

De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland





De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland

**Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het
hoofdwatersysteem**

Jaap Kwadijk, Ad Jeuken, Harold van Waveren

Opdrachtgever:

V&W, Rijkswaterstaat, Waterdienst

De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland

**Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het
hoofdwatersysteem**

Jaap Kwadijk, Ad Jeuken, Harold van Waveren

oktober 2008

Colofon

Dit technisch rapport beschrijft de tussenresultaten van het project “De Klimaatbestendigheid van Nederland Waterland”. De belangrijkste gevoeligheden (knikpunten) ten aanzien van klimaatverandering in het huidige waterbeheer en –beleid van het hoofdwatersysteem worden gepresenteerd. Intussen loopt het project verder en worden ook knikpunten voor het regionale watersysteem in beeld gebracht en worden oplossingsrichtingen verkend. Hierover zal eind 2008 / begin 2009 worden gerapporteerd.

Eindredactie:

Jaap Kwadijk (Deltares)
Ad Jeuken (Deltares)
Harold van Waveren (RWS-Waterdienst)
Wilfried ten Brinke (Blueland)

Review

Frans Claessen

Met bijdragen van o.a.

Marjolijn Haasnoot (Deltares)
Marco Hoogvliet (Deltares)
Rob van der Krogt (Deltares)
Harry Schelfhout (Deltares)
Emiel van Velzen (Deltares)
Marcel de Wit (Deltares)
Anouk Blauw (Deltares)
Ankie Bruens (Deltares)
Judith Ter Maat (Deltares)
Rob Maaten (Deltares)
Helle Larsen (Deltares)
Albert Oost (Deltares)
Niels van Oostrom (Deltares)
Gualbert Oude Essink (Deltares)
Eelco Verschelling (Deltares)
Johan van Zetten (Deltares)

Els de Jong (RWS-Waterdienst)
Neeltje Kielen (RWS-Waterdienst)
Ruud Noordhuis (RWS-Waterdienst)
Ronald Rense (RWS-Waterdienst)
Theo Vulink (RWS-Waterdienst)
Wim Werkman (RWS-Waterdienst)

Willem van Deursen (Carthago)

Wouter Jonkhoff (TNO I&R)

Samenvatting

Als maatregelen worden ontworpen om Nederland klimaatbestendig te maken, worden klimaatscenario's hierbij meestal als uitgangspunt genomen. Uit die scenario's kunnen veranderende fysische randvoorwaarden voor het waterbeheer en -beleid worden afgeleid. Als die bekend zijn kunnen vervolgens de ontwerpcriteria voor maatregelen worden vastgesteld. Klimaatscenario's zijn echter met grote onzekerheden omgeven en geven slechts een mogelijke bandbreedte van effecten weer. Dit betekent dat ontworpen maatregelen op termijn achterhaald kunnen blijken als uit nieuwe kennis blijkt dat de klimaatverandering anders verloopt dan in de klimaatscenario's was aangenomen.

In deze studie is voor een andere invalshoek gekozen. Niet de verwachte klimaatverandering maar de robuustheid van beleid en beheer, met de bijbehorende maatregelen en strategieën, staat in deze studie centraal. Gezocht wordt naar het moment waarop de gevolgen van de klimaatverandering, zoals zeespiegelstijging, verandering in extreme rivierafvoeren en temperatuurtoename, zo groot zijn geworden dat de huidige strategieën niet langer voldoen en alternatieven noodzakelijk zijn. Het moment waarop dat het geval is, wordt een omslagpunt of knikpunt genoemd. Een knikpunt is in deze studie gedefinieerd als **een moment waarop het beheer en beleid heroverwogen zal worden.**

Een knikpunt kan optreden door verschillende oorzaken. Het handhaven van de huidige beheersstrategie kan tegen ruimtelijke of technische grenzen aanlopen, onbetaalbaar worden of gepaard gaan met maatschappelijk onacceptabele ingrepen. Ook kan er iets gebeuren waardoor grote maatschappelijke druk ontstaat om het beleid te heroverwegen. Er kunnen verschillende knikpunten optreden, voor verschillende delen van het land en voor verschillende vraagstukken. In deze studie is een onderscheid gemaakt in: de Hollandse kust, Wadden en Zeeuwse Delta, het benedenrivierengebied, het bovenrivierengebied en het IJsselmeergebied. Analyses zijn gemaakt van de vraagstukken: Veiligheid (bescherming tegen overstromen), economisch ruimtegebruik, (watervoorziening en peilbeheer) en natuur en cultuurwaarden (waterpeil, waterkwaliteit, areaal natte natuurgebied en connectiviteit). Niet voor alle gebieden zijn alle vraagstukken belicht. Zo is natuur alleen geanalyseerd voor het IJsselmeergebied en de kust, en de zoetwatervoorziening alleen voor Zuid-Holland. In het vervolg op deze studie wordt het beeld voor Nederland zo compleet mogelijk gemaakt.

De Hollandse kust, Wadden en Zeeuwse Delta

Jaarlijks wordt op de Hollandse kust zand gesuppleerd zodat het beschermingsniveau van het achterland kan blijven voldoen aan de veiligheidsnormen met maatgevende waterstanden met een kans van 1/10.000 en 1/4.000 per jaar. Er wordt net zoveel gesuppleerd als nodig is om de basiskustlijn (BKL) te handhaven. Als op de Noordzee onvoldoende winbaar zand beschikbaar zou zijn, of als de kosten van winning te hoog zouden zijn, zou dit beheer wellicht heroverwogen worden. Schattingen laten echter zien dat de komende eeuwen voldoende zand beschikbaar is om de kust met de zeespiegel te laten meestijgen. Ook de kosten, die kunnen oplopen van 40 miljoen euro per jaar nu tot 400 miljoen euro per jaar bij een zeespiegelstijging van 1,5 m, zullen geen reden zijn om het beheer te heroverwegen. Wel moeten bijtijds grote zandvoorraden worden gereserveerd. Vergaande maatregelen, zoals bijvoorbeeld eilanden voor de kust, zijn voor de veiligheid niet nodig. Lokaal is wel aandacht nodig voor de kustplaatsen met hun boulevards.

Bij de bescherming van de Zeeuwse delta tegen overstromen zou een knikpunt kunnen optreden als, bij zeespiegelstijging, de kosten voor het instandhouden van de dijken rond kleine polders niet langer opwegen tegen de baten. De bescherming van deze polders draagt echter bij aan de bescherming van de steden en dorpen in het achterland. Er is geen sprake van eventuele knikpunten in het beleid ten aanzien van deze polders.

Voor de natuur langs de Hollandse kust zijn de zandsuppleties gunstig. Door de suppleties ontstaat er een, weliswaar beperkte, dynamiek waar de natuur van profiteert. Door handhaving van de BKL zal de natuur langs de Hollandse kust ook niet verdrinken. Toch staat de natuur onder druk. De bestaande natuurdoelen zijn niet te handhaven: we zijn voor de natuur het knikpunt al bijna gepasseerd. Aan de beleidsdoelen, die momenteel vastgelegd worden voor de Europese kaderrichtlijn water en de Vogel- en Habitatrichtlijn, kan nu al nauwelijks worden voldaan. Als het klimaat verandert, zal de situatie verder verslechteren.

Als de temperatuur van het zeewater stijgt, nemen de primaire productie door fytoplankton en de stratificatie toe. Tevens schuift de geografische verspreiding van soorten op, vooral naar het noorden. Beheermaatregelen gericht op bescherming van gebieden doen hier niets tegen. Hierin zit ook een principieel punt: doelen voor de instandhouding van soorten uit het Europees beleid stroken niet met de realiteit dat systemen zich aan veranderingen in natuurlijke omstandigheden aanpassen.

De ondiepe natuurgebieden (platen, slikken, kwelders / schorren) in de Waddenzee en de Zeeuwse Delta lopen het gevaar op termijn te verdrinken als de zeespiegel sneller stijgt dan de snelheid waarmee deze gebieden kunnen aanzanden of opslibben. Het huidige beleid en beheer is er niet op gericht dit te voorkomen. Verdrinking van deze gebieden in de Waddenzee kan worden voorkomen door buitengaats te suppleren, zolang de zeespiegel niet sneller stijgt dan 3 tot 6 mm/jaar (voorzichtige schatting). We zitten niet ver van dit knikpunt af: de zeespiegel stijgt nu al ongeveer 3 mm/jaar.

Zuidwest Nederland en het benedenrivierengebied

In het benedenrivierengebied is de zoetwatervoorziening (drinkwater, landbouw) van Zuidwest-Nederland cruciaal. Als de zeespiegel stijgt en de rivieren in droge zomers minder water aanvoeren, neemt de verzilting van het grond- en oppervlaktewater toe. Het waterbeheer voor de zoetwatervoorziening staat ter discussie zodra de zoutnormen voor sleutelfuncties niet meer kunnen worden gehandhaafd. Dit blijkt bij een zeespiegelstijging van 35 cm het geval te zijn. Bij de huidige KNMI-scenario's zou dit vóór 2050 het geval kunnen zijn voor de inlaatpunten op de Nieuwe Maas, Oude Maas (tot aan het Spui) en Hollandsche IJssel. Onder de meest extreme onderzochte omstandigheden, bij een zeespiegelstijging van 2 meter en gebruikmakend van het meest droge scenario, zouden zoutnormen bij de inlaat bij Gouda bijna de helft van het jaar niet worden gehaald. De zoutvracht vanuit het grondwater naar laaggelegen kwelgebieden neemt als gevolg van de zeespiegelstijging slechts marginaal toe.

De waterveiligheid van het benedenrivierengebied wordt bepaald door de invloed van de zee en de rivieren. De combinatie van een hoge zeespiegel en een hoge rivierafvoer is maatgevend voor de dijken en keringen in het gebied. Hogere rivierpeilen in combinatie met bodemdaling kunnen leiden tot een hogere kweldruk en tot verminderde stabiliteit van bestaande dijken en constructies. Daarbij is het achterland dichtbevolkt, en zijn er belangrijke economische activiteiten zoals industrie en haven en een aantal buitendijkse gebieden in de stedelijke omgeving.

Het veiligheidsbeleid in het benedenrivierengebied komt ter discussie te staan zodra genomen maatregelen niet meer voldoen. Als de Maeslantkering te vaak gesloten moet worden, zal deze zijn functie verliezen omdat het functioneren van de haven dan ernstig wordt belemmerd. Bij een zeespiegelstijging van 1,50 m zou de kering globaal 30 maal per jaar moeten sluiten. Bij welke sluitfrequentie een knikpunt wordt bereikt, is moeilijk te zeggen. De kering is ontworpen op een sluitfrequentie van 1 maal per 10 jaar. We weten vrij zeker dat de zeespiegel verder zal doorstijgen en de sluitfrequentie hiermee ook. Waarschijnlijk wordt het knikpunt rond het eind van deze eeuw bereikt, ruim voordat het zeeniveau met 1,5 meter is gestegen.

Naarmate de zeespiegel verder stijgt, hebben de Maeslantkering en de Hartelkering steeds minder effect op de reductie van de toetspeilen in het achterliggende gebied. Dit knikpunt wordt bij ongeveer 50 cm zeespiegelstijging bereikt. Ook neemt de effectiviteit van de maatregelen van Ruimte voor de Rivier bij een stijgende zeespiegel af. Daarom zullen in het benedenrivierengebied op termijn extra dijkversterkingen en maatregelen voor buitendijkse gebieden nodig zijn. Waarschijnlijk wordt dit knikpunt ruim vóór het eind van deze eeuw bereikt, al is dit moeilijk in te schatten vanwege onzekerheden in de diverse faalmechanismen van dijken en in de hydraulische randvoorwaarden.

Het op termijn niet houdbaar zijn van de huidige strategieën rond veiligheid en zoetwatervoorziening biedt ook kansen voor natuur. Een goed voorbeeld is het Volkerak-Zoommeer. Feitelijk is daar het omslagpunt voor natuur al gepasseerd en zit het ecosysteem in een negatieve spiraal. Die spiraal kan worden doorbroken door meer zoet water naar dit gebied te sturen, waardoor een geleidelijke zoet-zoutgradiënt ontstaat. Dat water is nu niet beschikbaar omdat het moet worden gebruikt om de noordrand van het benedenrivierengebied zoet te houden in laagwatersituaties. Die strategie is op termijn echter niet houdbaar.

Zodra rivierdijken niet meer zonder hoge extra kosten en extra ruimtebeslag verhoogd en verstevigd kunnen worden, zal naar andere (rigoureuzere) oplossingen gezocht moeten worden. Voor de dijken langs de Lek geldt nu al dat er nauwelijks ruimte is om dijken te versterken vanwege de aanwezige lintbebouwing langs het gehele traject. De dijken moeten echter worden voorzien van een brede steunberm omdat door de slappe ondergrond het gevaar reëel is dat de grond achter de dijken opbarst. Dit vraagt veel ruimte; bij een piekafvoer van 18.000 m³/s (bij Lobith) en een zeespiegelstijging van 1,5 meter lopen de dijkverhoging en verbreding op tot respectievelijk 2 en 50 meter. Omdat die ruimte er bij de Lek niet is, moet worden gekozen voor dure damwandconstructies of het verplaatsen van bebouwing. Met name de laatste oplossing zal lokaal waarschijnlijk stuiten op veel weerstand. Daarom wordt in dit kritische gebied steeds vaker gekozen voor dure technische oplossingen met weinig ruimtebeslag in plaats van traditionele dijken. In feite zijn knikpunten in dit kritische gebied dus al gepasseerd en is al overgestapt op een alternatieve strategie.

Als de stijghoogte van het grondwater, en dus de stijging van de zeespiegel, sterk zou toenemen, zou er schade aan funderingen kunnen ontstaan. De grens hiervoor ligt ongeveer bij 1 m zeespiegelstijging per 50 jaar. Een dergelijke snelle stijging wordt in geen van de huidige klimaatscenario's voorzien.

Rivierengebied

In het rivierengebied wordt een knikpunt bereikt als het klimaat zodanig verandert dat Maaswerken en Ruimte voor de Rivier de afvoercapaciteit onvoldoende vergroten om het gewenste beschermingsniveau te kunnen handhaven. Dit gebeurt voor de Rijn en Maas bij afvoeren hoger dan de maatgevende afvoeren van 16.000 m³/s en 3800 m³/s (4200 m³/s na voltooiing Maaswerken). Aanvullende maatregelen bieden respijt als de afvoeren moeten worden verhoogd tot hogere maatgevende niveaus van respectievelijk 18.000 m³/s en 4600 m³/s. Het knikpunt van 3800 m³/s voor de Maas is nu eigenlijk al bereikt, als de hoogwaters van 2002 en 2003 in de statistiek zouden worden meegenomen. Ook de andere knikpunten zullen op termijn, door klimaatverandering, worden bereikt.

Voor de Rijn zou een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s op zijn vroegst tussen 2040 en 2045 bereikt kunnen worden. Daarbij geldt wel een kanttekening: doordat de dijken langs de Niederrhein relatief laag zijn, kan de afvoer bij Lobith, ook bij klimaatverandering, niet hoger worden dan 17.500 m³/s. Die situatie kan veranderen als de Duitsers hun dijken aanpassen, bijvoorbeeld als reactie op een grote overstroming (maatschappelijk knikpunt). De kans op een overstroming langs de Niederrhein verschilt per KNMI-scenario: van 8% vóór 2050 voor de meer extreme scenario's (W/W+) tot 20% vóór 2100 voor de gematigde scenario's (G/G+).

Voor de Maas worden knikpunten met kritische waarden voor maatgevende afvoeren op zijn vroegst in 2050 (4200 m³/s) en 2100 (4600 m³/s) bereikt. Deze knikpunten zouden echter ook veel verder in de toekomst kunnen liggen, tot zelfs twee eeuwen voor de afvoer van 4600 m³/s. De buitendijkse gebieden in de stad Maastricht zullen al overstromen bij lagere dan deze maatgevende afvoeren. Zulke overstromingen (ook in Duitsland) kunnen een aanleiding vormen voor heroverweging van bestaand beheer en beleid.

IJsselmeergebied

Voor het IJsselmeer wordt een knikpunt bereikt als de zeespiegel zo hoog is gestegen dat de huidige streefpeilen voor het IJsselmeer nauwelijks meer door lozing via vrij verval kunnen worden gehandhaafd, ook niet als de bestaande sluizencomplexen worden uitgebreid. Dit zal bij een zeespiegelstijging van 35 cm (op zijn vroegst rond 2040) het geval zijn. Daarna kan het IJsselmeer maximaal 1,5 m met de zeespiegel meestijgen. Dit heeft consequenties voor de hoogwaterbescherming van het achterland en voor de natuur. De consequenties voor de hoogwaterbescherming zijn niet alleen de verhoging van de dijken rond het IJsselmeer: ook in de IJsselmonding bij Kampen zullen extra beschermingsmaatregelen nodig zijn. Het waterpeil bij Kampen kan bij een zeespiegelstijging van 1,3 meter en een Rijnafvoer van 18.000 m³/s bij Lobith, bijvoorbeeld, ruim 0,5 meter hoger komen te staan.

Het IJsselmeergebied (in de studie is gekeken naar IJssel- en Markermeer) is een belangrijke zoetwaterbuffer voor de omringende gebieden. Ook vallen grote delen onder de Vogel- en Habitatrichtlijn. Voor de zoetwatervoorziening en de waterveiligheid wordt het peil in het gebied nagenoeg constant gehouden. Hierdoor is er nauwelijks dynamiek voor de natuur in de schaarse ondiepe overgangszones. In dit gebied zijn andere effecten van menselijk handelen zeker zo belangrijk voor de natuur als de gevolgen van klimaatverandering. Het feit dat sommige knikpunten al zijn gepasseerd komt niet door klimaatverandering maar door de invloed van de mens zoals emissies strak peilbeheer en harde grenzen.

Uit meetreeksen blijkt dat sleutelsoorten afnemen en algenbloeien steeds vaker voorkomen. Het meest kritisch is echter het peilbeheer. Zodra het peil verder zal moeten stijgen om onder vrij verval op de Waddenzee te kunnen blijven lozen, zullen belangrijke habitats verdrinken, tenzij aanvullende maatregelen als nieuwe vooroevers worden gerealiseerd.

Onder invloed van klimaatverandering, met name door temperatuurstijging en verandering van het windklimaat, komen sleutelsoorten als de driehoeksmossel, kranswieren en spiering verder onder druk te staan en hiermee ook vogels als de Fuut, de grote Zaagbek en het Nonnetje. Kritische hoge temperaturen treden binnen de huidige scenario's tot 2100 waarschijnlijk niet veelvuldig op. Als koude periodes te weinig voorkomen, kan dit leiden tot verstoring van de reproductie; of dit gaat optreden, is uit de huidige klimaatscenario's niet af te leiden. Toename van (blauw)algen, met name door langere perioden van warm weer (orde een week of langer) in combinatie met weinig wind, zou kunnen leiden tot lage zuurstofconcentraties bij de bodem met sterfte van driehoeksmosselen tot gevolg. De helderheid van het water is te verbeteren, en de kans op algenbloei is te verkleinen met maatregelen die de resuspensie van slib of de input van nutriënten meer dan halveren.

Conclusies

Het Nederlandse waterbeleid en –beheer is op hoofdlijnen klimaatbestendig. De verwachte zeespiegelstijging en hogere afvoeren van Rijn en Maas zijn nog eeuwenlang veilig te keren, zelfs als we uitgaan van scenario's met een hogere zeespiegelstijging dan die van het KNMI. Ook de waterhuishouding is beheersbaar te houden. Toch zullen we in de loop van deze eeuw op een aantal onderdelen van beleid en beheer op andere strategieën moeten overstappen.

Bij de voortzetting van het huidige beleid van zandsuppleties voor kustbescherming worden voorlopig geen knikpunten bereikt. Er is op de Noordzee voldoende zand beschikbaar, de kosten van de suppleties zijn niet te hoog en het suppletiebeleid stuit niet op maatschappelijke bezwaren. Er zijn wel aandachtspunten: ook andere functies op de Noordzee (bijvoorbeeld natuur, windmolens) leggen beslag op het zand, en er zijn gebieden, zoals de oostelijke delen van de Waddeneilanden, waar zandsuppleties niet de oplossing voor zeespiegelstijging zijn. Alternatieve strategieën als eilanden voor de kust of het bouwen van allerlei harde constructies in plaats van zand zijn vanuit het oogpunt van veiligheid overbodig. Eventuele andere argumenten voor de aanleg van eilanden voor de kust (ruimte, innovatie, export) zijn in deze verkenning buiten beschouwing gelaten.

Ook dijkversterking kunnen we nog heel lang volhouden: uit technisch oogpunt komt op lange termijn geen knikpunt in beeld. Maar er zijn ook andere factoren die het optreden van knikpunten voor dijkversterking bepalen: te weinig ruimte voor dijkversterking, te hoge kosten of teveel aantasting van het landschap. Knikpunten zullen het eerst worden bereikt waar al deze factoren samenkomen en waar de ondergrond slap is en gevoelig is voor bodemdaling; dit is onder andere het geval in de regio Rotterdam-Gouda.

De knippunten voor de bovenrivieren zijn de momenten waarop de afvoeren die met een kans van 1/1250 per jaar optreden de afvoeren overschrijden waar de dijken op zijn ontworpen. Voor de Rijn en Maas worden knippunten bereikt zodra de 1/1250 afvoeren hoger zijn dan respectievelijk 16.000 m³/s en 3800 m³/s (4200 m³/s na voltooiing Maaswerken). Dan zijn aanvullende maatregelen nodig. Er zijn al lange termijn maatregelen voorzien voor hogere maatgevende afvoeren van Rijn en Maas van respectievelijk 18.000 m³/s en 4600 m³/s. Overschrijding van deze afvoeren berekent ook weer een knippunt. Voor de Rijn zou een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s op zijn vroegst tussen 2040 en 2045 bereikt kunnen worden. Voor de Maas worden knippunten met kritische waarden voor maatgevende afvoeren op zijn vroegst in 2050 (4200 m³/s) en 2100 (4600 m³/s) bereikt.

In het benedenrivierengebied biedt verdere rivierverruiming geen soelaas voor het handhaven (of verhogen) van het huidige beschermingsniveau als het klimaat verandert. De lange termijn maatregelen van de PKB kunnen de maatgevende hoogwaterstand in het benedenrivierengebied hooguit 10 cm reduceren. Al met al lijkt een zeespiegelstijging van 50 cm een knippunt te zijn: dit moment wordt, uitgaande van de KNMI-scenario's, op zijn vroegst in 2050 en op zijn laatst omstreeks 2170 bereikt. Bij het bereiken van het knippunt valt aan dijkversterkingen waarschijnlijk niet te ontkomen. Ook zal het openhouden van de Nieuwe Waterweg met een stormvloedkering na 2040, maar vóór 2100 problematisch worden.

Voor het IJsselmeer wordt een knippunt bereikt als de zeespiegel zo hoog is gestegen dat de huidige streefpeilen voor het IJsselmeer nauwelijks meer door lozing via vrij verval kunnen worden gehandhaafd, ook niet als de bestaande sluizencomplexen in de Afsluitdijk worden uitgebreid. Dit knippunt wordt in ieder geval niet in de eerste helft van deze eeuw bereikt.

Het huidige natuurbeleid is gericht op de handhaving van de huidige soorten. De kans is groot dat de verandering van de randvoorwaarden door klimaatverandering er toe leidt dat beleidsdoelen niet gehaald worden en dus een knippunt wordt bereikt.

Voor het IJsselmeer en Markermeer is het peilbeheer de meest kritische factor voor de natuur: een knippunt wordt bereikt als peilstijging in het voorjaar en de zomer leidt tot het verdrinken van ondiepe habitats. Wat de concentratie algen betreft, is al een knippunt bereikt en worden de natuurdoelen niet gehaald. Knippunten voor de waterkwaliteit zijn een afname van het slibgehalte met 25 tot 50% (positief), en een watertemperatuur van 20 - 26°C (negatief).

Voor de kust wordt een knippunt bereikt als platen, slikken en schorren (kwelders) niet langer met de zeespiegelstijging kunnen meegroeien en verdrinken. Dit knippunt wordt voor platen bij 3-10 mm zeespiegelstijging per jaar bereikt en bij schorren/kwelders 'pas' bij 10-13 mm zeespiegelstijging per jaar. De zeespiegelstijging volgens de huidige KNMI-scenario's (30-85 cm deze eeuw) is kritisch: bij een nog snellere stijging wordt voor de platen, slikken en schorren/kwelders zeker een knippunt bereikt.

In West-Nederland neemt in de loop van deze eeuw de verzilting toe als gevolg van meer zoute kwel, een toename van het zoutgehalte van de benedenrivieren en een toename van het aantal en de duur van droge zomers. Daardoor lijkt de zoetwatervoorziening, bij de huidige normering voor het toelaatbaar zoutgehalte, in 2050 bij een aantal inlaatpunten in gevaar te komen.

De levensduur van leidingen is kort in verhouding tot de snelheid waarmee de opwaartse druk van het grondwater, door een stijgende zeespiegel en hogere waterstanden op rivieren en meren, toe kan nemen: als aanpassingen aan de leidingen nodig zijn, wordt dit bijtijds bij vervanging van de leidingen doorgevoerd. Constructies als parkeergarages en tunnelwanden hebben voldoende marge om extra opwaartse druk te kunnen weerstaan. Constructies met paalfunderingen kunnen in de problemen komen bij een toename van de stijghoogte van 1 m per 50 jaar maar een dergelijke snelle stijging wordt in geen van de huidige klimaatscenario's voorzien.

Op welk moment een knikpunt in het waterbeheer en –beleid wordt bereikt, hangt niet alleen af van technische, natuur- of klimaatfactoren. Ook sociaal-economische en maatschappelijke aspecten spelen een rol. De sociaal-economische aspecten komen naar voren bij de afweging van kosten tegen baten: wat mag meer veiligheid kosten ten opzichte van de te beschermen belangen. Dat blijkt in de praktijk geen simpel rekensommetje. De afweging stelt bestuurders voor de keus tussen investeren voor een lange termijn belang of het geld uitgeven aan maatschappelijke vraagstukken die de burgers (de kiezers) nu raken. Daarnaast kijken burgers niet op dezelfde manier tegen risico's aan: hun perceptie verschilt en daar moet de overheid rekening mee houden in haar communicatie met de burgers. Maatschappelijk draagvlak voor grote beslissingen is essentieel voor een goed resultaat. Dat draagvlak wordt gemakkelijker gerealiseerd als andere gebiedsbelangen met die grote beslissingen kunnen meeliften.

Uit de analyses van de gevolgen van klimaatverandering en de mogelijkheden voor verdergaande kustverdediging en riviermaatregelen blijkt op dit moment geen reden om het economisch hart van Nederland op korte of middellange termijn buiten de Randstad te zoeken. Zelfs voor de lange termijn en een hoog tempo van klimaatverandering hebben alternatieve maatregelen voor de bescherming van de Randstad de voorkeur boven alternatieve ruimtelijke ontwikkelscenario's zoals terugtrekking naar hoger gelegen gronden.

Inhoud

1	Inleiding.....	1
1.1	Robuust waterbeheer bij een veranderend klimaat.....	1
1.2	Werkwijze.....	1
1.3	Doel van het project.....	2
1.4	Doel van deze fase	2
1.5	Het begrip knikpunt.....	2
1.6	Opzet van dit rapport	3
2	Welk waterbeheer en -beleid voor welke toekomst.....	5
2.1	Beleidscontext	5
2.2	Welke toekomst, wat komt er op ons af	6
3	Knippunten in het waterbeheer en hun context.....	9
3.1	Hoe komen knippunten tot stand	9
3.2	Aanpak om knippunten te vinden	11
3.3	Vastgestelde knippunten	12
3.3.1	Bescherming tegen overstromen.....	12
3.3.2	Watervoorziening	13
3.3.3	Natuur.....	13
3.4	Gebiedsgerichte integratie.....	14
4	Bescherming tegen overstromen.....	15
4.1	Wet op de waterkering als basis voor het beleid.....	15
4.2	Ontwikkelingen in het beheer en beleid	16
4.3	Wat komt er op ons af.....	18
4.3.1	Zeespiegelstijging.....	19
4.3.2	Hoge rivierafvoeren voor de Rijn	20
4.3.3	Hoge rivierafvoeren voor de Maas.....	21
4.4	Primaire waterkeringen, dijken	22
4.4.1	Beleid.....	22
4.4.2	Knippunten voor dijken en keringen.....	22
4.4.3	Fysieke factoren	22
4.4.4	Studiegebied, aanpak en gebruikte randvoorwaarden	23
4.4.5	Resultaten	24
4.4.6	Conclusies.....	25
4.5	Kustbescherming tegen overstromen met zandsuppleties	25
4.5.1	Wat komt er op ons af?	25
4.5.2	Beleid.....	26
4.5.3	Knippunten	28
4.5.4	Uitwerking.....	28

4.5.5	Conclusies.....	30
4.6	Bovenrivieren gebied.....	30
4.6.1	Beleid	30
4.6.2	Knikpunten	31
4.6.3	Uitwerking	31
4.6.4	Resultaten	32
4.6.5	Waterhoogtes langs de bovenrivieren indien Duitsland zich volledig beschermt	33
4.6.6	Conclusies.....	34
4.7	Benedenrivierengebied (Rijn-Maasmonding).....	35
4.7.1	Beleid en beheer	35
4.7.2	Knikpunten	35
4.7.3	Uitwerking	36
4.7.4	Effect van rivierverruimende maatregelen.....	38
4.7.5	Resultaten voor toetspeilen	38
4.7.6	Knikpunt in de tijd.....	42
4.7.7	Sluitfrequentie en doorwerking Maeslantkering	42
4.8	IJsselmeergebied	44
4.8.1	Wat komt er op ons af.....	44
4.8.2	Beheer en beleid.....	45
4.8.3	Knikpunten	45
4.8.4	Uitwerking	46
4.8.5	Resultaten	47
4.8.6	IJsseldelta	48
4.8.7	Conclusie	49
4.9	Bescherming tegen overstromen in de Zeeuwse delta.....	49
4.9.1	Knikpunten	49
4.9.2	Uitwerking	50
4.9.3	Resultaten en conclusies	51
5	Natuur.....	53
5.1	Beleid en beleidsdoel	53
5.2	Wat komt er op ons af?	55
5.3	Knikpunten.....	55
5.4	IJsselmeer en Markermeer.....	56
5.4.1	Natuurbeleid en indicatorsoorten.....	56
5.4.2	Fysische randvoorwaarden.....	57
5.4.3	Uitwerking naar habitats	57
5.4.4	Uitwerking ten aanzien van algenbloei en helderheid van het water	60
5.4.5	Uitwerking naar indicatorsoorten: Driehoeksmosselen	63
5.4.6	Uitwerking naar indicatorsoorten: Vissen – Spiering.....	64
5.4.7	Uitwerking naar indicatorsoorten: Waterplanten-Kranswieren	65
5.4.8	Effecten op de vogelstand	65
5.4.9	Conclusies voor IJssel- en Markermeer	65
5.5	Kust.....	66

5.5.1	Natuurbeleid	66
5.5.2	Fysische randvoorwaarden	67
5.5.3	Effecten van klimaatverandering	67
5.5.4	Knikpunten	68
5.5.5	Uitwerking	69
6	Watervoorziening	71
6.1	Onderzochte gebied ten aanzien van de watervoorziening	71
6.2	Concreet beheer en beleid ten aanzien van de watervoorziening	71
6.3	Wat komt er op ons af	72
6.3.1	Neerslagoverschot in Nederland	72
6.3.2	Gemiddelde rivierafvoeren voor het zichtjaar 2100	73
6.3.3	Lage rivierafvoeren voor de Rijn en Maas	74
6.3.4	Waterbalans van Nederland	75
6.3.5	Bodemdaling	75
6.4	Knikpunten	76
6.4.1	Oppervlaktewater	76
6.4.2	Grondwater	78
6.4.3	Landbouw	78
6.5	Conclusies	79
7	Waterbeheer en infrastructuur	81
7.1	Fysische randvoorwaarden	81
7.2	Constructies en infrastructuur	82
7.3	Knikpunten	82
7.3.1	Leidingen	82
7.3.2	Constructies	82
7.4	Opbarsting	83
7.5	Conclusie	83
8	Overwegingen ten aanzien van sociaal-economische en maatschappelijke knikpunten	85
8.1	Economische aspecten knikpunten klimaatverandering	85
8.1.1	Investeringskosten en overstromingen	86
8.1.2	Economisch knikpunt: financiering van substantiële beleidsintensiveringen	88
8.2	Bestuur en Beleid	89
8.2.1	Bestuur en agendavorming	89
8.2.2	Bestuurlijke determinanten voor knikpunten klimaatadaptatie	90
8.3	Ruimtelijke ordening en inrichting	92
8.3.1	Ruimteclaims	92
8.3.2	Ruimtelijke gebiedskenmerken	93
8.3.3	Aansluiting bij ontwikkelingen in de Ruimtelijke Ordening	95
8.3.4	Ruimtelijk-economische vestigingspatronen	95
8.4	Maatschappelijke acceptatie	96
8.4.1	Risicoperceptie	96

8.4.2	Communicatie	98
8.4.3	Gebiedsbelangen	99
8.4.4	Toetsing draagvlak voor maatregelen	100
8.5	Conclusies en aanbevelingen	100
9	Conclusies en aanbevelingen	103
10	Referenties.....	105

1 Inleiding

1.1 Robuust waterbeheer bij een veranderend klimaat

Goed waterbeheer is nodig om in Nederland veilig te kunnen wonen, werken en recreëren, met voldoende zoet water van goede kwaliteit en ruimte voor de natuur. De invulling van dit beheer hangt af van de fysische eigenschappen van het land, het water (rivieren, zee en meren) en het klimaat; deze fysische eigenschappen bepalen, via hydrologische randvoorwaarden, de strategieën voor het waterbeheer. Als deze eigenschappen, en daarmee de hydrologische randvoorwaarden, veranderen, zal het beheer moeten worden aangepast. Naar verwachting zal aanpassing nodig zijn omdat in de komende decennia het klimaat wereldwijd zal veranderen met een omvang en snelheid die historisch ongekend is.

Aangepaste (alternatieve) strategieën werden tot nu toe ontworpen door eerst een of meerdere mogelijke klimaatscenario's te ontwikkelen en de gevolgen daarvan te analyseren. Volgens deze aanpak leiden nieuwe inzichten over (de gevolgen van) klimaatverandering tot andere hydrologische randvoorwaarden en dus andere uitgangspunten voor het waterbeheer. Dat maakt het lastig het waterbeheer robuust te ontwerpen; de omvang, snelheid en zelfs de richting van de klimaatverandering zijn immers omgeven met onzekerheden.

Het nadeel dat het waterbeheer afhankelijk is van de veranderende inzichten over (de gevolgen van) klimaatverandering, kan worden vermeden door bij het ontwerpen van strategieën voor waterbeheer niet het veranderende klimaat maar de robuustheid van onze watersystemen als uitgangspunt te kiezen. Eerst kijken welke veranderingen we in het beheer van onze rivieren, meren en de kustzone aan kunnen, en daarna pas kijken welke veranderingen er op ons af (kunnen) komen. Deze andere aanpak stond centraal in het project waarvan de resultaten in dit rapport zijn beschreven.

1.2 Werkwijze

Aan de basis van deze studie stond het uitgangspunt dat niet de klimaatverandering op zichzelf belangrijk is maar de grootte van de verandering die het noodzakelijk maakt over te gaan op andere strategieën voor het waterbeheer. De klimaatscenario's komen pas in tweede instantie in beeld, voor de bepaling van de termijn waarop een alternatieve strategie noodzakelijk zou zijn. Deze aanpak kan worden gezien als een gevoeligheidsanalyse van ons waterbeheersysteem en een nuttige voorbereiding op een robuust ontwerp van dat systeem.

In het meest extreme geval zou deze aanpak het antwoord moeten leveren op de vraag:

“Hoe erg moet het worden voordat de gevolgen van klimaatverandering voor het waterbeheer zodanig worden dat deze niet meer binnen de Rijn-Maasdelta opgelost kunnen worden”.

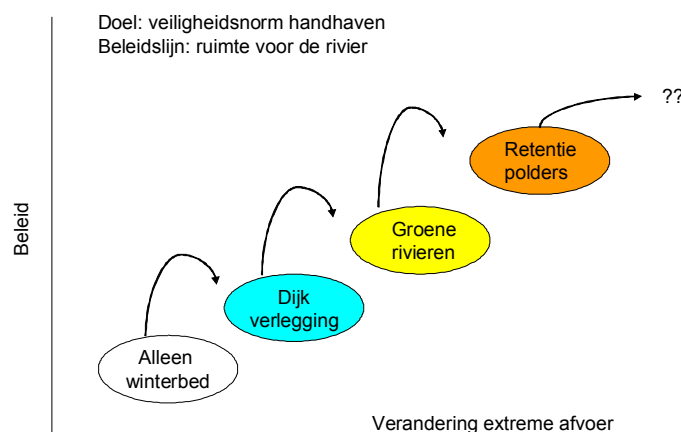
Tussen de huidige situatie en deze uiterste omstandigheden zit een traject waarin het waterbeheer volgens een aantal verschillende strategieën kan worden vormgegeven, op basis van verschillende fysische randvoorwaarden. Verandering van de randvoorwaarden binnen dit traject kan er toe leiden dat een strategie niet meer efficiënt kan worden toegepast en overgegaan moet worden op een alternatieve strategie. Er is dan sprake van een knikpunt in het waterbeheer.

1.3 Doel van het project

Dit project heeft als doel in kaart te brengen wanneer fysieke grenzen worden overschreden die het noodzakelijk maken over te stappen op een andere strategie voor het waterbeleid en het waterbeheer van het hoofdwatersysteem. Deze grenzen zijn knikpunten voor het waterbeleid en -beheer. Door deze knikpunten te verkennen, wordt duidelijk hoe klimaatbestendig Nederland Waterland is.

Bij het omgaan met (de gevolgen van) klimaatverandering zijn beleidsmakers en waterbeheerders afhankelijk van de laatste stand van zaken van de kennis over klimaatverandering. Dankzij de resultaten van dit project wordt die afhankelijkheid een stuk minder. Beleidsmakers en waterbeheerders kunnen gemakkelijker anticiperen op de nieuwste inzichten over klimaatverandering door eventuele aanpassingen in het beleid en beheer eerder of later uit te voeren, als blijkt dat de klimaatverandering sneller of langzamer verloopt.

Figuur 1.1 illustreert deze redeneerlijn aan de hand van de Beleidslijn Ruimte voor de Rivier.



Figuur 1.1 Opeenvolgende maatregelen uit de Beleidslijn Ruimte voor de Rivier

1.4 Doel van deze fase

Deze nota is de rapportage van fase 1 van het project. Het doel van fase 1 is om de grenzen van het huidige beheer en beleid in beeld te brengen en antwoord te geven op de vraag hoeveel de fysieke randvoorwaarden zouden moeten veranderen voordat het huidige waterbeheer en -beleid niet meer naar behoren functioneert. Dit is in kaart gebracht voor een drietal thema's: bescherming tegen overstromen (voor het kustgebied, de boven- en benedenrivieren en het IJsselmeer), watervoorziening (in West-Nederland) en natuur (in het kustgebied en in het IJsselmeer).

1.5 Het begrip knikpunt

Met de term knikpunten (of omslagpunten) worden de momenten aangegeven waarop de randvoorwaarden zodanig zijn veranderd dat de huidige strategieën niet langer voldoen en op alternatieven moet worden overgeschakeld. Een knikpunt voor het huidige beheer en beleid is in deze studie dus gedefinieerd als **een moment waarop het huidige waterbeheer en -beleid heroverwogen zal (moeten) worden.**

In deze fase 1 worden deze knikpunten verkend. Bij deze heroverweging van het beheer en beleid kan tussen verschillende alternatieven worden gekozen. De beschrijving en eventuele keuze van deze alternatieven komt in fase 2 van dit project aan bod.

1.6 Opzet van dit rapport

In dit document wordt eerst kwalitatief geschetst welke veranderingen op ons afkomen en binnen welke beleidscontext de aanpassingen aan klimaatverandering plaatsvinden. Vervolgens wordt een omschrijving van het begrip knikpunt nader uitgewerkt. In de daaropvolgende hoofdstukken worden per thema en gebied deze knikpunten in beeld gebracht.

2 Welk waterbeheer en -beleid voor welke toekomst

2.1 Beleidscontext

Voor het waterbeheer is tot 2020 de wateropgave in beeld gebracht. De overtuiging dat de beleidsopgave door de (gevolgen van) klimaatverandering zal moeten worden aangepast, maakt het noodzakelijk om verder te kijken dan 2020: tot 2050, 2100 en zelfs na 2100. Momenteel werkt het rijk aan visie en planvorming op de ontwikkeling van Nederland met daarin veel aandacht voor het klimaat (bijvoorbeeld ARK, 2007). Het ministerie van Verkeer & Waterstaat (2007) heeft de ontwikkelingen in het waterbeheer in relatie tot uitvoeringsprogramma's voor de langere termijn op hoofdlijnen in een watervisie beschreven.

Belangrijke doelstellingen in de watervisie van V&W zijn: het klimaatbestendiger maken van het waterbeheer, het zorgen voor meer samenhang in het waterbeleid en tussen het waterbeleid en andere beleidsterreinen, en het bevorderen van een duurzaam ruimtegebruik. In deze watervisie wordt gesteld dat een klimaatbestendig waterbeheer beoogt dat we ook voor de lange termijn veilig in Nederland kunnen blijven wonen, werken, recreëren. Het gaat daarbij niet alleen om de handhaving van de huidige kwaliteit van wonen, werken en recreëren, maar ook om het creëren van mogelijkheden voor economische ontwikkeling en verbetering van het leefklimaat.

De watervisie wordt concreet uitgewerkt in het nationale waterplan dat in 2009 verschijnt. Dit nationale waterplan is de opvolger van de 4e nota waterhuishouding en zal het landelijke beleidskader voor het waterbeheer zijn met daarin:

- een streefbeeld voor de zeer lange termijn. Voor de thema's (kust)veiligheid en ruimtelijke kwaliteit heeft de Deltacommissie een doorkijk gegeven naar oplossingsrichtingen voor de langere termijn (tot voorbij 2100);
- een structuurvisie, als genoemd in de nieuwe Wet Ruimtelijke Ordening (WRO), waarin de doorwerking van water op de ruimtelijke inrichting is verwerkt. Hiervoor wordt met de andere ministeries samengewerkt in het programma ARK;
- een uitvoeringsagenda voor de landelijke delen van de stroomgebiedbeheersplannen en het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW), voor de zesjarige werkingstermijn van het plan tot 2015.

Deze studie, 'De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland', past in de ontwikkeling van robuuste strategieën voor Nederland omdat het een overzicht geeft van mogelijke adaptatiestrategieën inclusief de randvoorwaarden waarbinnen deze strategieën effectief zijn. De laatste inzichten over klimaatverandering, verwerkt in de KNMI scenario's uit 2006, zijn gebruikt. Gekozen is voor de maatschappelijke thema's:

- Veiligheid, vertaald naar bescherming tegen overstromen;
- economisch ruimtegebruik, waarbij voor het waterbeheer de belangrijke randvoorwaarden de watervoorziening en het peilbeheer zijn; en
- natuur en cultuurwaarden, waarbij in dit geval alleen natuur is beschouwd en waterpeil, waterkwaliteit en het areaal natte natuurgebied randvoorwaarden zijn.

Deze thema's worden ook gehanteerd in toekomstverkenningen voor het ruimtegebruik in Nederland, zoals de Tweede Duurzaamheidsverkenning Nederland Later (MNP, 2007).

Sinds het uitkomen van de vierde Nota waterhuishouding is het waterbeheer en –beleid versnipperd geraakt, met onder andere aparte sporen voor waterkwantiteit (WB21), veiligheid (WV21), waterkwaliteit (KRW) en natuur (Natura200). De effecten van klimaatverandering zijn themaoverstijgend, waarbij ook een sterke beïnvloeding tussen de diverse thema's aanwezig is. Vandaar dat in deze studie vanuit klimaatverandering integraal naar alle thema's wordt gekeken.

2.2 Welke toekomst, wat komt er op ons af

Hieronder zijn de trends geschetst die volgen uit de uitkomsten van de KNMI scenario's (KNMI, 2006). De trends zijn voorzien van een beoordeling van hun waarschijnlijkheid. Hierbij is de volgende indeling gehanteerd:

- 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)

De beoordeling van de waarschijnlijkheid kan worden gekenschetst als *expert judgement*, rekening houdend met de stand van zaken in het onderzoek naar (de gevolgen van) klimaatverandering. Deze wijze van aanduiding is eerder gebruikt, zowel in de internationale klimaatliteratuur (IPCC, 2001, 2006) als in diverse Nederlandse publicaties rondom klimaat (MNP, 2007, Routeplanner, 2006).

De volgende trends zijn geïdentificeerd:

- 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).

Kortom: de KNMI'06 scenario's laten een sterke trend zien naar een grotere variabiliteit in het weer.

Voor het waterbeheer 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 laagwaterperiodes in de Rijn (zeer waarschijnlijk);
- toename van de duur en intensiteit van laagwaterperiodes in de Maas (waarschijnlijk);
- toename van de watertemperatuur in de zomer (zeer waarschijnlijk);
- afname van de ijsgang op de rivieren en het IJsselmeer (zeer waarschijnlijk);

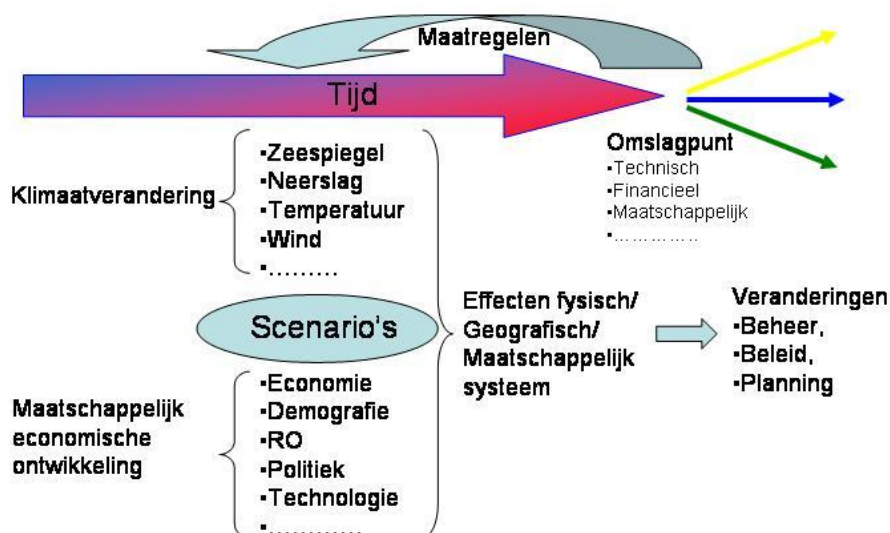
- zouter worden van het hoofdwatersysteem in West Nederland (zeer waarschijnlijk);
- groter worden van de kwel en hogere voorjaarsgrondwaterstanden (zeer waarschijnlijk);
- zouter worden van het kwelwater nabij de kust en in de diepe droogmakerijen (zeer waarschijnlijk);
- toename van de zomerdroogte (verdampingsoverschot) (zeer waarschijnlijk);
- groter worden van de grondwaterdruk (zeer waarschijnlijk);
- hogere waterstanden door stormopzet (fifty/fifty);
- hogere golven op zee (fifty/fifty).

