

Zoetwatervoorziening in Nederland

landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw



Zoetwatervoorziening in Nederland

landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw

Frans Klijn, Judith ter Maat, Emiel van Velzen (red.)

met medewerking van:

Joachim Hunink, Neeltje Goorden, Neeltje Kielen (RWS- WD),
Wim Werkman (RWS-WD)

en met bijdragen van:

Gerrit Baarse, Victor Beumer, Joost Delsman, Joost Knoop (PBL),
Geert Prinsen, Jan van Bakel (Alterra), Marco Hoogvliet, Remco
van Ek, Gert-Jan Zwolsman (KWR)

1204358-002

Titel
Zoetwatervoorziening in Nederland

Opdrachtgever **Project** **Kenmerk**
Rijkswaterstaat Waterdienst 1204358-002 1204358-002-VEB-0010

Trefwoorden

Deltaprogramma, klimaatverandering, watervraag, waterbalans, regionaal waterbeheer, verzilting, waterverdeling

Samenvatting

Dit rapport gaat over de 1e fase van de knelpuntenanalyse die is uitgevoerd in de landelijke 'zoetwaterverkenning'. Deze verkenning ondersteunt het Deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma door onderzoek en het beschikbaar maken van relevante informatie. Het deelprogramma beoogt de formulering van een beleidstrategie inzake de nationale zoetwatervoorziening voor de lange termijn (besluit in 2014).




De knelpuntenanalyse is een eerste stap in een verkenning van de zoetwaterproblematiek, die nog zal worden gevolgd door identificatie en beoordeling van strategische beleidsalternatieven. In de knelpuntenanalyse stond de volgende vraag centraal:

Welke knelpunten treden op in de zoetwatervoorziening in Nederland of zijn in de toekomst te verwachten bij de huidige inrichting van het waterhuishoudingstelsel en continuering van het huidige beleid?

Doel van de landelijke knelpuntenanalyse is dus om vast te stellen waar de toekomstige watervraag groter is dan de waterbeschikbaarheid, hetzij qua hoeveelheid, hetzij naar kwaliteit. Daartoe is de watervraag van diverse gebruikers in beeld gebracht, evenals de waterbeschikbaarheid, nu en in de toekomst. Voor het verkennen van de toekomst is gebruik gemaakt van 'deltascenario's'. In hoofdstuk 5 zijn knelpunten geïdentificeerd door de veranderende vraag te confronteren met de veranderende waterbeschikbaarheid. Dat is landsdekkend gedaan, met aandacht voor afzonderlijke regio's en watergebruikers.

Dit rapport betreft uitsluitend de landelijke analyse, en niet de eveneens uitgevoerde regionale analyses. Het is een weergave van de resultaten van de 1e fase van onderzoek, met (1) een voorlopige versie van het deltamodel (nog in ontwikkeling), (2) voor zichtjaar 2050 met een doorkijkje naar 2100, en waarin (3) is gerekend voor drie karakteristieke jaren (een gemiddeld, een droog en een extreem droog jaar). Het rapport geeft de inzichten van de onderzoekers weer op het moment van schrijven, dat is bepaald door de wens om kennis *nu* al breed te delen. Bij twijfel over de gepresenteerde resultaten is dit expliciet benoemd.

Voor een uitgebreide samenvatting wordt verwezen naar hoofdstuk 6, waarin de belangrijkste bevindingen zo zijn geordend en verwoord dat dit als een samenvatting te lezen valt.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
10	15/05/2011	Dr. F. Klijn		prof. ir E. Van Beek		drs. I.L. Ritsema	

Inhoud

1	Over dit rapport	1
1.1	Het Deltaprogramma en het Deelprogramma Zoetwater	1
1.2	Waar gaat het Deelprogramma Zoetwater over?	1
1.2.1	Relatie met andere deltadeelprogramma's	2
1.2.2	De landelijke zoetwaterverkenning	2
1.3	Waar gaat dit rapport over?	4
1.3.1	De centrale vraag	4
1.3.2	Reikwijdte van de landelijke knelpuntenanalyse	5
1.4	Voor wie is het rapport bedoeld?	5
1.5	Leeswijzer	6
2	Aanpak van de knelpuntenanalyse	7
2.1	Algehele opzet	7
2.1.1	Ruimte- en tijdschaal, abstractieniveau en resolutie	7
2.2	Hoe zit het systeem in elkaar?	8
2.2.1	Fysiek: fysische geografie en de waterbalans	9
2.2.2	Socio-economisch: watergebruik en afhankelijkheid van omstandigheden	12
2.2.3	Waterverdeling door Nederland: het netwerk, inlaatpunten en uitslagpunten	14
2.3	Veranderingen in de toekomst: wat er mogelijk op ons afkomt	16
2.3.1	Klimaatscenario's en overige geo-ecologische veranderingen	16
2.3.2	Sociaal-economische scenario's	19
2.3.3	Deltascenario's: relevante combinaties van geo-ecologische en sociaal-economische scenario's	21
2.4	Modellering	22
2.4.1	Het fysieke systeem 1: NHI	24
2.4.2	Het fysieke systeem 2: presentatie per waterhuishoudkundige regio en/of district	25
2.4.3	Tijdstappen en karakteristieke droogtejaren	27
3	Resultaten vraaganalyse	30
3.1	Analyse van de watervraag, nu en in de toekomst	30
3.2	Stedelijke functies	30
3.2.1	Aard watervraag	30
3.2.2	Omvang watervraag	32
3.2.3	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	33
3.2.4	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	33
3.3	Infrastructuur	34
3.4	Landbouw	34
3.4.1	Aard en omvang watervraag	34
3.4.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	36
3.4.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	37
3.5	Terrestrische natuur en natuur in kleine wateren	37
3.5.1	Aard en omvang watervraag	38
3.5.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	39
3.5.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	39
3.6	Natuur in en langs de grote wateren en ruimtelijke kwaliteit (en daarvan afhankelijke gebruikers van oppervlaktewateren)	40

3.6.1	Aard en omvang watervraag	40
3.6.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	40
3.6.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	40
3.7	(Drink)waterwinning	41
3.7.1	Aard en omvang watervraag	41
3.7.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	43
3.7.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	44
3.8	Industriewatervoorziening	46
3.8.1	Aard en omvang watervraag	46
3.8.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	46
3.8.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	48
3.9	Koelwater voor industrie en energieproductie	48
3.9.1	Aard en omvang watervraag	48
3.9.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	52
3.9.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	54
3.10	Scheepvaart	55
3.10.1	Aard en omvang van de watervraag	55
3.10.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	58
3.10.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	59
3.11	Recreatie	59
3.11.1	Aard en omvang van de watervraag	60
3.11.2	Verwachte ontwikkelingen in de toekomst	61
3.11.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	61
3.12	Overzicht: hoeveel water wordt waarvoor gevraagd?	62
4	Resultaten beschikbaarheidsanalyse: waterbalansen	65
4.1	Waterbalansen algemeen	65
4.2	Neerslag en verdamping: de verticale balans	65
4.2.1	Verwachtingen voor de toekomst	69
4.3	Polderwateren en ondiep grondwater: de snelle korte buffer	71
4.3.1	De betekenis van de grondwaterstanden	74
4.3.2	Verwachtingen voor de toekomst	74
4.3.3	Wat betekent dit voor brakke en zoute kwel? Interne verzilting	75
4.4	Het diepe grondwater: de grote langzame buffer	77
4.4.1	Verwachtingen voor de toekomst	77
4.5	Rivieraanvoer en -afvoer: de horizontale zoetwaterbalans	79
4.5.1	Verwachtingen voor de toekomst	79
4.6	Wat gebeurt er met de zoet-zoutovergangen in de open verbindingen?	81
4.6.1	Verwachtingen voor de toekomst	82
4.7	Het waterpeil van grote zoete meren	83
4.7.1	Verwachtingen voor de toekomst	84
4.8	Verdeling van water over Nederland	84
4.8.1	Waarom wateraanvoer? Doelen	86
4.8.2	De verdringingsreeks	88
4.9	Overzicht: hoeveel water is beschikbaar per waterhuishoudkundige regio?	89
5	Confrontatie vraagontwikkeling en ontwikkeling beschikbaarheid: knelpunten	93
5.1	Uitgangspunten	93
5.2	Van watervragers naar knelpuntindicatoren	93
5.3	Knelpunten in de wateraanvoer, per regio	94
5.3.1	Overzicht watervragen en –tekorten per regio: variabiliteit en klimaateffecten	94

5.3.2	Berekeningstekorten	99
5.3.3	Zoutproblemen/ doorspoelproblemen	101
5.3.4	Peilproblemen in peilbeheerst gebied	103
5.3.5	Tekorten in de oppervlaktewaterreservoirs: IJsselmeerpeil	106
5.3.6	Inlaatbeperkingen door verhoogde zoutconcentraties: Gouda en Bernisse	111
5.3.7	Tekort aan water voor peilhandhaving Nederrijn-Lek?	115
5.3.8	Watertekorten voor peilhandhaving in de gestuwde Maas en Brabantse kanalen?	116
5.4	Landelijk beeld per gebruiksfunctie/ sector	116
5.4.1	Stedelijke functies	116
5.4.2	Infrastructuur	118
5.4.3	Landbouw	118
5.4.4	Terrestrische natuur en natuur in de kleine wateren	121
5.4.5	Aquatiese natuur en natuur langs grote wateren	127
5.4.6	Inlaatpunten drinkwatervoorziening	131
5.4.7	Inlaatpunten industrie	135
5.4.8	Koelwaterlozingen door energiecentrales en industrie	136
5.4.9	Scheepvaart en vaardiepte	143
5.4.10	Waterrecreatie: vaardiepte en waterkwaliteit	148
6	De bevindingen samengevat	151
6.1	Ten geleide	151
6.2	Over de vraagontwikkeling	151
6.3	Over de ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid	152
6.4	Over de knelpunten ...	153
6.4.1	... in de zoetwatervoorziening	153
6.4.2	... voor de sectoren/ landgebruiksfuncties	156
7	Literatuur	159

1 Over dit rapport

1.1 Het Deltaprogramma en het Deelprogramma Zoetwater

De Tweede Deltacommissie (commissie Veerman) heeft aandacht gevraagd voor de houdbaarheid van de huidige strategie van hoogwaterbescherming en zoetwatervoorziening in het licht van de klimaatverandering. De commissie signaleerde mogelijk toenemende overstromingsrisico's en een mogelijk toenemende kloof tussen vraag en beschikbaarheid van zoetwater.

