

37/uub (618) 2^e ex

Ruimtelijke gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling

Effecten van veranderingen in de waterhuishouding op het ruimtegebruik

**C. Kwakernaak
K.W. Ypma
J.A. Klijn
P.J.T. van Bakel
J.W.J. van der Gaast**

BIBLIOTHEEK "HAGHE"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 618

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998

61857087

REFERAAT

Kwakernaak, C., K.W. Ypma, J.A. Klijn, P.J.T. van Bakel, J.W.J. van der Gaast, 1998. *Ruimtelijke gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling: effecten van veranderingen in de waterhuishouding op het ruimtegebruik*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 618. 40 blz. 10 fig.; 19 ref.

Uitkomsten van klimaatmodellen duiden op een aanzienlijke verandering in temperatuur en neerslag in de komende eeuw. Hierdoor is de aandacht van het beleid voor de consequenties van het broeikas-effect sterk toegenomen. De gevolgen voor de waterhuishouding in Nederland zullen aanzienlijk zijn, zeker wanneer rekening wordt gehouden met de effecten van bodemdaling. De veranderingen in de waterhuishouding leiden tot nieuwe condities voor het ruimtegebruik en de natuur in Nederland. In een serie globale kaartbeelden worden de consequenties van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling in onderlinge samenhang gepresenteerd. De kaarten met toelichtende tekst geven de mogelijke implicaties voor het ruimtegebruik in 2050 weer, wanneer geen additionele maatregelen worden getroffen.

Trefwoorden: bodemdaling, klimaatverandering, ruimtegebruik, zeespiegelstijging

ISSN 0927-4499

© 1998 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
(SC-DLO),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Probleem- en doelstelling	11
1.3 Uitgangpunten en aannames	12
1.4 Werkwijze en opbouw van het rapport	13
2 Toelichting op de kaarten	15
Kaart 1 Aandachtsgebieden kusterosie door zeespiegelstijging	17
Kaart 2 Aandachtsgebieden overstroming rivieren en IJsselmeer	19
Kaart 3 Aandachtsgebieden afwatering in laag Nederland	23
Kaart 4 Aandachtsgebieden verzilting oppervlaktewater en landbouw	25
Kaart 5 Toename en afname van de natschade in de akker- en weidebouw	27
Kaart 6 Verdroging en vernatting van verdroogde natuurgebieden en de EHS	29
Kaart 7 Mogelijke effecten op de functie landbouw	31
Kaart 8 Mogelijke effecten op de functie natuur	33
Kaart 9 Mogelijke effecten op verstedelijking en infrastructuur	35
Kaart 10 Mogelijke effecten op recreatie	37
Literatuur	39

Woord vooraf

Klimaatverandering en zeespiegelstijging zijn onderwerpen die de komende jaren veel aandacht zullen krijgen in het beleid. Ook in de voorbereiding van het nieuwe nationaal ruimtelijke beleid vormen de ruimtelijke consequenties van het broeikas-effect een belangrijk agendapunt. Dit vormde de aanleiding voor het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Rijksplanologische Dienst (VROM/RPD) om aan DLO-Staring Centrum opdracht te geven tot uitvoering van een globale verkenning van de mogelijke consequenties voor het ruimtegebruik van veranderingen in de waterhuishouding in Nederland als gevolg van klimaatverandering en zeespiegelstijging, in samenhang met de gevolgen van bodemdaling. In een vervolgtrajec na deze verkenning zal nader worden ingegaan op mogelijke beleidsstrategieën om in te spelen op deze mogelijke veranderingen.

Dit verkennend onderzoek is voornamelijk gebaseerd op reeds bestaande kennis over verwachte ontwikkelingen in watersystemen door klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. Door het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) zijn berekeningen uitgevoerd van de waterhuishoudkundige gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling, die voor deze verkenning aan DLO-Staring Centrum ter beschikking werden gesteld. Tevens is gebruik gemaakt van de expertise van medewerkers van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) bij de beschrijving van processen en mogelijke ruimtelijke consequenties in de kustzone.

Voor dit project fungeerde een begeleidingscommissie, bestaande uit:

- ir. H.W. Kamphuis (Ministerie van VROM/RPD; voorzitter),
- ir. H.J. de Kruik (Ministerie van VROM/RPD; projectleider),
 - drs. E. van Huijssteeden (Ministerie van VROM/RPD),
 - drs. K.J.M. de Feijter (Ministerie van LNV),
 - ir. F. Alberts (Ministerie V&W/RIZA),
 - drs. G.W. Huiskamp (Ministerie van EZ),
 - ir. J.G. Westerhoven (IPO / Provincie Zuid-Holland),
 - ir. A. Kooistra (Waterschap Peel en Maasvallei),
 - ir. H.C. Landa (Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat),
 - ir. R. Idema (Haskoning).

De onderzoekers zijn de leden van de begeleidingscommissie, alsmede de betrokken medewerkers van RIZA en RIKZ, zeer erkentelijk voor hun stimulerende inbreng in dit project.

Samenvatting

Klimaatverandering en zeespiegelstijging lijken steeds meer realiteit te worden. Deze ontwikkelingen krijgen ook in het beleid steeds meer aandacht. De Vierde Nota Waterhuishouding en ook enkele recente provinciale waterhuishoudingsplannen gaan reeds in op consequenties voor het waterbeheer. Gekozen wordt voor het streven naar meer 'veerkrachtige' watersystemen. Voor meer veerkracht in het beheer van watersystemen zal meer ruimte voor water nodig zijn. Daarvoor is een aanpassing in de ruimtelijke inrichting van (delen van) Nederland noodzakelijk. Hierbij is een prominente rol weggelegd voor de ruimtelijke ordening. Het Ministerie van VROM wil reeds in de voorbereiding van het nieuwe nationaal ruimtelijke beleid aandacht schenken aan de consequenties van klimaatverandering en zeespiegelstijging voor de mogelijkheden voor ruimtegebruik in de volgende eeuw. Daarbij zal tevens rekening worden gehouden met de gevolgen van bodemdaling omdat vooral in het lage deel van Nederland de bodemdaling een versterkend effect heeft op de veranderingen in de waterhuishouding door klimaatverandering.

Klimaatmodellen geven verschillende verwachtingen aan over de ontwikkelingen in klimaat en zeespiegelstijging. Er is kortom nog veel onzekerheid over de snelheid waarin veranderingen zich zullen voltrekken. Wel lijkt er sprake van eensgezindheid over de trends die zich in klimaat en zeespiegelstand zullen voltrekken in de komende eeuw. In deze verkennende studie is uitgegaan van een midden-scenario ('centrale schatting') voor klimaatverandering, voor Nederland ook aangeduid als het KNMI-scenario. De belangrijkste verandering betreft de hoeveelheid neerslag in de winter, die volgens dat scenario met gemiddeld 6% zal toenemen. Ook voor de verwachte stijging van de zeespiegel is uitgegaan van een midden-scenario. Dit komt voor 2050 uit op een verwachte stijging van de zeespiegel van 25-30 cm.

Meer zekerheid is er over de snelheid van bodemdaling in Nederland. Tectonische bewegingen leiden tot een bodemdaling in laag Nederland van maximaal 5 cm in 2050, terwijl in het zuidoosten van ons land sprake zal zijn van een stijging van het aardoppervlak met 5 cm. Door delfstofwinning (aardgas) en ontwatering van veengronden en ongerijpte kleibodems kan de bodem tot plaatselijk 70 cm gedaald zijn in 2050.

In een serie kaarten met toelichtende tekst worden mogelijke ruimtelijke gevolgen van veranderingen in de waterhuishouding weergegeven, die het gevolg zullen zijn van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. Daarbij is het jaar 2050 aangehouden als richtjaar. In deze kaarten wordt uitgegaan van een onveranderd beleid en beheer, dus zonder nieuwe of versterkte maatregelen gericht op vermindering van effecten voor functies, die het gevolg kunnen zijn van genoemde processen. Uit de kaarten 1 tot en met 6 komt naar voren dat de veranderingen in de waterhuishouding als gevolg van het broeikas-effect en de bodemdaling in delen van Nederland aanzienlijke ruimtelijke implicaties kunnen hebben. De effecten zijn het grootst in laag Nederland, hoewel bepaalde veranderingen ook zullen doorwerken in de mogelijkheden voor ruimtegebruik in hoog Nederland. De daarop volgende

kaarten brengen de bedreigingen en kansen voor een viertal functies in beeld. Er lijkt alle reden voor dat niet alleen het waterbeheer, maar ook de ruimtelijke ordening en het sectoraal beleid gaan anticiperen op de verwachte klimatologische en waterhuishoudkundige ontwikkelingen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij de voorbereiding van de Vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997) is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling voor de waterhuishouding van Nederland (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). Hieruit kwam naar voren dat klimaatverandering, zeker in combinatie met bodemdaling, in delen van Nederland zal leiden tot belangrijke veranderingen in de waterhuishouding, kwantitatief en kwalitatief. Problemen worden verwacht met de afvoercapaciteit, de grondwaterstanden en het zoutbezwaar. Deze veranderingen zullen consequenties hebben voor het gebruik van land- en watersystemen. De gevolgen voor het ruimtegebruik in Nederland zijn niet door de werkgroep beschreven.

Uit modelberekeningen komt eveneens naar voren dat de komende decennia sprake zal zijn van een stijging van de zeespiegel (Können et al., 1997), en in relatie daarmee ook van het IJsselmeer. De verwachte stijging ten opzichte van het huidige peil zal in het jaar 2050 meerdere decimeters bedragen.

In de Vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997) wordt gesteld dat voor de korte en middellange termijn er geen aanleiding is om de ruimtelijke hoofdstructuur uit de VINEX (Ministerie van VROM, 1993) en de actualisering ervan (Ministerie van VROM, 1996) te wijzigen. De Rijksplanologische Dienst is evenwel van mening dat, gelet op de langere termijn, het nationale ruimtelijk beleid nu al rekening zal moeten houden met de effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op het ruimtegebruik. Een lange-termijn-strategie is nodig om effectief te kunnen inspelen op deze ontwikkelingen, teneinde desinvesteringen in de ruimtelijke inrichting te vermijden.