3 Knikpunten in het waterbeheer en hun context

3.1 Hoe komen knikpunten tot stand

Onze leefomgeving wordt beïnvloed door veranderingen in het klimaat in combinatie met maatschappelijke en economische veranderingen. Hierdoor zijn vroeg of laat structurele veranderingen nodig in planning, beheer en beleid opdat onze leefomgeving aantrekkelijk blijft. Mogelijke knikpunten in het huidige waterbeleid en -beheer als gevolg van klimaatverandering worden in dit rapport benoemd. Ook komen hierbij eventuele alternatieve strategieën in beeld.

Het gaat bij het bepalen van knikpunten aan de hand van de klimaatscenario's van het IPCC en/of KNMI niet om de vraag hoe het klimaat er op een bepaald moment in de toekomst (zeg 2050) uit ziet, maar om de vraag of de relevante klimaatfactoren (neerslag, zeespiegel en dergelijke) al kritisch zijn of op welk moment (inclusief bandbreedtes) deze kritisch kunnen worden.



Figuur 3.1 Analyse kader.

De totstandkoming van knikpunten verloopt volgens een aantal stappen (figuur 3.1):

1. De wereld om ons heen verandert door, bijvoorbeeld, klimaatverandering, economische ontwikkeling of bevolkingsgroei.
2. Deze veranderingen beïnvloeden onze leefomgeving (het fysisch, geografisch, maatschappelijk systeem).
3. Deze invloed kan zo groot zijn, dat het huidige waterbeheer en/of –beleid op een bepaald moment niet langer houdbaar is en een omslagpunt bereikt is. Dit kan komen door verschillende oorzaken: technische beperkingen, te hoge kosten, of te weinig maatschappelijk draagvlak voor bepaalde oplossingen.

Als duidelijk is dat een omslagpunt bereikt gaat worden, moet gezocht worden naar alternatieve strategieën. Voorbeelden hiervan zijn het aanleggen van overslagbestendige dijken, het vasthouden van water voor de watervoorziening of het meenemen van overstromingsrisico's in de ruimtelijke planvorming. De realisatie van maatregelen van alternatief beleid, zoals aanpassingen in de ruimtelijke ordening, hebben soms een (zeer) lange voorbereidingstijd. Het is daarom verstandig niet te wachten met het nemen van maatregelen tot een omslagpunt daadwerkelijk bereikt wordt, maar al alternatieve maatregelen in te zetten als duidelijk is dat de huidige strategie op termijn niet houdbaar is.

Knikpunten kunnen maatschappelijke oorzaken hebben of het gevolg zijn van natuurlijke ontwikkelingen. In deze studie onderscheiden we knikpunten met de volgende oorzaken:

Knikpunt type 1: het handhaven van de beheersstrategie loopt tegen fysieke, ruimtelijke en/of technische grenzen aan.

Een (extreem) voorbeeld hiervan is een dermate snelle zeespiegelstijging dat de laaglandrivier overgaat in een getijderivier of estuarium. In een getijderivier voldoet de aanpak van ruimte voor de rivier niet: diepere en bredere uiterwaarden leiden in deze rivieren niet tot lagere waterstanden.

Een ander voorbeeld is de verschuiving van habitats (leefgebieden voor flora en fauna) door klimaatverandering terwijl er te weinig mogelijkheden zijn om die habitats op andere plekken te laten ontstaan. Dit kan komen door ruimtegebrek, te snelle klimaatverandering, of obstakels die het opschuiven van de habitats verhinderen (dijken, kustverdediging of steden). Het areaal aan habitats en het aantal soorten verminderen dan sterk, of verdwijnen zelfs volledig.

Knikpunt type 2: het handhaven van de beheersstrategie wordt onbetaalbaar geacht.

Een voorbeeld is de toename van de kosten van de bescherming tot boven het niveau van de economische waarde van het beschermde gebied. In dat geval ligt het voor de hand om een alternatieve manier van beveiliging te kiezen, dan wel het gebied op te geven voor de huidige gebruiksfuncties.

Knikpunt type 3: het handhaven van de beheersstrategie gaat gepaard met maatschappelijk onacceptabele ingrepen.

Een voorbeeld is het rivierbeheer na de hoogwaters van 1993 en 1995. Het verder verhogen van dijken was eind jaren tachtig in de vorige eeuw maatschappelijk onacceptabel terwijl de hoogwaters van 1993 en 1995 lieten zien dat het risico van overstromen niet te verwaarlozen was. Dit leidde tot de verschuiving van een strategie voor hoogwaterbescherming die alleen gebaseerd was op dijkverzwaring en verhoging naar een strategie van rivierverruiming.

Knikpunt type 4: het handhaven van de beheersstrategie loopt tegen (internationale) organisatorisch-bestuurlijke grenzen aan (dit type knikpunt is hier niet onderzocht).

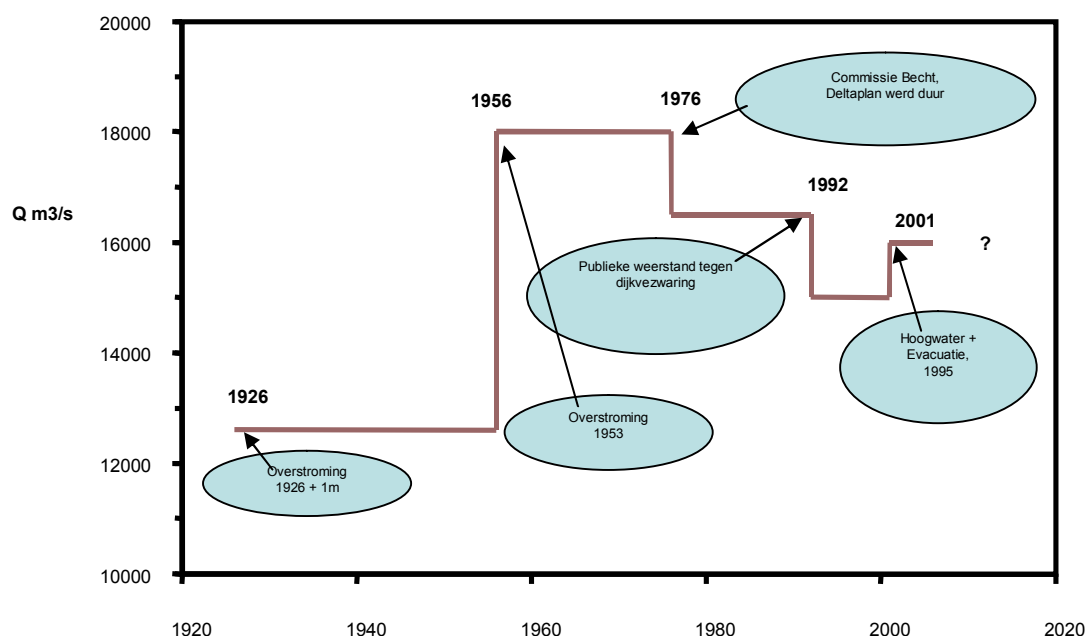
Een voorbeeld hiervan is de verlaging van waterstanden op de Nederlandse bovenrivieren door vooral bovenstrooms van Lobith (in Duitsland) te nemen maatregelen. Zonder lokaal gunstige (neven)effecten zijn deze maatregelen erg moeilijk uit te voeren.

Een enigszins afwijkende oorzaak is:

Knikpunt type 5: een gebeurtenis die tot grote maatschappelijk druk leidt om het bestaande beheer en/of beleid te heroverwegen.

Gebeurtenissen met een maatschappelijke impact zijn vaak aanleiding tot aanpassingen van het beleid. Voorbeelden hiervan zijn de ramp in Zeeland in 1953 (de aanleiding voor de deltawerken) en de hoogwaters van 1993 en 1995 (de aanleiding tot een versnelde uitvoering van de dijkversterking langs de grote rivieren), maar ook het optreden van Al Gore, leidend tot de huidige aandacht voor de gevolgen van klimaatverandering, en de overstroming van New Orleans. Deze laatste veranderde in Nederland ook de risicoperceptie ten aanzien van evacuaties bij overstromingen. Rampen en (bijna)rampen kunnen als katalysator fungeren voor nieuw beleid bij vraagstukken die al eerder onderkend waren maar waarvan de maatschappelijke urgentie vóór de (bijna)ramp te gering was om tot heroverweging van het beleid te komen (Rotmans, 2007).

Figuur 3.2 illustreert, aan de hand van het sprongsgewijze verloop van de maatgevende afvoer van de Boven-Rijn, knikpunten in het beleid als gevolg van de hierboven genoemde oorzaken.



Figuur 3.2 De maatgevende afvoer van de Boven-Rijn bij Lobith, als uitgangspunt voor het ontwerp van de waterkeringen, op verschillende momenten in de tijd (vrij naar: Kwadijk et al., 2001).

3.2 Aanpak om knikpunten te vinden

Fase 1 van het project (dit rapport) richt zich op het hoofdwatersysteem voor de thema's *Beschermen tegen overstromen*, *Watervoorziening (als onderdeel van economische ruimtegebruik)* en *Natuur*. Voor de verkenning van knikpunten zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1 Op basis van beschikbare beleidsdocumenten zijn de huidige beleidsdoelen en de beschikbare strategieën/maatregelen benoemd.
- 2 Op basis van inventarisaties van de huidige stand van zaken van de beleidsthema's is vastgesteld in hoeverre de beleidsdoelen onder de huidige omstandigheden gehaald worden.
- 3 Op basis van expertbijeenkomsten en literatuur is vastgesteld wat voor het beleidsdoel kritische klimaatcondities zijn en onder welke omstandigheden de bestaande strategieën heroverwogen zullen worden.
- 4 Op basis van berekeningen waarbij de klimaatcondities stapsgewijs zijn verhoogd, zijn de grenswaarden horende bij de knikpunten bepaald. Hierbij werden vaak in de eerste plaats de hydrologische en ecologische gevolgen van de KNMI-scenario's voor de zichtjaren 2050 en 2100 gesimuleerd. Vervolgens werd door interpolatie tussen de huidige condities en de verwachte condities, en (waar nodig) door extrapolatie voorbij het jaar 2100 bepaald **bij welke waarden van klimaatcondities** eventuele knikpunten zouden optreden.

Na het vaststellen van de grenswaarden van de knikpunten kon op grond van de huidige KNMI-scenario's worden bepaald **wanneer** die grenswaarden waarschijnlijk zullen worden bereikt, en dus waar de knikpunten in de toekomst liggen.

In sommige gevallen bleken de geïdentificeerde knikpunten niet in de huidige eeuw te worden bereikt. In die gevallen zijn de trends van de KNMI-scenario's geëxtrapoleerd naar de verdere toekomst. Zo kon toch een moment worden vastgesteld waarop beheer en beleid niet langer zullen voldoen. De onzekerheden hierbij zijn echter zeer groot: de vastgestelde knikpunten zijn slechts indicatief.

3.3 Vastgestelde knikpunten

3.3.1 Bescherming tegen overstromen

Ten aanzien van het keren van hoogwater:

- Het moment waarop het klimaat zodanig is veranderd dat dijken en keringen niet meer met de huidige technologisch kennis ontworpen kunnen worden, te duur worden, teveel ruimte gaan innemen of tot een te grote landschappelijke aantasting leiden (**knikpunt type 1 en 3**).
- Het moment waarop de kosten van bescherming groter worden dan de waarde van het beschermde gebied (economisch, maatschappelijk) (**knikpunt type 2 en 3**).

Ten aanzien van de (fysische) randvoorwaarden:

- Het moment waarop de Noordzee te weinig winbaar zand heeft voor de hoeveelheid zandsuppletie die nodig is om de hoogwaterbescherming van de kust op orde te houden (**knikpunt type 1**).
- Het moment waarop de zeespiegel zo hoog is gestegen dat het IJsselmeer, binnen het huidige peilbesluit, niet meer onder vrij verval kan spuien (**knikpunt type 1**).
- Het moment waarop het klimaat zodanig is veranderd dat de uitgevoerde maatregelen van de programma's Maaswerken en Ruimte voor de Rivier onvoldoende ruimte bieden om het geldende beschermingsniveau te kunnen

handhaven. Dit wordt bij de huidige normen en hydraulische randvoorwaarden bereikt bij afvoeren voor de Rijn en de Maas van respectievelijk 18.000 m³/s en 4600 m³/s. Bij overschrijding van deze afvoeren bieden de maatregelen van Maaswerken en Ruimte voor de Rivier en extra ruimtelijke reserveringen (vastgelegd in de streekplannen) onvoldoende soelaas (**knikpunt type 1 en 3**).

Ten aanzien van maatschappelijk druk:

- Het moment waarop grote overstromingen plaatsvinden in naburige gebieden in Duitsland, België of Limburg (**knikpunt type 5**).

3.3.2 Watervoorziening

Het knikpunt voor de watervoorziening is het moment waarop binnen het huidige beheer en beleid functies als scheepvaart, drinkwaterwinning, landbouw en natuur niet langer van voldoende water van voldoende kwaliteit kunnen worden voorzien (**knikpunt type 1**). Het knikpunt is mede bepaald op basis van de resultaten van de Droogtestudie Nederland en op basis van discussies met het Hoogheemraadschap van Rijnland over het moment waarop kritische grenswaarden van het zoutgehalte in het oppervlaktewater zouden worden bereikt voor een aantal sleutelfuncties, te weten:

- 1000 mg/l voor grasland en veeteelt;
- 300 mg/l voor gladiolen en rhododendron en
- 200 mg/l voor drinkwaterbereiding

3.3.3 Natuur

Een knikpunt voor de natuur is het moment waarop klimaatverandering leidt tot een sterke afname van het areaal aan habitats en het aantal soorten terwijl er te weinig mogelijkheden zijn voor het verplaatsen van soorten en om habitats op andere plekken te laten ontstaan. Dit kan komen door ruimtegebrek, te snelle klimaatverandering, of obstakels die het opschuiven van de habitats verhinderen (dijken, kustverdediging of steden).

Het natuurbeleid in Nederland wordt met name bepaald door de Europese richtlijnen, te weten de KaderRichtlijn Water (KRW) en de Vogel- en Habitatrichtlijn. De doelen zijn gericht op behoud, beschermen en verbeteren van kenmerkende en/of zeldzame natuur wat tot uitdrukking wordt gebracht in de aanwezigheid van soorten en habitats. De doelen zijn daarom gekoppeld aan het voorkomen van specifieke soorten en habitats en de mate waarin (variëteit en hoeveelheid). Daarnaast zijn voor de KRW ook doelen ten aanzien van waterkwaliteitsparameters opgesteld.

Dergelijke knikpunten vallen onder het **type 1**, en eventueel **type 2** (wanneer de gewenste fysische toestand niet meer kan worden gehandhaafd vanwege te hoge kosten) of **type 5** (wanneer de maatschappij, de overheid of de EU vindt dat de huidige doelstellingen niet meer acceptabel zijn, bijvoorbeeld als de verdwijning van een soort wordt geaccepteerd als voor het behoud van die soort teveel 'kunst en vliegwerk' moet worden toegepast).

Voor het IJssel- en Markermeer zijn de knippunten voor natuur concreet gemaakt door;

- te onderzoeken bij welke verandering van temperatuur en nutriëntenbelasting de groei van algen sterk wordt beïnvloed en of dit leidt tot sprongsgewijze dan wel geleidelijke veranderingen in de kans op algenbloei en daarmee samenhangend de helderheid van het water;
- te onderzoeken bij welke klimaatveranderingen de indicatorsoorten, zoals kranswieren, driehoeksmosselen en spiering, sterk negatief beïnvloed worden;
- te onderzoeken bij welke peilstijgingen als gevolg van zeespiegelstijging habitats verdwijnen door verdrinking van ondiepe gedeeltes van het IJssel- en Markermeer.

Voor de kust zijn de knippunten voor natuur concreet gemaakt door:

- te onderzoeken in hoeverre onder de huidige omstandigheden de natuurdoelen gehaald worden;
- te onderzoeken bij welke snelheden van zeespiegelstijging slikken en platen zullen gaan verdrinken.

3.4 Gebiedsgerichte integratie

Zoals uit bovenstaande blijkt, zijn in deze studie knippunten beschouwd voor verschillende thema's (waterveiligheid, watervoorziening en natuur) én voor verschillende gebieden, te weten: de kust, het benedenrivierengebied en Laag Nederland, het IJsselmeer en het bovenrivierengebied (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Samenhang tussen watersystemen.

Het waterbeheer in de verschillende gebieden en op verschillende schaalniveaus (landelijk, regionaal, lokaal) is onderling met elkaar verbonden. Een ander waterbeheer in het ene gebied of op het ene schaalniveau, bijvoorbeeld om in te spelen op het bereiken van een knippunt, kan consequenties hebben voor het waterbeheer in andere gebieden en op andere schaalniveaus.

Het benedenrivierengebied is een goed voorbeeld. Een ander beheer van de Maeslantkering, als reactie op de zeespiegelstijging, heeft consequenties voor de waterverdeling in Nederland en kan doorwerken tot aan het splitsingspunt Pannerdensch Kop en het IJsselmeer.

4 Bescherming tegen overstromen

Volgens het KNMI zal de zeespiegel deze eeuw 30-85 cm stijgen. Een nog grotere zeespiegelstijging van enkele meters is slechts een kwestie van tijd. Ook zullen hoge rivierafvoeren vaker voorkomen en zal de hoogte van de maatgevende afvoeren (met een kans van optreden van 1/1250 per jaar) voor Rijn en Maas toenemen. Op termijn zullen in verschillende delen van Nederland knikpunten in het beleid worden bereikt.

Voor de Rijn en Maas zal dat het geval zijn bij overschrijding van maatgevende afvoeren, in eerste instantie bij 16.000 m³/s en 3800 m³/s (4200 m³/s na voltooiing Maaswerken), en later bij 18.000 m³/s en 4600 m³/s. Het knikpunt van 3800 m³/s voor de Maas is eigenlijk al bereikt. De andere knikpunten zullen tussen halverwege deze eeuw en het eind van de volgende eeuw volgen.

In het benedenrivierengebied bepaalt met name de zeespiegelstijging het knikpunt: de kritische stijging van 50 cm zal volgens het KNMI tussen 2050 en 2170 worden bereikt. Voor het IJsselmeer wordt een knikpunt bereikt als de zeespiegel zo ver is gestegen dat de huidige streefpeilen voor het IJsselmeer nauwelijks meer door lozing via vrij verval kunnen worden gehandhaafd, ook niet als de bestaande sluizencomplexen worden uitgebreid. Onder de huidige scenario's wordt verwacht dat de zeespiegel op zijn vroegst omstreeks 2040-2050 35cm gestegen is. Onder een laag zeespiegelstijgingsscenario wordt dit niveau omstreeks 2080 bereikt.. Voor de kustbescherming (suppleties, bescherming Zeeuwse polders) zijn vooralsnog geen knikpunten in beeld.

4.1 Wet op de waterkering als basis voor het beleid

In het beleid voor de bescherming van Nederland tegen (de gevolgen van) overstromen, staat het beperken van de kans op een overstroming centraal. Die kans wordt uitgedrukt als overschrijdingskansen van maatgevende waterstanden voor verschillende dijkringen (zie intermezzo 1). Deze overschrijdingskansen zijn als veiligheidsnormen vastgelegd in de Wet op de waterkering (1996, figuur 4.1). Om de vijf jaar wordt getoetst of de primaire waterkeringen voldoen aan de dan geldende hydraulische randvoorwaarden, horende bij de normen van de verschillende dijkringen. Voldoen de waterkeringen niet aan de randvoorwaarden van de betreffende norm, dan zijn maatregelen noodzakelijk.

Voor de dijkringen in verschillende delen van Nederland gelden verschillende normen: een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar voor de Hollandse kust, van 1/4000 per jaar voor de rest van de kust en de IJsselmeerpolders, van 1/2000 per jaar voor de benedenrivieren, van 1/1250 per jaar voor de bovenrivieren en van 1/250 per jaar voor de kades rond bebouwing langs de onbedijkte Maas.

Uit de laatst uitgevoerde landelijke rapportage van de toetsing van de primaire waterkeringen blijkt het volgende (IVW, 2006):

- 44 % voldoet
- 24 % voldoet niet
- 32 % geen oordeel

In het Hoogwaterbeschermingsprogramma 2007-2011 worden 89 maatregelen genoemd (kosten 420 Meuro) om de waterkeringen te versterken.

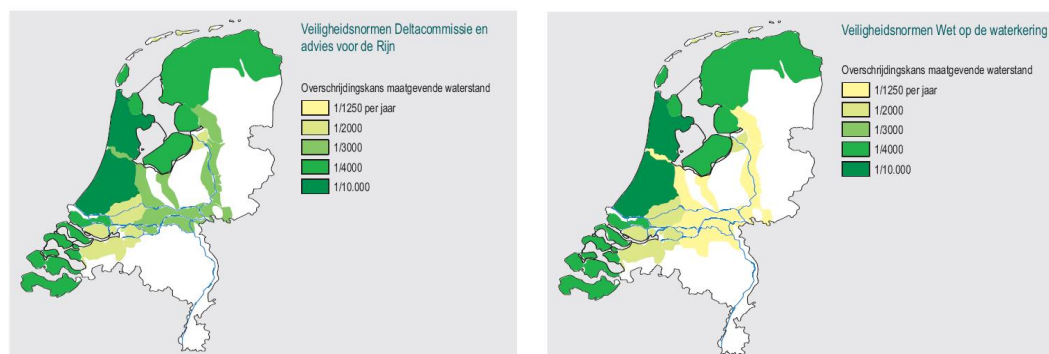


Figure 4.1 Veiligheidsnormen van de Deltacommissie (1960) aangevuld met (op verzoek van de provincie Gelderland) geadviseerde normen voor de bovenrivieren (linker figuur). Rechts: De door de commissie Becht (1977) aangepaste veiligheidsnormen, die ongewijzigd zijn gelaten door de commissie Boertien (1993) (Bron: RIVM, 2004).

4.2 Ontwikkelingen in het beheer en beleid

Er zijn, los van klimaatverandering, drie ontwikkelingen die kunnen gaan leiden tot een aanpassing van het beleid: (1) het besef dat de economische onderbouwing van de normen van de eerste deltagcommissie (1960) aanmerkelijk is veranderd, (2) meer kennis over faalmechanismen van dijken bij lagere dan maatgevende omstandigheden, en (3) het beleidstraject Waterveiligheid in de 21^e eeuw (WV21).

De eerste Deltacommissie (Deltacommissie, 1960) ging al uit van een risicobenadering (kans maal gevolg) bij de afleiding van de adviesnormen voor de waterkeringen. De ruimtelijke variatie van de adviesnormen van destijds weerspiegelde de ruimtelijke variatie van economische belangen (en bevolkingsomvang). Doordat de normen sindsdien niet zijn aangepast op de grote verandering van de economische waarde en het aantal inwoners van het te beschermen gebied, heeft het waterveiligheidsbeleid steeds meer het karakter gekregen van een beleid gebaseerd op kansen in plaats van risico's (RIVM, 2004). Een actualisatie van de onderbouwing van de normen, met mogelijk een aanpassing van de normen zelf, zou meer recht doen aan de veranderde situatie van nu ten opzichte van 1960. Die verandering betreft niet alleen de grootte van het overstromingsrisico maar ook de verschillen tussen de dijkringen onderling. Mogelijk heeft deze ontwikkeling consequenties voor de herziening van de Wet op de waterkering die in de Waterwet zijn beslag krijgt. Deze zal naar verwachting in 2009 in werking zal treden.

Meer kennis over faalmechanismen van dijken bij lagere dan maatgevende omstandigheden komt beschikbaar in de studie 'Veiligheid van Nederland in Kaart' (ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2005). Als deze faalmechanismen worden meegenomen in de berekeningen, leidt dit tot een aanmerkelijk grotere kans op overstroming en daarmee tot een groter overstromingsrisico dan de situatie waarbij de dijken alleen overstromen bij hoger dan maatgevende omstandigheden. De VNK studie wordt nog voortgezet om een landsdekkend beeld te verkrijgen.

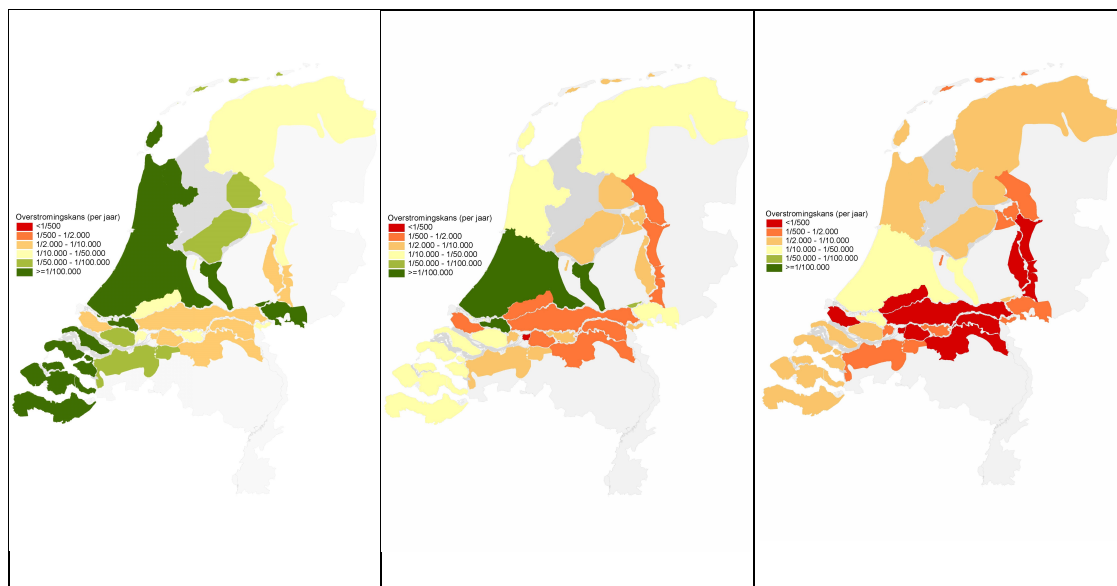
Het doel van Waterveiligheid in de 21^e eeuw (WV21) is om vanuit waterveiligheid aan te geven wat voor beleid nodig is voor de middellange termijn. Hierbij wordt breder gekeken dan alleen preventie (het bouwen van waterkeringen): ook de invulling van beleidsopties op het gebied van pro-actie, en preparatie, respons en nazorg komt aan bod. De ruimtelijke doorwerking (pro-actie) zal worden verankerd in het Nationale Waterplan.

Intermezzo 1: de definitie van de kans op een overstroming

De overschrijdingskansen van maatgevende waterstanden geeft niet de werkelijke kans op een overstroming weer. Drie begrippen zijn van belang (naar Klijn *et al.*, 2007):

- **Overschrijdingskansen** is de kans per jaar dat een combinatie van waterstand en golfhoogte (en periode) op een bepaalde plaats wordt overschreden.
- **Faalkans** wordt gebruikt voor de bestaande waterkeringen en geeft aan wat de kans is dat ze falen, dat wil zeggen dat ze niet doen waarvoor ze ontworpen zijn. Dit hoeft overigens niet tot onbeheersbare omstandigheden te leiden.
- **Overstromingskansen** is de kans per jaar op een overstroming met forse consequenties, een onbeheersbare overstroming.

In verschillende projecten zijn schattingen gedaan om te komen tot een overstromingskansen (TAW, 2000; Kok *et al.* 2003; Klijn *et al.* 2004). Alleen de laatste heeft een beeld voor alle dijkkringen opgeleverd. Dit is de reden dat deze uitkomsten ook ten behoeve van de 2^e duurzaamheidsverkenning is gebruikt (MNP, 2007; Klijn *et al.*, 2007). Figuur 4.2 geeft een lage, een centrale en een hoge schatting voor de overstromingskansen in de verschillende dijkkringen.

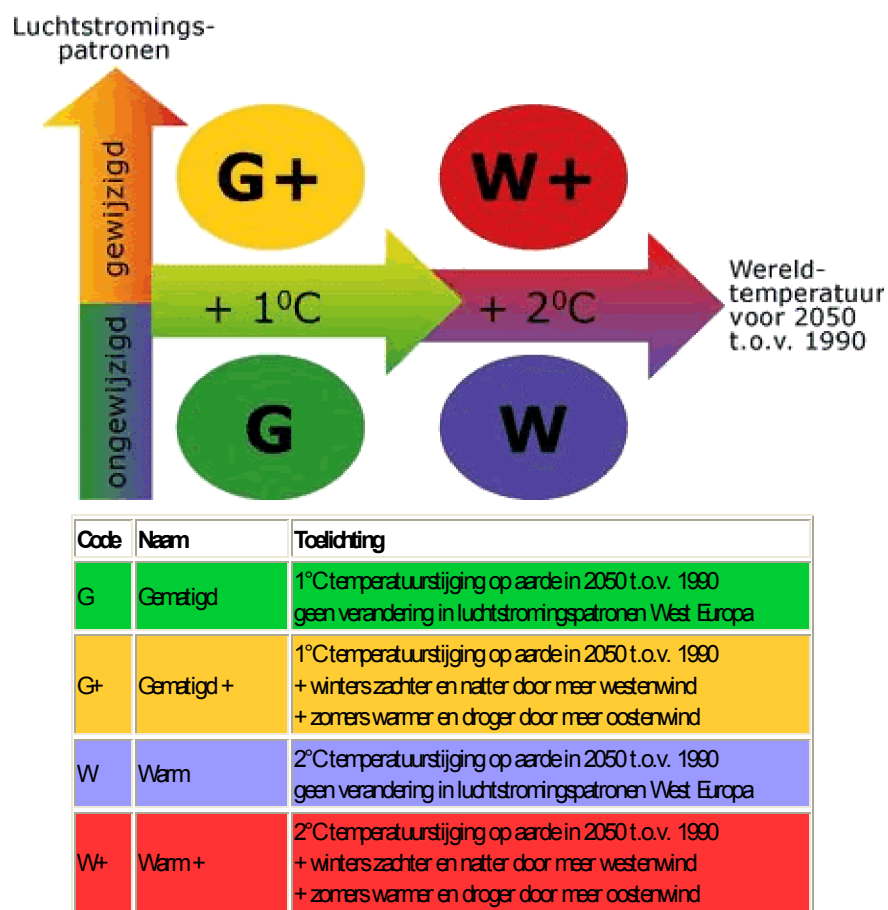


Figuur 4.2 Overstromingskansen per dijkkring (Bron: RIVM, 2004).

4.3 Wat komt er op ons af

Deze studie naar de klimaatbestendigheid van Nederland richt zich op de lange termijn: die termijn is gesteld op 2100. De grootschalige hydrologische effecten voor de Nederlandse waterhuishouding in 2100 zijn geschat op basis van de klimaatscenario's voor Nederland van het KNMI (KNMI, 2006: figuur 4.3). Deze scenario's zijn op hun beurt gebaseerd op de simulaties van globale klimaatmodellen (Atmospheric Ocean General Circulation Models, AOGCM's). De hydrologische effecten betreffen de verwachte veranderingen in de gemiddelde (maand)afvoeren en de extreem hoge en lage afvoeren van de Rijn en Maas, het effect op de Nederlandse waterbalans, en de seizoensvraag en aanbod van water.

De in deze studie gehanteerde schattingen van mogelijke extreme zeespiegelstijgingen op de langere termijn (figuur 4.4) zijn niet alleen gebaseerd op de KNMI-scenario's: voor de maximaal denkbare zeespiegelstijging zijn deze ontleend aan de scenario's uit de studie Nederland Later (MNP, 2007). De resultaten (voor 2100) moeten als indicatief worden beschouwd. Naarmate de schattingen verder in de toekomst liggen, zijn de mogelijke veranderingen niet alleen groter maar ook onzekerder.



Figuur 4.3

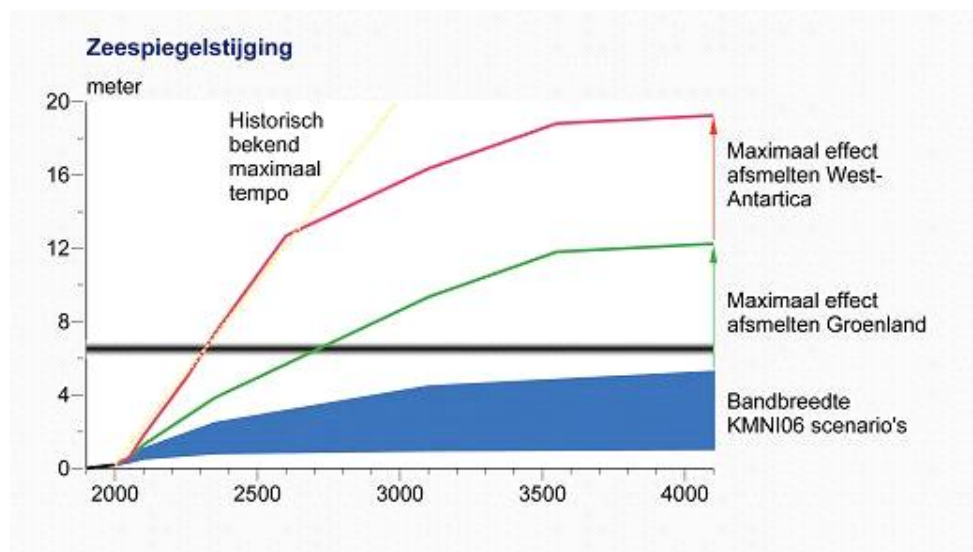
De vier klimaatscenario's van het KNMI voor 2050 en 2100 (Bron: KNMI, 2006. *Klimaat in de 21^e eeuw. Vier scenario's voor Nederland*).

4.3.1 Zeespiegelstijging

In de afgelopen eeuw is de zeespiegel bijna 20 cm gestegen ten opzichte van NAP. Het KNMI gaat in haar scenario's uit van een verdere stijging van de zeespiegel van 30-85 cm aan het einde van deze eeuw. Ook als de uitstoot van broeikasgassen beperkt blijft (IPCC, 2001), zal de zeespiegel op de lange termijn (honderden jaren) door blijven stijgen, als gevolg van de opwarming van de oceanen en het (deels) smelten van de ijskappen van Groenland en (op de zeer lange termijn) West-Antarctica.

Volgens modelsimulaties zal de temperatuurstijging van de oceanen de zeespiegel maximaal 2 m doen stijgen als de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer beperkt blijft tot 2x de pre-industriële waarde, en 4 m als de concentratie oploopt tot 4x de pre-industriële waarde. Het maximum van de zeespiegelstijging wordt bereikt na zo'n 2000 jaar, waarbij in de eerste 500 jaar al de helft van dit maximum wordt bereikt (1-2 m). Het effect van het (deels) smelten van de ijskappen van Groenland en (op de zeer lange termijn) West-Antarctica moet hier nog bij worden opgeteld.

Figuur 4.4 laat zowel de meest waarschijnlijke ontwikkelingen tot het jaar 4000 zien (volgens de KNMI-scenario's) als de denkbare ontwikkelingen daar bovenop tot het jaar 4000, als wordt aangenomen dat Groenland veel sneller afsmelt dan tot nu toe wordt gedacht en de ijsplaat van West-Antarctica uiteen begint te vallen. Het is zeer onwaarschijnlijk dat we op de korte termijn (100 jaar) met een dergelijke zeespiegelstijging te maken zullen krijgen.



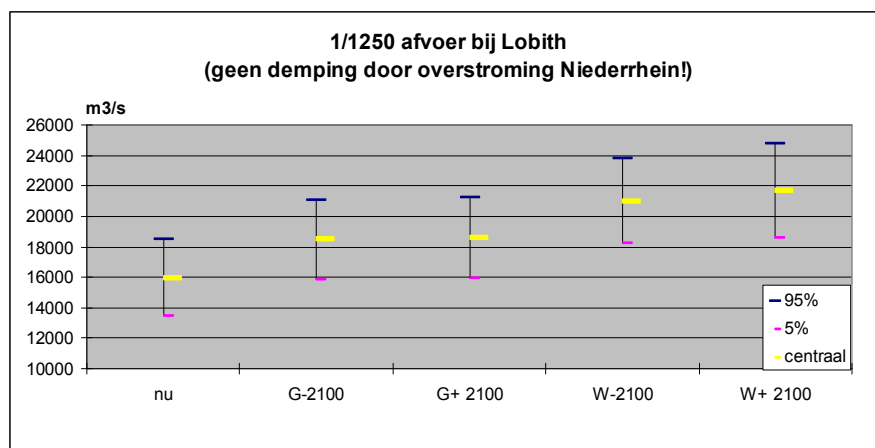
Figuur 4.4 Schattingen voor de zeespiegelstijging.

Op de lange termijn (100-300 jaar) is een snelle stijging van de zeespiegel alleen te voorkomen door een ongekende beperking van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Een grote zeespiegelstijging is slechts een kwestie van tijd (zie ook MNP, 2007) maar hoe groot deze op lange termijn zou kunnen zijn, staat volop ter discussie. Zo zou de maximale zeespiegelstijging door de afsmelting van de Groenlandse Ijskap volgens onlangs gepubliceerde studies in ons deel van de wereld beperkt blijven tot 2 m; de schatting van de maximaal denkbare stijging ooit zou dan 2 m lager zijn Katzman et al (2008, in press). Voor de schatting van de maximaal denkbare zeespiegelstijging in 2100 heeft dit echter weinig gevolgen.

4.3.2 Hoge rivierafvoeren voor de Rijn

Volgens alle KNMI-scenario's zullen de winterafvoeren toenemen. Dit betekent ook dat de extreem hoge afvoeren zullen toenemen. Een afvoer van omstreeks $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$, zoals in 1926, 1993 en 1995 is voorgekomen, komt nu ongeveer eens in de 30 jaar voor. Volgens de KNMI-scenario's zal dit eens in de 7 jaar (W scenario) tot eens in de 13 jaar (G scenario) worden. Figuur 4.5 geeft voor de verschillende scenario's de bandbreedte voor de theoretische afvoer met een herhalingsstijd van 1250 jaar (maatgevende afvoer voor de bovenrivieren: zie intermezzo 2) weer. De cijfers in de figuur zijn niet direct vergelijkbaar met de cijfers zoals die in het randvoorwaardenboek 2006 zijn gepubliceerd omdat in het randvoorwaardenboek een weging is gemaakt tussen de uitkomsten van meerdere extreme waardeverdelingen en in deze studie alleen gebruik is gemaakt van een enkele extreme waarde verdeling (Gumble). In de praktijk zullen de verschillen echter gering zijn. De hoge en lage schatting geven de 95% onzekerheidsband. Al zegt deze bandbreedte weinig over de fysieke bandbreedte van mogelijke afvoeren, wel kan worden vastgesteld dat een afvoer van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ volgens alle scenario's omstreeks 2100 (ruim) zal zijn overschreden.

De huidige afvoercapaciteit van de Rijn bovenstrooms van Lobith is onvoldoende om afvoergolven van meer dan $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te verwerken. Daarom zullen op het traject tussen Bonn en Lobith bij deze (1/1250) afvoeren overstromingen optreden. Hoe groter de afvoergolf op de Niederrhein, hoe groter de dempende werking van deze overstromingen. Dit betekent dat de werkelijke hoeveelheid water die Lobith zal bereiken aanmerkelijk kleiner zal zijn dan de hier gepresenteerde waarden.



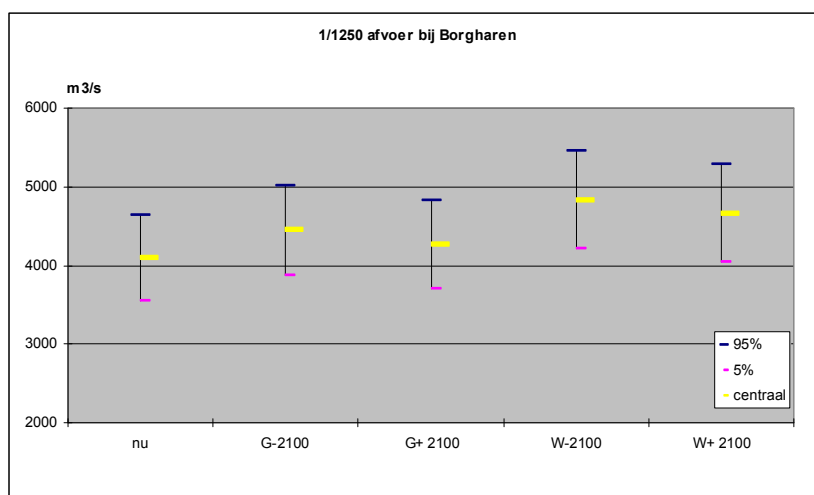
Figuur 4.5 Geschatte Rijnaafvoeren bij Lobith in 2100 met een kans van voorkomen van 1/1250 per jaar voor diverse KNMI scenario's en onder de aanname dat al het water van de Niederrhein Lobith bereikt (geen overstromingen in Duitsland).

Intermezzo 2: maatgevende rivierafvoeren

De maatgevende afvoeren langs de rivierdijken worden bepaald op basis van een statistische analyse van de gemeten afvoerreeks sinds het begin van de metingen. Voor de Rijn is deze analyse bij de meest recente vaststelling van de maatgevende afvoer uitgevoerd op de gemeten afvoeren van de jaren 1901 t/m 2003. Elke vijf jaar wordt deze reeks verlengd. Een groot deel van deze reeks bestaat uit jaren waarin de verwachte klimaatverandering door het broeikaseffect nog niet is opgetreden; daarmee is deze reeks feitelijk niet representatief voor de actuele omstandigheden. Simpele rekenvoorbeelden laten zien dat dit effect in de reeks zeer moeilijk te herkennen is. Trends kunnen gemakkelijk over het hoofd worden gezien waardoor de berekende maatgevende afvoer lager is dan de afvoer die nu met eens kans van 1/1250 per jaar optreedt. Als het klimaat verandert en waterbeheerders alleen naar de hydrologische series kijken, is de kans groot dat veranderingen te laat worden gesignaleerd; in het verleden behaalde resultaten zijn geen garantie voor de toekomst. Als we klimaatverandering serieus nemen, moeten in het waterbeheer minimaal aanvullende analyses worden gedaan en moet met de resultaten hiervan bij het ontwerpen van maatregelen rekening worden gehouden.

4.3.3 Hoge rivierafvoeren voor de Maas

Net als voor de Rijn worden ook de winterafvoeren van de Maas volgens alle scenario's groter (figuur 4.6). Ook de extreem hoge afvoeren van de Maas zullen toenemen. De herhalingsjijd van een afvoer van omstreeks 3000 m³/s, zoals in 1993 en 1995, zal onder het W scenario ongeveer eens in de 30 jaar voorkomen en onder het G+ scenario eens in de 70 jaar. Voor de huidige omstandigheden is dit eens in de 85 jaar. Voor de Maas is een schatting gemaakt van de toekomstige hoogte van de afvoer die een jaarlijkse kans heeft van 1/1250. Ook hier geldt dat de cijfers voor de huidige omstandigheden niet helemaal vergelijkbaar zijn met de cijfers zoals die in het randvoorwaardenboek 2006 zijn gepubliceerd, om de al eerder genoemde reden; ook hier is gebruik gemaakt van slechts een enkele extreme waardeverdeling (Gumble).



Figuur 4.6 Geschatte Maasafvoeren bij Borgharen in 2100 met een kans van voorkomen van 1/1250 per jaar voor diverse KNMI scenario's.

4.4 Primaire waterkeringen, dijken

4.4.1 Beleid

Indien een primaire waterkering bij de vijfjaarlijkse toetsing niet aan de norm blijkt te voldoen, is dijkversterking (/verhoging) nodig. Bij het ontwerp van deze ingrepen wordt uitgegaan van een planperiode van 50 jaar (dijken) of 100 jaar (harde constructies). Voor de kust worden hierbij waterstanden en golven aangenomen die horen bij een gemiddeld klimaatscenario. Voor de rivieren spelen mogelijke effecten van klimaatverandering bij het ontwerp van waterkeringen geen rol.

In het algemeen wordt voor de versterkingen gebruik gemaakt van grond (zand, klei, grind). Waar dijkversterking niet of moeilijk te realiseren is, worden harde constructies toegepast. Bij de ontwerpen wordt tevens ruimte gereserveerd voor (eventuele) toekomstige dijkversterkingen. De dijkbeheerders bepalen daarvoor een profiel van vrije ruimte, gebaseerd op een planperiode van 100 jaar (rivierdijken) of 200 jaar (zeedijken) bij een maximum klimaatscenario. Het profiel van vrije ruimte wordt vastgelegd in de legger van de dijkbeheerder.

4.4.2 Nikpunten voor dijken en keringen

Nikpunten om dijken te verhogen of te versterken met behoud van voldoende stabiliteit worden bereikt als:

- het technisch onmogelijk wordt de dijk te versterken via een combinatie van ophogen en verbreden;
- er onvoldoende ruimte beschikbaar is voor met name verbreding;
- de kosten te hoog worden of;
- de landschappelijk aantasting onaanvaardbaar wordt.

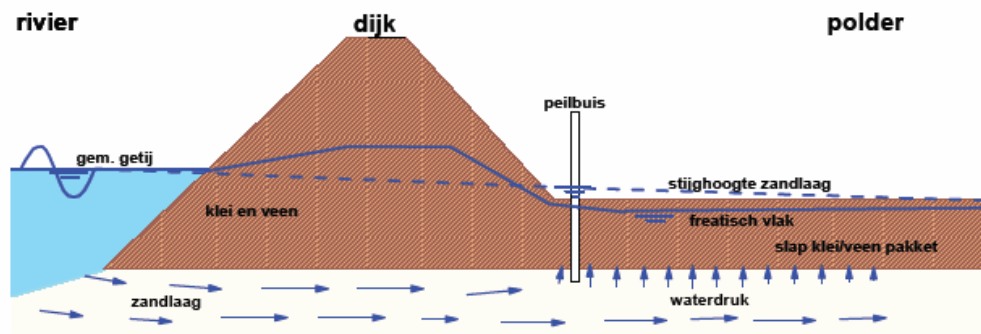
Deze oorzaken overlappen elkaar deels en zijn niet onafhankelijk van elkaar.

4.4.3 Fysieke factoren

De maximale zeespiegelstijging en de extreme rivierafvoeren zijn de klimaatfactoren die de grootste rol spelen bij het ontwerpen van waterkeringen. Samen zorgen deze factoren voor veranderingen in het rivier- en grondwaterpeil¹. De waterstand en golfaanval bepalen het ontwerp van de kerende hoogte. Het verhang tussen rivier- en freatisch grondwaterpeil, de aanwezigheid van slappe grondlagen (zoals veen) en de grondeigenschappen bepalen het ontwerp van stabiele waterkeringen (figuur 4.7). In het bovenrivierengebied is de rivierafvoer de dominante bedreiging. In het benedenrivierengebied komt daar de invloed van de zee bij. Die invloed wordt bij hoge stormvloedstanden gereduceerd door het sluiten van de Maeslantkering. In het benedenrivierengebied varieert de hoogte van de stijging van het waterpeil door klimaatverandering van plaats tot plaats omdat de bijdragen van de rivierafvoer en de invloed van de zeestand van plaats tot plaats variëren.