Het kabinet heeft – mede in reactie op het advies van de commissie – het Nationaal Waterplan (NWP) geformuleerd. Tevens is het een Deltaprogramma gestart. In het Nationaal Waterplan is onder meer een besluit aangekondigd over de zoetwatervoorziening voor de lange termijn.

Het Deltaprogramma beoogt een lange-termijnstrategie te ontwikkelen voor het omgaan met water en ruimtelijk beleid, met het oog op een duurzame maatschappelijke ontwikkeling bij onontkoombare klimaatverandering. Daarbij is de vraag welke richtinggevende besluiten over het waterbeheer en de ruimtelijke inrichting van ons land nu al genomen moeten worden – zogenaamde deltabeslissingen – en welke tot later kunnen worden uitgesteld.

Onderdeel van het Deltaprogramma is een Deelprogramma Zoetwater. Dat deelprogramma heeft tot doel om de besluitvorming over de zoetwatervoorziening van rijkswegge voor te bereiden gedurende de planperiode van het Nationaal Waterplan (2010 – 2015). Specifiek gaat het om:

- de nationale zoetwatervoorziening voor de lange termijn, inclusief infrastructurele maatregelen die hiervoor eventueel nodig zijn (besluit in 2014);
- geen-spijtmateregelen (tot 2015).

1.2 Waar gaat het Deelprogramma Zoetwater over?

In het Deelprogramma Zoetwater staat de volgende beleidsvraag centraal:

Hoe als samenleving om te gaan met een in de toekomst mogelijk veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en een veranderende vraag naar zoetwater van verschillende regio's en watergebruikers?

Het gaat in dit deelprogramma dus om de vraag hoe de zoetwatervoorziening van Nederland voor de lange termijn in te richten, en om de vraag wanneer daarover besluiten moeten worden genomen dan wel daarvoor maatregelen moeten worden getroffen. Het gaat bij deze vraag om veilig en gezond water (drinkwater, zwemwater, e.d.), om voldoende water voor economische ontwikkelingen en gebruik (landbouwproductie, industrie, scheepvaart en transport), en om aanwezigheid van water als factor voor een aantrekkelijke omgeving (prettig vestigingsklimaat, recreatiemogelijkheden).

In het deelprogramma staan twee vragen centraal, namelijk:

- Hoe groot is het vraagstuk van de zoetwatervoorziening: waar en wanneer zijn er problemen en hoe gaan deze zich in de toekomst ontwikkelen?
- Wat zijn de mogelijkheden om vraag en aanbod van water te beïnvloeden/sturen, en wat zijn de maatschappelijke kosten en baten daarvan?

Het deelprogramma richt zich daarbij op de problematiek van 'integraal (zoet)waterbeheer' in z'n volle omvang. Dat wil zeggen op het beheer van zowel oppervlaktewater als grondwater, op zowel extractiegebruik (drinkwaterwinning, beregening) als op het beheer van condities (vaardiepte voor scheepvaart, grondwaterstand voor natuur), op alle relevante sectoren en gebruiksfuncties, op verschillende schaalniveaus (landelijk in relatie tot buurlanden en regionaal in relatie tot het landelijk hoofdwatersysteem) en op zowel vraagreductie als aanbodvergroting.

De centrale vragen worden geadresseerd door onderzoek en overleg met betrokkenen, op twee schaalniveaus: landelijk en regionaal. De aanpak is die van een beleidsanalyse, bestaande uit de volgende fasen:

- analyse van problemen (knelpunten) nu en in de toekomst, op basis van een systeemanalyse en scenario's van toekomstige ontwikkelingen, met de onzekerheden die daar aan kleven;
- identificatie van individuele maatregelen en beleidsinstrumenten, alsmede integrale beleidstrategieën, om de problemen op te lossen dan wel te beperken;
- beoordeling van de maatregelen, instrumenten en beleidsstrategieën op hun effectiviteit (mate van doelrealisatie), kosten en maatschappelijke neveneffecten, incl. de relatie met andere landelijke deelprogramma's.

De nadruk van het deelprogramma ligt op landelijk en bovenregionaal niveau. Dat betekent dat het nationale perspectief wordt aangehouden. Ook waar de problemen en oplossingsrichtingen soms op regionaal niveau in beeld worden gebracht gaat het om de bovenregionale samenhang.

1.2.1 Relatie met andere deltadeelprogramma's

Het Deelprogramma Zoetwater is één van de drie generieke deelprogramma's van het Deltaprogramma. Dat betekent dat bij het verkennen van de problemen en vooral bij het zoeken naar oplossingen wordt gestreefd naar synergie met de andere generieke deelprogramma's: hoogwaterrisicobeheersing respectievelijk nieuwbouw en herstructurering van stedelijk gebied. De vraag daarbij is steeds of de oorzaken van de problemen dezelfde zijn en/of maatregelen meer dan één probleem tegelijkertijd kunnen oplossen.

Deels kan die laatste vraag pas goed worden beantwoord op regionaal schaalniveau, en daar is dan ook een tweede relatie met andere deelprogramma's van het Deltaprogramma, namelijk de regionale. Deze hebben betrekking op delen van het hoofdwatersysteem, zoals het Zuidwestelijk estuariumgebied, de Rijn-Maasmonding, de grote rivieren, of het IJsselmeer. De lange-termijnstrategie voor de zoetwatervoorziening die uiteindelijk door het deelprogramma zal worden voorgesteld – in de vorm van een 'deltabeslissing' – zal medebepalend zijn voor de aard en omvang van de opgave waar deze regionale deelprogramma's precies voor gesteld worden. En eveneens juist in deze deelprogramma's zullen de te nemen maatregelen concreet worden.

1.2.2 De landelijke zoetwaterverkenning

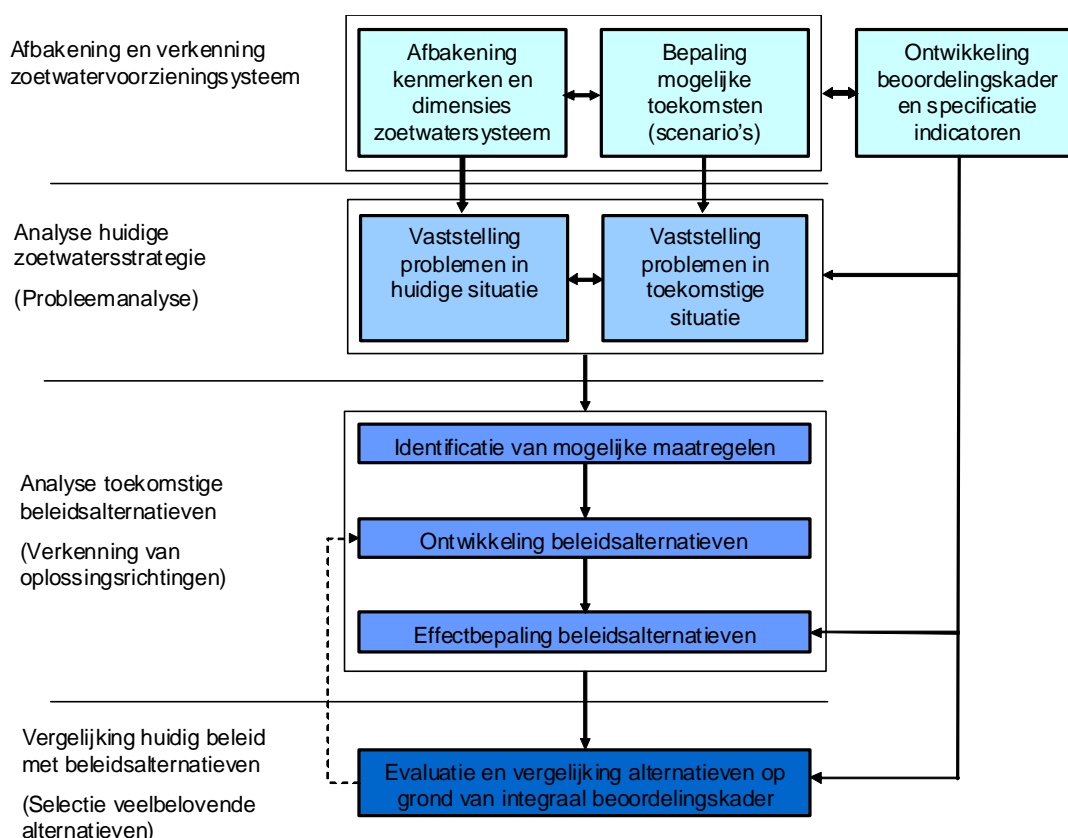
Het Deelprogramma Zoetwater wordt ondersteund door onderzoek, waaronder een 'Landelijke Zoetwaterverkenning'.