1.2 Probleem- en doelstelling

De kwantitatieve effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op de Nederlandse waterhuishouding zijn modelmatig berekend. De trends in de ontwikkelingen in de waterhuishouding lijken wel duidelijk, de snelheid waarin de veranderingen zich zullen voltrekken is echter nog onzeker. Er ontbreekt nog een geografisch overzicht van de verwachte veranderingen in de waterhuishouding en van de mogelijke effecten voor de verschillende vormen van ruimtegebruik in Nederland. Het leveren van een dergelijk overzicht is het doel van deze studie.

Dit verkennend onderzoek is een eerste fase van een onderzoeksprogramma van de Rijksplanologische Dienst. De centrale vraag is hoe in de ruimtelijke ordening zo goed mogelijk kan worden geanticipeerd op de voorziene zeespiegelstijging, de veranderende rivierafvoeren en neerslagpatronen, en de bodemdaling. Doel van het onderzoek is om inzicht te verschaffen in de mogelijkheden om vanuit veranderingen

in het grondgebruik in te spelen op behoud en ontwikkeling van de veerkracht van watersystemen (aan de kust en in het binnenland), zowel in stedelijk als landelijk gebied. Dit is van belang om in de toekomst dure aanpassingen te voorkomen, bijvoorbeeld in investeringen in de infrastructuur en het waterhuishoudkundig systeem.

1.3 Uitgangspunten en aannames

Voor de berekening van veranderingen in de waterhuishoudkundige situatie in de periode tot 2050 wordt in deze studie uitgegaan van het midden-scenario voor klimaatverandering volgens het IPCC (1995), zoals uitgewerkt voor Nederland door het KNMI (Können en Fransen, 1996). De belangrijkste veranderingen in klimaat en zeespiegel zijn volgens deze bronnen:

- een temperatuurstijging van 1• C, waarbij de toename in de winter groter is dan in de zomer,
- een toename van de jaarneerslag met 3%,
- een toename van de zomerneerslag met 1% en van de winterneerslag met 6%,
- een toename van de neerslagintensiteit in buien met 10%,
- een toename van de duur van de neerslagperiode in de winter met 10%,
- een zeespiegelstijging van 25-30 cm in de periode tot 2050.

Bij de analyse van de effecten van veranderingen in de waterhuishouding door klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling is uitgegaan van een ongewijzigd beleid in de periode tot 2050. Dat wil zeggen, dat is aangenomen dat er geen verandering in het huidige beleid en beheer plaatsvindt, dat is gericht op vermindering van mogelijke consequenties van de optredende veranderingen in de waterhuishouding.

Voor het kustbeheer in 2050 is uitgegaan van handhaving van de huidige beleids*inspanning* om de kusterosie te compenseren. Deze inspanning betreft een jaarlijkse zandsuppletie ter grootte van 6 miljoen m³ zand. In deze studie is niet uitgegaan van de huidige beleids*doelstelling*, die gericht is op handhaving van de huidige kustlijn. Voorts wordt uitgegaan van een min of meer gelijkblijvende beheersinspanning t.a.v. kwelders. Zo wordt aangenomen dat de landaanwinningswerken voor de Friese en Groningse kust voortduren.

Voorts wordt uitgegaan van ongewijzigd beheer van de Haringvlietsluizen: sluiting van de sluizen bij een lage Rijnafoer (< 1700 m³/sec), alsmede sluiting bij noordwesterstorm. Een andere aanname is dat er geen nieuwe bouwlocaties voor de Noordzeekust ontstaan zijn in de periode tot 2050, dus geen kustlocatie voor woningbouw tussen Hoek van Holland en Scheveningen, geen uitbreiding van de Maasvlakte en geen Schiphol in zee.

1.4 Werkwijze

Voor deze verkennende studie is gebruik gemaakt van bestaande gegevens over verwachte veranderingen in de waterhuishouding van Nederland als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. Een belangrijke bouwsteen vormde het rapport *Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland* (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997), opgesteld ten behoeve van de Vierde Nota Waterhuishouding. Daarbij is ook gebruik gemaakt van de digitaal beschikbare kaartgegevens uit dit rapport, die ter beschikking zijn gesteld door Rijkswaterstaat/RIZA. Als bouwstenen voor uitgangspunten aangaande kustmorfologische processen fungeerden de nota Kustbalans 1995 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996) en de daaraan voorafgaande nota Wassend water (Rijkswaterstaat, 1990). Ook kon gebruik worden gemaakt van concept teksten voor het advies van de Raad voor het landelijk gebied aan de Minister van LNV over de toekomstige relatie tussen land en water (Raad voor het Landelijk Gebied, 1998). Een andere belangrijke bron van informatie vormde de studie *Bruisend water*, uitgevoerd door de Provincie Zuid-Holland, ten behoeve van het toekomstige waterhuishoudkundige beleid in de provincie (Projectgroep Bruisend Water, 1997, 1998).

Om te komen tot een onderbouwde beschrijving van de ontwikkelingen in het kustgebied als gevolg van zeespiegelstijging is tijdens een interne workshop bij Rijkswaterstaat/RIKZ nadere informatie verzameld. Voorts is gebruikgemaakt van eigen expertise bij DLO-Staring Centrum, met name op het gebied van de bodemdaling, om het beeld over veranderingen in de waterhuishouding tot 2050 te completeren.

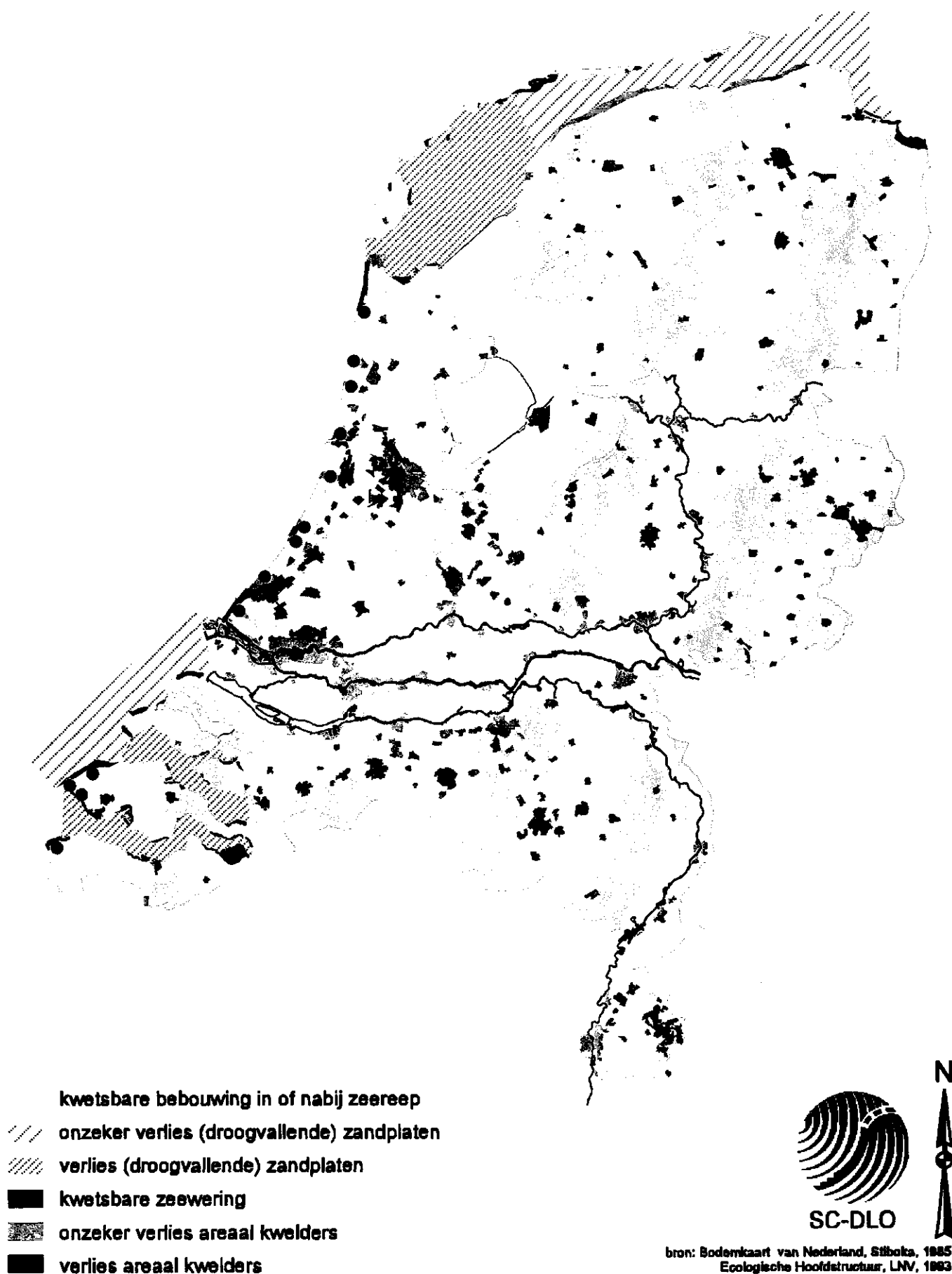
Vervolgens is, op basis van reeds bij DLO-Staring Centrum opgebouwde kennis over ruimtelijke consequenties van veranderingen in de waterhuishouding, een serie kaartbeelden ontworpen over mogelijke ruimtelijke effecten op functies in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van:

- digitale geografische informatie die verwerkt is met behulp van een geografisch informatiesysteem (ArcInfo),
- kennis over de invloed van grondwaterstandsverandering op de landbouw en op de natuur,
- kennis over de effecten van klimaatverandering op de afvoercharacteristiek van regionale stroomgebieden (Kwakernaak et al., 1996),
- kennis over de ontwikkelingen in het ruimtegebruik (o.a. vastgelegd in de Nieuwe kaart van Nederland (Bridgis BV, 1997),
- algemene kennis over de bodemgesteldheid van Nederland,
- kennis over het waterhuishoudkundig beheer in Nederland.