1. De grondwaterstand/druk in de watervoerende lagen langs en onder de rivieren volgt in de regel de rivierwaterstanden snel omdat aquifers hydraulisch vaak in open verbinding staan met de stroomgeul van de rivier (goed doorlatende ondergrond).

In een aantal lage delen van Nederland speelt ook verdergaande bodemdaling nog een rol want die bepaalt mede de freatische grondwaterstand. Knikpunten zullen het eerst worden bereikt in die delen van Nederland waar alle bovengenoemde factoren in meest extreme mate samenkomen en waar de ondergrond van nature al minder geschikt is voor bebouwing. Dit is onder andere het geval in de regio Rotterdam-Gouda.



Figuur 4.7 Dijkdoorsnede.

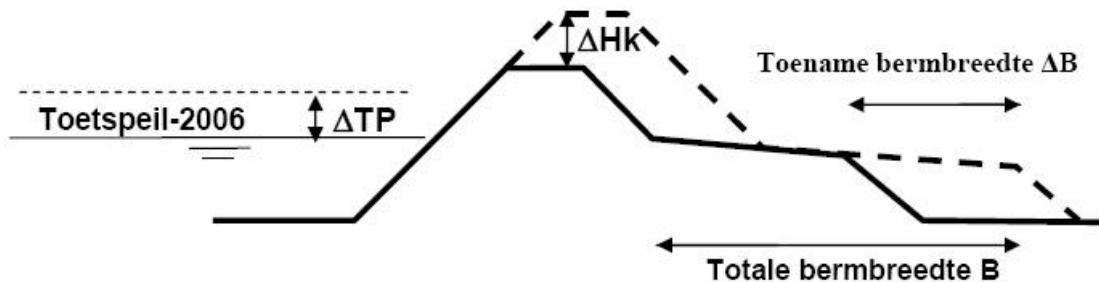
4.4.4 Studiegebied, aanpak en gebruikte randvoorwaarden

Voor de analyse van de mogelijkheden voor dijkverhoging en –versterking als aanpassing op de verandering van het klimaat is informatie gebruikt van een dijktraject van 20 km in het benedenrivierengebied tussen Schoonhoven en Krimpen aan de Lek. Van dit traject voldoet de helft nu niet aan de norm. Deze dijk moet dus worden verhoogd/versterkt. De dijk ligt in een gebied met een grotendeels slappe ondergrond waarin een slecht doorlatende laag de kwel van (brak) grondwater afremt. De stijging van de waterstand vergroot de druk van het grondwater waardoor de afdekkende laag en de grond daarboven kan gaan opdrijven. Ook neemt de kans toe dat de afdekkende bovenlaag achter de dijk gaat opbarsten. Als deze deklaag barst, neemt de doorlatendheid van die laag plaatselijk zeer sterk toe en ondergraaft de grotere grondwaterstroming het dijklichaam waardoor dit onstabiel wordt. Dit is vergelijkbaar met het proces piping in het dijklichaam zelf. Om het opdrijven en opbarsten tegen te gaan is er een zwaardere steunberm vereist als tegengewicht tegen de waterdruk.

Het effect van hogere waterstanden in het benedenrivierengebied op de dijkstabiliteit via het proces van opbarsten is onderzocht voor een aantal verschillende combinaties van aangenomen zeespiegelstijging en extreme rivierafvoer (zie onderstaande tabel). Deze combinaties leiden tot waterstandstijgingen die van plaats tot plaats variëren (zie de marge in de derde kolom) omdat het peil in het bovenstroomse deel van het bestudeerde traject meer onder invloed staat van de rivierafvoer en het peil in het benedenstroomse deel meer afhangt van de zeewaterstand. De ondergrenzen zijn representatief voor Krimpen aan de Lek en de bovengrenzen voor Schoonhoven.

zeespiegelstijging	rivierafvoer	peilstijging
-	16.000 m ³ /s	-
0,45 m	17.600 m ³ /s	0,25 – 0,75 m
0,90 m	19.200 m ³ /s	0,50 – 1,50 m
1,35 m	20.800 m ³ /s	0,75 – 2,25 m
1,80 m	22.400 m ³ /s	1,00 – 3,00 m

Vervolgens zijn de peilstijgingen in vijf dwarsprofielen vertaald naar een vereiste dijkverhoging (kerende hoogte in verband met overloop/golfoverslag) en een vereiste breedte (steunberm in verband met afschuiving). Hieruit blijkt onder meer dat de dijk bij een zeespiegelstijging van 1,8 m en een extreme rivierafvoer van 22.000 m³/s (bij Lobith) 1,5 tot 3,5 m moet worden verhoogd. Tevens is er een 30 m (situatie zonder opdrijven) tot 70 m (situatie met opdrijven) brede steunberm nodig (figuur 4.8). Dit is technisch geen probleem maar het kost wel veel ruimte. Die ruimte is in het studiegebied, door de dichte bebouwing op en langs de dijk (figuur 4.9), uit ruimtelijk en maatschappelijk oogpunt een knelpunt. Dat probleem is er nu al: bij de planvorming van de dijkversterking blijken vanwege ruimtegebrek over een lengte van 7 km zware en dure constructies (kistdammen, diepwanden en stabiliteitschermen) nodig te zijn.



Figuur 4.8 Relatie tussen dijkhoogte en bermbreedte.



Figuur 4.9 Lintbebouwing langs de Lek.

4.4.5 Resultaten

Het gevaar van opdrijven bepaalt de omvang van de benodigde versterking. Waar dit speelt, zijn ruim 2 maal bredere bermten nodig. Dit is met name het geval bij dijken in het benedenrivierengebied op plaatsen met dikke slappe veenlagen. Hoe hoger het peil op de rivieren, hoe groter de opwaartse grondwaterdruk en hoe groter het probleem van opdrijven. Het aantal dijkvakken met dit probleem zal dus toenemen.

Technisch gezien kunnen dijkversterkingen grote stijgingen van het extreme waterpeil op de rivieren (> 3 m) aan. In technisch opzicht is er voorlopig dus nog geen sprake van een knikpunt bij dijkversterking. De beschikbare ruimte voor verbreding kan echter beperkt zijn, zeker in sterk verstedelijkte gebieden. In het onderzochte gebied zouden complete dorpskernen moeten worden verplaatst. In dergelijke gevallen moet worden overgegaan op innovatieve constructies, zoals grond-cement-kolommen en dijkvernageling of dijkdeuvels. Of harde constructies zoals kistdammen, diepwanden en stabiliteitschermen. Volgens de huidige plannen voor dijkversterking zal in het studiegebied 10 km worden versterkt waarvan, met het oog op de bebouwing tegen en langs de dijk, 7 km door toepassing van harde constructies.

Deze harde constructies zijn veel duurder (tot een factor 2) dan gronddijken. Bovendien zijn er grenzen aan wat binnen de standaard fabricageprocessen (bijvoorbeeld de dikte van stalen damwanden) kan worden gemaakt. Indien maatwerk nodig is, pakken de kosten nog hoger uit. Het is de vraag in hoeverre dit opweegt tegen de te beschermen landschap-, natuur- en cultuurwaarden (LNC-waarden) of de kosten van het verplaatsen van bebouwing.

In de huidige omstandigheden wordt de keuze van de versterkingsvariant bepaald door de afweging van verschillende belangen. Een kosten-batenanalyse is daar vaak een onderdeel van. Te weinig maatschappelijk draagvlak kan de afweging van belangen bemoeilijken als blijkt dat de lokale bewoners tegen hogere en steilere dijken moeten aankijken.

4.4.6 Conclusies

Er zijn geen technische knikpunten voor dijkversterking (/verhoging). Bovendien lijken de technische alternatieven (die ook in het huidige beheer al worden toegepast), hoewel duurder, wel betaalbaar. Knikpunten liggen mogelijk op het gebied van draagvlak omdat mensen niet altijd achter hele hoge dijken willen wonen, en op het bestuurlijke vlak omdat aanpassingen volgens de traditionele oplossingen veel ruimte (kunnen) vergen. Deze omslagpunten zijn hier verder niet onderzocht.

4.5 Kustbescherming tegen overstromen met zandsuppleties

4.5.1 Wat komt er op ons af?

Naast de in hoofdstuk 4.3 beschreven zeespiegelstijging zijn voor de kustbescherming ook de stormfrequentie, de windkracht en windrichting van belang.

De stormstatistiek van Nederland is vastgesteld op basis van de historische waarnemingen van het KNMI. Uit deze waarnemingen blijkt dat stormen nu nog net zo onregelmatig optreden als in het verleden: jaren gaan voorbij zonder storm, maar soms volgt de ene zware storm direct na de andere. Wel zijn er aanwijzingen voor een lichte toename in de frequentie van zuidwesterstormen. Het zijn echter de noordwesterstormen die tot extreem hoogwater voor onze kust leiden, niet de zuidwesterstormen. De windkracht laat een (licht) afnemende trend in de loop der tijd zien.

De KNMI'06 scenario's geven aan dat de daggemiddelde windsnelheden kunnen toenemen bij klimaatverandering maar de verandering is ver binnen de huidige jaarlijkse variatie.

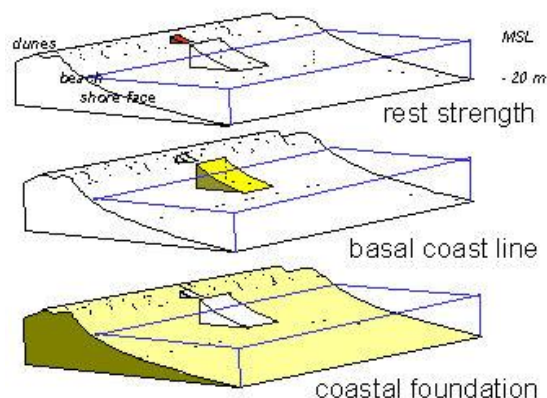
De hoogte die stormvloedstanden voor de kust kunnen bereiken, wordt mede bepaald door de hoogte van het zeeniveau ten opzichte van de zeebodem. Uit waarnemingen van Rijkswaterstaat blijkt dat de zeespiegelstijging in de 20e eeuw niet heeft geleid tot veranderingen in extreme waterstanden.

Geologisch onderzoek aan sedimentaire stormniveaus suggereert dat het verschil tussen het waterniveau gedurende gemiddeld hoogwater en stormen (overhoging) sinds de 16^e eeuw toeneemt (Jelgersma *et al.*, 1995). Voor zover bekend treedt dit effect uitsluitend voor de Hollandse kust op. Jelgersma *et al.* (1995) schrijven dit toe aan het ontstaan van een aaneengesloten Hollandse kustlijn uit een kust met veel inhammen (de 'sluiting' van de kust). Deze sluiting was een natuurlijk proces gedurende duizenden jaren. Sinds de Romeinse Tijd, en vooral vanaf de 16e eeuw, hebben ingrepen door de mens hier ook veel invloed op gehad. In de waterstanden van de 20^e eeuw is overigens geen toename van de hoogte van stormopzetten voor de Nederlandse kust waar te nemen (Dillingh, 2002).

4.5.2 Beleid

De Hollandse kust wordt tegen overstromingen beschermd op een veiligheidsniveau (overschrijdingskans) van 1/10.000 per jaar. Voor de overige kustgebieden is het veiligheidsniveau 1/4.000 per jaar. De volgende operationele doelen zijn de basis voor het beheer van de kust:

- 5 De waterkering moet voldoen aan de veiligheidsnorm;
- 6 De zandvoorraden in de kustzone (strand en vooroever tot een diepte van –6 m NAP) moeten worden gehandhaafd (uitgedrukt in het handhaven van de basiskustlijn uit 1990 (*basal coast line* in figuur 4.10));
- 7 De zandvoorraden van het kustfundament (kuststrook tot een diepte van –20 m NAP) moeten worden gehandhaafd (*coastal foundation* in figuur 4.10).



Figuur 4.10 Schematische weergave van de operationele doelen die de basis vormen voor het kustbeheer.

Het handhaven van de zandvoorraden in zowel de kustzone als het kustfundament gebeurt met zandsuppleties. Hierdoor groeit het kustfundament mee met de gemiddelde zeespiegel.

Eind jaren '80 was duidelijk dat er structureel sprake was van een terugschrijdende kust. De gebruikersfunctie van de kust kwam onder druk te staan: bestaande maatregelen voor het handhaven van de kustlijn bleken niet afdoende (knikpunt was overschreden). Sinds 1990 wordt de kustachteruitgang gecompenseerd door structureel kustsuppleties uit te voeren. Hiermee wordt de zandvoorraad in de Basiskustlijnzone (BKL-zone) gehandhaafd.

In de jaren '90 werd duidelijk dat de kustlijnligging, en daarmee de gebruikersfuncties van de kust, op lange termijn alleen kunnen worden gewaarborgd als het zandvolume tot een grotere diepte voor de kust wordt gehandhaafd. De kustzone tot aan deze grotere diepte (-20 m NAP) wordt het kustfundament genoemd.

Jaarlijks wordt voor het handhaven van de basiskustlijn en het kustfundament 12 miljoen m³ zand gesuppleerd. Dit kost ruim 40 miljoen euro per jaar.

De laatste 150 jaar is de kuststrook zeer zorgvuldig vastgelegd en kunstmatig opgehoogd. Dit beleid heeft geleid tot een hoge, steile en met helm beplante zanddijk langs vrijwel alle Nederlandse zandige kusten. De effecten van het aanbrengen van kustsuppleties, eerst zonder wettelijk kader en op incidentele basis, en sinds 1990 structureel en op wettelijke basis, heeft voor een voortdurende stroom zand gezorgd. In combinatie met het heersende stringente beheer van de kuststrook heeft dit over tientallen kilometers gezorgd voor een aanwas van pionierduintjes. Op andere plaatsen is veel zand de duinen ingewaaid en vastgelegd door de begroeiing.

Het handhaven van de duinsterkte bepaalt de dagelijkse bescherming tegen overstroming. Het handhaven van de kustlijn is van belang voor de veiligheid op de middenlange termijn. Het op peil houden van de zandinhoud van het kustfundament is essentieel voor de veiligheid op de lange termijn.

De natuurlijke processen die er voor zorgen dat de duinen meegroeien met de stijging van de zeespiegel, moeten vrij spel houden. Het waarborgen van die dynamiek door middel van suppleties wordt Dynamisch Handhaven genoemd. De hoeveelheid zand die actief bijdraagt aan de kustvormende processen (de "actieve" zandinhoud van het kustfundament) moet gelijk blijven, wil het kustfundament mee kunnen groeien met de zeespiegel. Dit is belangrijk om op langere termijn de kustlijn te kunnen handhaven, en daarmee de sterkte van de duinen en dus het beschermingsniveau tegen overstroming.

De onderhoudsbehoefte van de kust wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid zand die nodig is om het kustfundament met de zeespiegel te laten meegroeien. Uitgaande van de huidige snelheid waarmee de zeespiegel stijgt (bijna 20 cm per eeuw) is voor het meegroeien van het kustfundament van Delfland, bijvoorbeeld, in 50 jaar tijd 20 miljoen m³ zand nodig. Als de zeespiegelstijging toeneemt tot 30 cm per eeuw, waar voor de komende 50 jaar van wordt uitgegaan (Leidraad Zandige Kust) is twee keer zoveel zand nodig (zie: Waterbouwrapport Versterking Delflandse Kust). Ten opzichte van deze hoeveelheid zijn de zandverliezen vanuit het kustfundament naar dieper water en aangrenzende kustvakken beperkt.

4.5.3 Knikpunten

Hoelang dit beleid (tot welk zandvolume?) kan worden voortgezet, hangt af van de volgende punten:

Beschikbaarheid zand. Dit is in theorie onbeperkt (fysiek knikpunt wordt hierin niet voorzien voor de komende eeuwen). Ook de duinen kunnen via de kustsuppleties worden gevoed, eventueel aangevuld met duinsuppleties. Wel zijn daar voor het beleid een paar belangrijke voorwaarden aan verbonden: het is noodzakelijk om langs de gehele kust locaties te reserveren die dichtbij de NAP -20 meter lijn liggen en waar zand van de juiste korrelgrootte ligt. Het is niet duidelijk of dit al in voldoende mate gedaan is om de kosten beheersbaar te houden. Windmolenparken, beschermde ecologische zones, leidingstraten, wrakken en dumpplaatsen zetten de beschikbaarheid tegen relatief lage kosten nu al onder druk. Om voldoende zand beschikbaar te hebben, moeten dus zandreserveringen worden gemaakt.

Kosten. Welke kosten acceptabel zijn, moet blijken uit een afweging van kosten en baten. Het resultaat van deze afweging kan van regio tot regio verschillen. De waarde van het te beschermen gebied moet worden afgewogen tegen de overheidsuitgave die de politiek hiervoor wil vrijmaken. De Nederlandse Bank heeft onlangs becijferd dat de toename van het BNP vanwege de jaarlijkse economische groei de jaarlijkse toename in kosten van kustbescherming zal overtreffen. Hier is dus ook geen knikpunt te verwachten, ook niet in extreme gevallen. De te beschermen waarde van de achterliggende Randstad is dusdanig hoog dat maatregelen met hoge beschermingskosten altijd zullen worden genomen. Nog niet duidelijk is hoe dit ligt voor de zuidwestelijke delta en de waddenkust. In de huidige suppletiestrategie wordt regelmatig gesuppleerd: in 2008 zal bekeken worden of andere strategieën (bijvoorbeeld een grotere buffer aanleggen, of pas suppleren bij grotere verliezen) financieel aantrekkelijker is.

Maatschappelijke acceptatie. In de eerste jaren van het kustbeleid werden de suppleties met name op het strand uitgevoerd. Dit bracht overlast met zich mee. Sinds midden jaren '90 vinden daarnaast onderwatersuppleties plaats die veel minder overlast opleveren. De laatste jaren wordt zelfs het merendeel van het zand onderwater gesuppleerd. De verwachting is dat er geen knikpunt in de maatschappelijke acceptatie van het huidige beleid voor de kustbescherming zal optreden.

4.5.4 Uitwerking

Hollandse kust

Voor de Hollandse kust wordt aangenomen dat het systeem zelf in staat is het gesuppleerde zand zodanig te verdelen dat de hele zone kan meegroeien met de zeespiegelstijging. De hoeveelheid zand die gesuppleerd moet worden, hangt af van de grootte van de zeespiegelstijging. Op dit moment wordt van de volgende hoeveelheden uitgegaan:

- 12 miljoen m³/jaar bij 18 cm/eeuw zeespiegelstijging
- 14 miljoen m³/jaar bij 20 cm/eeuw zeespiegelstijging
- 42 miljoen m³/jaar bij 60 cm/eeuw zeespiegelstijging
- 59 miljoen m³/jaar bij 85 cm/eeuw zeespiegelstijging

Dit is 0,7 miljoen m³/jaar per cm/eeuw zeespiegelstijging. Dit betekent dat bij extremere scenario's (150 cm/eeuw) 105 miljoen m³/jaar gesuppleerd moet worden. Het effect van een draaiing van de windrichting op een mogelijke heroriëntatie van de kustlijn, is nog niet onderzocht. De kusterosie kan hierdoor toenemen en daarmee het benodigde suppletievolume.

Delta en Wadden

Voor de zeegaten (Wadden & Delta) geldt dat een zeespiegelstijging kan leiden tot 'verdrinking'. Bij een snelle zeespiegelstijging verdwijnen de zandplaten en kwelders onder water waardoor waardevolle soorten (dieren en planten) hun leefgebied verliezen, steeds zeldzamer worden en uiteindelijk verdwijnen. Op de vraag wanneer die verdrinking precies optreedt, is in het onderzoek geen eenduidig antwoord te vinden. Een voorzichtige schatting geeft aan dat de Waddenzee tenminste een zeespiegelstijging van 3 millimeter per jaar kan bijhouden voor de grote vloedkommen en 6 millimeter per jaar voor de kleine.

Dit voorzichtige cijfer (in verband met het voorzorgprincipe) wordt door het ministerie van Economische Zaken gehanteerd voor het definiëren van de zogenaamde gebruiksruimte. De gebruiksruimte geeft de snelheid aan waarmee gas kan worden gewonnen zonder dat de bodem van de Waddenzee te snel daalt en verdrinkt. De gebruiksruimte voor gaswinning is te interpreteren als de snelheid waarmee de bodem van de Waddenzee mag dalen opdat deze, bij een stijgende zeespiegel, niet verdrinkt. Die maximaal acceptabele snelheid van bodemdaling (gebruiksruimte) is gelijk aan het meegroeivermogen van de Waddenzee (de mogelijke snelheid van aanzanding) minus de snelheid van zeespiegelstijging.

Er zijn ook studies die aangeven dat in het verre verleden de Waddenzee een stijging kon bijhouden van 8 mm per eeuw in de grote vloedkommen. Dit getal komt ongeveer overeen met het maximale KNMI'06 zeespiegelstijgingsscenario (85 cm in 2100 ten opzichte van de stand in 1990). Het zou dus kunnen dat het maximaal mogelijke meegroeivermogen hoger ligt dan de genoemde 3 tot 6 mm. Maar het zal waarschijnlijk minder zijn dan 10 millimeter per jaar (= 1 meter per eeuw) voor kleine bekkens en nog minder voor grote bekkens.

Om verdrinking te voorkomen zou zand in de buitendelta van het Marsdiep gesuppleerd kunnen worden, zodat de Waddenzee kan meegroeien met de zeespiegelstijging. De verwachting is dat het systeem zelf zorgt dat dit zand de Waddenzee in getransporteerd wordt. Een deel van het gesuppleerde zand is nodig om de zandhonger in de geulen naar de voormalige Zuiderzee, waar sinds de aanleg van de Afsluitdijk veel zand in bezinkt, te compenseren. Onduidelijk is in hoeverre het bereiken van knikpunten op deze wijze zou kunnen worden voorkomen. Monitoring van de effecten van een dergelijke strategie is noodzakelijk. Indien uit monitoring blijkt dat er wel sprake is van verdrinking, zal er overgestapt moeten worden op een andere strategie.

Voor de Delta geldt dat we momenteel te weinig weten om beargumenteerd te compenseren voor zeespiegelstijging. De sedimentbalans van dit gebied wordt onderzocht. Bekend is de zandhonger van de Oosterschelde; de afslag van platen en slikken wordt toegeschreven aan de bouw van de stormvloedkering. In de Westerschelde moet een evenwicht worden bewaard tussen de eisen van de scheepvaart en die van de natuur. Voor de scheepvaart worden er geulen gebaggerd terwijl suppleties kunnen zorgen voor de bescherming van de natuurwaarden door de opslibbing van platen en slikken in de Westerschelde gelijke trend te laten houden met de zeespiegelstijging.

Bij eilandkoppen dient daarnaast rekening gehouden te worden met landwaartse geulverplaatsingen die de kust kunnen aantasten. Onbekend is het effect daarbij van draaiing van de wind en de vergroting van de getijdeslag in de 20e eeuw. Tijdige signalering van deze ontwikkelingen kan helpen risico's te voorkomen. Geulwandsuppleties kunnen een (tijdelijke) oplossing bieden.

Lokaal

Het huidige beleid voor het handhaven van de kust heeft nadelen voor de oostelijke kuststroken van de Waddeneilanden. De aanwezige stuifdijken verhinderen dat voldoende zand de buitendijkse gebieden en de achterliggende bewoonde gebieden kan bereiken waardoor deze op termijn relatief dieper komen te liggen ten opzichte van de zeespiegel.

Uit recent onderzoek van Deltares blijkt dat halfcirkelvormige openingen in de kust (in de vorm van sluffers of bouwwerken) een veiligheidsrisico kunnen inhouden door lokale golfoploop. Dergelijke sluffers dragen bij aan de natuurontwikkeling.

4.5.5 Conclusies

Met het suppleren van zand wordt voorlopig voorkomen dat een knikpunt bereikt wordt in het beleid voor de bescherming van de kust tegen overstromingen. Op termijn kan heroverweging van het suppleren van zand wel nodig blijken. In theorie is er wel voldoende zand maar ook andere functies, zoals natuur en energievoorziening met windmolens, leggen beslag op dit zand. Voor sommige lokale omstandigheden, als de oostelijke delen van de waddeneilanden, is zandsuppletie niet de oplossing voor het meegroeien met de zeespiegelstijging.

De efficiëntie van het suppletiebeleid hangt af van de overheersende windrichting. Als de windrichting draait, en als daarmee een heroriëntatie van de kust plaatsvindt, kan de benodigde hoeveelheid te suppleren zand toenemen. Nader onderzoek naar dergelijke effecten wordt aanbevolen. Geen van de KNMI'06 scenario's laten overigens veranderingen in de overheersende windrichting zien; een omslagpunt als gevolg hiervan is voorlopig nog niet in zicht.

4.6 Bovenrivieren gebied

4.6.1 Beleid

In het huidige beleid voor hoogwaterbescherming staat voor de Rijntakken 'Ruimte voor de rivier' centraal. Ruimte voor de Rivier is inmiddels grotendeels in de uitvoeringsfase. Na voltooiing van alle maatregelen in 2015 kunnen de Rijntakken een maatgevende hoogwaterafvoer (MHW) verwerken van 16.000 m³/s bij Lobith. Er is ruimte gereserveerd om eventueel met extra maatregelen afvoeren tot 18.000 m³/s te kunnen verwerken, waarbij die extra maatregelen zouden moeten worden uitgevoerd langs de Waal en IJssel en waarbij de Nederrijn/Lek ontzien zou moeten worden (Silva, 2007).

Voor de Maas wordt het beleid uitgevoerd in het project de Maaswerken. Na voltooiing van de Maaswerken in 2020 moet een afvoer bij Borgharen van 3800 m³/s veilig door de Maas kunnen stromen en moeten de overschrijdingskansen van maatgevende waterstanden kleiner zijn dan 1/1250 (bedijkte Maas) en 1/250 jaar (onbedijkte Maas). Tot 4200 m³/s zijn met extra buitendijkse maatregelen waarschijnlijk dezelfde normen haalbaar (ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2006). Bij nog hogere afvoeren zijn ook binnendijkse maatregelen nodig. Op de langere termijn (rond 2100) wordt een afvoer van 4600 m³/s voorzien. Maatregelen om een dergelijke afvoer veilig te kunnen doorvoeren, zijn beschreven in de IVM- en Spankrachtstudies (ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2003, 2006). Nog geen van deze extra maatregelen zijn al opgenomen in het huidige beleid of de uitvoeringsprogramma's.

4.6.2 Nikpunten

Voor de Rijn wordt een knikpunt bereikt als de maximale overschrijdingskans op een afvoer van 16.000 m³/s groter wordt dan 1/ 1250 per jaar. In dat geval moeten ook de extra maatregelen worden ingezet waarmee een afvoer van 18.000 m³/s te verwerken is. Als vervolgens ook de afvoer van 18.000 m³/s een grotere kans van optreden heeft dan 1/ 1250 per jaar, wordt ook daar weer een knikpunt bereikt.

Voor de Maas ligt een knikpunt bij overschrijding van de huidige maatgevende afvoer van 3800 m³/s. Indien de Maaswerken in 2020 zijn uitgevoerd, ligt dat knikpunt op 4200 m³/s. Voor de zeer lange termijn kan als knikpunt 4600 m³/s worden gehanteerd.

Een ander knikpunt, waarbij vermoedelijk de bestaande strategie zal worden herzien, is het optreden van zeer grote overstromingen in de stroomgebieden van Rijn en Maas nabij Nederland. Een dergelijke gebeurtenis is als knikpunt geïdentificeerd omdat de verwachting is dat als zulke grootschalige overstromingen zo dicht bij Nederland plaatsvinden, dit zal leiden tot grote druk vanuit de samenleving om het beleid aan te passen en het veiligheidsniveau te vergroten.

In het Belgische Maasgebied zullen eventuele overstromingen beperkt van omvang zijn omdat de Maas in België in een tamelijk nauw rivierdal ligt. Voor de Rijn ligt dat anders. Vooral op het traject tussen Bonn en Lobith, de Niederrhein, kunnen omvangrijke overstromingen plaatsvinden. Door voorgenomen maatregelen langs de Niederrhein zal de afvoercapaciteit van dit Rijntraject in 2015 naar verwachting zijn toegenomen tot rond de 15.000 m³/s. Dan zullen hogere afvoeren dan deze 15.000 m³/s in deze gebieden tot grote overstromingen leiden (Lammersen et al. 2004).

Als neveneffect beperken de overstromingen langs de Niederrhein de hoeveelheid water die Nederland via de Rijn kan bereiken: het water stroomt immers al in Duitsland over de dijken. Bij zeer hoge afvoeren (meer dan 18.000 m³/s bij Bonn) zal water achterlangs via de Oude IJssel Nederland instromen.

4.6.3 Uitwerking

De kans van overschrijding van een Rijnafoer van 18.000 m³/s in de toekomst is onderzocht. Er is geen reden om te veronderstellen dat het klimaat beperkingen stelt aan het voorkomen van dergelijke hoge afvoergolven. Ook onder de huidige klimaatcondities zijn hogere dan maatgevende afvoeren mogelijk. Voor dit project is een analyse gemaakt van 'ensemble' verwachtingen van het KNMI voor het jaar 1995. Hieruit blijkt dat een afvoer van 18.000 m³/s vanuit meteorologisch oogpunt denkbaar is. De geschatte herhalingstijd van een dergelijke afvoergolf bij Lobith is voor de huidige omstandigheden in de orde van 5000 jaar.

Om te bepalen op welk moment in de toekomst knikpunten voor Rijn en Maas bereikt zullen worden, zijn de veranderingen van temperatuur en neerslag volgens de KMNI'06 scenario's toegepast voor de gehele stroomgebieden van Rijn en Maas voor het jaar 2100.

Scenarioafvoeren voor Lobith en Borgharen zijn berekend met neerslag-afvoermodellen. Op grond van (1) de uitkomsten van de neerslag-afvoermodellen en (2) de gemeten afvoerreeks van 1901-2004 voor de Rijn en 1911-2004 voor de Maas, zijn reeksen van dagafvoeren over een periode van 103 jaar voor de Rijn en 93 jaar voor de Maas gegenereerd voor elk van de KNMI-scenario's. Deze scenario-afvoerreeksen zijn op hun beurt gebruikt om voor elk scenario opnieuw de maatgevende afvoeren statistisch te bepalen. Voor de bepaling van het tijdstip van de knikpunten is verondersteld dat de huidige maatgevende afvoeren geldig zijn voor het jaar 2000. Aangenomen is dat veranderingen in de klimaatcondities en de daaruit volgende afvoercharacteristieken van Rijn en Maas tussen 2000 en 2100 lineair verloopt. Deze aanname is consistent met de wijze waarop de KNMI-scenario's zijn vastgesteld (met uitzondering van de scenario's voor de zeespiegelstijging): de veranderingen volgens de scenario's voor 2050 zijn de helft van die voor 2100.

Voor de Rijn zijn de hydraulische gevolgen van dergelijke hoge afvoeren in kaart gebracht op basis van eerder onderzoek (Lammersen et al, 2004) en een aantal simulaties van overstromingen met tweedimensionale modellen voor het Rijngebied tussen Bonn en Gorinchem/Vianen. Die simulaties zijn uitgevoerd voor een afvoer van 18.000 m³/s en verschillende niveaus van bescherming tegen overstromingen langs de Nederrijn.

4.6.4 Resultaten

Als we (theoretisch) aannemen dat in Duitsland geen overstromingen plaatsvinden, kunnen we het moment bepalen waarop de maatgevende afvoer (met een kans van 1/1250 per jaar) het niveau van 18.000 m³/s zal hebben bereikt voor de Rijntakken bovenstrooms van Gorinchem en Vianen. Dit moment ligt tussen 2040 en 2045 voor de W scenario's en tussen 2085 en 2090 voor de G scenario's.

De grens van 3800 m³/s voor de Maas kwam al in beeld bij de laatste toetsing van de hydraulische randvoorwaarden in 2006. Als de hoogwaters van 2002 en 2003 in de statistiek zouden zijn meegenomen, zou deze maatgevende afvoer volgens de toetsing al worden overschreden. We hebben nu dus eigenlijk al te maken met een knikpunt, los van klimaatprojecties. De grens van 4200 m³/s (inzet van maximale buitendijkse maatregelen) wordt theoretisch omstreeks 2050 gepasseerd indien het W scenario werkelijkheid zou worden. Voor het W+ scenario is dit omstreeks het jaar 2075. Voor de G scenario's wordt volgens deze analyse het knikpunt deze eeuw niet bereikt. Extrapolatie tot na deze eeuw suggereert dat volgens het G scenario dit rond 2110 gebeurt, terwijl volgens het G+ scenario dit pas tussen 2190 en 2200 aan de orde is. De grens van 4600 m³/s voor de Maas, die momenteel wordt gehanteerd voor de maatgevende afvoeren aan het einde van deze eeuw, lijkt volgens deze analyse alleen in het W scenario rond 2100 gepasseerd te worden. Voor de andere scenario's duurt dit nog tot 2110 (G scenario), 2150 (W+ scenario) en 2220 (G+ scenario).

Benadrukt wordt dat bovenstaande analyses gebaseerd zijn op theoretische situaties (zie intermezzo 3). In de analyses wordt namelijk geen rekening gehouden met de hydraulische damping van steile afvoergolven. Dit heeft als resultaat dat de afvoer die in werkelijkheid Lobith of Borgharen bereikt, lager zal zijn dan hier wordt gesuggereerd. Hoeveel lager is bij de huidige staat van het onderzoek niet eenduidig vast te stellen.

Voor de Rijn is bovendien geen rekening gehouden met de eerder genoemde beperkte afvoercapaciteit van de Rijn tussen Bonn en Lobith. Eerder onderzoek (Lammersen, 2004) laat zien dat door dit effect zelfs afvoergolven van meer dan 22.000 m³/s ter hoogte van Bonn bij Lobith zijn gereduceerd tot een maximum van rond de 17.500 m³/s. In deze studie is een afvoergolf van 17.815 m³/s doorgerekend: deze wordt door de genoemde effecten gereduceerd tot een maximum van 16.099 m³/s bij Lobith. Als het beveiligingsniveau in de Niederrhein gelijk zou worden geschakeld met dat van Nederland (dus ontwerpnorm voor overstromen is 1/1250), zou de damping veel geringer zijn en zouden afvoeren van 18.000 m³/s mogelijk zijn.

Naast de 'fysische' knikpunten is hierboven ook een maatschappelijk knikpunt genoemd: het herzien van het beleid voor hoogwaterbescherming in onze buurlanden, met een effect op de hoogte van de afvoeren die ons land kunnen bereiken. De kans dat dit moment wordt bereikt, kan worden beschouwd als de kans dat een dergelijke overstroming optreedt. Voor de Niederrhein is deze kans berekend, als de kans dat de maximale afvoercapaciteit van 15.000 m³/s op dit traject wordt bereikt, voor de verschillende klimaatscenario's.

De huidige herhalingstijd van een dergelijke afvoer is geschat rond 640 jaar. Voor het W+ scenario is de herhalingstijd in 2100 gereduceerd tot 45 jaar, voor het W scenario tot 51 jaar. Voor het G+ scenario is dit 155 jaar en het G scenario is het 160 jaar. Deze indicatieve cijfers illustreren zowel de mogelijk snelle toename van de kans op hoge afvoeren bij een veranderend klimaat als de onzekerheid in de snelheid waarmee de rivierafvoeren toenemen.

Interessanter dan de herhalingstijd voor een dergelijke gebeurtenis rond het jaar 2100 is de kans dat een grote overstroming in Duitsland zal plaatsvinden in de periode voordat het andere knikpunt (normoverschrijding) is bereikt. Voor de W scenario's bedraagt de kans op een dergelijke overstroming in de periode tot 2045 (wanneer voor het W scenario theoretisch gezien op zijn vroegst de norm overschreden wordt) ongeveer 8%. Voor de G scenario's is de kans ongeveer 20% in de periode tot 2090.

4.6.5 Waterhoogtes langs de bovenrivieren indien Duitsland zich volledig beschermt. Uitgaande van de veronderstelling dat Duitsland het maximale zou doen om zich tegen overstromingen te beschermen, is in deze studie een simulatie gemaakt van de gevolgen van een afvoer van 18.166 m³/s bij Lobith. Onderzocht is of en waar deze afvoer in Nederland tot grote problemen zou leiden.

De hoogte van de dijken lijkt weliswaar voldoende maar dit betekent niet dat dijken onder dergelijke omstandigheden stabiel blijven. In Nederland zijn de dijken niet ontworpen om stabiel te blijven bij waterstanden hoger dan de toetspeilen. Een dijk kan, bijvoorbeeld door piping, ook bezwijken bij een rivierwaterstand die lager is dan de kruinhoogte van de dijk. Ook overstroomde dijken zullen naar alle waarschijnlijk bezwijken. In de eerder genoemde analyses is het eventueel bezwijken van dijken niet meegenomen.

Als dijkvakken lokaal bezwijken, zijn de overstromingen in het Rijntakkegebied veel groter, met zelfs overstromingen van dijkeringen grenzend aan de bedijkte Maas (door cascadowerking), dan de overstroming van alleen de relatief lage dijken langs de Niederrhein.

Uit de simulatie blijkt dat de dijken in Nederland (afgezien van andere faalmechanismen en onzekerheden, zie intermezzo 1) een kritische hoogte hebben om eventueel een afvoergolf van 18.000 m³/s veilig naar zee te voeren.

Intermezzo 3: beperkingen van modelberekeningen

In deze studie zijn resultaten gebruikt van simulaties met numerieke modellen. Deze modellen zijn zorgvuldig gecalibreerd (afgesteld), hetgeen betekent dat ze bekende overstromingen naar tevredenheid kunnen reproduceren. De hoogwaters die hier gesimuleerd worden, liggen echter ver buiten het bereik van de tot op heden gemeten hoogwaters. Dit betekent dat in de uitkomsten aanzienlijke onnauwkeurigheden kunnen optreden. Onderzoek (Werner, 2005) heeft laten zien dat een fout van 100 cm in de waterstand niet ondenkbaar is. De aanname dat de verdeling over de Rijntakken hetzelfde blijft en er geen riviermorphologische veranderingen tijdens deze hoge afvoeren optreden, is cruciaal. Als de afvoerverdeling op de splitsingspunten een klein beetje verandert, kan dit al leiden tot grote problemen.

4.6.6 Conclusies

De resultaten laten zien dat de kans dat de dijken in het gebied langs de bovenrivieren in Nederland overstromen zeer klein is, zeker na voltooiing van de maatregelen van Ruimte voor de Rivier (2015) en de Maaswerken (2020).

Een afvoergolf van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ in de Niederrhein heeft nu een geschatte herhalingsstijd van 5000 jaar. De Rijntakken zullen een dergelijke hoogwatergolf, indien de dijken in 2015 aan de norm voldoen, zonder problemen naar zee kunnen voeren. Dit is deels een gevolg van de sterkte en hoogte van de Nederlandse dijken, maar is vooral te danken aan de veel lagere veiligheidsnormen langs de Niederrhein. Dit lagere veiligheidsniveau zorgt ervoor dat een afvoergolf op de Niederrhein van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ sterk gedempt wordt tot een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Nog hogere afvoergolven op de Niederrhein (tot $22.000 \text{ m}^3/\text{s}$) worden afgetopt tot een maximum van rond de $17.500 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Zolang het niveau van de hoogwaterbescherming langs de Niederrhein niet wordt verhoogd ten opzichte van het niveau dat nu wordt voorzien, lijkt klimaatverandering niet te kunnen leiden tot een hogere afvoer bij Lobith dan deze $17.500 \text{ m}^3/\text{s}$.

De resultaten laten ook zien dat door klimaatverandering onder de W scenario's overschrijding van de norm van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ voor de Rijnafvoer theoretisch gezien op zijn vroegst tussen 2040 en 2045 wordt bereikt. Dit is veel eerder dan waarmee tot op heden rekening werd gehouden. De kans dat vóór die tijd Duitsland door een grote overstroming wordt getroffen waardoor een maatschappelijk knikpunt zou kunnen ontstaan met aanpassingen van de Duitse hoogwaterbescherming tot gevolg, is onder de W scenario's tot 2045 betrekkelijk klein (rond de 8%).

Voor de Maas liggen de geïdentificeerde knikpunten bij $3800 \text{ m}^3/\text{s}$, $4200 \text{ m}^3/\text{s}$ en $4600 \text{ m}^3/\text{s}$. Een maatgevende afvoer van $4200 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt volgens deze studie op zijn vroegst, onder het W scenario, in 2050 gepasseerd. Op papier (maar nog geen maatregelen gepland) wordt echter al rekening gehouden met de mogelijkheid van een maatgevende afvoer van $4600 \text{ m}^3/\text{s}$. Een dergelijke afvoer lijkt op zijn vroegst, weer onder het W scenario, pas in beeld te komen rond 2100. Voor de andere scenario's liggen de knikpunten veel verder in de toekomst. Voor het W+ scenario is dit omstreeks het jaar 2075. Voor de G scenario's wordt volgens deze studie het knikpunt deze eeuw niet bereikt. Extrapolatie tot na deze eeuw suggereert dat dit volgens het G scenario rond 2110 gebeurt, terwijl volgens het G+ scenario dit pas tussen 2190 en 2200 aan de orde is. Voor het passeren van de grens van $4600 \text{ m}^3/\text{s}$ lopen de schattingen uiteen tussen 2110 en 2220.

4.7 Benedenrivierengebied (Rijn-Maasmonding)

4.7.1 Beleid en beheer

Ook in het huidige beleid voor hoogwaterbescherming in de Rijn-Maasmonding staat 'Ruimte voor de rivier' centraal. Het doel is om uiterlijk in 2015 het vereiste beschermingsniveau langs de Rijntakken en het benedenstroomse deel van de Maas te realiseren. Hiervoor worden enkele grootschalige maatregelen uitgevoerd zoals het laten meestromen van de Noordwaard en waterberging op het Volkerak-Zoommeer. Voor het benedenrivierengebied geldt een beschermingsniveau van 1/2000 per jaar (voor de dijkringen langs de kust 1/4000 - 1/10.000 per jaar). De belangrijkste kering in het gebied is de Maeslantkering die bij hoge waterstanden op zee de Nieuwe Waterweg afsluit. Deze kering is destijds gebouwd om de buitendijkse gebieden tegen stormopzet vanuit zee te beschermen en om dure dijkversterkingen in het stedelijk gebied te voorkomen.

4.7.2 Nikpunten

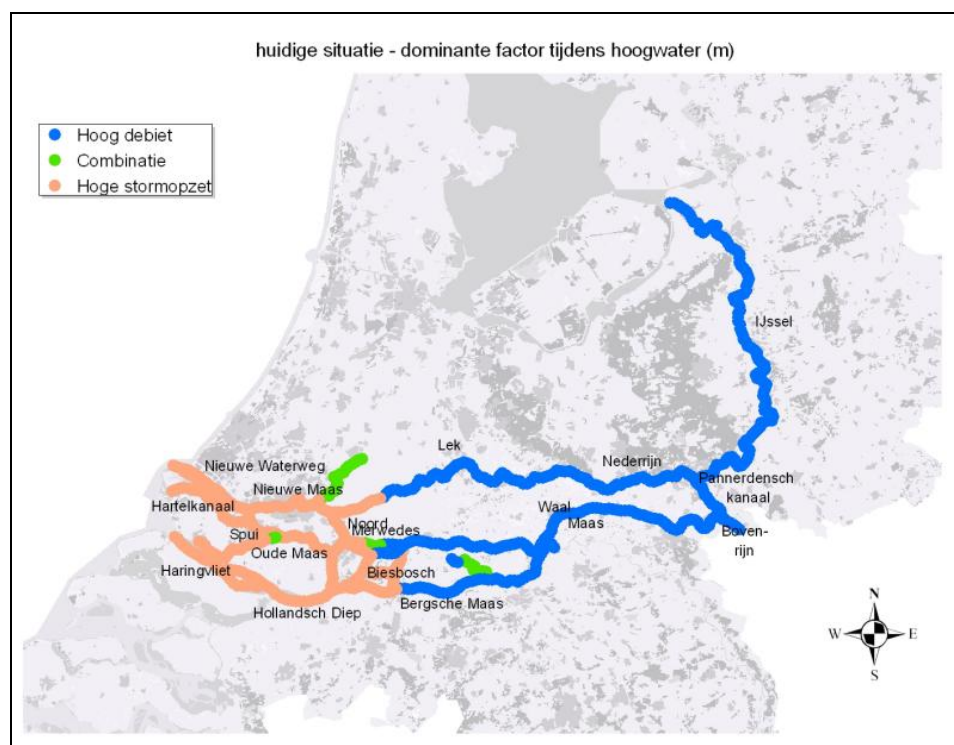
Er zijn in het benedenrivierengebied enkele knikpunten te onderscheiden bij stijgende zeespiegel en toename van extreem hoge rivierafoeren, te weten:

- Een knikpunt treedt op als het effect van klimaatverandering zo groot wordt dat de uitvoering van de PKB onvoldoende is voor het gewenste beschermingsniveau. In het benedenrivierengebied spelen zowel de extreme rivierafoeren als de zeespiegelstijging een belangrijke rol. Omdat in dit deel van de riviertakken de waterstanden (sterk) beïnvloed worden door de zeespiegel, is verdere rivierverruiming geen optie om een hoger beschermingsniveau te bereiken. In dit deel van de rivieren zal na het bereiken van het knikpunt, dijkversterking de meest voor de hand liggende optie zijn om verdere effecten van de klimaatverandering op te vangen. Dijkversterking is aan de orde zodra dijken niet meer aan toetspeilen voldoen. Hiervoor is inzicht nodig in de verschillen tussen de actuele kruinhoogtes en de toetspeilen.
- De Maeslantkering vervult een sleutelfunctie in het benedenrivierengebied en is gebouwd om zeer kostbare en moeilijk uitvoerbare dijkversterkingen in de stedelijke gebieden in en rond Rotterdam te voorkomen. Door de kering tijdig te sluiten wordt de zee-inval achter de kering gereduceerd, wat resulteert in een verlaging van de peilen achter de kering. De lokale peilen worden bepaald door een combinatie van rivier- en zee-inval. De mate van doorwerking van de zeespiegelstijging is afhankelijk van de afstand van de beschouwde lokatie ten opzichte van de kering. Dichtbij de kering is de reductie het grootst, terwijl verder stroomopwaarts de reductie steeds verder afneemt en de rivierinval toeneemt. De kering heeft niet alleen de functie om te sluiten bij hoogwater maar vooral ook om open te zijn ten behoeve van de havenfunctie van Rotterdam. De vraag is bij welke frequentie van sluiten het huidige beheer van de kering moet worden heroverwogen. Dit kan worden gezien als een tweede knikpunt voor het benedenrivierengebied.
- De mogelijkheden (technisch, ruimtelijk, kosten, draagvlak) om dijkversterking daadwerkelijk ook te kunnen uitvoeren bepalen of er een derde knikpunt wordt bereikt. Dit is eerder uitgewerkt in paragraaf 4.4.

