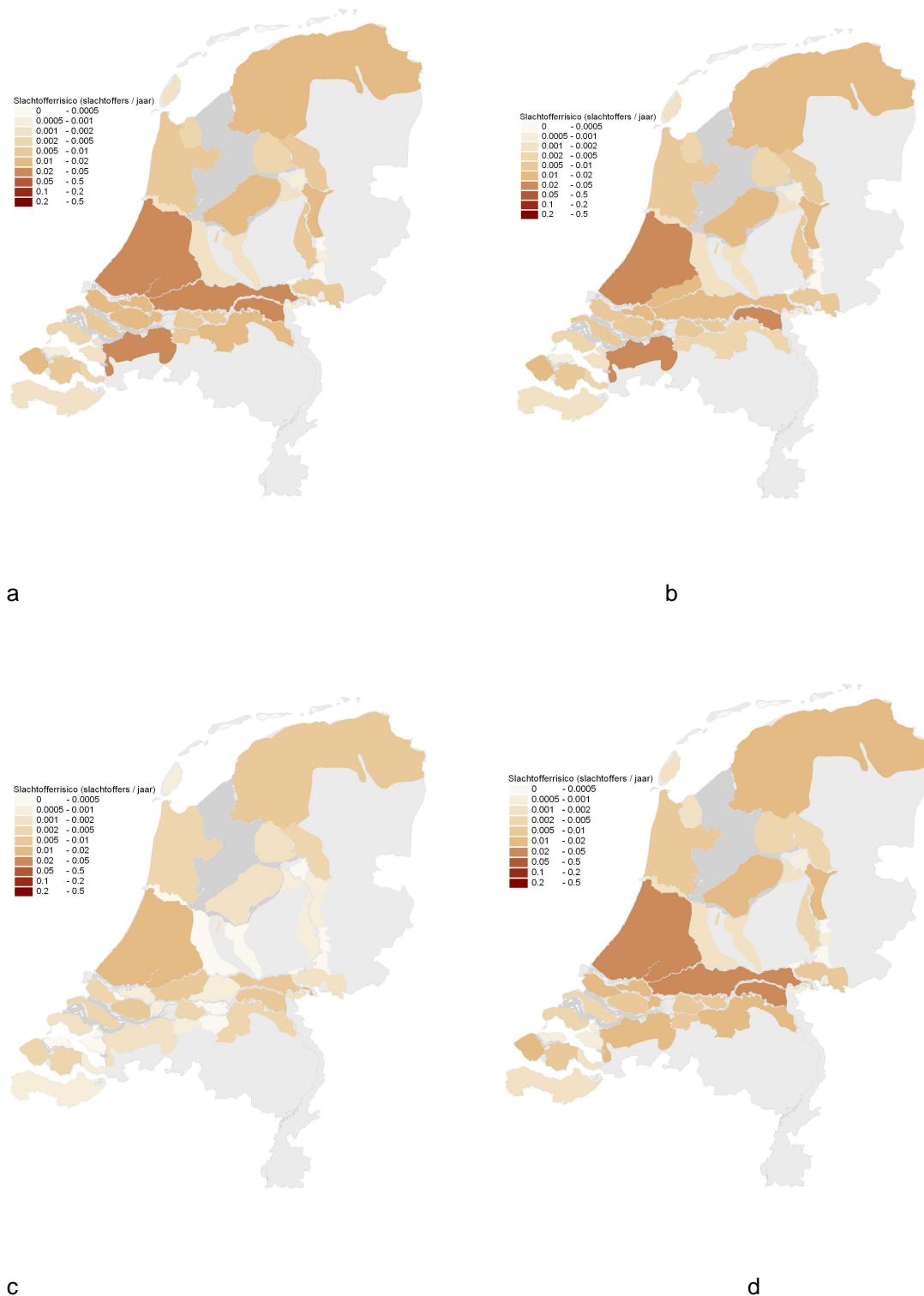
5.3.4 Alternatief 4: Leven met water ('accommodate')

Dit alternatief is al onderzocht voor de studie Nederland Later (zie Klijn *et al.*, 2007). Het berust op doorbraakvrije dijkvakken (overlaten), waarmee dijkbreuk wordt voorkomen, de plaats en het moment van instromen nauwkeurig kunnen worden voorspeld, en dus effectieve evacuatie mogelijk is. Zo worden slachtoffers voorkomen en wordt het slachtofferrisico fors verkleind (Figuur 5.13 kaart c). Op dit punt lijkt dit alternatief op alternatief 3, maar de overstromingskansen zijn groter en meer ruimtelijk gedifferentieerd, naar gelang de verwachte gevolgen (schade).

Met compartimentering van grote dijkringen wordt het overstroomde areaal nog beperkt en aldus de economische schade. Verder wordt in dit alternatief de schadetoename in de tijd door ruimtelijke ontwikkelingen beperkt, door gericht ruimtelijke-orderingsbeleid: groei op de hogere gronden en in de best beschermde dijkringen maar niet of nauwelijks in het rivierengebied. Op dit punt lijkt dit alternatief enigszins op alternatief 5, maar het is veel minder strikt.



Figuur 5.12 Schaderisico per dijkkring in 2050 bij (a) huidig beleid (trend) en bij verschillende beleidsopties die ruimtelijk verschillend uitpakken: (b) beschermen met beleid ('protect'), (c) leven met water ('accommodate') en (d) voorzichtig terugtrekken ('retreat').



Figuur 5.13 Slachtofferrisico per dijkkring in 2050 bij (a) huidig beleid (trend) en bij verschillende beleidsopties die ruimtelijk verschillend uitpakken: b) beschermen met beleid ('protect'), (c) leven met water ('accomodate') en (d) voorzichtig terugtrekken ('retreat').

5.3.5 Alternatief 5: Terugtrekken ('retreat')

Dit alternatief is eveneens onderzocht voor de studie Nederland Later. Het laat zien hoeveel kan worden bereikt met alleen ruimtelijk beleid, zonder aanpassing van het hoogwaterbeschermingsbeleid. Dat wil zeggen dat de toename van de kwetsbaarheid wordt beperkt, terwijl de overstromingskansen gelijk worden gehouden (wel meegroeien met de klimaatverandering, zoals vereist door de Waterwet). De beperking van de kwetsbaarheid uit zich vooral in een stabilisering van het slachtofferrisico, dat minder toeneemt dan bij huidig beleid (vergelijk kaart d met a in Figuur 5.13), omdat de bevolkingsgroei alleen nog in Hoog-Nederland plaatsvindt.

Het schaderisico neemt in dit alternatief nog wel toe, zij het langzamer dan bij autonome ruimtelijke ontwikkeling (vergelijk kaart d met kaart a in Figuur 5.13). De toename van het schaderisico is namelijk gebleken veel meer het gevolg te zijn van waardevermeerdering van het bestaande dan van nieuwe ontwikkelingen (Klijn *et al.*, 2007; zie ook Tabel 4.7).

5.3.6 Overzicht

Voor Nederland Later waren van sommige van de hier besproken alternatieven de gevolgen voor het overstromingsrisico al in kaart gebracht (Klijn *et al.*, 2007), zowel voor schades (Figuur 5.12) als slachtoffers (Figuur 5.13).

Zulke kaarten zijn vooral interessant als maatregelen regio-specifiek zijn en/of er door de maatregelen ruimtelijke verschillen ontstaan of bestaande ruimtelijke verschillen verminderen. Dat is vooral het geval bij de alternatieven 1 (alleen dijkverzwaring waar kosteneffectief), 4 (gericht op meer differentiatie in beschermingsniveaus en ruimtelijke-orderingsbeleid, en 5 (voornamelijk met ruimtelijk beleid).

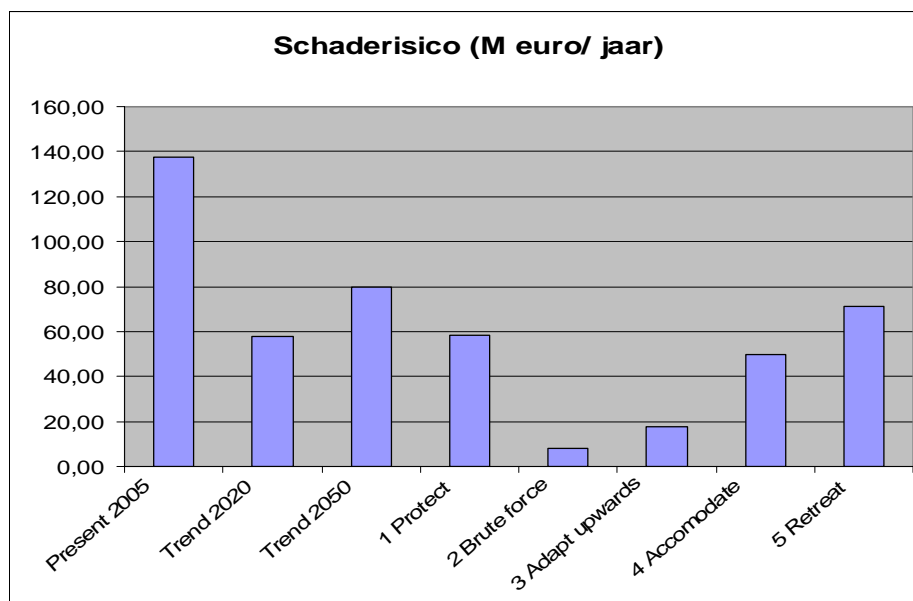
Bij alternatief 2 ('*Brute force*') wordt het risico overal factor 10 kleiner; bij doorbraakvrije dijken wordt – door de plaats van toepassing – het schaderisico vooral in het hele rivierengebied kleiner en het slachtofferrisico overal waar grote bevolkingsconcentraties zijn¹⁷. Van deze alternatieven zijn geen kaarten vervaardigd.

In histogrammen (Figuur 5.14 en Figuur 5.15) geven we voor alle vijf strategische alternatieven weer hoe groot het schade- en slachtofferrisico in 2050 is, opgeteld voor heel Nederland.

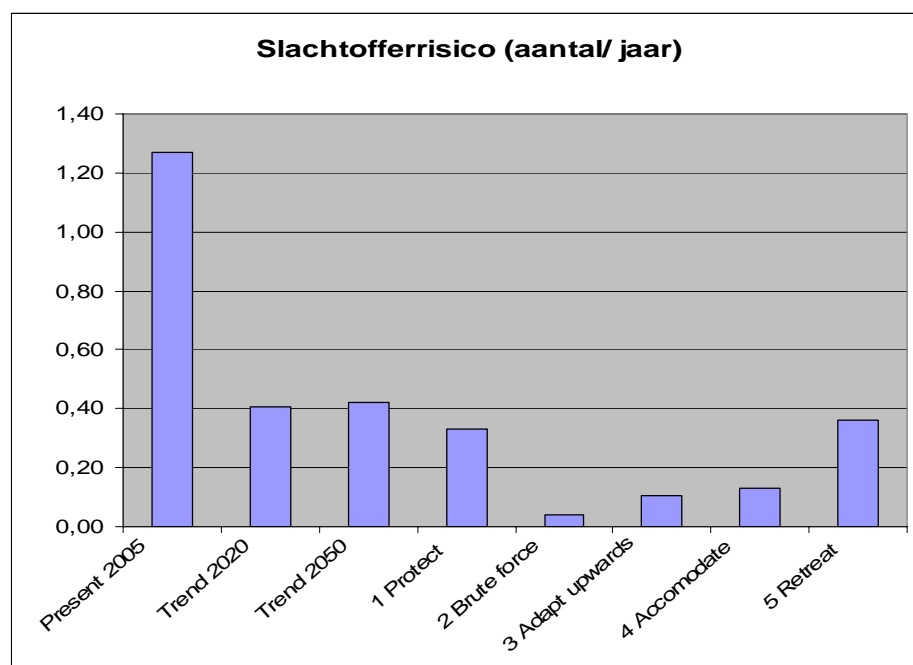
Figuur 5.14 laat tevens zien dat het schaderisico nog afneemt tot het moment dat alle maatregelen zijn uitgevoerd waar nu aan wordt gewerkt (Ruimte voor rivieren, aanpak zwakke schakels kust, e.d.), waarna bij voortzetting van het huidige beleid (= handhaven huidige normen) het schaderisico door economische groei weer toeneemt. Met alleen ruimtelijke ordening ('*Retreat*') kan deze toename enigszins worden beperkt.

Door extra bescherming ('*Protect*') en/of leven met water ('*Accomodate*') kunnen de risico's verder worden beperkt., zodanig dat de economische groei geheel wordt gecompenseerd ('*Protect*') of zelfs meer dan dat ('*Accomodate*'); beide strategieën leiden tot een lager schaderisico dan trend 2020. Met integrale dijkverzwaring ('*Brute force*') of doorbraakvrije dijken in ruim de helft van laag Nederland ('*Adapt upwards*') kan het schaderisico nog verder worden verlaagd.

¹⁷ Het slachtofferrisico in het rivierengebied was al relatief laag door de verhoudingsgewijs lange waarschuwingstijd en de daardoor goede evacuatiemogelijkheden.



Figuur 5.14 Gemiddeld jaarlijks schaderisico bij verschillende alternatieven in 2050, in vergelijking met de ontwikkeling van het risico in de tijd bij huidig beleid. Er is rekening gehouden met economische groei na enkele jaren van stagnatie rond 2010.



Figuur 5.15 Gemiddeld jaarlijks slachtofferrisico bij verschillende alternatieven in 2050, in vergelijking met de ontwikkeling van het risico in de tijd bij huidig beleid. Er is rekening gehouden met demografische ontwikkelingen.

De vermindering van het schaderisico van die twee alternatieven (2 en 3) ten opzichte van 'trend 2050' is in relatieve zin zeer groot (80-90%), maar in absolute zin betreft het slechts ca 80 respectievelijk 60 miljoen € per jaar. Dat kan een indruk geven van het 'economisch' maximaal te investeren bedrag dat mag worden uitgegeven om dit te bereiken, namelijk ca 25- 40 maal dat vermeden risico, afhankelijk van de gehanteerde discontovoet. Dat levert een maximum investering op van slechts ca 1,5 tot maximaal 3,2 miljard €. Bij de kostenschattting en de eindbeoordeling komen we hierop terug.

Figuur 5.15 laat zien dat het slachtofferrisico eveneens afneemt tot 2020, waarna het nauwelijks nog toeneemt doordat de bevolking nog maar nauwelijks groeit. Het gemiddeld jaarlijks slachtofferrisico is dan minder dan of hoogstens¹⁸ 1 per jaar. De alternatieven leiden alle tot een verdere verkleining van het slachtofferrisico.

Dat geldt het meest duidelijk voor die alternatieven die het overstromingsverloop proberen te beïnvloeden, dus 'adapt upwards' met z'n doorbraakvrije dijken en 'accomodate' met z'n overstroombare dijkvakken en van tevoren vastgestelde volgorde van vollopen. Bij 'brute force' is de slachtofferrisicovermindering gewoon evenredig aan de kansverkleining, evenals bij het schaderisico.

5.4 Beoordeling van de alternatieven

5.4.1 Beoordelingskader: duurzaamheidscriteria

Alternatieven kunnen worden vergeleken door ze te beoordelen op hun maatschappelijke kosten en baten op korte en lange termijn, of beter op hun bijdrage aan duurzame ontwikkeling. Daarbij gaat het om hun bijdrage aan de drie duurzaamheidsdomeinen (3 'P's') gelijkheid (*social equity/ people*), economische ontwikkeling (*economic efficiency/ profit*) en behoud c.q. ontwikkeling van natuur- en cultuurwaarden (*ecological integrity & cultural heritage/ planet*).

Daarnaast zijn bij menselijk ingrijpen ook de kosten van investering, beheer en onderhoud van belang, terwijl tegenwoordig ook wel aandacht uitgaat naar de vraag of de oplossingen robuust zijn (robuustheid) en aanpasbaar aan wijzigende omstandigheden en inzichten (flexibiliteit) (vergelijk De Bruijn *et al.*, 2008).

Hieronder gaan we eerst in op de kosten, aangezien we de mate van doelrealisatie ('baat') al in de voorgaande paragrafen hebben besproken. Daarna worden kort enkele relevante neveneffecten, besproken, zij het alleen in kwalitatieve termen. Tenslotte volgt een korte samenvattende beschouwing.

5.4.2 Kosten

De kosten van de verschillende alternatieven die al voor Nederland Later waren ontwikkeld (Klijn *et al.*, 2007) zijn indertijd globaal bepaald met behulp van ruwe kostenkennallen, zoals onder meer verkregen uit Ruimte voor de Rivier (Van der Linde *et al.*, 2004) en uit kostenramingen voor het project Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas (RBSO, zie Baan, 2005). Daarbij is gewerkt met zichtjaar 2040 en er is aangenomen dat nieuwe maatregelen over het algemeen pas na 2020 worden geïmplementeerd.

¹⁸ Er zijn veel onzekerheden rond slachtofferschattingen, zodat een slag om de arm bij 'absolute' getallen op z'n plaats is.

Er is uitgegaan van kosten volgens huidig prijspeil en van de meest goedkope oplossing, tenzij anders aangegeven. Voor de benodigde 'capaciteit' van de maatregelen (mate van dijkverhoging, mate van rivierverruiming, etc.) is uitgegaan van toegenomen rivierafvoeren en een hogere zeespiegel.

Verder zijn voor de andere – recentere – alternatieven ramingen gemaakt in andere projecten, zoals de Kentallen-KBA voor WV21 (Kind *et al.*, 2008), de Compartimenteringsstudie (Asselman *et al.*, 2009), de Quick-scan Doorbraakvrije dijken (Silva *et al.*, 2009), en recente – soms nog niet gepubliceerde – onderzoeken in het kader van Waterveiligheid 21^e eeuw. Daarbij is het zichtjaar vaak 2050, waardoor net iets ingrijpender maatregelen nodig zijn. De recentere ramingen zijn ook alle iets – soms veel! – hoger dan die van Klijn *et al.* (2007). In veel gevallen is dat verklaarbaar door de ingrijpender oplossingen die zijn gekozen, soms is het gevolg van extra opslagfactoren vooronzekerheid (tot ruim factor 2). Dat maakt de getallen lastig vergelijkbaar. Er is voor de vergelijkbaarheid getracht de ramingen enigszins consistent te krijgen, of er tenminste enige woorden aan te wijden.

Alle ramingen hebben het karakter van een 'orde van grootte'. Het overzicht van de kostenschattingen staat in Tabel 5.6.

Verder geldt voor de kostenschattingen het volgende:

- De periode tot 2020 wordt benut om de maatregelen uit Ruimte voor de Rivier uit te voeren, de waterkeringen op orde te brengen (in overeenstemming met de normen) en dijken te verhogen rekening houdend met de verwachte verhoging van de zeestand. De investeringskosten werden indertijd geschat op circa 3 miljard euro (Klijn *et al.*, 2007). Omdat dit geen 'nieuw beleid' betreft, worden deze kosten voor de verdere vergelijking val strategische alternatieven niet verder in beschouwing genomen.
- Bij continueren van het 'huidig beleid' (alternatief 0) en voor 'voorzichtig terugtrekken' (alternatief 5) zijn in de periode daarna tot 2040 maatregelen nodig om te blijven voldoen aan de huidige normen bij de toenemende maatgevende afvoeren in Rijn en Maas en een hogere zeespiegel. Daartoe moeten de rivieren verder worden verruimd, zandsuppleties worden geïntensiveerd en dijken worden verhoogd. De investeringskosten daarvan zijn indertijd geraamd op circa 1,5 miljard euro. We ronden ze nu af op 2 miljard.

Alternatief 1: Voor het alternatief 'Beschermen' zijn na 2015 verschillende maatregelen nodig om het beschermingsniveau op peil te houden en voor een aantal dijkkringen extra te verhogen (zie Tabel 5.6). De kosten van de maatregelen voor dit alternatief werden door Klijn *et al.* (2007) geschat op ca 2,3 miljard euro, waarvan ongeveer 700 M€ voor dijkverzwaring als gevolg van normverhoging.

Voor WV21 is geschat dat dijkverzwaring met het oog op optimale kosten/baten voor 2050 zou uitkomen op ruim 5 miljard euro voor 1400 km dijk, nog zonder aanpassing aan hogere waterstanden door klimaatverandering; dat is gemiddeld 3,5 M€/ km. In WV 21 wordt voor meer dijkkringen de norm verhoogd dan in het hier gepresenteerde alternatief is gebeurd en ook is de normverhoging ingrijpender. Toch is het verschil in kosten opmerkelijk.

Aangezien in het hier geschetste alternatief voor minder dijkkringen tot normverhoging wordt overgegaan dan in de studie voor WV21 en omdat meer met overhoogte van de bestaande dijken en tevens met systeemwerking rekening wordt gehouden, worden de kosten van dit gehele alternatief lager geschat, maar voor de vergelijkbaarheid niet meer zo laag als in Klijn *et al.* (2007): tussen 2,5 en 3 miljard.

Tabel 5.6 Globale ramingen (in miljard euro) van investeringskosten in waterkeren/ waterbeheer per strategisch beleidsoptie

Kostenpost	0 Huidig beleid 2015 tot 2050	1 Bescher- men 2015 tot 2050	2 Brute kracht 2015 tot 2050	3 Technisch ontkoppelen 2015 tot 2050	4 Leven met water 2015 tot 2050	5 Terugtrek- ken 2015 tot 2050
<ul style="list-style-type: none"> waterkeringen op orde brengen maatregelen Ruimte voor de Rivier rivierverruimen Rijntakken en Maas/ dijkverhogen, extra zand suppleren 	1,3 ¹	1,3 ¹	0 ²	1,3 ¹		1,3
subtotaal	1,3	1,3	0	1,3		1,3
<ul style="list-style-type: none"> extra dijkverhogen vanwege aanpassing van normen 		0,7	11			
<ul style="list-style-type: none"> kustversterking Ter Heide, Hondsbosse zeewering, duinen Petten tot Den Helder 	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4
<ul style="list-style-type: none"> overdijken ter bescherming van stedelijk gebied: Rotterdam/Krimpen, Arnhem-Zuid, Nijmegen-Noord, Zwolle, Gorinchem, Spijkenisse verhogen dijk Enkhuizen – Lelystad ter bescherming van Almere 		0,1				
subtotaal		0,05			0,05	
		0,15			0,05	
<ul style="list-style-type: none"> doorbraakvrij maken van dijken 				3,0		
<ul style="list-style-type: none"> kleppen in regionale stelsels 					0,05	
<ul style="list-style-type: none"> bypasses in de IJssel bij Deventer, Zutphen en Kampen 					0,9	
<ul style="list-style-type: none"> compartimenteren: in Betuwe langs Amsterdam-Rijnkanaal, op Voorne-Putten langs Spijkenisse, verhogen Knardijk in Flevoland, aan de Duitse grens van Spijk naar Hoch-Elten, en langs A2 bij Den Bosch 					0,4	
<ul style="list-style-type: none"> overstroombare dijkvakken 					1,8	
totaal³	1,5 – 2,0	2,5 – 3,0	10 - 12	4,5 – 5,0	3,2 – 3,7	1,5- 2,0

¹ Uitgaande van een verhoging van de maatgevende afvoer in de Rijn van 16.000 tot 17.000 m³/s en in de Maas van 3.800 naar 4.200 m³/s.

² Bij de ingrijpende dijkverzwaringen in dit alternatief is aangenomen dat de aanpassing aan klimaatverandering zonder meerkosten kan worden verdisconteerd.

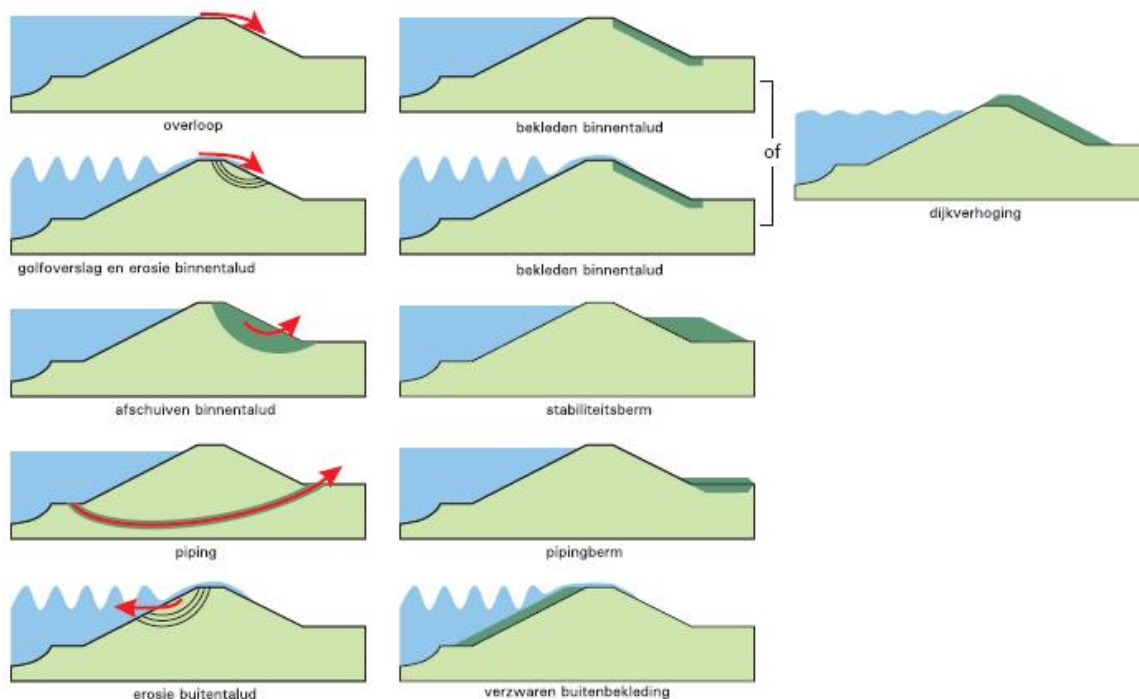
³ Alle totalen zijn onzeker en slechts bedoeld voor onderlinge vergelijking. Een bandbreedte van +/- 50% moet zeker worden aangehouden.

Alternatief 2: Voor het alternatief 'Brute kracht' moeten alle dijken worden verzwaard en verhoogd met één decimeringshoogte. De kosten daarvan zijn geraamd voor de Quick-scan 'Beleidsopties voor nieuwe normering' in het kader van WV21 (Deltares, in voorbereiding).

Er is begroot dat ruim 2200 km dijk moet worden verzwaard voor 11 a 12 miljard euro. Daarbij is nog geen rekening gehouden met aanpassing aan hogere waterstanden, maar evenmin met overhoogten van dijken, systeemwerking, e.d. Deze investering komt overeen met circa 5 M€/ km.

Omdat synergievoordelen zijn te behalen door de dijkverzwaringen in één keer goed te doen, wordt hier aangenomen dat voor 10-12 miljard totaal ook de klimaatverandering wel even goed wordt gerepareerd als in de andere alternatieven.

Alternatief 3: Voor de kosten van doorbraakvrije dijken kan worden teruggegrepen op eenheidsprijzen zoals opgesteld door Niemeijer (2008) per uit te voeren maatregel: verflauwen binnentalud, verzwaren buitenbekleding of binnentalud, aanleg berm, damwand, etc. (Silva & Van Velzen, 2008; blz. 56). In de Quick-scan Doorbraakvrije dijken is begroot dat het doorbraakvrij maken van alle categorie-a¹⁹ dijken *langs alle rijkswateren* in geheel Nederland bijna 6,4 miljard euro zou kosten. Dat betreft het doorbraakvrij maken van ca 2500 km waterkeringen zonder deze te verhogen, voor gemiddeld 2 – 4 miljoen €/km afhankelijk van de plaats²⁰. Zeer hoge kosten moeten worden gemaakt als er geen ruimte is en een damwand – of vergelijkbare technische oplossing – nodig is: bijna 7 M€/km.



Figuur 5.16 Faalmechanismen en maatregelen om dijken doorbraakvrij te maken.

¹⁹ Dat zijn grofweg dijken tussen water en land

²⁰ In de Nadere Verkenning Centraal Holland (Asselman mond. meded.) blijken de kosten gauw een factor 2-2,5 hoger uit te vallen als gevolg van locatiespecifieke moeilijkheden (bestaande bebouwing e.d.)

Als tevens zou worden geanticipeerd op klimaatverandering en een stijgende zeespiegel zouden de totaalkosten ca 11 miljard euro zijn, omdat de maatgevende waterstanden dan omhoog gaan en voorsnog is aangenomen dat de norm voor overschrijdingskans blijft gelden.

Of dat – gezien de bereikte risicoreductie door veel geringere schades en kleinere kans op slachtoffers – wel noodzakelijk c.q. wenselijk is, is discutabel. De meerkosten voor anticiperende verhoging betreffen vooral de kust, Wadden, estuaria en het IJsselmeer. Voor de rivieren is namelijk aangenomen dat rivierverruiming waterstandverhoging kan voorkomen.

Silva & Van Velzen (2008) schatten ook dat door synergie met de Hoogwaterbeschermingsprogramma's (opwaardering van de dijken waar nodig na de verplichte 5-jaarlijkse toetsing) een kostenreductie van 60-80% haalbaar is. Dat zou een extra investering voor het doorbraakvrij maken van alle dijken betekenen van slechts ca 1,3 - 2,5 miljard euro. De gewenste eindsituatie zou dan geleidelijk tot stand kunnen worden gebracht.

Voor het hier geschetste alternatief is uitgegaan van het doorbraakvrij maken van voorsnog – vóór 2050 – alleen de dijken in het riviereengebied en dijken die risicovolle plekken beschermen: bevolkingsconcentraties en polders waarin de schade vrij hoog zal zijn. Aldus is de kosteneffectiviteit van de maatregel ook het grootst (vergelijk Kind, 2008), maar belangrijker is dat grote aantallen slachtoffers worden voorkomen. We schatten dat in een dergelijk alternatief ca 50 % van alle waterkeringen moet worden aangepakt, deels op lastige plaatsen zoals in het Rijnmondgebied en de Drechtsteden (duur), maar verder vooral langs de (beneden- en boven-)rivieren (relatief goedkoper dan zeedijken) en nauwelijks langs de meren en de kust. Dat zou moeten kunnen voor ca 3 miljard euro.

Samen met de eveneens noodzakelijke rivierverruiming en aanpassingen in verband met de oplopende waterstanden door klimaatverandering, komt het totaal dan op circa 4,5- 5 miljard euro.

Alternatief 4: Voor het alternatief 'ruimte voor water' vormt het realiseren van overstroombare dijkvakken (overlaten) in alle dijkkringen een belangrijke kostenpost. In totaal werden de investeringskosten voor dit alternatief indertijd geraamd op ongeveer 3 miljard euro (Klijn *et al.*, 2007). Voor de vergelijkbaarheid trekken we dat bedrag iets op: 3,2 – 3,7 miljard.

Alternatief 5: Voor 'voorzichtig terugtrekken' geldt net als voor continueren van het huidig beleid dat er in de periode tussen 2015 en 2050 maatregelen nodig zijn om te blijven voldoen aan de huidige normen bij de toenemende maatgevende afvoeren in Rijn en Maas en een hogere zeespiegel. Daartoe moeten de rivieren verder worden verruimd, zandsuppleties worden geïntensiveerd en dijken worden verhoogd. De investeringskosten daarvan zijn geraamd op ca 1,5 miljard euro. Voor de ruimtelijke orderingsmaatregelen nemen we aan dat nieuwvestiging elders niet duurder is dan in overstroombaar gebied – en bovendien niet op de algemene middelen drukt.

5.4.3 Neveneffecten

Vrijwel alle alternatieven, met uitzondering van 5, berusten op forse aanpassingen van dijken. 'Brute kracht' (2) betekent verzwarend van alle dijken, 'Beschermen (1) doet dat alleen waar economisch verantwoord, 'Technisch ontkoppelen' (3) betekent dat veel dijken doorbraakvrij gemaakt moeten worden (niet hoger, wel sterker en dus breder). Alternatief 4 ('Ruimte voor water'/ leven met water) maakt gebruik van bypasses, overlaten en compartimenteringsdijken.

In die zin betekenen al deze alternatieven een mogelijk forse aantasting van het landschap, met mogelijke schade aan natuur- en cultuuroederen. De mate waarin neemt af van 2 > 1 > 3 > 4.

Alternatief 5 en 0 (huidig beleid) gaan uit van dijkverzwaring alleen ter compensatie van waterstandstijging door klimaatverandering. Die vallen qua impact op natuur en landschap tussen alternatieven 3 en 4.

De gevolgen van majeure ingrepen in het hoofdwatersysteem als gevolg van de 'deltabeslissingen' over het Rijnmondgebied en het IJsselmeergebied zijn vermoedelijk veel groter. Die zijn echter niet één op één gekoppeld aan de hier behandelde alternatieven: vrijwel alle ingrepen in het hoofdsysteem zijn te combineren met elk van de hier besproken strategische alternatieven voor het omgaan met overstromingsrisico's. Ze leiden slechts tot een andere plaats en omvang van de 'opgave', zoals aangegeven in Tabel 5.4 en Tabel 5.5. Omdat die ingrepen in het kader van het Deltaprogramma uitgebreid bestudeerd zullen worden gaan we er hier niet verder op in.