Deze beoogt bij te dragen aan bezonnen besluitvorming door het leveren van relevante beslissingsondersteunende informatie. Dit houdt in dat bestaande kennis wordt ontsloten en nieuwe kennis wordt gegenereerd, en dat de consequenties van voorgestelde maatregelen en oplossingsrichtingen in beeld worden gebracht.

Concreet is het doel van de landelijke zoetwaterverkenning:

Het verzamelen, genereren, combineren en beschikbaar stellen van relevante kennis over de waterhuishouding en het gebruik van water (systeemkennis), over de ontwikkelingen hierin in de toekomst (scenarioanalyse), en over de effectiviteit, kosten en consequenties van maatregelen en beleidsinstrumenten die kunnen worden toegepast om de watervraag dan wel de waterbeschikbaarheid in de toekomst te beïnvloeden, alsmede van integrale beleidsstrategieën voor een duurzaam (zoet)waterbeheer.

De landelijke zoetwaterverkenning volgt daartoe eveneens de beleidsanalytische aanpak, waarbij een stappenplan wordt doorlopen met één of meer iteraties (Figuur 1.1).



Figuur 1.1 Stappenplan van de beleidsanalyse, zoals gevolgd in de zoetwaterverkenning.

De Landelijke Zoetwaterverkenning wordt uitgevoerd door de Waterdienst en Deltares, met inschakeling van vele andere kennisinstellingen (KNMI, Alterra, PBL, et cetera) en deskundigen. Ze is gericht op de inhoud, ter ondersteuning van en in interactie met het deelprogrammteam, dat vooral toeziet op het proces van beleidsverkenning en -voorbereiding.

Bij de ondersteuning en interactie met het deelprogrammteam behoort het delen van kennis met belanghebbenden in alle fasen van het project. Zo staat alle kennis en informatie die wordt vergaard in het kader van de landelijke zoetwaterverkenning ook ter beschikking van de partijen die – gelijktijdig met de landelijke verkenning – regionale verkenningen uitvoeren. En natuurlijk ook aan alle anderen die op enigerlei wijze bij het Deltaprogramma zijn betrokken.

1.3 Waar gaat dit rapport over?

Dit rapport gaat over het onderdeel *knelpuntenanalyse* van de *landelijke* zoetwaterverkenning. Dat wil zeggen dat het in rapportvorm een selectie van de informatie en kennis beschikbaar maakt die is verzameld in de *eerste fase* van de beleidsanalyse; concreet gaat het om de blokken in de eerste en tweede 'regel' in Figuur 1.1, waarin de huidige situatie en problemen worden verkend, evenals de mogelijke toekomstige situatie en problemen.

Het gaat dus om zowel de systeemanalyse als een probleemanalyse, waarbij deze laatste in 'neutrale' termen wordt beschreven. Daarom wordt het begrip *knelpunt* gebruikt in plaats van probleem, omdat nog geen normatieve duiding wordt gegeven; dit op verzoek van het programmteam, dat de normatieve duiding wil voorbehouden aan belanghebbenden en beleidsmakers.

Het rapport gaat dus uitdrukkelijk *niet* over maatregelen, oplossingsrichtingen of beleidsstrategieën, maar geeft alleen antwoord op de vraag wat de aard en omvang van de problematiek nu is en in de toekomst kan worden. Daarbij wordt gebruik gemaakt van scenario's, zodat het antwoord betrekking heeft op de feitelijke situatie in 2010, de verwachting voor 2050 en een doorkijkje naar de mogelijke situatie in 2100. De achtergrond van de keuze voor deze momenten in de tijd ligt besloten in vragen die centraal staan in het Deltaprogramma: Wat moet nu al gebeuren, waarop moet worden voorgesorteerd in besluitvorming, en wat kan nog wachten?

1.3.1 De centrale vraag

Voor de *knelpuntenanalyse* is de centrale vraag:

Welke knelpunten treden op in de zoetwatervoorziening in Nederland of zijn in de toekomst te verwachten bij de huidige inrichting van het waterhuishoudingstelsel en continuering van het huidige beleid?

Deze vraag is uiteen te rafelen in de volgende deelvragen:

- een voor wie-vraag: Voor welke sector of gebruiksfunctie is er sprake van een knelpunt?
- een soort-vraag: Wat is de aard van het knelpunt (absoluut of tijdelijk tekort aan water, onvoldoende kwaliteit van het water, schade)?
- een waar-vraag: in welk gebied (waar precies, over welk oppervlak) is er sprake van een knelpunt?

- een wanneer-vraag: wanneer (op welk tijdstip), hoelang (gedurende welke tijdsduur) en hoe vaak treedt dat knelpunt op?

Aldus wordt inzicht verkregen in het verdelingsvraagstuk rond (zoet)water in ruimte en tijd. Een dergelijk inzicht is essentieel voor het beantwoorden van de centrale vraag van het Deelprogramma Zoetwater, namelijk hoe te komen tot een zodanige inrichting van het land- en watersysteem dat Nederland als geheel een goede toekomst tegemoet kan zien, ondanks de extra uitdagingen waar klimaatverandering en zeespiegelstijging ons voor plaatsen.

1.3.2 Reikwijdte van de landelijke knelpuntenanalyse

De landelijke knelpuntenanalyse moet een landsdekkend beeld opleveren van (toekomstige) knelpunten in de zoetwatervoorziening. Het gaat daarbij in eerste instantie om waterhuishoudkundige knelpunten 1) binnen het hoofdwatersysteem; 2) binnen (of tussen) regionale watersystemen; 3) bij de uitwisselpunten tussen het hoofdwatersysteem en regionale systemen; en 4) in het grondwater. Doel van de landelijke knelpuntenanalyse is om vast te stellen waar de toekomstige watervraag groter is dan de waterbeschikbaarheid, hetzij qua hoeveelheid, hetzij naar kwaliteit. Tevens geeft de landelijke analyse inzicht in wat dat betekent voor de watergebruikers.

Dit rapport betreft dus uitsluitend de landelijke analyse, en niet de eveneens uitgevoerde regionale analyses. Over die laatste wordt afzonderlijk gerapporteerd. Het betekent dat de analyse vanuit nationaal perspectief heeft plaatsgevonden, met de nadruk op de grote waterstromen in het hoofdwatersysteem, op de grote watergebruikende sectoren, en op de regionale watersystemen (stroomgebieden, polders) als waren het 'watervragers'. Dat betekent dat wel vaak over sectoren of regio's wordt gesproken, wanneer de knelpunten zich daar voordoen, maar steeds vanuit landelijk perspectief; dit met het oog op de achterliggende vraag: in hoeverre kan en moet hier van rijkswege een oplossing worden gevonden, bijvoorbeeld door vanuit het hoofdwatersysteem een bepaald 'serviceniveau' van zoetwatervoorziening te bieden of door nationaal ruimtelijk beleid.

Tenslotte is het rapport beperkt tot een weergave van de resultaten van het onderzoek met het deltamodelinstrumentarium. Dat wil zeggen dat de meest recente – 'state-of-the-art' – landsdekkende modellen voor de waterhuishouding van Nederland zijn gebruikt, zoals die in het deltamodel zijn opgenomen. De resultaten van die modeloefening zijn globaal getoetst aan de kennis en intuïtie van de onderzoekers en betrokkenen bij de regionale analyses; het blijven echter modelresultaten, waarvan het gebruik beperkt dient te blijven tot de landsdekkende knelpuntenanalyse.

1.4 Voor wie is het rapport bedoeld?

Dit rapport is bedoeld ter ondersteuning van de discussie door *alle betrokkenen* bij de langetermijnverkenning zoetwatervoorziening. In eerste instantie gaat het dan natuurlijk om de betrokkenen bij het Deltaprogramma, maar de informatie kan ook relevant zijn voor regionale waterbeheerders en andere overheden en betrokkenen/ belanghebbenden.

Door deze resultaten algemeen ter beschikking te stellen is het mogelijk om te komen tot gedeelde kennis en een gezamenlijke interpretatie op basis van dezelfde 'feiten'.

Aldus kunnen alle participanten bij de beleidsanalyse, planvorming en besluitvorming beschikken over dezelfde kennisbasis. Dit vanuit het oogmerk om door 'knowledge sharing' te komen tot een 'level playing field' (met excuus voor het 'Nederlands').

Hierbij wordt aangetekend dat het in veel gevallen gaat om de resultaten van modellering. Daaraan kleeft altijd het bezwaar dat een model nooit de werkelijkheid volledig juist kan weergeven, maar daar altijd een vereenvoudigde weergave van is: op z'n best de meest nauwkeurige conceptualisatie van onze kennis van de werking van het systeem. De in dit rapport gepresenteerde uitkomsten dienen dan ook vooral te worden beschouwd als een hulpmiddel bij het aanscherpen van ons denken over de werking van het systeem en over de mogelijke gevolgen van klimaatverandering. Ze bieden aanknopingspunt voor discussie en begripsvergroting.

Uiteindelijk wordt beoogd met deze knelpuntenanalyse een hulpmiddel te bieden voor het gezamenlijk nader preciseren van de aard en omvang van de knelpunten in de toekomstige zoetwatervoorziening van Nederland.