4.7.3 Uitwerking

Het benedenrivierengebied onderscheidt zich van het bovenrivierengebied door de bijdrage van de extreme zeewaterstand aan de totstandkoming van de maatgevende situaties (MHW's). Van oost naar west neemt het effect van hoge rivierafvoeren geleidelijk af en nemen de effecten van de zeespiegelstand en eventuele stormopzet op zee toe. De invloedsgebieden zijn voor hoogwatersituaties globaal weergegeven in Figuur 4.11. Opgemerkt moet worden dat de ligging van de grenzen van de invloedsgebieden sterk afhankelijk zijn van de rivierafvoer enerzijds en zeespiegelstand anderzijds. Bij lage waterstanden op de rivier zal het door de zee beïnvloedde gebied verder landinwaarts liggen, bij hoge rivierafvoeren zal de invloed van de rivier op de waterstanden verder naar het westen zijn uitgebreid.

Klimaatverandering resulteert zowel in toenemende rivierafvoeren als in zeespiegelstijging. Beide trends leiden tot hogere maatgevende waterstanden. Afhankelijk van de relatieve omvang en snelheid van de trends zal de grens tussen zee-gedomineerd en afvoer-gedomineerd gaan verschuiven. Voor gemiddelde afvoersomstandigheden zal door de zeespiegelstijging de grens verschuiven in oostelijke richting. Met de toenemende invloed van de zee neemt het effect van rivierverruimende maatregelen af en zal gezocht moeten worden naar alternatieve strategieën.



Figuur 4.11 De dominante invloed van de rivierafvoer en de zee op maatgevende waterstanden in verschillende delen van het rivierensysteem (huidige situatie)

Een aantal combinaties van zeespiegelstijging, stormopzet en hogere maatgevende rivierafvoeren is doorgerekend om te onderzoeken bij welke veranderingen het eerste knikpunt bereikt wordt (tabel 4.1). De referentie is de huidige situatie inclusief de rivierverruimende maatregelen van Ruimte voor de Rivier. De gekozen zeespiegelstijgingen zijn ongeveer de onder- en bovengrenzen van de verwachtingen voor 2050 (10-50 cm) en 2100 (30-130 cm), waarbij 130 cm wordt gezien als de maximaal te verwachten stijging (MNP, 2007). De maximale zeespiegelstijging wordt gecombineerd met een extra stormopzet. Op deze wijze wordt de bandbreedte waarbinnen de waterstanden zich mogelijk ontwikkelen, weergegeven.

Tabel 4.1 Scenario's voor de bepaling van mogelijke waterstandeffecten in de Rijn-Maasmonding.

scenario	zeespiegelstijging t.o.v. referentie (m)	vergroting stormopzet (m +NAP)	rivierafvoer Rijn bij Lobith (m ³ /s)
referentie	0	0	16000
1	0,10	0	16500
2	0,50	0	16500
3	0,50	0,50	16500
4	0,30	0	18000
5	1,30	0	18000
6	1,30	0,50	18000
7	1,30	1,0	18000

De effecten van bovenstaande combinaties van rivier- en zee-invloeden op de toetspeilen zijn bepaald door interpolatie, extrapolatie en superpositie van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse uit de systeemanalyse voor de Rijn-Maasmonding (Rijkswaterstaat, 2007). Uitgangspunten bij deze gevoeligheidsanalyse zijn:

- Faalkans Maeslantkering: de kans per sluiting dat de kering faalt en niet gesloten kan worden. De faalkans van de stormvloedkering in de Nieuwe waterweg was in 2007 1 maal op de honderd sluitingen.
- De huidige sluitcriteria voor de Maeslantkering worden gehanteerd (sluiten bij verwachting 3 m +NAP Hoek van Holland of 2,90 m +NAP Dordrecht). Dit komt neer op een sluitfrequentie van 1 maal in de 10 jaar. Concreet betekent dit dat de sluitfrequentie (fors) toeneemt met toenemende zeespiegelstijging. Het sluiten van de kering is in de berekeningen meegenomen.
- De belangrijkste lange termijn maatregelen uit het basispakket Ruimte voor de Rivier zijn meegenomen in de berekeningen, te weten: de ontpolderingen van de Noordwaard en van de Overdiepse Polder, de afgraving van het bedrijventerrein Avelingen en het bergen van overtollig rivierwater op het Volkerak-Zoommeer.
- Bij de berekening van de huidige toetspeilen is een stormopzetduur van 29 uur aangenomen.
- De kansverdeling van de afvoeren en zeewaterstanden blijft bij een veranderend klimaat gelijkvormig. Dit betekent dat als de 1/1250 afvoer 10% hoger wordt, ook de 1/1000, 1/500, 1/10 en ½ afvoer 10% toenemen. Dit is zeker niet het geval maar de fout die door deze aanname wordt gemaakt is klein omdat het gebied dat door zowel zeespiegelstijging als verandering van rivierafvoeren beïnvloed wordt, klein is en omdat zeespiegelstijging en rivierafvoer in hoge mate statistisch onafhankelijk zijn.
- Effecten van klimaat op de stormopzet zijn ongewis. Om toch inzicht te krijgen in mogelijke effecten wordt in enkele scenario's met een verhoogde opzet gerekend.

Bij de uitwerking van de knikpunten is ook gebruikt gemaakt van de studie Aandacht voor Veiligheid (AVV, 2008). In deze studie is met behulp van de zogenaamde PKB Blokkendoos een zeer grove inschatting gemaakt van het effect van het pakket lange termijn maatregelen van de PKB. Het peilverlagende effect is bepaald door de uitkomsten van de berekeningen met de zogenaamde MHW-processor bij een zeespiegelstijging van 0,60 m en een Rijnafvoer van 18.000 m³/s bij Lobith te vergelijken voor de situatie met en zonder deze lange termijn maatregelen.

4.7.4 Effect van rivierverruimende maatregelen

Uit de resultaten van de AVV studie kan grofweg worden afgeleid dat het reducerend effect van de lange termijn maatregelen van de PKB in het benedenrivierengebied en de IJsseldelta relatief gering is. In het benedenrivierengebied neemt de maatgevende hoogwaterstand door deze maatregelen gemiddeld ongeveer 10 cm af, en lokaal (bijvoorbeeld Nieuwe Merwede) wat meer. Voor de IJsseldelta is de afname dicht bij de monding (15 km) zeer beperkt (5 - 10 cm).

Een zeespiegelstijging van 60 cm zou, volgens deze grove inschatting, bij volledige uitvoering van de maatregelen van de PKB in het benedenrivierengebied beperkt blijven tot 50 – 55 cm. Verder stroomopwaarts is het reducerend effect groter. Duidelijk is dat als de zeespiegel verder stijgt dan 0,6 m, rivierverruimende maatregelen voor waterstanden in het benedenrivierengebied weinig toegevoegde waarde zullen hebben.

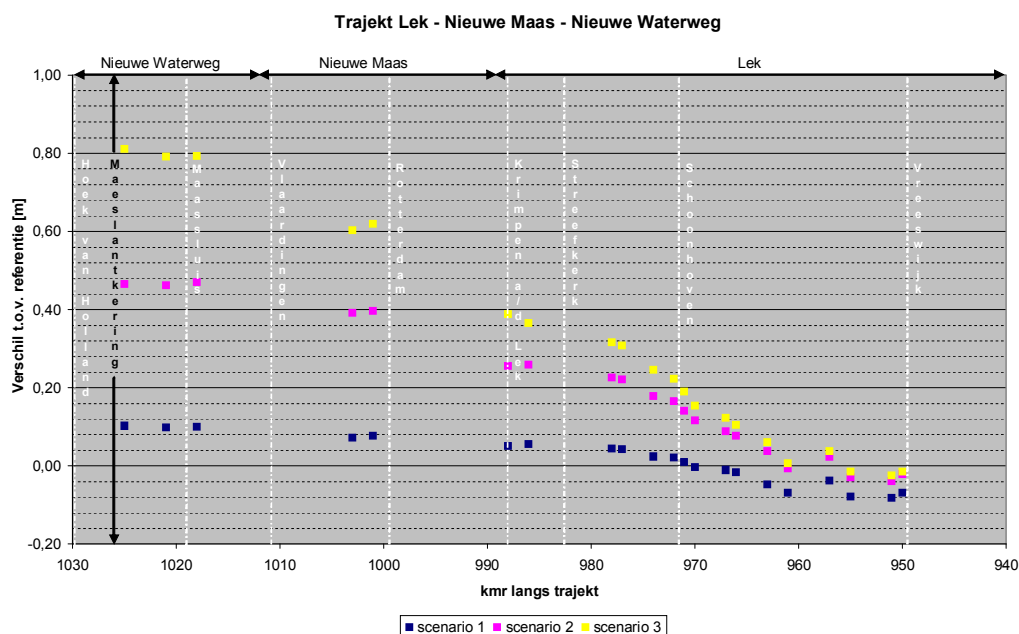
4.7.5 Resultaten voor toetspeilen

De figuren 4.12 t/m 4.17 laten de effecten van combinaties van zeespiegelstijging, stormopzet en rivierafvoer (tabel 4.1) op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding zien ten opzichte van de referentiesituatie. Hieruit blijkt het volgende:

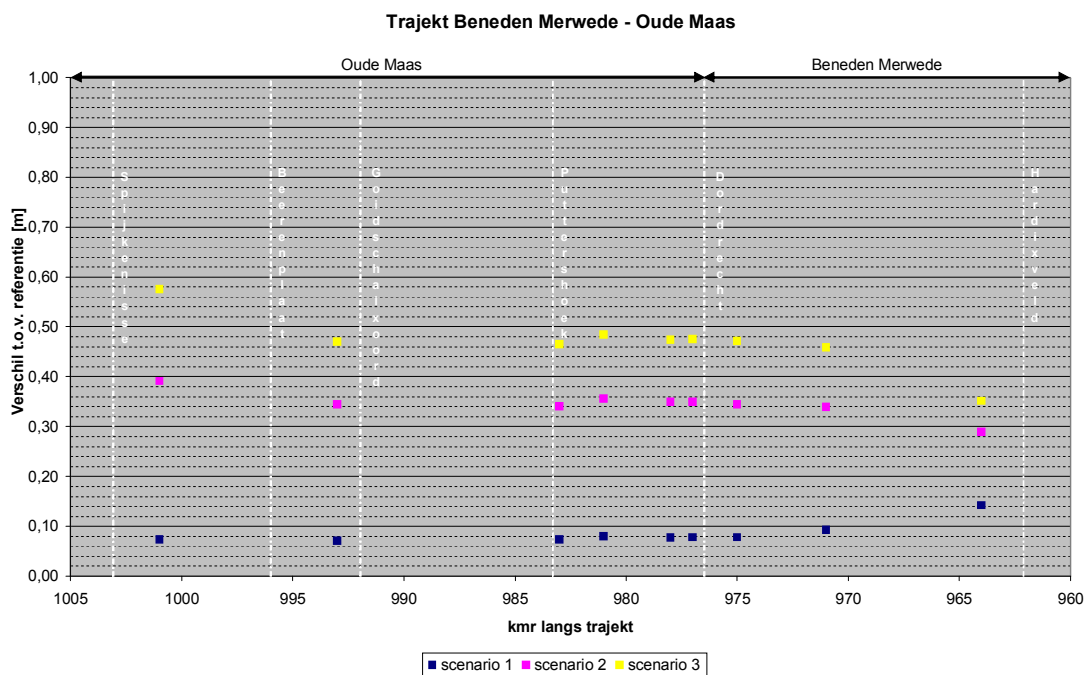
- De doorwerking van de zeespiegelstijging op de toetspeilen wordt bij een faalkans van de stormvloedkeringen in de Nieuwe Waterweg (Maeslantkering) en het Hartelkanaal (Hartelkering) van 1/100 per sluiting nauwelijks door deze keringen gereduceerd. Meer dan 95 % van de zeespiegelstijging dringt door in het watersysteem binnen de keringen, zowel op de Nieuwe Waterweg als bij de Haringvlietsluizen (Rijkswaterstaat, 2007). Binnen de keringen neemt het effect van de zeespiegelstijging landinwaarts af: eerst geleidelijk en vanaf de monding van de Lek, Nieuwe Merwede en Boven Merwede snel. Ongeveer 20 - 30 km stroomopwaarts van deze mondingen is van het effect van zeespiegelstijging weinig meer te merken.
- De doorwerking van de verhoging van de stormopzet wordt door de stormvloedkeringen meer gereduceerd dan de zeespiegelstijgingen. De reductie is 30 - 40% vlak achter de keringen in de Nieuwe Waterweg. Op het Haringvliet is dat 50 - 60% ter plaatse van de Haringvlietsluizen (bijvoorbeeld figuur 4.12, verschil tussen scenario's 2 en 3; figuur 4.13, verschil tussen scenario's 2 en 3).
- Het effect van de zeespiegelstijging en de stormopzet is dominant behalve in het uiterste oosten van het gebied. De verhoogde rivierafvoeren zijn vooral merkbaar op de Merwedes, tot 0,5 m in scenario 4 (figuur 4.13 en 4.16).

De scenario's 1 t/m 4 suggereren dat langs de Lek in het bovenstroomse deel van het gebied de toetspeilen lager worden bij stijgende zeespiegel en toenemende maatgevende Rijnafvoer (figuren 4.12 en 4.15). Deze uitkomst is niet betrouwbaar. Het is te wijten aan de wijze waarop in de analyse met de afvoerverdeling over de Rijntakken is omgegaan. Er is een afvoerverdeling toegepast waarbij de afvoer door de Lek begrensd is op de afvoer die onder de huidige omstandigheden bij 16.000 m³/s door de Lek zou stromen.

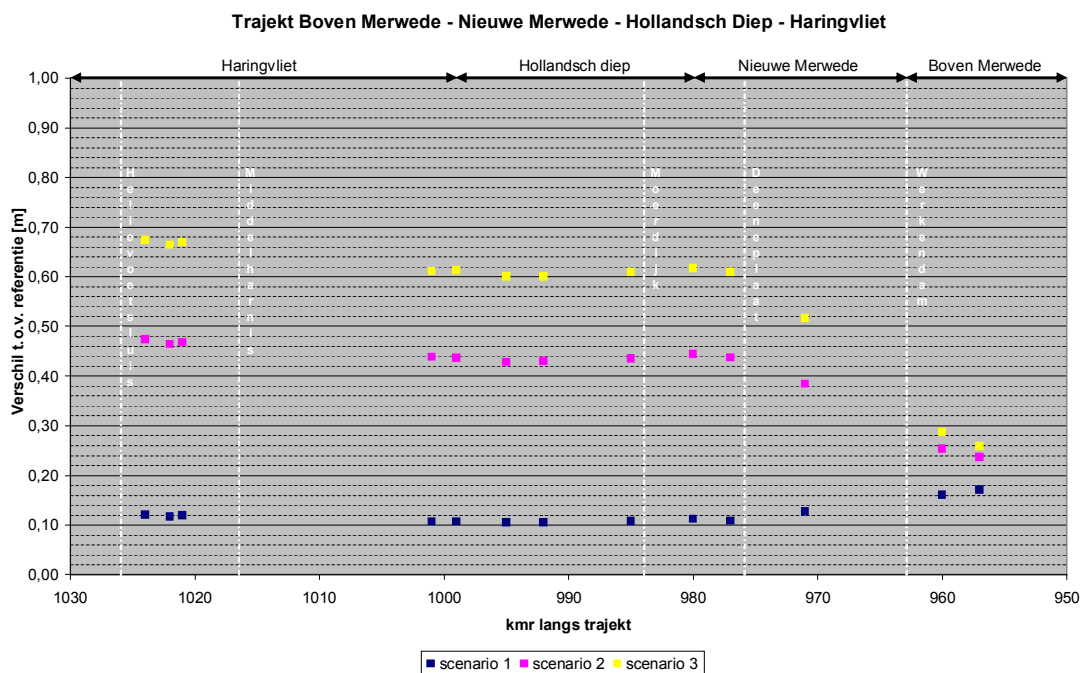
Zoals eerder aangegeven zijn de verschillen tussen actuele kruinhoogte en toetspeilen nodig om aan te kunnen geven waar het nu het eerste mis gaat. Duidelijk is dat de zeespiegelstijging door de Maeslantkering nauwelijks wordt gereduceerd in het achterliggende gebied. Het meest kwetsbare gebied, de Voorstraat in Dordrecht (0,3m waakhogte), komt als eerste in beeld bij een zeespiegelstijging van ongeveer 0,5 m. Daarna komen de buitendijkse gebieden van Rotterdam (variërend van ongeveer 1,5 m tot 5 m +NAP) in beeld. Ook onder de huidige omstandigheden heeft men hier soms te maken met het onderlopen van kades, en dus wateroverlast. Bij een verdere stijging komen de overige bedijkte gebieden met een minimale waakhogte in het geding zoals bijvoorbeeld de Noordelijke Lekdijk bij km 988 met een overhoogte van slechts 0,6 meter. Hier zullen bijvoorbeeld problemen ontstaan bij een zeespiegelstijging tussen de 0,5 en 1 meter.



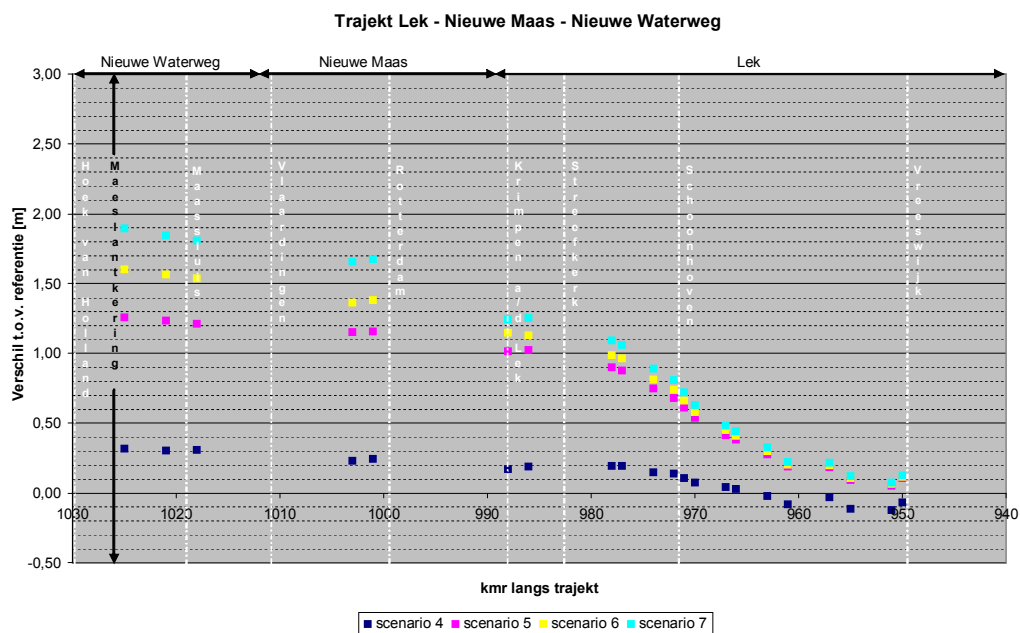
Figuur 4.12 Het effect van de scenario's 1, 2 en 3 (tabel 4.1) op de waterstanden in het traject Lek-Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg.



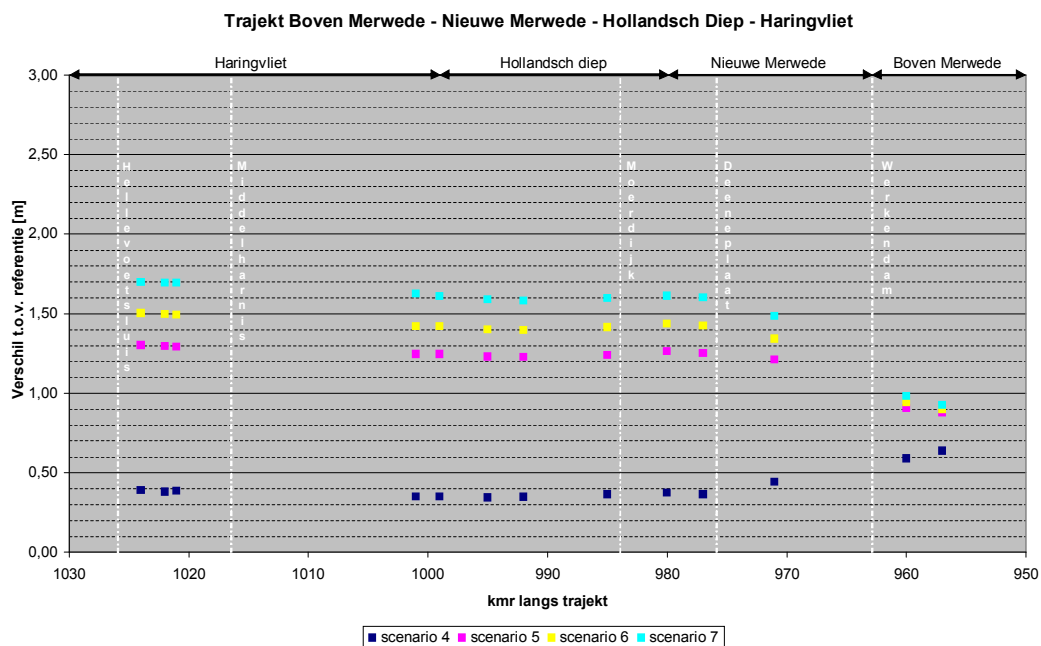
Figuur 4.13 Het effect van de scenario's 1, 2 en 3 (tabel 4.1) op de waterstanden in het trajekt Beneden Merwede – Oude Maas.



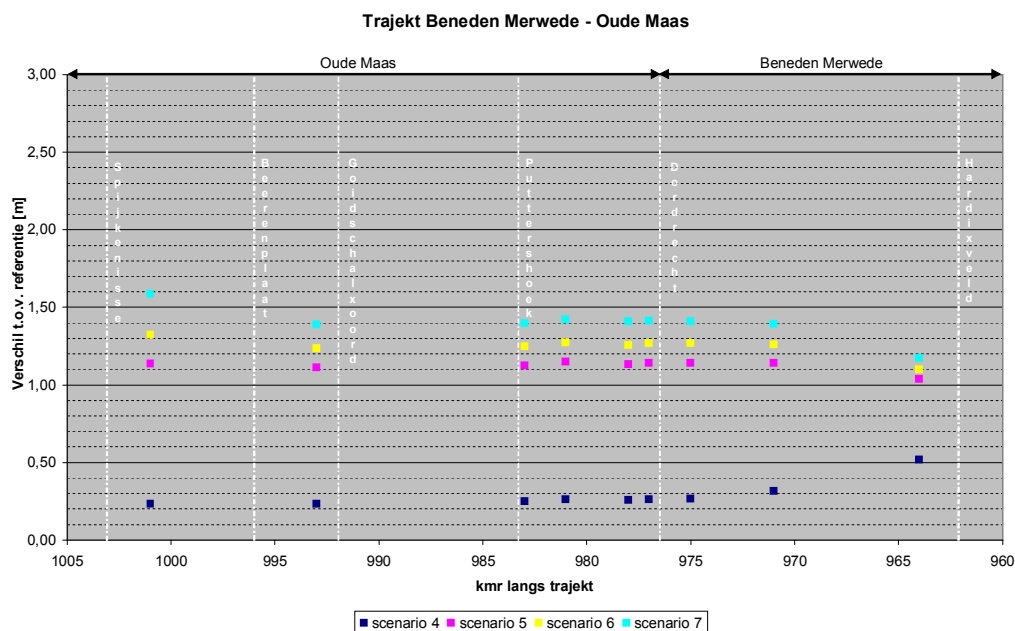
Figuur 4.14 Het effect van de scenario's 1, 2 en 3 (tabel 4.1) op de waterstanden in het trajekt Boven Merwede – Hollandsch Diep – Haringvliet.



Figuur 4.15 Het effect van de scenario's 4, 5, 6 en 7 (tabel 4.1) op de waterstanden in het trajekt Lek - Nieuwe Maas - Nieuwe Waterweg.



Figuur 4.16 Het effect van de scenario's 4, 5, 6 en 7 (tabel 4.1) op de waterstanden in het trajekt Boven Merwede - Hollandsch Diep - Haringvliet.



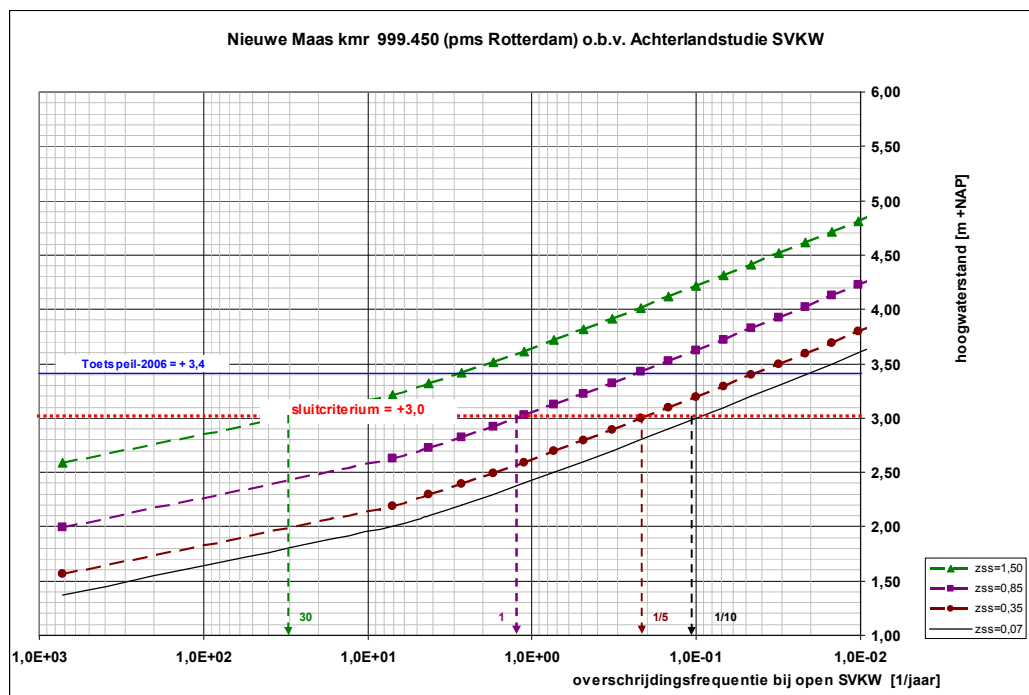
Figuur 4.17 Het effect van de scenario's 4, 5, 6 en 7 (tabel 4.1) op de waterstanden in het traject Beneden Merwede – Oude Maas.

4.7.6 Nikpunt in de tijd

Een waterstand van 50 cm boven de huidige toetspeilen lijkt een kritische grens te zijn voor een aantal plaatsen in het benedenrivierengebied. Dit knikpunt wordt alleen bereikt in de scenario's 3, 5, 6 en 7. Hierbij horen zeespiegelstijgingen van tenminste 50 cm. Bij hogere zeespiegelstijgingen zijn dijkversterkingen noodzakelijk. Deze worden volgens de KNMI'06 scenario's op zijn vroegst omstreeks 2060 (W scenario, hoge schatting) en op zijn laatst omstreeks 2170 (G scenario, lage schatting) gehaald. Bij een zeespiegelstijging van 130 cm per eeuw zou dit tussen 2030 en 2040 het geval zijn.

4.7.7 Sluitfrequentie en doorwerking Maeslantkering

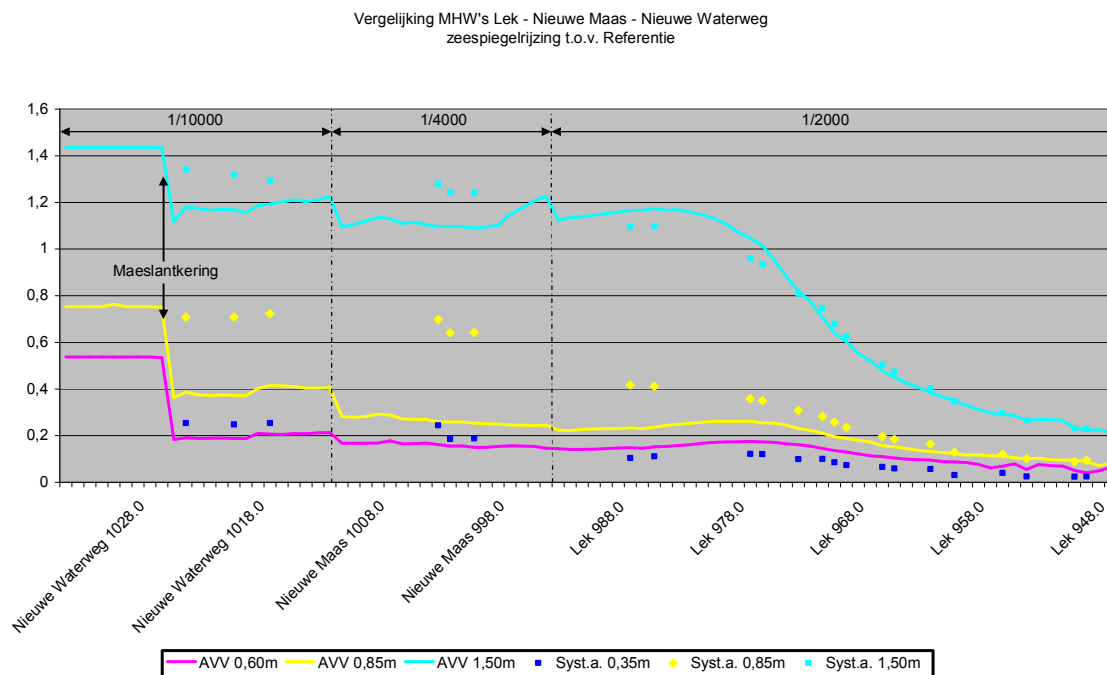
Bij handhaving van de huidige sluitcriteria voor de stormvloedkeringen zal de sluitfrequentie fors toenemen terwijl de keringen maar zeer beperkt bijdragen aan de afname van het effect van de zeespiegelstijging op de toetspeilen. Het is daarom de vraag of het niet verstandig is de sluitcriteria aan te passen. Bij een zeespiegelstijging van 0,85 cm zou de kering globaal 1-2 keer per jaar moeten sluiten, bij 1,50 m zeespiegelstijging zelfs globaal 30 keer per jaar (figuur 4.18).



figuur 4.18 Overschrijdingsfrequenties van waterstanden bij Rotterdam op basis van de Achterlandstudie Maeslantkering (Bruggers, 2006). De rode lijn geeft het sluitcriterium aan en de snijpunten van deze lijn met de waterstandlijnen de hierbij horende sluitfrequenties (1/jaar).

Niet duidelijk is of bij een dergelijke sluitfrequentie (alle sluitingen vinden plaats in het winterhalfjaar) wel of geen sprake is van een knikpunt. Deze frequentie is in ieder geval beduidend hoger dan de destijds met Rotterdam overeengekomen sluitfrequentie van 1 maal per 10 jaar waardoor dit kan leiden tot meer financieel-economische schade voor het havenbedrijf van Rotterdam (destijds geschat op 7 tot 10 miljoen gulden per dag). Duidelijk is in ieder geval dat de strategie om de Maeslantkering (en Hartelkering) in te zetten bij verdergaande zeespiegelstijging eindig is.

Bij grotere zeespiegelstijging blijkt de Maeslantkering nauwelijks meer effectief voor het verlagen van de toetspeilen (figuur 4.19). Dit komt door de relatief hoge faalkans van 1/100. Deze hoge faalkans betekent ook dat de toetspeilen van de waterkeringen landwaarts van de stormvloedkering relatief laag zijn waardoor de stormvloedkering vaker en langer dicht zal zijn, en waardoor het dus ook vaker voor zal komen dat achter de kering de waterstand door de rivierafvoer zal gaan stijgen. In de AVV business as usual case is nog gerekend met een faalkans van 1/1000 per sluiting. Zoals te zien is in figuur 4.19 maakt dit een groot verschil uit. Achter de stormvloedkering zien we dat met een faalkans van 1/1000 (doorgetrokken lijnen) de MHW (en dus het toetspeil) veel verder gereduceerd wordt dan met een faalkans van 1/100 (blokjes). Het verkleinen van de faalkans lijkt hiermee een goede optie om de veiligheid te vergroten. De maximaal haalbare faalkans is echter ingeschat op 1/200 (Rijkswaterstaat, 2007).



Figuur 4.19 Het effect van het sluitingsregime van de Maeslantkering op de maatgevende waterstanden landwaarts van de kering, uitgaande van een faalkans van de kering van 1/1000 per sluiting (AVV: getrokken lijn) en 1/100 per sluiting (Systeemanalyse Rijn-Maasmonding: blokjes).

4.8 IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied is het grootste zoetwaterreservoir van Nederland. Voor aan- en afvoer van zoetwater zijn de omliggende gebieden sterk afhankelijk van het peil in het IJsselmeer. Het waterpeil van het IJsselmeer wordt, door zijn geringe diepte, sterk beïnvloed door *windopzet*. Dit heeft twee nadelen: (1) opwaaiing in het IJsselmeer kan lokaal een flinke waterstandverhoging veroorzaken met als gevolg golfoploop en overslag over de dijken, en (2) wind uit het noorden verhoogt de waterstand bij de Afsluitdijk aan de kant van de Waddenzee en verlaagt de waterstand aan de kant van het IJsselmeer waardoor de afvoercapaciteit van de spuisluizen in de Afsluitdijk beperkt wordt.

4.8.1 Wat komt er op ons af

In de toekomst zullen de waterstanden in de Waddenzee verder stijgen.

Dit beperkt de tijdsduur waarin IJsselmeerwater onder vrij verval via de Afsluitdijk kan worden geloosd, met een hoger IJsselmeerpeil als gevolg. Tevens zullen de toenemende piekafvoeren vanuit de IJssel, en mogelijk ook hogere lozingen vanuit de omliggende gebieden, leiden tot een hoger peil in het IJsselmeer. Dit heeft tot gevolg dat het gemiddelde peil van het IJsselmeer, dus zonder windinvloeden, met ongewijzigde infrastructuur met meer moeite op het gewenste niveau gehouden kan worden.

4.8.2 Beheer en beleid

Het beheer van het IJsselmeer is gericht op het handhaven van de seizoensgebonden streefpeilen (zomer -0,2 m NAP en winter -0,4 m NAP in het IJsselmeer en Markermeer en zomer -0,05 m NAP en winter -0,3 m NAP voor de randmeren). Dit zijn gemiddelde peilen waarbij geen rekening is gehouden met lokale verschillen als gevolg van windopzet. Voor het IJsselmeergebied is nagegaan of het bieden van veiligheid, het beperken van de wateroverlast en het zeker stellen van de regionale watervoorziening kunnen worden gecombineerd in het licht van een veranderend klimaat (WIN-studie: Hebbink, 2000). Daartoe zijn in de WIN-studie drie verschillende aanpassingsstrategieën geformuleerd en geëvalueerd:

- Water direct afvoeren: water uit het Natte Hart zo snel mogelijk afvoeren naar zee en de huidige peilen in de meren en kanalen handhaven.
- Water verticaal bergen: geleidelijk stijgende meerpeilen met als consequentie dat er ruimte ontstaat voor een natuurlijker peilbeheer en het vergroten van de zoetwatervoorraad maar dat de waterkeringen moeten worden versterkt. Voor de regionale waterafvoer is dan extra gemaalcapaciteit nodig terwijl de huidige kanaalpeilen gelijk blijven.
- Water horizontaal bergen: landelijk gebied rondom de meren inzetten voor berging van overtollig water. Ook deze strategie levert mogelijkheden voor een natuurlijker peilverloop en de vergroting van de zoetwatervoorraad en als keerzijde de noodzaak van het versterken van de waterkeringen.

Naar aanleiding van de studie is besloten de spuicapaciteit van de Afsluitdijk te vergroten en een groot gemaal bij IJmuiden te bouwen met als doel tot 2050 het water direct te kunnen afvoeren. Naar verwachting is de zeespiegelstijging vanaf 2050 te groot om nog onder vrij verval te kunnen lozen. 'Meegroeien met de zee' (genoemd naar de strategie van het WereldNatuurfonds; WNF, 1996) is dan een optie voor een nieuwe strategie.

4.8.3 Nikpunten

Een belangrijk knikpunt in het peilbeheer van het IJsselmeer wordt bereikt als door stijgende zeespiegel de huidige streefpeilen nauwelijks meer door lozing via vrij verval kunnen worden gehandhaafd, ook niet als de bestaande sluizencomplexen worden uitgebreid. We nemen hierbij dan wel aan dat een structurele stijging van de streefpeilen (het huidige peilbesluit) niet aan de orde is.

Als ervoor wordt gekozen het IJsselmeerpeil met de zeespiegelstijging te laten meestijgen, kan onder vrij verval geloosd blijven worden. Dit betekent echter dat dijken langs het IJsselmeer en de IJssel moeten worden opgehoogd. Ook zouden uitwateringssluizen in aangrenzende gebieden door gemalen moeten worden vervangen.

4.8.4 Uitwerking

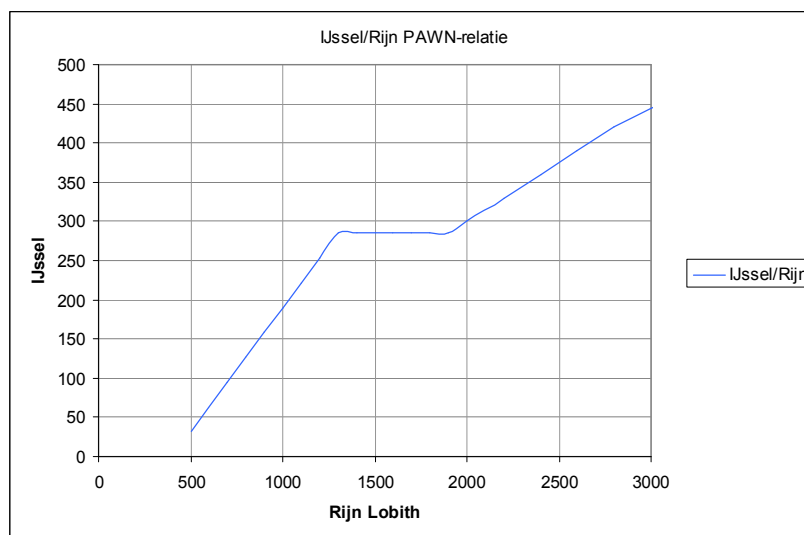
Een simpel bakjesmodel is gebruikt dat bestaat uit twee bakken met horizontale bodem en verticale wanden: het IJsselmeer en het Markermeer.

De bakken worden gevoed door de IJssel, door neerslag en door lozingen uit de aangrenzende gebieden. Water kan uit de bakken verdwijnen door inlaat van water naar de aangrenzende gebieden, verdamping, en door lozing naar de Waddenzee via de spuisluizen in de Afsluitdijk.

Het model bevat de volgende klimaatscenario's:

- Rijnaftervoer: een historische serie van dagafvoeren bij Lobith en correctiefactoren per kalendermaand voor elk klimaatscenario.
- Neerslag en verdamping: net als bij de Rijnaftervoer een historische serie en correctiefactoren.

De IJsselaftervoer wordt voor elk scenario berekend uit de Rijnaftervoer (de historische of een scenario aftervoer). Hierbij worden onderstaande verdeelsleutels bij Pannerdense kop en IJsselpop toegepast (figuur 4.20).



Figuur 4.20 De grootte van de IJsselaftervoer in relatie tot de Rijnaftervoer bij Lobith.

De lozingscapaciteit van de uitwateringssluizen in de Afsluitdijk hangt sterk af van de waterstand in de Waddenzee. Het model gebruikt een langjarige serie van dagwaarden van de gemiddelde waterstand bij Kornwerderzand buiten.

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit via de Afsluitdijk wordt gerekend met de gemeten waterstanden bij Kornwerderzand. De zeespiegelstijging van de gemiddelde waterstand in de Waddenzee kan in stapjes van 0.1 m worden ingesteld tussen 0 en +2 m NAP. De gemeten serie wordt hierbij aangepast.

Het IJsselmeer en Markermeer zijn verbonden via de sluisen in de Houtribdijk tussen Enkhuizen en Lelystad. Voor het bepalen van de onttrekkingen en lozingen vanuit en naar de gebieden die het IJsselmeer omringen zijn in het model twee benaderingen mogelijk:

- Een vaste reeks maandwaarden van onttrekkingen en lozingen, die elk jaar wordt herhaald. De serie kan worden vermenigvuldigd met een te kiezen factor om toekomstige situaties te kunnen simuleren.
- Een reeks waarden van neerslag en verdamping (historisch of scenario) waaruit, in combinatie met de oppervlakte van het omringende gebied, waarden voor de onttrekkingen en lozingen worden berekend. Per dijkkring wordt bepaald welk percentage van de oppervlakte water onttrekt van of loost naar het IJsselmeer en het Markermeer.

Het model is sterk geschematiseerd. Daarom worden de waarden van neerslag en verdamping simpelweg vermenigvuldigd met het toegedeelde oppervlak om tot lozingen en onttrekkingen te komen. Eigenlijk zouden gewasfactoren, neerslag-afvoer relaties en dergelijke moeten worden toegepast. Bij de resultaten van het model moet verder worden bedacht dat deze benadering ervan uitgaat dat de lozingscapaciteit vanuit de districten onbegrensd is en de verdamping altijd gecompenseerd kan worden uit het IJsselmeer of Markermeer.

Met het instrument zijn de veranderingen in IJsselmeerpeil onderzocht uitgaande van een aantal combinaties van verschillende scenario's voor zeespiegelstijging (0-40cm), rivierafvoer (geen verandering, KNMI'06 scenario's) en het al dan niet inzetten van de voorgenomen (1,5 keer hogere dan de huidige) extra spuicapaciteit langs de Afsluitdijk.

Een knikpunt, waarbij het waterbeheer voor het IJsselmeer heroverwogen zou moeten worden, treedt op als de omstandigheden zodanig veranderd zijn dat de hogere peilen vaker zullen voorkomen en hoger zijn dan de peilen in het huidige peilbesluit.

De uitkomsten van de simulaties zijn geëvalueerd met het oog op een verandering van het beschermingsniveau tegen overstromen. De uitkomsten zijn geïnterpreteerd op basis van veranderingen van peilduur. Het uitgangspunt is hierbij dat zolang de duur van de hogere peilen niet afwijkt van de huidige situatie en/of het peil niet hoger wordt dan het huidige maximale peil, de veiligheid niet veel verandert ten opzichte van de huidige omstandigheden.

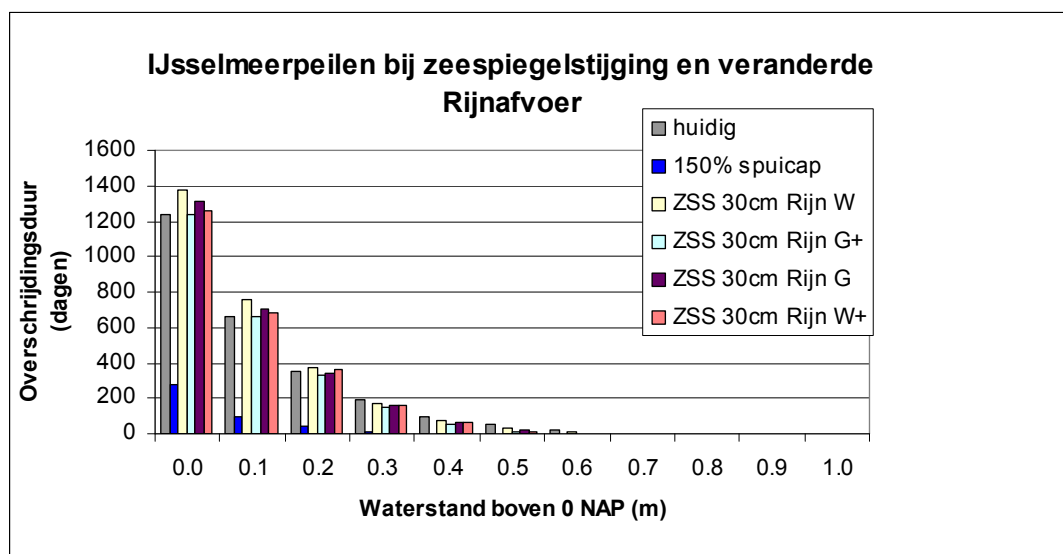
De duurlijnen voor de huidige omstandigheden zijn bepaald door de zogenaamde controle simulatie, waarbij de afvoerreeks van de Rijn van 1961-2004 en het gemeten getij langs de Afsluitdijk als randvoorwaarden zijn gebruikt. De duurlijnen voor waterstanden in het IJsselmeer in de toekomst zijn bepaald door simulaties waarin de historische meetseries zijn aangepast met de verwachte toekomstige veranderingen in zeespiegel en Rijnaflow.

4.8.5 Resultaten

Niet verwonderlijk is dat de diverse simulaties laten zien dat de maximale waterstanden in het IJsselmeer veel gevoeliger zijn voor zeespiegelstijging dan voor veranderingen in rivierafvoer.

Indien alleen uitgegaan wordt van de veranderingen in zeespiegelstanden kan volgens deze analyse met de voorgenomen uitbreiding van de spuicapaciteit bij de Afsluitdijk het huidige veiligheidsniveau tot ongeveer 30 cm zeespiegelstijging gehandhaafd blijven. Figuur 4.21 laat dit zien. De blauwe staafjes illustreren dat bij een vergroting van de afvoercapaciteit van de Afsluitdijk met (de voorgenomen) 50% het aantal dagen dat, bij het huidige klimaat (de grijze staafjes), hoge waterstanden op het IJsselmeer worden overschreden, sterk afneemt. Dankzij dit effect leiden een 30 cm hogere zeestand en hogere rivierafvoeren volgens de KNMI-scenario's voor 2050 (de andere staafjes) niet tot langere overschrijdingsduren van die waterstanden ten opzichte van de huidige situatie.

Volgens de huidige KNMI-scenario's wordt verwacht dat de zeespiegel op zijn vroegst omstreeks 2040-2050 30 cm gestegen zal zijn. Volgens een laag zeespiegelstijgingsscenario (G) wordt dit niveau omstreeks 2090 bereikt.



Figuur 4.21 Het aantal dagen (overschrijdingsduur) waarop het IJsselmeerpeil verschillende niveaus overschijdt. De referentieperiode is 1961-2004 (16070 dagen) bij een combinatie van (een aangenomen) zeespiegelstijging en veranderde (voor 2050 verwachte) Rijnafvoer.