5.4.4 Vergelijking alternatieven

Een eerste criterium om de alternatieven te vergelijken zijn de totale maatschappelijke kosten, als combinatie van investerings- en onderhoudskosten en resterend schaderisico. Dat laatste is immers ook een kostenpost. Door beide op jaarbasis te berekenen kunnen de maatschappelijk 'goedkoopste' strategieën worden geselecteerd. Dat hoeft niet de meest gewenste strategie te zijn, maar het geeft wel een indruk van hoe effectief het beleid gericht op overstromingsrisicoreductie is.

Tabel 5.7 Kosten en effecten van de strategische beleidsalternatieven vergeleken met de situatie 2015

	0 huidig beleid	1 Bescher- men	2 Brute kracht	3 Technisch ontkoppelen	4 Leven met water	5 Terugtrekken
kosten en effecten (miljoen €/jaar):						
- kosten ¹	53-70	88-105	350-420	158-175	112-130	53-70
- toe- of afname schaderisico ²	22-67	1-10	- 50- -150	-40- -118	-8- -59	14 - 41
netto kosten	75-137	88-115	200-370	39-135	53-122	66-111
toe- of afname slachtofferrisico (aantal per jaar) ^{3,4}	+ 0,01	- 0,08	- 0,36	- 0,30	- 0,27	- 0,05

¹ Jaarlijkse kosten zijn gesteld op 3,5% van de investeringskosten. Hogere kosten zijn vanuit het perspectief van maatschappelijke kosten en baten negatief.

² Schaderisico = jaarlijkse kans op overstroming x schade.

³ Slachtofferrisico = jaarlijkse kans op overstroming x aantal verwachte slachtoffers.

⁴ Het verlies van mensenlevens bij overstromingen kan worden gemonetariseerd, maar met de daarvoor gebruikelijke bedragen (ca 2.2 miljoen euro (bron: Gauderis, 2006)) is de bijdrage van het slachtofferrisico aan de netto kosten klein tot verwaarloosbaar.

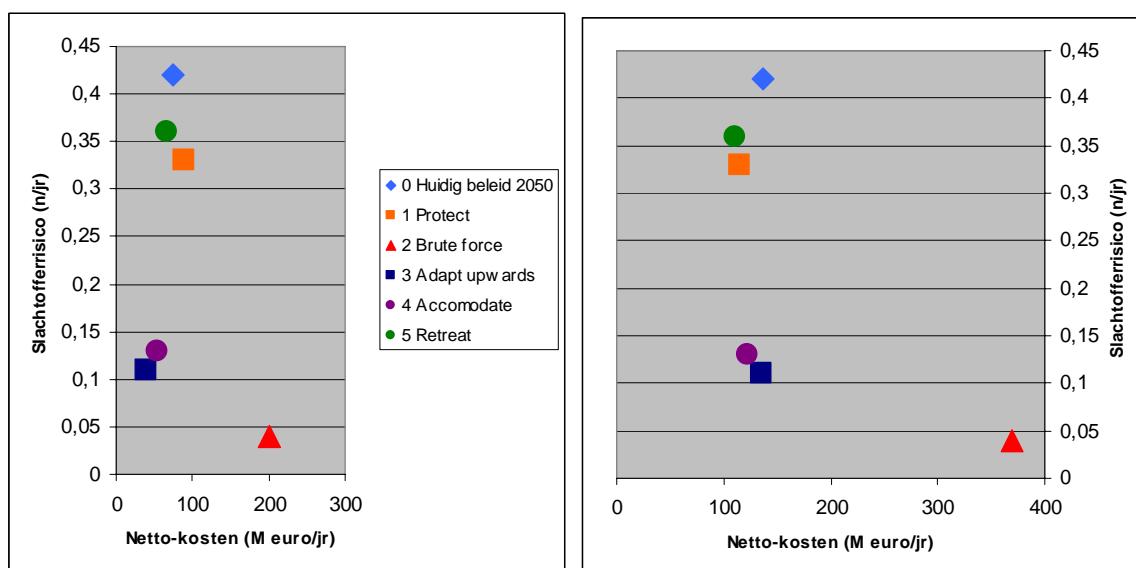
In Tabel 5.7 zijn de jaarlijkse kosten van de hier geschetste alternatieven in beeld gebracht, evenals de effecten op het slachtofferisico. De gegeven bandbreedtes voor de netto-kosten vloeien voort uit bandbreedtes rond de investeringskosten en bandbreedtes rond de reductie van het schaderisico.

We zien een grote overlap in netto-kosten tussen de strategieën, maar we zien ook dat alternatief 2 (brute force) weliswaar de grootste schade- en slachtofferreductie oplevert maar netto ook veel duurder uitpakt dan de subtielere alternatieven.

Terugtrekken (alternatief 5) is net iets gunstiger dan huidig beleid, en geeft een idee van wat met alleen ruimtelijk beleid kan worden bereikt. Dat is een geringe verlaging van zowel het schade- als het slachtofferisico.

Technisch ontkoppelen (3) en Leven met water (4) scoren qua netto kosten slechts fractioneel beter dan voortzetting van het huidig beleid en vrijwel even goed als Beschermen (1). Deze alternatieven ontlenen echter een duidelijke meerwaarde aan de reductie van het slachtofferisico.

Als we de slachtofferisico's afzetten tegen de netto kosten (inclusief het resterende schaderisico; Figuur 5.17) dan zien we dat continuering van het huidig beleid maatschappelijk gezien niet langer het goedkoopst is, en ook nog eens het grootste potentiële aantal slachtoffers kent. Als we veel slachtoffers willen voorkomen voor weinig geld, dan scoren alternatieven 4 ('accommodate') en 3 ('adapt upwards') het gunstigst, omdat bij deze alternatieven overlaten respectievelijk doorbraakvrije dijken worden toegepast waar deze het meest effectief zijn in het verkleinen van de gevolgen.



Figuur 5.17 Slachtofferisico als functie van netto jaarlijkse kosten van een strategisch beleidsalternatief (hier zonder onzekerheidsmarges, met links de ondergrens van de kosten, rechts de bovengrens).

Hierbij wordt nog opgemerkt dat de onzekerheidsmarges rond het aantal slachtoffers en rond de schade bij deze alternatieven ook kleiner zijn, omdat de kans op dijkbreuk wordt geminimaliseerd. Dat betekent een kleinere kans op volstrekt onbeheersbare overstromingen en/of cascaderwerking. Alternatief 4 maakt daarbij zelfs gebruik van systeemwerking, door de volgorde van overstromen van te voren vast te leggen.

Tenslotte is relevant dat de robuustheid van de verschillende oplossingen verschilt: de alternatieven die uitgaan van traditionele dijken (0, 1, 2) zijn in zoverre kwetsbaar dat een extreme omstandigheid (of een andere eventualiteit) grote gevolgen kan hebben in termen van overstromingsschade en/of grote aantallen slachtoffers. De alternatieven die berusten op doorbraakvrije dijken zijn veel robuuster, omdat de gevolgen geleidelijker (meer proportioneel) toenemen met ergere situaties; en omdat herstel van 'wateroverlast' makkelijker is dan van een dijkdoorbraak. Alternatief 3 ontleent die robuustheid aan het beperken van de blootstelling overal waar dit relevant is, terwijl alternatief 4 nog meer gebruik maakt van 'veerkracht' door de doelbewuste differentiatie van beschermingsniveaus en de vooraf vastgelegde volgorde van overstromen met bijbehorende ruimtelijke ordeningsmaatregelen. 'Terugtrekken' (alternatief 5) leidt op lange termijn tot een minder kwetsbare samenleving.

6 Probleemanalyse: wat betekenen de veranderingen voor droogterisico's?

6.1 Risicobegrip en droogte

Het begrip droogterisico is nog niet eerder operationeel gemaakt. Naar analogie met overstromingsrisico's zou het kunnen worden gedefinieerd als de relatie tussen kans van optreden en bijbehorende gevolgen van droogte. Eén manier om dat te kwantificeren is deze relatie grafisch weer te geven (met F-D curves, naar analogie van F-N curves); een andere is om de jaarlijkse verwachtingswaarde van de droogteschade te bepalen.

Om de verwachtingswaarde te bepalen zou idealiter een lange tijdserie van droge en natte jaren doorgerekend moeten worden. In plaats daarvan wordt veelal de verwachtingswaarde berekend op basis van een aantal karakteristieke droogtejaren (Haskoning, 2007; Van Beek *et al.*, 2008). Deze jaren zijn zo gekozen dat het uitzetten van de schade tegen de frequentie van voorkomen een goede spreiding van uitkomsten geeft, van zeldzame grote schade tot frequente geringe schade. De jaarlijkse verwachtingswaarde voor de schade kan vervolgens bepaald worden door het oppervlak onder de grafiek te berekenen.

6.1.1 Waterbalansen

Voor een analyse van droogterisico's zijn waterbalansen de basis. Op de schaal van heel Nederland kunnen dan twee deelbalansen worden beschouwd. Ten eerste is dat de klimatologische – verticale – balans: neerslag versus verdamping. Die is overal van toepassing, want het regent overal en verdamping treedt ook overal op. Wel zijn er forse regionale verschillen. En er zijn grote verschillen tussen seizoenen: 's winters is er een fors neerslagoverschot, 's zomers een verdampingoverschot. Die verschillen kunnen bij de + - klimaatscenario's nog groter worden, omdat de winters dan natter worden en de zomers droger.

Om wateroverlast in natte tijden te voorkomen wordt water afgevoerd en uitgemalen. Om droogte te bestrijden wordt 's zomers water aangevoerd uit de rivieren. De rivieren vormen daarmee de tweede belangrijke deelbalans, met aanvoer vooral via Rijn en Maas met nog een klein beetje uit kleinere rivieren en beken. Tegenover de aanvoer vanuit het zuiden en oosten staat een afvoer naar zee over de westelijke en noordelijke landsgrens. Dit is de horizontale waterbalans van Nederland.

Voor de beeldvorming is de waterbalans van Nederland weergegeven in Tabel 6.1. Daaruit blijkt dat in het huidige klimaat de jaarlijkse waterbalans van Nederland gemiddeld vooral bepaald wordt door de instroming van de rivieren (factor 3 groter dan de regenval) en dat het verbruik (verdamping en feitelijk gebruik) minder dan een kwart is van de beschikbare hoeveelheid.

In een extreem droog jaar is het beeld vergelijkbaar, maar zijn de verschillen iets kleiner.

Tabel 6.1 Waterbalans van Nederland (landoppervlak plus zoete wateren: 36,750 km²) gemiddeld voor de periode 1971-2000 en voor een extreem droog jaar (1976) (NHV, 2004).

	Gemiddeld		Extreem droog jaar (1976)	
	mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³
In				
Regenval	795	29.200	535	19.700
Rijn (aan de grens)	1.915	70.400	1.130	41.500
Maas (aan de grens)	200	7.400	95	3.500
Andere rivieren	90	3.300	40	1.500
Totaal	3.000	110.300	1.800	66.200
Uit				
Verdamping	565	20.700	528	19.400
Gebruik	60	2.300	163	6.000
Uitstroming naar zee	2.375	87.300	1.109	40.800
Totaal	3.000	110.300	1.800	66.200

6.2 Veranderende kansen op droge, zeer droge en extreem droge jaren

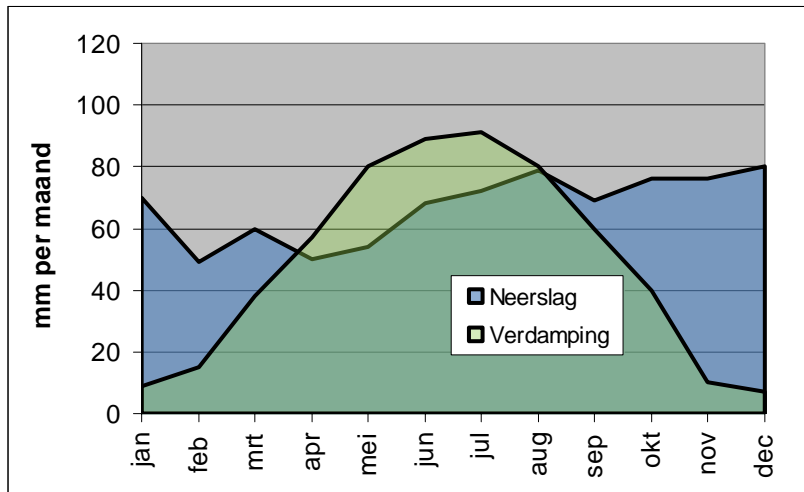
De klimaatscenario's wijzen op toenemende neerslag in de winter en veel grotere verdamping in de zomer. Het W+ scenario verschilt op die punten het sterkst met het huidige klimaat. Daarom wordt hieronder vooral op dat scenario ingegaan.

We zullen achtereenvolgens ingaan op de verticale waterbalans met nadruk op het groeiseizoen en op de horizontale balans van rivieraanvoer en afvoer naar zee.

6.2.1 Verticale waterbalans: neerslagtekort

De verticale waterbalans heeft betrekking op de verhouding tussen neerslag en verdamping. Beide variëren gedurende het jaar. De verticale waterbalans is een belangrijke indicator van het klimaat (zie bijv. de Bosatlas of The Times Atlas of the World).

Voor de landbouw is vooral de waterbalans in het groeiseizoen belangrijk. Daarbij wordt vaak het begrip neerslagtekort gebruikt (Figuur 6.1). Dit neerslagtekort wordt bepaald door de 'verticale waterbalans' van neerslag en verdamping, maar dan met de nadruk op het groeiseizoen. Door variaties in neerslag en verdamping varieert het neerslagtekort over de jaren.



Figuur 6.1 Neerslagtekort in verloop van een jaar (gemiddeld) bij het huidige klimaat

Omdat het modelinstrumentarium (PAWN) veel rekentijd vraagt (doorrekenen van 1 jaar vergt ongeveer 30 uur), is zowel in de Droogtestudie (Rijkswaterstaat-RIZA, 2005) als door Van Beek *et al.* (2008) gekozen voor het doorrekenen van representatieve 'droogtejaren'. Een droogtejaar is een historisch jaar dat karakteristiek is voor een bepaalde mate van droogte (zie Tabel 6.2).

PAWN-instrumentarium

Voor de bepaling van de effecten van de klimaatscenario's en verschillende wateraanvoermaatregelen is gebruik gemaakt van het PAWN-instrumentarium²¹. Dit instrumentarium berekent eerst de hydrologische omstandigheden zoals grondwaterstanden, kwel en infiltratie, waterpeilen, inlaat gebiedsvreemd water en zoutconcentratie in de bodem en in het oppervlaktewater. Deze omstandigheden worden vervolgens gebruikt om de effecten op gebruiksfuncties zoals landbouw, natuur en scheepvaart te berekenen.

Het PAWN-instrumentarium omvat de volgende computermodellen:

- NAGROM voor het diepe grondwater,
- MOZART het model voor de onverzadigde zone,
- het Distributiemodel voor de waterverdeling van oppervlaktewater,
- AGRICOM voor de landbouwschade,
- DEMNAT voor de effecten op natuur, en
- het Scheepvaartmodel voor de gevolgen voor de scheepvaart.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met een ruimtelijke resolutie van 500 bij 500 m en een temporele resolutie van decaden (ca. 10 dagen). Uitgebreide informatie over de modellen en het soort resultaten dat ze opleveren is te vinden in Van Beek *et al.* (2008).

21. Voor de 'Zoetwaterverkenning' (Van Velzen *et al.*, in voorbereiding) die plaatsvindt in het kader van het Deltaprogramma worden grote delen van het PAWN-instrumentarium vervangen door het NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium). Dat instrumentarium was voor deze studie nog niet operationeel.

Een reeks droogtejaren geeft een goed inzicht in de mogelijke droogtesituaties en kan worden gebruikt om het droogterisico (verwachtingswaarden) af te leiden. Voor de 'verticale waterbalans' of 'klimatologische droogte' zijn 5 karakteristieke jaren (Tabel 6.2) gebruikt met verschillend neerslagtekort.

Tabel 6.2 Karakteristieke jaren en hun neerslagtekort en herhalingsjijd zoals gebruikt voor de bepaling van schadeverwachting in de landbouw (KNMI, 2005).

Soort jaar	neerslagtekort (mm)	herhalingsjijd (jaar)	overschrijdings frequentie (1 / jaar)
Gemiddeld (1967)	151	2,5	0,400
Matig droog (1996)	199	6,7	0,149
Droog (1949)	226	11,7	0,083
Zeer droog (1959)	352	70,9	0,014
Extreem droog (1976)	361	89,4	0,011
Statistisch gemiddelde (1906-2000)	144		

Hoe bij de verschillende klimaatveranderingsscenario's de neerslagtekorten veranderen is weergegeven in Tabel 6.3. Uit de kolommen met neerslagtekorten valt af te leiden dat het neerslagtekort dat nu in een droog jaar voorkomt, bij het G+ scenario het neerslagtekort is in een matig droog jaar en bij het W+ scenario het neerslagtekort in een gemiddeld jaar.

Kijken we naar de herhalingsjijden dan zien we dat de frequentie van (of kans op) droogte toeneemt: alle karakteristieke 'droogtejaren' laten in alle scenario's een kortere herhalingsjijd zien, het minst pregnant in scenario G, het meest pregnant in scenario W+.

Tabel 6.3 Neerslagtekorten (mm) als maat voor droogte en herhalingsjijden van de droogtejaren zoals gebruikt bij de kwantificering van de effecten (Van Beek et al., 2008).

Soort jaar	Neerslagtekort 2050 (in mm)					Herhalingsjijd 2050				
	Huidig	G	G+	W	W+	Huidig	G	G+	W	W+
Gemiddeld (1967)	151	159	193	168	235	3	2	1,5	2	1,2
Matig droog (1996)	199	208	230	217	265	7	6	3	5	2
Droog (1949)	226	237	270	248	315	12	10	5	8	2
Zeer droog (1959)	352	366	397	381	443	71	52	31	40	20
Extreem droog (1976)	361	376	401	391	440	89	64	36	47	22
Statistisch gem.(1906-2000)	144	151	179	158	220					

6.2.2 Horizontale waterbalans: lage rivierafvoeren

Jaren met lage rivierafvoeren en jaren met grote neerslagtekorten in Nederland blijken niet gelijk op te gaan. Lage rivierafvoeren treden ten eerste vaak op in het vroege voorjaar (vorstperioden) of het najaar, als het groeiseizoen nog niet is begonnen of al afgelopen is. Ten tweede hangen lage rivierafvoeren natuurlijk samen met het weer in een veel groter deel van Noordwest-Europa dan alleen Nederland. En ten derde worden ze sterk beïnvloed door de omstandigheden voorafgaand aan de periode met lage afvoer.

Voor Nederland klimatologisch droge jaren en jaren met lage rivierafvoer vallen dan ook vaak niet samen.

Ook voor de rivierafvoeren is zowel in de Droogtestudie (Rijkswaterstaat- RIZA, 2005) als door Van Beek *et al.* (2008) gekozen voor het doorrekenen van 'droogtejaren'. Het gaat echter om andere jaren – een 7-tal – die deels afwijken van de 5 jaren die zijn gebruikt voor de verticale waterbalans (Tabel 6.4) Deze 7 jaren zijn gekozen op grond van een zogenaamd 'afvoertekort' van de Rijn. Er is sprake van een afvoertekort als de afvoer (decadegemiddeld) onder een in internationaal verband afgesproken niveau komt (voor de Rijn 1800 m³/s) en de scheepvaart op de Waal minder diep kan afladen.

Tabel 6.4 Karakteristieke jaren en hun afvoertekort en herhalingsjijd (persoonlijke mededeling Timo Kroon, Waterdienst, 2008).

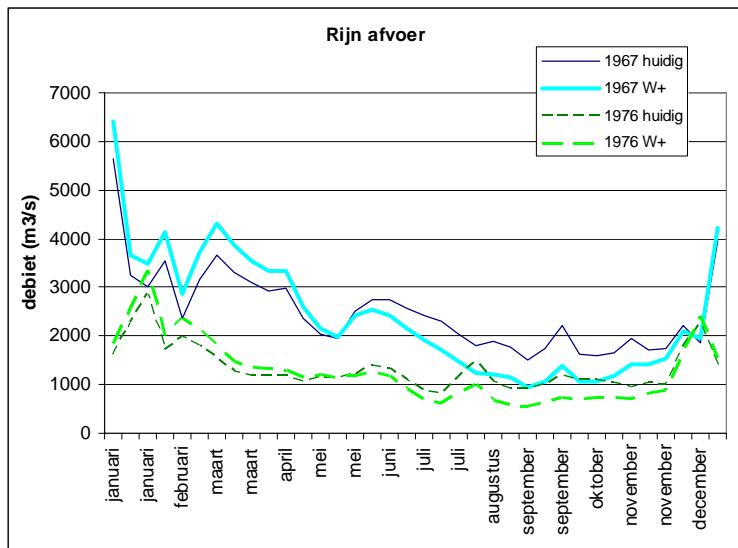
Jaar	afvoertekort (10 ⁶ m ³)	herhalingsjijd (jaar)
1976	10.851	58,4
1949	9.402	36,6
1959	5.373	8,0
1996	4.977	6,8
1983	1.665	1,6
1999	1.220	1,4
1967	445	0,6

Door de veranderingen in neerslag en verdamping mee te nemen in hydrologische modellen voor het stroomgebied van Rijn en Maas (Rhineflow en Meuseflow) zijn de afvoeren bij een veranderd klimaat berekend (Van Deursen, 2006). Tabel 6.5 geeft de procentuele verschillen bij de twee voor droogte meest relevante klimaatscenario's. Er is vervolgens **aangenomen dat** de procentuele veranderingen gelijk zijn voor de verschillende droogtejaren.

Tabel 6.5 Gemiddelde verandering (%) van de maandaafvoer van Rijn en Maas bij G+ en W+ scenario's.

maand	Rijn (Lobith)		Maas (Borgharen)	
	G+	W+	G+	W+
jan	7,5	14,3	4,3	8,6
feb	9,4	18,2	4,8	9,6
mrt	7,8	16,1	4,8	10,3
apr	5,6	11,9	2,6	6,2
mei	0,5	1,5	-2,3	-3,0
jun	-6,5	-11,9	-8,5	-13,5
jul	-12,9	-24,6	-13,8	-22,4
aug	-18,6	-34,4	-16,0	-24,8
sep	-20,3	-37,3	-16,9	-25,5
okt	-17,7	-32,8	-20,8	-35,5
nov	-9,6	-18,6	-13,4	-25,9
dec	1,2	2,2	-0,3	-2,1

Deze procentuele toe- en afnamen kunnen vervolgens weer worden toegepast op verschillende jaren (zoals geïllustreerd in Figuur 6.2) en op langjarige meetreeksen (Van Beek *et al.*, 2008). De op deze manier afgeleide reeksen zijn als invoer voor het PAWN-instrumentarium gebruikt.



Figuur 6.2 Afvoer van de Rijn in een gemiddeld (1967) en een extreem droog jaar (1976) bij het huidige klimaat en bij het W+- scenario in 2050.

In Tabel 6.6 wordt het hieruit afgeleide jaargemiddelde percentage van de tijd gegeven dat een bepaalde afvoer bij Lobith wordt onderschreden.

Tabel 6.6 Percentage van de tijd (%) dat bij verschillende klimaatscenario's in 2050 de afvoer bij Lobith lager is dan aangegeven in kolom 1.

Lobith (m ³ /s)	G	G+	W	W+
2500	61,7%	66,4%	60,1%	66,9%
2250	54,3%	60,1%	52,2%	60,8%
2000	42,0%	48,5%	40,1%	51,8%
1750	29,8%	37,6%	27,7%	42,9%
1500	18,1%	26,6%	16,6%	32,6%
1250	9,6%	15,1%	8,9%	22,0%
1000	3,1%	7,6%	2,3%	12,5%
700	0,1%	0,7%	0,0%	2,5%
500	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%

6.2.3 Afgeleide effecten: verzilting

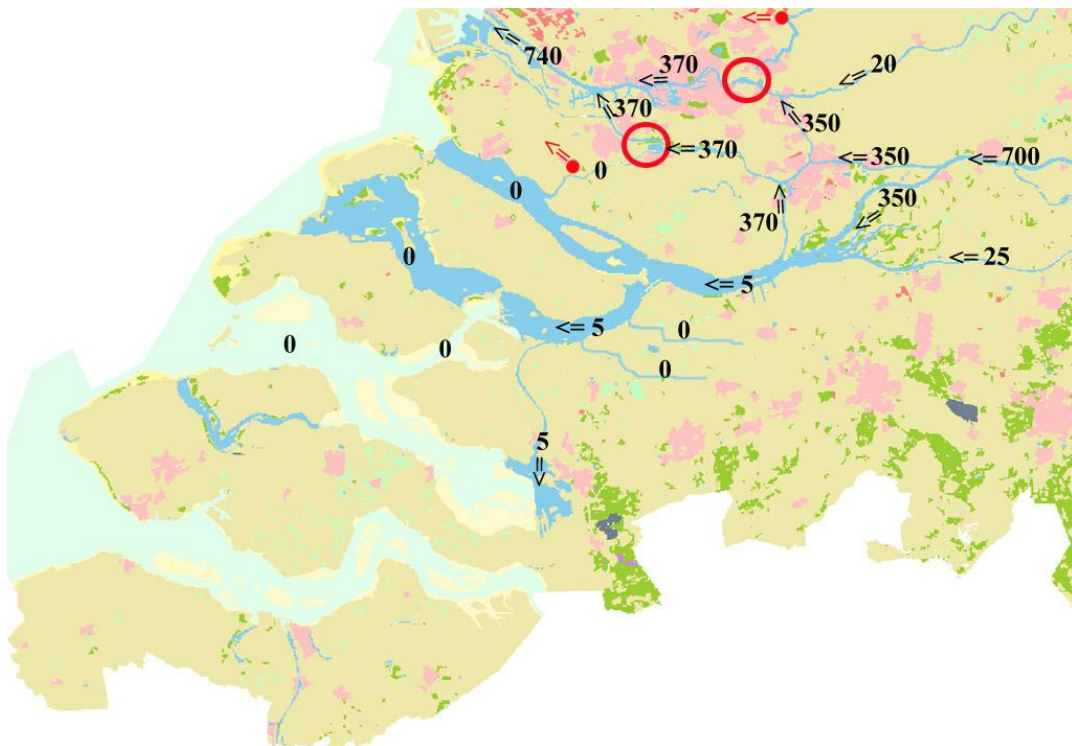
Als gevolg van de grotere neerslagtekorten daalt op veel plaatsen de grondwaterstand in de zomer. Dat leidt tot meer kwel, zeker bij lage polderpeilen en hogere buitenwaterstanden (zeespiegel). Waar de kwel brak of zout is wordt dat *interne verzilting* genoemd.

Het beheer van de Haringvlietsluizen is erop gericht zoutindringing via de Nieuwe Waterweg te voorkomen, opdat de zoetwaterinname van Centraal-Holland via Gouda en de Bernisse niet in gevaar komt. Dat betekent dat in perioden met lage rivierafvoer bijna de volledige Rijn- en Maasafvoer via de open Nieuwe Waterweg naar zee wordt geleid (Figuur 6.3).

Als gevolg van zeespiegelstijging en lagere rivierafvoeren zal dit steeds minder succesvol zijn: de zoutconcentratie in het benedenrivierengebied zal ook hoger kunnen worden, doordat de zouttong via de Nieuwe Waterweg verder kan optrekken. Dit wordt *externe verzilting* genoemd.

Het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen (bestaand beleid) en het weer zout maken van het Volkerak-Zoommeer (voorgenomen beleid) kunnen de toename van de zoutbelasting nog iets vergroten. Beide maatregelen zijn ingegeven door motieven om de waterkwaliteit en natuurkwaliteit van deze wateren te verbeteren.

Van Beek *et al.* (2008) hebben de externe verzilting berekend met een hydrodynamisch model van het benedenrivierengebied (SOBEK) voor het W+ scenario, waarna de resultaten weer als invoer voor het PAWN-instrumentarium zijn gebruikt.



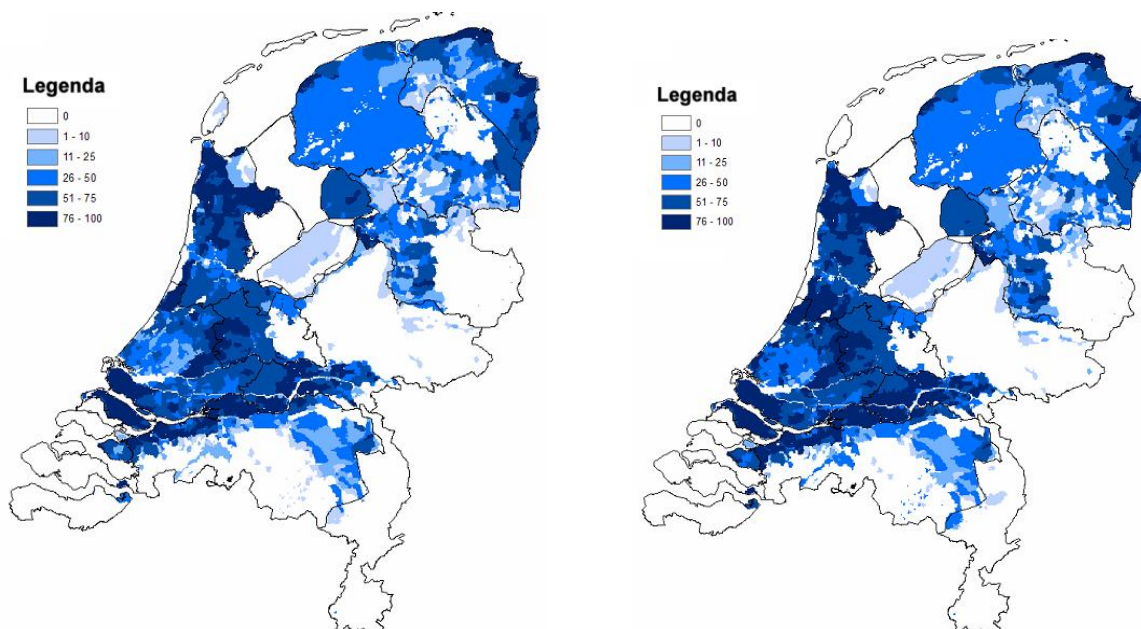
Figuur 6.3 Afvoerverdeling in het benedenrivierengebied bij lage rivierafvoeren (Rijn ca 900 m³/s bij Lobith, Maas ca 25 m³/s bij Eijsden). De rode cirkels geven de punten aan tot waar het 'zout' via de Nieuwe Waterweg maximaal mag doordringen om de zoetwateraanvoer (inlaatpunten bij de rode stippen) niet te bedreigen.

6.2.4 Afgeleide beheersrespons: meer wateraanvoer

Bij neerslagtekort en/of oplopende zoutgehaltes wordt water uit het hoofdsysteem (de grote rivieren en meren) ingelaten in kanalen, boezemwateren, polders enz. om het waterpeil te handhaven, voor doorspoeling en om irrigatie mogelijk te maken. Dat gebeurt nu al, maar natuurlijk alleen in gebieden waar wateraanvoer fysiek mogelijk is.

Als reactie op de drogere zomers zal in het W+ scenario meer gebiedsvreemd water worden ingelaten. Het procentuele aandeel is berekend door Van Beek *et al.* (2008) voor zowel het gehele jaar als de maand juli. Het gemiddelde aandeel gebiedsvreemd water over het jaar blijkt in de meeste jaren iets toe te nemen, maar in de droge maand juli is de toename fors.

Figuur 6.4 laat het percentage gebiedsvreemd water voor een extreem droog jaar zien voor de huidige situatie en voor W+ in 2050. De twee kaarten lijken sterk op elkaar, doordat beide betrekking hebben op een extreem droog jaar en op de maand juli. In zo'n situatie wordt de maximale wateraanvoermogelijkheid al bijna benut, zodat nog meer aanvoer praktisch onmogelijk wordt; hetzij doordat de inlaatwerken of watergangen onvoldoende capaciteit hebben, hetzij doordat de inlaat wordt gestaakt vanwege te hoge zoutgehalten bij de inlaatpunten. De kaarten geven dus vooral aan waar in Nederland met de huidige infrastructuur wateraanvoer mogelijk is.



Figuur 6.4 Percentage gebiedsvreemd water (t.o.v. het totaal) in de maand juli voor een extreem droog jaar (1976) in het huidige klimaat (links) en bij het W+ scenario (rechts) (Van Beek *et al.*, 2008).

6.3 Functiespecifieke aanpak

6.3.1 Waarom wateraanvoer? Doelen

Bij zoetweraanvoer vanuit de rijkswateren gaat het naar *kwantiteiten* hoofdzakelijk om:

- Peilbeheer.
- Doorspoelen (waterkwaliteitsbeheer).
- Landbouwwatervoorziening (irrigatie).

Het doel van het peilbeheer is allereerst het voorkomen van schade aan kades en oevers, klink van de bodem, rot van heipalen, verzakkingen van funderingen, etc. Die schade kan heel groot zijn.