1.5 Leeswijzer

Eén van de eerste opgaven voor het Deelprogramma Zoetwater is dus om een beter beeld te verwerven van de omvang van het zoetwatervraagstuk op dit moment, en in de toekomst als gevolg van ontwikkelingen in de watervraag en veranderende beschikbaarheid van zoetwater door klimaatverandering, bij de huidige inrichting van de regionale en landelijke waterhuishouding. Tegen die achtergrond is dit rapport gestructureerd.

In hoofdstuk 2 wordt de *aanpak* van de knelpuntenanalyse beschreven, met de algehele opzet, een beschrijving van de aard van het onderzochte systeem en de ontwikkelingen in de externe – niet beïnvloedbare – omstandigheden. Ook wordt ingegaan op de wijze van kwantificering met behulp van modellen, waar die is toegepast.

Hoofdstuk 3 gaat in op de *watervraag*. Welke watervragers kunnen worden onderscheiden, wat is de aard en omvang van hun vraag en hoe zal die zich in de toekomst naar verwachting ontwikkelen?

In hoofdstuk 4 wordt de *waterbeschikbaarheid* beschreven in afhankelijkheid van klimaat, grondwatervoorraden en aanvoer door de grote rivieren. Alle relevante waterstromen en voorraden worden hier in beeld gebracht, evenals de te verwachten veranderingen hierin door klimaatverandering.

Hoofdstuk 5 confronteert de – veranderende – vraag met de – veranderende – waterbeschikbaarheid in de toekomst. Hier worden de knelpunten geïdentificeerd. Dat gebeurt landsdekkend, met aandacht voor afzonderlijke regio's en afzonderlijke sectoren/landgebruikfuncties.

In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste bevindingen samengevat.

2 Aanpak van de knelpuntenanalyse

2.1 Algehele opzet

De knelpuntenanalyse heeft betrekking op discrepanties tussen waterbeschikbaarheid en watervraag. Het is dus zaak deze te identificeren, nu en in de toekomst. Daarbij wordt uitgegaan van de huidige inrichting van de waterhuishouding, autonome ontwikkeling en continuering van het huidige – of vastgestelde – beleid en beheer; beleidsarm dus.

De **waterbeschikbaarheid** wordt bepaald door het klimaat, door het weer, door rivierafvoeren, door voorraden bodemvocht en door voorraden grondwater. Dat wordt soms wel aangeduid als ‘het’ watersysteem, maar we spreken hier liever van het geo-ecosysteem. Dat is om aan te duiden dat er veel geografische verschillen zijn en dat ook de diepe ondergrond (in verband met grondwater) en de lucht (het klimaatsysteem en het weer) er onderdeel van uit maken.

De **watervraag** komt in hoofdzaak van de mens die water nodig heeft om allerlei doelen te realiseren. Men denke daarbij aan bijvoorbeeld drinkwatervoorziening en voedselproductie, om enkele basale functies te noemen. Maar het gaat ook om economisch gewin, bijvoorbeeld via industrie of transport (scheepvaart). En het gaat om prettig wonen in een aantrekkelijke omgeving met natuur-, cultuur- en belevingswaarden. Ook daarvoor is water nodig. De watervraag wordt dus gesteld door het socio-economisch systeem.

De knelpuntenanalyse is dus gericht op de interactie tussen deze twee systemen, en met name op de discrepanties tussen de beschikbaarheid van water in het geo-ecosysteem en de vraag naar water vanuit het sociaal-economisch systeem. Essentieel voor de analyse van de beschikbaarheid is de identificatie van alle relevante onderdelen van het geo-ecosysteem (grondwater op verschillende schalen, lokaal en regionaal oppervlaktewater, hoofdwatersysteem). En essentieel voor de analyse van de watervraag is de identificatie van alle relevante watervragers (sectoren, landgebruiksfuncties, ‘nuts’-voorzieningen) binnen het socio-economisch systeem.

2.1.1 Ruimte- en tijdschaal, abstractieniveau en resolutie

Het Deltaprogramma – en daarmee deze knelpuntenanalyse – is in hoofdzaak gericht op de **landelijke waterhuishouding**; het gaat bijvoorbeeld om de verdeling van water uit de grote rivieren en om voorraadvorming in en levering vanuit het IJsselmeer en Markermeer en de Zuid-Hollandse en Zeeuwse wateren. Die oppervlaktewateren staan dus centraal in de analyse. Maar er is ook een relatie met grote strategische grondwatervoorraden.

De watervraag wordt echter gesteld op het schaalniveau van individuele consumenten (kraanwater), industrieën (proceswater), energiecentrales (koelwater) of agrariërs (beregeningwater). Dat zijn watervragers op de schaal van huishoudens – waarvan er ruim 16 miljoen zijn – tot die van landbouwpercelen – van zeg 0,1 (potplantenteelt) tot meer dan 5 hectare groot. Om dit probleem van teveel afzonderlijke vragers te ondervangen is het nodig de vragers ‘op te bossen’, bijvoorbeeld per innamepunt voor de drinkwaterproductie, of per polder of waterschap.

Voor dit onderzoek zijn de watervragers gebundeld **per sector of landgebruiktype**. Vervolgens is de relatie met het bodemvocht in percelen gerepresenteerd in een model voor

de bodemvochthuishouding. De extractie van water uit het grondwater is gerepresenteerd in een model voor het diepe grondwater. De relatie tussen het bodemvocht, het grondwater en de kleine oppervlaktewateren in polders wordt gelegd via modelkoppelingen, en de polders hangen vervolgens weer aan het hoofwatersysteem. Zo zijn alle watervragers en subsystemen van het geo-ecosysteem te beschouwen als aan elkaar gekoppelde en ruimtelijk in elkaar 'geneste' subsystemen.

Om dit geheel ruimtelijk en in de tijd te kunnen analyseren, is gekozen voor **landsdekkende modellering**. Alle geneste subsystemen, alsmede alle watervragers, zijn samengebracht in een Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI), dat deel uitmaakt van het deltamodelinstrumentarium. Daarop wordt verderop in dit hoofdstuk ingegaan.

Sterk gecorreleerd met de ruimtelijke schaal is de tijdschaal, waarop veranderingen optreden of relevant zijn. Het weer verschilt van uur tot uur; het bodemvocht in de grond reageert langzamer, bijvoorbeeld op dagenlange of wekenlange droogte; grondwaterstanden vertonen een jaarcyclus; diep grondwater stroomt zeer langzaam en de voorraad verandert slechts na tientallen jaren. Ook oppervlaktewateren reageren met verschillende snelheid; rivierafvoeren zijn immers afhankelijk van het weer in het gehele stroomgebied. Dat van de Rijn is 185.000 km² groot. Bovendien wordt deze rivier voor een belangrijk deel gevoed door grondwater (de zogenaamde 'base flow'), waardoor de afvoer veel minder in de tijd fluctueert dan het weer.

De keuze voor een tijdschaal voor de analyse is vooral ingegeven door de relevantie voor de watervragende sectoren/ gebruiksfuncties. Zo is voor de landbouw de ontwikkeling van het bodemvochtgehalte gedurende het groeiseizoen belangrijk voor de productie. Voor de drinkwaterwinning kan een aaneengesloten periode van te hoge zoutgehalten betekenen dat de aangelegde voorraden op raken. En voor de scheepvaart betekenen perioden van te lage waterstanden op de rivier dat slechts deelbelading mogelijk is.

Bij de modellering is daarom gekozen voor berekeningen per decade (periode van tien dagen) als standaard, nauwkeuriger waar nodig, en minder nauwkeurig waar toelaatbaar. Omdat het veel tijd kost om vele jaren achtereen door te rekenen, is voor deze eerste knelpuntanalyse uitgegaan van een drietal representatieve jaren. Daarop wordt verderop in dit hoofdstuk ingegaan.

Deze knelpuntanalyse is gericht op het identificeren van knelpunten in de huidige situatie en in de toekomst. Voor dat laatste wordt gebruik gemaakt van *scenario's* die de mogelijke autonome ontwikkelingen beschrijven. Zo gaat dat in het gehele Deltaprogramma; door het project 'deltamodel' zijn scenario's samengesteld voor toepassing in alle deelprogramma's. In dit hoofdstuk wordt daar uitgebreid op teruggekomen.

2.2 Hoe zit het systeem in elkaar?

Bij de analyse wordt uitgegaan van de huidige situatie. Dat is die van 2010. Die wordt eerst geanalyseerd. Alle toekomstige ontwikkelingen worden daar mee vergeleken. Van de huidige situatie zijn belangrijk:

- de fysieke situatie: het geo-ecosysteem, in het bijzonder ten aanzien van water;
- de sociaal-economische en landgebruikssituatie;
- het huidige waterbeheer en afspraken daarover (de huidige zoetwaterverdeling zoals vastgelegd in (internationale) waterakkoorden, de huidige streefpeilen voor het IJsselmeer, een open Rijnmond, e.d.).