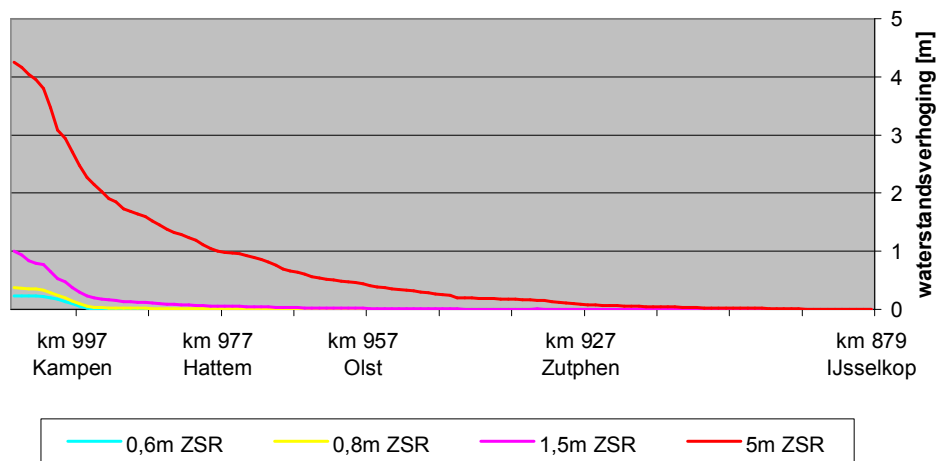
4.8.6 IJsseldelta

De IJsseldelta wordt als het meest kritische gebied gezien als het peil in het IJsselmeer stijgt. De ontwikkeling van de waterstand in de IJsseldelta onder invloed van klimaatverandering is in AVV (AVV, 2008) onderzocht (figuur 4.22). Voor AVV is een grove, niet probabilistische inschatting gemaakt. De waterstandeffecten onder invloed van de IJsselmeerpeilstijging zijn bepaald uit berekeningen met extreme afvoer op de bovenrand en het, met de Q-h relatie berekende, Ketelmeerpeil op de benedenrand. Dit Ketelmeerpeil is vermeerderd met de betreffende IJsselmeerpeilstijging. Het waterstandeffect is verkregen door de berekening met IJsselmeerpeilstijging te verminderen met de uitkomsten van de referentieberekening. De waterstandeffecten zijn ingeschat op basis van berekeningen met het tweedimensionale model WAQUA en de volgende randvoorwaarden:

- De debieten op de bovenrand van de IJssel zijn de debieten volgens de beleidsmatige afvoerverdeling (standaardafvoerverdeling).
- De laterale instromingen langs de IJssel zijn gebaseerd op de laterale instromingen van de Thermometer Randvoorwaarden 2006 (permanent).

De waterstandeffecten in de IJsseldelta zijn bepaald door interpolatie en extrapolatie van de resultaten van de AVV studie. De methode die in AVV is gebruikt om de waterstandeffecten in te schatten is indicatief: voor een nauwkeurigere inschatting is een probabilistische methode vereist. Omdat de hier gepresenteerde inschatting is gebaseerd op de AVV-berekeningen, zijn ook de resultaten in dit rapport indicatief.

**waterstandsverhogingen op de IJssel t.g.v. zeespiegelstijging
na uitvoering langetermijnvisie PKB Ruimte voor de Rivier**



Figuur 4.22 Waterstandverhoging in de IJsseldelta voor verschillende scenario's van stijgende peilen op het IJsselmeer (AVV, 2008)

4.8.7 Conclusie

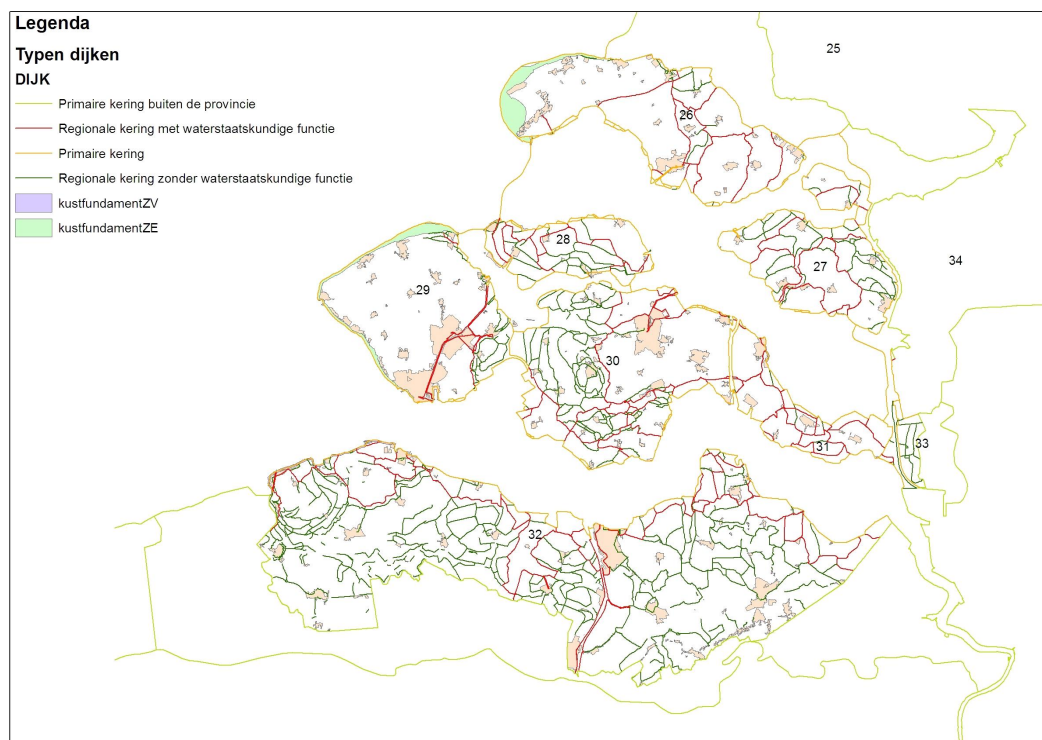
Omdat de stijging van de zeespiegel een veel groter effect op het IJsselmeerpeil kan hebben dan veranderingen in Rijnafvoer, hebben de scenario's voor de rivierafvoer weinig invloed op het bereiken van het knikpunt voor het beheer van het IJsselmeer. Hierbij komt dat de trend in zeespiegelstijging veel zekerder is dan die in de veranderende rivierafvoer. De resultaten laten zien dat met de voorgenomen uitbreiding van de spuicapaciteit, het huidige peilbeheer in ieder geval tot ongeveer halverwege deze eeuw kan worden gehandhaafd. Indien de zeespiegelstijging zich volgens een lager scenario zal voltrekken is het mogelijk dat de maatregelen voldoende blijken tot 2080.

Het meest kritische gebied is de IJsseldelta. Deze delta is gevoelig voor zowel vergroting van de rivierafvoer als de zeespiegelstijging. Het effect van de vergroting van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk, waardoor de meerpeilstijging vrij lang beperkt kan blijven, is erg belangrijk. De verhoging van de waterstanden in de IJsseldelta is het resultaat van de optelsom van meerpeil- en rivierinvloeden: als het meerpeil beperkt stijgt, drukt de toename van de rivierafvoer een zwaarder stempel op de waterstanden in de delta.

4.9 Bescherming tegen overstromen in de Zeeuwse delta

4.9.1 Knikpunten

De Zeeuwse delta heeft vele kleine polders die direct langs de kust liggen (figuur 4.23). Bij grote zeespiegelstijging kan een moment komen dat het vanuit het oogpunt van kosten/baten niet langer zinvol is deze kleine polders te blijven beschermen. De kosten betreffen in dit geval de investeringskosten voor maatregelen als zandsuppletie en/of dijkverhoging. De baten hebben betrekking op de vermeden (potentiële) schade en het vermeden aantal slachtoffers bij een eventuele overstroming.



Figuur 4.23 Kleine kustpolders in Zeeland.

4.9.2 Uitwerking

Belangrijk in deze discussie is de functie die de kleine polders hebben in overstromingssituaties. In de meeste gevallen blijken de kleine polders namelijk ook een compartimenteringfunctie te hebben bij overstromingen en dragen ze op die manier bij aan extra bescherming van het achterland: omdat de kleine polder bij een dijk- of duindoorbraak als eerste volloopt ('badkuip'), loopt het achterliggende gebied minder snel vol en/of wordt de waterdiepte beperkt. In sommige gevallen blijft het overstroomde gebied zelfs beperkt tot de kleine polder.

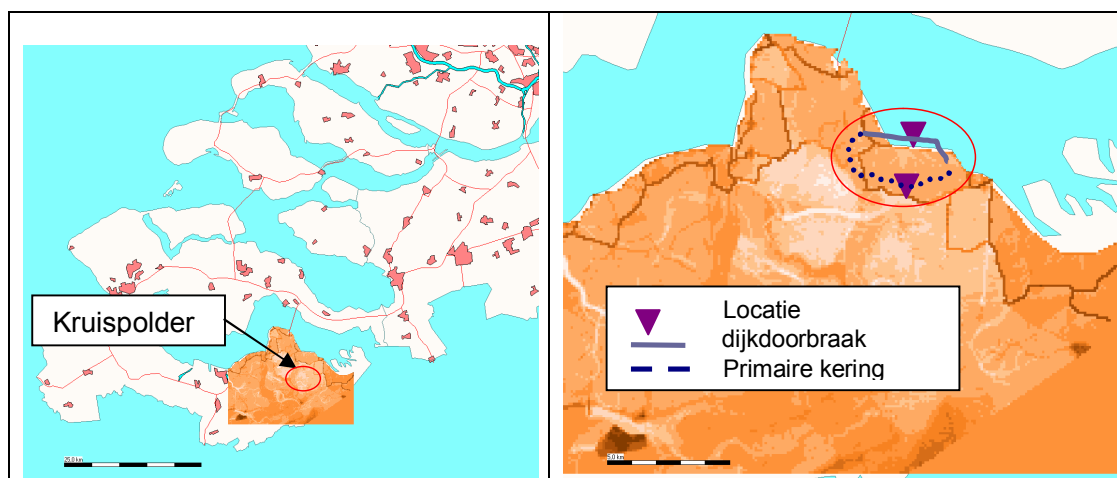
Vaak bevinden de kwetsbare steden zich achter de secundaire kering in plaats van in de kleine polders. Daarom moeten, bij de bepaling van het beschermingsbeleid voor de kleine polders, niet alleen de verandering van risico's voor de kleine polders in kaart worden gebracht maar moeten ook de effecten voor het achterliggende gebied worden gezien. Denk hierbij ondermeer aan de grootte van het potentieel overstroombare oppervlak, de waarde van de economische belangen en het potentieel aantal getroffen inwoners.

De analyse van het knikpunt in het beleid ten aanzien van de kleine polders is uitgevoerd voor de case Kruispolder in Zeeuws-Vlaanderen (figuur 4.24).

Gebruikmakend van een overstromingsmodel voor Zeeuws-Vlaanderen uit het Delta2003 project zijn verschillende simulaties uitgevoerd om het overstromingseffect van een dijkdoorbraak in de (verlegde) primaire waterkering op het achterliggende gebied te bepalen. Daarbij is uitgegaan van 85 cm zeespiegelstijging aan het eind van deze eeuw en geen veranderingen in het landgebruik. De potentiële economische schade en het potentiële aantal getroffen inwoners zijn geschat met behulp van de HIS schade- en slachtoffermodule en de berekende maximum waterdieptekaarten. Hierbij gelden de onderstaande aannames:

- Veranderingen in het toekomstig landgebruik en prijspeil zijn niet meegenomen in de berekeningen.
- Er is geen rekening gehouden met veranderende beheer- en onderhoudskosten bij de verschillende alternatieven.
- Er is geen rekening gehouden met verandering van overstromingskansen voor de verschillende alternatieven. Zo zal de overstroming van de Kruispolder zelf significant toenemen wanneer de primaire waterkering wordt verwijderd en neemt de kans voor het achterliggende gebied juist af bij het dubbelwandige alternatief.

De investeringskosten zijn alleen kwalitatief beschreven; er is geen rekening gehouden met de (veranderde) lengte van de primaire kering. Voor de Kruispolder geldt overigens dat de lengte van de opgehoogde secundaire kering langer is dan de huidige primaire kering.



Figuur 4.24 Lokale situatie Kruispolder.

4.9.3 Resultaten en conclusies

De resultaten van de simulaties en de uitgevoerde berekeningen suggereren dat het “opgeven” van de polder alleen zinvol is als de huidige kering gehandhaafd blijft. Afgraven van de primaire of secundaire kering zal de huidige situatie duidelijk verslechteren.

De conclusie is dan ook dat op grond van kosten-batenoverwegingen wordt aangeraden de kleine polders niet zomaar op te geven, aangezien zij vaak een belangrijke compartimenteringfunctie vervullen. Als men dit toch overweegt, zouden eerst de gevolgen voor zowel de polder zelf als het achterliggende gebied nader onderzocht moeten worden. Er is dus geen sprake van een knippunt in het algemene beleid voor de kleine polders.

5 Natuur

Fysische, chemische en morfologische factoren bepalen de kansrijkheid van habitats en soorten. Als deze factoren door klimaatverandering wijzigen, kunnen knikpunten ontstaan. Die knikpunten kunnen verschillend van aard zijn: (1) ruimtelijk, als soorten en habitats door barrières of te weinig ruimte niet met de klimaatzones kunnen opschuiven, (2) fysisch, als de gewenste fysische omstandigheden uit technisch of kosten oogpunt niet langer kunnen worden gehandhaafd, of (3) maatschappelijk, als de huidige natuurdoelstellingen niet meer acceptabel zijn.

Voor het IJsselmeer en Markermeer wordt een knikpunt bereikt als peilstijging in het voorjaar en de zomer leidt tot het verdrinken van ondiepe habitats. Wat de concentratie algen betreft is al een knikpunt bereikt: nu en in de toekomst zullen de natuurdoelen voor wat betreft de concentratie algen niet gehaald worden. Een afname van het slibgehalte met 25 tot 50% markeert, vooral in combinatie met een afname van de stikstofbelasting, een positief knikpunt voor de waterkwaliteit. Afhankelijk van de diersoort, wordt voor de watertemperatuur een knikpunt bereikt bij 20 tot 26°C.

Een knikpunt voor de kust wordt bereikt als platen, slikken en schorren (kwelders) niet langer met de zeespiegelstijging kunnen meegroeien en verdrinken. Dit kan bij zandplaten al bij 3-10 mm zeespiegelstijging per jaar gebeuren. De zeespiegelstijging volgens de huidige KNMI-scenario's (30-85 cm deze eeuw) is dus kritisch: bij een nog snellere stijging wordt voor de platen, slikken en schorren/kwelders zeker een knikpunt bereikt.

5.1 Beleid en beleidsdoel

Het beleid wordt niet alleen door nationale wetgeving maar ook door internationale regelgeving bepaald. Er bestaat een hiërarchie in wet- en regelgeving. Internationale wetgeving staat doorgaans boven nationale wetgeving welke vervolgens boven provinciale en gemeentelijke plannen en verordeningen staan. In de praktijk komt het er op neer dat de EU richtlijnen het kader scheppen voor nationale wetgeving en dat deze op haar beurt het kader schept voor provinciale en gemeentelijke plannen en verordeningen.

De huidige natuurdoelstellingen in Nederland zijn voornamelijk geënt op drie Europese richtlijnen, te weten: de Kaderrichtlijn Water, de Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn. Deze drie richtlijnen worden in deze studie als uitgangspunt gehanteerd. Overigens wordt het natuurbeleid ook bepaald door de Kaderrichtlijn Mariene Milieu (in ontwikkeling), de zwemwaterrichtlijn en de nitraatrichtlijn.

De doelen van de Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn komen samen in de instandhoudingdoelen van de Natura2000 gebieden. Deze doelen zijn gericht op het behoud, beschermen en verbeteren van kenmerkende en/of zeldzame natuur, wat tot uitdrukking wordt gebracht in de aanwezigheid van soorten en habitats. Doelen zijn daarom gekoppeld aan het voorkomen van specifieke soorten en habitats, en de mate waarin (variëteit en hoeveelheid). Daarnaast zijn voor de KRW ook doelen ten aanzien van waterkwaliteitsparameters opgesteld. De doelen voor de KRW moeten in 2015 worden bereikt. Dan zullen ook de maatregelenprogramma's worden geëvalueerd, hetgeen vervolgens elke 6 jaar opnieuw zal gebeuren.

Voor het landelijke gebied is ook het verdrogingsbeleid van belang. Het verdrogingsbeleid had tot voor kort tot doel de verdroging in 2010 met 40% te reduceren. Sinds begin 2007 richt de verdrogingsbestrijding zich op de gebieden die op de provinciale TOP-lijsten staan. Dat zijn tenminste de Natura 2000-gebieden met (grond)waterafhankelijke natuur, en daarnaast overige prioritaire (niet alle) gebieden van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Waterschappen hebben in 2007 concept-GGOR's (Gewenste Grond en OppervlaktewaterRegime's) opgesteld, die voor 2015 moeten zijn bereikt. In 2010 en 2015 zal worden gekeken of de doelen (kunnen) worden gehaald.

Indien dit niet het geval is (bijvoorbeeld als de benodigde maatregelen buiten het beschikbare budget vallen), kunnen extra maatregelen worden getroffen of worden de doelen bijgesteld. Naar aanleiding van de droogte in 2003 en de eerste resultaten van de Droogtestudie Nederland (Rijkswaterstaat, 2005) heeft natuur een expliciete plek in de verdringsreeks gekregen (figuur 5.1).



Figuur 5.1 De verdringsreeks (Bron: handreiking watertekort en warmte juni 2006, RWS/RIZA; tevens www.Droogtestudie.nl).

Maatregelen die worden ingezet om al deze natuurdoelen te bereiken zijn:

- Het uitbreiden of creëren van geschikte habitats. Denk daarbij aan het aanleggen van ondiepe oeverzones in meren, het opheffen van barrières voor trekvis en het hermeanderen van beken.
- Het instellen van een ander peilbeheer of aan- en afvoerregime van water.
- Het optrekken van beschermingszones waarbinnen bepaalde activiteiten niet meer mogen plaatsvinden.
- Het versterken van de EHS om er voor te zorgen dat soorten de beschermde gebieden ook daadwerkelijk kunnen bereiken.
- Het geven van ruimte aan de natuur zodat de natuur zich kan uitbreiden en/of verplaatsen en zich in de tijd kan ontwikkelen.

In het huidige beleid wordt veelal gestreefd naar functiecombinatie en wordt natuur zoveel mogelijk met maatregelen voor andere beleidsdoelen meegenomen.

5.2 Wat komt er op ons af?

Klimaatverandering en zeespiegelstijging beïnvloeden de natuur:

- direct via een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer (deze effecten zijn hier niet geanalyseerd);
- direct via temperatuurstijging;
- indirect via andere watersysteemcondities (waterkwantiteit en waterkwaliteit) en
- indirect via de reactie van de maatschappij op klimaatverandering (bijvoorbeeld wat doen we met het IJsselmeerpeil, hoe maken we meer ruimte voor de rivier).

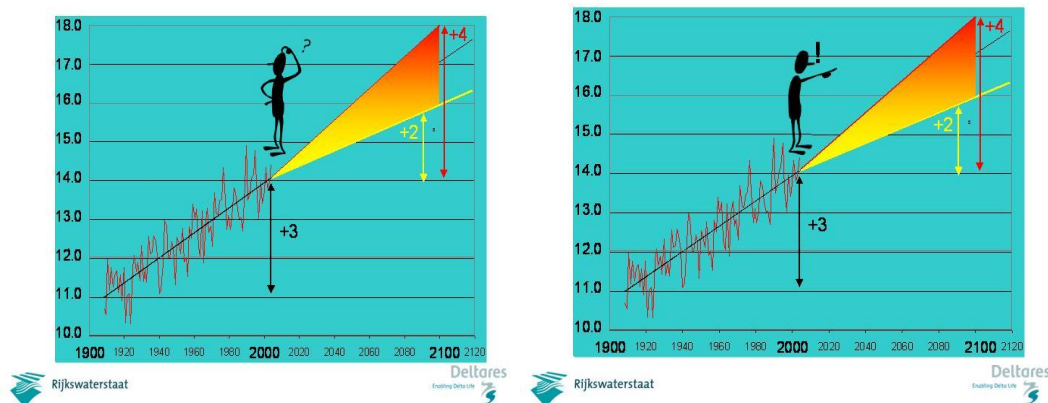
De effecten van klimaatverandering verschillen per type natuur. Dit heeft te maken met het feit dat voor verschillende natuurtypen verschillende milieuecondities van belang zijn. Voor aquatische natuur zijn dit vooral de temperatuur, waterdiepte, waterstroming en waterkwaliteit (nutriënt, zuurgraad en doorzicht). Voor terrestrische natuur zijn dit de temperatuur, de grondwaterstand, het zoutgehalte, de zuurgraad en het nutriëntengehalte. Langs de rivieren zijn de overstromingsduur, -diepte en -frequentie belangrijke omgevingsfactoren. Bij de kustnatuur zijn voornamelijk de hydro- en morfodynamiek van belang.

Ook de anticiperende maatregelen die vanuit het waterbeheer genomen worden, zullen effect hebben op de natuur. Deze effecten kunnen groter zijn dan de effecten van klimaatverandering zelf (Haasnoot *et al.* 2004).

Vanwege klimaatverandering kunnen de instandhoudingdoelen extra onder druk komen te staan. Natuur heeft zich altijd aan moeten passen aan klimaatveranderingen, soms met het verdwijnen van soorten en habitats tot gevolg. Echter, in de huidige situatie heeft de natuur al te maken met stressfactoren door menselijke invloeden waardoor de natuur weinig flexibel en veerkrachtig is om zich aan te passen. Bovendien zou de huidige verwachte klimaatverandering wel eens sneller kunnen gaan en groter kunnen zijn dan die in het verleden. De natuur heeft dan minder tijd om zich aan te passen. Doordat de seizoenen van vogeltrek en groei van bomen en gewassen uit fase kunnen gaan lopen, kunnen soorten in moeilijkheden komen omdat de voortplantingskans daardoor geringer wordt. Voor de Noordzee zijn in dit kader een aantal studies uitgevoerd (Beaugrand, 2004).

5.3 Nikpunten

Een **ruimtelijk** knikpunt ontstaat wanneer habitats en soorten sterk verminderen in respectievelijk areaal en aantal. Dit kan komen doordat er te weinig ruimte is om op andere plekken te kunnen ontstaan, doordat ze vanwege fysieke barrières niet met de klimaatzone kunnen opschuiven (vanwege dijken, kustverdediging of steden), of doordat de fysische omstandigheden sterk veranderen. Dit laatste is ook als **technisch** of **kosten** knikpunt te interpreteren, bijvoorbeeld als in het waterbeheer de gewenste fysische omstandigheden niet meer kunnen worden gehandhaafd vanwege technische of kostenoverwegingen of als de benodigde ruimte die nodig is voor de kustverdediging te groot wordt. Een **maatschappelijk** knikpunt kan plaatsvinden wanneer we (de maatschappij, de overheid of de EU) vinden dat de huidige doelstellingen niet meer acceptabel zijn. Een voorbeeld hiervan zou kunnen zijn het aanpassen van de doelstelling om een bepaalde soort te behouden omdat voor dat behoud zoveel 'kunst en vliegwerk' moet worden toegepast, dat we eigenlijk vinden dat de soort hier niet meer thuis hoort (figuur 5.2).



Figuur 5.2 Natuurdoelen worden vastgesteld op basis van referentiebeelden uit het heden en verleden. Beter is om hierin ook naar de toekomst te kijken.

Intermezzo 4: knikpunten door functioneel en adaptief gedrag

Knik- of omslagpunten voor strategieën om natuurdoelen te realiseren kunnen plaatsvinden als reactie op veranderingen in de omgeving (functioneel gedrag) of door ontwikkelingen in de natuur zelf (adaptief gedrag).

Een knikpunt door **functioneel gedrag** wil zeggen dat gereageerd wordt op een verandering van milieucondities door bijvoorbeeld waterbeheer, landgebruik of klimaatverandering. In sommige natuurgebieden kan zelfs een tijdelijke gebeurtenis resulteren in een grote omslag.

Van een knikpunt door **adaptief gedrag** is sprake als de natuur zelf, vanuit de eigen dynamiek en intrinsieke kenmerken (zoals zelfregulatie van populaties en ander spontaan gedrag), verandert in een ander systeem.

In deze studie richten we ons op de knikpunten als gevolg van (tijdelijke) veranderingen in de milieucondities, zoals waterkwantiteit, -kwaliteit, verstoring, die veroorzaakt worden door klimaatverandering, waterbeheer en landgebruik.

5.4 IJsselmeer en Markermeer

5.4.1 Natuurbeleid en indicatorsoorten

Waterplanten, macrofauna en kleine vis zijn sleutelsoorten voor de aquatische ecosystemen in het gebied omdat ze een belangrijke bron van voedsel dan wel habitat voor andere soorten zijn. Indicatorsoorten voor het natuurbeleid zijn:

- kranswieren: belangrijk voor plantetende watervogels, als opgroeigebied voor vissen en (aanwezigheid in voldoende mate) als voorwaarde voor helder water (randmeren);
- driehoeksmosselen: belangrijk als voedsel voor duikeenden en blankvoorns, en vanwege de invloed op de helderheid van het water (door filteren algen);
- spiering: voedsel voor visetende watervogels.

Daarnaast zijn er in de ondiepe delen belangrijke zones voor het bereiken van de natuurdoelen. Bij het analyseren van knikpunten wordt daarom vooral naar deze soorten en zones gekeken.

5.4.2 Fysische randvoorwaarden

Het voorkomen van deze soorten hangt sterk samen met een aantal stressfactoren door klimaatverandering en menselijk handelen:

- het peil(beheer) - in verband met lichtklimaat, waterdiepte en droogval voor de groei van vegetatie en de bereikbaarheid van voedsel.
- temperatuur – soorten stellen eisen aan de minimum en maximum temperatuur voor de groei en reproductie. Temperatuur is ook van invloed op het vóórkomen van algen en dus het lichtklimaat.
- nutriënten – zijn van belang voor het vóórkomen van algen en hierdoor voor het lichtklimaat en de hoeveelheid voedsel voor andere soorten. Algen beïnvloeden naast het lichtklimaat ook de beschikbaarheid van zuurstof.
- het sedimentgehalte in de waterkolom - door een eventuele toename van de windsnelheid en daarmee de hoogte van de golven (kans hierop nu ingeschat op 50/50, zie hoofdstuk 3) kan met name in grote ondiepe meren de opwerveling van sediment toenemen.

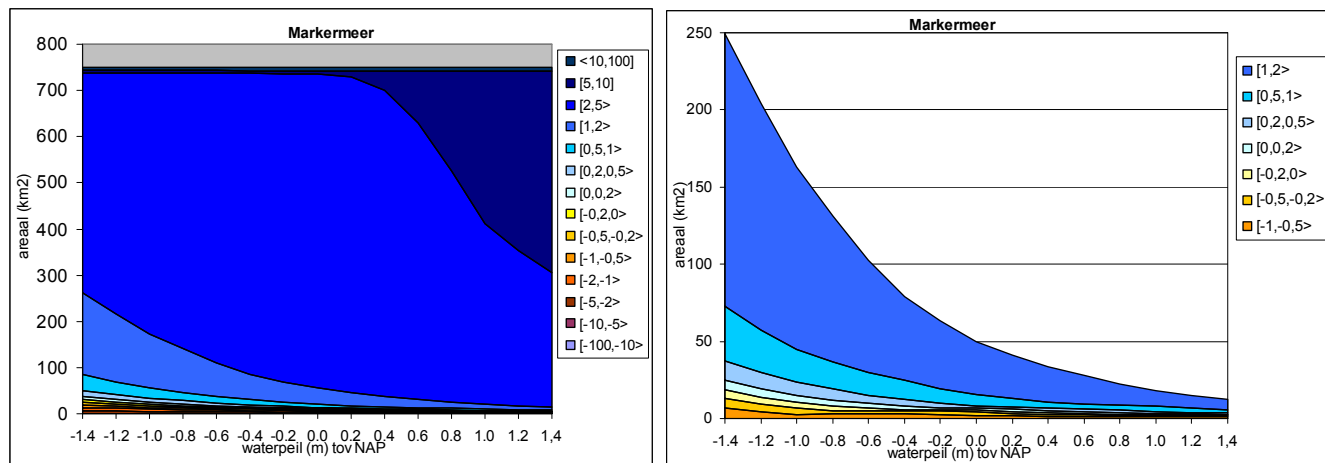
Het peilbeheer en het sedimentgehalte kunnen ook veranderen door adaptatiemaatregelen voor andere doeleinden dan natuur. Het peilbeheer kan bijvoorbeeld veranderen doordat wordt gekozen het peil met de zeespiegelstijging te laten meestijgen. Het sedimentgehalte in de waterkolom kan veranderen door de aanleg van vooroevers om golfoploop te verminderen waardoor minder sediment wordt opgewerveld.

Knikpunten treden dus op als genoemde factoren dusdanig veranderen dat deze sterk negatieve gevolgen zullen hebben op de genoemde indicatorsoorten en daarmee de beleidsdoelstellingen niet meer kunnen worden gehandhaafd.

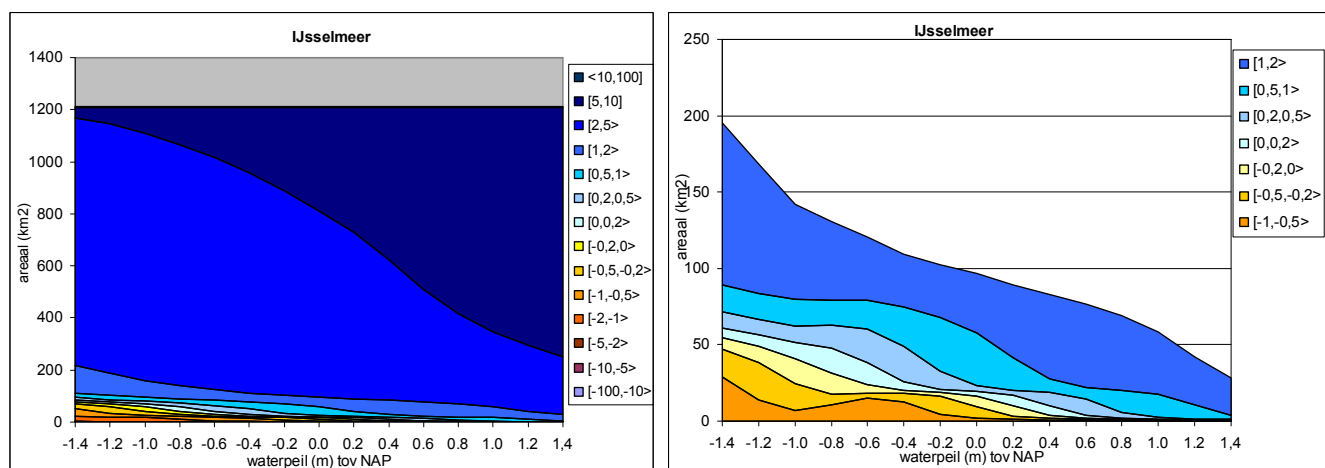
5.4.3 Uitwerking naar habitats

De natuur in het IJsselmeergebied is sterk afhankelijk van de waterdiepte(verdeling). Waterplanten hebben ondiep water (< 2 m) nodig om voldoende licht te hebben om te groeien. Verschillende watervogels halen hun voedsel van verschillende dieptes. Steltlopers en grondeleenden foerageren in zeer ondiep water (< 0.2 m) terwijl duikeenden hun voedsel wel tot 5 m diepte kunnen halen. Daarnaast komt riet voor in ondiepe zones en zones die af en toe onder water staan. Dit vormt weer een leefgebied voor andere diersoorten, zoals bijvoorbeeld de Karakiet en de Roerdomp. Met name de ondiepe zones (< 2 m) zijn dus belangrijk voor natuur. Als het huidige waterpeil niet meer gehandhaafd kan worden en besloten wordt het peil te laten meestijgen met de zeespiegelstijging komen nieuwe knikpunten in beeld.

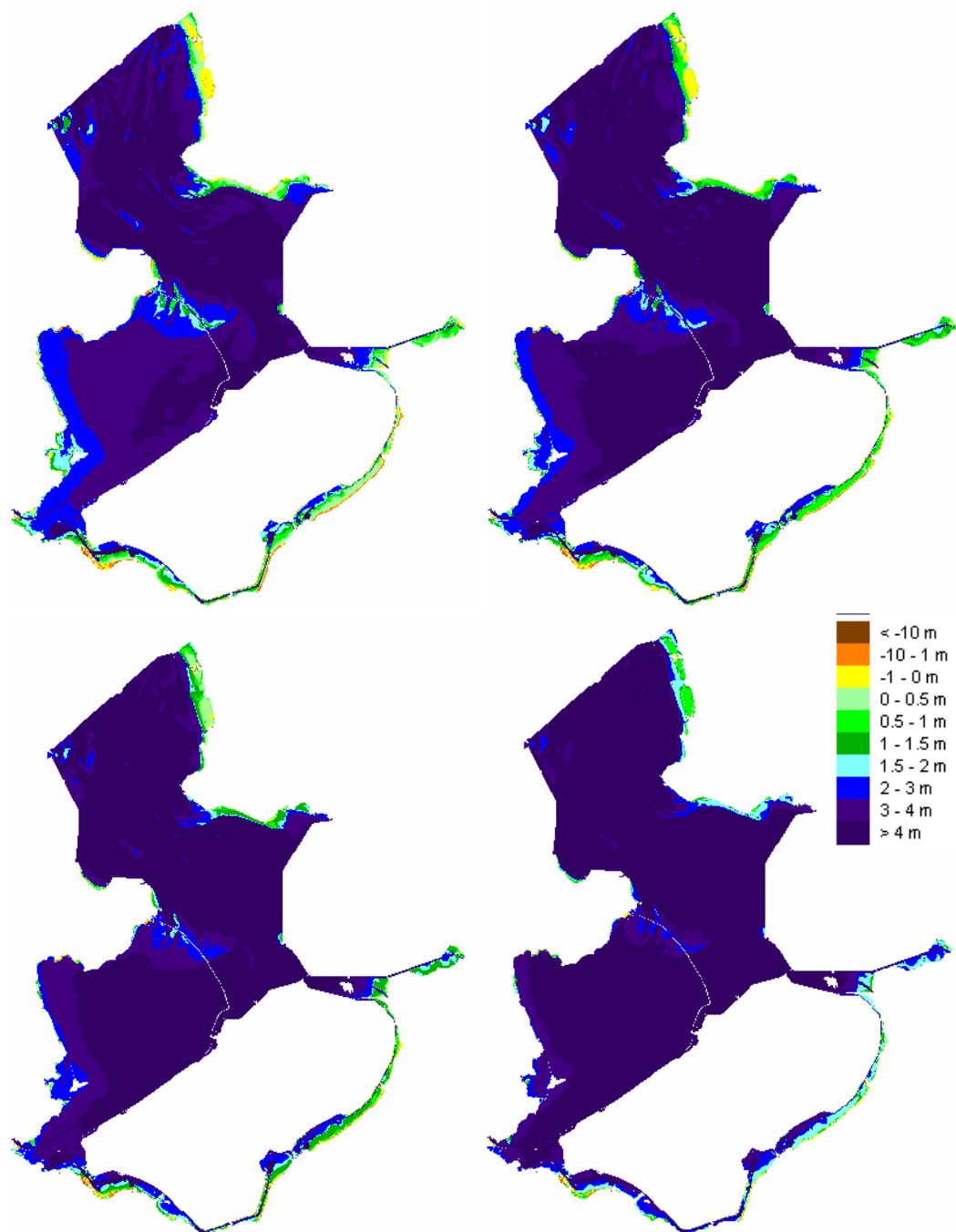
Op den duur zullen zonder aanvullende maatregelen belangrijke ondiepe zones verdwijnen door verdrinking, wat negatieve consequenties heeft voor de natuur. In een natuurlijke situatie zouden zones kunnen opschuiven maar in het IJsselmeergebied zijn de meeste oevers langs de nieuwe polders en dijken direct diep (figuren 5.3, 5.4 en 5.5). Zones die nu af en toe onder water staan, verdrinken als het waterpeil van -0.2 naar 0.4 m NAP stijgt. In het Markermeer is het areaal ondiep water (belangrijk voor natuur) dan al gehalveerd.



Figuur 5.3 Diepteverdeling van het Markermeer bij verschillende waterpeilen. De linker figuur geeft het totale areaal in het gebied weer, de rechter figuur geeft een uitvergroting van het areaal aan ondiepe zones weer. De kleuren zijn dieptezones in meters: ten opzichte van de oplopende waterpeilen langs de horizontale as van links naar rechts is aangegeven hoeveel km² van de verschillende dieptezones bij het betreffende meerpeil voorkomt.



Figuur 5.4 Diepteverdeling IJsselmeer bij verschillende waterpeilen (op basis van bestaande modelschematisaties). Het linker figuur geeft het totale areaal in het gebied weer. Het rechter figuur geeft een uitvergroting van het areaal aan ondiepe zones weer. De kleuren zijn dieptezones in meters: ten opzichte van de oplopende waterpeilen langs de horizontale as van links naar rechts is aangegeven hoeveel km² van de verschillende dieptezones bij het betreffende meerpeil voorkomt.



Figuur 5.5 Bij het meegroeien van het IJsselmeerpeil met de zee zal de natuur verdrinken doordat belangrijke ondieptes verdwijnen. De figuren geven de waterdieptes in het IJsselmeergebied bij verschillende peilen. De landgebieden zijn aangegeven met een negatieve waarde. Van boven naar beneden en van links naar rechts bij een peil van -0.4 m NAP, 0 m NAP, +0.4 m NAP en +1 m NAP.

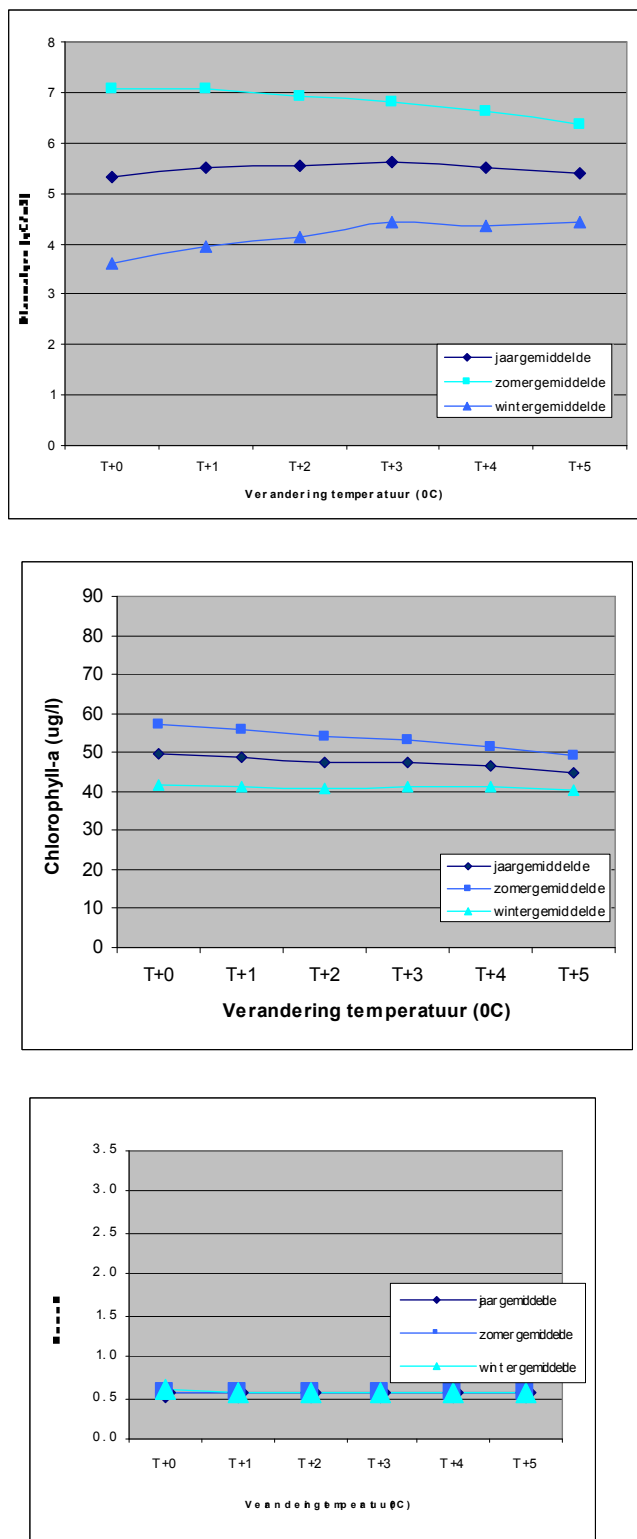
5.4.4 Uitwerking ten aanzien van algenbloei en helderheid van het water

Bij een hoge concentratie aan algen worden de natuurdoelen in het IJsselmeergebied (goede ecologische kwaliteit volgens KRW) niet gehaald. Voor fytoplankton is vastgesteld dat de chlorofylconcentraties niet hoger mogen zijn dan 18,1 µg/l. Bovendien mag er geen algenbloei (blauwalgen) zijn in het zomerhalfjaar. De aanwezigheid van algen wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid nutriënten, temperatuur, graasdruk en licht in de waterkolom.

Afgelopen jaren kwamen intensieve algenbloeien regelmatig voor. Dit gebeurde bij langere perioden van rustig warm weer (orde een week of langer). Door een grotere hoeveelheid licht in de zomer en de aanwezigheid van nutriënten, in combinatie met weinig menging van het water als gevolg van de windstilte, concentreren de algen zich in de bovenste waterlaag. Deze algenbloeien zijn voor de natuur en recreatie ongewenst omdat ze leiden tot een beperkt doorzicht en lagere zuurstofgehaltes ('s nachts en in de diepere delen door chemische en thermische stratificatie), omdat ze stankoverlast veroorzaken en omdat blauwalgen toxische stoffen afgeven die hinderlijk zijn voor zwemmers en watersporters.

Knikpunten in relatie tot het voorkomen van algen en de beleidsdoelstellingen zijn voor het Markermeer onderzocht met behulp van het waterkwaliteitsmodel BLOOM (Los, 1991). Dit model is 0-dimensionaal (één gemengde bak) en kan in zelfstandige vorm alleen gebruikt worden voor verkenningen van gevoeligheden. In de analyse zijn temperatuurstijging, nutriëntenconcentraties en slibgehalte meegenomen. Voor een meer gedetailleerde inschatting is een driedimensionaal model nodig. Een dergelijk model houdt bijvoorbeeld ook rekening met de invloed van wind en ruimtelijke variatie in diepte.

In het Markermeer wordt de groei van algen voornamelijk beperkt doordat hoge sedimentconcentraties de hoeveelheid licht die het water indringt, beperken. Daarnaast is stikstof een beperkende voedingstof. Bij een toename van de temperatuur nemen blauwalgenconcentraties toe tijdens het begin en het einde van het groeiseizoen (figuur 5.6). Tijdens de zomer nemen de concentraties blauwalgen en chlorofyl-a licht af doordat de sterfsnelheid van algen dan groter wordt dan de groeisnelheid als gevolg van de hogere temperatuur. Een toename van de temperatuur heeft dus een positief effect in de zomer (meer sterfte) maar een negatief effect in het voor- en naseizoen. De jaargemiddelde chlorofyl-a concentratie is en blijft echter ver boven het vanuit de KRW gestelde doel. Overigens is het effect van de hoge algenconcentratie op het doorzicht verwaarloosbaar ten opzichte van het effect van het hoge slibgehalte. De lengte van het blauwalgenseizoen neemt met enkele weken toe bij een temperatuurstijging van 3 graden of meer.



Figuur 5.6 Invloed van de temperatuur op de algengroei in het Markermeer (groenalgen in Chlorofyl-a concentratie, blauwalgen in gC/m³, en het doorzicht) op basis van BLOOM.

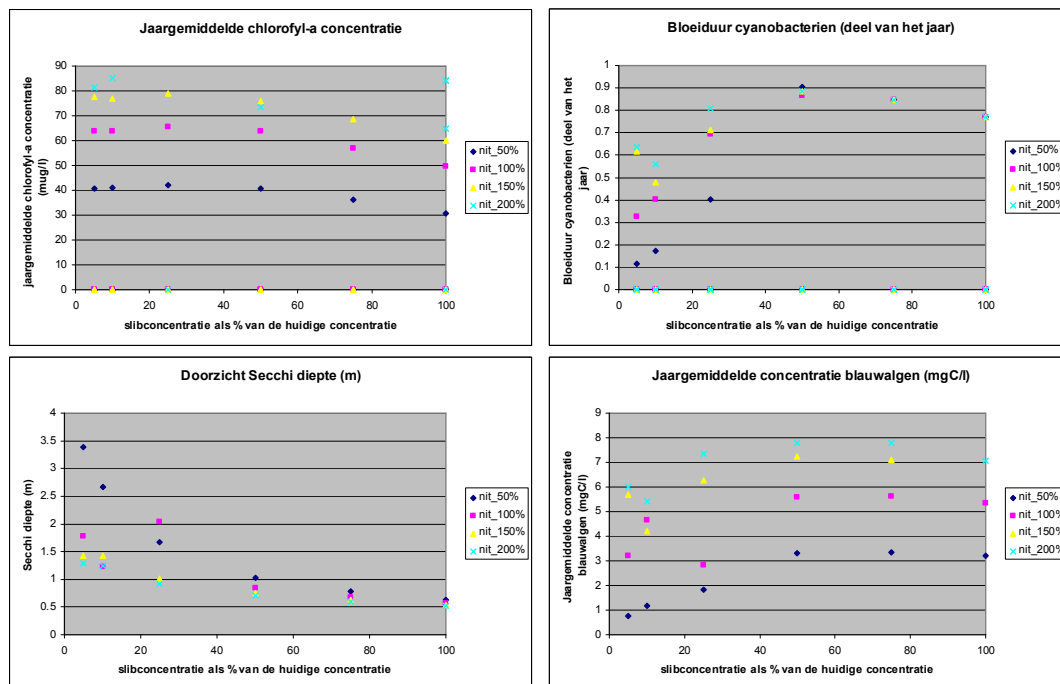
Naast de relatie met temperatuur is ook gekeken naar de relatie van de algengroei met de concentratie nutriënten (stikstof en fosfaat) en het slibgehalte in het water (figuur 5.7). De nutriëntenbelasting kan veranderen door een verandering in wateraanvoer als gevolg van een veranderd neerslagpatroon en –hoeveelheid. Daarnaast kunnen de concentraties slib en nutriënten veranderen als gevolg van te nemen adaptatiemaatregelen, zoals de aanleg van ondieptes en vooroevers. Een toe- of afname van stikstof- en fosfaatconcentratie leidt respectievelijk tot een toe- of afname van de algenconcentratie.

Bij een variatie van het stikstofgehalte van 50% tot 200% ten opzichte van de huidige concentratie, varieert de jaargemiddelde chlorofylconcentratie tussen de 30 en 65 $\mu\text{g/l}$ en de concentratie blauwalgen tussen de 3.2 en 7.1 gC/m^3 . Het doorzicht varieert tussen de 50 en 60 cm. Bij een variatie van het fosfaatgehalte van 50% tot 200% ten opzichte van de huidige concentratie, varieert de chlorofyl-a concentratie tussen de 34 en 54 $\mu\text{g/l}$, de concentratie blauwalgen tussen 3.8 en 6.0 gC/m^3 en het doorzicht tussen 53 en 57 cm.