Het doorspoelen van polderwateren gebeurt vooral om deze niet te zout te laten worden door brakke en zoute kwel, waardoor het gebruik voor beregening door de landbouw of gebruik voor andere doeleinden onmogelijk wordt. Ook wordt wel doorgespoeld om de nutriëntentoestand van de polder- of boezemwateren te verlagen en zo kroosgroei te beperken of algenbloei te voorkomen.

Het feitelijk gebruik van water voor irrigatie in de landbouw verschilt sterk per gebied, maar is op dit moment in de meeste peilbeheerste gebieden slechts een fractie van de totale zoetweraanvoer (Anonymus, 2009b). De beide hierboven genoemde doelen vragen in het algemeen veel meer water. Over heel Nederland dient bijna 60% van de wateraanvoer voor peilbeheer, ruim 20% voor doorspoeling en nog geen 20% voor irrigatie.

Behalve door deze 'grote vragers' wordt ook water gebruikt voor:

- Drinkwaterwinning.
- Koelwater bij energieopwekking.
- Koel- en proceswater voor de industrie.

In verhouding gaat het daarbij echter om relatief kleine hoeveelheden en relatief 'rijke' sectoren die alternatieve bronnen kunnen aanboren en/of dure zuiveringstechnieken kunnen toepassen. Ter illustratie 1: ruwwater voor de drinkwaterbereiding van Den Haag wordt aangevoerd vanuit de Maas bij Andel. Ter illustratie 2: op Texel staat een fabriek voor de ontzilting van zeewater; dat kan tegenwoordig voor ca 1 € per m³, hetgeen ongeveer de consumentenprijs voor drinkwater is²².

Sommige van de 'gebruikers' stellen hoge eisen aan de *kwaliteit* van het water, vooral aan het zoutgehalte; bijv. de land- en tuinbouw. Voor andere doelen vormt zout water volstrekt geen probleem, zoals peilbeheer. Daarvoor geldt: het zoutgehalte doet er niet toe, water is water.

Voor natuur geldt dat als de natuurdoelstellingen passen bij de natuurlijke omstandigheden, er geen probleem met het zoutgehalte zou mogen zijn. Indien echter 'zoete KRW-doelstellingen' zijn geformuleerd voor bijv. de sloten, wordt kunstmatig een probleem gecreëerd.

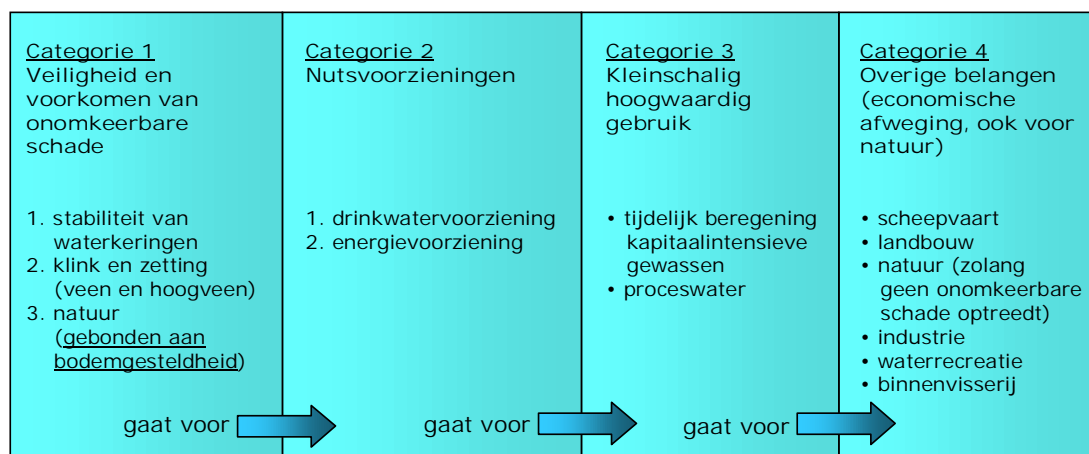
²² Voor flessenwater wordt door vele consumenten grif 500 – 1000x meer betaald

6.3.2 De verdringingsreeks

Het beleid inzake de watervoorziening is na de droge zomer van 1976 en op grond van de uitkomsten van de PAWN-studie (Policy Analysis of the Water management of the Netherlands; Pulles, 1985) in 1984 opnieuw vastgesteld. Dit beleid is toen vastgelegd in de 2^e Nota Waterhuishouding.

Voor droge en extreem droge perioden is in de Droogtestudie (Rijkswaterstaat-RIZA, 2005) een 'verdringingsreeks' opgesteld (Figuur 6.5), waarin werd vastgelegd welke vrager het eerst en welke het laatst gekort zou worden als er in enig jaar te weinig water beschikbaar zou zijn. In zeer droge jaren – zoals 2003 – kunnen immers niet alle watervragers van de gevraagde hoeveelheid water worden voorzien. Dan treedt de zogenaamde 'verdringingsreeks' in werking, waarbij de maatschappelijk belangrijkste functies voorrang krijgen.

Voor de polders staat peilbeheer daarbij bovenaan, omdat dalende peilen tot irreversibele schade aan infrastructuur (kades, wegen, heipalen) kunnen leiden. En ook koelwater voor de energievoorziening staat hoog. Opbrengstverliezen in de landbouw en andere economische sectoren worden daarentegen als eerste geaccepteerd.



Figuur 6.5 De verdringingsreeks. Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade (www.droogtestudie.nl).

Door het gebruik van de verdringingsreeks wordt voorkomen dat grote schade optreedt aan collectieve goederen en/of maatschappelijke ontwrichting optreedt. Deze schades zijn ook moeilijk te begroten en worden in de meeste onderzoeken naar droogterisico's nauwelijks kwantitatief onderzocht omdat 'dit in principe niet mag voorkomen' (Van Beek *et al.*, 2008, blz. 31)); de nadruk in de achtereenvolgende droogtestudies lag op sectoren uit categorieën 4, 3 en 2.

Recentelijk is het beleid nog eens onder de loep genomen, naar aanleiding van de ervaringen in 2003, toen de zoetwatervoorziening van Midden-West Holland aanleiding was voor veel discussie. In de Handreiking Watertekorten (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2009) is expliciet vastgelegd hoe te handelen bij verschillende scenario's van watertekort, en wanneer de Landelijke Commissie Waterverdeling (LCW) in actie komt.

In deze handreiking is beschreven wanneer en onder welke voorwaarden voor de watervoorziening van Midden-West Nederland mag worden overgegaan tot Kleinschalige WaterAanvoer (KWA) uit Lek en Amsterdam-Rijnkanaal en wanneer en onder welke voorwaarden de Tolhuissluisroute mag worden gebruikt om water uit het Markermeer aan te voeren.

6.3.3 Landbouw

Door variaties in neerslag en verdamping varieert de droogteschade in de landbouw over de jaren. Er zijn jaren met hoge opbrengsten en jaren met lage. Daarbij maakt het wel verschil of de opbrengst wordt uitgedrukt in tonnen product, tonnen drooggewicht of geld. Door prijselasticiteit is de opbrengst in geld soms juist in heel droge jaren het hoogst, bij een lagere opbrengst in tonnen. Een goede correlatie tussen droogte en opbrengst wordt alleen gevonden als wordt uitgegaan van tonnen product. Om de schade in euro's te kunnen berekenen is daarom uitgegaan van een vaste prijs per ton product, zonder prijselasticiteit.

Er is voor de schadeberekeningen **aangenomen dat** de prijs per ton product in de komende 40 jaar niet verandert (= prijspeil 2009). Het ligt in de lijn der verwachtingen dat de prijzen ongeveer de economische ontwikkeling en inflatie volgen; dat zou betekenen dat de prijzen – net als de economische overstromingsschade – iedere 20-35 jaar verdubbelen.

Maar aangezien de productiekosten ook steeds lager lijken te worden, de wereldmarkt sterk bepalend is, en de kosten van maatregelen ook steeds wijzigen is er hier voor gekozen alle prijzen in huidig prijspeil weer te geven²³.

Een goede relatie tussen landbouwopbrengst en droogte wordt gevonden als droogte wordt uitgedrukt als bodemvochttekort: het tekort aan vocht in de wortelzone dat niet zo sterk door de bodem is gebonden dat de plant het niet kan opnemen. Het bodemvochttekort is allereerst een functie van het neerslagtekort (Figuur 6.1), maar soms kan bodemvocht worden aangevuld door capillaire opstijging vanuit het grondwater of door beregening. Dat maakt dat het over het groeiseizoen geïntegreerde bodemvochttekort verschilt tussen gebieden met verschillende bodem (pF-karakteristiek, capillair vermogen), verschillende grondwaterstand (bereik wortels, capillaire opstijging), en verschillende wateraanvoermogelijkheden (infiltratie en beregening).

6.3.4 Scheepvaart

Klimaatverandering wordt een probleem voor de scheepvaart als er invloeden zijn op:

- Vaardieptes (te gering).
- Sluisopeningsfrequenties (te weinig).
- Doorvaarthoogtes bij bruggen (te gering).

23. Dat betekent dat een zekere fout wordt gemaakt, maar van onzekere omvang. Voor de interpretatie van baten/kosten-verhoudingen is dit een punt van aandacht.

Er kan een beperking van de vaardiepte optreden als de waterstanden lager worden en/of langduriger laag zijn. Dan kunnen schepen minder diep geladen worden omdat de diepte beperkend wordt. Dat kan in het bovenrivierengebied gebeuren bij lage rivierafvoeren, hetgeen als een droogterisico kan worden opgevat.

In dit verband wordt gewerkt met het begrip OLR (overeengekomen laagwater op de Rijn).

In het Rijnmondgebied en op het IJsselmeer zal door de zeespiegelstijging de waterstand echter eerder hoger worden dan lager. Dat leidt juist tot grotere vaardiepten. Maar ook tot kleinere doorvaarthoogtes.

We gaan in dit rapport niet verder op de scheepvaart in²⁴.

6.3.5 Natuur

Klimaatverandering heeft veel verschillende consequenties voor de natuur (Vonk *et al.*, 2010). Hier hebben we het alleen over droogterisico's. Die kunnen de vorm hebben van gevolgen voor planten en dieren door uitdroging van de bodem, daling van grondwaterstanden in de zomer, het opdrogen van geïsoleerde waterpartijen, het wegvallen van kwelstromen, etc. Hierover is door Witte *et al.* (2009) gepubliceerd.

We gaan er in dit rapport niet verder op in, omdat we klimaatverandering voor natuur hier beschouwen als een gegeven²⁵ – een milieufactor – waar geen specifiek zoetwateraanvoerbeleid voor nodig is (maar zie Vonk *et al.* (2010) voor meer specifieke waterhuishoudingmaatregelen).

6.4 Veranderingen in de lokale hydrologische omstandigheden

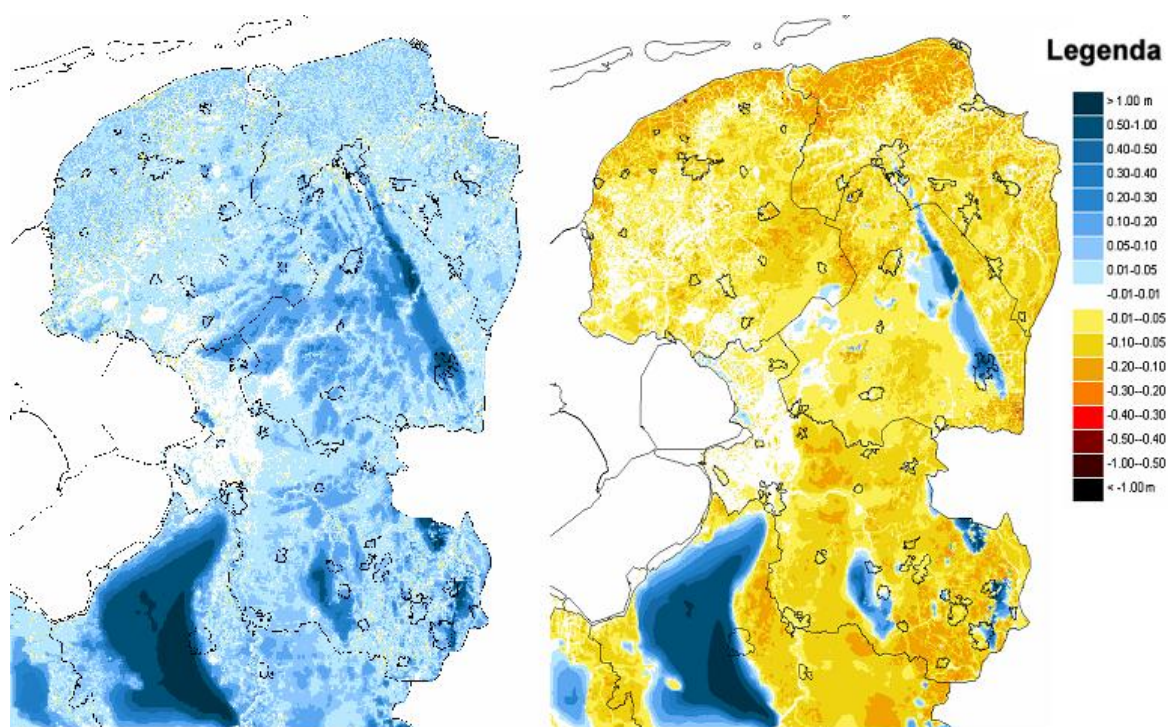
6.4.1 Grondwaterstanden

Grondwaterstanden op grote schaal reageren zeer traag op klimaatverandering. Voor het berekenen van effecten van klimaatverandering op het grondwatersysteem zijn dan ook langjarige berekeningen noodzakelijk. Stuurman *et al.* (2008) hebben zulke berekeningen uitgevoerd in het kader van een toekomstverkenning van de grondwatervoorraden. Die verkenning is beperkt gebleven tot dat deel van het land waarvoor het gedetailleerde MIPWA model beschikbaar was: de provincies Friesland, Groningen, Drenthe en Overijssel.

Met het model zijn de gevolgen van het W+ klimaatscenario op de gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) over een periode van 30 jaar doorgerekend Figuur 6.6.

24. Er zijn door droogte wel grote economische gevolgen voor de scheepvaart te verwachten, en er worden door Rijkswaterstaat ook ingrijpende maatregelen overwogen (zoals het kanaliseren van de IJssel). Omdat maar deze geen grote ruimtelijke implicaties hebben op de schaal van heel Nederland wordt er in dit rapport voor PBL niet uitgebreid op ingegaan. In het Deltaprogramma wordt er wel uitgebreid aandacht aan besteed (en zie ook Van Beek *et al.*, 2008).

25. Dit is natuurlijk discutabel in een land waarin natuurdoelen zijn geformuleerd voor door de mens beheerste milieus en vergaand beheerde ecosystemen



Figuur 6.6 Effecten van het W+ scenario op de grondwaterstanden (GHG links en GLG rechts) berekend met MIPWA voor Noord Nederland (Stuurman et al., 2008)

We zien dat:

- De toegenomen neerslag in de winter leidt tot een hogere GHG.
- In de infiltratiegebieden stijgt de GHG haast overal met 10-20 cm, met uitschieters in de gebieden met diepe grondwaterstand, zoals de Veluwe en Hondsrug, waar het meer dan een meter is doordat in de zomer haast geen verdamping van grondwater kan optreden.
- In de overige gebieden stijgt de GHG met enkele centimeters.
- In infiltratiegebieden stijgt de GLG in het algemeen ook, zij het minder dan de GHG.
- In de overige gebieden daalt de GLG enkele centimeters tot lokaal 1-2 decimeter.

Opvallend is dus dat op jaarbasis bij het klimaatscenario W+ de grondwaterstanden in de infiltratiegebieden omhoog gaan. Dit komt door de sterke toename van de neerslag in de winterperiode en het feit dat de wortels van de vegetatie het grondwater niet kunnen bereiken. Hogere grondwaterstanden in infiltratiegebieden kunnen tot meer kwel langs de randen van de hoge gronden leiden.

Gesuperponeerd op deze grootschalige veranderingen in grondwaterstanden zullen in het W+ scenario grotere peilfluctuaties optreden; dat wil zeggen dat de hoogste grondwaterstand binnen een jaar en de laagste verder uit elkaar zullen liggen dan in het huidige klimaat. De verschillen tussen jaren kunnen ook iets toenemen.

In de peilbeheerste gebieden zal de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) in 2050 bij het W+scenario daardoor iets hoger liggen dan nu, en de gemiddeld laagste (GLG) iets lager. Verkennende berekeningen voor veranderingen in kenmerkende droogtejaren door Van Beek et al. (2008) wijzen daar ook op (hoewel de gemiddelden niet zijn berekend).

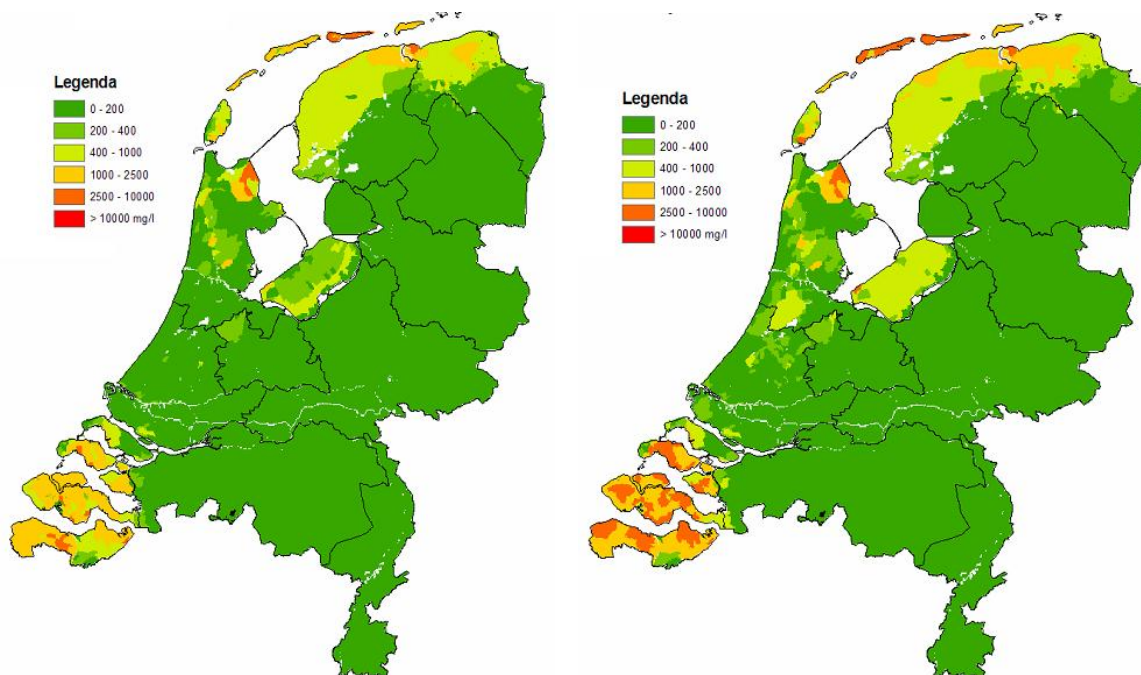
6.4.2 Zoute kwel en zoutgehalten in sloten

In droge perioden neemt door de combinatie van meer zoute kwel en inlaatwater met hogere zoutconcentraties het zoutgehalte in polderwateren toe. Deze verzilting van polderwateren kan worden tegengegaan door zoetspoelen. Daartoe wordt zoet water ingelaten vanuit rijkswateren, zoals de grote rivieren, het IJsselmeer, het Hollands Diep etc. Bij lage rivierafvoeren neemt echter ook het zoutgehalte van deze wateren toe, doordat minder verdunning optreedt in het stroomgebied van de grote rivieren, en door externe verzilting in vooral het Rijnmondgebied. Dat leidt tot hogere zoutgehalten bij belangrijke innamepunten, (o.a. Gouda) die bij de huidige afspraken nopen tot het stoppen van het inlaten van water.

In perioden met een neerslagtekort treedt ook geen verdunning meer op, maar is integendeel zelfs sprake van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de sloten nog verder toeneemt. Dit alles leidt tot zouter grond- en oppervlaktewater (zie Figuur 6.7).

We zien voor een gemiddeld jaar in 2050 bij W+ de sloten op Zeeuwse (schier)eilanden sterk verzilten, en die in Friesland-Groningen, de Flevopolders en de droogmakerijen van de beide Hollanden licht brak worden.

Zout in de wortelzone kan tot schade aan gewassen leiden; teveel zout in polderwater maakt beregening onmogelijk of leidt tot bladschade (sierteelt); veedrenking wordt onmogelijk.



Figuur 6.7 Zoutconcentratie in het oppervlaktewater in mg/l in een gemiddeld jaar in de huidige situatie (links) en in 2050 bij het W+ scenario en huidig beleid (rechts) (Van Beek et al., 2008).

Om de zoutgehalten in de sloten laag te houden is (veel) meer speelwater nodig. We citeren uit de concepttekst van les de Vries voor de beleidsamenvatting van de meta-studie (Anonymus, 2009b) over Goeree-Overflakkee:

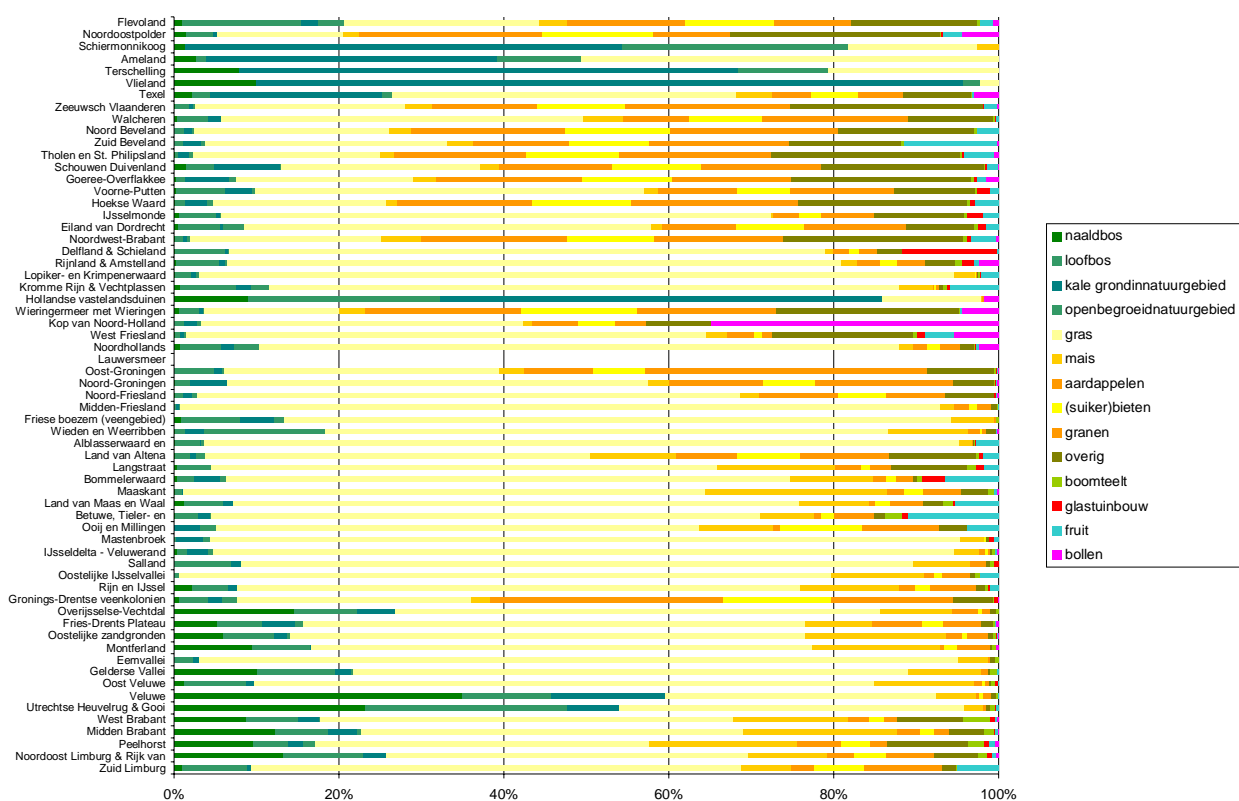
“De zoutvrucht van het inlaatdebiet (externe verzilting) is weliswaar groter dan de zoutvrucht van de kwel (interne verzilting), maar is nodig om de hoge concentratie van de kwel te verdunnen. Als je de kwelconcentratie (GWS) van 5200 mg Cl/l wilt verdunnen tot een slootconcentratie van gemiddeld 150 mg Cl/l met een buitenwaterconcentratie (HWS) van 100 mg Cl/l heb je een mengverhouding van HWS:GWS van ruim 100:1 nodig!”

Vervolgens is de vraag of aan die behoefte aan verdunningswater kan worden voldaan door levering van water uit het hoofdwatersysteem.

6.5 Grotere kwetsbaarheid?

6.5.1 Veranderingen in de landbouw: bedrijfstype, gewaskeuze, e.d.

De landbouw in Nederland is veruit de grootste grondgebruiker van het land. Maar het is ook een zeer diverse grondgebruiker. De verdeling van gewassen (in procenten) binnen het landbouwareaal per waterbeheerdistrict is weergegeven in Figuur 6.8.



Figuur 6.8 Verdeling van gewassen binnen het landbouwareaal van de waterbeheerdistricten, zoals gebruikt voor de berekening van landbouwschades (PAWN-instrumentarium naar LGN3).

Feitelijk mag dan ook niet worden gesproken van *de* landbouw: het ene uiterste van het spectrum wordt gevormd door extensieve weidebouw – die in Nederland slechts sporadisch als niche-bedrijf wordt gevonden in begraasde natuurgebieden (kwelders Waddeneilanden, uiterwaarden) – en het andere uiterste door zeer intensieve teelt van groenten, fruit of bloemen in kassen. Die laatste bedrijfsvorm heeft nauwelijks een relatie met de ondergrond ('substraatteelt') en heeft vaak een gesloten watersysteem en dus nauwelijks een relatie met de polderwateren of het rijkswaterbeleid. De extensieve weidebouw is daarentegen volledig aangepast aan de milieuomstandigheden ter plaatse met inbegrip van de variabiliteit over de jaren.

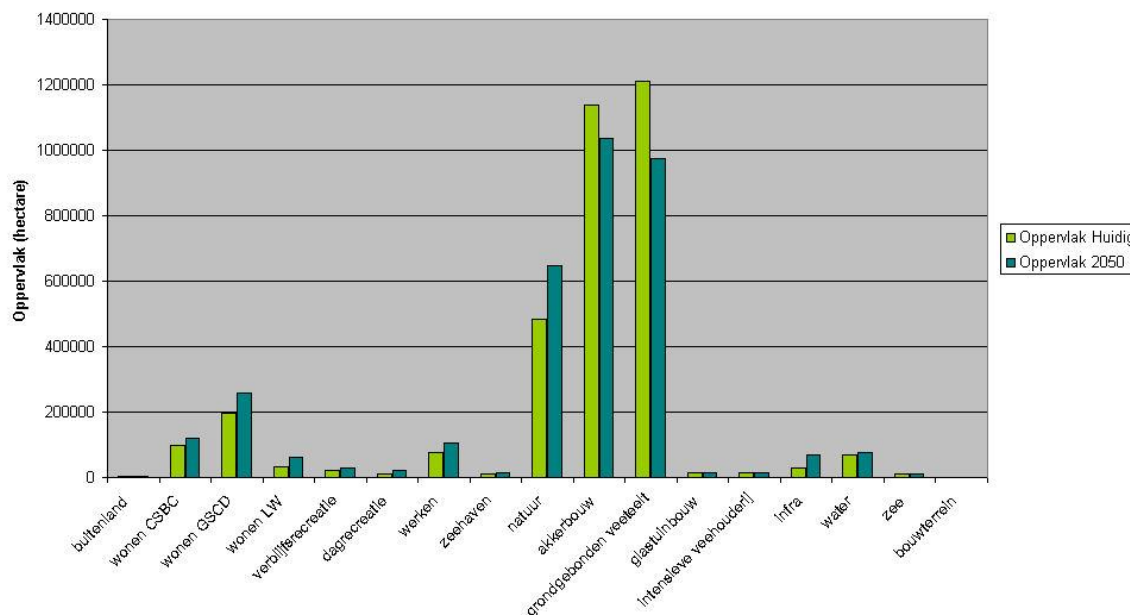
Qua areaal zijn intensieve weidebouw (in de veen- en kleigebeiden), snijgras en snijmaïs voor de intensieve veeteelt (met het vee op stal; vooral op de zandgronden), akkerbouw en vollegrondstuinbouw belangrijke sectoren. Weidebouw en akkerbouw vragen wel voldoende water, maar stellen geen heel hoge eisen aan de waterkwaliteit. Met name de vollegrondstuinbouw stelt wel hoge eisen aan de waterkwaliteit en beschikbaarheid, omdat veelal op contract moet worden geleverd (vaste hoeveelheden op vaste tijden).

De hoogste eisen stelt de teelt van nicheproducten, zoals bollenteelt (vooral nauwkeurige peilbeheersing, maar ook laag zoutgehalte), fruitteelt (goede drainage en zoet) en sierteelt (Boskoop: zoet). Dit zijn teelten die zeer intensief zijn in de zin van hoge opbrengsten op kleine arealen en hoge eisen aan de waterbeheersing en waterkwaliteit. Daardoor zijn ze ook kwetsbaar voor droogte en/of verzilting.

Het is moeilijk in kwantitatieve termen te voorspellen hoe de arealen van deze teelten zich zullen ontwikkelen. Veel scenariostudies wijzen op een verdere intensivering van de landbouw in Nederland, met meer kassen, meer tuinbouw, meer bollen, en meer sierteelt. Maar het wordt evenmin voor onmogelijk gehouden dat sommige van deze teelten naar het buitenland verhuizen, waar de omstandigheden gunstiger zijn, terwijl in Nederland juist 'verbrede landbouw' zal opkomen – landbouw met maatschappelijke nevenfuncties. En voor de veenweidegebieden in West-Nederland, met geringe concurrentiekracht, wordt dat wel het meest waarschijnlijk geacht. In het algemeen geldt dat de ontwikkeling van de internationale markt (zowel vraag als aanbod van elders) en het EU- en rijkslandbouwbeleid doorslaggevend zijn voor de autonome ontwikkeling van de verschillende bedrijfsvormen; daarnaast lijkt er een tendens waarbij de sterkste landgebruikfuncties de zwakkere verdringen: wonen en industrie verdringen landbouw, kassen verdringen akkerbouw en weidebouw, etc.

Voor deze studie gaan we uit van de landgebruikprojecties die door PBL zijn gemaakt op basis van de WLO-scenariostudie ten behoeve van het project Nederland later (CPB *et al.*, 2007).

Door vergelijking van de landgebruikprojectie voor 2050 met die van het huidig landgebruik (ca 2005-2010) is geanalyseerd hoe het landbouwareaal zich ontwikkelt (Figuur 6.9). Het bleek dat in alle bestaande landgebruikscenario's het totale landbouwareaal afneemt, vooral in de akkerbouw en grondgebonden veeteelt. Die afname is het opvallendst in de gebieden die verstedelijken, terwijl de meer perifere gebieden van Noord- (Friesland, Groningen) en Zuid-Nederland (Limburg, Zeeland) nauwelijks veranderingen laten zien. Tevens vindt er een verschuiving plaats naar meer kassen en meer intensieve vollegrondsteelten (fruit, bollen, e.d.).



Figuur 6.9 Verwachte areaalveranderingen van verschillende landgebruikscategorieën over geheel Nederland tussen nu en 2050, conform scenario Transatlantic Market.

We trekken hieruit de conclusie dat ‘de landbouw’ door autonome ontwikkelingen in arealen landgebruik en aanpassingen binnen de sector²⁶ niet kwetsbaarder wordt voor droogte in de betekenis van watertekorten, maar wel voor hogere zoutgehalten. Regionaal leidt de verschuiving naar snijmaïs en (snij)gras wel tot een verhoudingsgewijs grotere kwetsbaarheid voor droogte; die beide gewassen zijn gevoelig voor watertekorten (zie Tabel 7.2).

Mede omdat de landgebruikprojecties van PBL niet eenvoudig te gebruiken zijn in het PAWN-instrumentarium – en omdat dan alle berekeningen opnieuw zouden hebben moeten plaatsvinden –, is **aangenomen dat** de kaart van het huidige landgebruik (gebaseerd op LGN3) mag worden gebruikt voor de verdere analyses van de ontwikkeling van de landbouwschades bij veranderend klimaat, zonder dat tot onaanvaardbaar grote fouten leidt. Achterliggende gedachte daarbij is: het huidige landgebruik is door het grotere landbouwareaal over het algemeen kwetsbaarder dan het toekomstige.

6.5.2 Autonome adaptatie natuur

De kwetsbaarheid van de natuur is een lastiger onderwerp. Dat komt met name doordat het begrip ‘natuur’ zoveel dimensies kent en er zoveel opvattingen over bestaan. Hebben we het over natuurgebieden met door het beleid vast omschreven ‘natuurdoelen’ of hebben we het over natuur als zijnde dat wat ‘vanzelf’ ontstaat bij gegeven milieuomstandigheden?