2 Toelichting op de kaarten

De resultaten van de verkennende studie zijn in hoofdstuk 2 samengevat weergegeven in een serie kaarten met een korte toelichtende tekst. In de kaarten 1 tot en met 6 worden mogelijke ruimtelijke consequenties van bepaalde processen in beeld gebracht. Het gaat daarbij om processen als toegenomen kusterosie, veranderde rivierafvoeren, veranderde voorjaarsgrondwaterstanden, gestremde afwatering en versterkte verzilting. In de daarop volgende kaarten wordt de informatie uit de eerste zes kaarten geaggregeerd tot kaartbeelden die ruimtelijke consequenties van het totaal van de processen voor functies weergeven. Het betreft de functies landbouw, natuur, verstedelijking en infrastructuur en recreatie.

1. Aandachtsgebieden kusterosie door zeespiegelstijging



Kaart 1 Aandachtsgebieden kusterosie door zeespiegelstijging

Processen

Bij handhaving van het huidige zandsuppletie-beleid (een jaarlijkse suppletie van 6 miljoen m³) wordt uitgegaan van een extra jaarlijkse gemiddelde terugschrijding van de kust van 1-2 m, als gevolg van een versnelde zeespiegelstijging. Deze schatting is gedaan voor de Waddeneilanden, maar kan waarschijnlijk in grote lijnen worden aangehouden voor de gehele Noordzeekust van Nederland (Louters en Gerritsen, 1994). Uitgaande van deze schatting zal er in 2050 sprake zijn van een totale terugschrijding van gemiddeld 50-100 m. Wanneer de zandsuppletie beperkt zou blijven tot slechts enkele plekken met acute veiligheidsrisico's, dan wordt op die locaties nog eens 50-125 m extra verplaatsing van de kustlijn landinwaarts verwacht. Een en ander houdt in dat een kustbeheer zonder het huidige niveau van zandsuppletie en zonder andere maatregelen al kan leiden tot een landinwaartse verplaatsing van de huidige kustlijn in de orde van 100-225 m in de periode tot 2050.

Zeeweringsfunctie en bebouwing

Kaart 1 vermeldt een aantal locaties waar door kustterugwijking als gevolg van versterkte kusterosie zich directe knelpunten voor het ruimtegebruik in de kustzone kunnen voordoen. Het gaat om:

- smalle duingebieden waar onvoldoende ruimte en massa aanwezig is voor continuering van de zeeweringsfunctie zonder actief suppletiebeleid;
- bebouwd gebied binnen een strook van 100-200 m van de huidige kustlijn, waar eveneens sprake is van een potentieel knelpunt door kusterosie.

De meest smalle duingebieden zijn te vinden in Zeeuws Vlaanderen en Walcheren, delen van Schouwen en Goeree, de kust van Monster tot Scheveningen, de kust van Noord-Holland ten noorden van Petten en delen van Texel. Kustplaatsen in of nabij de zeereep binnen de invloedssfeer van de terugwijkende kust vindt men behalve binnen deze kwetsbare kustgedeelten ook elders langs de kust.

Natuur

Effecten van zeespiegelrijzing op de natuur worden bij kaart 8 nader toegelicht.

Veranderingen ontstaan door:

- onderlopen van kwelders en zandplaten in de Waddenzee en de estuaria,
- verlies van strand en duingebied als gevolg van versterkte kusterosie.

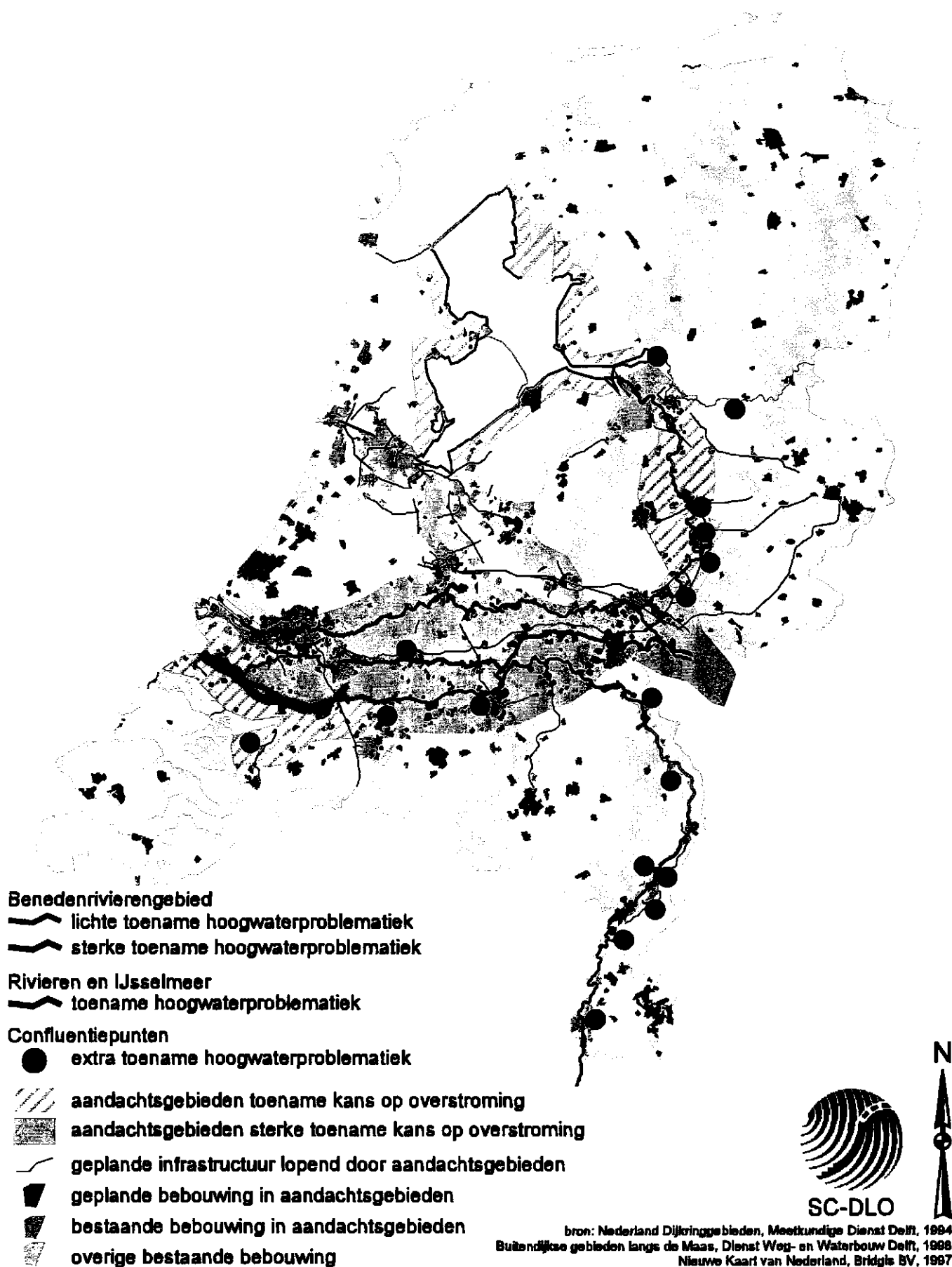
Drinkwaterfunctie van de duinen

In een aantal duingebieden zijn drinkwaterwingebieden aanwezig, veelal als infiltratiegebieden voor water uit de grote rivieren of het IJsselmeer. Soms moet de grondwatervoorraad van de duinen worden aangesproken bij calamiteiten. Hiervoor is handhaving van de natuurlijke zoetwaterbel onder de duinen noodzakelijk. Kustterugwijking resulteert in versmalling van duingebieden en verkleining van de zoetwatervoorraad. Verminderde afvoer van rivierwater in het zomerhalfjaar, alsmede de te verwachten extra vraag naar water in droge zomers, doen verwachten dat de watervoorziening uit de duinen zwaarder beproefd zal worden.

Bufferfunctie van de duinen voor de polders

De aanwezigheid van een zoetwaterbel onder de duinen geeft een zekere bescherming van achterliggende gebieden tegen zoute kwel. Versmalling van de duinstrook in combinatie met een hogere zeespiegel leidt ertoe dat deze bel zal verkleinen, waardoor de invloed van zout water via het grondwater toeneemt en de agrarische gebruikswaarde van het achterliggend polderland vermindert.

2. Aandachtsgebieden overstrooming grote rivieren en IJsselmeer en geplande investeringen



Kaart 2 Aandachtsgebieden overstrooming rivieren en IJsselmeer en geplande investeringen

Processen

Volgens de modelberekeningen voor klimaatverandering in West-Europa zullen de afvoeren van de grote rivieren de komende eeuw stijgen. Verwacht wordt dat de maatgevende afvoer, dat is de piekafvoer die gemiddeld 1 maal per 1250 jaar voorkomt, in 2050 voor de Rijn 5% hoger zal zijn dan nu (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). Voor de Maas bedraagt de verwachte toename van de maatgevende afvoer 10%, evenals voor een kleinere rivier zoals de Overijsselse Vecht.

Als gevolg van het gecombineerde effect van zeespiegelstijging en veranderde neerslagpatronen door klimaatverandering zal ook het peil van het IJsselmeer, evenals dat van het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal, veranderen. Meer neerslag, een stijgende zeespiegel en veranderende afvoerdynamiek van de IJssel en de Vecht zullen ertoe leiden dat het huidige winterpeil van het IJsselmeer niet kan worden gehandhaafd. Gerekend wordt met een verhoging van het maximumpeil in de winter met circa 20 cm (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). In de zomer zal het peil gemiddeld gelijk blijven, maar er zullen meer peilschommelingen kunnen optreden.