In het geval van dalende slibconcentraties nemen de algenconcentraties toe totdat de groei uiteindelijk beperkt wordt door de aanwezigheid van nutriënten. De gemiddelde chlorofyl-a concentratie neemt toe van 50 $\mu\text{g/l}$ onder de huidige omstandigheden tot 65 $\mu\text{g/l}$ bij een reductie van de huidige concentratie tot 50% of minder. Voor blauwalgen blijft de jaargemiddelde concentratie bij een afname van de slibconcentratie ongeveer gelijk totdat het slib is gereduceerd tot 50%. Bij een verdere reductie van slibconcentraties daalt de jaargemiddelde blauwalgenconcentratie van circa 5.5 naar circa 2.8 mgC/l bij een slibreductie tot 5%. Dit komt doordat bij een verbeterd lichtklimaat groenalgen de competitie van blauwalgen winnen. Ook de bloeiduur van cyanobacteriën neemt sterk af bij een reductie van de slibconcentraties tot meer dan 50%. De toename van het doorzicht met afnemend slibgehalte gaat sneller als dit gehalte meer dan 50% afneemt.

De hoogte van de stikstofbelasting van het Markermeer heeft geen invloed op de ligging van het omslagpunt bij 50 % reductie van de slibconcentraties. Alleen zijn bij hogere stikstofconcentraties de algenconcentraties hoger, de bloeiduur van blauwalgen langer en is het doorzicht lager. Wanneer een daling van slibconcentraties tot voorbij het omslagpunt samengaat met een daling van stikstofconcentraties dan is het positieve effect op de waterkwaliteit groter. De bloeiduur van blauwalgen bijvoorbeeld daalt, bij een slibreductie tot 25%, tot 70% van het jaar bij de huidige stikstofbelasting en tot 40% van het jaar, wanneer dezelfde slibreductie gecombineerd wordt met een stikstofreductie tot 50%. Het doorzicht kan bij 150% of 200% van de huidige stikstofbelasting niet verder toenemen dan 1.5 m zelfs al neemt het slibgehalte af tot 5% van de huidige concentratie. Wanneer de stikstofconcentratie gelijk blijft of wordt gehalveerd is een doorzicht van 2 tot 3 meter mogelijk, wat in een groot deel van het meer tot bodemzicht zou leiden. Hiermee zouden goede kansen worden gecreëerd voor de ontwikkeling van waterplanten en de verdere verlaging van de slibconcentraties in het water.

Voor een vertaling van bovengenoemde gevoeligheden van algenbloei voor nutriënten en slibgehalten naar mogelijke knikpunten als gevolg van klimaatverandering zijn realistische scenario's van de verandering van deze parameters door klimaatverandering nodig. Deze waren bij het uitbrengen van deze studie helaas niet beschikbaar.



Figuur 5.7 De effecten van een verandering in slibconcentratie en stikstofconcentratie (in percentage ten opzichte van de huidige situatie) op de jaargemiddelde chlorofyl-a concentratie, de blauwalgenconcentratie, het doorzicht en de bloei duur van cyanobacterien voor het Markermeer (berekeningen met BLOOM)

5.4.5 Uitwerking naar indicatorsoorten: Driehoeksmosselen

De groei en reproductie van de driehoeksmosselen wordt onder andere beïnvloed door de watertemperatuur (Duel & Specken, 1994). Driehoeksmosselen tolereren een temperatuur tussen de 0 en 35° C. Sterftcijfers nemen toe bij watertemperaturen van >26-32° C (Strayer, 1991). Ze hebben tenminste een temperatuur van 12° C nodig voor reproductie en 10° C voor de groei. De eieren kunnen bevrucht worden vanaf 10° C tot ongeveer 25° C. Daarnaast is de snelheid waarmee ze voedsel (fytoplankton en zooplankton) opnemen tussen de 5 en 20° C optimaal (Reeders, 1989). In het IJsselmeergebied vindt de groei plaats tussen april en september.

Als de temperatuur dus vaker hoger dan 20 - 26° C is dan is dit ongunstig voor driehoeksmosselen doordat ze eerder sterven en moeite hebben met foerageren. De mosselen groeien mogelijk eerder in het jaar als het eerder warmer wordt. Of hiermee een (on)gunstig knikpunt wordt bereikt, is moeilijk te zeggen: dit hangt af van de voedselbeschikbaarheid. Mogelijk ontstaat er voedseltekort doordat de mosselen eerder gaan groeien. Er zijn namelijk geen aanwijzingen dat de groei van algen ook verschuift: deze is namelijk vooral afhankelijk van het licht en minder van de temperatuur (een temperatuur van 15° C is voldoende om te groeien). De hoeveelheid voedsel die driehoeksmosselen nodig hebben voor hun groei is afhankelijk van hun grootte en fase in het leven. Uit onderzoek bleek dat de hoeveelheid driehoeksmosselen in het Markermeer waarschijnlijk sterk is afgenomen door een lage chlorofyl-a concentratie (< 40 µg/l) in combinatie met een hoge slibconcentratie en hoge temperatuur (Noordhuis en Houwing, 2003). Als de groei een paar weken opschuift, zou de chlorofyl concentratie nog te laag voor driehoeksmosselen kunnen zijn.

Bij een te hoge slibconcentratie hebben mosselen moeite hun voedsel uit het water te halen. De eerder genoemde studie (Noordhuis, 2003) gaf aan dat de mosselpopulatie nog niet hersteld was van een verhoogde sterfte in de winter door een hogere slibconcentratie dan normaal door het opwervelen van sediment tijdens periodes met hoge golven. Een toename van de windkracht kan in matig diepe meren met veel slib, zoals het Markermeer, tot extra mosselsterfte leiden.

Ook kunnen grote temperatuurschommelingen tussen dag en nacht de reproductie tegenhouden, met name in ondiep water (< 2 m). Als een deel van de mosselen op grotere diepte voorkomt (vaak tot 5 m, dieper is er te weinig voedsel), hebben grote temperatuurschommelingen, door de grote larvenproductie, waarschijnlijk geen effect op de populatieomvang.

Driehoeksmosselen hebben een zuurstofgehalte nodig van tenminste 25% (Karatayev *et al.*, 1997). Hoge concentraties algen zorgen echter voor zuurstofloosheid. Klimaatverandering kan zo indirect een rol spelen, bijvoorbeeld via de beschikbaarheid van zuurstof bij de bodem of via de samenstelling van het fytoplankton. In combinatie met koelwaterlozing kan dit knikpunt lokaal op bepaalde momenten wel bereikt worden. Maar dit zal gezien de regelgeving rondom koelwaterlozingen (die gericht is op bescherming van ecosystemen) niet direct tot grootschalige effecten leiden. Toename van thermische (en daardoor ook chemische) stratificatie gedurende het zomerhalfjaar kan optreden door klimaatverandering. Dit kan leiden tot het vaker optreden van wisselingen in warm en koud, en zuurstofrijk en zuurstofarm water nabij de bodem, hetgeen ongunstig is voor de mosselen.

5.4.6 Uitwerking naar indicatorsoorten: Vissen – Spiering

Spiering is een koudwatervis die bij ons de zuidgrens van zijn areaal bereikt. Dat betekent dat Spiering goed functioneert bij relatief lage temperaturen. Zo vindt de paai al in de periode februari/maart plaats: de optimale watertemperatuur voor het paaien van spiering ligt tussen de 4 en 12 °C. Daarna is de temperatuur van juni tot september optimaal om te groeien (20 - 23 °C). Als de gemiddelde watertemperatuur stijgt, vindt de paai dus vroeger plaats en duurt het groeiseizoen langer. Dit leidt tot een extra lichting van Spiering maar ook kan de hoeveelheid zooplankton (voedsel) op dat moment te gering zijn. Bovendien kunnen hoge zomertemperaturen de groei en overleving negatief beïnvloeden: de Spiering heeft veel zuurstof nodig en het zuurstofgehalte daalt met een stijging van de temperatuur, met name bij gelaagdheid in het water bij windstil weer. Hier ligt ook een relatie met de bloei van algen: hoge concentraties algen zorgen voor zuurstofloosheid.

Bij hogere temperaturen van 27 tot 30 °C vertonen veel vissen afwijkend gedrag; de omstandigheden bij temperaturen boven 35 °C zijn uiteindelijk dodelijk. Dit potentiële knikpunt ligt echter buiten het bereik van de toekomstscenario's voor het Markermeer: de watertemperatuur in het Markermeer varieert tussen de 14 en 20 °C in het zomerhalfjaar (meetgegevens 1982-2001: Noordhuis en Houwing, 2003) en 4 en 8 °C in het winterhalfjaar. In combinatie met koelwaterlozing kan dit knikpunt lokaal wel bereikt worden maar dit zal, gezien de regelgeving rondom koelwaterlozingen, niet direct tot grootschalige effecten leiden.

5.4.7 Uitwerking naar indicatorsoorten: Waterplanten-Kranswieren

De optimale temperatuur voor de groei van waterplanten ligt tussen de 18 en 28° C. Hoe eerder in het jaar deze temperatuur wordt bereikt, hoe langer de groei kan zijn. Bij een temperatuur hoger dan 35° C is de omgeving ongeschikt voor kranswieren. De maximum temperatuur van de lucht boven het meer ligt over het algemeen niet hoger dan 35° C.

Sommige waterplanten, die sleutelsoort zijn in het IJsselmeergebied, vormen wortelknolletjes of winterknoppen die een koude periode nodig hebben van ongeveer 4 - 8 weken beneden de 4° C om te gaan kiemen bij relatief lage voorjaars temperaturen rond de 15° C. De koudeperiode voorkomt het per ongeluk kiemen in de herfst. Wanneer een koudeperiode achterwege blijft dan begint de kieming pas bij temperaturen hoger dan 20° C.

Algenbloei kan de groei van waterplanten beïnvloeden. In voedselrijke wateren in combinatie met voldoende licht en een temperatuur hoger dan 15° C, kan een hoge algenconcentratie leiden tot een beperkte lichtdoordringing waardoor waterplanten niet meer kunnen groeien.

5.4.8 Effecten op de vogelstand

Ook voor vogels spelen de habitats en de beschikbaarheid van voedsel een rol. Daarnaast speelt ook de invloed van klimaatverandering in gebieden buiten Nederland een rol voor vogels die een deel van het jaar elders leven. Een anekdotisch voorbeeld hiervan zijn de Zaagbekken. De meeste Zaagbekken overwinteren in het noorden. Pas als de Oostzee dichtvriest, komen er meer naar ons land. Dat de Oostzee steeds minder vaak bevriest, kan een oorzaak zijn van de afname van Grote Zaagbekken in Nederland. Echter, ook bij een zelfde hoeveelheid ijs in de Oostzee hebben we tegenwoordig minder zaagbekken in Nederland dan vroeger. Dat komt waarschijnlijk door de afname van hun voedsel, namelijk Spiering.



5.4.9 Conclusies voor IJssel- en Markermeer

Habitats

Het meest kritisch voor de natuur van het IJsselmeergebied is het peilbeheer. Zolang het huidige peilbeheer kan worden voortgezet, blijft er ruimte voor verdere natuurontwikkeling en andere maatregelen om KRW en Natura2000 doelen te verwezenlijken. Bij kleine peilstijgingen in een substantieel en kritisch deel van het jaar (variërend van een maand in de periode april - augustus tot het gehele zomerhalfjaar) 'verdrinkt' de natuur van ondiepe habitats en gaan geleidelijke overgangen van ondiep naar diep water verloren. Nieuwe overgangen zijn met de beperkte buitendijkse ruimte ook niet meer gemakkelijk te realiseren.

Algen

Als we alleen naar de direct klimaatgerelateerde parameters (temperatuur) kijken dan vinden we geen knikpunt in relatie tot de aanwezigheid van algen: dat knikpunt is al bereikt, los van klimaatverandering. In de huidige en toekomstige situatie bij klimaatverandering zullen de natuurdoelen voor wat betreft de concentratie algen niet gehaald worden.

Voor de parameters slib en nutriënten, die kunnen veranderen als gevolg van klimaatadaptatie of landgebruik, zijn wel positieve effecten te verwachten. Een belangrijke omslag is gevonden bij een afname van het slibgehalte tot 25% tot 50% van de huidige concentratie. Bij een dergelijke afname van het slibgehalte in het water nemen de bloeiduur en jaargemiddelde concentratie van blauwalgen sterk af en neemt het doorzicht toe. In combinatie met een verlaging van de stikstofbelasting met circa 50% zou dit effect nog versterkt kunnen worden. Wanneer de afname van het slibgehalte echter gepaard gaat met een toename van de stikstofbelasting worden de positieve effecten van de slibreductie deels teniet gedaan.

Knippunten kunnen ook plaatsvinden door een combinatie van gebeurtenissen. Bij langere perioden van warm weer (orde een week of langer) in combinatie met weinig wind in de zomer, treedt er een algenbloei op. Dit kan via de voedselketen leiden tot een verschuiving naar een ander ecosysteem (zie driehoeksmosselen).

Soorten

Watertemperatuur wordt een kritische factor bij temperaturen boven de 20 tot 26 °C (afhankelijk per soort). Dan neemt de sterfte namelijk toe. Mogelijk ontstaan er ook problemen doordat de beschikbaarheid en de behoefte aan voedsel binnen de voedselketen uit fase gaan lopen: bij hogere temperaturen beginnen driehoeksmosselen en spiering, bijvoorbeeld, eerder te groeien terwijl er dan mogelijk nog niet voldoende voedsel (algen) is. Hogere watertemperaturen worden nog kritischer als perioden van weinig wind en stratificatie vaker voor gaan komen. Of dit tot knippunten kan leiden, is nu nog onduidelijk.

5.5 Kust

5.5.1 Natuurbeleid

In de Nota Ruimte (Ministeries VROM, LNV, V&W en EZ, 2004) is het ruimtelijk beleid van het Rijk voor de kustzone vastgelegd. Het Integraal Beheerplan Noordzee (IBN 2015) vormt een verdere uitwerking van de Noordzeeparagraaf in de Nota Ruimte. Het bevat een overzicht van het huidige beleid en beheer (aan de hand van de drie thema's gezonde zee, veilige zee en rendabele zee) en een visie op ruimtelijke sturing door middel van beheer. Met betrekking tot gebiedsbescherming geldt het volgende:

- Voor de kustzee zijn twee gebieden bij de Europese Commissie aangemeld als Habitatrichtlijngebied, respectievelijk aangewezen als speciale beschermingszone in het kader van de Vogelrichtlijn: 1) Voordelta en 2) de kustzee ten noorden van Petten.
- Het IBN 2015 geeft in aanvulling hierop 3) de kustzee tussen Bergen en Petten een beschermde status en breidt voorts de bescherming van de kustzee ten noorden van Petten uit tot de doorgaande NAP -20m lijn.

- Ook de kustzee 4) ten zuiden van de Voordelta (inclusief de Vlake van de Raan), oftewel de Westerscheldemonding, wordt beschermd als gebied met bijzondere ecologische waarden.
- De kustzee tussen de Voordelta en Bergen blijft buiten het specifieke beschermingsregime van het IBN 2015.
- De landwaartse begrenzing van de nieuwe gebieden in de kustzee is de laaglaagwaterlijn.
- Daarnaast staan de Ecological Quality Objectives uit OSPAR in het IBN2015.

Beheermaatregelen bestaan met name uit het aanwijzen van beschermingsgebieden waar een beperking wordt gesteld aan versturende activiteiten zoals bodemvisserij en kitesurfen. Tevens speelt het natuurbeleid een grote rol bij het verlenen van vergunningen: Passende Beoordeling en MER-procedures moeten indien nodig uitgevoerd worden. Als er sprake is van significante effecten die niet gecompenseerd kunnen worden, is de kans groot dat er geen vergunning verleend wordt.

Daarnaast is er sprake van een enkel incidenteel natuurontwikkelingsproject (doorgaans van geringe omvang). Samengevat komen beheersmaatregelen neer op: niet ingrijpen, natuurontwikkeling, patroonbeheer. De essentie daarbij is statisch behoud, gericht op alle soorten. Voor de natuurindicatoren komt het beleid neer op handhaven/in stand houden of zo nodig herstel.

5.5.2 Fysische randvoorwaarden

De staat van de biodiversiteit hangt af van de staat van de habitats, en daarmee van de:

- Morfologie (intergetijdengebieden, zandbanken onderwater, bodemsamenstelling)
- Chemische toestand (verontreiniging, vermesting en verzoeting)
- Fysische toestand (zwevend stof, temperatuur, zuurstof)

5.5.3 Effecten van klimaatverandering

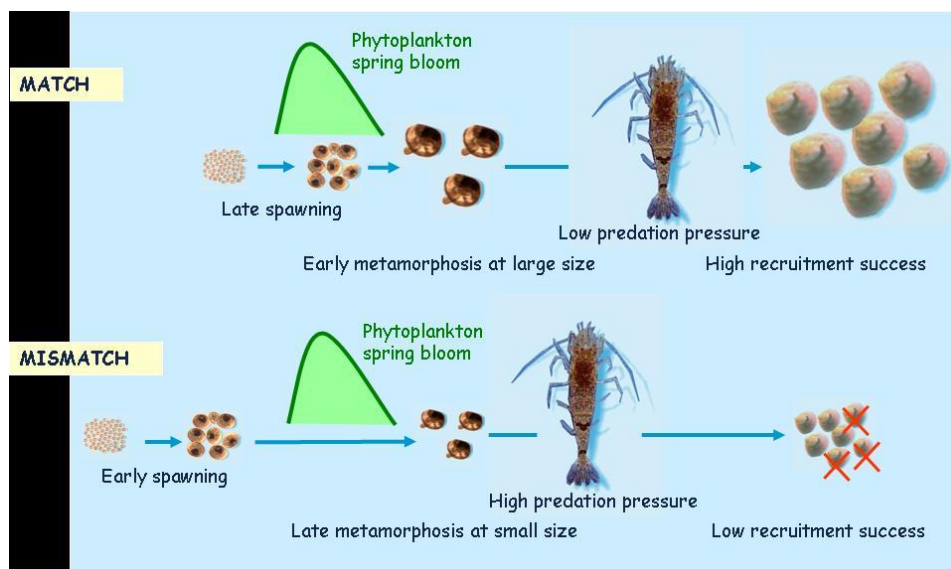
De meest directe effecten van klimaatverandering zijn de stijgende (water)temperatuur en de zeespiegelstijging. Snelle zeespiegelstijging leidt tot verdrinking van platen en kwelders. Hiervoor is een aantal schattingen gepubliceerd. Echter, in het algemeen is het voor natuur lastig, zo niet onmogelijk, om effecten van verschillende factoren (waaronder klimaatverandering) op de ecologie van elkaar te onderscheiden. Bovendien heeft de variabiliteit van het klimaat, los van klimaatverandering, ook invloed op het ecosysteem. Zo zijn slijkgrasvegetaties, bijvoorbeeld, gevoelig voor vorst en hebben strenge winters negatieve effecten op de vogelstand.

De samenhang van voedselwebben is te complex om nu aan te kunnen geven wat de exacte effecten van temperatuursveranderingen (met eventuele verschillen over de seizoenen) op de natuur zullen zijn. Alleen voor zeer specifieke onderdelen kunnen verbanden worden gelegd. Aanbevolen wordt om de aandacht vooral nog te richten op de primaire productie en de direct daarvan afhankelijke organismen. Door stijging van de temperatuur van het zeewater nemen de primaire productie door fytoplankton en de stratificatie toe. Ook verschuiven soorten door de hogere zeewatertemperatuur naar andere gebieden, met name in het noorden.

Uit waarnemingen blijkt dat veranderingen niet altijd geleidelijk, maar soms ook sprongsgewijs plaatsvinden. Sprongsgewijze veranderingen lijken op gang te worden gebracht door eerdere, meer geleidelijke veranderingen in een aantal omgevingsfactoren. Die omgevingsfactoren worden op hun beurt weer beïnvloed door de interactie tussen de zee en het klimaat.

Andere mogelijke effecten van klimaatverandering zijn:

- een verandering in de relatieve timing van belangrijke stadia in de levenscyclus van verschillende organismen waardoor er sprake kan zijn van de zogenaamde mismatch en soorten hun voedsel net mis kunnen lopen (figuur 5.8). In combinatie met de migratie van soorten vallen er gaten in het ecosysteem (uiteenvallende ecosystemen).
- uitbreiding van plaagalg.
- versnelde vestiging en uitbreiding (woekeren) van exotische soorten (bijvoorbeeld Japanse oester).
- directe invloed van de watertemperatuur op de fysiologie (bijvoorbeeld de kabeljauw).



Figuur 5.8 Match en mismatch in de voedselketen van de Noordzee.

5.5.4 Nikpunten

De snelheid van waarmee de zeespiegel stijgt, is een kritische factor voor natuurlijke sedimentaire systemen. Als de natuurlijke sedimentaanvoer de zeespiegelstijging niet meer kan bijhouden, en als suppletie van zand geen uitkomst biedt, zal het systeem geleidelijk verdrinken. Dit kan met name het geval zijn voor getijplaten en kwelders. Als verdrinking optreedt, zal er een sprongsgewijze verschuiving van habitats optreden. Voor de platen gebeurt dit bij een zeespiegelstijging van 3–10 mm/jaar voor grote getijsystemen en bij 6-10 mm/jaar voor kleinere getijsystemen. Voor de kwelders ligt de grens op ca. 10-13 mm/jaar voor het grootste deel van de kwelders. Voor de pionierszone is dat circa 6 mm/jaar (o.m. Dijkema et al. 2008).

De hoogste stijgsnelheid van de zeespiegel volgens de KNMI scenario's is 85 cm/110 jaar, de laagste 35 cm/110 jaar. Deze range is kritisch voor het kunnen meegroeien van platen en kwelders door natuurlijke processen. Bij een snellere, denkbare stijging van de zeespiegel van bijvoorbeeld 1.5 m/100 jaar (MNP, 2007) zou voor het behoud van platen en kwelders zeker een knikpunt worden bereikt.

De essentie van het beleid is het statisch behoud van alle soorten. Voor de natuurindicatoren komt het beleid neer op handhaven/in stand houden of zo nodig herstel. Indien de randvoorwaarden veranderen en de doelen niet meer gehandhaafd kunnen worden, is er sprake van een knikpunt.

5.5.5 Uitwerking

Voor de gehele Nederlandse kust is de langjarige (geologische) trend een transgressie (landwaarts verplaatsen van de kustlijn door een zeespiegelstijging van circa 20 cm /eeuw). Suppletie van zand en kustbescherming middels harde keringen voorkomen deze trend. Suppleren voorkomt verdrinking en helpt op deze manier de huidige natuur in stand te houden. In het waddengebied en de zuidwestelijke delta, waar geen zandsuppletie plaatsvindt, is de verwachte zeespiegelstijging volgens de W scenario's dusdanig groot dat bij die scenario's de bovengrens wordt bereikt van het vermogen van deze gebieden om zich door natuurlijke processen aan de zeespiegelstijging aan te passen.

Gevolgen van klimaatverandering op natuur spelen op een veel grotere schaal dan alleen het Nederlandse kustgebied. Opschuiven van zuidelijke soorten en verdringing van soorten die momenteel aan hun zuidelijke ondergrens zitten, kan niet met Nederlands en zelfs niet met Europees beleid worden voorkomen. Dit betekent dat zonder ingrepen de kans klein is dat beleidsdoelen die gericht zijn op instandhouding van de huidige soorten, gehaald zullen worden. Dat is dus zonder meer een knikpunt.

6 Watervoorziening

In West-Nederland neemt in de loop van deze eeuw de verzilting toe als gevolg van meer zoute kwel, een toename van het zoutgehalte van de benedenrivieren en een toename van het aantal en de duur van droge zomers. Daardoor lijkt de zoetwatervoorziening, bij de huidige normering voor het toelaatbaar zoutgehalte, tussen 2040 en 2050 (bij 35cm zeespiegelstijging) in gevaar te komen bij inlaatpunten op de Nieuwe Maas, Oude Maas (tot aan het Spui) en de Hollandsche IJssel, na 2100 ook in het oostelijke deel van de Oude Maas, het Hollandsch diep en de Lek. Dit betekent een knikpunt in het zoetwaterbeheer. Waarschijnlijk moeten de inlaatpunten voor de watervoorziening en doorspoeling in bovenstroomse richting worden verlegd en zal de (beperkte) beregening vanuit het oppervlaktewater in droge zomers tot droogte- en zoutschade leiden. Het al dan niet kunnen (en willen) handhaven van de norm voor de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater van het Nederlandse boezemsysteem (behoudens Zeeland) zal binnen 10 jaar ter discussie moeten worden gesteld.

6.1 Onderzochte gebied ten aanzien van de watervoorziening

De watervoorziening van Zuidwest-Nederland zal door klimaatverandering in de toekomst verder onder druk komen te staan. Voor een deelgebied, het Hoogheemraadschap van Rijnland, is een verkennende studie uitgevoerd naar de effecten van verschillende KNMI'06 scenario's in de komende 100 jaar (Hoogvliet, 2008). Daarin is rekening gehouden met zeespiegelstijging, afname van de laagwaterafvoer (met als gevolg verdere landinwaartse indringing van zeewater), een veranderend neerslag- en verdampingspatroon en bodemdaling. In de studie staat de verziltingproblematiek van het grond- en oppervlaktewatersysteem centraal. De studie laat zien hoe, bij handhaving van het huidige waterbeheer, verdergaande klimaatverandering en zeespiegelstijging uitwerken op de externe (buitendijkse) en interne (binnendijkse) verzilting en het uiteindelijk resulterende zoutgehalte in de poldersloten. Op basis hiervan is gekeken of een knikpunt wordt gehaald.

6.2 Concreet beheer en beleid ten aanzien van de watervoorziening

Het huidige beheer en beleid is voor de watervoorziening gericht op het ondersteunen en instandhouden van bestaande functies, onder andere scheepvaart, drinkwaterwinning en landbouw, maar ook natuur. Naast het ontstaan van watertekorten kan het ook gebeuren dat er wel voldoende oppervlaktewater bij innamepunten en in het binnendijkse gebied is, maar dat dit te zout wordt en leidt dit tot productieverlies en zout/droogteschade. Voor het in te laten water gelden normen voor de zoutconcentratie, afgestemd op de functies in de van water te voorziene gebieden. Maatgevende grenswaarden voor sleutelfuncties zijn:

- 1000 mg/l voor grasland en veeteelt
- 300 mg/l voor sierteelt in volle grond
- 200 mg/l voor drinkwaterbereiding

Daarnaast stelt ook de natuur soms hoge eisen aan de waterkwaliteit. De 'blauwe pareltjes' in Zuid-Holland, bijvoorbeeld (onder andere de Nieuwkoopse plassen), hebben water nodig met een zeer lage chlorideconcentratie (vergelijkbaar met landbouw en drinkwater), anders verdwijnt het huidige, zeer waardevolle ecosysteem. Tot slot vraagt ook sommige industrie om water met een zeer lage chlorideconcentratie. Voor het inlaatpunt van de Bernisse bij Europoort wordt bijvoorbeeld een grenswaarde gehanteerd van 150 mg/l.

Wanneer de grenswaarden worden bereikt, kunnen de meeste waterschappen noodroutes aanwenden om zoet water aan te voeren. Indien deze routes onvoldoende capaciteit hebben moet volgens het huidige beheer en beleid alsnog brak water worden ingelaten om het peilbeheer te handhaven en zo categorie 1 uit de Verdringsreeks (veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade, zie figuur 5.1) te beschermen. De functieondersteuning komt dan in het geding. De grenswaarde die geldt bij de innamepunten ligt over het algemeen op 250 mg/l. Wanneer deze grenswaarde bij (bijvoorbeeld) het belangrijke innamepunt Gouda meer dan 48 uur wordt overschreden, ontstaat een knelpunt in de watervoorziening.

Maatregelen die momenteel worden genomen om de verzilting in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland te bestrijden, zijn:

- het aanvoeren van zoet water uit andere bronnen in droge perioden;
- bijmenging van verzilt water met zoet water;
- doorspoelen van (door brakke kwel) verzilt oppervlaktewatersysteem;
- verbeteren doorstroming boezemsysteem;
- verhoging polderpeil om kwel te verminderen.

Deze maatregelen zijn weinig robuust en eindig in hun toepassingsperspectief. Daarom worden steeds vaker studies verricht naar toleranties in waterbehoeften, peilhandhaving en functiehandhaving.

6.3 Wat komt er op ons af

6.3.1 Neerslagoverschot in Nederland

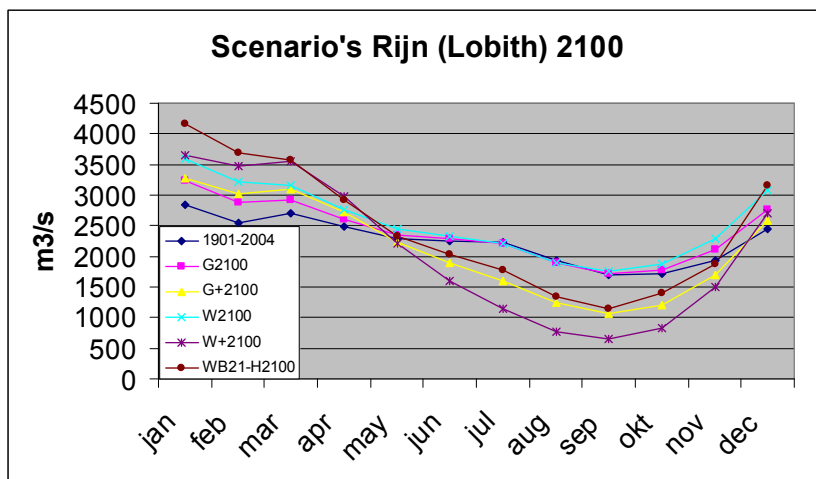
Onderstaande tabel laat de jaarbalans voor een gemiddeld jaar zien (km³ water) op basis van het verschil tussen de neerslag en de potentiële verdamping. De W en G scenario's suggereren dat er netto een toename zal zijn in waterhoeveelheid. De "+" scenario's suggereren echter een zeer sterke neergaande trend. Extrapolatie van deze gegevens suggereert dat het W+ scenario rond 2150 op jaarbasis leidt tot een reductie van het gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot tot nul.

jaarbalans	km ³
1906-2003	10.1
G2100	10.6
G+2100	6.7
W2100	11.2
W+2100	3.3

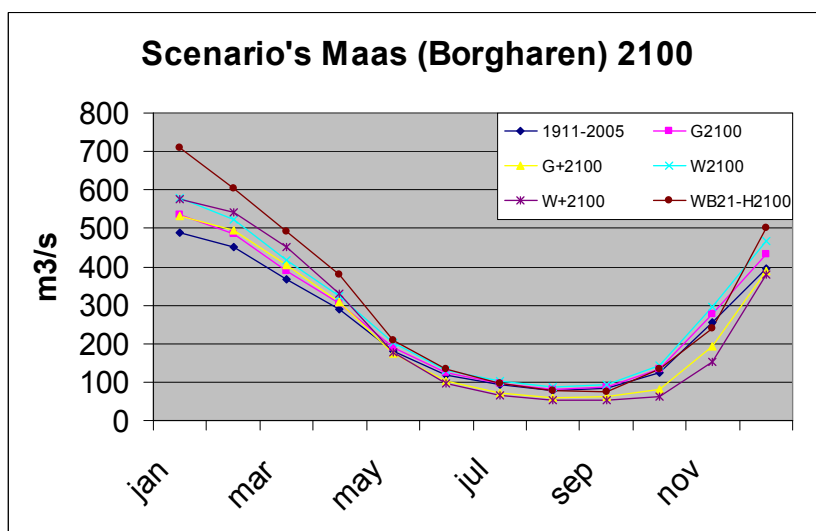
Voor de watervoorziening is ook de verdeling van de neerslag over het jaar van belang. De watervraag is met name in het zomerhalfjaar hoog, terwijl bij alle klimaatscenario's het wateraanbod dan afneemt.

6.3.2 Gemiddelde rivierafvoeren voor het zichtjaar 2100

Onderstaande figuren geven de gemiddelde maandafvoeren weer voor de Rijn volgens het RHINEFLOW-3 model (figuur 6.1) en voor de Maas volgens het MEUSEFLOW-2 model (figuur 6.2). Voor de berekeningen zijn beide modellen gevoed met de gemiddelde veranderingen in temperatuur en neerslag volgens de KNMI-scenario's. Hierbij zijn de KNMI-scenario's geprojecteerd op de gehele stroomgebieden. Voor de winterperiode is er grote overeenstemming tussen de scenario's: de gemiddelde afvoeren nemen toe. Voor de zomer is er echter een groot verschil: volgens de "+" scenario's nemen de afvoeren sterk af, terwijl volgens de andere scenario's de zomerafvoeren nagenoeg onveranderd blijven (Rijn) of zelfs licht toenemen (Maas).



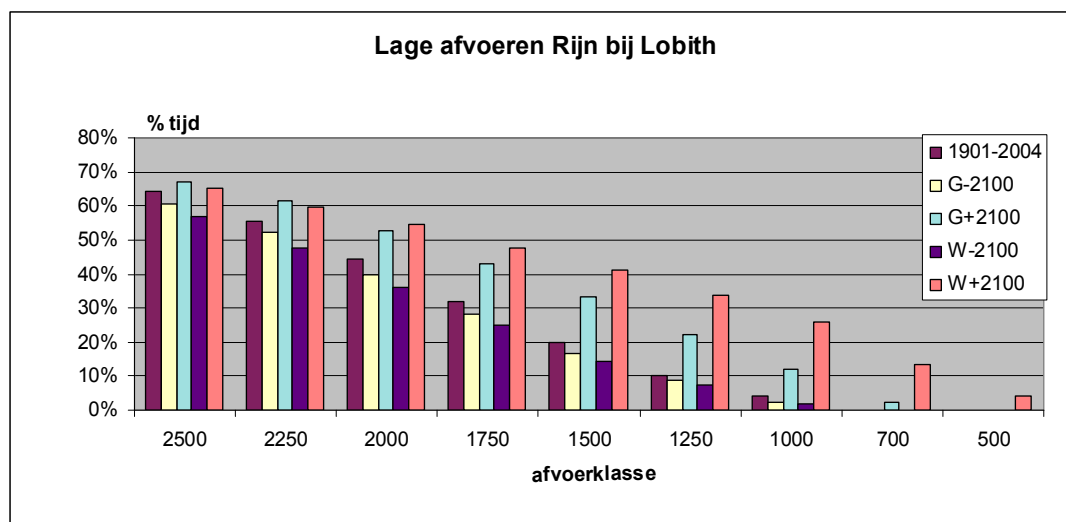
Figuur 6.1 Gemiddelde maandelijkse Rijnaflowen volgens de KNMI'06 scenario's vergeleken met het gemiddelde 1901-2004.



Figuur 6.2 Gemiddelde maandelijkse Maasafvoeren volgens de KNMI'06 scenario's vergeleken met het gemiddelde 1911-2005.

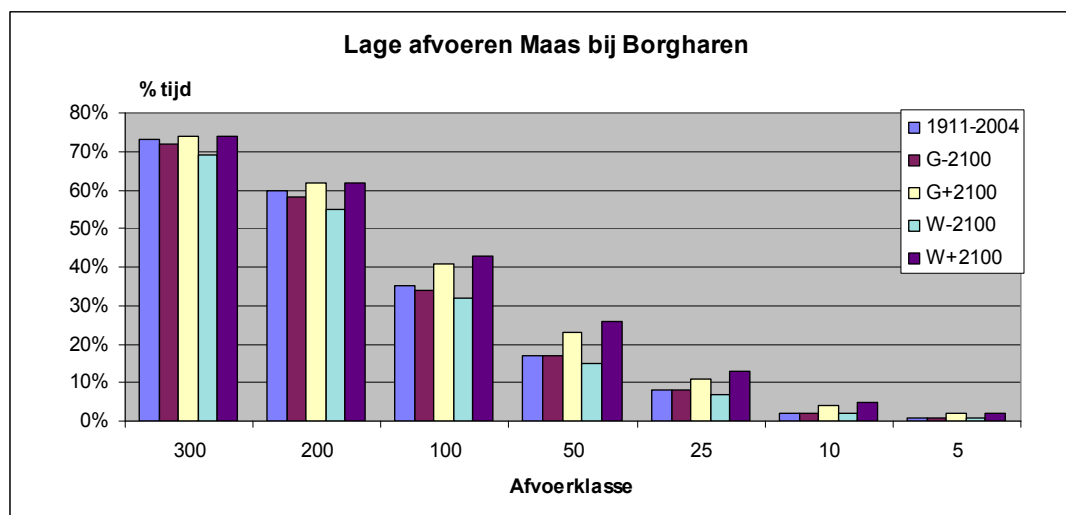
6.3.3 Lage rivierafvoeren voor de Rijn en Maas.

Figuur 6.3 geeft het percentage van de tijd dat een bepaalde Rijnafvoer wordt onderschreden. Duidelijk is dat met name in de droge scenario's afvoeren die onder de huidige omstandigheden extreem laag worden gevonden, namelijk $700 \text{ m}^3/\text{s}$, zeer normale verschijnselen worden.



Figuur 6.3 Percentage van de tijd dat de Rijnafvoer wordt onderschreden bij verschillende KNMI'06 scenario's vergeleken met het gemiddelde van 1901-2004 (afvoerklasse in m^3/s).

Figuur 6.4 geeft de percentages dat afvoeren in de Maas worden onderschreden. Ook hier laten de "+" scenario's een duidelijk lagere afvoer zien. Vergeleken met de Rijn is de verandering opvallend kleiner. Momenteel zijn zeer lage afvoeren in de Maas gewoon. Daarom is de Maas gestuwd, en dit blijft zo in de toekomst.



Figuur 6.4 Percentage van de tijd dat Maasafvoer wordt onderschreden bij verschillende KNMI'06 scenario's vergeleken met het gemiddelde van 1911-2004 (afvoerklasse in m^3/s).

6.3.4 Waterbalans van Nederland

De waterbalans is berekend als som van de jaarneerslag en de rivieraanvoeren minus de potentiële verdamping. Uit de volgende tabel blijkt dat er voor de winterperiode grote overeenstemming is tussen de scenario's: volgens alle scenario's neemt het wateroverschot toe. Ten opzichte van de WB21 scenario's is de grote afname van de hoeveelheid beschikbaar water in de zomer opmerkelijk.

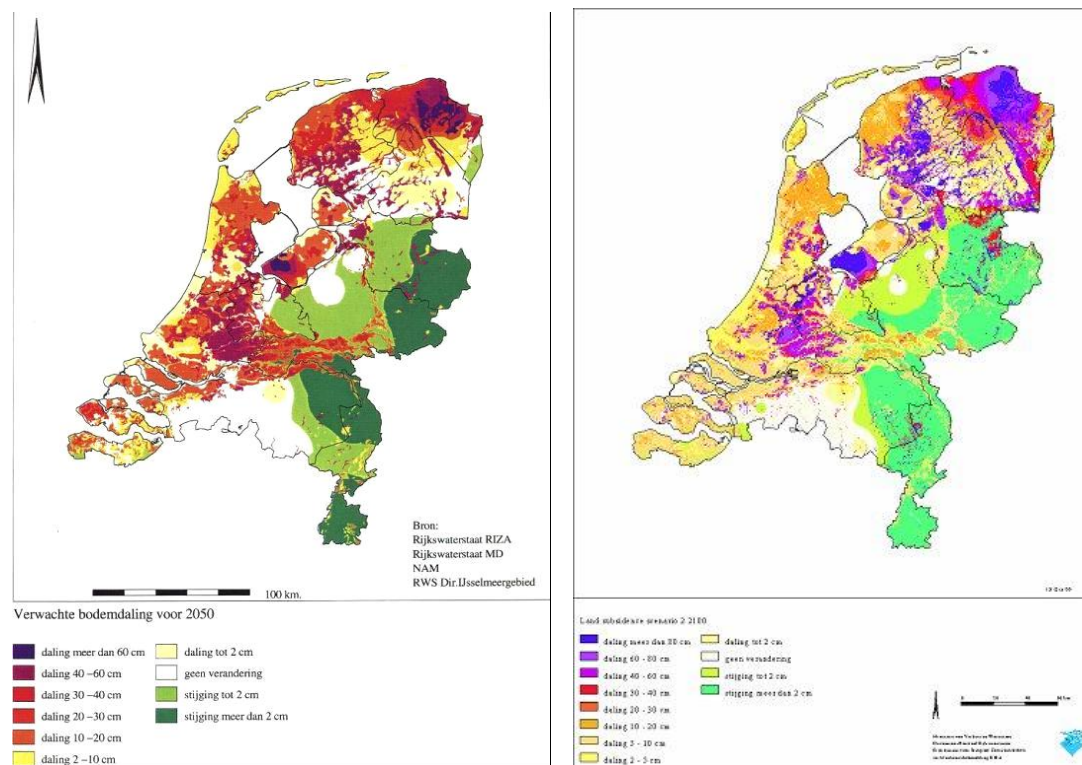
De cijfers laten zien dat het wateroverschot voor een gemiddeld jaar in de zomer onder het W+ scenario negatief wordt. Dit punt wordt tegen het einde van deze eeuw bereikt. In het kort betekent het dat volgens dit scenario tegen het einde van de eeuw gemiddelde hydrologische omstandigheden in de zomer vergelijkbaar zullen zijn met de omstandigheden in het droogste bekende jaar, 1976. Ook onder het G en W scenario neemt het watertekort in de zomer toe, zij het gering.

	G2100	G+2100	W2100	W+2100
jan	12%	15%	23%	30%
feb	12%	18%	24%	37%
mar	8%	17%	17%	36%
apr	5%	10%	11%	22%
may	1%	-10%	3%	-18%
jun	0%	-36%	0%	-70%
jul	-3%	-53%	-6%	-98%
aug	-3%	-57%	-4%	-103%
sep	2%	-44%	5%	-78%
oct	5%	-26%	11%	-45%
nov	9%	-8%	17%	-13%
dec	11%	8%	22%	15%

6.3.5 Bodemdaling

Het klimaat is direct en indirect van invloed op de mate van bodemdaling. Directe invloeden hebben betrekking op de oxidatie van veen. Belangrijke variabelen hierbij zijn regenval, temperatuur en in mindere mate zeespiegelstijging. Een warmer klimaat met drogere zomers heeft vooral gevolgen voor veenweidegebieden. Oxidatie van de organische bestanddelen in veen wordt veroorzaakt door bacteriële activiteit. Deze neemt toe met hoger wordende temperatuur. Drogere, warmere zomers zullen bij gelijkblijvend peilbeheer tot gevolg hebben dat de grondwaterspiegel in de zomer verder uitzakt, waardoor een grotere dikte wordt belucht en kan oxideren.

Bodemdaling is indirect afhankelijk van de wijze waarop het waterbeheer reageert op het veranderende klimaat. In de afgelopen eeuwen is het maaiveld in West-Nederland al een paar meter lager komen te liggen als gevolg van een steeds efficiëntere en toenemende ontwatering. Deze ontwatering leidde, en leidt nog steeds, tot het droogvallen van veenpakketten, waardoor deze bij toetreding van zuurstof vergaan (oxideren), en tot verlaging van de waterspanning in de samendrukbare pakketten, waardoor compactie (klink) optreedt. Bij voortzetting van de traditionele ontwatering zal de spiraal van 'peilverlaging → bodemdaling → peilverlaging' niet worden doorbroken. Een veranderend klimaat vraagt daarom vooral in de veenweidegebieden om een mogelijke aanpassing van het peilbeheer als reactie op drogere zomers, nattere winters en het tegelijkertijd willen voorkomen van verdere bodemdaling.



Figuur 6.5 Bodemdaling voor 2050 (links) en 2100 (rechts) (Haasnoot, 1999).

6.4 Knikpunten

In de navolgende alinea's is voor verschillende thema's aangegeven welke knikpunten voor watervoorziening worden verwacht.

6.4.1 Oppervlaktewater

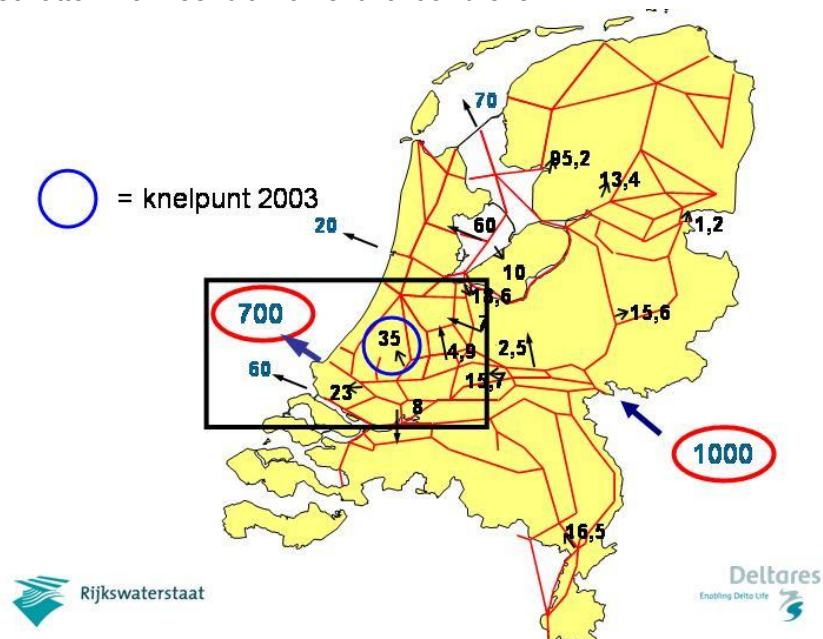
De zoetwatervoorziening lijkt bij de huidige normering op zijn in 2050 in gevaar te komen bij inlaatpunten op de Nieuwe Maas, Oude Maas (tot aan het Spui) en de Hollandsche IJssel. Vanaf 2100 wordt ook in het oostelijke deel van de Oude Maas, het Hollandsch diep en de Lek de waterinname langdurig beperkt.

Het jaar 1996 komt, wat de problematiek van externe verzilting betreft, eens per drie jaar voor. Een dergelijk jaar levert in de huidige situatie geen problemen op voor het voor Rijnland belangrijke inlaatpunt Gouda (figuur 6.6). De situatie zal voor Rijnland, en Schieland en de Krimpenerwaard in 2050 (bij 35 cm zeespiegelstijging) echter zodanig zijn verslechterd dat er sprake is van een knikpunt: de huidige strategie zal dan geen soelaas meer bieden. Het optreden van dit knikpunt wordt bepaald door een afweging tussen de ontwikkelingen in chloridegehalten, de gevolgen/risico's voor de te bedienen functies en de afweging tussen kosten en baten (wat is betaalbaar, wat is maatschappelijk onacceptabel en wat zijn de limieten aan de ruimte en van de techniek).

De meest extreme omstandigheden die zijn bekeken (W+ scenario voor het jaar 2100 gecombineerd met 2 meter zeespiegelstijging) geven een situatie waarin bij Gouda de huidige norm gedurende bijna de helft van het jaar niet wordt gehaald. In deze periode zal Rijnland alleen ten behoeve van het peilbeheer water inlaten via Gouda. In combinatie met de toegenomen zoute kwel zal onder deze omstandigheden het chloridegehalte in de polders en in het boezemsysteem dusdanig oplopen dat beregening (volgens de huidige beregeningsnormen) in een groot gebied van Rijnland veelal onmogelijk is.