26. Behalve de arealen bepalen ontwikkelingen in de landbouw de waterefficiëntie en opbrengsten van gewassen.

Indien natuur wordt beschouwd als de natuurgebieden die we nu in een bepaalde toestand proberen te houden, omdat de regelgeving dat vereist (Vogel- en Habitatrichtlijn, Kaderrichtlijn Water), dan moet daarbij worden bedacht dat vaak een toestand is die past bij een milieu dat volledig door de mens is bepaald. Hetzij doordat de omgeving een ander landgebruik kent (landbouw, drinkwaterwinning), hetzij doordat de hydrologische omstandigheden ten behoeve van de natuurwaarden volledig worden beheerst: gericht peilbeheer, soms zelfs waterzuivering (Botshol). Dat geldt voor het grootste deel van de natuurgebieden die binnendijs gelegen zijn, maar ook voor de oevers van het IJsselmeer (ooit kwelders), en die langs de Zeeuwse en Zuid-Hollandse meren (Grevelingen, Volkerak, Hollands Diep-Haringvliet). Deze meren zijn zelf natuurlijk ook antropogeen. Uitzonderingen hierop zijn de uiterwaarden langs de grote rivieren, delen van de duinkust en de Wadden. Het in de vooraf-gedefinieerde toestand houden van deze gebieden bij een veranderend klimaat is lastig.

Als natuur daarentegen wordt beschouwd als dat wat vanzelf ontstaat bij bepaalde milieuomstandigheden, dan kan de respons van de natuur op veranderend klimaat waarde vrij worden onderzocht. Dat blijkt nog lastig genoeg, vooral omdat ander menselijk ingrijpen veel grotere gevolgen lijkt te hebben op de ontwikkeling van de natuur dan klimaatverandering. Het effect van klimaatverandering wordt daardoor volledig overvleugeld.

6.6 Droogterisico's bij continueren huidig beleid

Naar analogie met de overstromingsrisico's berekenen we de droogterisico's als 'verwachte schade per jaar'. Die schade kan worden berekend op basis van de kans op verschillende droogtejaren met de bijbehorende schade in die droogtejaren. Dus wederom op basis van:

kans * gevolg

In Van Beek *et al.* (2008) en de Droogtestudie (Rijkswaterstaat/ RIZA, 2005 en 2005a) wordt voor dit 'droogterisico' het begrip 'verwachtingswaarde' gebruikt, die wordt berekend als de integraal onder de curve waarop schades zijn uitgezet tegen frequenties van optreden.

Droogterisico's of verwachtingswaarden kunnen worden berekend voor verschillende sectoren, waaronder de landbouw, de scheepvaart, en andere sectoren die afhankelijk van de mate van droogte meer of minder schade lijden.

6.6.1 Verandering economisch risico in de landbouw

Aangezien in de praktijk droogteschade vooral door opbrengstderving in de landbouw optreedt, is eerst geanalyseerd hoe het droogterisico in de landbouw zich ontwikkelt. Daarbij is uitgegaan van continuering van het huidig beleid en waterbeheer, met de bestaande inlaatpunten en maximale inlaatdebieten en de maximale doorvoercapaciteit van de kanalen en vaarten. Van Beek *et al.* (2008) hebben hiervoor het droogterisico – in termen van de relatie tussen landbouwschade en frequentie van optreden van 'droogtejaren' – berekend. De voor landbouwschade relevante factoren zijn bodemvochttekort en zoutgehalte.

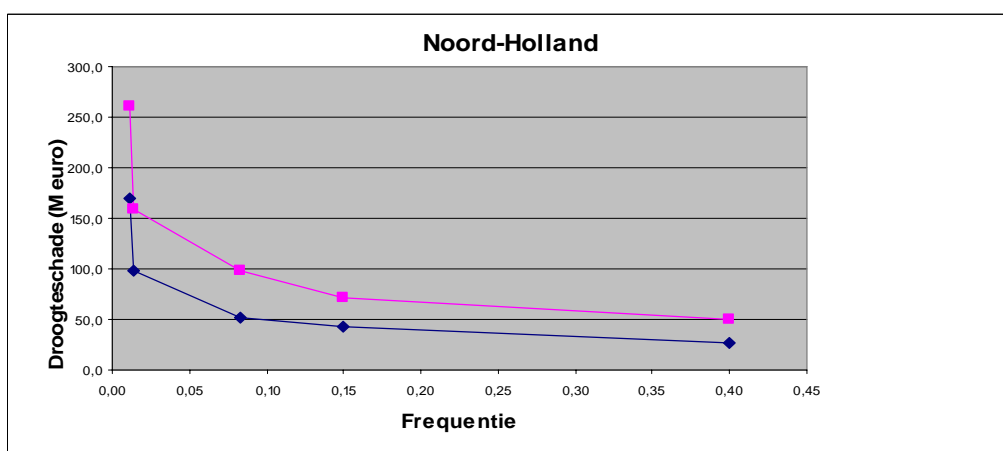
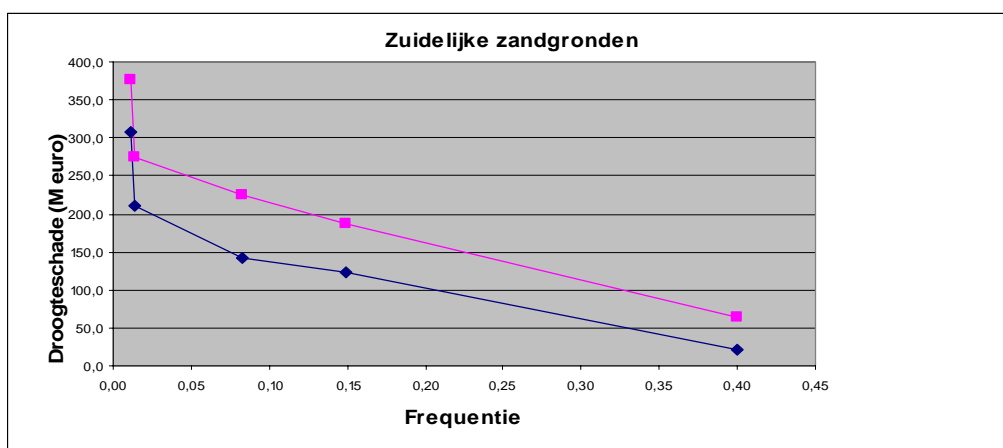
Allereerst is dan ook het bodemvochttekort berekend (Van Beek *et al.*, 2008). In een *gemiddeld jaar* neemt het cumulatieve bodemvochttekort in het groeiseizoen toe van 22 mm in de huidige situatie gemiddeld over Nederland tot 57 mm in een *gemiddeld jaar* in 2050 bij scenario W+ gemiddeld over Nederland.

Berekeningswijze

De wijze van berekenen van een 'verwachtingswaarde' kan op verschillende wijzen: volgens de 'blokmethode (toegepast door Rijkswaterstaat/RIZA en Royal Haskoning bijv.) of door het oppervlak onder een 'gefitte curve' te berekenen (Van Beek *et al.*, 2008). Op beide methoden valt wel wat af te dingen.

Hier is gekozen voor de eenvoudiger 'blokmethode', omdat tijdens het onderzoek is gebleken dat gefitte curves per district en per regio nogal van vorm verschillen (vergelijk de beide curves in Figuur 6.10). Dat is ook logisch, omdat op zandgronden de schade geleidelijk toeneemt met droger wordende omstandigheden, terwijl in gebieden met wateraanvoer de gevolgen lang uitblijven totdat die wateraanvoer plotseling in het gedrang komt. Het maakt het echter lastiger de gevolgen van klimaatscenario's te kwantificeren zonder veel nieuwe berekeningen uit te voeren; en dat gaat buiten de reikwijdte van dit verkennende onderzoek.

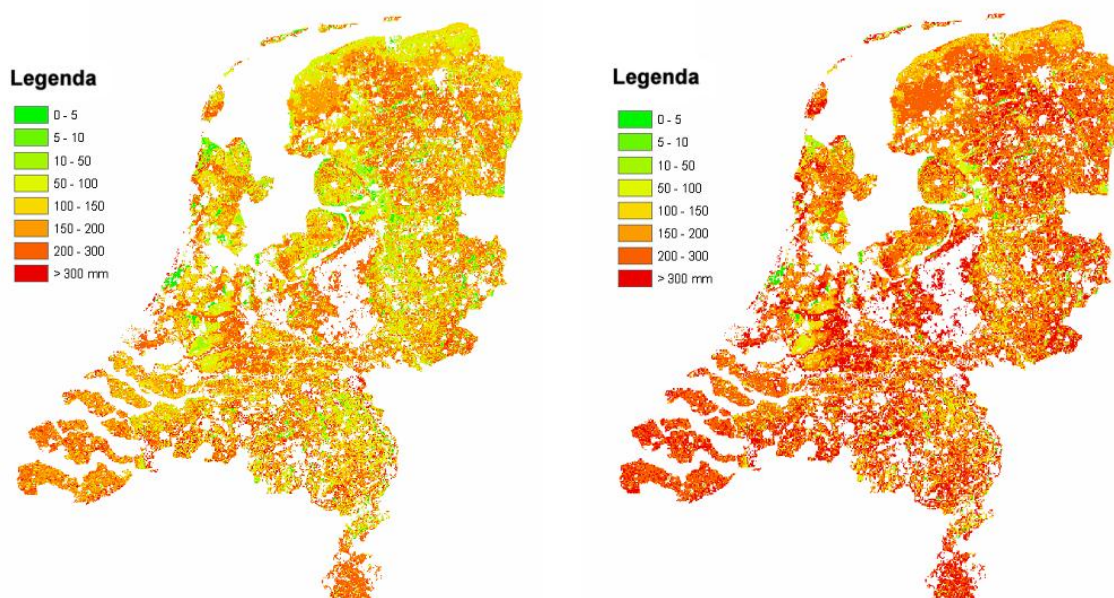
Omdat dit verkennende onderzoek vooral verschillen tussen alternatieven in beeld wil brengen en de onzekerheid over toekomstige klimaatontwikkeling zeer groot is, is de geringe 'fout' die met deze blokmethode wordt gemaakt aanvaardbaar.



Figuur 6.10 Verloop van de berekende droogteschade in verschillende droogtejaren in twee verschillende waterbeheerregio's bij huidig klimaat (blauw) en W+-scenario (rood): boven vrijwel lineair op droogtegevoelige zandgronden, onder op vochthoudende laagveen- en kleigronden met wateraanvoer

In een *extreem droog jaar* is het bodemvochtttekort gemiddeld over Nederland bij het huidige klimaat al 155 mm. Bij scenario W+ neemt dit toe tot 227 mm. Dan zijn de tekorten haast overal groot, zoals is te zien in Figuur 6.11: zowel op de hogere gronden als in de klei- en veengebieden. Nalevering uit het grondwater en wateraanvoer- en beregeningsmogelijkheden zijn dan al overvraagd.

Door grotere vochtttekorten nemen de droogteschades in het W+ scenario toe. De verwachtingswaarde voor de totale landbouwschade is voor de huidige situatie ca 350 M€/jaar en in 2050 bij W+ ca 650 M€/jaar (Figuur 6.12). G+ ligt daar tussenin met bijna 500 M/jr verwachtingswaarde van de schade in 2050 (zie Van Beek *et al.*, 2008).

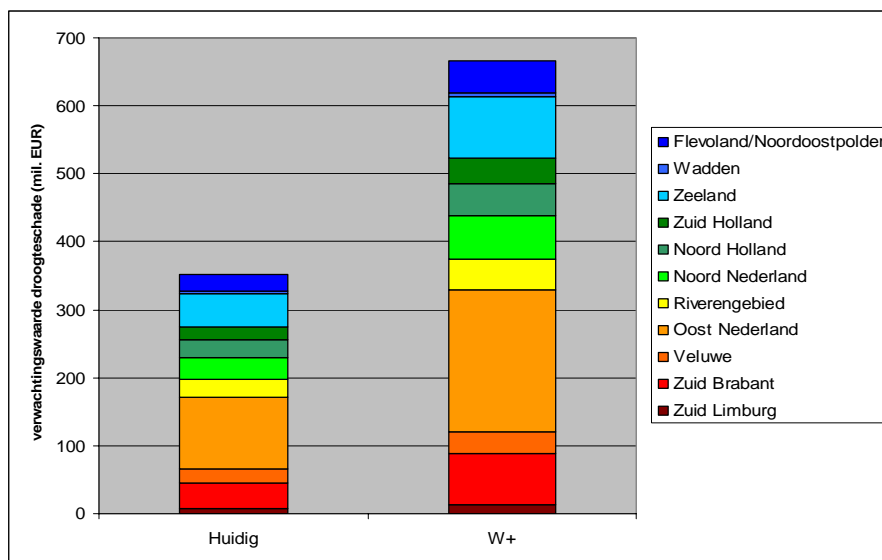


Figuur 6.11 Bodemvochtttekort (mm) in een extreem droog jaar in de huidige situatie (links) en in 2050 bij scenario W+ (rechts) (Van Beek *et al.*, 2008).

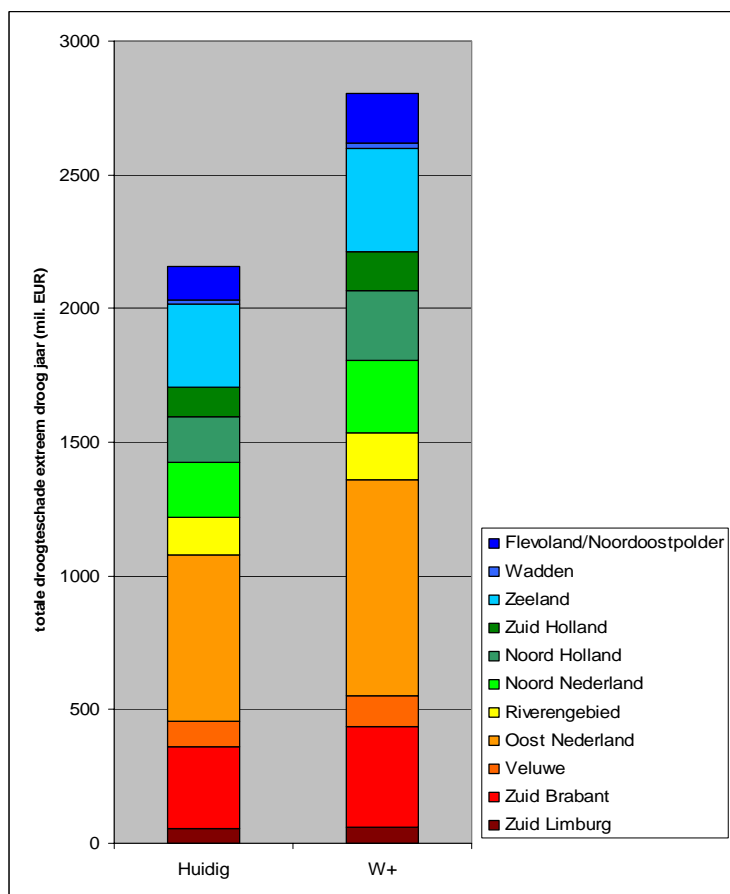
Rond deze verwachtingswaarden bestaat echter een grote spreiding tussen jaren. In een *gemiddeld jaar* is de schade nu 280 M€ en die wordt ca 700 M€s in 2050 in het W+ scenario (Van Beek *et al.*, 2008; Figuur 6.12). In een *extreem droog jaar* bedraagt de berekende schade nu al meer dan 2 miljard € en daar komen in het W+ -scenario nog enkele 100-en miljoenen bij (Figuur 6.13).

Ook de zoutschade neemt toe bij klimaatverandering, maar de getalswaarden vallen in het niet bij die voor vochtttekort. Van Beek *et al.* (2008) berekenden een zoutschade in een *extreem droog jaar* van bijna 26 M€ nu en 49 M€ in 2050 bij W+. De zoutproblematiek is bovendien vooral regionaal van betekenis.

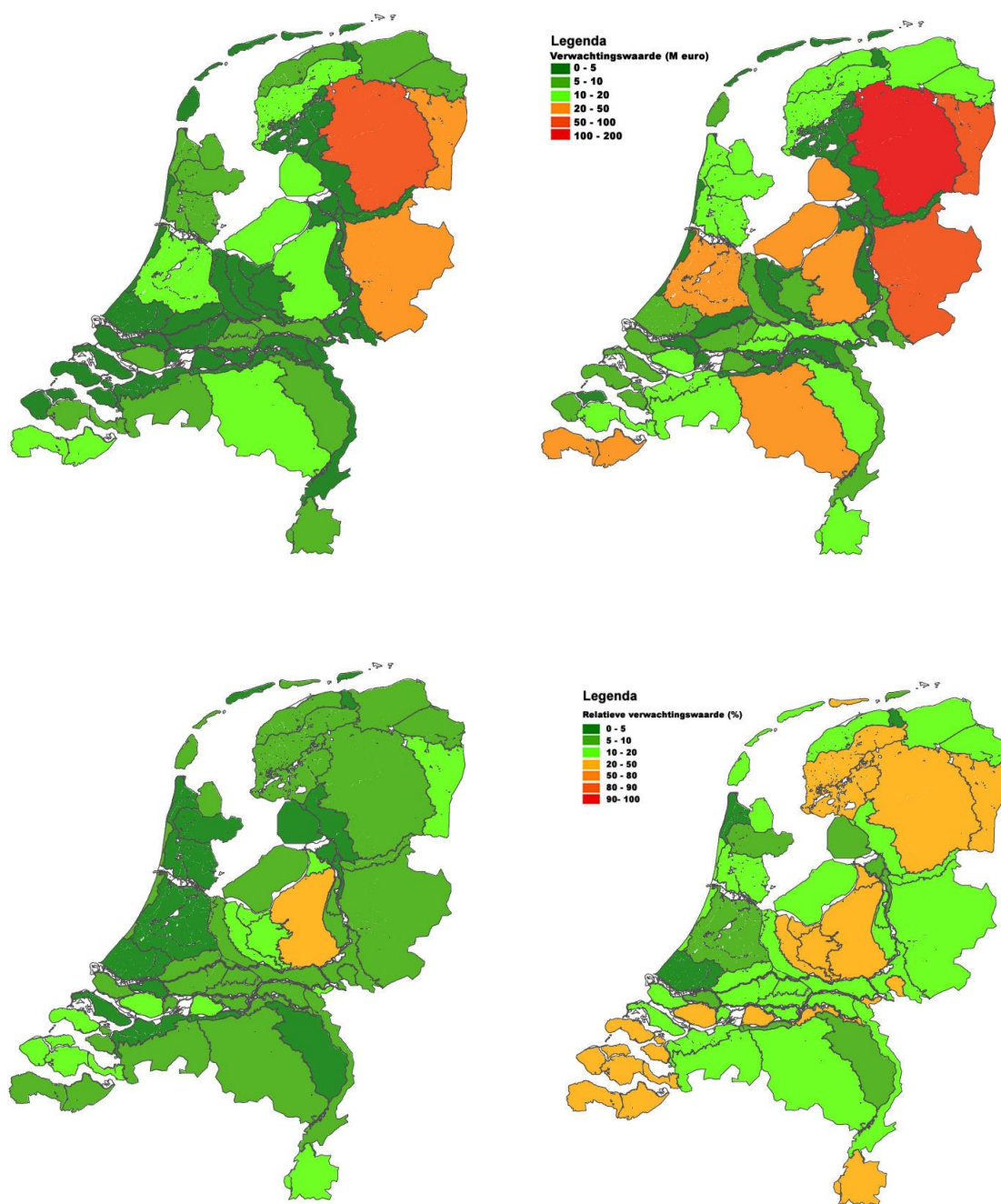
De geografische verdeling van de droogterisico's (verwachtingswaarde schades) is weergegeven in Figuur 6.14. Uit de bovenste 2 kaarten blijkt het droogterisico in absolute zin (M€/jr) nu al het grootst op de zandgronden van Drente, Oost-Nederland en de veenkoloniën. Bij veranderend klimaat (W+) komen daar de diep ontwaterde polders met kleigronden bij, zoals de IJsselmeerpolders en Centraal Holland. Deze absolute getalswaarden worden natuurlijk mede beïnvloed door de omvang van de gebieden (grootte-effect) en door de aard van de teelten (hoge opbrengst leidt makkelijk tot grote schade).



Figuur 6.12 Droogterisico (verwachtingswaarde) in M€ voor verschillende regio's in Nederland in de huidige situatie en in 2050 bij scenario W+.



Figuur 6.13 Droogteschade in M€ voor verschillende regio's in Nederland in een meteorologisch extreem droog jaar (1976) in het huidige klimaat en bij W+ 2050.



Figuur 6.14 Droogterisico in de landbouw (verwachtingswaarde schade in M€/jr; boven; en als percentage van de theoretisch te behalen opbrengst; onder) per district in de huidige situatie (links) en bij scenario W+ in 2050 (rechts)

Om aan deze bezwaren tegemoet te komen geven de onderste 2 kaarten het relatieve droogterisico, ten opzichte van optimale opbrengsten. We zien daar dat de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Gelderse Vallei er in het huidige klimaat uitspringen, hetgeen door de combinatie van leemarme zandgronden met diepe grondwaterstanden goed verklaard kan worden. Ook de Oost-Groningse veenkoloniën springen eruit met de fabrieksaardappelteelt op slecht vochthoudende gronden. Ook de Zeeuwse (schier)eilanden en het Limburgse Heuvelland vertonen al bovengemiddelde schades, typisch voor districten waar geen wateraanvoer (mogelijk) is en waar het vochthoudend vermogen van de klei- en leemgronden soms onvoldoende is voor de huidige teelten. Bij veranderend klimaat wordt dit patroon nog versterkt. Opvallende uitschieters in de andere richting zijn het Westland en de Kop- van Noord-Holland. Dat komt door de relatief weinig droogtegevoelige kassen- en bollenteelt.

6.6.2 Verandering risico voor scheepvaart

Met het PAWN-scheepvaart instrumentarium is voor de huidige situatie, het G+ en het W+ scenario de scheepvaartschade berekend (Van Beek *et al.*, 2008) Als drempelwaarde voor schade door droogte is een bedrag van 2100 M€ aangehouden. Deze drempel is voorgesteld door Haskoning (2007) en betreft de kosten voor varen, overslag en wachttijden bij sluisen bij een langjarig gemiddelde Rijnaafvoer. Alleen schade boven deze drempel is als schade beschouwd, omdat dit de meerkosten zijn die door lage afvoeren worden bepaald.

Tabel 6.7 laat de jaarlijkse verwachte scheepvaartschade zien voor de huidige situatie. G+ en W+ zoals gegeven in Haskoning (2007). De verwachtingswaarde van schade door lage afvoeren ('droogterisico') kan oplopen van ca 90 M€ nu tot 280 M€ in 2050 bij W+. Dat is bij dit meest vergaande klimaatveranderingscenario een toename met 190 M €/jr.

Tabel 6.7 Jaarlijkse verwachtingswaarde voor scheepvaartschade in M€ (bron: Haskoning, 2007)

	huidig	G+	W+
1949	684	732	724
1976	424	702	821
1959	465	572	716
1983	121	264	264
1999	5	58	197
1996	-17	67	285
1967	-35	0	100
Verwacht	90	175	280

Zouttolerantie van gewassen en schade

Kijken we naar de zouttolerantie van individuele gewassen, dan zien we een grotere tolerantie dan waar bij waterinlaat vanuit wordt gegaan, en grote variatie – zelfs tussen gewassen uit dezelfde plantenfamilie. Figuur 6.15 geeft bijvoorbeeld de schadepercentages zoals die door Alterra voor verschillende gewassen zijn geschat. De koolsoorten laten daar grote verschillen zien. Koolzaad is zeer tolerant (gaat om zaad, vroegrijpend; nog geen schade bij 2400 mg/l). Broccoli behoorlijk tolerant (schade vanaf 1500 mg/l), maar Bloemkool veel minder (vanaf 900 mg/l schade). De ook heerlijke Zeekool staat niet in de tabel – want die is als commerciële groente nog zeer zeldzaam – maar kan vermoedelijk zeer veel zout hebben.



Figuur 6.15 Schadepercentages van verschillende gewassen voor beregenen met ‘brak’ water. Mondelinge mededeling Lodewijk Stuyt (Alterra), 2007.

De getallen in Figuur 6.15 hebben betrekking op *beregening*. Het beeld wordt echter weer anders als onderscheid wordt gemaakt naar gietwater en bodemvocht, zoals blijkt uit onderzoek van Van Dam *et al.* (2007). Zij geven voor tientallen groentes en honderden soorten boomkwekerijgewassen zeer nauwkeurige – maar opvallend vaak exact dezelfde²⁷ – waarden voor *gietwater* die een factor 3 – 5 lager liggen dan de (drempel)waarden die ze voor *bodemvocht* geven. En de waarden die ze voor bodemvocht geven zijn weer vrijwel gelijk aan de waarden voor beregening die in Figuur 6.15 zijn gegeven.

Van Dam *et al.* (2007) wijzen terecht op de moeilijkheid de gewasrespons te kwantificeren omdat eigenlijk onderscheid moet worden gemaakt naar 1) tijdelijk verhoogde zoutgehalten, 2) binnen en buiten het groeiseizoen, 3) tijdens groei, bloei, rijping of knolvorming, 4) bij beregening op het blad versus irrigatie van de grond, etc.

Dit overziend lijkt er sprake van een al met al nogal beperkte kennis van zouttoleranties (mondeling bevestigd door Lodewijk Stuyt), waar momenteel terecht nieuw onderzoek naar plaatsvindt (in opdracht van V&W en in Kennis voor Klimaat (thema 2)).

²⁷ Er blijken 3 groepen boomkwekerijgewassen te zijn: niet tolerante, matig tolerante en tolerante, die grote overeenkomst vertonen met de ecologische soortengroepen van respectievelijk voedselarm, matig voedselrijk en voedselrijk milieu (verg. Runhaar *et al.*, 1987).

6.6.3 Veranderingen in de natuur

Er zullen bij klimaatverandering zeker veranderingen in de natuur optreden door veranderingen in de grondwaterstanden, overstromingsregimes, e.d. Daarover is gerapporteerd door Van Beek *et al.* (2008), op grond van analyses met het hydro-ecologisch model DEMNAT, en er is over gepubliceerd door Witte *et al.* (2009).

De ontwikkeling van de grondwaterstanden is hiervoor besproken: deze zullen 's zomers lager worden, maar in de winter zullen ze eerder hoger liggen. Ook de voorjaarsgrondwaterstand lijkt iets te stijgen. De lange-termijnontwikkeling van de grondwaterstanden vertoont een geleidelijke stijging in de hogere gronden en een daling in de laaggelegen peilbeheerste gebieden. Dat alles heeft gevolgen voor de terrestrische natuur van natte en vochtige standplaatsen, en vooral van kwelafhankelijke natuur. Deze lijken erop vooruit te gaan.

Hoe die veranderingen te duiden tegen de veel invloedrijkere achtergrond van overige menselijke invloeden, kan in het bestek van dit rapport onvoldoende worden uitgewerkt. Daarom gaan we er niet verder op in.

We gaan er ook vanuit dat er voor de natuur geen watervraag wordt gesteld in termen van te leveren volumes. Voor de natuur zijn milieucondities en natuurlijke waterstandsfluctuaties veel belangrijker dan hoeveelheden.

6.7 Reflectie op continueren huidig beleid

We hebben vastgesteld dat de grootste zoetwatervrager de landbouw is, als het niet is voor beregening dan wel voor het zoet houden van de watergangen. Voor peilbeheer en verscheidene andere functies is ook brak water bruikbaar. Voor weer andere functies geldt dat ze wel zoet water vragen, maar dat het om zulke kleine hoeveelheden gaat dat het kosteneffectief kan zijn die tijdelijk tegen relatief hoge kosten te betrekken uit andere delen van het land.

De berekende droogterisico's in de landbouw bedragen nu al ca 350 M€ per jaar (verwachtingswaarde), met grote verschillen tussen relatief natte en relatief droge jaren en grote ruimtelijke verschillen tussen verschillende gebieden. Bij klimaatscenario W+ loopt het droogterisico op tot 650 M€ per jaar in 2050. Aangezien dat het meest droge klimaatscenario is, zal de landbouwschade naar verwachting met minder dan 300 M€/jaar toenemen.

Dit zijn berekende schades, tegen huidig prijspeil, zonder rekening te houden met prijselasticiteit. In werkelijkheid is er in droge jaren soms sprake van werkelijk grote schade in de landbouw, maar er zijn ook gevallen bekend waarbij de marktprijs van producten zich door schaarste zo gunstig ontwikkelde dat de inkomsten van de agrariërs juist positief afstaken. Dat geeft aan dat het lastig is over 'de schade' voor 'de landbouw' te spreken.

Uitgaande van deze getalswaarden kunnen we wel een richtbedrag afleiden dat mag worden uitgegeven om deze schade te voorkomen. Als het zeker zou zijn dat het volledige verschil van 300 M€/jaar door de maatregelen kan worden terugverdiend, mag leniging van de schade maximaal 25-40 keer dat bedrag kosten. Dat wil zeggen dat een investering (inclusief onderhoud en beheer) van 7,5 miljard tot 12 miljard € nog verantwoord zou zijn.

Of leniging van de volledige schadetoename wel mogelijk is, valt te betwijfelen gezien de grote regionale verschillen tussen de hogere zandgronden en de lage klei- en veengebieden.

De gewaskeuze lijkt nog niet optimaal op de bodemgesteldheid en waterbeschikbaarheid afgestemd (Figuur 6.8).

Voor de scheepvaart kan een zelfde redenering worden gevolgd. De extra schade belooft maximaal 190 M€ jaar extra; een investering om dat te voorkomen mag dan 4,7 tot 7,6 G€ kosten, mits het zeker is dat dit volledige verschil wordt terugverdiend.

De waterbalans van Nederland laat zien dat er in absolute zin geen watertekort is in Nederland. Zelfs in zeer droge jaren is de aanvoer van de grote rivieren voldoende om aan de vraag te voldoen. In relatieve zin is er wel een tekort, want het blijkt niet mogelijk om water van de gevraagde kwaliteit op het juiste tijdstip op de juiste plaats te krijgen. Het is dus vooral een verdelingsvraagstuk. Het water moet uit de grote wateren worden verdeeld tot in de 'haarvaten' van het ontwateringssysteem, die deels op hoge gronden liggen en deels in gebieden met sterke brakke of zoute kwel. Dat is lastig, omdat de afstanden groot zijn, de capaciteit van watergangen soms tekort schiet, en omdat tegen de zwaartekracht moet worden opgebokst.

Ten eerste is de wijze van wateraanvoer via open leidingen (weteringen, vaarten en sloten) die ook gebruikt worden voor de afvoer van water, waaronder zoute en brakke kwel, ongunstig. Het brakke kwelwater en het zoete aanvoerwater worden gemengd, waardoor zeer veel zoetwater nodig is om de zoutconcentratie voldoende laag te houden. Dit kan als een zeer inefficiënte wijze van zoetwateraanvoer worden beschouwd (zeker in vergelijking met echt droge landen). Daar zijn vraagtekens bij te plaatsen, net zoals bij het aanvoeren van zoetwater naar uithoeken van het land (ver weg, laaggelegen met brakke of zoute kwel of juist hooggelegen met zeer doorlatende gronden).

Daar komt, ten tweede, bij dat veel zoetwater wordt gebruikt – of 'verspild' – aan het terugdringen van de zouttong in de Nieuwe Waterweg. Bij lage rivierafvoeren is het vrijwel onmogelijk te voorkomen dat het water bij de inlaat te Gouda en bij de Bernisse hogere zoutgehalten kent dan gewenst. Dat is overigens nog niet echt zout, maar wel zouter dan voor sommige teelten in de landbouw gevraagd. Vanuit waterverdelingspunt zijn bij deze open Nieuwe Waterweg vraagtekens te plaatsen.

7 Beheersen van droogterisico's: maatregelen en strategische beleidsalternatieven

7.1 Soorten maatregelen en instrumenten

Er kunnen maatregelen worden onderscheiden op verschillende schaalniveaus, waarvoor verschillende partijen verantwoordelijk zijn. We richten ons hier op de rijksoverheid en de waterschappen als belangrijkste actoren, en dus *niet zozeer op maatregelen die door individuele grondgebruikers kunnen worden genomen*. Die laatste vatten we samen onder het kopje: *ontkoppeling*. Daarmee worden maatregelen bedoeld zoals lokale opslag (bij kassen), lokale ontziltling van slootwater of grondwater, sluiten van de waterkringloop (in kassen), e.d.

Om droogterisico's te verkleinen zijn maatregelen en beleidsinstrumenten vanuit twee verschillende invalshoeken interessant: kan het *gevaar* van droogte worden verkleind door vergroting van het wateraanbod vanuit rijkswateren of kan de *kwetsbaarheid* voor watertekorten worden verkleind door de vraag naar (zoet) water op lokaal niveau te verkleinen.