Door het gecombineerde effect van zeespiegelstijging en verhoogde piekafvoeren in de grote rivieren wordt een stijging van de waterstanden in het benedenrivierengebied verwacht. Deze toename van de hoogwaterstanden zal niet overal in het benedenrivierengebied gelijk zijn. Berekend is dat de stijging van de maatgevende hoogwaterstanden in de periode tot 2050 tussen de 10 cm nabij Rotterdam tot 80 cm nabij Werkendam zal bedragen (Projectgroep Bruisend Water, 1997). Overigens zijn deze berekeningen uitgevoerd voor de situatie dat de Haringvlietsluizen beheerd worden als stormvloedkering. Wanneer deze sluizen beheerd blijven volgens het huidige regime zal de stijging van de maatgevende hoogwaterstanden circa 1 dm lager uitkomen.

Ook wordt een versterkte afzetting van sediment verwacht in de uiterwaarden en estuaria in het benedenrivierengebied, als gevolg van frequentere overstroomingen in combinatie met de door hogere zeestanden veroorzaakte afvoervertraging. Deze opslibbing kan toenemen met 20-40% (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). Dit zal leiden tot een verhoging van de rivierbodem, eerst in het benedenrivierengebied, later ook meer stroomopwaarts.

Aandachtsgebieden toename kans op overstrooming

In kaart 2 zijn in lila en blauw de aandachtsgebieden aangegeven waar sprake is van een meer dan wel minder grote toename van de kans op overstrooming door stijging van de hoogste waterstanden in de grote zoete wateren. Dit zijn allereerst de polderdistricten die grenzen aan de grote rivieren (dijkkringgebieden). Ook zijn indicatief de gebieden aangegeven die overlast kunnen ondervinden van overslag van water uit het IJsselmeer, wanneer een zeer hoog meerpeil samenvalt met stormachtig weer. De begrenzing van deze potentiële gebieden landinwaarts is evenwel niet exact aan te geven.

Voor het benedenrivierengebied wordt in de kleuren bruin en geel onderscheid gemaakt in mate van toename van de kans op overstrooming, die het gevolg is van het gecombineerde effect van verhoogde piekafvoeren in de rivieren en zeespiegelstijging. Trajecten in bruin zijn speciale aandachtsgebieden, omdat daar sprake is van relatief sterke stijging van de berekende maatgevende hoogwaterstanden, in combinatie met de aanwezigheid van relatief dichte bebouwing nabij de dijk en/of de aanwezigheid van een dijk op slappe ondergrond. Een dijk

op veen en een dijk met dichte bebouwing is namelijk aanzienlijk moeilijker te versterken dan een dijk op steviger ondergrond (klei of zand) of een dijk waar ruimte is voor dijkverbreding.

Speciale aandachtsgebieden zijn locaties waar beken en kleine rivieren uitmonden in de grote rivieren. Bij zeer hoge waterstanden in de grote rivieren wordt de afvoer van deze kleinere wateren gestremd en zal er nabij de monding opstuwing optreden, die kan leiden tot inundatie. Dit was bijvoorbeeld het geval in 1995 nabij 's-Hertogenbosch, toen als gevolg van zeer hoge waterstanden in de Maas de Dommel tijdelijk niet kon afwateren, waardoor de zwakke Dommelkade doorbrak en ondermeer de Rijksweg A2 onder water liep. Op kaart 2 zijn deze locaties, waar kleinere wateren uitmonden in een rivier, als 'confluentiepunten' aangegeven. De risico's voor overstroming nemen het meest toe bij kleine wateren met een relatief groot achterland en debiet.

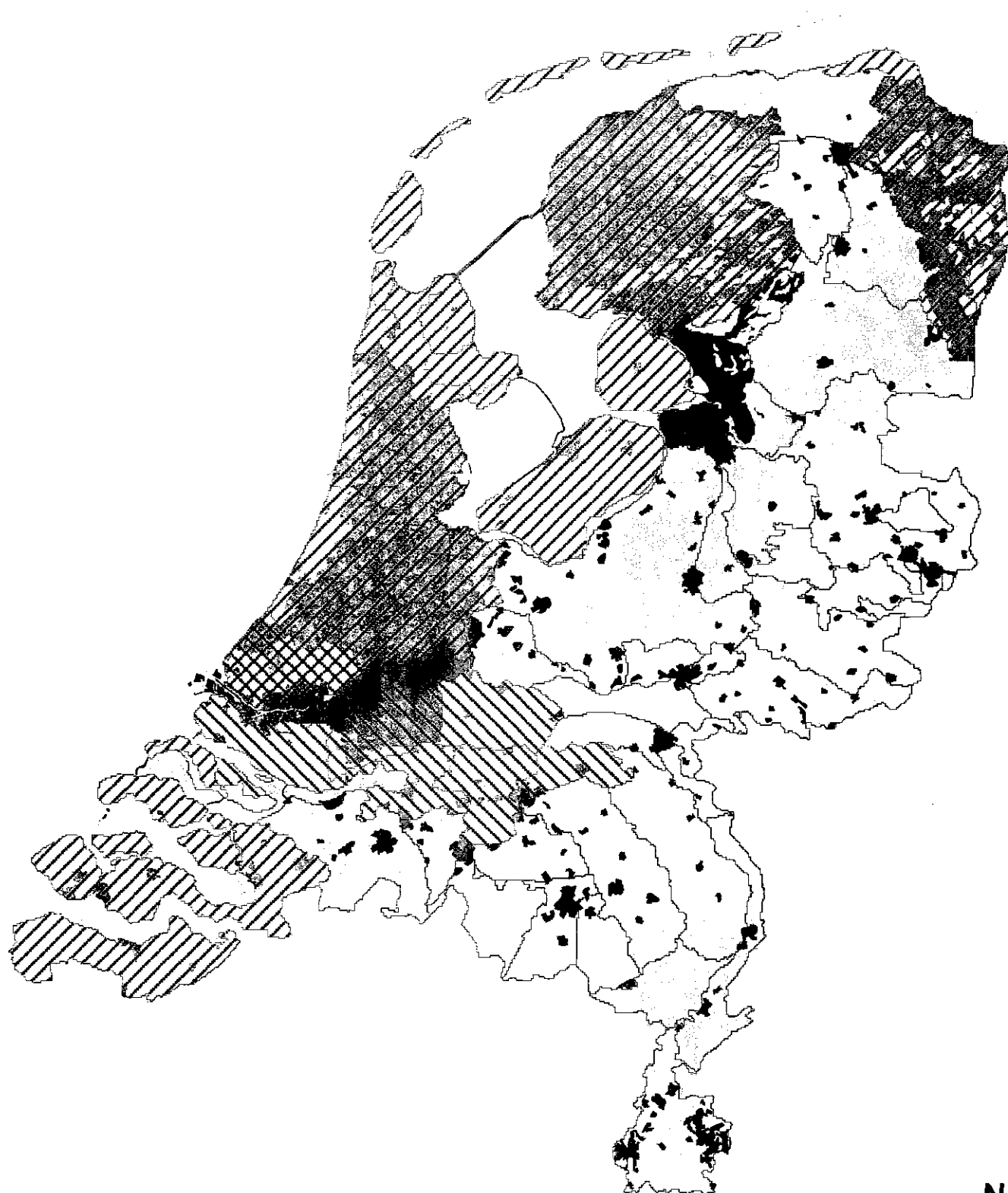
Op kaart 2 zijn in rood de geplande bouwlocaties (tot 2010) voor verstedelijking en infrastructuur (weg en spoor) aangegeven, die gelegen zijn binnen de aandachtsgebieden voor toename van de kans op overstroming door stijging van hoogwaterstanden. De ligging van deze bouwlocaties is ontleend aan de Nieuwe Kaart van Nederland (Bridgis BV, 1997). Voor deze bouwlocaties is sprake van een mogelijke spanning tussen geplande ruimtelijke investeringen en toenemende hoogwaterproblemen, waarop via locatiekeuze of inrichting van de locatie of het (spoor)wegtracé kan worden ingespeeld.

Overige aandachtspunten

Behalve de hogere piekafvoeren in de winter vormen ook de verwachte verlaagde debieten in droge perioden een probleem voor de rivier-afhankelijke functies. Met name voor de Rijn wordt verwacht dat klimaatverandering zal leiden tot lagere afvoeren in de zomer. Een afname van de zomerafvoer met 5% in de periode tot 2050 wordt voor deze rivier verwacht, uitgaande van het middenscenario. De kans op een lagere afvoer van de Rijn dan 1000 m³/sec zal toenemen van 6% (nu) tot 10% (2050) van de tijd op jaarbasis (Kwadijk en Rotmans, 1995).

Als gevolg van het gecombineerde effect met zeespiegelstijging, zal in perioden van lage rivierafvoer het zoute zeewater verder landinwaarts kunnen binnendringen. Op de consequenties daarvan wordt in de toelichting bij kaart 4 'Verziltting oppervlaktewater' nader ingegaan. Bij steeds lager wordende afvoeren in de zomer zal de concurrentie om de vraag naar water in die periode toenemen. Wanneer scheepvaartbelangen, drinkwaterwinning en watervoorziening voor natuurgebieden prevaleren zullen mogelijkheden om gebruik te maken van Rijn- en Maaswater voor de watervoorziening in de landbouw afnemen. Dit zal leiden tot productieverlies, met name in delen van hoog Nederland die thans van gebiedsvreemd water worden voorzien. Dit effect is geografisch moeilijk te begrenzen en derhalve niet in de kaartbeelden opgenomen.

3. Aandachtsgebieden afwatering in laag Nederland



-  beperkte uitslagcapaciteit door
verhoging zeespiegel of IJsselmeerpeil
-  beperkte uitslagcapaciteit door verhoging rivierstanden
-  beperkte boezemcapaciteit
-  waterhuishoudkundige eenheden zonder knelpunt



bron: Bodemkaart van Nederland, Stiboka, 1985
Verandering gebiedsafvoer, Projectteam NW4, 1997

Kaart 3 Aandachtsgebieden afwatering in laag Nederland

Kaart 3 geeft een overzichtsbeeld van de aard en omvang van knelpunten die worden voorzien in de afwateringssituatie in laag Nederland, dat wil zeggen het deel van ons land waar het water kunstmatig afgevoerd wordt. De geschetste veranderingen zijn het gevolg van de combinatie van effecten door klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling.