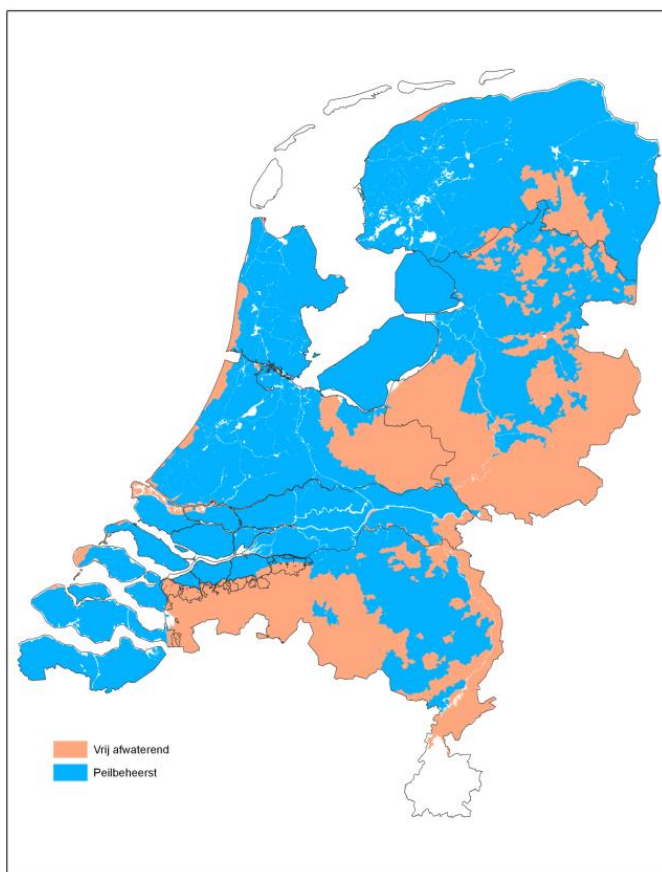
Deze drie onderdelen worden hier achtereenvolgens kort besproken, voor zover relevant voor een goed begrip van de verdere knelpuntenanalyse.

2.2.1 Fysiek: fysische geografie en de waterbalans

De fysieke situatie van Nederland kan op twee manieren worden beschreven: geografisch, naar ruimtelijke verschillen, en hydrologisch, naar waterbalansen. Beide zijn hier relevant.

Geografisch gezien kan Nederland grofweg in tweeën worden gedeeld: in Hoog-Nederland en Laag-Nederland. Hoog-Nederland kent enig reliëf (van de hoogste Limburgse heuvels en het Veluwemassief tot de laagste Brabantse en Drentse beekdalen), ligt overwegend boven NAP, bestaat hoofdzakelijk uit zandgronden, kent vrij verval van water dat afstroomt via greppels en beken, en heeft grondwaterstanden die gedurende het jaar sterk fluctueren. Laag-Nederland is vrijwel vlak, ligt grotendeels op of onder NAP, bestaat grotendeels uit kleigronden en laagveen, heeft een beheerst (polder)peil en stelsels van sloten en boezemwateren, en heeft grondwaterstanden die weinig fluctueren. De tweedeling is sterk bepalend voor de waterhuishoudkundige gebiedsindelingen die in Figuur 2.14 en Figuur 2.15 worden gepresenteerd.

Deze tweedeling wordt enigszins weerspiegeld in Figuur 2.1, waarin de peilbeheerste gebieden zijn aangegeven. Maar ook in de vrij-afwaterende zandgebieden zijn delen waar het peil kan worden beheerst door stuwen.



Figuur 2.1 Indeling van Nederland in peilbeheerste en vrij afwaterende gebieden (LSW's)

Afwijkingen van deze versimpelde tweedeling zijn de duinen van het vasteland en de Waddeneilanden, die qua karakter immers op Hoog-Nederland lijken, en het rivierengebied, dat wel de 'typische' karakteristieken van Laag-Nederland heeft, maar (ruim) boven NAP ligt.

Dit geografische verschil is belangrijk, omdat de hele zoetwaterproblematiek hier mee samenhangt. Wateraanvoer vanuit het hoofdwatersysteem is in Hoog-Nederland zelden mogelijk; beregening vindt hier vooral plaats vanuit het grondwater; peilbeheer om verzakkingen te voorkomen hoeft niet, want zandgronden zijn daar niet gevoelig voor, en bovendien kan het meestal niet omdat water nu eenmaal niet omhoog stroomt, etc. Peilbeheerste gebieden kennen daarentegen een streefpeil. Wanneer het streefpeil niet kan worden gehandhaafd, kan de waterstand beneden het streefpeil zakken. In de peilbeheerste gebieden is wateraanvoer in principe mogelijk; daarbuiten soms.

Om niet in een 'aardrijkskundeles' te vervallen laten we het hier bij. Verderop in dit rapport worden immers nog veel kaarten van relevante geografische verschillen in het fysieke systeem getoond.

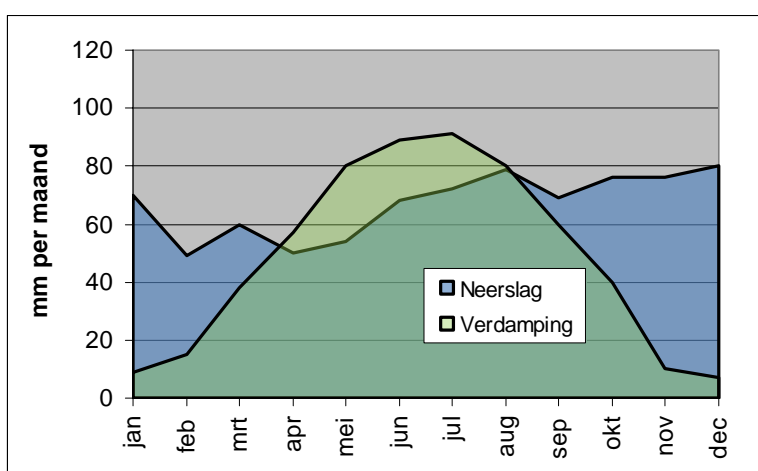
Het tweede relevante onderwerp is de *waterbalans*. Die bestaat ten eerste uit neerslag en verdamping. Beide worden door het klimaat bepaald, met de daarbij behorende verschillen tussen jaren. Ten tweede gaat het om aanvoer door de grote rivieren die vanuit het buitenland Nederland instromen, en de uitstroom naar zee. Tenslotte is er nog gebruik.

Tabel 2.1 Waterbalans van Nederland (landoppervlak plus zoete wateren: 36,750 km²) gemiddeld voor de periode 1971-2000 en voor een extreem droog jaar (1976) (NHV, 2004).

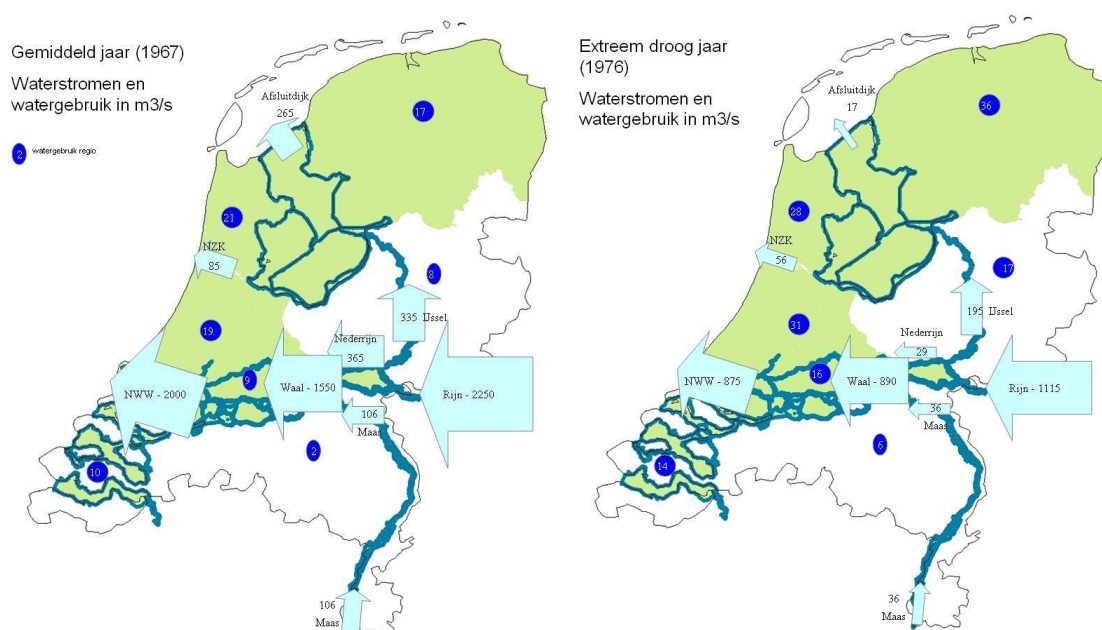
	Gemiddeld		Extreem droog jaar (1976)	
	mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³
In				
Regenval	795	29.200	535	19.700
Rijn (aan de grens)	1.915	70.400	1.130	41.500
Maas (aan de grens)	200	7.400	95	3.500
Andere rivieren	90	3.300	40	1.500
Totaal	3.000	110.300	1.800	66.200
Uit				
Verdamping	565	20.700	528	19.400
Gebruik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

Voor de verticale waterbalans geldt dat er gemiddeld meer neerslag valt dan er water verdampt; in een extreem droog jaar zijn neerslag en verdamping echter vrijwel gelijk aan elkaar. Het neerslagoverschot is groot in het winterhalfjaar (oktober t/m maart). Dit 'overschot' wordt dan meestal afgevoerd om wateroverlast te voorkomen. Daarom stroomt er op jaarbasis ook meer water naar zee dan Nederland via de rivieren in komt. In het zomerhalfjaar is er meestal een neerslagtekort: de verdamping is dan groter dan de neerslag (Figuur 2.2).

De waterbalans van Nederland laat ook zien dat zelfs in een extreem droog jaar zoals 1976 op jaarbasis de uitstroom naar zee nog altijd ruim 40 kubieke kilometer is; dat is nog meer dan 90% van wat de rivieren in zo'n jaar aanvoeren.