7.1.1 Concrete voorbeelden

Rijk/regio kunnen het volgende doen (deels geïnspireerd op Droogtestudie 2 van Rijkswaterstaat/RIZA, 2005), volgens een soort glijdende schaal van 'U vraagt, wij draaien' naar 'water stuurt, landgebruik volgt' (in blauw wat Van Beek *et al.* (2008) hebben onderzocht):

1. [Zoetwater uit hoofdsysteem aanvoeren \(hoog en laag NL\): = peilhandhaving polders + doorspoelen + onbepikt beregenen.](#)
2. Zoetwater leveren via gescheiden aanvoer via oppervlaktewater (ontwaterings- en irrigatieselsels scheiden).
3. Zoetwater leveren via pijpen (evt. door de hoofdwatgangen).
4. Alleen peil handhaven zolang genoeg water voorhanden is en 's zomers laten verzilten (landgebruik moet zich aanpassen).
5. [Zoet water vasthouden Hoog Nederland.](#)
6. Zoet water vasthouden Laag Nederland.
7. [Zoet water opslaan in inundatiepolders/ droogmakerijen Laag Nederland.](#)
8. Water beprijzen.
9. Landgebruikverandering financieel stimuleren.
10. Landgebruik reguleren (bestemmingsaanpassing).

Over deze laatste 3 instrumenten weten we niet veel, ze worden samen genomen onder de noemer: *non-structural solutions*. Van sommige maatregelen is al onderzocht in hoeverre ze (kosten-)effectief zijn indien grootschalig toegepast. Dat geldt met name voor de hierboven met blauwe tekst aangegeven grootschalige maatregelen. Van andere maatregelen weten we één en ander over de regionale toepasbaarheid en kosten, onder meer uit de 'meta-studie' (Anonymus, 2009b).

Aan samenhangende strategische alternatieven met sets van maatregelen en bijbehorende beleidsinstrumenten is echter nog weinig onderzoek gedaan. Het onderhavige onderzoek kan daar ook slechts een kleine en hoofdzakelijk kwalitatieve bijdrage aan leveren; maar in het Deltaprogramma wordt uitgebreider onderzoek gedaan aan het omgaan met droogterisico's (Van Velzen *et al.*, in voorber.).

7.2 Strategische beleidsalternatieven

7.2.1 Van gidsprincipes naar beleidsalternatieven

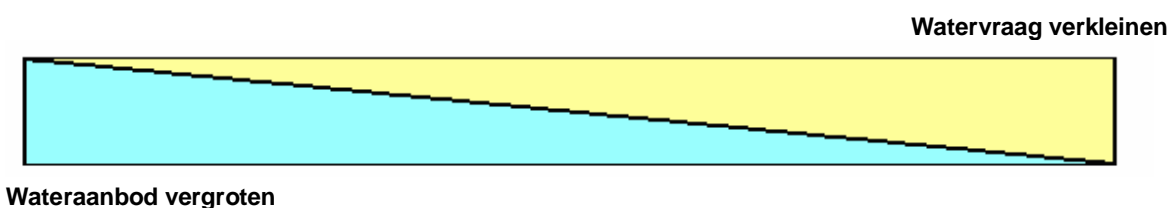
In de strategische beleidsalternatieven moeten de maatregelen en instrumenten op een logische manier worden gecombineerd. Zo wordt ervoor gezorgd dat de maatregelen goed bij elkaar passen en wordt voorkomen dat maatregelen worden gecombineerd die elkaar in de weg zitten. Zo is er bijvoorbeeld geen enkele aanleiding voor een grondgebruiker om zelfvoorzienendheid na te streven als gratis water in onbeperkte hoeveelheid beschikbaar wordt gesteld.

Het combineren van individuele maatregelen gaat het handigst als er eerst duidelijke gidsprincipes worden geformuleerd om verschillende alternatieven op te baseren. Bij gidsprincipes kunnen we denken aan 'tegenstellingen' zoals:

weerstand bieden	← →	meebewegen
weerstand	← →	veerkracht
water volgt functie (de vraag)	← →	water stuurt functie (het landgebruik)
vanuit de 'occupatielaag'	← →	vanuit de 'fysieke onderlaag'
100% rijksverantwoordelijkheid	← →	100% individuele verantwoordelijkheid
leveren vanuit hoofdsysteem	← →	zelfvoorzienendheid bevorderen
technische maatregelen (<i>structural</i>)	← →	'zachte' beleidsinstrumenten (<i>non-structural</i>)

Dit zijn allemaal voorbeelden langs één as, waarop vele punten kunnen worden gekozen die als tussenoplossingen kunnen gelden, waarbij een combinatie van maatregelen aan de orde is. Qua te implementeren maatregelen zullen de hierboven genoemde assen heel vergelijkbaar uitwerken; ze lopen vrijwel parallel. Dat betekent dat automatisch ook een goede aansluiting ontstaat bij enerzijds het Waterplan van V&W ("Meebewegen waar het kan, weerstand bieden waar het moet") en anderzijds de 'lagenbenadering' van VROM.

De begrippen meebewegen en weerstand bieden behoeven in het geval van watervoorziening een nadere concretisering. Voor deze studie komt het vooral neer op de vraag in hoeverre er sprake kan zijn van vermindering van de **watervraag** (door ontkoppeling op lokaal niveau), en waar vergroten van het **aanbod** (uit het hoofdwatersysteem) noodzakelijk is.



Figuur 7.1 Strategische beleidsalternatieven kunnen worden samengesteld uit aanbodvergroten (links) en vraagverkleinende (rechts) maatregelen in verschillende verhoudingen

7.2.2 Overzicht beleidsalternatieven

Om een consistent en samenhangend geheel te krijgen, kunnen we het aanbod-vergroten en vraag-verkleinen op 2 assen in een soort matrix combineren, waarin sommige vakjes logisch zijn en sommige volstrekt onlogisch (Tabel 7.1). Het aanbod-vergroten vraagt vooral technische werken om zoetwatervoorraden te vormen en deze te distribueren naar de vraaggebieden. Het vraag-verkleinen vraagt hetzij aanpassing van het grondgebruik, hetzij lokale techniek die de afhankelijkheid van het hoofwatersysteem verkleint. Dit levert een diagonale as met de Nationaal-Waterplanprincipes aan de uiteinden:

- Weerstand bieden waar het moet (linksboven).
- Meebewegen waar het kan (rechts onder).

Nu kan het zo zijn dat sommige oplossingsrichtingen voor het ene deel van het land wel opportuun zijn, maar voor het andere niet. Zo wordt vaak wel serieus gedacht over herstel van estuariene dynamiek en zoutgradiënten in het zuidwestelijk estuariumgebied, maar wordt die oplossing voor het IJsselmeer *out of the question* gevonden. Dat kan worden aangepakt door regionaal te differentiëren. Dat vergt inzicht in de vraag waar welk maatregeltype kosteneffectief is, en waar niet.

Voorbeelden: zoet water naar Noord-Beveland transporteren is veel duurder dan naar Tholen, water vasthouden op hoge zandgronden is makkelijker in de West-Brabantse zandgebieden (met veel sloten en beken) dan op de Oost-Brabantse Peelhorst (zonder dicht oppervlaktewaterstelsel).

7.2.3 Toedeling maatregelen en instrumenten aan alternatieven

Met enige kennis van de effectiviteit en kosteneffectiviteit per maatregeltype en per gebiedstype kan een verstandige keuze worden gemaakt welke maatregelen in welk alternatief op te nemen, en meer specifiek: waar wel en waar niet. Bovendien zijn sommige maatregelen logisch gekoppeld en sommige geheel niet.

Uitgangspunt van de alternatieven 1 en 2 is bijvoorbeeld dat wordt getracht vanuit het hoofwatersysteem aan de vraag vanuit de landbouw te voldoen, of in het gehele land (alternatief 1) of in een groot deel (alternatief 2). Dat betekent gratis levering vanuit de idee dat de landbouw voor Nederland van grote collectieve betekenis is. Het betekent ook dat er geen prikkel is voor watergebruikers om zuinig met water om te gaan (verg. Anonymus, 2009n). Lokale maatregelen horen daar dus niet bij.

Alternatieven 3 en 4 proberen de kosten juist meer bij de watergebruiker te leggen en hetzij de – collectieve – wateraanvoer effectiever te maken hetzij lokaal water op te slaan of te produceren (ontzilten). Dat vraagt lokale – individuele of coöperatieve – maatregelen, Alternatief 5 tenslotte streeft naar een aanpassing van het grondgebruik aan de natuurlijke mogelijkheden van bodem en (grond)water, in plaats van aan aanpassing van bodemeigenschappen en waterbeheer aan wensen van het grondgebruik. Dat betekent dat grote waterverbruikers zich terugtrekken uit gebieden met mogelijke zoetwatertekorten.

Tabel 7.1 Overzicht van de onderzochte strategische alternatieven voor de beheersing van overstromingsrisico's als combinatie van technische ingrepen en ruimtelijk beleid

Vraag verkleinen (ruimtelijk beleid/ lokale techniek)	Autonoom (geen vraagbeperking)	Gedifferentieerde groei (impliciet gestuurd)	Vraagbeperking/ gestuurde verplaatsing landgebruiksfuncties
Aanbod vergroten (rijkswaterbeleid/ infrastructuur)			
Aanbod vergroten: extra IJsselmeer, extra 'Zeeuws meer'	1 Water volgt Aanvoer via vergrote/ extra open leidingen		
Huidig beleid (zoet water IJsselmeer en deels HD-HV)	0 Huidig beleid continueren (referentie)		
Ruimtelijk gedifferentieerd: extra IJsselmeer, maar open estuaria	2 Anders aanvoeren via vergrote/ extra open leidingen, verplaatsen inlaatpunten		
Gericht en zuinig aanvoeren		3 Gesloten aanvoer via pijpleidingen naar specifieke vragers/ beprijzing/ econ. sturing	
'Water (en zout) stuurt landgebruik'		4 Regionale zelfvoorziening Ontkoppelen watervraag (lokale berging/ ontzilten)	5 Water stuurt Leven met watertekort en met zout (lees: met de lokale natuurlijke mogelijkheden)

Alternatief 1: 'Water volgt'

Bij 'water volgt' is de vraag bepalend. Dat leidt tot een ver doorgevoerd technisch alternatief, waarbij de rijksoverheid ernaar streeft in een zo groot mogelijk deel van het land de beschikbaarheid van zoet water te garanderen door aanvoer uit de grote rivieren en meren.

Het vraagt om een zoet IJsselmeer, een zoet Haringvliet, een zoet Volkerak-Zoommeer en extra kanalen (open leidingen) en grote waterleidingen naar de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden. Ook de aanvoer van 'gebiedsvreemd' water naar de zandgronden van Brabant, Overijssel en Drente via te vergroten kanalen, extra kanalen en gemalen om het water naar de hogere zandgronden te pompen hoort erbij. Dit alternatief vraagt dus grote investeringen in infrastructuur, waarbij kosteneffectiviteit niet doorslaggevend is, maar juist principieel wordt gehecht aan een gegarandeerde voedselvoorziening en een rol van Nederland als groente-, bloemen- en bollentuin van Europa en de rest van de wereld.

Optimalisatie ten behoeve van de landbouw staat voorop; aan de ecologische gevolgen van gebiedsvreemd water wordt minder gehecht. Beetje 1950-ies dus (de wederopbouwperiode), maar misschien ook wel 2050-ies?

De investeringen gaan deels uit rijksmiddelen en deels uit middelen van de waterschappen; beide collectieve middelen. Er is aldus sprake van een verkapte subsidie aan de landbouw,

Alternatief 2: 'Anders aanvoeren'

Dit alternatief kan ook worden aangeduid als het 'Veerman-alternatief'. Het komt neer op een 'bewuste keuze op nationaal niveau' of ook wel een 'voor ieder wat wils'. Dat betekent dat wél water wordt aangevoerd waar het relatief kosteneffectief kan (Friesland Groningen, Noord-Holland) en/of de (vermeende) economische meerwaarde groot is (Midden-West-Nederland: Westland, Bollenstreek, omgeving Boskoop).

Maar dat geen water wordt aangevoerd waar grote investeringen nodig zijn (Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden), of de nationale betekenis van het gebied ook in andere gebruiksfuncties kan worden gezocht (mosselen, oesters, recreatie).

Daar wordt geen gratis zoetwater geleverd, maar aan beprijzing gedacht of het initiatief aan de individuele landgebruiker wordt gelaten om hetzij z'n vraag te verkleinen hetzij zelf voor aanbod te zorgen (ontkoppeling).

Concreet betekent het dat Friesland, Groningen, delen van Drente, Noord-Holland en Centraal Holland van zoetwater worden voorzien vanuit het IJsselmeer en Markermeer. Daar kan worden gekozen voor peilopzet (zoals gesuggereerd door de commissie Veerman) of voor het laten uitzakken van het peil (zoals bestudeerd door Van Beek *et al.*, 2008).

In dit alternatief kan water vasthouden op de zandgronden worden meegenomen (ondanks twijfelachtige effectiviteit), maar extra aanvoer van gebiedsvreemd water op de zandgronden niet, omdat dit de aanleg van extra aanvoerkanalen vereist, waarvan de kosten niet opwegen tegen de baten.

Alternatief 3: 'Gesloten aanvoer'

De aanvoer van zoetwater voor beregening van landbouwgewassen is vaak weinig efficiënt (Anonymus, 2009b). Dat komt omdat wateraanvoer vaak verscheidene doelen tegelijk dient, in verschillende verhoudingen. De belangrijkste watervragers zijn peilbeheer, doorspoelen en beregening/ irrigatie. De verhouding tussen die drie verschilt per gebied.

In gebieden met veel wegzijging naar het grondwater is peilbeheer een grote post op de waterbalans. Dat is het geval in de zandgronden van de Peel en geheel Oost-Nederland (Drente, Groningen). Daar raakt water ‘verloren’, dat niet gebruikt kan worden voor beregening.

In gebieden met zoute kwel, daarentegen, is doorspoeling een grote post op de waterbalans van waterbeheergebieden. Zo is door Anonymus (2009b) vastgesteld dat in Goeree-Overflakkee minder dan 5% van het inlaatwater wordt gebruikt voor beregening, terwijl heel veel water nodig is om de sloten enigszins zoet te houden (zie ook Passchier *et al.*, 2009). De grote zoute kwelflux en de locatie van in- en uitlaatpunten maken dat vrijwel onmogelijk. Het leidt tot ‘verborgen kosten’ voor zoetwatervoorziening op Goeree die ca 1,50 €/m³ bedragen (De Vries *et al.*, in Anonymus, 2009b, blz. 67). Een vergelijkbare situatie is te vinden op veel Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden, zoals blijkt uit de daarvoor opgestelde waterbalansen (Anonymus, 2009b, blz. 31).

Ook grote gebieden met droogmakerijen tussen boezemwateren vragen soms grote doorspoeldebieten om de waterkwaliteit voldoende te houden, en vooral het zoutgehalte voldoende laag. Dat geldt voor Centraal-Holland (met brakke en/of zoute kwel in de Haarlemmermeer, polder Mijdrecht, de Horstermeer, en rond Gouda en Alphen; Klijn, 1989) en Noord-Holland (met brakke kwel in de Beemster, Schermer en Wormer en in de Wieringermeer), zij het in mindere mate dan eilanden in het zuidwesten.

Om de efficiëntie van wateraanvoer naar veeleisende gebruikers te vergroten, moet de menging van goed zoet water met brakke kwel en brak slootwater worden voorkomen. Dat vraagt een scheiding van watersoorten. Dat kan door:

- 1 een scheiding van waterlopen voor aanvoer en afvoer, op verschillende peilen;
- 2 met gesloten aanvoerleidingen om menging en verliezen te voorkomen.

Gescheiden open leidingen vergen veel ruimte, namelijk vaarten en sloten naast elkaar, terwijl de volumina die nodig zijn voor beregening relatief klein zijn. Dat betekent dat de consequenties vrij groot zijn – vooral in termen van hectares areaalverlies –, en de kosten navenant. Het ligt voor de hand dat de maatregelen worden geïmplementeerd door waterschappen: het gaat immers om watergangen. De maatschappelijke weerstand tegen deze maatregel zal vermoedelijk vrij groot zijn. Daarom wordt gekozen voor de 2^e mogelijkheid.

Een gesloten leiding door bestaande watergangen trekken vraagt nauwelijks tot geen ruimte (kan verzonken in de slootbodem), maar vraagt wel (iets) geavanceerder techniek en een flinke investering in pijpleidingen en kranen. Ook ondergrondse leidingen zijn denkbaar. Deze maatregel kan – met goedvinden van het waterschap – ook door marktpartijen²⁸, individuele grondgebruikers of coöperaties van grondgebruikers worden geïmplementeerd. Een efficiënte maatvoering en het voorkomen van een wirwar van losse leidingen vragen enige sturing (vergunningverlening) door de overheid/ waterbeheerder. De kosten kunnen worden verhaald op de watergebruikers door beprijzing, of meteen door een collectief van gebruikers worden opgebracht. Een dergelijke financieringsvorm bevordert zuinigheid in de omgang met zoetwater, terwijl de kostprijs van de beregening in de winkel kan worden doorberekend aan de consument.

28. Zo exploiteert Evides de – met subsidie aangelegde – landbouwwaterleiding van de Biesbosch naar Zuid-Beveland, waarmee water voor de fruitteelt wordt geleverd tegen 0,50 €/m³ (De Vries *et al.* in Anonymus, 2009, blz. 66-67).

Samengevat: waar het bestaande landgebruik bereid is de kosten te dragen (beprijzing) wordt een irrigatiesysteem aangelegd. En hetzelfde geldt voor water vasthouden op de zandgronden of aanvoeren via leidingen: op particulier initiatief.

Alternatief 4: Regionale zelfvoorziening

Dit alternatief lijkt sterk op het voorgaande, maar met een nog kleinere rol van de waterbeheerder, c.q. collectieven, en met een nog grotere autonomie van de individuele gebruikers. Het rijk levert geen gratis water meer uit het hoofdwatersysteem waar dit schaars is of niet 'van nature' zoet; waterschappen doen nog slechts peilbeheer – desnoods met 'zout' water – en algemeen waterkwaliteitsbeheer, maar spoelen niet meer door om beregening mogelijk te maken.

Dit noopt tot ontkoppeling van gebruiksfuncties van het regionale watersysteem door lokale opslag (bij kassen) en/of ontzilting van sloot- of grondwater. Het is aan de individuele grondgebruiker een afweging te maken tussen investeringen in zoetwatervoorziening (ontziltingsinstallatie met vergunning tot zoutlozing; leidingen) of wijziging van teelt/ bedrijfstype. De kosten komen daardoor geheel bij de individuele ondernemer, die het weer kan doorberekenen aan de consument: het marktmechanisme in *optima forma*.

Deze 'koude sanering' zal vermoedelijk leiden tot investeringen in lokale techniek, op lokaal niveau. Waar het niet kosteneffectief is past het landgebruik zich aan of ondernemers zoeken hun heil elders; anders of elders dus. Het rijk faciliteert dat door bestemmingsbeleid van bovenaf sterker te sturen en een steviger grip op het grondbeleid.

Natuur past zich aan brakke kwel en vele sloten worden dus brak. De Natura 2000-doelen en KRW-doelen worden aangepast aan de natuurlijke potenties van de standplaatsen in plaats van aan de antropogene uitgangssituatie anno 2010.

Bloembollen: droogtegevoelig?

Bloembollen worden vaak genoemd als een gewas waarvoor water moet worden aangevoerd. Dat is grotendeels een mythe.

De meeste bolgewassen stammen uit mediterrane en/of bergachtige streken (Turkije, Griekenland), waar ze – met knolgewassen – verhoudingsgewijs goed tieren, juist omdat ze zijn aangepast aan het extreme klimaat met natte koude winters en droge hete zomers. Bol- en knolgewassen bloeien, groeien en zetten zaad in het voorjaar, waarna ze de droge zomer in rust doorbrengen na alle voedingstoffen in de bol/knol te hebben opgeslagen. Ze zijn dus evolutionair optimaal aangepast aan droogte. Beregening van bloembollen in de zomer komt dan ook niet voor (of zelden; uitzonderingen zijn bijv. lelies). Dan sterft het loof immers al af.

Wel geldt, en dat is een ander punt, dat bloembollen heel gevoelig zijn voor rot en schimmel. Daarom doen ze het goed in zandgrond en andere lichte gronden, waarin de waterstand nauwkeurig kan worden geregeld: niet te droog, maar zeker niet te nat. Dat verklaart deels het ontstaan van de Bollenstreek in het strandwallenlandschap tegen de Hollandse duinen. Daarbij kunnen veel bolgewassen niet goed tegen hoge zoutgehaltes. Ook dat is verklaarbaar tegen de achtergrond van hun oorsprong: vaak bergachtig gebied.

Alternatief 5: 'Water stuurt'

Door minder droogte- en/of zoutgevoelige gewassen te gaan verbouwen kan het droogterisico worden verkleind. Complicaties daarbij zijn dat minder gevoelige gewassen soms ook minder opbrengen en dat er voor sommige gewassen maar een beperkte markt is.

In Tabel 7.2 is de relatieve gewasgevoeligheid afgeleid uit de berekeningsresultaten voor verschillende jaren. Daaruit kan worden afgeleid dat granen minder gevoelig zijn voor droogte dan hakvruchten (aardappelen en bieten), maar het is eveneens duidelijk dat die laatste per hectare een veel grotere opbrengst opleveren²⁹. Op grote schaal van hakvruchten overschakelen op granen (en koolzaad) levert dus wel een geringer droogterisico, maar ook lagere opbrengsten voor de agrariër. Dat ligt anders wanneer van gras en maïs op granen wordt overgeschakeld: dat kan rendabeler uitpakken bij toenemende droogte. Nu brengen gras en maïs nog meer op per hectare, maar bij grote droogte gaat graan beter renderen.

Tabel 7.2 *Indicatie van de teeltgevoeligheid voor droogte, zoals afgeleid uit de met AGRICOM berekende opbrengsten per hectare en de procentuele schade in een gemiddelde en een extreem droog jaar, gemiddeld over het hele land*

	Opbrengst /ha (€)	Droogteschade (%)		Gevoeligheid
		Gemiddeld jaar	Extreem droog jaar	
gras	1100 - 1500	6%	39%	zeer groot
maïs	1200 - 1600	3%	38%	zeer groot
aardappelen	5000 - 7000	9%	34%	groot
suikerbieten	6500 - 8500	5%	35%	groot
granen	1200 - 1700	3%	29%	matig groot
glastuinbouw	40000 - 50000	1%	1%	zeer klein
fruitteelt	2800 - 3700	5%	28%	matig groot
bollenteelt	50000 - 65000	0%	9%	klein

Overschakelen op de weinig droogtegevoelige bollen lijkt dan heel aantrekkelijk, maar daarvoor is de markt beperkt. Bovendien is het een arbeidsintensieve en gespecialiseerde teelt. Voor glastuinbouw geldt eveneens dat deze nauwelijks gevoelig is voor droogte, omdat de kassen veelal een gesloten waterhuishouding hebben.

Maar overschakelen naar kassen vraagt een grote investering, die zich niet altijd en overall makkelijk terugverdient. Kassenteelt is vaak afhankelijk van een goede infrastructuur (veiling, transport, etc.).

Deze teelt is daarmee niet alleen arbeidsintensief, maar ook enorm kapitaalintensief. En het vigerend ruimtelijke orderingsbeleid beperkt al te willekeurige uitbreiding.

Dit alternatief zet fors in op ruimtelijke ordening als instrument, door stimulering van groei van sectoren alleen op plekken waar wateraanbod, -kwaliteit en -peil voor die bepaalde sector/teelt naar verwachting nooit beperkend zullen zijn. Waar de omstandigheden alleen met kunst en vliegwerk goed te houden zijn wordt geen garantie meer gegeven, zodat de agrariërs hetzij naar elders zullen uitwijken, hetzij hun eigen watervoorziening ter hand zullen nemen.

29. De hier weergegeven opbrengsten komen uit berekeningen met AGRICOM, maar zijn in werkelijkheid natuurlijk afhankelijk van de markt. Zo is de relatief hoge opbrengst van suikerbieten misschien niet geheel onafhankelijk van een landbouwbeleid dat rietsuikerlanden protectionistisch zouden noemen.

In tegenstelling tot alternatief 4 – waarin sprake was van ‘koude’ sanering door geen water meer te leveren – wordt hier actief tot bedrijfsverplaatsing aangemoedigd. Men kan daarbij denken aan subsidies, vergunningverlening (en het weigeren van uitbreidingsvergunningen), een nieuwe ronde ‘landinrichting’, e.d.

Het streven is teelten te laten plaatsvinden waar deze het best passen bij de heersende omstandigheden:

- Bloemen en bollen waar de omstandigheden ideaal zijn (goed-gedraineerd, niet brak; bijv. Oost-Groningen, Drente) of in een wisselend teeltplan (‘reizende bollenkraam’);
- Boompjes en sierteelt idem (zoet, goed-gedraineerd; boompjeesteelt bijv. naar De Peelhorst of Westelijk Brabant);
- Aardappels op klei en niet langer op zandgronden (weg uit Oost-Groningen en Drente),
- Vollegroondsakkerbouw waar het kan (niet te zoute kleigronden)
- De melkveestapel op laaggelegen en/of enigszins zilte graslanden,
- Verder niche-producten (oesters, mosselen, etc.).

VROM stuurt op hoofdlijnen door een ruimtelijke hoofdstructuur die de heldere visie van het rijk als geheel op de toekomstige rol van Nederland in Europa en de wereld ruimtelijk vertaalt. Dit vergt een forse investering in een nieuwe ronde grootschalig ruilen c.q. ‘landinrichting’.

Een dergelijke keuze hoeft niet beperkt te blijven tot de landbouw. Ook voor natuur kan worden gekozen voor die natuur waar Nederland ‘goed in is’ (dat wil zeggen beter dan de buurlanden): estuaria, Wadden, duinen en laagveenmoerassen in plaats van Grove-Dennenakkers (= Scandinavië) en kalkgraslanden (= half Frankrijk).

De deltawateren (Grevelingen) mogen dan afsluitbaar open met zoutgradiënten, waterpeilen (IJsselmeer) mogen natuurlijker fluctueren, grondwaterpeilen gaan meer het seizoen volgen (vasthouden in winter – tot plasdras in veenweidegebied –, en uitzakken in zomer). Droogmakerijen die erg veel bemaling vergen en veel zout uitslaan en op hun omgeving afwentelen kunnen onder water worden gezet (Horstermeer, e.d.). De Randstad ontwikkelt zich ‘à la Deltametropool’ en de landbouw ondergaat een tweetal transitieën: op een groot oppervlak naar lagere opbrengsten en minder kapitaal- en arbeidsintensief, op een klein oppervlak naar intensief en volledig ontkoppeld (agro-industrieel).

7.2.4 Relatie met maatregelen aan het hoofdwatersysteem

De hier onderscheiden alternatieven verschillen vooral naar de mate waarin de landgebruiksectoren zijn losgekoppeld van het regionale watersysteem en de mate waarin het regionale watersysteem is losgekoppeld van het hoofdwatersysteem. Alternatieven 2 en 1 gaan uit van wateraanvoer uit het hoofdsysteem. Ze verschillen naar plaats en hoeveelheid: in 2 is inlaat vanuit het Haringvliet- Hollands Diep niet mogelijk, in 1 wordt zoveel water aangevoerd als maar kan. Alternatieven 3, 4 en 5 zetten daarentegen in op ontkoppeling van de watervraag op regionaal of lokaal niveau, zodat in het hoofdwatersysteem niet met kunst- en vliegwerk hoeft te worden geprobeerd de grote wateren zoet te houden.

Sommige van de hier onderscheiden alternatieven (met name 1 en 2) maken alleen kans van slagen als grootschalige wateraanvoer uit het hoofdwatersysteem en tot in de haarvaten mogelijk is. Een exploitierbare zoetwatervoorraad in het hoofdwatersysteem is dan ook essentieel voor het welslagen van dergelijke strategieën. Men denken dan aan een grotere beschikbare hoeveelheid zoetwater in het IJsselmeergebied en aan het effectief tegengaan van oprukkende verzilting in het zuidwestelijk estuariumgebied en het benedenrivierengebied.

Hoewel we hebben geconstateerd dat daarover vanuit veiligheidsoogpunt niet voor 2050 hoeft te worden beslist, ligt dat anders vanuit de problematiek van droogterisico's (zie hoofdstuk 3; Passchier *et al.*, 2009). Er zijn immers nu al problemen bij het inlaten van zoetwater in droge zomers doordat de verzilting dan ver stroomopwaarts invloed doet gelden. Lange-termijnkeuzes en korte-termijnkeuzes over beleidsstrategieën moeten in dit geval in samenhang worden gezien.

7.2.5 Opties voor het IJsselmeer

Om wateraanvoer vanuit het IJsselmeer mogelijk te maken, moet een voldoende waterschijf kunnen worden geëxploiteerd. Van Beek *et al.* (2008) berekenden al dat het daarbij in principe niet uitmaakt of wordt gekozen voor het eerst opzetten van het meerpeil en het dan laten dalen tot huidig streefpeil, of dat wordt gekozen voor het laten uitzakken vanaf streefpeil tot ca 1-1,5 m daaronder. In beide gevallen zou er genoeg voorraad moeten zijn; wel verschillen de consequenties van die beide opties en de benodigde investeringen in gemalen (uitmalend of juist inmalend). Daar wordt momenteel in het kader van het Deltaprogramma uitgebreid op gestudeerd.

Strategisch beleidsalternatief 2 is afhankelijk van het IJsselmeer, maar het maakt niet uit of voor opzet dan wel voor uitzakken vanaf huidig peil wordt gekozen. Alternatief 1 heeft ook water uit het IJsselmeer nodig. Hiervoor geldt hetzelfde. Alternatief 3 kan met veel minder water toe, omdat het water rechtstreeks naar de plant wordt gebracht in plaats van eerst gemengd in de watergangen.

Alternatieven 4 en 5 zijn niet afhankelijk van het hoofdwatersysteem.

7.2.6 Opties voor het Rijnmondgebied

Om grootschalige wateraanvoer in Centraal Holland mogelijk te maken, en eventueel in West-Brabant en op de Hollandse en Zeeuwse eilanden, moet het 'Noordelijk Deltabekken' zoet gehouden worden en in het uiterste geval het 'Zeeuwse Meer'³⁰ gerealiseerd worden. Op dit moment wordt daarentegen juist gestreefd naar het herstel van estuariene gradiënten in Zuidwest Nederland, met een open Nieuwe Waterweg, de Haringvlietsluizen op een kier, en een eventueel zout Volkerak-Zoommeer. Hier conflicteren doelen van natuur, landschap en recreatie met alternatieven ter leniging van droogterisico's in de landbouw die berusten op grootschalige zoetwateraanvoer.

Een grote zoetwateraanvoer in deze regio vraagt om het effectief weren van zout. Dat kan met een gesloten kust, waarbij de **Nieuwe Waterweg** op termijn wordt afgesloten (dam en zeesluis), of met maatregelen om zoutindringing te voorkomen, zoals 'trapjes' in de bodem van de Nieuwe Waterweg/ Nieuw Maas of schermen/ balgen op de bodem van de Nieuwe Maas. Die laatste kunnen naar schatting wel uitstel opleveren van het optrekken van zout water, maar waarschijnlijk geen afstel. Uiteindelijk zal zout water vaker en verder het land indringen en zal het inlaten van water voor Gouda, het Westland (Bernisse) en West-Brabant moeten worden verplaatst naar punten verder stroomopwaarts (zie ook Anonymus, 2009b). Ook op de keuze tussen een zoete dan wel zoute toekomst van het Noordelijk deltabekken wordt in het kader van het Deltaprogramma verder gestudeerd.

30. De term Zeeuwse Meer werd indertijd gebruikt als aanduiding voor een geheel zoet en van de zee afgesloten waterbekken achter de daartoe af te sluiten Haringvlietdam, Brouwersdam, Oosterscheldedam en Veerse Dam, zoals dat in de begintijd van de deltawerken nog als wenselijk werd beschouwd. Dat beeld paste bij de wederopbouwgedachte van de 50-er jaren.

Strategisch beleidsalternatief 1 is afhankelijk van een zoet Noordelijk deltabekken en een zoet Zeeuws Meer. Alternatief 2 (naar Veerman) heeft alleen water uit het IJsselmeer nodig, terwijl het inlaatpunt bij Gouda wordt verplaatst naar de Lek of het Amsterdam-Rijnkanaal. Alternatief 3 kan met zoveel minder water toe dat meer zoutindringing via de Nieuwe Waterweg niet beperkend is.

Alternatieven 4 en 5 zijn niet afhankelijk van het hoofwatersysteem.

7.2.7 Overzicht van compatibiliteit

Tabel 7.3 geeft een overzicht van de relatie tussen strategische beleidsalternatieven en eisen aan het hoofwatersysteem. Alle alternatieven die berusten op wateraanvoer gaan uit van een zoet IJsselmeer en mogelijkheden water in te laten uit het noordelijk deltabekken of van meer bovenstrooms op de grote rivieren.

De tabel laat zien dat alternatieven 1 en 2, net als het huidige beleid, eisen stellen aan het beheer van het hoofwatersysteem. Dat kan conflicteren met andere eisen aan dat systeem, bijvoorbeeld vanuit natuur en recreatie.

De keuze tussen opzetten van het IJsselmeerpeil versus het laten uitzakken vanaf huidig (streef)peil komt vanuit watervoorzorgpunt op hetzelfde neer (zie ook Van Beek *et al.*, 2008).