Effecten van klimaatverandering

Door klimaatverandering zal de hoeveelheid neerslag in de winter toenemen met circa 10%, terwijl de neerslagintensiteit in de winter volgens berekeningen 20% groter zal worden. Dit betekent dat de afvoerpieken in polder- en boezemwateren zullen toenemen, zowel in hoogte als in frequentie, en dat deze toegenomen gebiedsafvoer tevens moeilijker zal kunnen worden uitgemaal. Dit zal ertoe leiden dat de huidige bergingscapaciteit van boezemstelsels, alsmede de gemaal- en spuicapaciteit in grote delen van laag Nederland onvoldoende wordt om bescherming tegen wateroverlast en overstroming te kunnen garanderen.

Effecten van zeespiegelstijging

Verwacht wordt dat het peil van de Noordzee en Waddenzee in 2050 circa 30 cm hoger zal zijn, terwijl voor het IJsselmeer een verhoging van het gemiddelde hoogste peil wordt voorzien van 20 cm. Door zeespiegelstijging, verhoging van het IJsselmeerpeil en hogere rivierstanden zal de kweldruk in polders aangrenzend aan deze grote wateren toenemen. Als sprake is van aanwezigheid van zout of brak grondwater leidt een hogere kweldruk tot een toename van de zoutbelasting van het oppervlaktewater.

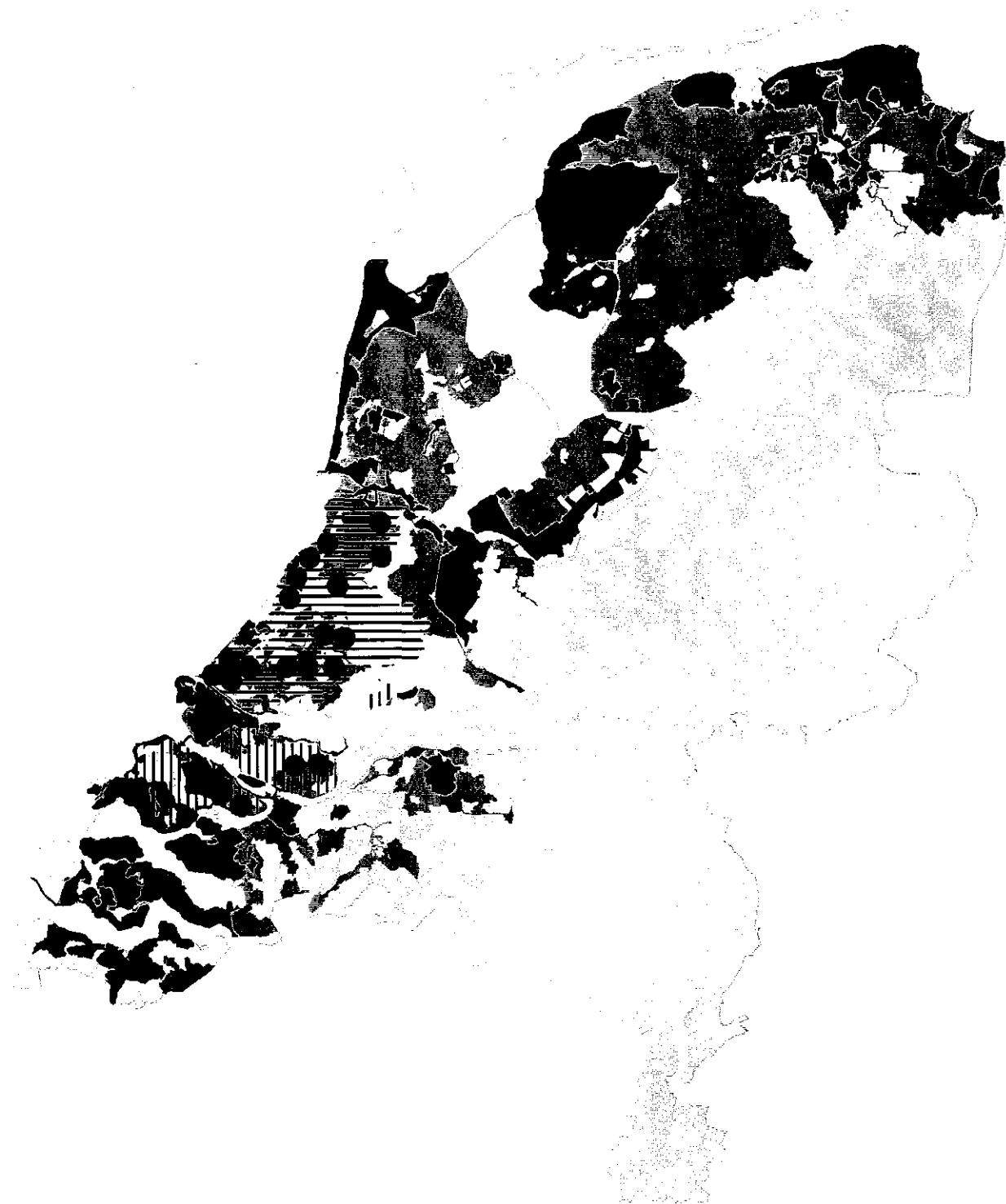
Effecten van bodemdaling

De afwatering van laag Nederland geschiedt kunstmatig. Hiervoor zijn afwateringssystemen ingericht, bestaande uit polders met sloten die hun overtollig water uitslaan op een boezemsysteem, dat vervolgens het water afvoert naar het buitenwater. Door bodemdaling, veroorzaakt door landbouwkundige ontwatering in veengebieden, door olie- en gaswinning en door tectonische daling zal de hoeveelheid kwelwater in die gebieden toenemen. De bodemdaling kan oplopen tot meer dan 60 cm in vergelijking met de huidige maaiveldhoogte. Met name op het grensvlak van veen- en zandgebieden zal het potentiaalverschil tussen inzijgings- en kwelgebieden groter worden, waardoor daar de kweldruk het meest zal toenemen. Daarentegen zullen de hoogteverschillen tussen veengronden en aangrenzende lager gelegen droogmakerijen met kleibodems wat verminderen, omdat de bodem in veengronden sterker zal zakken dan de bodem in kleigronden. Dit zal ertoe leiden dat de kweldruk in droogmakerijen iets zal afnemen. De sterkste bodemdaling wordt verwacht in Noordoost-Groningen, Zuidelijk Flevoland en in het Hollands veenweidegebied.

Veranderingen door combinatie-effect bodemdaling, zeespiegelstijging en klimaatverandering

De belangrijkste knelpunten in de afwatering zullen zich voordoen in de winterperioden. Dan zal in laag Nederland meer regenwater (als gevolg van klimaatverandering) en meer grondwater (als gevolg van sterkere bodemdaling en zeespiegelstijging) steeds moeilijker uitgeslagen kunnen worden, omdat het waterpeil in de Noordzee en Waddenzee, het IJsselmeer en de grote rivieren enkele decimeters verhoogd zal zijn. Bodemdaling in combinatie met stijging van het waterpeil in de grote wateren leidt tot een toename van het potentiaalverschil tussen land en buitenwater, die kan oplopen tot 90 cm in de periode tot 2050. Het vereist een aanzienlijk grotere hoeveelheid energie en bemalingscapaciteit om een steeds grotere hoeveelheid polderwater gedurende de wintermaanden te kunnen uitslaan op het relatief veel hoger gelegen buitenwater.

4. Aandachtsgebieden verzilting oppervlaktewater en landbouw



- bollenteelt
- glastuinbouw
- overige tuinbouw
- === beperking zoetwaterinlaat
- ||||| beperking zoetwaterinlaat en drinkwatervoorziening
- toename verzilting door brakke/zoute kwel
- sterke toename verzilting door brakke/zoute kwel
- geen toename verzilting



SC-DLO



bron: Verandering zoutbezwaar (2050), Projectteam NW4, 1997
LGN2, DLO-Staring Centrum, 1994

Kaart 4 Aandachtsgebieden verzilting oppervlaktewater en landbouw

Effect van bodemdaling

Door bodemdaling in gebieden met zout en brak grondwater stijgt de zoutbelasting van het slootwater ('zoutbezwaar'), omdat de kwelstroom toeneemt. Zout en brak grondwater is met name aanwezig in de zeekleigebieden. Om dit toenemende zoutbezwaar te bestrijden zal steeds meer zoet water ingelaten moeten worden ter verdunning van het zoutgehalte van het oppervlaktewater. Dit is vooral nodig in gebieden waar zoutgevoelige gewassen geteeld worden. In gebieden met een dunne veenbodem, waar de ontwatering van het veen zal leiden tot afbraak van het totale veendek, zal de weerstand tegen brak en zout grondwater in de bodem sterk afnemen, waardoor de zoutvracht naar het oppervlaktewater daar sterk zal toenemen. Dit verschijnsel kan ook optreden wanneer door aanleg van infrastructuur of verstedelijking bodemlagen worden aangesneden die chloriderijk (brak of zout) grondwater bevatten. Dit is gebeurd bij de aanleg van de Schiphollijn, en hetzelfde probleem zou zich opnieuw kunnen voordoen bij de aanleg van de HSL-tunnel onder het Groene Hart. Deze laatste potentiële invloeden zijn niet in deze studie onderzocht en derhalve niet in kaart 4 meegenomen.

Een andere mogelijke oorzaak voor toename van de zoute kwelstroom in polders langs de kust, is een versterkte invloed van zout grondwater door toename van het potentiaalverschil tussen de zee en het polderland, die een gevolg is van zeespiegelstijging en bodemdaling. Uit modelonderzoek blijkt echter dat de potentiële toename van de zoute kwel vanuit het diepere grondwater als gevolg van zeespiegelstijging verwaarloosbaar is (Postma et al., 1996).