Figuur 2.2 Neerslagtekort in de loop van een jaar bij het huidige klimaat (gemiddeld)



Figuur 2.3 Schematische schets van de zomergemiddelde horizontale waterstromen door Nederland in een gemiddelde zomer en een extreem droge zomer (PBL, in voorbereiding)

Op de ruimtelijke variatie van de waterbalans wordt ingegaan bij de bespreking van de waterbeschikbaarheid in hoofdstuk 4.

2.2.2 Socio-economisch: watergebruik en afhankelijkheid van omstandigheden

De maatschappij is op vele manieren afhankelijk van water. De mens heeft ten eerste water nodig om te drinken, zich te wassen, en voor andere huishoudelijke doelen. Dit water wordt door drinkwaterbedrijven geleverd, die het deels uit grondwater onttrekken (55%) en deels aan oppervlaktewateren (40% direct, 5% via oever- en duininfiltratie). Dit is ondubbelzinnig consumptief gebruik.

Ten tweede wordt water in grote hoeveelheden verwerkt in producten, zoals frisdranken en bier. In de post '**gebruik**' in de waterbalans van Tabel 2.1 zijn het direct consumptief gebruik (drinkwater) en het indirect consumptief gebruik samen genomen. Dat omvat dus ook het water dat wordt opgebruikt bij productieprocessen in de industrie (de secundaire sector). (Drink)waterbedrijven produceren ongeveer 1,25 km³ water per jaar. De industrie krijgt hiervan 0,35 km³ en ontrekt zelf nog eens 0,2 km³, waarmee het totale gebruik van de industrie op ruim 0,5 km³ komt.

Bij productieprocessen denkt men al snel aan de industrie, maar het meeste water wordt gebruikt voor de productie van voedsel, namelijk in de landbouw (de primaire sector). Om gewassen te laten groeien is immers veel water nodig. Die vorm van watergebruik zit in de balans van Tabel 2.1 'verstopt' in de post 'verdamping'. Een deel van die gewassen wordt direct door de mens geconsumeerd (aardappels en kolen, appels en peren), een deel wordt verwerkt tot afgeleide producten (suiker, aardappelzetmeel). Maar de belangrijkste gewassen naar oppervlak gemeten zijn veevoer: maïs en snijgras. Die worden niet direct gegeten, maar indirect. Omdat circa 70 % van Nederland uit landbouwgronden bestaat **verbruikt** de landbouw als geheel dus veel water. Dat is grotendeels afkomstig van het neerslagoverschot – al dan niet tijdelijk in grondwater 'opgeslagen' en via beregening weer naar boven gehaald – en deels uit oppervlaktewater (sloten), waar water door wordt aangevoerd vanuit het hoofdwatersysteem. Als we de totale verdamping in Nederland uit Tabel 2.1 als indicatief beschouwen en daar 70% van aan de landbouw toeschrijven (waarschijnlijk een onderschatting), dan gaat het om tenminste 14 km³ per jaar.

Een vierde vorm van watergebruik is **tijdelijk gebruik**, namelijk voor de koeling van energiecentrales, in de industrie of als spoelwater. Dat water wordt meteen of na enige tijd weer geloosd op het oppervlaktewater of teruggebracht in de grond. Op de jaarbalans van Nederland is die dus niet terug te vinden. Deze vorm van gebruik – tijdelijk dus, niet te beschouwen als permanente onttrekking of 'verbruik' – omvat ook warmte-koudeopslag.

De boven beschreven vormen van watergebruik worden wel extractiegebruik genoemd, hoewel dat bij de landbouw discutabel is. Voor beregening wordt natuurlijk wel water opgepompt, maar als het water bij de gewassen komt via infiltratie uit sloten en via capillaire opstijging kan dat moeilijk extractie worden genoemd.

Een geheel andere maatschappelijke betekenis van water ligt in het handhaven van **gewenste omstandigheden**. In slappe gronden, zoals klei en vooral veen, is een constant waterpeil nodig om te voorkomen dat de grond sterk inklinkt of zelfs langzaam 'verbrandt' (oxydatie van veen). Ook om te voorkomen dat houten heipalen wegrotten is het nodig deze onder het grondwaterpeil te houden.

Ook dat vraagt peilbeheer. Tenslotte is het voor landbouwgewassen en bijzondere natuur (vegetatie van natte en vochtige standplaatsen) essentieel dat de grondwaterstanden niet buiten een bepaald bereik fluctueren. *Peilhandhaving* is relevant in geheel Laag-Nederland, in landbouwgebied, in natuurgebieden, maar ook in stedelijk gebied – waar immers veel ondergrondse (riolering) en bovengrondse infrastructuur en bebouwing afhankelijk is van het grondwaterpeil.

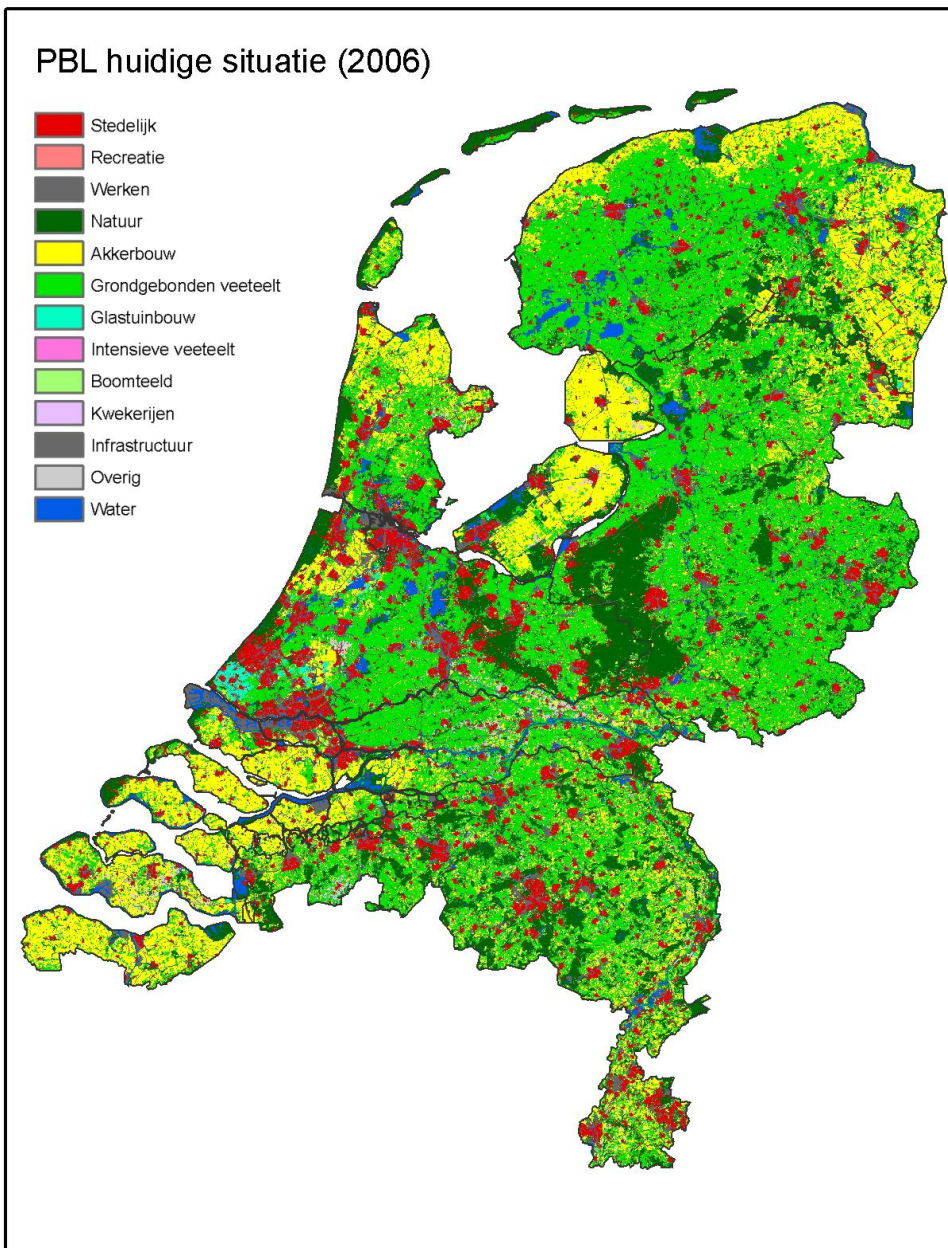
Een tweede vorm van handhaving van gewenste omstandigheden betreft het zoutgehalte en de waterkwaliteit van oppervlaktewateren. Te zout water is onbruikbaar voor irrigatie in de landbouw. Te hoge nutriëntengehalten kunnen leiden tot algenbloei in plassen, meren en andere wateren, waarin mensen willen zwemmen of varen, waar ze op uit kijken, of waar ze water uit willen onttrekken voor beregening. Om een voldoende goede waterkwaliteit te handhaven is soms *doorspoeling* nodig, vooral in gebieden met een hoge zoutbelasting vanuit kwel en in gebieden met een hoge nutriëntenbelasting vanuit grondwater in landbouwgebied. Ook deze soort wateraanvoer is relevant voor geheel Laag-Nederland: voor landbouwgebied, natuurgebieden en stedelijk gebied. Maar vooral ook voor de boezemwateren, waar de meren in Laag-Nederland vaak deel van uit maken. Het gaat hier om een algemene omgevingskwaliteit, voor gebruiksfuncties zoals wonen, werken (visserij, landbouw) en recreatie (zwemmen, watersport, sportvissen). Complicerend hierbij is dat voor de landbouw het zoutgehalte cruciaal is, terwijl zwemmen ook in zeewater goed kan. Dat vraagt eigenlijk dat steeds zeer veel onderscheid wordt gemaakt.