Tabel 7.3 Overzicht van relatie tussen strategische beleidsalternatieven en eisen die deze stellen aan het hoofwatersysteem

Strategische beleidsalternatieven	IJsselmeer	Rijnmond	Zeeuwse meer
alternatief 1	zoet, opzetten en/of uitzakken	zoet, dicht	zoet, gewenst
alternatief 2	zoet, opzetten en/of uitzakken	zoet, open of dicht	nvt
huidig beleid (0)	zoet	zoet	zout
alternatief 3	zoet/ nvt	nvt	nvt
alternatief 4	nvt	nvt	nvt
alternatief 5	nvt	nvt	nvt

7.3 Wat betekenen de alternatieven voor droogterisico's

Droogterisico's of verwachtingswaarden kunnen worden berekend voor verschillende sectoren, waaronder de landbouw, de scheepvaart, en andere sectoren die afhankelijk van de mate van droogte meer of minder schade lijden.

We beperken ons hier tot de droogterisico's voor de landbouw, omdat vooral alleen daarvoor grootschalige ingrepen worden overwogen met implicaties voor de ruimtelijke ordening op nationaal schaalniveau.

Een systematische en kwantitatieve analyse van de droogterisico's van de hierboven beschreven alternatieven behoorde helaas niet tot de mogelijkheden van dit verkennende onderzoek. Die zou zeer bewerkelijke en langdurige modelberekeningen hebben gevergd. Daar komt bij dat in het kader van het Deltaprogramma uitgebreid en diepgaand onderzoek is gestart, waarvan de resultaten in de komende jaren beschikbaar zullen komen.

In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de studie van Van Beek *et al.* (2008). op de resultaten waarvan een nabewerking heeft plaatsgevonden. Die nabewerking heeft betrekking op:

- nadere ruimtelijke specificatie (waterbeheerdistricten);
- weergave van de resultaten voor een andere – meer fysiografische – regio-indeling;
- selectie van weer te geven resultaten naar relatie met de hierboven beschreven alternatieven.

Concreet betekent het dat we een kwantitatieve indruk kunnen krijgen van de gevolgen van enkele grootschalige maatregelen door een herinterpretatie van berekeningsresultaten van Van Beek *et al.* (2008). Het gaat dan om grootschalige maatregelen die met elkaar ongeveer Alternatief 2 opleveren. De overige alternatieven worden hoofdzakelijk kwalitatief behandeld.

7.3.1 Grootschalige wateraanvoermaatregelen (alternatief 2)

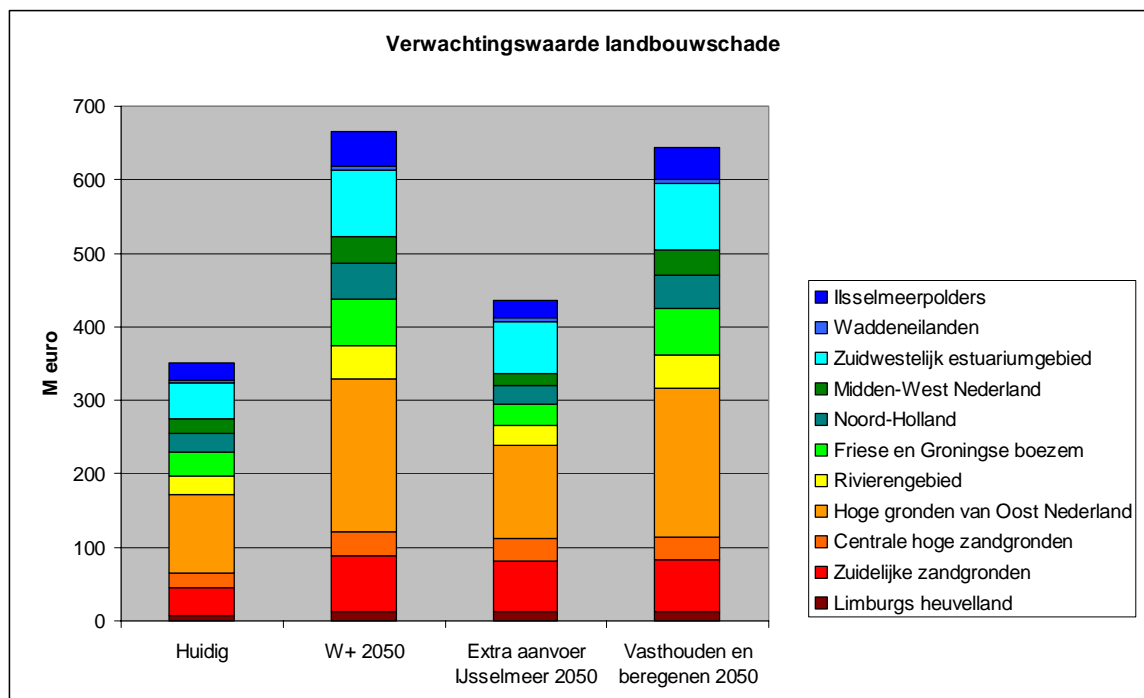
Bij alternatief 2 gaat het om het gecombineerde effect van (1) extra wateraanvoer vanuit het IJsselmeer en het rivierengebied, waarbij alle beperkingen in de doorvoer van water zijn weggenomen (sluizen en gemalen aangepast, watergangen verbreed waar nodig) en vrijelijk mag worden beregend, met (2) de maatregel water vasthouden en op de zandgronden beregenen vanuit het grondwater.

Deze beide maatregelen zijn door Van Beek *et al.* afzonderlijk bestudeerd. Wij geven hier de effecten op de verwachtingwaarden van schades in de landbouw (Figuur 7.2).

Hieruit blijkt dat de extra wateraanvoer relatief veel effect sorteert, vooral in Laag-Nederland en met de nadruk op het noorden en westen, maar dat er ook nog een significante verlaging van het droogterisico op de oostelijke zandgronden is door wateraanvoer naar het Fries-Drents plateau (zie ook Figuur 7.3 en Figuur 7.4).

Water vasthouden en beregening vanuit het grondwater heeft – vanzelfsprekend – vrijwel uitsluitend effect op de zandgronden (zie Figuur 7.3 en Figuur 7.4), maar het totale effect op het droogterisico voor de landbouw voor heel Nederland is nauwelijks significant, zoals blijkt uit Figuur 7.2. Water vasthouden kan bovendien leiden tot hogere grondwaterstanden, terwijl beregening uit grondwater weer tot lagere leidt. Wat dit netto voor gevolgen zal hebben voor de landbouw – minder droogteschade, maar meer natschade? – kan alleen worden vastgesteld als de langjarige invloed op de gemiddelde grondwaterstanden wordt gemodelleerd en het effect op beide vormen van landbouwschade. Zolang hierover geen duidelijkheid bestaat ligt het misschien niet voor de hand deze maatregel op grote schaal toe te passen (Van Beek *et al.*, 2008), maar slechts lokaal.

Procentueel (Figuur 7.4) lijken er baten in Limburg, Noord-Brabant, in de Gelderse Vallei en op de oostelijke zandgronden te behalen.

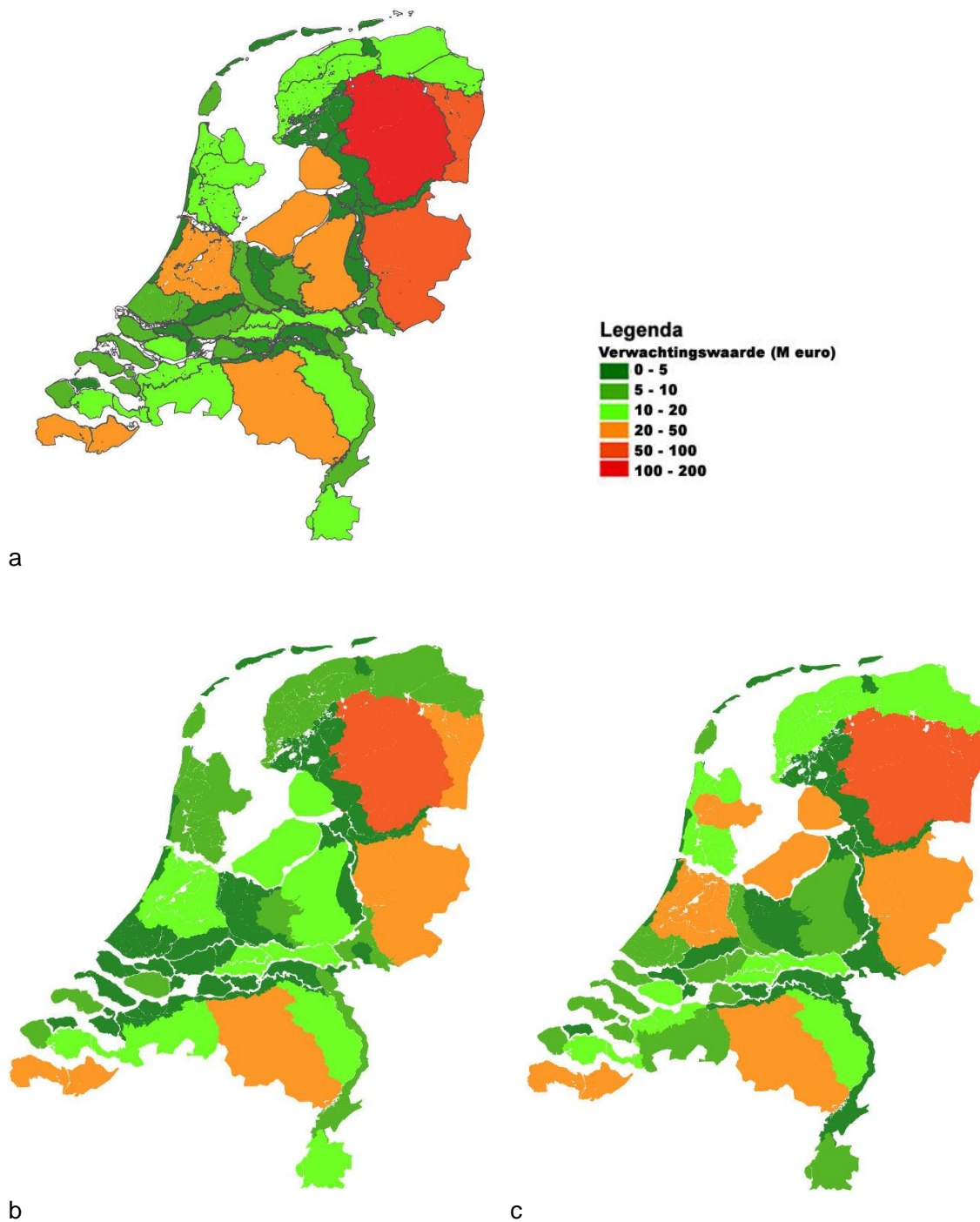


Figuur 7.2 Verwachtingswaarde landbouwschade bij extra wateraanvoer vanuit het IJsselmeer (Alternatief 2) in vergelijking met huidig en W+ 2050 met huidig beleid, alsmede vasthouden en beregenen uit het grondwater.

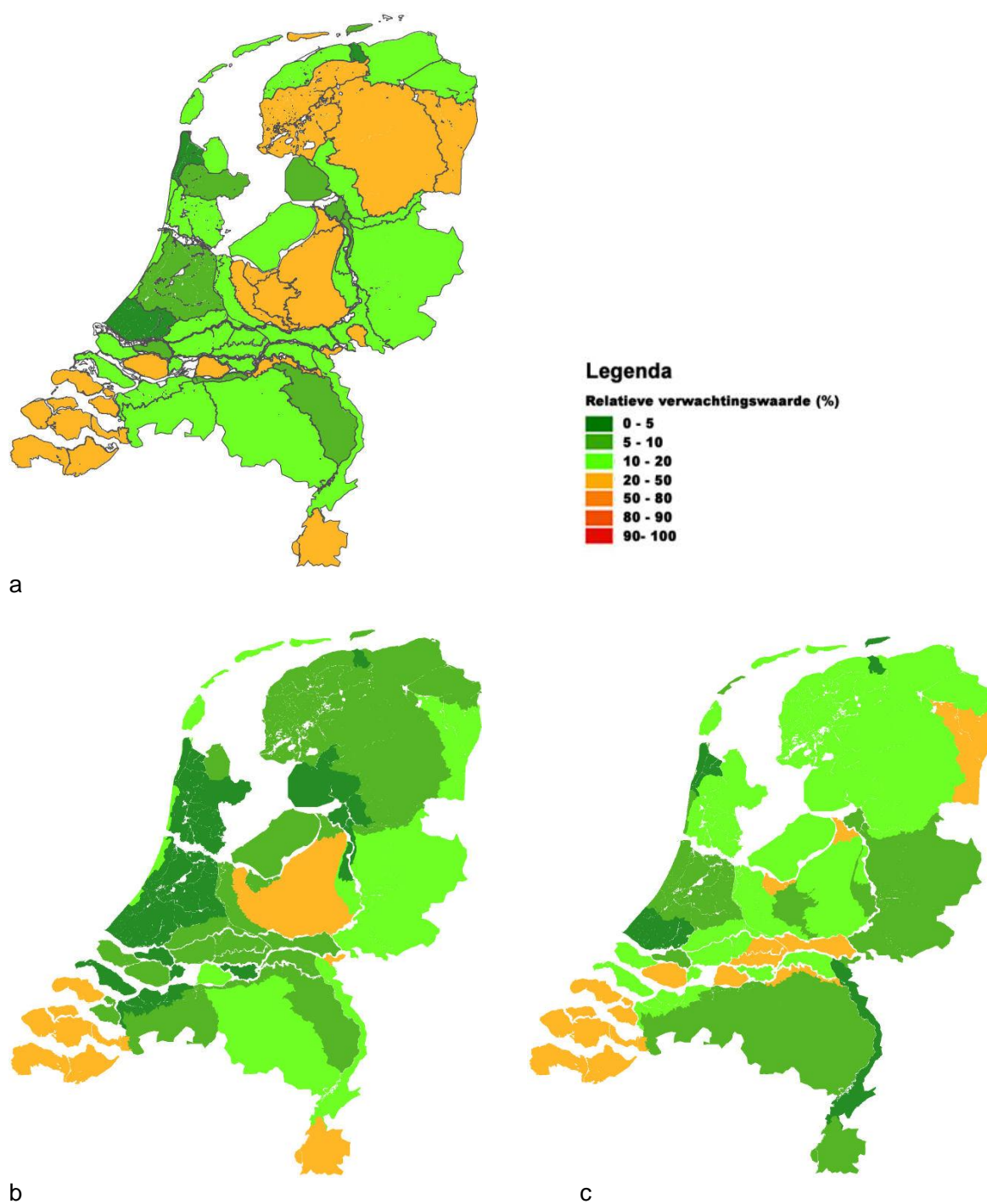
Omdat de droogterisicoreductie door water vasthouden ten eerste gering is en ten tweede vooral op de oostelijke zandgronden optreedt, waar ook wateraanvoer het risico al effectief verkleint, mogen de effecten van beide maatregelen niet zomaar worden opgeteld. Dat betekent dat alternatief 2 bij klimaatscenario W+ in 2050 leidt tot een risicoreductie van naar schatting ca. 230 M€/jr (verwachtingswaarde). Deze risicoreductie wordt vooral gerealiseerd in Laag-Nederland door de wateraanvoer uit het IJsselmeer en de rivieren. Bij minder extreme klimaatscenario's zal de risicoreductie vanzelfsprekend geringer zijn; deze 230 M€/jr kan dus als een soort 'bovengrens' worden beschouwd.

7.3.2 Extrapolatie naar alternatief 1

Het verschil tussen alternatief 1 en 2 heeft betrekking op het gebied waar zoetwater wordt geleverd. In alternatief 1 wordt ook het 'Zeeuwse Meer' zoet gemaakt, waaruit de Zuid-Hollandse en Zeeuwse (schier)eilanden van water kunnen worden voorzien. Gezien de oppervlakten van deze waterbeheerdistricten en de procentuele reductie van het droogterisico zal de risicoreductie van alternatief 1 maar fractioneel groter zijn dan die van alternatief 2; hooguit 10-20 M€ meer. De meerwaarde van zo'n alternatief zit dan ook veel meer in de ruimere teeltkeus die wateraanvoer zou betekenen. En andere teelten kunnen beter renderen, tenzij de markt dit verhindert.



Figuur 7.3 Verwachtingswaarde (M euro's) van de schade per gebied bij W+ in 2050, en diezelfde verwachtingswaarde bij W+ in 2050 bij extra wateraanvoer uit het IJsselmeer (b) en bij water vasthouden en beregenen uit grondwater (c).



Figuur 7.4 Relatieve verwachtingswaarde (procenten) van de schade per gebied bij W+ in 2050 (a), en bij W+ in 2050 bij extra wateraanvoer uit het IJsselmeer (b) en bij water vasthouden en beregenen uit grondwater (c).

Daartegenover staan waarschijnlijk zeer hoge kosten, als men bedenkt dat de 'schaduwprijs' van zoetwater uit het Volkerak al circa € 1,50 per m³ bedraagt (De Vries in Anonymus, 2009b): de kosten van het beheer en onderhoud van de waterwerken in Haringvliet, Volkeraksluizen, Krammersluizen e.d. Ook is relevant dat dit Zeeuwse Meer vermoedelijk alleen voldoende kan worden aangevuld door de Nieuwe Waterweg – waarlangs bij lage rivierafvoeren nu het grootste deel van de Rijnafvoer naar zee stroomt – volledig af te sluiten. Daarom is in Alternatief 1 voorzien in een aan zeezijde volledig gesloten Rijnmondgebied met een dam en zeesluizen in de Nieuwe Waterweg (zie Tabel 7.3).

7.3.3 Alternatieven zonder grootschalige oppervlaktewateraanvoer: 3, 4 en 5

Alternatief 3 berust op een zeer efficiënte wateraanvoer via gesloten leidingen tot aan de beregeningsinstallatie/ het gewas. Dat kan vermoedelijk alleen op kosteneffectieve wijze bij hoogrenderende gewassen, dat wil zeggen, fruitteelt, bloemen en siergewassen en glastuinbouw, en misschien in de vollegrondstuinbouw. Voor bollen lijkt het niet rendabel vanwege de eerder besproken geringe afhankelijkheid van zoetwater. Voor gras, maïs en graan staan de kosten niet in verhouding tot de opbrengstverhoging. En voor hakvruchten (consumptieaardappelen en suikerbieten) is het zeer de vraag of dat het geval is.

Het modelinstrumentarium (AGRICOM) en vooral de beschikbare gegevens over het voorkomen van de verschillende gewassen zijn niet geschikt om hier betrouwbare kwantitatieve uitspraken over te doen. We kunnen slechts voor een aantal gewascategorieën begroten welke schade (verwachtingswaarde) voortvloeit uit de toenemende droogte en daar vervolgens van aannemen dat die door gerichte irrigatie geheel teniet kan worden gedaan. We nemen daarbij dan ook aan dat er geen grote veranderingen in teelten zullen plaatsvinden. Dat geeft de – indicatieve! – waarden zoals weergegeven in Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Met AGRICOM berekende potentiële opbrengsten en schades³¹ in 2050 in scenario W+ voor geheel Nederland voor een aantal hoogwaardige teelten en de (mede op grond daarvan) geschatte mogelijke schadereductie bij precisie-wateraanvoer (alle getallen in M€/jr).

	Potentiële opbrengst	Droogteschade gemiddeld jaar	Droogteschade extreem droog jaar	Risicoreductie (verwachtingswaarde)
glastuinbouw	572 - 716	12	18	12 - 15
bollenteelt	1144 - 1432	14	227	20 - 45
fruitteelt	96 - 120	11	50	13 - 20
overige hoogwaardige teelten	220 - 276	18	98	20 - 30
Totaal				65 - 110

We schatten dat met gerichte wateraanvoer naar de hoogwaardige teelten bij W+ in 2050 zo'n 65 - 110 M€/jaar aan schade kan worden voorkomen bij een totale jaaropbrengst van die vier in de tabel weergegeven hoogwaardige teelten van circa 2- 2,5 miljard; de totale berekende actuele landbouwopbrengst in W+ in 2050 bedraagt ca 5- 6 miljard (tegen huidig prijspeil) en de potentiële 6,2- 7,8 miljard (bij onbeperkte waterbeschikbaarheid).

31. De berekende schades zijn voor bollen ongeloofwaardig hoog (zie tekstbox over bollen op blz. 133)

Ook voor Alternatief 4 ('Regionale zelfvoorziening') geldt dat de kosten van lokale maatregelen die kunnen worden gekarakteriseerd als 'ontkoppeling' vermoedelijk alleen uit kunnen bij hoogrenderende gewassen in de intensieve vollegrondstuinbouw, fruitteelt en sierteelt. In de glastuinbouw is lokale ontzilting van grondwater bijvoorbeeld al veelvuldig de praktijk, alhoewel de lozing van brijn (brem, pekel) op steeds meer weerstand stuit. In de sierteelt zijn de opbrengsten dusdanig dat (tijdelijk) gebruik van drinkwater rendabel kan zijn.

In dit alternatief is het aan de agrariër zelf om de afweging te maken tussen investeren in technologie voor 'ontkoppeling' respectievelijk aanpassen van teelten aan drogere danwel ziltere omstandigheden, c.q. verkassen naar elders.

De droogterisicoreductie die hiermee kan worden bereikt valt evenmin goed te begroten, omdat teelten zowel van plaats kunnen veranderen, als naar aandeel in de totale gewassenmix op het Nederlandse landbouwareaal kunnen variëren; de aanname van ongewijzigde teeltkeuze wordt daarmee onverantwoord evenals iedere schatting van de gerealiseerde risicoreductie.

Van Alternatief 5 is daarentegen weer iets meer te zeggen, namelijk door aan te nemen dat de verhouding tussen gespecialiseerde gewassen niet verandert, maar wel de plaats waar ze worden geteeld. Daarmee kunnen de schades aan bollen, boomkwekerijen en fruitteelt met naar schatting circa 20% worden gereduceerd. Dat levert zo'n 20- 25 M€ aan risicoreductie.

Voor 'bulkgewassen' is aangenomen dat snijgras en maïs op de zandgronden worden vervangen door graan, een gewas met vergelijkbare hectareopbrengst maar minder droogtegevoelig. Dat zou ook een schadereductie van ca 10% op 50% van het graslandareaal en op 80% van het maïsareaal kunnen opleveren, overeenkomend met 20- 40 M€ risicoreductie.

Daartegenover staat dat de schades in de aardappelteelt en suikerbietenteelt noch door verplaatsing naar betere locaties, noch door een even renderende alternatieve teelt kunnen worden voorkomen³². Zelfs bij meer dan 50% opbrengstreductie zijn de opbrengsten van deze teelten namelijk nog steeds hoger dan van alternatieve minder droogtegevoelige akkerbouwgewassen (met name granen). De schades in deze teelten zullen toenemen met circa 320 M€ per jaar (verwachtingswaarde), net als in W+ zonder maatregelen.

Al met al kent dit alternatief daarmee een risicoreductie van circa 40 - 65 M€ per jaar ten opzichte van W+ zonder maatregelen.

7.4 Beoordeling van de alternatieven

7.4.1 Criteria voor beoordeling

Evenals bij overstromingsrisico's kunnen criteria worden gebruikt die samenhangen met consequenties voor *people*, *profit* en *planet*, aangevuld met kosten, robuustheid en eventueel flexibiliteit.

De doelbereiking – verkleining van het droogterisico voor de landbouw – hebben we al in de vorige paragrafen besproken. Deze is dus nadrukkelijk verbonden met een economische sector.

32. Voor deze teelten is voor de agrariërs de prijselasticiteit een welkom fenomeen, omdat dan de kiloprijs hoog is bij geringe opbrengsten in tonnen. Vergelijk de hoge aardappelprijs in het droge jaar 2003.

Dat maakt beoordeling in zoverre lastig, dat met zoetwatervoorziening niet zozeer een algemeen belang is gemeoid (zoals met overstromingsrisico's), maar veeleer één of meer sectorale belangen. Landbouw is bovendien een sectoraal belang dat vraagt om maatregelen (peilbeheersing, zoetwateraanvoer) die volstrekt tegengesteld zijn aan wat vanuit andere 'sectoren' wordt gewenst (natuurontwikkeling vraagt natuurlijke peilfluctuaties en zoet-zoutovergangen en estuariene dynamiek). Daarmee is de beoordeling veel minder waardevrij. En is er ook meer sprake van een afweging van belangen.

Tenslotte geldt ook nog dat de marktontwikkelingen alle analyses waarbij kosten en effecten in geld worden uitgedrukt bij voorbaat 'tricky' maken. 'Huidig prijspeil' houdt geen rekening met toekomstige prijsontwikkeling, marktontwikkeling kan de rentabiliteit van maatregelen onder druk zetten, etc. Daar is niets aan te doen; maar het vraagt om voorzichtigheid bij de beoordeling die hier volgt.

7.4.2 Kosten

Alternatief 2 kan op twee manieren worden gerealiseerd: met peilopzet zoals voorgesteld door de commissie Veerman, of met uitzakken van het peil als dat in een droge zomer nodig is.

De kosten van *peilopzet in het IJsselmeer* met maximaal 1 m conform het advies van de Commissie Veerman zijn indicatief geraamd door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat-WD, 2008). Er worden een onder- en bovengrens genoemd van 4,4 tot 6,5 miljard € investeringskosten. Het realiseren van een aanvoerroute van het IJsselmeer naar Centraal Holland met voldoende capaciteit wordt geschat op 0,8 – 1,4 miljard €. Samen gaat het dus om een investering van 5,2 – 7,7 miljard €. Als we uitgaan van jaarlijkse kosten van 3,5% van de investeringskosten³³ zou dat neerkomen op 180 – 270 M€/jr. Tegenover deze jaarlijkse kosten staat een afname van de landbouwschade (verwachtingswaarde bij W+ in 2050) van ca 230 M€/jr. In aanmerking nemende dat W+ het meest ingrijpende klimaatscenario is, dus met de grootste droogterisico's, lijkt deze oplossing vanuit macro-economisch oogpunt niet rendabel. Dat is te zeggen: als peilopzet alleen het doel van zoetwatervoorziening dient; de commissie Veerman beoogde tevens spuien onder vrij verval.

De kosten van grootschalige berging bij het *laten uitzakken van het IJsselmeerpeil* zijn door Van Beek *et al.* (2008) begroot. Met gemalen wordt dan water uit het IJsselmeer in de respectievelijke boezems gepompt, waarbij is uitgegaan van ca 0,7 M€ per m³/s aan capaciteit. Ook vergroting van de capaciteit van de boezems (kanalen en vaarten, sluisen en pompen) om het water tot bij de watervrager te krijgen ('opheffen beperkingen achterland'; Van Beek *et al.*, 2008, blz. 37) is mee begroot, evenals aanpassingen van sluisen en havenkanalen die nodig zijn als het waterpeil op IJsselmeer en Markermeer tijdelijk lager wordt. Van Beek *et al.* geven geen investeringskosten, maar meteen jaarkosten, en wel van circa 32 M€/jaar (Van Beek *et al.*, 2008, blz. 110). Ook tegenover deze jaarlijkse kosten staat een afname van de landbouwschade bij W+ in 2050 van ca 230 M€/jr (verwachtingswaarde).

33. Conform de aanname die is gedaan in hoofdstuk 5 voor het omrekenen van investeringskosten naar jaarkosten, gebaseerd op Klijn *et al.* (2007): 2,5 % rente, 1 % onderhoudskosten en verwaarloosbare afschrijvingskosten. Dit is een lage schatting voor een investering omwille van economische activiteit; 5 % zou in zo'n geval ook/beter verdedigbaar zijn.

Als we bedenken dat andere klimaatscenario's kleinere droogterisico's kennen, moeten we deze mate van risicoreductie nuanceren: qua verdamping is G+ half zo erg. W ca 1/3 keer zo erg en G 1/5 keer zo erg. Zelfs bij die scenario's lijkt deze grootschalige maatregel wel kosteneffectief.

De kosten van het vasthouden van water zijn ook door Van Beek *et al.* begroot op een grofstoffelijke wijze. Afhankelijk van de precieze maatregelen (stuwtdjes, slootboderverhoging, etc.) en waar deze worden toegepast variëren deze van 12 tot 163 M€ per jaar. Daartegenover staat een schadereductie die door Van Beek *et al.* op 12 M€ per jaar is begroot (blz. 74). Dat lijkt weinig rendabel.

Samengevat kunnen we concluderen dat alternatief 2, mits met uitzakken van het IJsselmeerpeil in plaats van peilopzet, qua kosteneffectiviteit interessant is. Het vasthouden van water in Hoog-Nederland lijkt dat op grote schaal niet te zijn, maar het kan lokaal misschien wel kosteneffectief zijn. Dit vergt nadere, gebiedspecifieke analyse, waarbij ook mogelijke natschade in beschouwing wordt genomen.

Van **alternatief 1** hebben we vastgesteld dat dit lijkt op alternatief 2, maar met ook zoetwaterberging in en aanvoer uit rijkswateren in het zuidwestelijk estuariumgebied. Op grond van de 'schaduwprijs' van de zoetwateraanvoer vanuit het Volkerak, waarover hiervoor een en ander is gesteld, lijkt dit niet kosteneffectief.

De schaduwprijs – van € 1,50, die nu volledig vanuit de algemene middelen wordt betaald – ligt (ruim) boven de kostprijs van drinkwater of ontzilting en ook boven die van wateraanvoer via een landbouwwaterleiding (zoals van de Biesbosch naar Zuid-Beveland).

Alternatief 3 vergt forse investeringen in gesloten leidingen. De kosten daarvan zijn niet begroot en sterk afhankelijk van de afstand waarover transport moet plaatsvinden. Ook is de schaal waarop deze maatregel wordt uitgevoerd sterk bepalend voor de kosten. Zo is al gesteld dat de baten de kosten vermoedelijk alleen overschrijden bij hoogrenderende gewassen, bijv. in kassenteelt, sierteelt, en vollegrondstuinbouw; en bij coöperatieve aanleg of levering door een water(keten)bedrijf. Een kwestie van maatwerk dus, waarbij echter geen grote rol is weggelegd voor overheden/ waterbeheerders en niet op voorhand collectieve middelen worden geïnvesteerd³⁴.

Alternatief 4 gaat uit van particulier initiatief ('koude sanering'). Daaraan zijn voor de overheid geen kosten verbonden, maar omdat de investeringen en onderhoudskosten op de consument zullen worden verhaald is er natuurlijk wel sprake van een effect op de welvaart. Dat vraagt echter een veel uitgebreidere economische analyse dan in het bestek van deze verkenning mogelijk is.

Voor **alternatief 5** geldt iets vergelijkbaars, omdat de teelten worden verplaatst naar de plekken waar deze het best gedijen zonder grootschalige wateraanvoer. Dat vraagt enige regulering door de overheid, en/of financiële ondersteuning. Het kan ook betekenen dat sommige agrariërs er beter van worden en anderen juist slechter. Een dergelijke ongelijk speelveld is niet geheel onbekend in de landbouw.

34. De landbouwwaterleiding van de Biesbosch naar Zuid-Beveland kan als voorbeeld dienen. Evides stelt dat de kosten hoger zijn dan de opbrengsten bij de afgesproken prijs van €0,50/m³ (De Vries *et al.* in Anonymus, 2009, blz. 66-67), terwijl de leiding nog wel is aangelegd op kosten van de overheid. De afnemers (fruitteelt) stellen echter dat een hogere prijs in de huidige markt niet meer rendabel is.

7.4.3 Neveneffecten

Een volledige bespreking van alle relevante neveneffecten is in het bestek van deze verkenning niet mogelijk. We beperken ons tot het benoemen van enkele opmerkelijke zaken.

Alternatief 1 betekent de realisatie van het Zeeuwse Meer, door volledige afsluiting en verzoeting van Oosterschelde, Veerse Meer, Grevelingen en Volkerak-Zoommeer. Dat gaat ten koste van de schelpdiercultuur in Zeeland en heeft grote gevolgen voor de ecologische ontwikkeling van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse wateren. Het estuariene en/of stagnante zoute karakter zal verloren gaan; daarvoor in de plaats komen zoete stagnante meren met de bijbehorende problemen van algenbloei, oeverafslag en het dichtgroeien met bos van de buitendijkse gronden. Het landschap zal zich verdichten (WLO-Werkgroep Integraal Waterbeheer, 1991). Ook de Nieuwe Waterweg zal moeten worden afgesloten, hetgeen enige hinder voor de scheepvaart zal betekenen (tijdverlies door schutten, c.q. overslag op binnenvaart nodig; Jonkhoff *et al.*, 2009; Jeuken *et al.*, 2010).

Alternatief 2 kan op 2 manieren worden ingevuld, met peilopzet op het IJsselmeer of met uitzakken van het IJsselmeerpeil. Daardoor zijn er forse neveneffecten in en rond het IJsselmeer. In de rest van het land zijn de ingrepen en gevolgen relatief gering: extra of vergrote watergangen voor wateraanvoer in Centraal Holland en het Benedenrivierengebied.