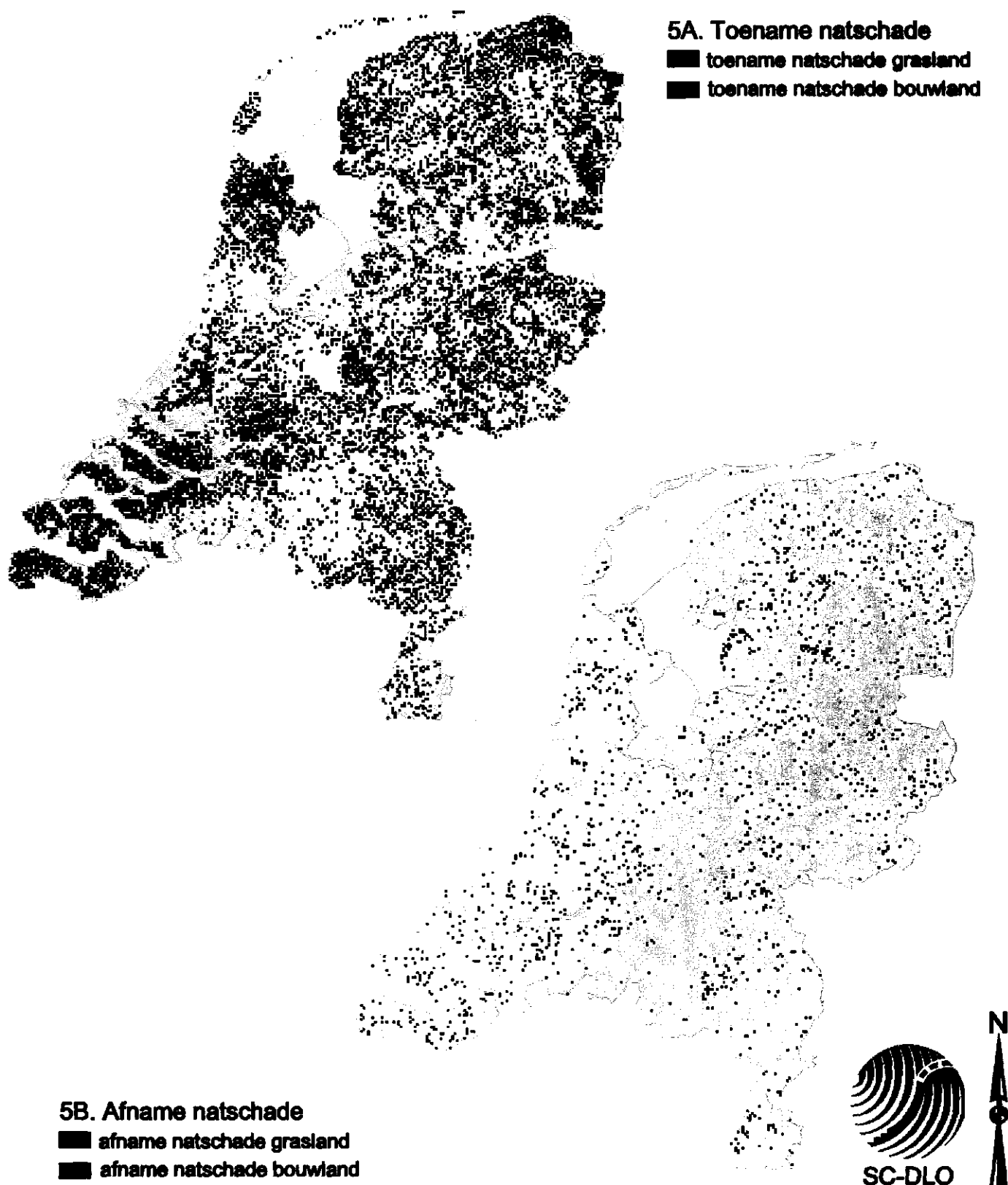
Kaart 4 geeft in donkerrood de gebieden weer waar sprake is van een verwachte sterke toename van de zoutvracht door toename van brakke en zoute kwel. In de roze getinte gebieden is de toename van de zoutvracht uit grondwater naar verwachting minder sterk.

Effect van de grotere zoutindringing vanuit de Noordzee

Als gevolg van de zeespiegelstijging in combinatie met verlaagde rivierafvoeren in droge zomerperioden zal de invloed van het zeewater via de Nieuwe Waterweg verder landinwaarts merkbaar zijn (Projectgroep Bruisend Water, 1997). In enkele gebieden zal dit leiden tot beperkingen voor de drinkwatervoorziening. Deze gebieden zijn verticaal gearceerd weergegeven.

De oprukkende zouttong zal ook tot grotere beperkingen leiden voor de inlaat van zoet water voor verdunning van de zoutconcentraties in het boezem- en polderwater (doorspoeling). Waar thans nog sprake is van innamestops van enkele dagen zullen grote delen van Zuidwest-Nederland gedurende enkele tientallen dagen verstoken blijven van zoet inlaatwater, vanwege de te hoge chloridegehalten in het rivierwater. Dit probleem zal zich vooral voordoen in waterbeheersgebieden waar rivierwater wordt ingelaten uit het Haringvliet/Hollands Diep, de Lek en de Hollandsche IJssel. Deze gebieden zijn horizontaal gearceerd aangegeven op kaart 4. In die gebieden is veelal ook sprake van een toename van de chloridebelasting uit grondwater, waardoor een tijdelijke innamestop niet alleen zal leiden tot droogteschade in de landbouw, maar ook tot toename van de zoutschade. De problematiek van verzilting in relatie tot landbouwkundig gebruik is naar verwachting in deze gebieden niet meer adequaat op te lossen zonder ingrijpende aanpassing van het waterhuishoudkundige systeem. De problemen van droogte- en zoutschade doen zich vooral voor in de kapitaalsintensieve teelten van zoutgevoelige gewassen (bollenteelt, boomteelt, glastuinbouw). De mogelijke problemen in deze sectoren zijn met geel, blauw en groen indicatief weergegeven op kaart 4. Elders waar deze teelten voorkomen en waar ook sprake is van toenemend zoutbezwaar, kan dit probleem eenvoudig worden beperkt door extra inname van zoet water. Derhalve zijn de bollen- en glastuinbouwgebieden in dergelijke locaties niet apart in kaart 4 aangeduid.

5. Toename en afname natschade in grasland en bouwland



bron: Kwakernaak et al, DLO-Staring Centrum, 1996
Verandering GVG (2050), Projectteam NW4, 1997
LKN, DLO-Staring Centrum, 1997

Kaart 5 Toename en afname van de natschade in grasland en bouwland

Processen

Het huidige productieverlies in de landbouw door te hoge grondwaterstanden wordt vooral bepaald door de hoogte van de grondwaterstand in het voorjaar. Deze gemiddeld hoogste voorjaarsgrondwaterstand (GVG) heeft zowel invloed op het tijdstip van gewasgroei als op de mogelijkheden voor gebruik van landbouwmachines. Een hoge GVG leidt tot productieverlies, dat hoger is voor akkerland dan voor grasland. Als gevolg van toename van de winterneerslag, in combinatie met een versterkte kwelstroom door bodemdaling, wordt in 20% van Nederland een stijging van de GVG verwacht met meer dan 5 cm in de periode tot 2050. In andere delen van Nederland wordt daarentegen in die periode een zekere verlaging van de GVG berekend, die een gevolg is van relatieve stijging van het maaiveld. Dit kan optreden in Oost-Nederland, waar een tectonische stijging zal plaats vinden, en in gebieden waar de kweldruk zal verminderen door afname van het potentiaalverschil. Verwacht wordt dat in circa 5% van Nederland een daling van de GVG zal voorkomen van meer dan 5 cm.

Effecten in de landbouw

De invloeden van de veranderingen in de grondwaterstand in het voorjaar op de landbouwkundige productie zijn weergegeven in de kaarten 5A en 5B. Kaart 5A toont de gebieden waar door toename van de GVG een productieverlies in de akker- en weidebouw ('toename natschade') is berekend. Kaart 5B laat zien dat een veel kleiner areaal landbouwgrond geen nadeel zal ondervinden van een stijging van de GVG, terwijl er ook gebieden zijn aangegeven waar sprake zal zijn van een afname van de natschade.

In deze studie is geen berekening uitgevoerd van mogelijke vermindering van de droogteschade in de landbouw als gevolg van een eventuele toename van de verdamping door klimaatverandering. Betrouwbare berekeningen van veranderingen in de gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG) kunnen nog niet worden uitgevoerd omdat nog niet duidelijk is hoe hogere zomertemperaturen tezamen met een wat hogere neerslaghoeveelheid in de zomer volgens het midden-scenario voor klimaatverandering zullen doorwerken op de omvang van de verdamping en daarmee op de grondwaterstand in droge perioden.

6. Verdroging en vernatting van verdroogde natuur en de Ecologische Hoofdstructuur



bron: Verandering kwel (2050), Projectteam NW4, 1997
Verandering GVG (2050), Projectteam NW4, 1997
Verdroogde gebieden, RIZA, 1994
Ecologische Hoofdstructuur, LNV, 1993

Kaart 6 Verdroging en vernatting van verdroogde natuurgebieden en de ecologische hoofdstructuur

Voor 1994 is de toestand van de verdroging in Nederland in kaart gebracht (RIZA en IPO, 1995). Het betreft gebieden met een natuurfunctie, waar sprake is van een onvoldoende hoog grondwaterpeil, alsmede gebieden waar de kwelstroom onvoldoende sterk is om bescherming van de karakteristieke grondwaterafhankelijke natuurwaarden te garanderen. Deze twee oorzaken van verdroging zijn verder niet in het kaartbeeld van verdroogde natuur onderscheiden. Als belangrijkste bepalende standplaatsfactor voor grondwaterafhankelijke vegetaties geldt de voorjaarsgrondwaterstand (GVG).

Effecten op de verdroogde natuur

In kaart 6A zijn (in grijs, blauw en rood) alle gebieden weergegeven waar in 1994 sprake was van verdroogde natuur volgens bovengenoemde definitie. Uitgaande van de berekende veranderingen in de voorjaarsgrondwaterstand en in de kwelintensiteit die het gevolg zullen zijn van bodemdaling, klimaatverandering en zeespiegelstijging, zijn in deze kaart de gebieden in *blauw* aangeduid waar sprake zal zijn van vermindering van het verdrogingsprobleem. Hoewel in deze gebieden de mate van verdroging zal afnemen door de autonoom verlopende processen, betekent dit nog niet dat de problematiek van verdroging daar vanzelf zal worden opgelost. Vaak is de mate van verdroging veel groter dan de verwachte vermindering van de verdroging door veranderingen in klimaat en bodemhoogte.