Een laatste vorm van beheer van omstandigheden heeft specifiek betrekking op waterlopen en grote wateren. Het gaat om de peilbeheersing op de vaarwegen. Zo is de vaardiepte op de niet-gestuwde rivieren afhankelijk van de afvoer, en die op de gestuwde rivieren (Maas, Nederrijn), kanalen en grote meren van de waterbalans in de stuwpanden, meren en boezems (bij kanalen). Op de Waal en Rijn is de vaardiepte essentieel voor het transport naar het achterland van de Rotterdamse en Amsterdamse havens. Daarvoor kan geen water worden aangevoerd; de vaardiepte hangt hoofdzakelijk af van de rivierafvoeren. Op de gestuwde rivieren, kanalen en meren kan een te laag peil betekenen dat sluisdrempels niet meer kunnen worden gepasseerd. Water kan op deze delen van het vaarwegennet wel worden aangevoerd – van bovenstreams of door terugpompen bij schutverliezen – of vastgehouden.

Met de bovenstaande beschrijving hebben we al een grof beeld gekregen van de maatschappelijke watervraag. De verschillende vragen kunnen worden ingedeeld naar aard (extractie, omstandigheden), naar sector (landbouw, industrie), of naar landgebruikfunctie (wonen, werken). In hoofdstuk 3 wordt de huidige vraag en de ontwikkeling van die vraag in de toekomst beschreven *per sector /landgebruiktype*.

Voor een eerste indruk van de geografische verspreiding van vragende landgebruikfuncties kan een kaart van het huidige landgebruik dienen (Figuur 2.4). Die heeft ook als basis gefungeerd voor de modellering en er zijn toekomstverwachtingen op gestoeld.

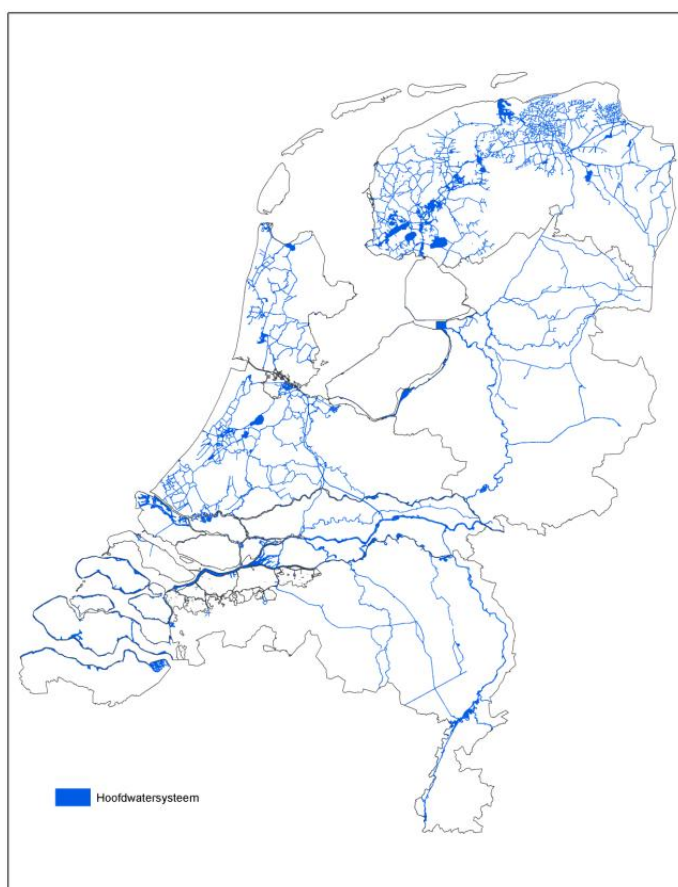
De omvang van de vraag is lastig te kwantificeren, vanwege het verschil in aard van de vraag: consumptief met een onbekende teruglozing via riolering, via verdamping van gewassen of natuurlijke vegetatie, kortdurend ten behoeve van koeling tot alleen betrekking hebbend op de condities (peil).



Figuur 2.4 Landgebruik in de huidige situatie; bepalend voor de watervraag

2.2.3 Waterverdeling door Nederland: het netwerk, inlaatpunten en uitslagpunten

Het water dat Nederland binnenstroomt wordt over het land verdeeld via een hoofdnetwerk van waterwegen (Figuur 2.5), en in de zomer deels tijdelijk opgeslagen in grote meren. Het hoofdnetwerk bestaat uit de grote rivieren: Maas, Waal, Nederrijn-Lek en IJssel; het netwerk van benedenrivieren; en uit een aantal grote kanalen, zoals het Amsterdam-Rijnkanaal, de Zuid-Willemsvaart, het Meppeler Diep en de Hoogeveense Vaart, het Margrietkanaal-Van Starckenborghkanaal, etc.



Figuur 2.5 Het netwerk van hoofdwatersysteem en boezemwateren waarlangs de distributie van oppervlaktewater plaatsvindt

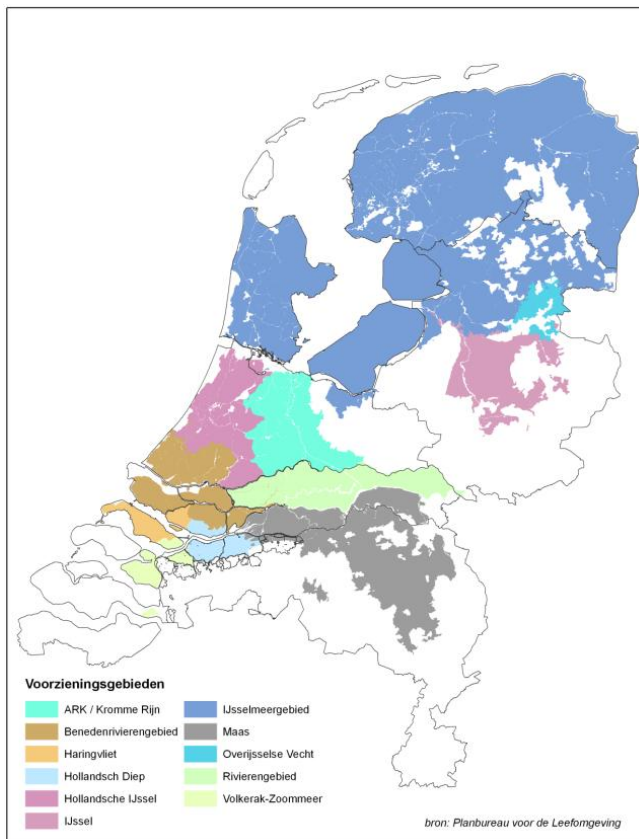
Een tweede deel van het hoofdnetwerk bestaat uit de grote meren, waaronder het IJsselmeer en Markermeer en het Hollands Diep- Haringvliet en Volkerak. Daar kunnen grote hoeveelheden water tijdelijk worden opgeslagen bij wijze van voorraad.

Hieraan gekoppeld zijn ten eerste de boezemwateren van Laag-Nederland, zoals de Friese Boezem, het netwerk van boezemwateren in Centraal-Holland, en de boezems van Noord-Holland. Dit geheel bestaat voornamelijk uit oude rivierlopen (Kromme Rijn, Oude Rijn, Schie), bovenlanden (Kaag, Nieuwkoopse Plassen, Westeinder) en ringvaarten (Haarlemmermeerpolder, Schermer, Purmer, Beemster). Deze boezemwateren zijn met inlaatpunten verbonden met het hoofdsysteem, waarbij de precieze grens tussen hoofdsysteem en boezem soms wat onduidelijk is (Margrietkanaal en Friese boezem zijn bijvoorbeeld een aaneengesloten geheel). Overschotten worden geloosd via uitlaatpunten, die soms samenvallen met de inlaatpunten.

Ten tweede zijn er in Hoog-Nederland aftakkingen van kleinere kanalen en vaarten, onder andere in Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel (vanaf het Twentekanaal en de Overijsselse Vecht) en in Noord-Nederland.

De verdeling van water via dit netwerk gebeurt vrijwel helemaal onder vrij verval, dus op basis van zwaartekracht. In Hoog-Nederland kan dit doordat de inlaatpunten langs de Maas en IJssel voldoende ver bovenstrooms liggen, in Laag-Nederland kan het door een hoger zomerpeil te handhaven op de grote meren dan in de boezemwateren.

Omdat Nederland nogal plat is kan het water op deze manier alleen langzaam stromen en wordt de aanvoercapaciteit sterk bepaald door de dimensies van de watergangen. Vanuit de boezems wordt het water verdeeld over vaarten, sloten en polders. In Figuur 2.6 is weergegeven welke landsdelen vanuit welke delen van het hoofdwatersysteem van water worden voorzien.



Figuur 2.6 Gebieden waar wateraanvoer uit het hoofdsysteem mogelijk is met een aanduiding van de bron

2.3 Veranderingen in de toekomst: wat er mogelijk op ons afkomt

2.3.1 Klimaatscenario's en overige geo-ecologische veranderingen

Klimaatverandering wordt soms gezien als de meest urgente reden om ons watersysteem in de komende tijd aan te gaan passen. Hoeveel en hoe snel het in de toekomst warmer zal worden is echter onzeker; dit is afhankelijk van de emissies van broeikasgassen en van het gedrag van de atmosfeer. Beide zijn onzeker. De meest recente schattingen voor de temperatuurstijging lopen dan ook uiteen van 1,1 tot 6,4 °C in deze eeuw.