Peilopzet op het IJsselmeer heeft grote gevolgen voor de natuur (verdrinken oevers) en het landschap langs de voormalige Zuiderzee (aanpassing dijken en voormalige Zuiderzeehavens). Deze gevolgen zijn al kort beschreven in de analyse van opties voor het IJsselmeerpeil (Ter Maat & Van Meurs, 2009).

Het laten uitzakken van het IJsselmeerpeil heeft veel kleinere gevolgen, omdat dit maar af en toe en gedurende korte tijd nodig is. Dit verschil in gevolgen leidt ook tot veel lagere kosten voor deze variant.

Alternatief 3 is een technische oplossing met gescheiden aanvoer via – bij voorkeur – gesloten leidingen. Door die ondergronds of in de slootbodems te leggen, kan water veel efficiënter worden gebruikt. De sloten in gebieden met brakke of zoute kwel hoeven niet meer intensief te worden doorgespoeld, waardoor minder water aan de grote wateren hoeft te worden onttrokken en ook minder water hoeft te worden uitgeslagen. Zowel de kleine polderwateren als de grote wateren kunnen daardoor aan natuurwaarde winnen: ze worden in ieder geval 'natuurlijker'.

Op het grotere schaalniveau van landsdelen en fysiografische eenheden geldt dat de aanvoer van 'gebiedsvreemd water' vele malen kleiner wordt, hetgeen kansen biedt voor het herstel van aquatische en natte terrestrische ecosystemen, zoals veenplassen en laagveenmoerassen. Ook in de wateren op de 'arme' zandgronden kan een natuurlijker waterkwaliteit worden gerealiseerd.

Dit alternatief biedt goede kansen voor het herstel van estuariene omstandigheden in Zuidwest-Nederland.

Voor **alternatief 4** kan vrijwel hetzelfde gelden. Verschillen tussen alternatieven 3 en 4 berusten vooral op de schaal van maatregelen en de mate van collectiviteit.

Alternatief 5 kan betekenen dat het landgebruik zodanig wordt gestuurd dat een betere 'match' ontstaat tussen landgebruik en abiotische omstandigheden (bodem en water).

Daarmee kan een herstructurering van de landbouw tot stand komen, zoals geschetst door Van de Sandt & Goossen (2010), maar er kan ook worden gestreefd naar een robuustere hoofdstructuur met een casco van stedelijke gebieden (rood), natuurgebieden (groen en blauw-groen) en landbouwgebieden, waartussen meer verweven functies.

Ook in dit alternatief kan de invloed van 'gebiedsvreemd' water worden teruggedrongen – met positieve gevolgen voor de natuur (Duel *et al.*, 1989; Kwakernaak *et al.*, 1991; Fiselier *et al.*, 1992) – en zijn er goede kansen voor het herstel van estuariene omstandigheden in Zuidwest-Nederland.

7.4.4 Vergelijking alternatieven

Een eerste criterium om de alternatieven te vergelijken zijn de totale maatschappelijke kosten en baten, als combinatie van investerings- en beheer- en onderhoudskosten en vermeden schaderisico. Door beide op jaarbasis te berekenen kunnen de maatschappelijk 'goedkoopste' strategieën worden geselecteerd. Dat hoeft niet de meest gewenste strategie te zijn, maar het geeft wel een indruk van hoe effectief beleid gericht op landbouw-watervoorziening is.

Waar we bij overstromingsrisico's alle kosten hebben toegerekend aan de overheid, zijn hier strategische alternatieven benoemd die berusten op investeringen van individuele agrariërs, collectieven of marktpartijen. Van die alternatieven zijn de kosten niet begroot. Dat bemoeilijkt een zuivere vergelijking. Tabel 7.5 vat de geschatte kosten en risicoreductie samen.

Tabel 7.5 Kosten en directe effecten van de strategische beleidsalternatieven bij W+ in 2050 (alle getallen in M€/jaar). Negatieve netto kosten betekenen een batig saldo

	1 Water volgt	2 Anders aanvoeren (‘Veerman’)	2 Anders aanvoeren (‘uitzakken IJsselmeer’)	3 Gesloten aanvoer	4 Regionale zelfvoorziening	5 Water stuurt
kosten en effecten (miljoen €/jaar):						
- kosten	zeer hoog	180- 270	32	0 (p.m.)	0 (p.m.)	> 0 (p.m.)
- schaderisicoreductie	240-250	230	230	65 -110	?	40 - 65
netto kosten	>> 0	+60 - -50	-200	-65 - -110	?	- 40 - -65

Het blijkt dat alternatief 1 en 2 met *peilopzet op het IJsselmeer* de overheid tot 2050 *zeker* respectievelijk *zeer waarschijnlijk* meer kosten dan ze in de landbouwsector opbrengen. Aangezien alle getalswaarden gelden voor klimaatscenario W+ lijkt dit een robuuste conclusie, want de baat kan alleen maar kleiner uitvallen.

Alternatief 2 met *uitzakken van het IJsselmeerpeil* levert bij W+ wel meer schaderisicoreductie dan dit alternatief jaarlijks kost, hetgeen al door Van Beek *et al.* (2008), was geconcludeerd. Gezien de lage jaarlijkse kosten lijkt deze oplossing ook bij minder vergaande klimaatverandering dan W+ rendabel.

Alternatieven 3, 4 en 5 kunnen het droogterisico tot op zekere hoogte reduceren; hiertegenover staan geen investeringen van de overheid, maar alleen van de sector of marktpartijen (in alternatieven 3 en 4). Alternatief 5 berust op verplaatsing van teelten, hetgeen in theorie kosteloos is. De risicoreductie in deze 3 alternatieven is echter gering en de macro-economische consequenties worden nog onvoldoende gekend.

Een voordeel van de alternatieven 3, 4 en 5 is de grotere robuustheid van de totale landbouwsector. Deze wordt namelijk minder afhankelijk van grootschalige watervoorziening door de overheid. Dat kan betekenen dat een droog of extreem droog jaar minder agrariërs hard raakt en dus minder schade veroorzaakt aan de sector als geheel. En dat kan de internationale concurrentiekracht van de Nederlandse landbouw weer ten goede komen.

7.5 Conclusies

Grootschalige wateraanvoer en berging door peilopzet op het IJsselmeer zijn niet rendabel. Deze kostbare maatregelen om droogterisico's te verminderen zijn dan ook niet gerechtvaardigd. Wateraanvoer vanuit het IJsselmeer bij het laten uitzakken van het waterpeil levert wel meer baten dan het kost om dit te realiseren. De neveneffecten lijken gering.

Water vasthouden in de zandgronden kan misschien plaatselijk bijdragen aan een reductie van het droogterisico, maar vraagt een nadere, gebiedsspecifieke analyse.

Al met al lijkt er onvoldoende economische grond om grote investeringen in zoetwateraanvoer door de overheid te rechtvaardigen. Het is alleen rendabel waar de zoetwatervoorraad als het ware 'ligt te wachten' op exploitatie.

Lokale maatregelen door individuele agrariërs of collectieven van ondernemers (of marktpartijen) kunnen worden doorberekend aan de consumenten. Daarmee wordt het een individuele ondernemersafweging om al dan niet te investeren in 'ontkoppeling', dan wel water te kopen. De rentabiliteit van lokale maatregelen zoals aanvoerbuizen of ontzilting kan moeilijk worden beoordeeld, want deze verschilt al naargelang het bedrijf, de gewassen en de locatie; voor hoogrenderende teelten kan het gezien de dalende kostprijs per m³ zeer waarschijnlijk in toenemende mate rendabel zijn. Dit verdient nader – veel specifiek – onderzoek.

Om 'ontkoppeling' van het hoofdwatersysteem te bevorderen is het noodzakelijk dat de schijnbaar kosteloze – want niet aan hoeveelheden gekoppelde – levering van onbeperkte hoeveelheden zoetwater niet langer wordt gegarandeerd (vergelijk Anonymus, 2009b).

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Wat zijn de problemen en hoe groot zijn ze?

Klimaatverandering kan het overstromingsgevaar doen toenemen, evenals het 'droogtegevaar'. Demografische en economische ontwikkelingen – en daarmee samenhangende veranderingen in het landgebruik – kunnen de kwetsbaarheid van de maatschappij en economische sectoren doen toenemen. De combinatie van beide bepaalt de ontwikkeling van de overstromingsrisico's en droogterisico's.

8.1.1 Overstromingsrisico's

Klimaatverandering leidt tot een toename van het overstromingsgevaar in termen van – in theorie – grotere overstromingskansen, en tot een grotere blootstelling.

De **overstromingskansen** zouden *zonder maatregelen* tot 2100 toenemen met een factor die *grosso modo* varieert van ruim 3 (bij 30 cm zeespiegelstijging) via 26 (bij 85 cm) tot bijna 150 (bij 130 cm; de bovengrens van het scenario van de commissie Veerman). Deze notie is niet nieuw (zie Klijn *et al.*, 2007), maar de getalswaarden zijn geactualiseerd voor de nu meest gebruikte klimaatscenario's (KNMI, 2006 en Deltacommissie, 2008). Door het continueren van het huidige hoogwaterbeschermingsbeleid worden de overstromingskansen in de praktijk gelijk gehouden.

De **blootstelling** bij een overstroming kan toenemen door hogere buitenwaterstanden, waardoor water langer instroomt, een grotere waterdiepte wordt bereikt en/of een groter areaal overstroomd raakt. De mate waarin dit optreedt, verschilt per gebiedstype en zelfs per dijkkring. De grootste toename is te verwachten langs de kust en in het benedenrivierengebied; een veel kleinere toename is te verwachten in dijkringen langs de grote rivieren (die bij overstroming nu al helemaal vollopen) en rond het IJsselmeer (waar communicerende vaten ontstaan en het watervolume beperkend is). De blootstelling neemt vooral toe in grote dijkringen, waar compartimenterend werkende regionale keringen en lijninfrastructuur binnen dijkringen het overstromingsverloop minder beïnvloeden. De uiteindelijk voor alle dijkringen geschatte toename van gevolgen door grotere blootstelling varieert met een factor van 1 tot 3,5 bij een zeespiegelstijging van 1,3 m in 2100 (Tabel 4.5). Voor 2050 zal bij de KNMI- scenario's eerder sprake zijn van factor 1 tot 1,7 (bij scenario's W/W+)

De **kwetsbaarheid** van de maatschappij neemt toe doordat plaatselijk de bevolking groeit – vooral in de Randstad, het Centrale Rivierengebied en Zuidelijk Flevoland (Figuur 4.8), en doordat overal de economie groeit. Het schadepotentieel groeit door waardevermeerdering van het bestaande en door nieuwbouw/ nieuwontwikkeling. De waardevermeerdering van 'het bestaande' leidt tot een toename van het schadepotentieel tussen 2010 en 2050 met ca 70 tot 90% (bij WLO-scenario Transatlantic Market, respectievelijk Global Economy). Door nieuwbouw komt daar nog ca 20%, respectievelijk 45% bij. In grote lijnen groeit het schadepotentieel tot 2050 dus met een factor 1,9 tot bijna 2,4. Tot 2100 is dat met factor 5,5 tot 10. Dit is dus de belangrijkste oorzaak voor een toename van het overstromingsrisico in de nabije toekomst.

Het **slachtofferrisico** is sedert 1950 sterk gedaald, ondanks een toename van de bevolking. Dat komt doordat de overstromingskansen veel kleiner zijn geworden. Door beleid in uitvoering – onder andere versterking Zwakke Schakels kust, Ruimte voor Rivieren en Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) – nemen de overstromingskansen tot 2015 nog verder af.

Als het systeem op orde is zal het slachtofferrisico nog maar een derde zijn van dat in 2005 (Figuur 4.10). Vanaf 2015 loopt het slachtofferrisico heel langzaam op met de bevolkingsdruk in vooral het westen van het land en het rivierengebied (Figuur 4.10, Figuur 4.11).

Voor het economisch **schaderisico** geldt iets vergelijkbaars, namelijk dat de afgenomen en nog steeds kleiner wordende overstromingskansen het schaderisico hebben doen dalen en tot 2015 nog verder zullen verkleinen (Figuur 4.12). Daarna zal – bij continueren van huidig beleid – de groei van het schadepotentieel het schaderisico weer doen stijgen. Dat gaat veel sneller dan de groei van het slachtofferrisico, omdat de economische groei naar verwachting doorzet, terwijl de bevolkingsgroei afvlakt of geheel stagneert.

De grootte van de overstromingsrisico's verschilt van plaats tot plaats in Nederland, of beter van dijkkring tot dijkkring. Er is soms sprake van 'gevaarlijk grote dijkkringgebieden', waar een overstroming tot grote schade en/of grote aantallen slachtoffers kan leiden (vergelijk Klijn & De Grave, 2008; Figuur 4.11 en Figuur 4.13), en dat wordt niet minder in de toekomst. En er zijn relatief risicovolle plekken, waar een dijkbreuk tot verhoudingsgewijs grote aantallen slachtoffers zou kunnen leiden (vergelijk De Bruijn & Klijn, 2009; Figuur 5.2).

Waar dus gesteld kan worden dat de overstromingsrisico's in Nederland nog nooit zo laag zijn geweest, is een kritische kanttekening bij het huidige beleid van waterkeren gerechtvaardigd.

8.1.2 Droogterisico's

Klimaatverandering leidt waarschijnlijk tot een groter **neerslagtekort** in het groeiseizoen door geringere neerslag in de zomer en toegenomen verdamping door de hogere temperaturen. Het neerslagtekort in een 'gemiddeld jaar' (bijv. 1967) kan oplopen van 151 mm in het huidige klimaat tot 235 mm in 2015 in het W+-scenario; van een extreem droog jaar (bijv. 1976) kan het oplopen van 361 mm tot 440 mm (Tabel 6.3). Een 'droog' jaar zal in plaats van eens per 12 jaar, bij W+ in 2050 eens per 2 jaar kunnen optreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat W+ het meest extreme klimaatscenario is voor droogte.

Het neerslagoverschot in de winter kan in scenario W+ echter toenemen, waardoor de grondwaterstanden in infiltratiegebieden kunnen stijgen (Figuur 6.6). In peilbeheerste gebieden wordt een neerslagoverschot echter afgevoerd/ uitgemaal en zal de grondwaterstand in de zomer dalen. Dan kan in laaggelegen gebieden de kwel toenemen en zal **interne verzilting** van grond- en slootwater optreden waar deze kwel brak of zout is (Figuur 6.7).

Om watertekorten aan te vullen wordt water uit het hoofdsysteem – de grote rivieren en meren – in boezemwateren en polders ingelaten. Het wordt ook naar relatief hooggelegen gebieden getransporteerd (Figuur 6.4). Het doel van deze wateraanvoer is meerledig: peilbeheersing om klink en verzakking in klei- en veengebieden tegen te gaan, doorspoelen om verzilting tegen te gaan en de waterkwaliteit te waarborgen, en landbouwwatervoorziening. In de praktijk is de landbouw de grootste vrager van **zoet** water; peilbeheersing kan ook met brak of zout water en het zoetspoelen is grotendeels bedoeld om irrigatie in de landbouw mogelijk te maken.

In een zeer droog tot extreem droog jaar wordt de maximale capaciteit van deze wateraanvoer al volledig gebruikt (Figuur 6.4).

Aangezien een toename van het neerslagtekort waarschijnlijk in het gehele stroomgebied van Rijn en Maas optreedt, worden ook lagere rivierafvoeren verwacht. Bij lage rivierafvoeren wordt veel zoet water gebruikt om de zoutindringing via de open Nieuwe Waterweg tegen te gaan, door de Haringvlietspuisluizen gesloten te houden (Figuur 6.3).

Desalniettemin kan het inlaten van water bij Gouda ongewenst worden, doordat het zoutgehalte aldaar door *externe verzilting* te hoog wordt. Dan wordt met kleinschalige wateraanvoer (KWA) getracht zoveel mogelijk schade te voorkomen en in het uiterste geval wordt water uit het Markermeer naar West-Nederland aangevoerd via de Tolhuissluisroute. Desalniettemin kan de aanvoer van water naar Midden-West Nederland vaker en ernstiger tekort gaan schieten.

De *kwetsbaarheid* van (economische) watergebruikers verschilt, evenals de verwachte toekomstige ontwikkeling. Aan ruwwater voor drinkwaterbereiding lijkt niet snel een tekort te zullen ontstaan, en de vraagontwikkeling is gering. Deze is gerelateerd aan de bevolkingsomvang – die nauwelijks toeneemt – en het verbruik per persoon. Aan proces- en koelwater in de industrie kan plaatselijk een tekort ontstaan, maar het gaat om relatief kleine hoeveelheden en om economisch sterke sectoren die water van elders kunnen betrekken. Ook technologische innovaties lijken goed mogelijk.

Landbouw is de grote zoetwatervrager, zeker uit ruimtelijk oogpunt. Landbouw is de grootste grondgebruiker in Nederland en blijft dat naar verwachting in alle ruimtelijke scenario's zeker tot na 2050 (Figuur 2.13). Daarmee is de landbouw als sector het meest kwetsbaar.

De kwetsbaarheid van de landbouw voor droogte en verzilting verschilt echter zeer sterk per bedrijfstype en teelt. Daarom is het feitelijk niet mogelijk over de landbouw te spreken. Kassen kennen vaak een gesloten watersysteem, hoogrenderende teelten zoals sierteelt kunnen zich tijdelijk gebruik van kraanwater permitteren, maar vollegroondsakkerbouw en snijgras en snijmaïsteelt zijn kwetsbaar voor vochttekorten. Bollen en sierteelt zijn soms weer heel gevoelig voor zout.

Met de gegevens en resultaten van Van Beek *et al.* (2008) hebben we het *droogterisico* in de landbouw uitgedrukt als 'verwachtingswaarde'. Daarbij hebben we de resultaten ruimtelijk specifieker gemaakt en de waterbeheereenheden meer laten aansluiten op verschillen in fysiografie en landgebruik (Figuur 1.3).

Het droogterisico in de landbouw bedraagt in het huidige klimaat ca 350 M€/jaar, en dat kan in het droogste klimaatscenario (W+) in 2050 oplopen tot ca 650 M€/jaar (Figuur 6.12). De spreiding rond die verwachtingswaarde is echter heel groot: in een extreem droog jaar is de *berekende* schade in het huidige klimaat al 2 miljard €. Daar komen in het W+ scenario nog enkele 100-en miljoenen bij (Figuur 6.13). In werkelijkheid is er echter sprake van prijselasticiteit, zodat de feitelijke schade in een droog jaar door relatief hoge productprijzen veel lager kan uitvallen.

De droogterisico's zijn het grootst op de Centrale zandgronden en de zandgronden van Drenthe en Groningen, maar ook in Zuid-Limburg en Zeeland – waar geen wateraanvoer mogelijk is – zijn de droogterisico's groot. Geringe droogterisico's vinden we in het Westland en in de kop van Noord-Holland, doordat kassenteelt en bollenteelt relatief ongevoelig zijn voor watertekorten (Figuur 6.14).

8.2 Hoelang is continueren van het huidige beleid verantwoord?

Deze vraag heeft betrekking op: wanneer noodzaakt klimaatverandering ons tot het nemen van maatregelen. Die vraag naar de urgentie van een noodzakelijke beleidsomslag heeft te maken met de snelheid van klimaatverandering. In de zogenaamde 'knikpuntenstudie' (Kwadijk *et al.*, 2008; Passchier *et al.*, 2009) is vastgesteld dat voor de meeste problemen dat moment in de tijd niet zo heel nabij is. Maar ook is vastgesteld dat een beleidsomslag eigenlijk maar zelden wordt afgedwongen door klimaatverandering; veelal zijn maatschappelijke keuzes de oorzaak van problemen, en ligt ook daar de sleutel om ze op te lossen.

De **kustbescherming** kan met zandsuppleties nog eeuwen worden volgehouden. En de verhoging van dammen en dijken kan op de meeste plaatsen ook nog vele decennia worden gecontinueerd. Dat beleid is niet of nauwelijks omstreden.

Door zeespiegelstijging ontstaan het eerst problemen in het overgangsgebied tussen de kust en de grote rivieren, waar het water tijdens storm niet meer kan worden afgevoerd. Het eerst is dat het geval in het **Rijnmondgebied**, waar de Maeslantkering wel stormvloed kan buitenhouden maar niet de zeespiegelstijging kan keren. Bij het huidige sluitregime zal de kering dan ook steeds vaker sluiten en sneller slijten. Vaker sluiten betekent dat een onbelemmerde invaart niet langer is gegarandeerd, en de snellere slijtage verkort de technische levensduur. Op z'n vroegst over ongeveer 50 jaar zal een keuze moeten zijn gemaakt hoe het Rijnmondgebied tegen stormvloed te beschermen bij hogere zeestanden. Intussen loopt de waterstand aan de binnenzijde van de kering op, vrijwel evenredig aan de zeespiegelstijging. Dat geldt voor de gemiddelde waterstand, maar ook voor de maatgevende waterstand. Dat feit noopt hoe dan ook tot maatregelen (dijkversterkingen) in het benedenrivierengebied. Die kunnen een spoediger keuze over de toekomst van de Maeslantkering gewenst maken.

Voor het **IJsselmeergebied** geldt iets vergelijkbaars. Naar het zich laat aanzien hoeft een keuze voor meestijgen met de zeespiegel of pompen niet voor 2050 te worden gemaakt. Tot die tijd zouden de spuilsuizen die nu worden gebouwd moeten voldoen.

Voor het zuidwestelijk estuariumgebied worden cruciale beslismomenten nog later verwacht, en voor het rivierengebied kan het Ruimte voor Rivierenbeleid nog een tijd mee. Wel zal de berging van rivierhoogwaters in het zuidwestelijk estuariumgebied minder effectief worden bij gestegen zeespiegel. Dat betekent een opgave voor dijkverzwaring; waar hoeveel dijkverzwaring nodig is hangt mede af van de keuzes die voor het Rijnmondgebied worden gemaakt.

Voor de **zoetwatervoorziening** geldt dat er altijd minder water voor de zoetwatervoorziening nodig is dan de rivieren aanvoeren; maar het wordt ongebruikt via de Nieuwe Waterweg naar zee afgevoerd. De inlaat van water bij de Bernisse en Gouda moet in het huidige klimaat al geregeld worden gestaakt. Dat komt weliswaar door lage rivierafvoeren, maar is niet zozeer een gevolg van klimaatverandering als wel van maatschappelijke keuzes. Keuzes voor een open Nieuwe waterweg die ook nog heel diep wordt gehouden; omwille van de scheepvaart. Keuzes voor het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen en een zout Volkerak; omwille van de natuur en gebruiksfuncties die afhankelijk zijn van een goede waterkwaliteit. Er is dus veeleer sprake van een probleem dat samenhangt met een afweging van belangen.

Hierbij wordt opgemerkt dat door zeespiegelstijging deze inlaatpunten *sowieso* vroeger of later onbruikbaar zullen worden, behalve indien voor een afgesloten zoet meer zou worden gekozen (à la het IJsselmeer).

Voor het IJsselmeer geldt dat de absolute grenzen van de zoetwatervoorraad zelden in zicht komen. Wel blijkt het lastig het water tijdig op de juiste plaats te krijgen door de beperkte capaciteit van de watergangen en de overige infrastructuur. Dat komt niet door klimaatverandering.

Het bereiken van **natuurdoelen** in de grote wateren wordt bemoeilijkt door de zeespiegelstijging, vooral doordat buitendijkse gebieden en intergetijdegebieden verdrinken door de stijgende zeespiegel en hogere binnenwaterstanden. Daar staat tegenover dat in sommige van de grote wateren toch al sprake is van een neergaande trend, die het gevolg is van menselijk ingrijpen. Zo kent de Oosterschelde zandhonger door de aanleg van de stormvloedkering, de Westerschelde door de bedijkingen en verdiepingen, en gaat het Markermeer achteruit door slibproblemen die samenhangen met de afsluiting.

8.3 Is er dan toch reden voor een beleidsaanpassing?

Na de constatering dat het huidige beleid nog wel enkele decennia meekan, lijkt er weinig reden voor een beleidsaanpassing. Daar zijn echter twee kanttekeningen bij te maken.

Ten eerste kan het gewenst zijn dat voor de ontwikkeling van sommige gebieden duidelijkheid ontstaat over de vraag of ingrijpende beslissingen en/of grootschalige maatregelen zullen worden genomen of misschien wel niet. Tegen die achtergrond kan de wens tot 'deltabesluiten' over het Rijnmondgebied en het IJsselmeerpeil worden begrepen, maar ook tot andere besluiten over de richting van de strategie betreffende het beheer van het hoofdwatersysteem en de kust: de grote rivieren en de afvoerverdeling over deze rivieren, de toekomst van het zuidwestelijk estuariumgebied (Oosterschelde, Westerschelde) en het kust(lijn)beleid in algemene zin. Deze vragen worden opgepakt in de regionale delta(deel)programma's.

Ten tweede is al eerder aangegeven dat er kritische kanttekeningen geplaatst kunnen worden bij het huidige beleid voor overstromingsrisicobeheersing. En dat is ook het geval bij het huidige beleid voor de zoetwatervoorziening.

Bij de overstromingsrisicobeheersing hebben we geconstateerd dat sommige dijkringen veel grotere risico's kennen dan andere, en dat binnen dijkringen sommige plekken veel risicovoller zijn dan andere. Deels komt dat doordat er nog steeds sprake is van 'gevaarlijk grote dijkkringgebieden', waar een overstroming tot grote schade en/of grote aantallen slachtoffers kan leiden (vergelijk Klijn & De Grave, 2008; Figuur 4.11 en Figuur 4.13), en deels doordat er relatief risicovolle plekken zijn, waar een dijkbreuk tot grote aantallen slachtoffers zou kunnen leiden. Ook is er sprake van een ruimtelijke ontwikkeling waarin al eeuwenlang, ondanks waarschuwingen (vergelijk Van Heezik, 2008), geen rekening wordt gehouden met bestaande overstromingsrisico's waardoor de kwetsbaarheid ongemerkt blijft toenemen. Tegen deze achtergrond kan de oproep van de Commissie Veerman (Deltacommissie, 2008) worden begrepen om in alle dijkringen de 'veiligheid' met een factor 10 te vergroten. Maar er kunnen ook andere – volgens dit rapport betere – strategische alternatieven voor het overstromingsrisicobeleid worden ontwikkeld.

Over de huidige manier van omgaan met droogterisico's kan ook gesteld worden dat deze tot enkele minder gelukkige ontwikkelingen heeft geleid. Zo is vastgesteld dat de inrichting en het beheer van het hoofdwatersysteem voor een zeer groot deel in dienst staat van de landbouwvoorziening.

Dat leidt ertoe dat grote wateren zoet moeten blijven (Hollandse IJssel, Hollands Diep/Haringvliet), dat het herstel van estuariene dynamiek op veel plaatsen onmogelijk wordt gemaakt of in ieder geval op grote weerstand stuit, dat natuurontwikkeling en recreatie in hun ontwikkeling worden belemmerd, dat er binnen de landbouwsector geen of een uiterst geringe prikkel tot waterbesparing/ efficiëntieverhoging is omdat water op veel plaatsen gratis in vrijwel onbeperkte hoeveelheden wordt geleverd, en dat er uiteindelijk ook geen sprake is van een gelijk speelveld (sommige agrariërs beschikken over onbeperkt zoet water op kosten van het collectief, anderen zijn tot zelfredzaamheid genoodzaakt). Ruimtelijk geldt dat de het grondgebruik niet altijd logisch aansluit bij de natuurlijke bodem- en watergesteldheid en dat de aldus ontstane afhankelijkheidsrelatie van zoetwateraanvoer een stevige hypotheek legt op het beheer – of een alternatieve inrichting – van de rijkswateren.

Over deze twee beleidsvelden – overstromingsrisicobeheersing (Flood Risk Management) en droogterisicobeheersing (Water Resources Management) – gaan twee van de drie generieke ‘delta-deelprogramma’s’.

Uit de hier gerapporteerde studie willen we in dit verband twee belangrijke constatering vermelden:

- De regiospecifieke ‘delta-besluiten’ hangen wel sterk samen met de generieke delta-besluiten, in de zin dat de omvang van de regionale opgave mede door de generieke beslissingen wordt bepaald; maar de beleidstrategieën voor overstromingsrisicobeheersing en droogterisicobeheersing kunnen relatief onafhankelijk van de regionale ‘delta-besluiten’ (over de Rijnmond of het IJsselmeerpeil) worden uitgestippeld;
- De belangrijkste redenen voor een herziening van het beleid voor overstromingsrisicobeheersing en droogterisicobeheersing komen niet voort uit klimaatverandering, maar uit onvolkomenheden in de huidige of toekomstige situatie die te maken hebben met strategische beleidskeuzes in het verleden en heden. Ofwel: het zit toch al niet jofel.

Dit zijn belangrijke constatering omdat er dus toch *alle aanleiding is voor een verkenning van strategische alternatieven* voor de huidige strategie, ook al is er geen urgentie vanwege klimaatverandering. Het biedt ook tijd voor een gedegen analyse en bezonnen planvorming; en het kan betekenen dat met minder kostbare en minder ingrijpende maatregelen al veel kan worden bereikt.

8.4 Welke alternatieven scoren relatief goed?

8.4.1 Overstromingsrisicobeheersing

De analyse van de verschillende strategieën voor overstromingsrisicobeheersing heeft laten zien dat de huidige strategie helemaal niet slecht is. De overstromingskansen zijn in de afgelopen decennia al fors verkleind en worden nog kleiner door de maatregelen waartoe al is besloten (Zwakke Schakels kust, Ruimte voor Rivieren, HWBP). Wel zijn er grote ruimtelijke verschillen, zowel in schaderisico’s als slachtofferrisico’s (Figuur 5.12a en Figuur 5.13a). En als er een overstroming optreedt, kunnen de gevolgen heel groot zijn, in aantal slachtoffers en/of in economische schade.

Ten tweede is duidelijk geworden dat het verkleinen van de overstromingskans met factor 10 (‘brute kracht’) zowel het economisch schaderisico als het slachtofferrisico effectief verkleint.

Dat vereist het verzwaren van ca 3000 km primaire waterkeringen met flinke gevolgen voor natuur en landschap en tegen hoge kosten. Dat maakt deze strategie netto (met inbegrip van het jaarlijks schaderisico) veruit de duurste (Tabel 5.7). Ook blijven de ruimtelijke verschillen bestaan.

Door alleen dijken te verzwaren van die dijkringen waar dat kosteneffectief is ('beschermen met beleid'), wordt een groot deel van het risicoverkleinend effect bereikt voor veel lagere kosten. Netto is dit dan ook een veel goedkoper alternatief (Tabel 5.7). Aldus worden de ruimtelijke verschillen in risico's kleiner; niet alleen in het economisch schaderisico, maar ook in het slachtofferrisico (Figuur 5.12b en Figuur 5.13b).

Deze strategieën – die alle zijn gebaseerd op traditionele dijken – voorkomen niet dat als er een overstroming optreedt de gevolgen heel groot kunnen zijn, in aantal slachtoffers of in economische gevolgen. Dat komt doordat bij al deze drie alternatieven alleen van kansverkleining gebruik gemaakt wordt en op geen enkele wijze van gevolgenbeperking.

Bij de andere drie alternatieven is dat wel – in meer of mindere mate – het geval. Met *alleen* ruimtelijke ordeningsmaatregelen in aanvulling op het huidig beleid ('terugtrekken') kunnen het slachtofferrisico en het schaderisico enigszins worden beperkt.

Daardoor zijn de nettokosten en slachtofferrisico's van dit alternatief uiteindelijk zeer vergelijkbaar met die van 'beschermen met beleid' (Figuur 5.17). De gelijke nettokosten zijn opgebouwd uit lagere investeringskosten (gelijk aan die van continueren van het huidig beleid), maar een groter schaderisico dan in 'beschermen met beleid'; zoals eerder gesteld komt het schaderisico namelijk grotendeels voort uit waardevermeerdering, en maar zeer ten dele uit nieuwe ontwikkeling. Dit alternatief onderscheidt zich ook niet door het voorkomen van grote aantallen slachtoffers in één keer of grote schade als er toch een overstroming optreedt. Wel valt er goed uit af te leiden welke bijdrage ruimtelijke ordeningsmaatregelen kunnen leveren aan het – vooral op langere termijn – verkleinen van het schaderisico door kwetsbaarheidverkleining. Dat is verhoudingsgewijs niet heel veel (1/5 tot 1/3 van de autonome toename, afhankelijk van het scenario), maar de investeringskosten zijn ook nihil. Daarom is het zeker een aanbevelenswaardige – want zeer kosten-effectieve – maatregel.

Met alleen blootstellingbeperking door doorbraakvrije dijken waar alleen water over slaat of over loopt ('technisch ontkoppelen') kan de schade fors worden beperkt, maar wordt vooral voorkomen dat grote aantallen slachtoffers vallen doordat een dijkdoorbraak vrijwel uitgesloten wordt. Met deze maatregel kan eenzelfde effect worden bereikt als met 'brute kracht', namelijk een risicoreductie met factor 10, maar dat vergt grote investeringen. In deze studie is de maatregel toegepast waar deze naar verwachting het grootste rendement heeft. Dat leidt tot een forse reductie tegen niet al te hoge kosten (Tabel 5.7). In Figuur 5.17 zien we dat de nettokosten (totaal van risico en kosten van implementatie) net zo laag zijn als van de strategische alternatieven die van 'gewone' dijken uitgaan, maar dat vooral het slachtofferrisico veel lager is.