Op een kleiner aantal locaties met verdroogde natuur zal naar verwachting het verdrogingsprobleem nog wat toenemen als gevolg van een berekende verlaging van de GVG. Gebieden waar dit kan voorkomen zijn delen van hoog Nederland waar sprake is van tectonische stijging van het maaiveld, en gebieden waar de wegzijging van grondwater naar omringende gebieden zal toenemen of waar de kwelstroom zal afnemen. Dit laatste treedt ondermeer op in het overgangsgedebiet van zandgronden naar veen- en kleigronden. Deze gebieden zijn in kaart 6A in *rood* weergegeven. De *grijs* getinte actueel verdroogde gebieden zullen als gevolg van bodemdaling of klimaatverandering geen significante verandering in de mate van verdroging kennen. In deze studie is uitgegaan van een beleidsarme context, dus is in deze kaarten ook geen rekening gehouden met mogelijke veranderingen in de verdrogingssituatie als gevolg van maatregelen die getroffen worden om de verdroging van natuurgebieden te verminderen.

Effecten op de natuur in de EHS

In kaart 6B worden de berekende veranderingen in de grondwatersituatie door verandering van de bodemhoogte en door klimaatverandering weergegeven voor de gebieden die deel uitmaken van de ecologische hoofdstructuur (EHS). De delen van de EHS die als gevolg van bodemdaling en klimaatverandering natter zullen worden zijn weergegeven in *blauw*, terwijl in *rood* de delen van de EHS zijn aangegeven die naar berekening droger zullen worden. De EHS is in deze kaart begrensd volgens de beleidskaart in het Natuurbeleidsplan (de 'bruto EHS'). Het gaat in kaart 6B om de totale ecologische hoofdstructuur, en niet om uitsluitend de thans verdroogde onderdelen daarvan.

7. Mogelijke effecten op de functie landbouw



- verziltingsprobleem bollenteelt
- verziltingsprobleem glastuinbouw
- verziltingsprobleem overige tuinbouw
- wateroverlast door beperkte boezemcapaciteit
- toename natschade grasland door verhoging GVG
- toename natschade bouwland door verhoging GVG



bron: LGN2, DLO-Staringcentrum, 1994
Bodemkaart van Nederland, DLO-Staring Centrum, 1985
Kwakemaak et al, DLO-Staring Centrum, 1996
LKN, DLO-Staring Centrum, 1997

Kaart 7 Mogelijke effecten op de functie landbouw

De kaarten 7 tot en met 10 brengen de effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op een aantal belangrijke functies in het ruimtelijk beleid in beeld. Deze kaarten zijn samengesteld op basis van de informatie over verwachte veranderingen in de waterhuishouding in Nederland door veranderingen in klimaat, zeeniveau en bodemhoogte, die in de voorgaande kaarten is weergegeven.

Kaart 7 toont de gebieden waar door bodemdaling, klimaatverandering en zeespiegelstijging problemen in de landbouwkundige productie worden verwacht als gevolg van kwalitatieve en kwantitatieve veranderingen in de waterhuishouding. In delen van West-Nederland zal een probleem ontstaan met de continuïteit in aanvoer van zoet water in droge perioden. Hierdoor zal de doorspoeling van het boezemstelsel ter bestrijding van het zoutbezwaar, afkomstig uit brak grondwater, jaarlijks gedurende enkele weken onmogelijk worden. Vooral de bollenteelt, de glastuinbouw en de boomteelt zullen daarvan schade ondervinden. Ook zal naar verwachting het zomerpeil in de polders in die regio niet continu op het huidige niveau kunnen worden gehandhaafd, waardoor naast verziltingsschade ook verdrogingsschade kan ontstaan. Ook in andere delen van Nederland neemt de invloed van brak en zout grondwater toe (zie kaart 4). Verwacht wordt echter dat in die gebieden de aanvoer van zoet water vergroot kan worden om schade aan zoutgevoelige gewassen te voorkomen.

Verder zijn in kaart 7 de gebieden in lila weergegeven waar ingrijpende maatregelen nodig zullen zijn om de capaciteit van het boezemsysteem te vergroten, met het oog op een aanzienlijke toename van het waterbezwaar in de winter. De knelpunten concentreren zich in de klei- en veengebieden van West- en Noord-Nederland.

Tenslotte zijn alle gebieden aangegeven waar sprake zal zijn van productievermindering in de grondgebonden landbouw door stijgende grondwaterstanden in het voorjaar als gevolg van hogere neerslaghoeveelheden, soms in combinatie met bodemdaling. Deze consequenties voor de landbouw, die voor een belangrijk deel worden veroorzaakt door klimaatverandering, zijn verspreid over heel Nederland merkbaar.

8. Mogelijke effecten op de functie natuur



- verlies strand en duin
- /// onzeker verlies (droogvallende) zandplaten
- |||| verlies (droogvallende) zandplaten
- onzeker verlies areaal kwelders
- verlies areaal kwelders
- verdroogde natuur en EHS worden natter
- verdroogde natuur en EHS worden droger



SC-DLO



bron: Ecologische hoofdstructuur, LNV, 1993
Bodemkaart van Nederland, Stiboka, 1985
Verandering kwel, Projectteam NW4, 1997
Verandering GVG, Projectteam NW4, 1997

Kaart 8 Mogelijke effecten op de functie natuur

Kaart 8 geeft een overzicht van de verwachte effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op de bestaande natuur en de te realiseren ecologische hoofdstructuur (EHS). Deze kaart bestaat een compilatie van de kaarten 6A en 6B en kaart 1. In blauw zijn de gebieden aangegeven die door RIZA en IPO (1995) zijn aangeduid als 'verdroogde natuurgebieden', waar als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling het verdrogingsprobleem minder zal worden. Dit wil overigens niet zeggen dat het verdrogingsprobleem vanzelf in al deze blauw getinte gebieden geheel zal oplossen, zonder maatregelen ter bestrijding van de verdroging.

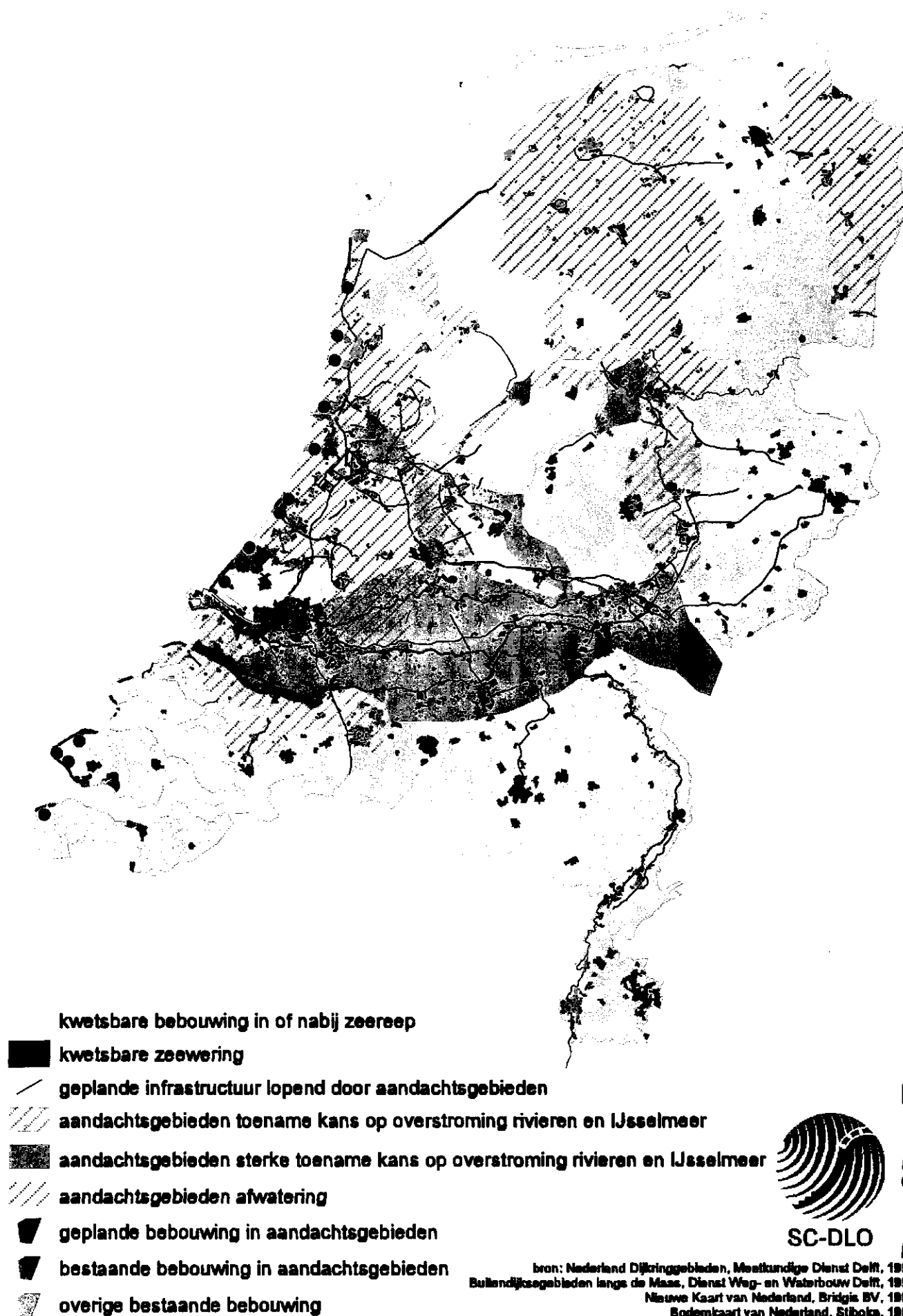
Ook in blauw zijn de delen van de EHS aangegeven waar sprake zal zijn van toename van de bodemvochtigheid. Dit werkt in het algemeen positief uit voor de mogelijkheden voor behoud, herstel en ontwikkeling van natuurwaarden in de EHS. In rood zijn de delen van de EHS en overige verdroogde natuurgebieden buiten de EHS aangegeven waar door natuurlijke processen sprake zal zijn van toename van de verdroging.