Het Hoogheemraadschap van Delfland trekt op basis van de resultaten van de scenarioberekeningen geen conclusies over knikpunten. Daarvoor is meer informatie nodig. Met name de langdurige verzilting van de Bernisse inlaat (die bepalend is voor de kwaliteit van het voor Delfland belangrijke water van het Brielse Meer) is cruciaal, en juist over deze inlaat zijn de modelresultaten nog onzeker. Als mogelijke maatregel voor Delfland wordt gewezen op wijziging van de vastgelegde waterverdeling waardoor de maximale capaciteit van de Brielse Meerleiding zou kunnen worden benut.

Hollandse Delta ziet (nog) geen mogelijkheden om alternatieve beleidsstrategieën te gaan volgen. De beheersgebieden zijn eilanden: water kan niet zomaar van elders worden aangevoerd. Het is daarom moeilijk om te spreken over knikpunten waarop een andere strategie moet worden gevolgd. De industrie zou kunnen overschakelen op (duur) leidingwater of ontzilting. Inzicht in de kosten en baten is dan van belang om in te schatten wanneer dit moment zal aanbreken.



Figuur 6.6 Om tijdens droge zomers de inlaat bij Gouda van 35 m³/s zoet water te kunnen voorzien, moet 700 m³/s rivierwater over de Nieuwe Waterweg worden gestuurd.

6.4.2 Grondwater

Het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied, en in het bijzonder in het Hoogheemraadschap van Rijnland, zal de komende 100 jaar verziltten door autonome ontwikkelingen. Het peilverschil van gemiddeld minstens 3,5 m tussen het gemiddelde zeeniveau en de hoogte van het maaiveld heeft de afgelopen honderden jaren een grondwaterstroming in gang gezet naar de laaggelegen poldergebieden. Op dit moment komt brak/zout grondwater in de laaggelegen kwelgebieden vanuit de ondergrond omhoog waardoor de kwaliteit van het oppervlaktewater verslechtert.

Het effect van zeespiegelstijging, bodemdaling en een veranderd neerslag- en verdampingspatroon (W+ klimaatscenario) op de zoutvracht is secundair: weliswaar neemt de zoutvracht naar het oppervlaktewater door bovenstaande processen toe, maar deze toename is relatief klein ten opzichte van de zoute kwel die nu al optreedt. Zo blijft de invloedssfeer van een zeespiegelstijging op het grondwatersysteem over het algemeen beperkt tot de eerste kilometers vanaf het open (zee)water en is het extra effect van een zeespiegelstijging op bijvoorbeeld de Haarlemmermeerpolder niet significant.

De gewone KNMI'06 klimaatscenario's als G en W zijn in termen van kwelfluxen en zoutvrachten minstens zo interessant als het hier doorgerekende extremere W+ klimaatscenario. De gewone KNMI'06 klimaatscenario's hebben door de toename in neerslagoverschot, en de daardoor hogere waterstanden op de rivieren en de meren, indirect een toename in kwel naar het oppervlaktewater en daarmee in zoutvracht tot gevolg (voor 2100 geeft het nattere W scenario zelfs een grotere zoutlast dan het W+ met 2m zeespiegelstijging).

In hoeverre een knikpunt optreedt, hangt af van hoe het oppervlaktewaterbeheer de toename in zoutbelasting vanuit het grondwater zal opvangen, bijvoorbeeld door middel van grotere doorspoeldebieten vanuit inlaatpunten.

6.4.3 Landbouw

Het zijn vooral vollegrondsgewassen die gevoelig zijn voor verzilting via het grondwater. Daarnaast gebruikt een deel van de landbouw (bollen en boomgaarden) oppervlaktewater voor beregening. Uit de meest recente droogtestudie blijkt dat de glastuinbouw inmiddels vrijwel onafhankelijk is van het oppervlaktewater: deze sector gebruikt grondwater dat wordt ontzilt met een osmosetechniek. Ze gebruiken liever grondwater dan oppervlaktewater omdat ze dan geen last hebben van sediment en algen.

Wat de meest kwetsbare sector is, verschilt per gebied: kapitaalintensieve teelten in Rijnland, glastuinbouw in Delfland, aquatische ecologie in Schieland en de Krimpenerwaard, industrie in de Hollandse Delta. Voor de glastuinbouw zien overigens zowel Hollandse Delta als Delfland pas problemen ontstaan bij langdurige verzilting van de Bernisse inlaat. De eerste grote verandering in zoutschade zal de komende 100 jaar optreden in de bollenstreek ten noordwesten van Leiden, als men daar grondwater voor beregening blijft toepassen. Een verandering in de watervoorziening of het grondgebruik, of een aanpassing van de teelten zal hier noodzakelijk zijn.

In deze studie is de nadruk gelegd op droge, verziltende klimaatomstandigheden en zijn geen extreem natte scenario's gemodelleerd. Desalniettemin kunnen deze omstandigheden tot wateroverlast voor de landbouw leiden, bijvoorbeeld wanneer wordt gekozen voor een adaptatiestrategie met peilopzet in combinatie met (regen)water vasthouden of door in de meest kritische periode (de zomermaanden) minder water uit te slaan. Enkele gebieden kunnen hierdoor een dermate hoog peil krijgen dat landbouw niet langer mogelijk is. Sommige gebieden, met name de diepe droogmakerijen, kunnen zelfs onder water komen te staan. Ook omliggende gebieden kunnen overlast ondervinden van de gekozen maatregelen doordat de kweldruk zich verplaatst.

6.5 Conclusies

De zoetwatervoorziening lijkt bij de huidige normering in 2050 in gevaar te komen bij inlaatpunten op de Nieuwe Maas, Oude Maas (tot aan het Spui) en de Hollandsche IJssel. Vanaf 2100 wordt ook in het oostelijke deel van de Oude Maas, het Hollandsch diep en de Lek de waterinname langdurig beperkt.

Voor het studiegebied Hoogheemraadschap Rijnland zal de toenemende verzilting vóór 2100 leiden tot een heroverweging van het waterbeleid. Deze toenemende verzilting is het gevolg van meer zoute kwel, een toename van het zoutgehalte van de benedenrivieren en een toename van het aantal en de duur van droge zomers. Deze conclusies gelden vermoedelijk voor grote delen van het Nederlandse poldergebied.

Een en ander heeft zeer waarschijnlijk tot gevolg dat inlaatpunten voor de watervoorziening/doorspoeling in bovenstroomse richting moeten worden verlegd en dat (beperkingen bij de) berekening vanuit het oppervlaktewater in droge zomers tot droogte- en zoutschade leiden. Het al dan niet kunnen (en willen) handhaven van de norm voor de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater van het Nederlandse boezemsysteem (behoudens Zeeland) zal binnen 10 jaar ter discussie moeten worden gesteld.

Aangezien in sommige gebieden het eerste knikpunt in de watervoorziening naar verwachting al vóór 2050 wordt bereikt, moet nu al worden gestart met het verkennen van alternatieve strategieën. Kernbegrippen in deze strategieën zijn:

- tegengaan verzilting bij de bron;
- wateraanvoer;
- vasthouden en bergen;
- ander ruimtegebruik ('functie volgt peil', inclusief aandacht voor waterkwaliteit);
- zuinig met water.

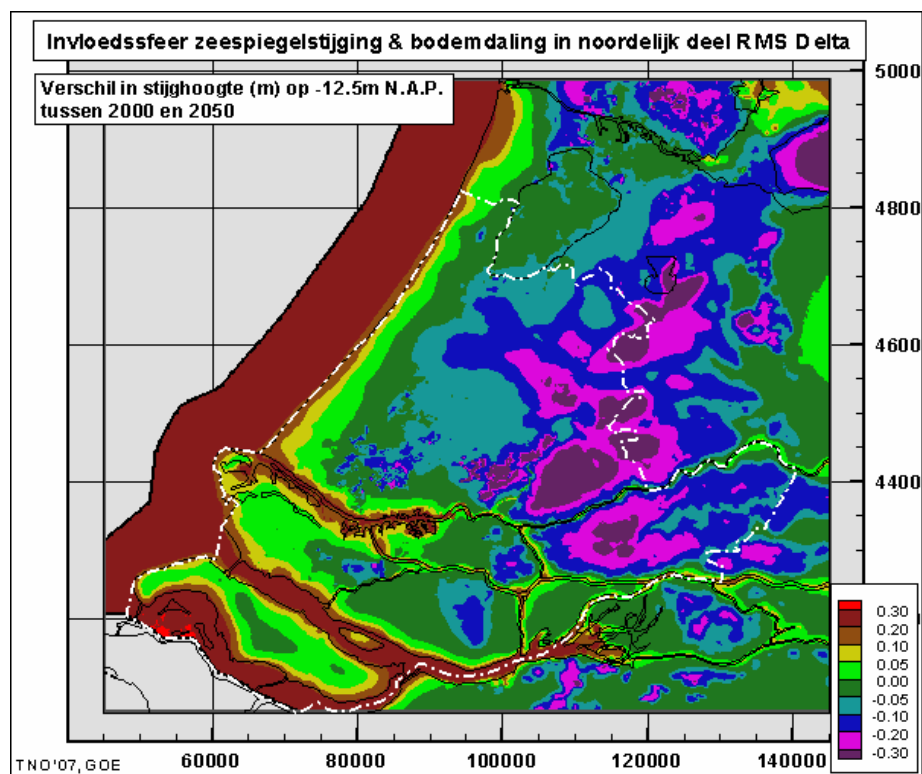
Omdat elke strategie naast voordelen ook nadelen kent, zal in de praktijk per gebied een optimale combinatie van maatregelen moeten worden gezocht.

7 Waterbeheer en infrastructuur

Als de zeespiegel stijgt en het waterpeil in de rivieren en grote meren (vaker) hoger staat, neemt de druk in het grondwater toe. Dit kan gevolgen hebben voor constructies op en in de grond. Uit het huidige onderzoek komt echter geen knikpunt voor deze constructies naar voren. De levensduur van leidingen is kort in verhouding tot de snelheid waarmee de opwaartse druk van het grondwater toe kan nemen: als aanpassingen aan de leidingen nodig zijn, wordt dit bijtijds bij vervanging van de leidingen doorgevoerd. Constructies als parkeergarages en tunnelwanden hebben voldoende marge om extra opwaartse druk te kunnen weerstaan. Constructies met paalfunderingen kunnen in de problemen komen bij een toename van de stijghoogte van 1 m per 50 jaar. Een dergelijke snelle stijging wordt in geen van de huidige klimaatscenario's voorzien.

7.1 Fysische randvoorwaarden

Fysische randvoorwaarden spelen een belangrijke rol bij het ontwerp van constructies. Als deze randvoorwaarden snel veranderen, kunnen aanpassingen in het ontwerp noodzakelijk worden (klimaatbestendig maken van de constructie). Stijging van het zeeniveau leidt tot een toename van de stijghoogte van het grondwater (figuur 7.1).



Figuur 7.1 Vershil in stijghoogte van het grondwater tussen 2000 en 2050.

Langs de rivieren en de IJsselmeerkust neemt op den duur over relatief korte afstand de potentiaal in watervoerende zandlagen toe door de verhoging van het gemiddelde rivier- en IJsselmeerpeil. De breedte van de beïnvloedde strook hangt af van de bodemeigenschappen en de mate waarin in het binnenland het waterbeheer wordt aangepast.

Ondergrondse vloeistof- en gasleidingen doorkruisen op veel plaatsen afsluitende deklagen. De toename van de stijghoogte kan leiden tot toename van de kwel langs de leidingen op die plaatsen. Waar leidingen de primaire waterkeringen kruisen, kunnen deze door de extra peilstijging door klimaatverandering onder de minimaal vereiste hoogte (dijktafelhoogte) komen te liggen waardoor ze eerder moeten worden vervangen.

7.2 Constructies en infrastructuur

Constructies zoals gebouwen, tunnels, wegen en pijpleidingen worden ontworpen op basis van landelijke normen, richtlijnen en voorschriften. Daarbij wordt nog slechts beperkt rekening gehouden met duurzaam en klimaatbestendig bouwen.

Over het algemeen wordt bij bestaande en nieuwe bebouwing uitgegaan van een betrekkelijk korte levensduur. Voor woning- en utiliteitsbouw is de theoretische levensduur, waar conform de bouwvoorschriften mee moet worden gerekend, ongeveer 50 jaar, wat overigens niet wegneemt dat het merendeel van het huidige woningenbestand feitelijk een langere levensduur heeft. Voor bijzondere gebouwen zoals bruggen, tunnels, stuwen en dergelijke wordt een technische levensduur van circa 100 jaar aangehouden. Er is een gerede kans dat een groot deel van het huidige areaal aan woningen en bedrijfsgebouwen over 100 jaar vervangen zal zijn of zal worden.

7.3 Knikpunten

7.3.1 Leidingen

De verwachting is dat zelfs bij zeer grote zeespiegelstijgingen de toename van de kwel beperkt zal blijven (zie vorige hoofdstuk). In het bestaande beleid worden bij elke dijkversterking de leidingen weer aangepast volgens de nieuwe normen. Op grond hiervan lijken voor wat betreft effecten van klimaatverandering op leidingen geen knikpunten bepaald te kunnen worden. Wel kan in de norm voor leidingen het advies worden opgenomen om de aanleg of vervanging van een bestaande leiding uit te voeren met een sleufloze techniek onder de dijk door buiten het invloedsgebied van zettingen. Op deze manier kan in de norm rekening worden gehouden met de gewenste levensduur van de leidingen en de te verwachten zettingen door dijkversterking en dergelijke.

7.3.2 Constructies

Bij constructies gaat het om het effect van de stijghoogte op de belasting van funderingen en ondergrondse constructies zoals tunnelwanden en parkeergarages. Knikpunten ontstaan als met de huidige bouwwijzen constructieve schade door instabiliteit of opdrijven niet meer kan worden voorkomen. Civiele constructies in waterkeringen zoals sluizen, dokken, toeritten van tunnels en dergelijke, maar ook parkeergarages onder gebouwen, zijn over het algemeen gedimensioneerd op opwaartse waterdruk tegen de onderzijde van de fundering. Bij het ontwerp, en bij het aanbrengen van gewichtsconstructies of trekpalen, wordt uitgegaan van mogelijk extreme waterstanden tijdens of na de bouw. De ontwerpveiligheid is meestal orde 10 % zodat relatief geringe veranderingen van de gemiddelde waterstand niet direct tot problemen zullen leiden. Bij grotere toename van de stijghoogte zal wel schade kunnen optreden. Een knikpunt is zonder nadere analyse en specificaties niet vast te stellen. Algemeen kan worden gesteld dat constructies met paalfunderingen in de problemen kunnen komen bij een toename van de stijghoogte van 1 m per 50 jaar. Een dergelijke snelle stijging wordt in geen van de huidige klimaatscenario's voorzien.

7.4 Opbarsting

Met betrekking tot veiligheidsaspecten zijn de gevolgen van verhoogde grondwaterdruk voor het eventueel opbarsten van de deklaag van belang. Dit risico neemt toe, maar lijkt zich te beperken tot goed te identificeren zones langs de grote wateren en in de IJsselmeerpolders. Het toenemende risico heeft gevolgen voor de stabiliteit van dijken. Dit is verkend in eerder onderzoek (Kwadijk *et al.*, 2007), waaruit bleek dat het ontwerp van dijken hierop moet worden aangepast maar dat dergelijk aanpassingen met de huidige kennis mogelijk zijn. Ten aanzien van opbarsten werd in dit onderzoek geen knikpunt geïdentificeerd.

7.5 Conclusie

Binnen het huidige onderzoek kon geen knikpunt ten aanzien van constructies en infrastructuur worden geïdentificeerd. Zelfs tot grote zeespiegelstijgingen is met de huidige technologische kennis aangepaste bouw mogelijk. Om problemen te voorkomen kunnen, waar van toepassing, geleidelijk de rekenuitgangspunten in de bouwvoorschriften worden aangepast.

De enige (indicatieve) uitspraak die op dit moment kan worden gedaan, betreft paalfunderingen: voor deze funderingen zou een zeespiegelstijging > 1 m in 50 jaar tot problemen kunnen leiden. Een dergelijke snelle stijging is ruim groter dan de hoogste waarde voor de zeespiegelstijging waarmee in het beleid rekening wordt gehouden (130 cm / eeuw).

8 Overwegingen ten aanzien van sociaal-economische en maatschappelijke knikpunten

Op welk moment een knikpunt in het waterbeheer en –beleid wordt bereikt, hangt niet alleen af van technische, natuur- of klimaatfactoren. Ook sociaal-economische en maatschappelijke aspecten spelen een rol. De sociaal-economische aspecten komen naar voren bij de afweging van kosten tegen baten: wat mag meer veiligheid kosten ten opzichte van de te beschermen belangen. Dat blijkt in de praktijk geen simpel rekensommetje. De afweging stelt bestuurders voor de keus tussen investeren voor een lange termijn belang of het geld uitgeven aan maatschappelijke vraagstukken die de burgers (de kiezers) nu raken. Daarnaast kijken burgers niet op dezelfde manier tegen risico's aan: hun perceptie verschilt en daar moet de overheid rekening mee houden in haar communicatie met de burgers. Maatschappelijk draagvlak voor grote beslissingen is essentieel voor een goed resultaat. Dat draagvlak wordt gemakkelijker gerealiseerd als andere gebiedsbelangen met die grote beslissingen kunnen meeliften.

8.1 Economische aspecten knikpunten klimaatverandering

Economie gaat over keuzegedrag van individuen, huishoudens, bedrijven en overheden bij schaarse materiële middelen. De overheid zal bij het te voeren beleid keuzes moeten maken ten aanzien van collectieve belangen die door klimaatverandering worden beïnvloed, zoals bescherming tegen overstromen, drinkwatervoorziening en natuur. Aan de hand van het thema veiligheid beschrijft deze paragraaf een aantal economische aspecten in relatie tot dit keuzegedrag.

De bescherming tegen overstromen is een collectief goed dat is georganiseerd op dijkkringniveau. De veiligheid in dijkringen hangt onderling samen en bovenregionale coördinatie is daarom nodig. De economische afweging van investeringen in waterveiligheid gaat in Nederland uit van het overstromingsrisico (kans maal gevolg). Binnen het programma Waterveiligheid 21^e Eeuw (WV21) wordt onderzocht in hoeverre het waterveiligheidsbeleid (met bijvoorbeeld een aanpassing van de ruimtelijke variatie in veiligheidsniveaus van de dijkringen) zou kunnen worden aangepast. Vanuit economisch perspectief komen de gevolgen van klimaatverandering voor de waterveiligheid neer op een toekomstige welvaartsdaling: zowel de overstromingskansen als de potentiële schade nemen toe. Risico's en kosten worden geoptimaliseerd door het totaal van alle mogelijke overstromingskosten door klimaatverandering te minimaliseren. Dit zijn de kosten van de overstromingen zelf, plus de kosten van investeringen om de kans op een overstroming te verlagen tot een maatschappelijk bepaald niveau (Eijgenraam, 2005). Economisch relevante indicatoren zijn dus:

- Kans op een overstroming in combinatie met de kosten van een overstroming
- Kosten van verlaging van de overstromingskansen

Dit zijn de belangrijkste indicatoren voor de knikpunten voor waterveiligheid in relatie tot de klimaatverandering. Ze staan zowel onder invloed van fysische als maatschappelijke ontwikkelingen, die hieronder beschreven zijn.

8.1.1 Investeringskosten en overstromingen

De *kans op overstromingen* wordt bepaald door fysische factoren en maatschappelijke voorkeuren, bijvoorbeeld ten aanzien van de risico's die maatschappelijk worden geaccepteerd. Bescherming tegen overstromen wordt gezien als een nationaal collectief belang. In de uitwerking van het beleid worden voor verschillende delen van Nederland verschillende overstromingskansen gehanteerd: het dichtbevolkte Zuid-Holland heeft een lagere toegestane overschrijdingskansen van maatgevende waterstanden dan de eveneens grote dijkkring van Groningen en Friesland (Eijgenraam *et. al.*, 2005). Deze differentiatie is een politieke keuze die laat zien dat maatschappelijke voorkeuren kunnen leiden tot regionale verschillen in keuzes voor investeringen voor veiligheid op basis van regionale verschillen in, bijvoorbeeld, bevolkingsdichtheid en economie. De differentiatie is het resultaat van een afweging tussen economische doelmatigheid en verdelingsaspecten: uit oogpunt van efficiency ligt een gedifferentieerde overstromingskans voor de hand, terwijl vanuit het gelijkheidsbeginsel iedere dijkkring dezelfde overstromingskansen zou moeten hebben. De toekomstige ontwikkeling van de overstromingskansen², en vooral de snelheid waarmee de overstromingskansen veranderen, is onzeker. Deze onzekerheid is de belangrijkste factor die het maken van afgewogen economische en maatschappelijke keuzes met het oog op de verwachte klimaatverandering in de weg staat. Economische en maatschappelijke afwegingen van investeringen in veiligheid verlopen volgens een soort varkenscyclus omdat het afwegingsproces afhankelijk is van inschattingen van overstromingskansen. Het kost veel tijd om met verschillende maatschappelijke partijen tot een gezamenlijke beeld van die overstromingskansen te komen en vervolgens overeenstemming te bereiken over de gewenste investerings- en uitvoeringsprogramma's. Naast onzekerheid speelt NIMBY (not in my back yard) hierbij een belangrijke rol. Realisatie van maatregelen vindt dus bijna altijd met (veel) tijdvertraging plaats.

Ook de *kosten van overstromingen* worden bepaald door fysische factoren en maatschappelijke effecten. Een belangrijke maatschappelijke indicator is *economische groei*. Hoe meer welvaart er in een dijkkring wordt opgebouwd, hoe meer het loont om deze dijkkring te beschermen tegen overstromen. Vanuit het oogpunt van een vrijwel voortdurend groeiende economie is het opmerkelijk dat de gewenste veiligheidsniveaus van de dijkringen teruggaan tot de kosten-batenanalyse van de Deltacommissie uit 1960. Economische groei (en daarmee potentiële schade) kan zich bovendien per dijkkring verschillend ontwikkelen. Dit is van invloed op de overstromingsrisico's (kans maal gevolg) per dijkkring.

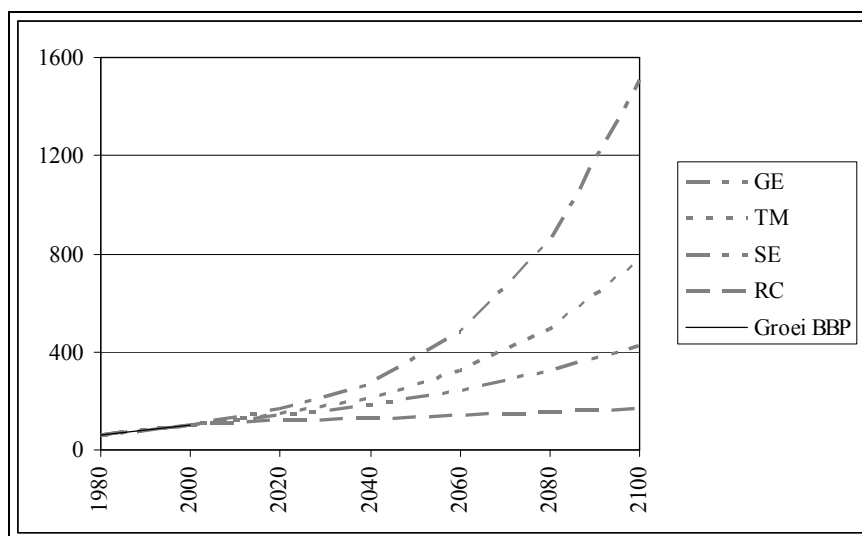
In de studie *Vier vergezichten voor Nederland* (Huizinga en Smid, 2004) van het CPB zijn vier scenario's onderscheiden. In volgorde van verwachte economische groei zijn dit Global Economy, Transatlantic Market, Strong Europe en Regional Communities (zie tabel 8.1).

2. Daarnaast zijn er diverse andere onzekerheden bij het bepalen van overstromingskansen. Zo is het lastig om te bepalen wanneer een dijkkring het begeeft. Er zijn diverse bezwijkmechanismen. Verder is vaak niet goed bekend hoe de veelal oude dijken en oude historische kunstwerken zijn samengesteld.

Tabel 8.1 Gemiddeld jaarlijks groeipercentage van de toegevoegde waarde voor vier vergezichten op Nederland, per tijdsperiode.

Scenario	1980-2001	2002-2020	2021-2040	2040-2100
Global Economy	2,5	2,9	2,3	2,9
Transatlantic Market	2,5	2,2	1,6	2,2
Strong Europe	2,5	1,8	1,4	1,4
Regional Communities	2,5	1	0,4	0,4

Bron: CPB; aanvulling TNO tot 2100



Figuur 8.1 Vier vergezichten naar 2100: verwachte groei BBP (2001=100). Bron: TNO, op basis van WLO-scenario's.

In figuur 8.1 is vervolgens weergegeven wat de impact is van deze groeiverwachtingen op de omvang van de Nederlandse economie in 2100. Het extrapoleren van de uitkomsten van de studie van het Centraal Planbureau leidt tot een economie in 2100 met respectievelijk 15, 7,6, 4,3 en 1,7 keer de omvang van de Nederlandse economie in 2001. Ter vergelijking: in reële termen is de Nederlandse welvaart in de tweede helft van de vorige eeuw, de periode 1950-2000, verzesvoudigd. Als we die periode van economische voorspoed zouden doortrekken, komen we in 2100 uit op 36 keer³ de omvang van de economie van 2001, dus nog veel sterker dan Global Economy.

De forse bandbreedte tussen uitkomsten van de verschillende scenario's leidt tot grote verschillen tussen de verwachte baten van waterveiligheidsmaatregelen. Bij een sterke groei van de economie zijn er twee keuzes: (1) het accepteren van een hogere schade en dus het aannemen van een minder risicomijdende houding, en (2) het investeren in veiligheidsmaatregelen zodat de overstromingskans dusdanig wordt verlaagd dat het uit economisch oogpunt gewenste overstromingsrisico kan worden gehandhaafd.

³ Namelijk een verzesvoudiging tot ca. 2050 en vervolgens nog eens een verzesvoudiging daarvan tot ca. 2100

Overigens zijn de huidige Nederlandse normen voor overstromingskansen tot een factor tien veiliger zijn dan bijvoorbeeld in Groot-Brittannië en zelfs een factor honderd veiliger dan in New Orleans vóór de overstroming door Katrina. Deze risicomijdende houding, waarbij de nadruk in het Nederlandse veiligheidsbeleid sterk ligt op preventie van overstromingen, is historisch gezien begrijpelijk en sluit daarmee aan bij de perceptie van de bevolking. De publieke opinie gaat er van uit dat de bescherming tegen overstromen gewaarborgd is door de overheid. Een omslag van een sterk preventief gericht veiligheidsbeleid naar de acceptatie van grotere risico's zou daardoor, in termen van draagvlak, omvangrijke bestuurlijke consequenties hebben.

De kosten van het verlagen van de overstromingskansen hangen samen met de aard en snelheid van klimaatverandering. Zowel te vroeg als teveel investeren zijn ongewenst omdat dit een zekere verspilling van economische middelen inhoudt. De schade van te weinig dan wel te laat investeren is evenwel in potentie nog groter. Omdat het tempo van klimaatverandering onzeker is, moet de samenleving kiezen en daarbij ligt een risicomijdende houding voor de hand: liever te veel dan wel te vroeg investeren dan te weinig dan wel te laat (Stern *et al.*, 2006). De zeer lage kosten voor beheer en onderhoud van dijken op de lange termijn in verhouding tot het toekomstig bruto nationaal product ondersteunen de keuze voor een risicomijdende investeringshouding (DNB, 2007).

De kosten van het verlagen van de overstromingskansen hangen ook samen met de economische groei en openbare financiën. Hoe sneller de economie groeit, hoe meer middelen er ter beschikking staan om te investeren in veiligheid. Een (forse) groeivertraging kan de investeringsmogelijkheden beperken (het inkomenseffect) en bovendien de maatschappelijke bereidheid tot investeren veranderen (het substitutie-effect), waarbij de voorkeur bijvoorbeeld verschuift van bescherming tegen overstromen naar sociale zekerheid. Bij het bepalen welk deel van ons bruto binnenlands product (BBP) we bereid zijn te investeren in veiligheid spelen, net als bij het bepalen van een risicohouding, maatschappelijke voorkeuren een belangrijke rol. Behalve de mate van economische groei speelt de vraag mee wanneer zich voor het laatst een omvangrijke ramp of bijna-ramp heeft voorgedaan, zoals in 1953 en in het rivierengebied in 1993 en 1995. Direct na een dergelijke gebeurtenis bestaat er een grote investeringsbereidheid maar na verloop van tijd ebt deze bereidheid ook weer weg. Voor de publieke perceptie is niet zozeer het verwachte overstromingsrisico in de toekomst het uitgangspunt maar het recentelijk ervaren risico. Een knikpunt in de investeringen treedt dan ook op als zich een ramp of bijna-ramp voordoet. Volgens de publieke perceptie zijn de investeringen in veiligheid dan blijkbaar te laag geweest en is een inhaalslag gewenst.

8.1.2 Economisch knikpunt: financiering van substantiële beleidsintensiveringen
Vanuit economisch oogpunt is sprake van een knikpunt als binnen relatief korte tijd substantieel meer wordt geïnvesteerd in klimaatadaptatie. In het voorgaande zijn een aantal determinanten en processen beschreven die deze keuze beïnvloeden. De vraag is wat we in dit verband in de nabije toekomst kunnen verwachten.

De kosten van beheer en onderhoud van primaire waterkeringen zijn beperkt ten opzichte van zowel het BBP als de schade die optreedt bij eventuele overstromingen. Verder biedt toekomstige economische groei in potentie de financiële ruimte om de primaire waterkeringen ook voor de lange termijn aan klimaatveranderingen te blijven aanpassen (DNB, 2007). In de meeste scenario's groeit de economie, beschouwd vanuit een langetermijnperspectief, veel sneller dan de benodigde investeringen voor klimaatadaptatie (Zie ook figuur 8.1).

Financiële ruimte is echter mede afhankelijk van de conjunctuurencyclus. Alleen bij hoogconjunctuur kan relatief gemakkelijk geld worden vrijgemaakt voor investeringen in maatregelen voor de waterveiligheid. Bij laagconjunctuur krijgen maatregelen voor de lange termijn minder snel prioriteit dan vraagstukken op de korte termijn, zoals sociale zekerheid, koopkracht en werkgelegenheid. Bovendien zijn er voor dergelijke lange termijn maatregelen geen specifieke, goed georganiseerde belangengroepen en zullen politici die zich voor deze maatregelen sterk willen maken, de publieke opinie niet mee hebben als zich recent geen klimaatgerelateerde wateroverlast heeft voorgedaan. De financiële ruimte voor langetermijninvesteringen kan dan ook het beste worden aangewend op het moment dat deze er is, zoals in de huidige – aflopende – hoogconjunctuur.

8.2 Bestuur en Beleid

Economische factoren kunnen niet los worden gezien van de werking van bestuurlijke en beleidsprocessen: ook die spelen een rol bij het maken van keuzes. In deze paragraaf worden de relevante aspecten van bestuur en beleid behandeld die van invloed zijn op het optreden van knikpunten met betrekking tot klimaatadaptatie.

8.2.1 Bestuur en agendavorming

Een politiek bestuurder is in eerste instantie een gekozen vertegenwoordiger voor een periode van vier jaar. Politici hebben één zeer belangrijk doel voor ogen, namelijk herkozen worden. Daarvoor moeten zijn of haar inspanningen zichtbaar zijn voor de kiezers. Deze inspanningen zijn gericht op het tot stand brengen van een aantal concrete verbeterpunten die in meer of mindere mate passen bij de lijn van de politieke beweging waarvan de politicus deel uitmaakt. Vanwege de verkiezingsperiode van vier jaar zijn zij gebaat bij concrete verbeteringen op korte termijn en niet bij de aanpak van de lange termijn problematiek van klimaatverandering.

Om inspanningen en concrete verbeteringen zichtbaar te maken, is de politicus vaak afhankelijk van de media. Indien de opinie van de media zich tegen een prestatie of opinie van een politicus richt, kan dit ook bedreigend zijn voor zijn/haar positie. Omdat de media bepalen wat er wel of niet in het avondnieuws of in de ochtendkrant komt te staan, bepalen zij in belangrijke mate de maatschappelijke agenda. Hiermee hebben zij veel invloed op de publieke opinie, waarvoor politici uitermate gevoelig zijn, en daarmee dus ook op de politieke agenda.

Hoe komt een maatschappelijk probleem op de maatschappelijke, politieke en uiteindelijk op de beleidsagenda? De publieke agenda is de lijst van onderwerpen waarvan (delen van) de publieke opinie van oordeel zijn dat ze aandacht verdienen van politici. De politieke agenda is de lijst van onderwerpen die de aandacht van politici en bestuurders hebben. De beleidsagenda, tenslotte, is de lijst van onderwerpen die niet alleen de aandacht van een beleidsactor hebben, maar waarvoor ook maatregelen worden voorbereid of ingevoerd.

De wijze waarop een onderwerp uiteindelijk op de beleidsagenda komt, is het agendavormingsproces. Zoals hierboven beschreven hebben de media een grote invloed op de politieke agenda. Deze invloed zal alleen nog maar groter worden naarmate de invloed van interactieve media (internet) groter wordt. De drempel om je mening te geven in bijvoorbeeld weblogs wordt steeds lager. Daar staat tegenover dat de laagdrempeligheid ook leidt tot een zeer diffuse opinievorming.

De opinies moeten georganiseerd worden om de media, de politiek, het georganiseerd overleg en het bestuur te bereiken. Daarnaast kan een onderwerp rechtstreeks vanuit de politieke agenda op de beleidsagenda komen. Echter, wil er beleid komen voor een bepaald onderwerp, dan moet deze een plaats krijgen op de beleidsagenda. Dit laatste gebeurt uiteraard lang niet met alle onderwerpen.

Volgens het stromenmodel (Kingdon, 1984) kan de besluitvorming worden beschouwd als een "garbage can". Hierin bevindt zich een verzameling elementen: keuzemomenten op zoek naar beslissingen en situaties waarin zij tot uitdrukking kunnen worden gebracht, oplossingen op zoek naar strijdpunten waarvoor zij een oplossing kunnen zijn, en besluitnemers op zoek naar werk. Een uiteindelijke beslissing is het resultaat van het elkaar treffen van een viertal stromen: problemen, oplossingen, deelnemers en keuzemomenten.

Het proces van beleidsvorming bestaat uit drie deelprocessen: de probleemerkenning, het genereren van oplossingen en politieke gebeurtenissen. De politieke agenda wordt in belangrijke mate bepaald door een gunstige koppeling van probleemerkenning en politieke gebeurtenissen. Deze koppeling komt niet zomaar tot stand, hiervoor zijn zogenaamde entrepreneurs nodig. Zodra zich een 'window of opportunity' voordoet, staan deze klaar om hun preferenties door te duwen. Steeds vaker treden de media op als entrepreneur. Een deel van de politieke agenda vertaalt zich vervolgens naar de beleidsagenda, namelijk als drie stromen bij elkaar komen: er is een erkend probleem, een uitvoerbare oplossing is voorhanden en de tijd is er rijp voor. Voorgestelde oplossingen voor problemen moeten door beleidsmakers op de beleidsagenda worden geplaatst.

8.2.2 Bestuurlijke determinanten voor knikpunten klimaatadaptatie

Welke bestuurlijke en beleidsmatige context zou kunnen leiden tot een knikpunt of trendbreuk in het beleid rond klimaatadaptatie? Aan de vraag of een oplossing uitvoerbaar is, gaat meestal een (maatschappelijke) kosten-batenanalyse vooraf. De moeilijkheid bij klimaatadaptatie strategieën is daarbij vaak dat de kosten op korte termijn moeten worden gemaakt terwijl de baten worden uitgesmeerd over een lange termijn en veel moeilijker inzichtelijk zijn te maken.

Kosten-batenanalyses alleen zijn daarom niet genoeg om trendbreuken te bewerkstelligen. Ook de tijd moet er rijp voor zijn. Een voor de hand liggend voorbeeld in dit verband is de film van Al Gore die door haar impact een bepaalde 'window of opportunity' heeft gecreëerd. In termen van het stromenmodel kan Al Gore in zekere zin ook als een (externe) entrepreneur worden beschouwd, die gericht bepaalde voorkeuren met betrekking tot het klimaatbeleid onder de publieke aandacht heeft gebracht. Een complicerende factor hierbij is wel dat herverkiezing (toch dé incentive voor politici) niet wordt bespoedigd door het brengen van onrust omtrent overstromingsgevaar. Bovendien zijn politici gevoeliger voor de publieke opinie dan voor meningen van wetenschappers (Olsthoorn *et al.*, 2004). De film van Al Gore heeft deze factoren overigens aardig gecompenseerd door veel overtuigingskracht en een geslaagde overdracht van wetenschappelijke kennis naar een breed publiek, die zeker van invloed is geweest op de algemene risicoperceptie. Verder is al eerder aangegeven dat ook rampen zoals in 1953 of bijna-rampen zoals in 1993 en 1995, het publiek en politici kunnen overtuigen van de noodzaak van extra diepte-investeringen.

Lokaal versus collectief belang: multi-level vraagstukken

Belangengroepen, burgers, maar ook bestuurders op lokaal niveau kunnen zich vaak niet vinden in probleemdefinities die op een hoger schaalniveau worden vastgesteld. In termen van het stromenmodel: ze erkennen het probleem niet. Dit kan bijvoorbeeld zijn omdat de problematiek niet zichtbaar is op lokale schaal, of omdat er vanuit verschillende tijdschalen naar het probleem wordt gekeken. Ook hebben bewoners van bedreigde gebieden vanwege hun emotionele regionale binding vaak een 'bias' in het vormen van hun voorkeuren. Zij zijn daarom afzonderlijk niet in staat beslissingen te nemen die optimaal zijn vanuit regionaal of nationaal belang. Uiteindelijk bepaalt de mate waarin het probleem wordt gedeeld en gestructureerd in belangrijke mate de oplossingsrichting en in hoeverre deze wordt geaccepteerd.

Hierbij speelt maatschappelijke acceptatie een belangrijke rol en dit is het punt waarbij knikpunten kunnen ontstaan. Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 8.4.

Netwerkbenadering

Toenemende beperkingen in de maakbaarheid van de samenleving hebben consequenties voor de implementeerbaarheid en uitvoerbaarheid van (toekomstig) beleid. Een steeds sterker opkomende opvatting is dat de overheid de controle over beleidsprocessen vergaand moet durven loslaten. Doelen en probleemdefinities kunnen niet meer voorafgaand aan het proces worden vastgesteld maar moeten tijdens het proces, door gezamenlijk opgedane ervaringen en inzichten, interactief worden vastgesteld. Daarmee wordt het lastiger de overheid (politici) op de door haar geformuleerde doelstellingen af te rekenen omdat beleidsevaluaties nog altijd zijn gericht op vooraf gestelde doelen. Bij klimaatadaptatie is dit des te meer van belang omdat er oplossingen voor de lange termijn moeten worden geformuleerd voor ongestructureerde problematiek in samenwerking tussen publieke en private actoren. Eigenlijk is met dit proces van een meer hiërarchische naar een netwerkbenadering al een knikpunt (of trendbreuk) in de context van bestuur en beleid opgetreden. Toch is een zekere hiërarchie in de besluitvorming nodig. De keuze van oplossingsstrategieën voor de gevolgen van klimaatverandering moet tot stand komen door de samenwerking van verschillende schaalniveaus. Daarnaast speelt ook het proces van een verdergaande internationalisering. De EU hoogwaterrichtlijn is een voorbeeld van hoe adaptatiebeleid (bescherming tegen overstroming) internationaal steeds meer zal samenhangen.

Omgaan met onzekerheden en procesvertragingen

De mogelijkheden van de overheid om op klimaatverandering te anticiperen zijn beperkt doordat de snelheid van die verandering zo onvoorspelbaar is. Het kost veel tijd om de aard, omvang en zekerheid van deze verandering, en de doorwerking in (onacceptabele) overstromingsrisico's te herkennen. Is de noodzaak van beleid eenmaal herkend en erkend, dan treedt vertraging in de besluitvorming op als financiering aan de orde komt (zie paragraaf 8.1) en bij de procedures rond aanpassing van ruimtelijke plannen. Ook de politieke conjunctuur, die samenhangt met het belang dat bestuurders hechten aan herverkiezing, kan tot vertraging leiden: een regering geeft bij voorkeur voorafgaand aan verkiezingen extra geld uit, met een voorkeur voor uitgaven die de koopkracht van burgers gunstig beïnvloeden.

Bij de uitwerking van ruimtelijke plannen staan ruimteclaims voor het vergroten of behouden van het niveau van bescherming tegen overstromingen (meer ruimte voor dijken, veiligheidszones en meer ruimte voor water) vaak op gespannen voet met andere ruimteclaims. Het veranderen van ruimtelijke plannen kost veel tijd (tot orde 10 jaar). Tot slot neemt ook de uitvoering van maatregelen veel tijd in beslag, zeker waar het gaat om sterk gespecialiseerde objecten als de Stormvloedkering. Ter illustratie: het Deltaplan werd in 1960 besloten en kwam in 1986 gereed. Volgens de huidige KNMI-scenario's is er echter voldoende tijd voor het nemen van maatregelen voor de toekomst.

Het proces van besluitvorming duurt dus lang. Met een goede analyse van de relevante bestuurlijke, economische en procesmatige factoren kan tot op zekere hoogte worden geanticipeerd op bovenbeschreven vertragingen. Bij het maken van keuzes voor investeringen is een risicomijdende houding vereist: beter te vroeg of te veel investeren dan te weinig of te laat. Deze houding past bij de motivatie vanuit economisch perspectief in combinatie met de heersende publieke perceptie.

8.3 Ruimtelijke ordening en inrichting

Het optreden van knikpunten hangt niet alleen samen met economische en bestuurlijke, maar ook met ruimtelijke factoren. Deze paragraaf geeft hiervan een indicatief overzicht.

8.3.1 Ruimteclaims

De meeste adaptatiemaatregelen en –strategieën leggen in meer of mindere mate claims op de beschikbare ruimte. Omdat in Nederland in principe alle beschikbare ruimte is ingevuld, zullen deze claims conflicteren met bestaande ruimtelijke functies. Het gaat daarbij niet alleen om feitelijk ruimtebeslag maar ook om eventuele invloeden op de functionaliteit van een gebied. Zo wordt bij dijkverzwaring beslag gelegd op de aanwezige functies (vaak woningen) achter de dijk en leidt peilverhoging van het IJsselmeer tot 'verdrinking' van de (ondiep water) randen van natuurgebieden.

Ook het toekomstig ruimtegebruik moet centraal staan bij het formuleren van een lange termijn perspectief voor klimaatadaptatie. Actuele structuurvisies van gemeenten en provincies geven inzicht in gewenste ruimtelijke ontwikkelingen voor de komende circa 10 jaar (zie bijvoorbeeld www.nieuwekaart.nl). Voor de langere termijn zijn er diverse scenariostudies die de bandbreedtes van ruimtelijke ontwikkelingen verkennen, met de MNP-studie 'Nederland Later' als één van de belangrijkste voorbeelden (MNP, 2007). In de gebieden waar volgens diverse scenario's de meeste extra ruimtedruk kan worden verwacht, zal het implementeren van ruimtevragende adaptatiemaatregelen het moeilijkst zijn, tenzij we er in slagen de ruimtelijke opgaven voor het klimaatbestendig maken en andere ruimtelijke opgaven goed te integreren.

De aanpassing van strategieën voor waterbeheer en ruimtelijke planning, en dus het optreden van knikpunten, kan door actuele en toekomstige conflicterende ruimteclaims worden belemmerd of juist gestimuleerd. Zo kan de weerstand vanuit het huidige ruimtegebruik (stedelijk gebied, boerderijen) een maatregel als waterberging verhinderen terwijl de strategie rivierverruiming juist mede tot stand is gekomen als alternatief voor extra dijkverzwaringen, omdat deze op lokaal niveau stuiten op veel weerstand.

Bij toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen, zoals vastgelegd in structuurvisies of beschreven in scenario's, zijn eventuele conflicterende ruimteclaims feitelijk nog fictief: afhankelijk van de mate waarin ontwikkelingen bestuurlijk en juridisch vastliggen, kunnen de verschillende claims nog verder worden 'uitgevochten' in bestuurlijke, beleidsmatige, technische en economische afwegingsprocessen.

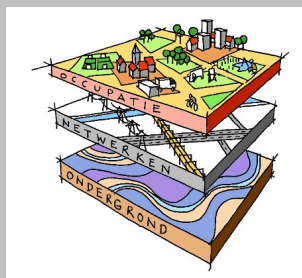
Hoe conflicterende ruimteclaims uiteindelijk worden opgelost, hangt voor een belangrijk deel af van de kracht en dynamiek die met een bepaald ruimtegebruik samengaat. Bekend is bijvoorbeeld dat 'rode' functies (wonen, kantoren en dergelijke) economisch sterker zijn dan 'groene' en 'blauwe' functies, maar dat bestuurlijke daadkracht en regelgeving in staat zijn om de balans ook naar de andere kant te laten doorslaan.

Zeer hardnekkige weerstand is in de regel te verwachten bij de noodzaak tot sloop van bestaande woningen, boerderijen of vervanging van landbouwgrond door natuur en water, zoals bijvoorbeeld wordt geïllustreerd door de casus Groot-Mijdrecht Noord, waar men al jarenlang niet tot een oplossing komt voor het steeds minder houdbare waterbeheer aldaar (Van Rooy, 2007). Recente voorbeelden als de dijkverlegging bij Lent en het ontpolderen van de Noordwaard bij de Biesbosch laten zien dat ook dit soort adaptatiemaatregelen wel degelijk mogelijk zijn, mits men een lange adem heeft.

8.3.2 Ruimtelijke gebiedskenmerken

Bij afwegingen tussen verschillende claims op dezelfde ruimte spelen kenmerken van die ruimte en de functies die het betreft een belangrijke rol. Voor een inhoudelijke analyse wordt daarbij vaak de zogenaamde 'lagenbenadering' toegepast (zie intermezzo 5), met een onderscheid in een ondergrond-, een netwerk- en een occupatielaag (Ministeries VROM, LNV, V&W en EZ, 2004).

Intermezzo 5: De Lagenbenadering in het kort



De lagenbenadering gaat ervan uit dat de **ondergrondlaag**, die wordt gevormd door de geologische ondergrond, het watersysteem en het biotisch systeem, gekenmerkt wordt door processen met een grote tijdsschaal. De ondergrond kent een lange ontstaansgeschiedenis en is kwetsbaar; belangrijke veranderingen vergen al gauw meer dan een eeuw tijd. Zeker in het pre-industriële tijdperk werd bij het ruimtegebruik nog rekening gehouden met de eigenschappen van de ondergrond, zoals bepaald door de opbouw van veen, zand, klei en hydrologie.