In 'Leven met water' is tenslotte een combinatie gezocht van blootstellingbeperking door compartimentering en doorbraakvrije dijkvakken met ruimtelijk beleid in relatie tot een verregaande differentiatie van beschermingsniveaus per dijkring(deel). Dat levert tegen relatief lage netto-kosten een forse reductie van het slachtofferrisico. De investeringskosten zijn iets hoger dan wanneer wordt gekozen voor alleen dijkzwaarig waar kosteneffectief ('beschermen met beleid'), maar er zit veel 'winst' in het lagere risico dat samenhangt met de voorspelbaarheid van wanneer waar een overstroming zal optreden.

De voorgeprogrammeerde volgorde levert een forse schadereductie op. Dijkdoorbraken worden voorkomen, waardoor het alternatief robuust is en verhoudingsgewijs geringere onzekerheden kent. Het levert ook de meest gelijke ruimtelijke verdeling van de risico's op (Figuur 5.12c en Figuur 5.13c).

Door gebruik te maken van gericht ruimtelijk beleid ontstaat geleidelijk een minder kwetsbaar landgebruikspatroon, waarbij kwetsbare functies zich op de hogere, inherent veiliger locaties wel uitbreiden maar niet in de gevaarlijker laaggelegen gebieden (zie ook Pieterse *et al.*, 2009).

Samengevat kunnen we concluderen:

- dijken *gericht* verzwaren is veel kosteneffectiever dan alle dijken verzwaren (cf Veerman);
- doorbraakvrije dijken zijn sterk te verkiezen boven 'gewone' dijken, omdat ze niet breken en aldus grote aantallen slachtoffers kunnen voorkomen; ze hoeven dan ook niet (of nauwelijks) hoger en kunnen soms zelfs lager;
- met compartimentering kunnen onaanvaardbare gevolgen van een dijkdoorbraak tot een 'aanvaardbaar' niveau worden teruggebracht; in de compartimenteringsstudie (Asselman *et al.*, 2008) is vastgesteld waar dit nu al interessant is. Bij hogere zeespiegel kan dat op meer plaatsen het geval zijn;
- ruimtelijk beleid kan de groei van de potentiële gevolgen beperken en leidt uiteindelijk tot een minder kwetsbaar land (vergelijk Figuur 5.4 met Figuur 2.12).
- met de juiste combinatie van maatregelen ('leven met water') kan het slachtofferrisico met circa 75% worden gereduceerd tegen netto-kosten die lager zijn dan die van continueren van het huidige beleid; het gaat dan om een per gebiedstype verschillende combinatie van maatregelen die hetzij de kans, hetzij de blootstelling hetzij de kwetsbaarheid verkleinen;
- zo'n beleid met sterk gedifferentieerde beschermingsniveaus leidt tot minder ruimtelijke verschillen in risiconiveaus tussen dijkkringen (Figuur 5.12c en Figuur 5.13c);
- implementatie van zo'n beleid vergt wel dat nu wordt geïnvesteerd, terwijl de revenuen pas (veel) later komen. Een duurzamer strategie komt vooral de generaties na de onze ten goede.

8.4.2 Droogterisicobeheersing

De regionale waterhuishouding in Nederland is verregaand geoptimaliseerd op het voorkomen van zowel natschade als droogteschade. Daarbij is in sommige gebieden een sterke afhankelijkheid van aanvoer van zoetwater uit het hoofdwatersysteem ontstaan. Van dat zoete water wordt echter maar een heel klein gedeelte (< 20%) werkelijk gebruikt om landbouwgewassen van water te voorzien. Dat is bijv. het geval op Goeree-Overflakkee waar heel veel zoetwater nodig is om het zoutgehalte in de sloten laag te houden (zoetspoelen), waardoor de 'efficiëntie' daalt tot ca 5%; dat komt door het mengen van aan- en afvoer in dezelfde watergangen. Maar het is ook op grotere schaal het geval, namelijk waar de inname van water voor Centraal Holland (circa 40 m³/s) in geen verhouding staat tot de hoeveelheid zoetwater die nodig is om het optrekken van de zouttong in de Nieuwe Waterweg te voorkomen (Figuur 6.3).

Van de precieze efficiëntie van de *huidige* zoetwatervoorziening hebben we geen duidelijk beeld kunnen krijgen, omdat we niet konden beschikken over geverifieerde waterbalansen van alle deelgebieden in Nederland. Ook hebben we de kosteneffectiviteit van het huidige beleid niet kunnen vaststellen.

Dat komt ten eerste doordat kosten worden gemaakt door zeer veel partijen: het rijk, de waterschappen, provincies (grondwater) en de individuele grondeigenaren. Dat leidt tot een vaak onbekende 'schaduwprijs' voor water, waarvan soms ook volstrekt onduidelijk is wie die betaalt (verg. Anonymus, 2009b).

Ten tweede komt het doordat de baten moeilijk zijn te kwantificeren; omdat de landbouwsector zeer divers is, door prijselasticiteit, etc. Dat betekent dat het onmogelijk is de strategische alternatieven goed te vergelijken met het huidige beleid. We hebben dus geen referentie.

In de analyses van strategische alternatieven hebben we wel kunnen vaststellen dat grote investeringen door het rijk in infrastructuur ten behoeve van wateraanvoer ('Water volgt' en 'Anders aanvoeren' variant a) met vergroting van aanvoerkanalen en forse peilopzet op het IJsselmeer niet opwegen tegen de berekende schadereductie in de landbouw. Maar dat – zoals al vastgesteld door Van Beek *et al.* (2008) – de schadereductie bij het laten uitzakken van het IJsselmeerpeil ('anders aanvoeren', variant b) wel opweegt tegen de relatief geringe kosten van die maatregel.

Ondanks de genoemde forse tekortkomingen in ons inzicht kunnen toch twee principiële noties worden opgetekend over de strategische alternatieven 1 en 2:

- de huidige wijze van zoetwateraanvoer is zeer inefficiënt zo niet verspillend;
- de kosten en de baten van grootschalige wateraanvoer liggen heel vaak niet bij dezelfde partij.

Tegen die achtergrond zijn de andere strategische alternatieven geformuleerd, die gebaseerd zijn op *zuiniger* omgaan met aanvoerwater ('gesloten aanvoer') of met lokaal beschikbaar water ('water stuurt'), en op "*wie de baat heeft moet de kost hebben*" (zowel 'gesloten aanvoer' als 'regionale zelfvoorziening'). In al deze drie alternatieven is een grote rol weggelegd voor (collectieven van) individuele ondernemers. Zij kunnen hetzij hun teeltplan aanpassen aan de veranderende lokale milieuomstandigheden hetzij investeren in technische maatregelen zoals aanvoerbuizen of ontziltingsinstallaties.

In het eerst geval ('water stuurt' en enigszins 'regionale zelfvoorziening') is geleidelijke aanpassing van het landgebruik aan de verslechterende omstandigheden te verwachten, met minder droogtegevoelige gewassen op de zandgronden, minder zoutgevoelige gewassen in gebieden met zoute of brakke kwel, etc. Dat kan bedrijfseconomisch aantrekkelijk zijn mits de verhouding investering/opbrengst goed blijft. De kosten moeten dan dus ook laag blijven.

In het tweede geval ('gesloten aanvoer' en eveneens enigszins 'regionale zelfvoorziening') wordt daarentegen juist fors geïnvesteerd, maar wordt dat terugverdiend met hoogrenderende teelten. De kosten kunnen worden doorberekend aan de consument. Ook dat kan bedrijfseconomisch aantrekkelijk zijn bij een goede verhouding kosten/opbrengsten. Beide zijn dan hoog.

Van deze strategische alternatieven is het vrijwel onmogelijk op landsdekkende schaal de aantrekkelijkheid vast te stellen. Die is immers zeer verschillend afhankelijk van de soort landbouw (bedrijfstype en teelt), de lokale milieuomstandigheden – waaronder de beschikbaarheid van zoetwater –, maar ook de infrastructuur. Zo lijken de 'greenports' van respectievelijk bloemen (Aalsmeer, Sassenheim), sierteelt (Boskoop), bollen (Hillegom), kasgroenten (Westland), boomteelt, e.d. en de feitelijke teeltlocaties steeds meer ontkoppeld te raken. Bollen worden geteeld in een 'reizende bollenkraam', bomen komen uit de Betuwe, etc. Dat biedt perspectieven om niet langer tegemoet te komen aan – vermeende? – eisen en wensen vanuit die sectoren.

Naarmate ze zich omwille van de risicobeheersing onafhankelijker ontwikkelen, kan de claim op het hoofdwatersysteem ook wel volledig worden losgelaten. Omdat dit voor een groot deel nog slechts kwalitatieve – en zelfs hypothetiserende – overwegingen zijn, is nader onderzoek op dit vlak zeer gewenst, waarbij ook de macro-economische consequenties moeten worden verkend.

Ter afsluiting van deze paragraaf ook een korte puntsgewijze samenvatting:

- vergroting van de grootschalige wateraanvoer uit het hoofdwatersysteem kost meer dan het opbrengt als daarvoor *grootschalig* moet worden ingegrepen;
- opzetten van het IJsselmeerpeil voor dat doel – hetgeen grootschalig ingrijpen vereist – is vanuit macro-economisch oogpunt dan ook niet rendabel;
- het laten uitzakken van het IJsselmeerpeil kan dat wel zijn (geringe ingreep), maar de consequenties voor natuur en landschap behoeven nog nader onderzoek;
- de inefficiëntie van het huidige zoetwaterbeheer vraagt om herbezinning;
- zo'n herbezinning zou moeten uitgaan van een scheiding van wateraanvoer en waterafvoer ('waterleiding' en 'riolering'). Gesloten aanvoer kan voor hoogrenderende teelten aantrekkelijk zijn en kan individueel of collectief worden geregeld, of door een waterketenbedrijf worden verzorgd;
- de kosten van wateraanvoer liggen niet altijd bij degenen die er de baat van hebben. Ook dat vraagt om herbezinning;
- een ruimtelijke scheiding van hoogrenderende teelten met zelfvoorziening en teelten met lagere hectare-opbrengst die zijn aangepast aan de lokale milieumomstandigheden kan een duurzamer 'landbouwhoofdstructuur' opleveren;
- zo'n hoofdstructuur kan door 'koude sanering' tot stand komen (plaatselijk stoppen en in ieder geval niet vergroten van de gratis wateraanvoer) of door gericht ruimtelijk beleid. Het eerste laat de markt z'n werk doen. Het tweede vraagt mogelijk een nieuwe ronde 'landinrichting', maar dan vanuit duurzaamheidperspectief ('lagenbenadering') in plaats van vanuit een perspectief van productiemaximalisatie zoals in de tweede helft van de 20^e eeuw gold (naar Mansholt).

8.4.3 Reflectie en iets over de compatibiliteit van strategische alternatieven

Overstromingsrisicobeheersing is een collectief belang, dat gebruik van algemene middelen rechtvaardigt. Naar ons oordeel zijn voor een verkenning de risico's 'voldoende' gekwantificeerd, en is voldoende inzicht verkregen in de kosten en baten van de verschillende strategische alternatieven om verantwoord richtinggevende uitspraken te doen over welke maatregelen wel en welke niet in beschouwing te nemen. Deze uitspraken zijn hiervoor gedaan (paragraaf 8.4.1).

Droogterisicobeheersing is veel minder een collectief belang, want is gericht op economische sectoren³⁵. Bovendien zijn de eisen/wensen van de economische sectoren verschillend, en verschillen deze ook van die van natuur- en landschapsbescherming. Dat vraagt om fundamentele keuzes over de functies die gebieden moeten vervullen, en dus om ruimtelijk beleid en daarmee samenhangend gericht landbouw- en natuurbeleid. Alleen in de context van de ontwikkeling van zo'n landsdekkende visie op de ruimtelijke inrichting van Nederland kan het vraagstuk van hetzij wateraanvoer hetzij ontkoppeling/zelfvoorziening goed worden aangepakt.

35. Hierbij wordt er van uit gegaan dat het collectieve belang van peilhandhaving ook met 'zout' (lees: licht tot sterk brak) water gediend kan worden.

Op dit moment is naar ons oordeel het inzicht in de regionale waterbalansen en de kosteneffectiviteit van de verschillende strategische alternatieven onvoldoende om verantwoord heel concrete richtinggevende uitspraken te kunnen doen over waar het heen moet. Wel kunnen principiële vragen worden opgeworpen, zoals hierboven gedaan (paragraaf 8.4.2).

Ook kan van sommige strategieën worden gesteld dat ze weinig aantrekkelijk zijn, zoals het opzetten van het IJsselmeerpeil om redenen van droogterisicobeheersing. Dat neemt niet weg dat als ooit om andere redenen voor peilopzet wordt gekozen – bijvoorbeeld om bij gestegen zeespiegel toch onder vrij verval te kunnen spuien –, de extra waterschijf kan worden gebruikt. En er kan worden gesteld dat de afweging tussen een open Nieuwe Waterweg omwille van de scheepvaart of een gesloten Nieuwe Waterweg om het verspillen van zoetwater te beperken een fundamenteel maatschappelijke afweging is tussen uiteenlopende belangen.

Over de relatie tussen alternatieven voor overstromingsrisicobeheersing en droogterisicobeheersing kan worden gesteld dat deze *op het land* vrijwel onafhankelijk van elkaar zijn. Maar ook is bij de verkenning van beide vastgesteld dat met ruimtelijk beleid de risico's effectief kunnen worden beperkt. Ruimtelijke ordening kan de kwetsbaarheid voor overstromingen beperken door beperkingen op te leggen aan 'rode' ontwikkelingen; en ruimtelijke ordening kan de kwetsbaarheid van de landbouw voor droogte en verzilting beperken. Dat is aanleiding om te pleiten voor een zoektocht naar een mogelijke synergie in een ruimtelijke hoofdstructuur die beide doelen dient: een hoofdstructuur die is gebaseerd op de 'lagenbenadering' waarbij 'de fysieke onderlaag' (inclusief overstromingsrisico's) mede richting geeft aan een robuust casco van stedelijk, intensief agrarisch, extensief agrarisch en natuurlijk gebied.

In de grote wateren vragen de alternatieven voor overstromingsrisicobeheersing en droogterisicobeheersing om een waterbeheersing met ingrepen die goed combineerbaar zijn. Men denken aan afsluiting of afsluitbaar maken van riviermondingen en estuaria en deze zoet houden. Maar zoals Passchier *et al.* (2009) al opmerkten moet in veel gevallen waarschijnlijk een principiële keuze worden gemaakt tussen hetzij een synergie tussen veiligheid en zoetwatervoorziening voor landbouw, hetzij een synergie tussen veiligheid en ruimtelijke kwaliteit ten behoeve van daarvan afhankelijke economische gebruiksfuncties (zoals recreatie, schelpdierkweek, visserij). Dat betreft regionale keuzes. Het betreft ook weer keuzes op het niveau van een nationale hoofdstructuur, zij het in dit geval voor de grote wateren.

Een nationale hoofdstructuur voor land en water kan alleen tot stand komen als de rijksoverheid meer regie over de ruimtelijke ordening van Nederland neemt.

8.5 Aanbevelingen ...

Tegen de achtergrond van het bovenstaande kunnen aanbevelingen voor beleid en voor onderzoek worden geformuleerd. Omdat het inzicht in de problematiek van droogterisico's veel minder groot is, worden hiervoor vooral onderzoeks-aanbevelingen gedaan. Over overstromingsrisicobeheersing worden ook/vooral beleidsaanbevelingen gedaan.

8.5.1 ... voor beleid

Op basis van de huidige kennis en inzichten kan een nadere concretisering van het overstromingsrisicobeleid plaatsvinden. Gezien de bevindingen in dit rapport zou die moeten worden gebaseerd op strategisch alternatief 'leven met water' (*accomodate*). Die strategie behelst een per gebiedstype specifieke combinatie van de volgende maatregelen (in deze volgorde):

- Blootstellingsbeperking door compartimentering van gevaarlijk grote dijkringen (met name Betuwe, Land van Heusden- De Maaskant en Voorne- Putten (Spijkenisse), opwaardering/versterking van de bestaande gecompartmenteerdheid door regionale kades in Noord- en Centraal Holland en Friesland-Groningen).
- Verdere blootstellingsbeperking door het realiseren van doorbraakvrije dijkvakken bij risicovolle plekken (Figuur 5.2).
- Kansbeperking door normdifferentiatie *per dijkring(deel)*, aansluitend op beheersing van de systeemwerking, en *per dijkvak* aansluitend op de kwetsbaarheid van het achterland (risicovolle plekken).
- Ruimtelijk beleid gericht op het voorkomen van de toename van de kwetsbaarheid in de toekomst door ruimtelijk beleid dat aansluit bij de differentiatie van beschermingsnormen, en op het open houden van opties voor grootschalige rivierverruiming (Centraal rivierengebied, IJsseldal, Maasdal).

Aanvullend kan worden gezien in hoeverre 'meegroeien met de zeespiegel' mogelijk is bij het doorbraakvrij maken van dijken in combinatie met stedelijke herstructurering.

De huidige kennis en inzichten geven geen aanleiding om te streven naar grootschalige wateraanvoer en peilopzet van het IJsselmeer om de droogterisico's voor de landbouw te beperken.

8.5.2 ... voor onderzoek

Allereerst dient de waterbalans van logische waterbeheereenheden te worden gekwantificeerd. Nu zijn er van veel gebieden slechts modeluitkomsten, maar ontbreekt het aan geverifieerde gegevens over wateraanvoer en -afvoer in relatie tot neerslag, verdamping, kwel en wegzijging. We adviseren dat te doen voor de ruimtelijke eenheden die zijn weergegeven in Figuur 1.3, maar een nog fijner onderscheid voor de droogmakerijen in het westen van het land is denkbaar.

Ten tweede moet de feitelijke waterbehoefte – in kwantitatieve en kwalitatieve termen – en schaderespons van teelten en landbouwbedrijfstypen worden vastgesteld en worden onderbouwd. Daarover bestaan teveel uiteenlopende opvattingen. Er lijkt behoefte aan een geactualiseerd 'Cultuurtechnisch Vademecum' en actuele HELP-tabellen.

Ten derde moeten op basis van de combinatie van de antwoorden op de beide vorige vragen de watervraag, de beschikbare hoeveelheden, en de droogterisico's per waterbeheergebied worden gekwantificeerd.

Los hiervan kan een vergelijking worden gemaakt tussen individuele, co-operatieve, en collectieve technische oplossingen, zoals wateraanvoer via gesloten leidingen, lokale ontzilting (op kleine en grote schaal). Daarbij verdient ook de mogelijke rol van waterketenbedrijven nader onderzoek.

In dezelfde sfeer wordt aanbevolen onderzoek te doen naar wat kan worden bereikt met teeltaanpassing en ruimtelijk beleid. Daarbij ligt voor de hand 'koude sanering', waarin de markt het werk doet na het stoppen van gratis zoetwaterlevering, te vergelijken met gestuurde/ afgedwongen verplaatsing van teelten vanuit een perspectief van een 'nieuwe ronde landinrichting' op geo-ecologische grondslag.

Deze onderzoeksaanbevelingen zouden kunnen worden opgepakt in het kader van het landsdekkende Delta-(deel)programma 'zoetwaterbeheer' en/of door Kennis voor Klimaat. Een samenwerking tussen Deltares, PBL en WUR (Alterra en LEI) ligt daarbij voor de hand.

Tenslotte ligt te zijner tijd een verkenning voor de hand van hoe een robuuste en klimaatbestendiger ruimtelijke hoofdstructuur van Nederland op geo-ecologische grondslag eruit zou kunnen zien, die veel meer aansluit bij de natuurlijke waterbeschikbaarheid (*water resources management*) en overstromingsrisico's (*flood risk management*). Deze weg naar een klimaatbestendig Nederland kan verder worden uitgestippeld door PBL, Deltares en WUR (Alterra).

Literatuur

- Anonymus (Milieu- en Natuurplanbureau), 2007. *Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning. deel Fysische leefomgeving Nederland*. MNP, Bilthoven.
- Anonymus, 2009. *Toekomstvastheid van de hoogwatergeul in de IJsseldelta. Quick scan naar de consequenties van het advies van de Deltacommissie*. Rijkswaterstaat-Waterdienst, Lelystad.
- Anonymus, 2009b. *Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta – een verkenning*. Metastudie. Kennis voor Klimaat rapport 017/09, Utrecht.
- Asselman, N.E.M., F. Klijn & H. van der Most, 2008. *Verkenning van nadere compartimentering van dijkkringgebieden*. Deltares-rapport T2513.00, Delft.
- Baan, P. & F. Klijn, 1998. *De Rijn op termijn: een veerkrachtstrategie*. WL-rapport R3124.10, Delft.
- Beckers, J., M. Mens & P. Timmers, 2008. *Berekening en interpretatie van groepsrisico's van overstromingen*. WL Delft Hydraulics, Delft.
- CPB, MNP & RPB (Janssen, L.H.J.M., Okker, V.R., Schuur, J.), 2006. *Welvaart en leefomgeving*. Centraal Planbureau, Milieu en Natuurplanbureau & Ruimtelijk planbureau.
- CHR/ KHR, 2007. *Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. Analyse, Veränderungen, Trends*. Bericht Nr. I-22 der KHR/CHR
- CUR & RWS, 2008. *Waarde van wonen aan de rivier; hoogwaterbestendig maken en verplaatsen van woningen langs rivieren*. CURNET, Gouda.
- De Bruijn, K.M., 2007. Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. Delft Hydraulics-report Q3668, Delft.
- De Bruijn, K.M., F. Klijn, C. McGahey, M. Mens & H. Wolfert, 2008. *Long-term strategies for flood risk management: scenario definition and strategy design*. FLOODsite report T14-08-01.
- De Bruijn, K.M., R. van Buren & K. Roscoe, 2008a. *Mapping casualty risk in the Netherlands; locational and group risk*. Deltares rapport T2603, Delft.
- De Bruijn, K.M. & F. Klijn, 2009. Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. *Journal for Flood Risk Management* 2: 58-67
- De Hollander, A.E.M. & A.H. Hanemaaijer (eds.), 2003. *Nuchter omgaan met risico's*. RIVM-rapport 251701047, Bilthoven.
- DHV, 2009. *Nota waterberging Grevelingen en Oosterschelde*. in opdracht van Rijkswaterstaat PDR. Augustus 2009, Amersfoort.
- Diermanse, F., J.C.J. Kwadijk, J. Beckers & J. Crebas, in voorbereiding. *Statistical trend analysis of River Rhine and Meuse discharges*.
- Duel, H., J.L. Fiselier, F. Klijn & C. Kwakernaak, 1989. Gebiedsvreemd water in Nederland; een verkenning van de problematiek van gebiedsvreemd water en de ruimtelijke oplossingsmogelijkheden. SCMO-TNO rapport R 89/42, Delft/ CML mededelingen 52, Leiden.
- Eijgenraam, C.J.J., 2006. *Optimal safety standards for dike-ring areas*. CPB discussion paper 62. CPB, Den Haag.
- Fiselier, J.L., F. Klijn, H. Duel & C. Kwakernaak, 1992. The choice between desiccation of wetlands or the spread of Rhine water over The Netherlands. *Wetlands Ecology and Management* 2(1992)/ 1/2: 85-93

FLOODsite, 2009. Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded Integrated Project). Deltares | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands. E-publication www.floodsite.net.

Geurts van Kessel, A.J.M., 2004. *Verlopend tij. Oosterschelde een veranderend natuurmonument*. RIKZ/2004.028 Rijksinstituut voor kust en Zee, Middelburg

IPCC, 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 572 pp.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 pp.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. D, Qin, M, Manning, Z, Chen, M, Marquis, K,B, Averyt, M, Tignor and H,L, Miller (eds,)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,

Janssen, L.H.J.M., V.R. Okker & J. Schuur, (2006). *Welvaart en leefomgeving*. Centraal Planbureau, Milieu en Natuurplanbureau & Ruimtelijk planbureau.

Jeuken, A., N. Slootjes & N. van Oostrom, 2010. *Klimaatbestendigheid en opties voor adaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden*. Analyse van recente resultaten uit Klimaatbestendig NL Waterland en Kennis voor klimaat. Deltares-rapport 1202138, Delft.

Jonkhoff, W., T. Groen en E. Rietveld, 2009. *Batenverkenning Klimaatbestendigheid NL Waterland*. TNO december 2009.

Kind, J., 2008. *Kengetallen Kostenbatenanalyse Waterveiligheid 21^e eeuw*. eindconcept RWS-Waterdienst, Lelystad.

Klijn, F., 1989. *Landschapsecologische Kartering Nederland: grondwaterrelaties*. CML-mededelingen 51, Leiden/ Stiboka-rapport 2107, Wageningen. 41 blz.

Klijn, F., H. van der Klis, J. Stijnen, K. de Bruijn & M. Kok, 2004. *Overstromingsrisico dijkringen in Nederland; betooglijn en deskundigenoordeel*. WL-rapport Q3503.10, Delft.

Klijn, F., P. Baan, K.M. de Bruijn & J. Kwadijk, 2007. *Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat; verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later*. WL-rapport Q4290, Delft.

Klijn, F., K. de Bruijn, C. McGahey, M. Mens & H. Wolfert, 2008. *Towards sustainable flood risk management: on methods for design and assessment of strategic alternatives exemplified on the Schelde Estuary*. FLOODsite Report T14-08-02.

Klijn, F. & P. de Grave, 2008. *Grenzen aan de gevolgen van een overstroming? Een reflectie op de uitkomsten van de Compartimenteringstudie*. Deltares-rapport T2513.50, Delft.

KNMI (Beersma, J.J. & T.A. Buishand), 2002. *Droog, droger, droogst - Bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland*. KNMI-publicatie 199-I, De Bilt

KNMI (Beersma, J.J., T.A. Buishand & H. Buiteveld), 2004. *Droog, droger, droogst - KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland*. KNMI-publicatie 199-II, De Bilt.

KNMI (Van den Hurk, B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout), 2006. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.

- Kohsiek, L.H.M., J.P.M. Mulder, T. Louters en F. Berben, 1987. *De Oosterschelde; naar een nieuw onderwaterlandschap*. Eindrapport Geomor. Nota DGW.AO 87.029. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Middelburg
- Kok, M., H.J. Huizinga, A.C.W.M. Vrouwenvelder & W.E.W. van den Braak (2005). *Standaardmethode 2005 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen*. HKV Lijn in Water en TNO Bouw, PR999.10, Lelystad, Nederland
- Kuiper, R & A.A. Bouwman, 2009. *Trendkaart Nederland 2040. Achtergrondrapport bij het project 'Nederland Later'*. PBL-publicatienummer 500074006, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.
- Kwadijk, J., F. Klijn & M. van Drunen, 2006. *Klimaatbestendigheid van Nederland: nulmeting*. Routeplanner deelproject 1. WL | Delft Hydraulics & IVM-VUA, WL-rapport Q4183, Delft.
- Kwadijk, J., A. Jeuken & H. van Waveren, 2008. *De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem*. Deltares-rapport T2447, Delft
- Kwadijk J.C.J., M. Haasnoot, J. Mulder, M. Hoogvliet, A. Jeuken, R. van de Krogt, N. van Oostrom, H. Schelfhout, E. van Velzen, H. van Waveren & M. de Wit, 2010. Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *WIREs Clim Change* 2010 1 000–000 DOI: 10.1002/wcc.64
- Kwakernaak, C., F. Klijn, J.L. Fiselier & H. Duel, 1991. Alternatieven voor wateraanvoer; een aanzet tot gebiedsgericht beleid tegen de toenemende invloed van gebiedsvreemd water. *Landschap* 8(1991)/ 2: 93-107
- Lammersen, 2004. *Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein*. Rijkswaterstaat-RIZA, Landesumweltamt NRW, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Düsseldorf. 160pp.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2009. *Handreiking watertekorten. Scenario's watertekorten Versie 2.1*. Rijkswaterstaat-WD, Lelystad.
- MNP (Milieu- en Natuurplanbureau), 2005. *Effecten van klimaatverandering in Nederland*. Bilthoven, MNP-rapport nummer 773001034.
- MNP (Milieu- en Natuurplanbureau), 2007. *Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland*. MNP, Bilthoven.
- NHV (P. Huisman), 2004. *Water in the Netherlands; managing checks and balances*. NHV-special 6, Netherlands Hydrological Society, Utrecht.
- Passchier, R., F. Klijn & H. Holzhauser (2009). *Beleidsomslagpunten in het zuidwestelijk estuariumgebied? Verkenning van klimaatveranderingsbestendigheid*. Deltares-rapport 1200163-006, Delft.
- PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2009. *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*. PBL-publicatie 500078001, Den Haag/ Bilthoven, 2009
- Pieterse N., J. Knoop, K. Nabielek, L. Pols & J. Tennekes, 2009. *Overstromingsrisicozonering in Nederland. Hoe in de ruimtelijke ordening met overstromingsrisico's kan worden omgegaan*. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag/Bilthoven.
- Pulles, J.W., 1985. *Beleidsanalyse van de waterhuishouding van Nederland*. Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Royal Haskoning (Jacobse, J.J., M. van der Zel, E. Arnold, E.J. Hofstad), 2008 *Toekomstprognose ontwikkeling intergetijdengebied Oosterschelde. Doorvertaling naar effecten op veiligheid en natuurwaarden*. Royal Haskoning, rapport 9T4814, AO/R0002/SJAC/SSOM/Rott; september 2008.
- Rijkswaterstaat/RIZA, 2005. *Watertekortopgave. Eindrapport droogtestudie Nederland*. RIZA-rapport 2005.015, Lelystad.

Rijkswaterstaat/RIZA, 2005a. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Eindrapport. RIZA-rapport 2005.016, Lelystad.

Rijkswaterstaat-WD, 2008. Indicatie van de kosten van het Deltaprogramma. Werkdocument WD 2008/3517, Lelystad.

Silva, W. & E. van Velzen (red.). 2008. *De dijk van de toekomst? Quick-scan doorbraakvrije dijken*. Rapport RWS-Waterdienst 2008.052/ Deltares-rapport Q4558.32.

Slootjes, N., 2009. Waterberging Zeeuwse Wateren. Klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. HKV LIJN IN WATER, rapport PR1675.10.

Stuurman, R., P. Baggelaar, W. Berendrecht, J. Buma, P. de Louw & G. Oude Essink, 2008. *Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering*. TNO-rapport 2008-U-R0074/B, Utrecht.

Stijnen, J., 2008. *Doorbraakvrije dijken. Memo waterbezwaar*. HKV memorandum PR 1410.10, Lelystad (bijlage op CD bij rapport Silva & Van Velzen, 2008).

Te Linde A.H., J.C.J.H. Aerts, A.M.R. Bakker & J.C.J. Kwadijk, 2010. Simulating low-probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data. *Water Resour. Res.*, 46. W03512. doi:10.1029/2009WR007707.

Ter Maat, J., F. Klijn, 2008. Compartimenteringsstudie; casestudie Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkkring 43); Technische achtergrondrapportage. Deltares-rapport Q4348.45, Delft.

Ter Maat, J & G. van Meurs, 2009. Strategie "meestijgen IJsselmeerpeil bij zeespiegelstijging". Werkpakket Veiligheid IJsselmeergebied. Deltares-rapport 1200163.003, Delft.

Tu Min, M., M.J. Hall, P.J.M. de Laat & M.J.M. de Wit, 2005. Extreme floods in the Meuse river over the past century: aggravated by land-use changes?. *Phys. Chem. Earth*. 30, 267–276.

Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten, 2008. *Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's*. Deltaresrapport T2498, Delft.

Van Engelen, A., A. Klein Tank, G. van der Schrier & L. Klok, 2008. *Towards an operational system for assessing observed changes in climate extremes*. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). Report 2008, KNMI. De Bilt, The Netherlands. 68pp.

Van der Most, H., P. Baan & F. Klijn, 2006. Differentiatie in bescherming tegen overstroming? Discussiestuk voor 'Waterveiligheid 21e eeuw'. WL-rapport Q4044/Q4143, Delft.

Van Heezik, A., 2008. Het voordeel eener dubbele defensie. De discussies rond het compartimenteren van dijkeringen in het verleden. Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Deltares-rapport T2513.20, Delft.

Van Velzen, E. *et al.*, in voorbereiding. *Zoetwaterverkenning Deltaprogramma*. Deltares & RWS-Waterdienst

Vellinga, P., C.A. Katsman, A. Sterl & J.J. Beersma, (eds), 2008. Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland: een internationale wetenschappelijke beoordeling (De Nederlandse vertaling). KNMI en Wageningen UR.

Vonk, M., C.C. Vos & D.C.J. van der Hoek, 2010. *Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur*. PBL, Den Haag/Bilthoven & Wageningen UR.

Witte, J-Ph., J. Runhaar, R. van Ek & D. van der Hoek, 2009. Eerste landelijke schets van de ecohydrologische effecten van een warmer en grilliger klimaat. *H₂O* 16/17: 37-40.

WL, 1998. *De Rijn op Termijn*. Brochure, Delft.