Aan deze gegevens over effecten via veranderingen in de grondwatersituatie is informatie toegevoegd uit kaart 1. Het gaat daarbij om directe effecten van zeespiegelstijging op natuurgebieden in het kustgebied. Daarbij gaat het allereerst om afname van het areaal duinen door versterkte terugwijking van de kustlijn als gevolg van toename van de kusterosie. Als gevolg van de mogelijke terugwijking van de zeereep zal van het totaal van ca. 40 000 ha strand en duinen (vrijwel geheel behorend tot de EHS) minimaal 1 250 tot maximaal 6 250 ha (ofwel tussen de 3 en 15%) verloren gaan. Het meest ingrijpend zullen de veranderingen zijn in smalle duingebieden (toegenomen zoutinwaai, grondwaterstands daling in resterende duinen, relatief sterke areaalverkleining).

Ook is op deze kaart aangegeven waar een verlies wordt verwacht van het areaal droogvallende zandplaten en kwelders, die fungeren als belangrijke biotopen voor fauna en flora in de Waddenzee en de estuaria. Naar verwachting kan in het Waddengebied opslibbing in de 'landaanwinningskwelders' aan de Fries-Groningse kust gelijke tred houden met de hogere zeespiegel en erosie. De kwelders op de waddeneilanden zullen daartoe niet in staat zijn, terwijl ook "onbeheerde" kwelders op andere plaatsen mogelijk bedreigd zullen worden (Louters en Gerritsen, 1994). In Zuidwest-Nederland is sprake van verlies aan kwelders, die vooral wordt veroorzaakt door getijdenreductie (Oosterschelde) en door verdieping van de vaargeul (Westerschelde). Deze processen zullen door zeespiegelstijging nog worden versterkt.

Onder de huidige condities is de Waddenzeebodem door netto zandaanvoer vanaf de Noordzee en de Waddeneilanden in staat mee te groeien met huidige stijging van de zeespiegel. Bij versterkte zeespiegelstijging zal de zandimport naar verwachting weliswaar toenemen, maar het is de vraag of dit het zandverlies voldoende compenseert. Met name in het westelijk deel van de Waddenzee zal een tekort optreden, waardoor het oppervlak aan droogvallende en ondiepe platen zal afnemen. Dit zal nadelige gevolgen hebben voor o.a. zeehonden, schelpdieren en foeragerende vogels. Ook in de Zeeuwse estuaria en de Voordelta zullen huidige droogvallende platen permanent onder water raken door de stijging van de zeespiegel. Nagenoeg alle bedreigde kwelders en zandplaten behoren tot de EHS.

9. Mogelijke effecten op verstedelijking en infrastructuur



Kaart 9 Mogelijke effecten op verstedelijking en infrastructuur

Klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen direct en indirect leiden tot gevolgen voor bebouwd gebied en infrastructuur. Uit kaart 1 zijn de bebouwingslocaties overgenomen die zeer dicht aan zee liggen. Bij een veronderstelde autonome terugwijking van de kust (bij ongewijzigd kustbeleid) kunnen problemen ontstaan voor deze locaties in de zeereep. Ook zijn de smalle duingordels aangegeven, waar zonder extra maatregelen problemen kunnen ontstaan als gevolg van kusterosie.

Voorts zijn in lila en blauw de gebieden aangegeven die extra aandacht behoeven in verband met vergrote kansen op problemen door hoge waterstanden in de grote wateren. Door toename van de piekafvoeren in de rivieren, in het benedenrivierengebied in combinatie met stijging van de zeespiegel, zullen zonder aanvullende maatregelen de kansen op inundatie in deze gebieden kunnen toenemen. Ook in een zone langs de kust van het IJsselmeer en het Markermeer kunnen problemen ontstaan voor bebouwing en infrastructuur, als gevolg van overslaand water uit deze meren bij storm. Daarnaast zullen zich in gebieden met een berekende toename van afwateringsproblemen (door bodemdaling en klimaatverandering) meer problemen kunnen voordoen met hogere waterstanden in polder- en boezemwateren. Hierdoor vermindert ook de stabiliteit van de boezemkaden. Mogelijke gevolgen voor bebouwing en infrastructuur zijn het vollopen van kelders, schade aan funderingen en onbereikbaarheid van gebieden door water op de weg.

Binnen de gebieden waar de kans op overstroming door verandering van de waterhuishouding toeneemt, zijn in kaart 9 in bruin de belangrijkste bestaande bebouwingslocaties aangegeven. In rood zijn de bebouwingslocaties binnen deze gebieden met verhoogde kans op overstroming aangegeven, die reeds in beleidsplannen tot 2010 zijn opgenomen. Ook zijn in deze kaart de reeds geplande tracés voor nieuwe infrastructuur aangeduid. Voor deze reeds geplande investeringsprojecten is bij de exacte locatiekeuze, de inrichting en het beheer specifieke aandacht nodig voor de hoogwaterproblematiek in de grote wateren en in de afwateringsgebieden.

10. Mogelijke effecten op recreatie



Kaart 10 Mogelijke effecten op recreatie

De berekende gevolgen van zeespiegelstijging, klimaatverandering en bodemdaling zullen ook gevolgen kunnen hebben op de watergebonden en kust-nabije recreatie. Wanneer de omvang van de zandsuppletie niet verandert, zal door kusterosie sprake zijn van een terugwijking van de kustlijn met meer dan 100 meter. Dit betekent een verlies dan wel verschuiving van het huidige areaal strand, hetgeen gevolgen heeft voor de bestaande recreatieve voorzieningen op of aan het strand. Ook zal het areaal duingebied aanzienlijk verminderen, waardoor de recreatieve opvangcapaciteit van dit reeds druk bezochte landschap sterk zal afnemen. Met het verlies aan droogvallende zandplaten zullen ook de mogelijkheden van droogvallen met de boot op deze zandplaten als specifieke vorm van recreëren in het Waddengebied verminderen.

Een ander proces dat aanzienlijke consequenties kan hebben voor de waterrecreatie is de verwachte versterkte sedimentatie in de estuaria en de benedenrivieren. Lage delen in het estuarium zullen vaker overstroomd, evenals de uiterwaarden in het benedenrivierengebied. De slibsedimentatie in de uiterwaarden kan daar, afhankelijk van het al of niet aanwezig zijn van een zomerkade, toenemen met 20 tot 40% (Projectgroep Bruisend Water, 1997). Door verhoogde slibafzetting zullen de estuaria snel ondieper worden en zal het rivierbed van de Rijn- en Maastakken hoger komen te liggen. Hierdoor zal de bereikbaarheid van jachthavens verminderen, die direct aan de estuaria en de benedenrivieren liggen. Verwacht wordt dat het op diepte houden van de jachthavens en van de verbindingen naar het open water tot financiële problemen voor eigenaren van jachthavens zal leiden. Op kaart 10 zijn de jachthavenlocaties aangegeven die op korte of langere termijn hinder zullen ondervinden van dichtslibbing.

Literatuur

Bridgis BV, 1997. *De Nieuwe Kaart van Nederland. Technische documentatie.* Druten.

IPCC, 1995. *Second Assessment Report of Working Group I.* Cambridge University Press, Cambridge.

Können, G.P. en W. Fransen (ed.), 1996. *De toestand van het klimaat in Nederland.* KNMI, De Bilt.

Können, G.P., W. Fransen en R. Mureau, 1997. *Meteorologie ten behoeve van de Vierde Nota Waterhuishouding.* KNMI, De Bilt.

Kwadijk, J. en J. Rotmans, 1995. The impact of climate change on the river Rhine: a scenario study. *Climatic Change* 27: 199-224.

Kwakernaak, C., P.J.T. van Bakel, B.W. Parmet, L.D. Boel, E. Dammers, J.W.J. van der Gaast, R. van der Veen en F. de Vries, 1996. *Waterberging binnendijs.* Rapport 491, SC-DLO / Rapport Projectteam NW4, Wageningen / Den Haag.

Louters, T. en F. Gerritsen, 1994. *Het mysterie van de wadden. Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging.* Rapport RIKZ-94.040, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996. *Kustbalans 1995. De tweede kustnota.* Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997. *Water Kader. Vierde Nota Waterhuishouding.* Regeringsvoornemen. SDU uitgevers, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat en IMAU, 1998. *De keerzijde van ons klimaat.* Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, en Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (Universiteit Utrecht).

Ministerie van VROM, 1993. *Vierde Nota over de ruimtelijke ordening Extra, deel 4: PKB.* Den Haag.

Ministerie van VROM, 1996. *Actualisering Vinex, PKB deel 1.* TK 1996/1997, 25180 nr 1. Den Haag.

Postma, J., L.C.P.M. Stuyt en P. Kabat, 1996. *Effects of sea level rise and climate change on groundwater salinity and agrohydrology in a low coastal region of the Netherlands.* Report 89, SC-DLO, Wageningen.

Projectgroep Bruisend Water, 1997. *Verslag fase 1*. Provincie Zuid-Holland, Den Haag.

Projectgroep Bruisend Water, 1998. *Verslag fase 2*. Provincie Zuid-Holland, Den Haag.

Raad voor het Landelijk Gebied, 1998. *Water als geld*. Advies inzake het LNV-beleid met betrekking tot landgebruik en waterbeheer in het licht van klimaatverandering, zeespiegelrijzing en bodemdaling. Concept.

Rijkswaterstaat, 1990. *Wassend water. Gevolgen van het broeikaseffect voor de waterstaat*. Nota GWAO 90.015, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Den Haag.

RIZA en IPO, 1995. *Verdrogingskaart van Nederland. Landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden 1994*. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Interprovinciaal Overleg. Den Haag.

Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997. *Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland*. Projectteam NW4, Den Haag.