Met het oog op duurzaamheid en keuzes ten aanzien van klimaatbestendigheid zou de ondergrondlaag weer meer een rol moeten spelen bij strategische en ruimtelijke keuzes.

De **netwerklaag** wordt gevormd door netwerkstructuren zoals verkeersnetwerken, waterwegen en leidingnetwerken en wordt gekenmerkt door relatief lange planningstijden en levensduur. Belangrijke veranderingen in deze laag duren ca. 20 tot 80 jaar, maar kunnen ook veel langer doorwerken (zie bijvoorbeeld spoortrajecten die al langer dan 150 jaar functioneren). De netwerken vormen een belangrijke voorwaarde voor stedelijke en economische dynamiek, op alle ruimtelijke schaalniveaus.

De **occupatielaag** bestaat uit de neerslag van menselijke activiteiten zoals wonen, werken en recreatie en kent de grootste variatie aan tijdsschalen. Landelijke gebieden kunnen binnen enkele jaren transformeren in stedelijk gebied maar behouden vervolgens zeer langdurig hun stedelijke functie. Op het niveau van straten en gebouwen gaan de transformaties soms weer veel sneller, terwijl oude stadscentra eeuwenlang kunnen standhouden.

(naar: Stadsgewest Haaglanden, 2003)

Verder kan de ruimtelijke inrichting worden gekarakteriseerd aan de hand van zogenaamde *gebiedstypen*. Een veelgebruikte typering is afkomstig uit de MIRUP-studie (Milieu in Ruimtelijke Plannen) van Stadsgewest Haaglanden (Stadsgewest Haaglanden, 2003). In figuur 8.3 wordt deze typering geïllustreerd. Aan de hand hiervan kunnen enerzijds de klimaatgerelateerde urgenties (die kunnen leiden tot knikpunten) ruimtelijk worden gedifferentieerd en kunnen anderzijds eventuele maatregelen gebiedsspecifiek worden gemaakt en kan de kansrijkheid ervan worden getoetst. Zo is de verziltingproblematiek urgent in cultuurlandschappen maar veel minder in stedelijke gebieden, en zal dijkverzwaring in stedelijke gebieden anders moeten worden ingericht en tot meer weerstand leiden dan in natuur- of recreatielandschappen.



Figuur 8.3 *Gebiedstypen. De thema's van de ruimtelijke ordening worden veelal monofunctioneel benoemd, zoals wonen, werken, verkeer, water en natuur. Maar het ruimtegebruik in Nederland is altijd multifunctioneel en bestaat daarmee uit een mix van deze traditionele thema's en opgaven. Deze zijn daarom vertaald naar 11 gebiedstypen. Deze gebiedstypen representeren grofweg de voorkomende gebieden in Nederland. Per gebiedstype is een samenhangend geheel van eigenschappen en kwaliteiten geschetst. De gebiedstypen zijn gebaseerd op een mix van de aspecten van ruimtegebruik, verkeer, water, natuur, energie en leefbaarheid (bron: www.ruimtexmilieu.nl).*

Overigens blijkt dat in klimaatgevoelige gebieden met een hoge ruimtelijke druk, zoals bijvoorbeeld de regio Delfland, ook bij de actuele klimatologische condities, al knikpunten optreden (zie hoofdstuk 6). De houdbaarheid van een leefbare en economisch rendabele ruimtelijke inrichting staat al fors onder druk door de snelle en ingrijpende ruimtelijke veranderingen die onvoldoende kunnen worden geaccommodeerd binnen de fysieke randvoorwaarden van klimaat en veiligheid (Deltares i.o., 2007).

8.3.3 Aansluiting bij ontwikkelingen in de Ruimtelijke Ordening

Het succes van alternatieve strategieën voor het waterbeheer en –beleid met het oog op klimaatadaptatie hangt voor een deel af van de mate waarin kan worden meegelift met ruimtelijke ontwikkelingen. Daarbij geldt een onderscheid in ruimtelijke ontwikkelingsopgaven (plannen, inrichtingsmaatregelen en investeringsprogramma's gericht op ruimtelijke veranderingen) en ruimtelijk beheer (instandhouding van de bestaande inrichting van een gebied). Met name grootschalige ontwikkelingsopgaven bieden kansen voor klimaatadaptatie omdat daar de nodige bestuurlijke aandacht en investeringen mee zijn gemoeid. Voorbeelden hiervan zijn de planning van nieuwe verstedelijkingsopgaven (Almere, Zuidplaspolder), gebiedsontwikkelingen, stedelijke herstructureringsopgaven, landinrichtingsprojecten en natuurontwikkeling (EHS). Voor een effectieve klimaatadaptatie zullen randvoorwaarden en maatregelen vanuit het ruimtelijke perspectief waar mogelijk moeten aansluiten bij de economische, sociale, ecologische, bestuurlijke en ruimtelijke 'drivers' onder dergelijke plannen. De wijze waarop afwegingskaders voor klimaatadaptatie gekoppeld kunnen worden aan ruimtelijke opgaven en beheer is verder uitgewerkt in het rapport 'Naar een klimaatbestendig Nederland' dat onderdeel is van het Routeplanner-project (Leven met Water, 2008).

8.3.4 Ruimtelijk-economische vestigingspatronen

De Randstad is de economische kern van Nederland. Hier woont ruim veertig procent van de Nederlandse bevolking op nog geen derde deel van het Nederlands grondgebied. Bijna de helft van het bruto nationaal product (anno 2005 bedroeg dit 505 miljard euro) wordt in de Randstad verdiend. De economie van de Randstad groeide over de periode 1995-2005 gemiddeld 3 procent per jaar; voor Nederland als geheel was dit 2,6 procent. Met name de Noordvleugel van de Randstad heeft agglomeratievoordelen: bepaalde typen bedrijven concentreren zich in één regio omdat daar de voor hun activiteiten benodigde lokale vraag, gekwalificeerd personeel, transportverbindingen en kennis aanwezig zijn. Regio's met agglomeratievoordelen trekken bewoners aan omdat er veel werkgelegenheid is, de regio een groot verzorgingsgebied heeft; en er veel verschillende producten verkrijgbaar zijn. Met name Amsterdam heeft die economische kernfunctie voor Nederland. Dit komt tot uiting in een hoog aandeel hoogopgeleiden in de beroepsbevolking en een hoge arbeidsproductiviteit (Manshanden *et al.*, 2006). Overigens ontwikkelen ook de gebieden die grenzen aan de Randstad, zoals delen van Gelderland, Overijssel en Noord-Brabant, zich ruimtelijk-economisch relatief sterk.

De locatie van economische kernregio's is in de tijd doorgaans heel constant (Brakman *et al.*, 2005). Economische kernen ontwikkelen zich voornamelijk op basis van technologische ontwikkeling (zoals recentelijk ICT). Zo horen de Japanse steden Nagasaki en Hiroshima, na volledig te zijn verwoest, tegenwoordig weer bij de grootste steden in Japan. Rotterdam is, na het bombardement van 1940, weer de tweede stad van Nederland. Uiteraard kunnen ook voorbeelden worden genoemd van steden die hun economische koppositie verliezen (zoals Berlijn tussen de Tweede Wereldoorlog en nu) maar daar gaat het vaak om grootschaliger dan wel langduriger processen (zoals het DDR-regime).

Indien we aannemen dat het economisch hart van Nederland de locatie van de huidige Randstad blijft, wordt het belang van het behoud van de Randstad duidelijk. Uit de analyses van de gevolgen van klimaatverandering en de mogelijkheden voor verdergaande kustverdediging en riviermaatregelen blijkt op dit moment geen reden voor grootschalige aanpassing van de ruimtelijke strategie voor de Randstad op korte of middellange termijn.

Voor de lange termijn kunnen zich bij een hoog tempo van klimaatverandering twee alternatieve planningsstrategieën (knikpunten) voordoen: enerzijds de (verdere) ontwikkeling van andere beschermingsconstructies voor de Randstad (met de bijbehorende ruimteclaims), en anderzijds het nastreven van alternatieve ruimtelijke ontwikkelscenario's zoals terugtrekking naar hoger gelegen gronden (zie Klijn et al., 2007). Met het oog op bovenbeschreven ervaringen van de constante locatie van economische kernregio's verdient het eerste daarbij veruit de voorkeur. Het tweede alternatief zou negatieve welvaartseffecten hebben met betrekking tot toegevoegde waarde, reistijd, vestigingsstrategie en milieu. Bovendien zou de ruimteschaarste in dat geval verder toenemen doordat nieuwbouw van woningen in de Randstad niet meer zouden kunnen worden gerealiseerd. Zolang extreme klimaateffecten in korte tijd onwaarschijnlijk zijn, zijn zowel vanuit economisch als ruimtelijk perspectief forse adaptatiemaatregelen verre te prefereren boven een planmatige verplaatsing van de Randstad (zie ook Nederland Later: MNP, 2007).

8.4 Maatschappelijke acceptatie

Maatschappelijke percepties en acceptatie zijn van belang voor het optreden van knikpunten en het sturen van adaptatiebeleid. De onderliggende aspecten en mechanismen komen in deze paragraaf aan bod. Daarbij is een benadering gekozen waarbij wordt geanalyseerd op welke wijze maatschappelijk draagvlak kan worden verkregen voor maatregelen in het kader van een klimaatbestendig Nederland op lange termijn. De beschreven aspecten en mechanismen kunnen niet direct worden vertaald naar klimaatgerelateerde knikpunten omdat ze afhankelijk zijn van het beleid dat het antwoord is op klimaatverandering (adaptatie) en niet van de klimaatverandering zelf.

Van belang voor het verkrijgen van maatschappelijk draagvlak zijn:

1. Risicoperceptie
2. Communicatie over risico's
3. Gebiedsbelangen

8.4.1 Risicoperceptie

Klimaatverandering kent veel onzekerheden over de richting en grootte van eventuele effecten en de bijbehorende risico's (Van Asselt, 2007). De risico's worden door (groepen) individuen vaak verschillend geïnterpreteerd. Dit wordt verklaard door het feit dat elk individu een eigen set van normen, waarden en overtuigingen hanteert die 'de bril' vormt waardoor de wereld wordt aanschouwd. Deze 'persoonlijke bril' beïnvloedt de manier waarop individuen of organisaties informatie verzamelen en filteren om een inschatting te maken van risico's en de manier waarop zij situaties of gebeurtenissen beoordelen.

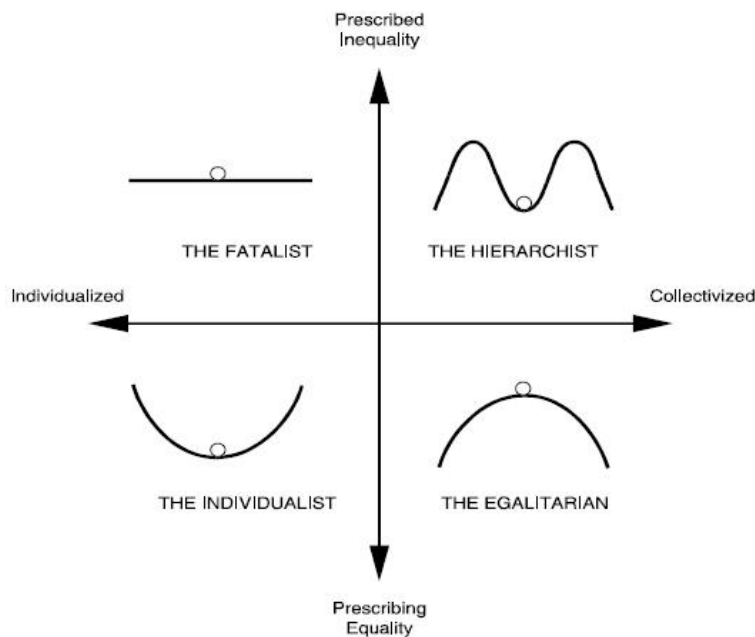
Een veel gebruikte theorie om risicoperceptie te benaderen en analyseren is de Culturele Theorie die in 1990 door Thompson, Wildavsky en Ellis is ontwikkeld, hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Douglas (1970). Grofweg komt de Culturele Theorie neer op de veronderstelling dat risicodefinitie en risicobeleving afhangen van de manier waarop sociale relaties georganiseerd zijn en opvattingen ontstaan. De theorie gaat uit van vier typen sociale relaties die door twee factoren worden beïnvloed. Deze factoren worden 'group' en 'grid' genoemd:

- 'Group' staat voor de mate waarin een individu betrokken is bij of lid is van een groep (als sociale eenheid);
- 'Grid' gaat over de mate waarin het gedrag van een individu of groep wordt bepaald door extern opgelegde wetten en regels.

Door deze twee begrippen met elkaar te combineren, ontstaan vier typen sociale relaties met bijbehorende opvattingen, handelingen en normen, samen ook wel 'cultuur' genoemd (figuur 8.4): de fatalistische, de hiërarchische, de individualistische en de egalitaire cultuur. Kenmerken van deze vier verschillende culturen zijn (Oude Vrielink en Van Heffen, 2000):

- Een **fatalistisch perspectief** wordt gevormd door een hoge grid- en lage group-score. Fatalisten voelen zich onderworpen aan regels en verplichtingen en kennen weinig geborgenheid van een groep. Vanuit een fatalistisch perspectief lijkt de wereld in hoge mate onvoorspelbaar.
- Een **hiërarchisch perspectief** komt voort uit een hoge grid- en hoge group-score. Er gelden veel regels en verplichtingen die gekoppeld zijn aan bepaalde hiërarchische posities en rollen. Het uitoefenen van macht door personen op bepaalde hiërarchische posities wordt gerechtvaardigd vanuit het idee dat binnen een hiërarchie mensen harmonieuzer kunnen samenleven. Hiërarchische culturen zijn doortrokken van ideeën over beheersing en maakbaarheid, controle en regulatie. De wereld en de natuur zijn binnen bepaalde grenzen te manipuleren, totdat deze grenzen worden overschreden en een catastrofe volgt.
- Een **individualistisch perspectief** wordt gekenmerkt door een lage grid- en lage group-score. Individualisten voelen zich niet beperkt of gestuurd door sociale verbanden. Het eigen belang staat voorop. Vrijheid en ontplooiing zijn belangrijk. De veronderstelling is dat de wereld in evenwicht is en de natuur overvloedig. Uiteindelijk kan het evenwicht zich zonder ernstige consequenties herstellen, wat de mens ook doet.
- Een **egalitair perspectief** vloeit voort uit een hoge group- en lage grid-score. Overeenstemming en gelijkheid binnen de groep zijn belangrijk. Individuen kunnen alleen macht uitoefenen over andere individuen als zij daarvoor steun kunnen vinden vanuit de groep; het collectief belang staat voorop. De wereld en de natuur worden gezien als kwetsbare systemen die beschermd moeten worden (preventief).

De analyse van cultuurkenmerken kan op verschillende niveaus worden toegepast: op het niveau van hele landen of regio's, van groepen, of op individueel niveau. Ook zijn cultuurkenmerken tijdgebonden: de jaren '50 laten bijvoorbeeld een heel ander 'cultuurbeeld' zien dan de huidige tijd.



Figuur 8.4 Schematische weergave culturele theorie (Thompson et al., 1990)

Vanuit de verschillende perspectieven die samenhangen met de beschreven cultuurkenmerken ontstaan verschillende risicopercepties ten aanzien van klimaatverandering en gewenste maatregelen ten behoeve van een klimaatbestendig Nederland op de lange termijn. In het vervolg van deze studie zal hieraan uitgebreid aandacht worden besteed, mede aan de hand van analyses en resultaten uit het lopende project van het programma Leven met Water 'Perspectieven in Integraal Waterbeheer', dat wordt uitgevoerd en gefinancierd door ICIS-Universiteit Maastricht, Deltares, Universiteit Utrecht, Carthago Consultancy en KNMI.

8.4.2 Communicatie

Elke cultuur maakt gebruik van een eigen taal met bijbehorende sleutelwoorden. De sleutelwoorden zijn binnen die cultuur eenduidig of algemeen geldend en geven aan welke onderwerpen binnen die cultuur belangrijk zijn (Ellen en Slob, 2006). Naast sleutelwoorden kent elke 'cultuur' ook een aantal blinde vlekken, onderwerpen die nauwelijks aan de orde komen en niet belangrijk geacht worden in relatie tot het vraagstuk.

Doordat de taal en blinde vlekken verschillen, moeten de communicatievorm en de te communiceren boodschap daarop worden aangepast. Voor de communicatie over complexe onderwerpen als het klimaatvraagstuk of over ingrijpende maatregelen die de overheid nodig acht, betekent dit dat elke vorm van communicatie zorgvuldig moet aansluiten bij, en moet afgestemd zijn op het perspectief of de beleving van de verschillende betrokken partijen (stakeholders) voor wie de boodschap bedoeld is. Met andere woorden: de verschillende perspectieven van betrokken partijen moeten doorvertaald worden naar de wijze van communiceren plus de boodschap.

8.4.3 Gebiedsbelangen

Complexe vraagstukken zoals het klimaatvraagstuk gaan samen met veel verschillende en soms tegenstrijdige belangen die rondom het vraagstuk spelen. Te denken valt aan verschillende belangen op nationaal, regionaal en lokaal niveau, maar ook aan verschillende belangen van direct of indirect betrokken partijen (stakeholders). Vaak is het een onbegonnen zaak om al deze belangen te laten terugkomen bij het nemen van besluiten. Toch raken steeds meer partijen en personen ervan overtuigd dat het meenemen van gebiedsbelangen in het zoeken naar oplossingen kan bijdragen aan het creëren of vergroten van maatschappelijk draagvlak voor beslissingen, bijvoorbeeld door aan te sluiten bij belangrijke ruimtelijke opgaven. Als belanghebbenden te laat of niet goed bij ruimtelijke planvorming en – uitvoering worden betrokken, kan dit maatschappelijke weerstand oproepen en kunnen inrichtingstrajecten vastlopen (Van Schie *et al.*, 2007). Met een interactieve werkwijze waarbij alle betrokken partijen en belangen een rol krijgen in de afweging en besluitvorming, kan dit worden voorkomen en kan maatschappelijk draagvlak voor het te nemen besluit worden bereikt (Van Schie *et al.*, 2007).

Een voorbeeld van samenwerking met betrokkenen in de regio is het project Rondon Arnemuiden waarin een advies is opgesteld voor de herinrichting van een gebied ten noordoosten van het dorp Arnemuiden gekoppeld aan de ontwikkeling van het Veerse Meer. Het advies is tot stand gekomen met medewerking van bewoners, ondernemers en agrariërs uit het gebied. Voor de publieke partijen in het gebied was het een spannende ervaring om 'de touwtjes uit handen te geven' en het advies over de herinrichting van een aantal polders Rondon Arnemuiden van onderaf te laten ontwikkelen (zie voor meer informatie Van Schie *et al.*, 2007).

Het meenemen van gebiedsbelangen spreekt nog niet altijd vanzelf, en zelfs als het dat wel is, is de uitkomst niet zelden onbevredigend voor de deelnemers. Zo vonden direct betrokkenen langs de Waal dat het programma Ruimte voor de Rivier niet genoeg rekening hield met hun belangen en behoeftes. De grootste kritiek was dat het programma vooral aandacht besteedde aan het thema 'veiligheid', en dan met name aan conservatieve veiligheidsmaatregelen, waarbij het thema 'kwaliteit van de leefomgeving' een ondergeschoven kindje bleef. In het traject 'Waalweelde' hebben de direct betrokkenen daarom zelf alternatieven uitgedacht met aandacht voor 'veiligheid' én 'ruimtelijke kwaliteit' (Innovatienetwerk, 2007). In de algemene evaluatie van de PKB Ruimte voor de Rivier wordt overigens gesteld dat er voldoende rekening is gehouden met gebiedsbelangen (Ten Heuvelhof *et al.*, 2007).

Medewerkers van het MIPWA project⁴ hebben aan den lijve ondervonden dat de 'op papier beste oplossingen of keuzes' in de praktijk niet altijd werkbaar bleken juist omdat er andere belangen golden bij de betrokken partijen en eindgebruikers. Individuele belangen en (risico-) perspectieven moeten worden begrepen om overeenstemming en draagvlak te verkrijgen (Joziasse *et al.*, 2007).

⁴ Tijdens het MIPWA-project (Methodiekontwikkeling Interactieve Planvorming ten behoeve van het Waterbeheer) is op een interactieve wijze met actieve bijdragen van de eindgebruikers gekomen tot een algemeen geaccepteerd grondwatermodel waarmee niet alleen de huidige stand van zaken terug te vinden is (bibliotheekfunctie) maar ook inzicht verkregen kan worden in de effecten van bepaalde ingrepen (zoals peilverhoging of verlaging, en grondwateronttrekkingen). Dit model is tot stand gekomen door gebruik te maken van gebiedskennis en – belangen, en door eindgebruikers en andere betrokkenen te laten meebeslissen over belangrijke onderwerpen.

8.4.4 Toetsing draagvlak voor maatregelen

De in het voorgaande beschreven aspecten bieden handvatten voor het creëren van draagvlak voor eventuele noodzakelijke veranderingen in de strategieën voor het waterbeheer en de ruimtelijke planning, en voor de bijbehorende maatregelen. Het is echter niet goed mogelijk om het draagvlak van in de toekomst te nemen maatregelen vooraf te toetsen. Daarom is het wenselijk om het draagvlak in beschouwing te nemen aan de hand van concrete praktijksituaties waarin met belanghebbenden gesproken kan worden.

8.5 Conclusies en aanbevelingen

De effectiviteit van bestaande en alternatieve beleids- en beheersstrategieën voor klimaatadaptatie hangt niet alleen af van de fysische gevolgen van klimaatverandering. Ook economische, ruimtelijke en bestuurlijke factoren, en maatschappelijke acceptatie zijn van invloed en bepalen mede het optreden van eventuele knippunten.

Economische factoren

De belangrijkste indicatoren voor een economische beoordeling van de effectiviteit van klimaatgerelateerde maatregelen en beleidsstrategieën zijn:

- Kans op overstroming in combinatie met de kosten van overstroming, met als bepalende economisch relevante aspecten:
 - *Lokale demografie en economische structuur* van de betreffende gebieden; dit bepaalt immers de potentiële schade en het potentiële aantal slachtoffers;
 - *Economische groei*: dit leidt tot toename van welvaart (die per dijkkring kan verschillen) en daarmee tot toename van potentiële schade. Tot 2100 wordt in de meeste scenario's een verveelvoudiging van de Nederlandse economie voorzien. Dit zou een belangrijk uitgangspunt moeten zijn voor kosten-batenanalyses bij investeringen in waterveiligheid;
 - *Maatschappelijke keuze tussen economische efficiency of gelijke verdeling* van risico's, bepalend voor hoe men omgaat met eventueel gedifferentieerde risico's per gebied.
- Kosten van verlaging van overstromingskansen, met als bepalende economisch relevante aspecten:
 - *Onzekerheden* omtrent klimaatveranderingen, waardoor het niveau van gewenste investeringen in klimaatadaptatie met veel tijdsvertraging wordt bepaald en afwegingen vaak een soort varkenscyclus doorlopen;
 - *Risicohouding* van de bevolking, die de afwegingen met betrekking tot het investeren in klimaatadaptatie mede bepaalt. In Nederland bestaat vooralsnog de algemene perceptie dat grootschalige overstromingen altijd voorkomen moeten worden en dat de overheid hiervoor moet zorgen. Verder wordt de risicohouding niet zozeer bepaald door verwachtingen voor de toekomst maar door in het nabije verleden ervaren risico's, zoals (bijna)-rampen. In aansluiting op deze combinatie van onzekerheden en publieke percepties en omdat adaptatie naar verwachting nu veel minder kost dan over vijftig jaar, zou een risicomijdende investeringshouding de voorkeur moeten krijgen.
 - *Economische conjunctuur*. Bij laagconjunctuur zijn aanvullende investeringen in langetermijnbeleid zeer lastig te realiseren omdat dit ombuigingen vraagt binnen reeds vastgelegde financiële kaders die tevens moeten concurreren met investeringen in koopkracht en werkgelegenheid die bij laagconjunctuur veel prioriteit krijgen; financiële ruimte kan het best worden aangewend als deze er is, zoals in tijden van hoogconjunctuur.

- *Economische groei.* In de meeste scenario's groeit, beschouwd vanuit een langetermijnperspectief, de economie veel sneller dan de benodigde investeringen voor klimaatadaptatie.

Factoren met betrekking tot bestuur en beleid

Bestuurlijke en beleidsprocessen bepalen mede de totstandkoming en effectiviteit van klimaatgerelateerde maatregelen en beleidsstrategieën. Relevante factoren zijn:

- de mate waarin concrete verbeteringen zichtbaar kunnen worden binnen een *bestuurstermijn* van 4 jaar;
- de rol van de *media* en hun invloed op de publieke opinie;
- het proces van *agendavorming*: de wijze waarop klimaatgerelateerde onderwerpen op politieke en beleidsagenda's terecht komen. Daarbij speelt onder meer het optreden van *windows of opportunity* een rol; door bijvoorbeeld (bijna-)rampen of grootschalige media-invloeden (film van Al Gore) is op zeker moment de tijd rijp om iets op de agenda te krijgen;
- het toenemende belang van een *netwerkbenadering*: doelen en probleemdefinities kunnen steeds minder voorafgaand aan het proces worden vastgesteld maar moeten tijdens het proces in het netwerk van betrokken partijen tot stand komen. Op verschillende schaalniveaus moet worden samengewerkt om de effecten van klimaatverandering aan te kunnen pakken en de juiste oplossingsstrategieën te kunnen kiezen. Dit betekent dat er toch een zekere hiërarchie in de besluitvorming nodig is. Qua regelgeving wordt bovendien Brussel steeds belangrijker;
- *procesvertragingen*, die ontstaan als financiering aan de orde komt, door procedures en afwegingen bij het veranderen van ruimtelijke plannen en bij processen rond de concrete implementatie. Niekpunten moeten vroeg worden onderkend omdat de overheid naar verwachting eerder te laat en te weinig dan op tijd en genoeg zal reageren.

Hoe sneller klimaatverandering verloopt, des te urgenter de noodzaak om te anticiperen op deze bestuurlijke en beleidsmatige context.

Ruimtelijke ordening en inrichting

Naast de genoemde economische en bestuurlijke factoren zijn de volgende ruimtelijke ordeningsaspecten relevant:

- *conflicterende ruimteclaims*, die nu en op langere termijn kunnen ontstaan door feitelijk ruimtebeslag en de eventuele invloed van adaptatiemaatregelen op de ruimtelijke functionaliteit. Hoe conflicterende claims uiteindelijk tot een oplossing komen, hangt af van de (economische, bestuurlijke, technische of beleidsmatige) 'drivers' achter deze claims en de dynamiek van verschillende soorten ruimtegebruik. Hardnekkige weerstand is in de regel te verwachten bij de sloop van woningen of bij de vervanging van landbouwgrond door water of natuur. Ook gebiedskenmerken bepalen mede de keuze van oplossingen; locaties en gebieden kunnen in dit verband worden gekarakteriseerd aan de hand van zogenaamde gebiedstypen.
- *Aansluiting bij RO-opgaven*; maatregelen en planningsstrategieën zijn kansrijker naarmate ze beter aansluiten bij actuele en toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen, zoals verstedelijkingsopgaven, gebiedsontwikkelingen en de ontwikkeling van de EHS;

- *Ruimtelijk-economische vestigingspatronen*; economische kernregio's zoals de Randstad zijn doorgaans heel constant wat betreft hun locatie vanwege allerlei economische, ruimtelijke en fysieke locatiefactoren. Verplaatsing heeft zeer vergaande ruimtelijke, economische en sociale consequenties. Voor de korte en middellange termijn is vanuit klimaatverandering geen grootschalige aanpassing van de ruimtelijke strategie of planmatige verplaatsing vereist. Zolang zeer extreme klimaateffecten niet waarschijnlijk zijn, geldt dit ook voor de lange termijn.

Maatschappelijke acceptatie

Het optreden van knikpunten of het sturen van adaptatiebeleid hangt vaak mede af van maatschappelijke percepties en acceptatie. Een zeer belangrijk aspect in dit verband is (opnieuw) *risicoperceptie*. Deze is voor elk individu (of groepen individuen) verschillend, waarbij de verschillen verklaard kunnen worden vanuit de zogenaamde 'Culturele Theorie' die kenmerken beschrijft vanuit een 'fatalistisch', 'hiërarchisch', 'individualistisch' en 'egalitair' perspectief. Deze, deels tijd- en plaatsgebonden perspectieven zijn bepalend voor risicopercepties ten aanzien van klimaatverandering en visies op gewenste maatregelen.

Communicatie over complexe onderwerpen als het klimaatvraagstuk zal zorgvuldig moeten aansluiten bij het culturele perspectief en de beleving van verschillende betrokken partijen en stakeholders voor wie de boodschap bedoeld is. De ontwikkeling van beleid en maatregelen moet interactief met alle betrokken partijen en belangen in een gebied plaatsvinden opdat weerstanden voorkomen worden en maatschappelijk draagvlak wordt gecreëerd. Het is niet goed mogelijk om het draagvlak van in de toekomst te nemen maatregelen vooraf te toetsen. Daarom is het wenselijk om het draagvlak in beschouwing te nemen aan de hand van concrete praktijksituaties waarin met belanghebbenden gesproken kan worden.

Slotopmerkingen en vervolg

Veel factoren bepalen de totstandkoming en effectiviteit van klimaatgerelateerde maatregelen en beleidsstrategieën. De combinatie van deze factoren bepaalt of een knikpunt wordt bereikt. Vraagstukken moeten daarom integraal en niet (alleen) sectoraal of vanuit een beperkt thematisch perspectief worden beschouwd. In het vervolgproject zal vanuit deze benadering een aantal geïdentificeerde knikpunten uit deze studie worden toegelicht vanuit diverse maatschappelijke indicatoren en de samenhang daartussen. Verder zullen de in het vervolgproject te ontwikkelen alternatieve beleidsstrategieën vanuit deze maatschappelijke invalshoeken worden aangevuld, aan scenarioanalyses worden getoetst en ruimtelijk worden verbeeld.

9 Conclusies en aanbevelingen

Het huidige waterbeheer en -beleid is op een aantal punten 'klimaatbestendig'. Een goed voorbeeld is de strategie van kustbescherming door jaarlijkse zandsuppleties. Deze strategie is nog eeuwen houdbaar, zelfs als de zeespiegel vele meters stijgt. De kosten zijn relatief beperkt. Alternatieve strategieën als eilanden voor de kust of het bouwen van allerlei harde constructies in plaats van zand zijn vanuit het oogpunt van veiligheid overbodig. Eventuele andere argumenten voor de aanleg van eilanden voor de kust (ruimte, innovatie, export) zijn in deze verkenning buiten beschouwing gelaten.

Voor wat betreft de waterkeringen laat de analyse zien dat er geen technische knikpunten zijn. Bovendien lijken technische alternatieven (die ook in het huidige beheer al worden toegepast), weliswaar duurder maar toch betaalbaar. Bij technische oplossingen liggen knikpunten mogelijk op het gebied van draagvlak, omdat niet iedereen achter torenhoge dijken wil wonen, en op het gebied van bestuurlijke mogelijkheden, omdat aanpassingen bij de traditionele oplossingen veel ruimte (kunnen) vergen. Het (eventuele) optreden van deze niet-technische omslagpunten in de toekomst is niet onderzocht.

De analyse laat zien dat er geen aanleiding is om te veronderstellen dat de Nederlandse waterhuishouding in afzienbare tijd door de gevolgen van klimaatverandering onbeheersbaar zou worden. Integendeel. Het Nederlandse waterbeheer is tamelijk robuust ten aanzien van veranderingen in het klimaat.

Op diverse punten is ons huidige waterbeheer en -beleid echter niet klimaatbestendig, waaronder:

- het beheer ten aanzien van natuur: het beleid gericht op natuurbehoud (soortenbenadering) in plaats van natuurontwikkeling (ecosysteembenadering); dit probleem bestaat nu al en zal bij een stijgende temperatuur in de toekomst verder toenemen. Het feit dat sommige knikpunten al zijn gepasseerd komt niet door klimaatverandering maar door de invloed van de mens zoals emissies, strak peilbeheer, drainage, harde grenzen in het landschap;
- het beheer ten aanzien van de watervoorziening: de verziltingbestrijding op de Nieuwe Waterweg, en daarmee de totale zoetwatervoorziening van Nederland, wordt omstreeks 2040 een probleem;
- het beheer ten aanzien van de veiligheid: het open houden van de Nieuwe Waterweg met een stormvloedkering wordt na 2040, maar vóór 2100 een probleem.

Ondanks het feit dat sommige omslagpunten relatief ver weg liggen, moet nu al na worden nagedacht over alternatieve strategieën. Door rekening te houden met ontwikkelingen op de lange termijn kunnen de beste oplossingen voor de nabije toekomst worden vastgesteld. Samenwerking met landen die bovenstrooms van ons liggen, is daarbij cruciaal.

Dit betekent dat de bestaande beheersstrategieën vervangen moeten worden door meer klimaatbestendige varianten. Dit heeft gevolgen voor het totale waterbeheer en – beleid, op een veel kortere termijn dan we tot nu toe dachten. Bovendien moet het waterbeheer en -beleid in zijn totale samenhang worden beschouwd: samenhang tussen regio's (kust, benedenrivieren, rivieren, IJsselmeergebied, regionaal water en internationale stroomgebieden), en samenhang tussen thema's (o.a. veiligheid, natuur en watervoorziening). Klimaatverandering grijpt immers in op het totale watersysteem met effecten op het totale waterbeleid, waarbij alles met alles samenhangt.

Volgens de huidige inzichten uit de KNMI'06 scenario's zal in 2050 de zoetwatervoorziening in Zuidwest-Nederland het belangrijkste aandachtspunt vormen. Hier worden als eerste kritische grenzen bereikt. Volgens de W scenario's zou daarna de afvoer van de Rijn kritisch worden. Ook verdrinking van de Waddenzee kan op de kortere termijn een issue worden als de zeespiegel sneller stijgt dan verwacht. Binnen 100 jaar zullen er knelpunten ontstaan in de bescherming tegen overstromingen in het benedenrivierengebied. Dit is weliswaar ver in de toekomst maar vanwege de hoge kwetsbaarheid van het achterland zo fundamenteel dat er tijdig naar alternatieve strategieën moet worden gekeken.

Deze studie laat zien dat knikpunten niet alleen bepaald worden door de fysische grenzen van het watersysteem; ook maatschappelijke en economische factoren, risicoperceptie, bestuurlijk draagvlak, en beperkingen vanuit de ruimtelijke ordening spelen onder andere een rol. Dit blijkt uit een aantal voorbeelden:

- de mogelijkheden voor dijkversterking zouden in delen van Nederland flink beperkt kunnen worden door niet beschikbare ruimte en hoge kosten;
- overstromingen in Duitsland en Maastricht zouden kunnen leiden tot maatschappelijke druk om eigen beleid te heroverwegen;
- het vertrouwen in de havenfunctie van Rotterdam zou kunnen worden geschaad als de Maeslantkering te vaak sluit.

In het vervolg op deze studie zullen alternatieve oplossingen worden geïnventariseerd om Nederland ook voorbij de knikpunten in het huidige beleid en beheer klimaatbestendig te houden. Verder zullen de in het vervolgproject te ontwikkelen alternatieve beleidsstrategieën vanuit maatschappelijke invalshoeken worden aangevuld, aan scenarioanalyses worden getoetst en ruimtelijk worden verbeeld.

10 Referenties

- Aandacht voor Veiligheid, 2008. Achtergronddocument case Business as Usual. eindversie 22 april 2008.
- Adaptatie programma Ruimte en Klimaat (ARK), 2007. Maak ruimte voor klimaat, nationale adaptatiestrategie – de beleidsnotitie.
- Asselt, M.B.A. van, 2007. Perspectives on uncertainty and risk. The PRIMA approach to decision support. International Centre for Integrative Studies (ICIS), Maastricht University, Maastricht, the Netherlands.
- Beaugrand, G., 2004. The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography* 60: 245–262.
- Brakman, S., J.H. Garretsen, J. Gorter, M. Schramm en A. van der Horst, 2005. *New Economic Geography, empirics and regional policy*. CPB publicatie nr. 56, Den Haag.
- Bruggers, M., 2006. Achterlandstudie Maeslantkering - Consequenties voor inundatiefrequenties van buitendijkse gebieden in de Rijn-Maasmonding. Rapport Rijkswaterstaat RIZA 2006.022.
- Deltacommissie (1960), Rapport Deltacommissie, Staatsdrukkerij en uitgeverijbedrijf, Den Haag
- Deltares i.o., 2007. Inventarisatie van effecten van klimaatverandering op fysiek systeem Hoogheemraadschap van Delfland. TNO-rapport 2007-U-R01023/A, Utrecht.
- De Nederlandsche Bank, 2007. Gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse overheidsfinancien. Kwartaalbericht, september 2007, Amsterdam.
- Diamond, J.M., 2005, *Collapse, How Societies Choose to Fail or Succeed*, UCLA University Press, Los Angeles
- Dillingh, 2002. Klimaatverandering en zeespiegelstijging: vroeger, nu en in de toekomst. *Mens en Wetenschap* 29 (5).
- Dijkema, K. Smit C. en van Duin, W. (2008) *Kwelders en kwelderwerken* Wageningen. IMARES – Alterra
- Douglas, M., 1970. *Natural symbols – Explorations in cosmology*, Londen.

- Duel, H. & B. Specken (1994). Standplaatsmodel Essen-Iepenbos: een model voor het bepalen van de standplaatskwaliteit van rivieroeveren en uiterwaarden voor essen-iepenbossen (Fraxino-Ulmetum). TNO-BSA. RIZA werkdokument 96.046x
- Eijgenraam, C.J.J., 2005. Veiligheid tegen overstromen – kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1. CPB document nr 82, Centraal Planbureau, Den Haag.
- Ellen, G.J. en A. Slob, 2006. Risk perception and risk communication concerning sediments. TNO Strategy Technology Policy, Delft.
- Haasnoot, M., J.A.P.H. Vermulst, H. Middelkoop, H., 1999. Impacts of climate change and land subsidence on the water systems in the Netherlands. Terrestrial areas. Rapport Rijkswaterstaat RIZA 99.049, NRP project 952210.
- Haasnoot, M, Ververs, M.& Duel, H. (2002). Effecten van klimaatverandering op ecotopen van rijkswateren. WL | Delft Hydraulics rapport Q3258
- Haasnoot, M., H. Duel, G. van der Lee, M. Baptist, D.T. van der Molen en & M. Platteeuw, M., 2004. Impact of climate change on floodplain ecosystems of the River Rhine, the Netherlands. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis & restoration. September 12-17, Madrid, Spain, pp 1389-1393.
- Hebbink, A.J., 2000. Resultaten berekeningen WINBOS. Rapport Rijkswaterstaat RIZA werkdokument 2000.174x.
- Heuvelhof, E.F. ten, J.A. de Bruijn, M. van der Wal, M.B. Kort, M. van Vliet, M. Noordink en B. Bohm, 2007. Procesevaluatie totstandkoming PKB ruimte voor de rivier. Utrecht: Berenschot.
- Hoogvliet, M., 2008, Koploper Klimaat Werkpakket Watervoorziening. Rapport Deltares 2008-U-R0434/A.
- Huizinga, F. en B. Smid, 2004. Vier vergezichten op Nederland – productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040. CPB document nr. 55, centraal Planbureau, Den Haag.
- Innovatienetwerk, Ministerie van Rijkswaterstaat – WINN, 2007. InspiratieAtlas Waalweelde. Publicatienummer Innovatienetwerk 07.2.152, Utrecht.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- IPCC, 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IVW (Inspectie Verkeer en Waterstaat), 2006. De primaire waterkeringen getoetst. Nationaal rapport toetsing 2006.
- Jelgersma, S. M.J.F. Stive en L. van der Valk, 1995. Holocene storm surge signatures in the coastal dunes of the western Netherlands. *Marine Geology* 125: 95 -110.
- Joziassse, J., S. Heise, A. Oen, G.J. Ellen en L. Gerrits, 2007. Sediment management objectives and risk indicators, in: Sustainable management of sediment resources. Sediment risk management and communication., Uitgeverij Elsevier.
- Katsman, C. A., Hazeleger, W., Drijfhout, S. S., van Oldenborgh, G. J., and Burgers, G., 2008, Climate scenarios of sea level rise for the north- east Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic Change*. in press, available from www.knmi.nl/~katsman/Papers/climatescenario.pdf.
- Karatayev AY, Burlakova LE and Padilla DK (1997) The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in Eastern Europe. *Journal of Shellfish Research* 16: 187-203
- Kingdon, J. W., 1984. *Agendas, Alternatives and Public Policies*. HarperCollins College Publishers, New York (eerste druk).
- Klijn, F., H. van der Klis, J. Stijnen, K. de Bruijn en M. Kok, 2004. Overstromingsrisico dijkringen in Nederland – betooglijnen en deskundigenoordeel, rapport WL|Delft Hydraulics Q3503.10, Delft.
- KNMI, 2006. *Klimaat in de 21^e eeuw. Vier scenario's voor Nederland*.
- Klijn, F., P. Baan, K. de Bruin en J.C.J. Kwadijk, 2007. Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat – verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later. Rapport in opdracht van MNP. WL Delft Hydraulics, Delft.
- Kok, M., J.W. Stijnen, A. Barendrecht, K. Heynert en J. Dijkman, 2003. Beperking van overstromingsrisico's in het bovenrivierengebied; een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen langs de Rijntakken. Rapport HKV Lijn in Water en WL|Delft Hydraulics PR 640, Lelystad.
- Kwadijk, J. et al., 2001. Maatgevende afvoeren, onzekerheden en wereldbeelden. *Stromingen* 7 no 2.

Kwadijk, J., S. van Vuren, G. Verhoeven, G. Oude Essink, J. Snepvangers en E. Calle, 2007. Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding. Rapport WL|Delft Hydraulics Q4394, Delft.

Kwadijk, J., F. Klijn, M.A. van Drunen, D. de Groot, G. Teisman. P. Opdam, en N. Asselman, 2006. Klimaatbestendigheid van Nederland: nulmeting, Routeplanner deelproject 1, WL|Delfthydraulics.

Lammersen, R., 2004. Effects of extreme floods along the Niederrhein (Lower Rhine), Rapport Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Provincie Gelderland en Rijkswaterstaat Directie Oost.

Leven met Water, Habiforum, Klimaat voor Ruimte, Naar een klimaatbestendig NL; Kaders voor afweging, definitiestudie fase 1, Gouda, te verschijnen 2008.

Los, F.J., Mathematical Simulation of algae blooms by the model BLOOM II, Version 2, T68, WL | Delft Hydraulics Report, 1991

Manshanden, W.J.J., W. Jonkhoff, P.J.M. de Bruijn, O. Koops en J. van Brussel, 2006. De Top 20 van Europese stedelijke regio's 1995-2005: Randstad Holland in internationaal perspectief. TNO-rapport I&R-2006-N086-54073, Delft.

Milieu- en Natuurplanbureau, 2007 (m.m.v. WL|Delft Hydraulics), Nederland Later; Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland, MNP-publicatienummer 500127001/2007, Bilthoven.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Nederland veroveren op de toekomst. Kabinetsvisie op het waterbeleid.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006. Integrale Verkenning Maas 2 (IVM2). Rapport Rijkswaterstaat Directie Limburg.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005. Veiligheid Nederland in Kaart – risicocase dijkkring 14 Zuid-Holland, berekening van het overstromingsrisico. Rapport Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde DWW-2006-010, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003. Spankrachtstudie. Rapport Rijkswaterstaat RIZA.

Ministeries van VROM, LNV, VenW en EZ, 2004. Nota Ruimte; Ruimte voor Ontwikkeling, Den Haag.

Noordhuis en Houwing, 2003. Afname van de driehoeksmossel in het Markermeer : oorzaken en gevolgen van een vermoedelijke "crash" met betrekking tot waterkwaliteit, slibhuishouding en natuurwaarden

- Olsthoorn, A., P. van der Werff, L. Bouwer en D. Huitema, 2004. Neo-Atlantis: Dutch responses to five meter sea level rise. No FNU-75, Working Papers from Research unit Sustainability and Global Change, Hamburg University.
- Oude Vrielink, M.J. en O. van Heffen, 2000. Aaron Wildavsky: Van beleidscriticus tot 'cultuuradept'. *Bla Bestuurskunde*, jaargang 9 (6): pp. 276 – 284.
- Reeders, H. H. and A. Bij de Vaate. 1990. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia*. Volume 200-201, Number 1 / August, 1990. p 437-450.
- RIVM, 2004. Risico's in Bedijkte Termen.
- Rijkswaterstaat – RIZA, 2006. Handreiking watertekort en warmte.
- Rijkswaterstaat – RIZA, HKV, Arcadis en KIWA, 2005. Droogtestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. RIZA rapport 2005.016.
- Rijkswaterstaat, 2007. Systeemanalyse Rijn-Maasmonding. Rapport Rijkswaterstaat Zuid Holland.
- Rooy, P. van, 2007. Gebiedsontwikkeling Groot Mijdrecht Noord; Synopsis van een verkenning. Habiforum, Gouda.
- Rotmans, J., 2007. Duurzaamheid: van onderstroom naar draaggolf. Op de rand van een doorbraak. Drift Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Schie, N. van, J. Edelenbos, M. Duijn, M. Rijnveld, L. Gerrits, J. van Ast en R. Siebinga, 2007. Het advies Rondom Arnemuiden. Water als historische drager van het gebied. Het advies van bewoners aan bestuurders over de herinrichting Rondom Arnemuiden. Opgesteld door Erasmus Universiteit Rotterdam, TNO Bouw en Ondergrond, Tauw BV., november 2007.
- Silva, W., 2007. Van Lobith en Eijsden naar zee. Aanspraak op ruimte en afvoercapaciteit in het rivierbed op de lange termijn vanuit de veiligheid tegen overstroming. RIZA rapport concept 2007.
- Stadsgewest Haaglanden, TNO INRO, Dauvellier Planadvies, 2003. MIRUP; Handreiking voor Milieu in Ruimtelijke Plannen, Den Haag.
- Stern, N., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky, D. Crane, S. Cruickshank, S. Dietz, N. Edmonson, S.-L. Garbett, L. Hamid, G. Hoffman, D. Ingram, B. Jones, N. Patmore, H. Radcliffe, R. Sathiyarajah, M. Stock, C. Taylor, T. Vernon, H. Wanjie en D. Zenghelis, 2006. Stern Review: The economics of climate change, HM Treasury, Londen.

Strayer, D., 1991. Projected distribution of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 1389-1395.

TAW, 2000. Van overschrijdingskans naar overstromingskans. Achtergrondrapport.

Thompson, M., R. Ellis en A. Wildavsky, 1990. *Cultural theory*, San Fransisco, 1990.

Werner, M.G.F., 2005. *Spatial inundation modelling: A performance based comparison*,. Proefschrift Technische Universiteit Delft, Delft University Press.

Wereldnatuurfonds (WNF), 1996. *Meegroeien met de zee*.