Om grip te krijgen op de onzekerheid ten behoeve van besluitvorming wordt gewoonlijk gewerkt met klimaatscenario's. Die worden onder andere opgesteld door het IPCC. Voor Nederland worden ze geografisch toegesneden en nader gespecificeerd door het KNMI. De meest recente klimaatscenario's van het KNMI voor Nederland dateren van 2006.

Het gaat om 4 scenario's (Tabel 2.2) die zijn gebaseerd op hetzelfde bronnenmateriaal als door het IPCC is gebruikt voor het 4^e Assessment Report en op de toen nieuwste inzichten van het klimaatonderzoek.

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

KNMI 2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+ 2	+ 2	+ 4	+ 4
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter	Gemiddelde temperatuur	+ 1.8°C	+ 2.3°C	+ 3.6°C	+ 4.6°C
	Koudste winterdag per jaar	+ 2.1°C	+ 2.9°C	+ 4.2°C	+ 5.8°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+ 7%	+ 14%	+ 14%	+ 28%
	Aantal natte dagen (>+ 0,1mm)	0%	+ 2%	0%	+ 4%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+ 8%	+ 12%	+ 16%	+ 24%
	Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	+ 4%	-2%	+ 8%
Zomer	Gemiddelde temperatuur	+ 1.7°C	+ 2.8°C	+ 3.4°C	+ 5.6°C
	warmste zomerdag per jaar	+ 2.1°C	+ 3.8°C	+ 4.2°C	+ 7.6°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+ 6%	- 19%	+ 12%	- 38%
	Aantal natte dagen (>+ 0,1mm)	- 3%	- 19%	- 6%	- 38%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+ 27%	+ 10%	+ 54%	+ 20%
	potentiële verdamping	+ 7%	+ 15%	+ 14%	+ 30%
Zeespiegel	absolute stijging	35-60 cm	35-60 cm	40-85 cm	40-85 cm

Klimaatverandering uit zich ten eerste in een toename van de gemiddelde temperatuur. Maar voor de zoetwaterproblematiek is de temperatuur zelf niet zo belangrijk. Het gaat veeleer om andere – aan de temperatuur en temperatuurverschillen gerelateerde – klimaatfactoren, zoals neerslag en verdamping. Voor de zoetwaterproblematiek zijn vooral belangrijk:

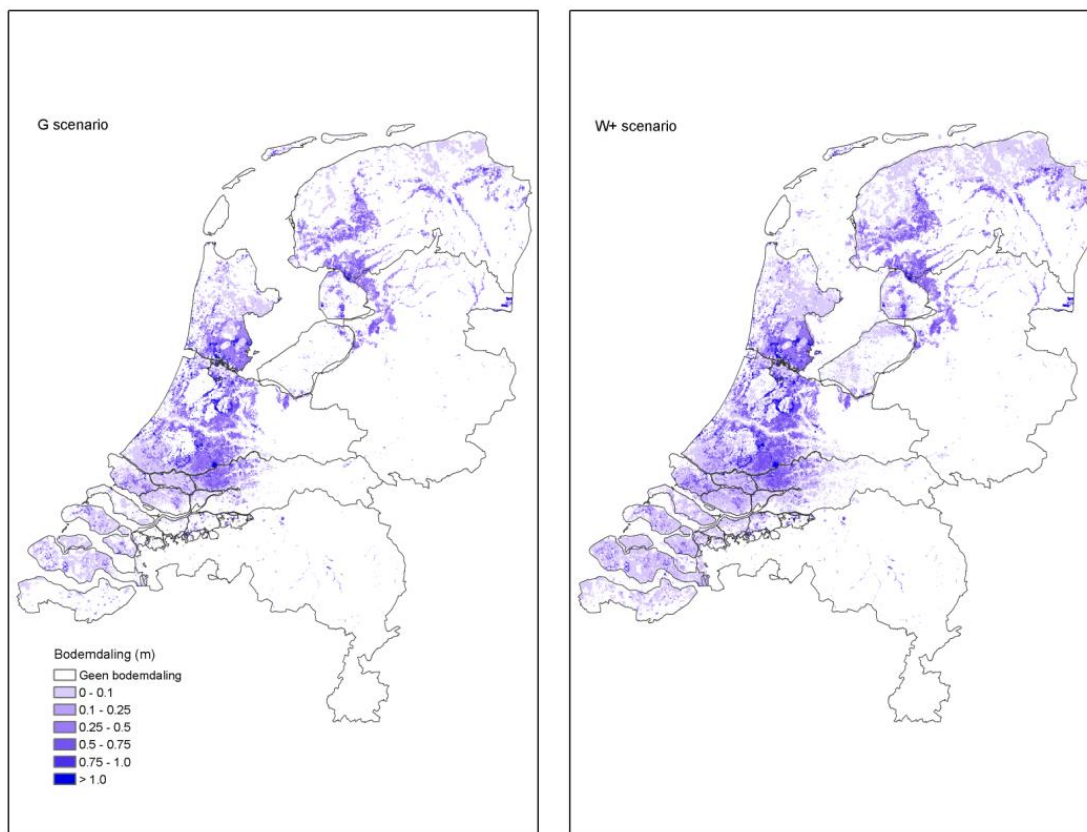
- veranderingen in neerslagregime;
- veranderingen in verdampingsregime;
- veranderingen in afvoerregime van rivieren;
- verandering in zeespiegelstand.

Sommige van deze factoren zijn door het KNMI al in de scenario's opgenomen (zie Tabel 2.2). Andere meer hydrologische factoren moeten daarvan worden afgeleid, zoals de rivierafvoeren. Op die laatste gaan we in hoofdstuk 3 in. Hier beperken we ons tot de klimaatscenario's sec.

De procentuele veranderingen in de tabel zijn weergegeven ten opzichte van het huidige klimaat. Het huidige klimaat is afgeleid uit de metingen over de periode 1976- 2005 en representeert dus het best het jaar 1990. Verder geldt dat de getalswaarden in Tabel 2.2 betrekking hebben op 2100. Voor 2050 kan worden uitgegaan van ongeveer de helft van deze waarden.

Het scenario W+ vertoont de grootste veranderingen. Dat is geen wonder, als men bedenkt dat de W-scenario's zich qua temperatuurstijging verhouden tot de G-scenario's als 2: 1 (tweemaal zo sterke temperatuurstijging als achterliggende oorzaak van de overige klimaateffecten) en dat de +- scenario's daar ten opzichte van de niet+-scenario's een gewijzigde luchtstroming bij aannemen. W+ is aldus het 'bovenscenario' van de 4 KNMI-scenario's, en G het 'benedenscenario'.

Uit praktische overwegingen is er in het Deltaprogramma voor gekozen om niet met alle 4 scenario's te werken, maar er 2 te selecteren. Dat is omdat ook nog sociaal-economische scenario's moeten worden meegenomen, en omdat het belangrijkste doel van een scenarioanalyse is om de 'bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen' in beeld te krijgen. Dat kan ook met minder scenario's. Voor de (zoet)waterproblematiek zijn de scenario's die de minste respectievelijk ernstigste droogte zouden kunnen veroorzaken gekozen: G (Gematigd, geen verandering van het luchtstromingspatroon) en W+ (Warm, met verandering van het luchtstromingspatroon). Die twee scenario's zijn verwerkt in de zogenaamde deltasenario's (zie Bruggeman *et al.*, 2011), die voor algemene toepassing in het Deltaprogramma en het deltamodel dienen. Daar wordt hier bij aangesloten.



Figuur 2.7 Bodemdaling, zoals gebruikt in het NHI voor respectievelijk klimaatscenario G (nauwelijks veranderend klimaat, doorgaande autonome trend) en scenario W+, waar lager grondwaterstanden leiden tot versnelde oxydatie en zetting.

Behalve klimaatverandering is voor de waterhuishouding van Nederland ook bodemdaling nog relevant. Daarvoor zijn nieuwe prognoses gemaakt voor het Deltaprogramma (De Lange *et al.*, 2011). Bodemdaling wordt veroorzaakt door isostatische bewegingen in de geologische ondergrond, door compactie, door olie- en gaswinning, door zoutwinning, door inklinking en door oxydatie van veen. Daardoor kan de daling plaatselijk meer dan een centimeter per jaar bedragen (dus 1 m per eeuw). Voor deze voorlopige knelpuntanalyse is gebruik gemaakt van bodemdalingsprognoses, waarin (nog) geen effecten van tektoniek (incl. olie-, gas- en zoutwinning) zijn verdisconteerd (Figuur 2.7).

2.3.2 Sociaal-economische scenario's

Niet alleen het klimaat verandert, maar ook de maatschappij. En die bepaalt de watervraag. Het gaat daarbij om bevolkingsgroei en –concentratie en om economische groei of krimp. In het Deltaprogramma wordt daarom niet alleen voor klimaatverandering een scenario-benadering gevolgd, maar ook voor bevolkingsgroei en economische groei, om zo een beeld te krijgen van de veranderende vraag.

Tabel 2.3 Enkele karakteristieken van Nederland voor de periode 1971-2001 en voor 4 scenario's van maatschappelijke ontwikkeling tot 2040: GE=Global economy; SE=Strong Europe; TM=Transatlantic market; RC=Regional communities. (WLO, 2006).

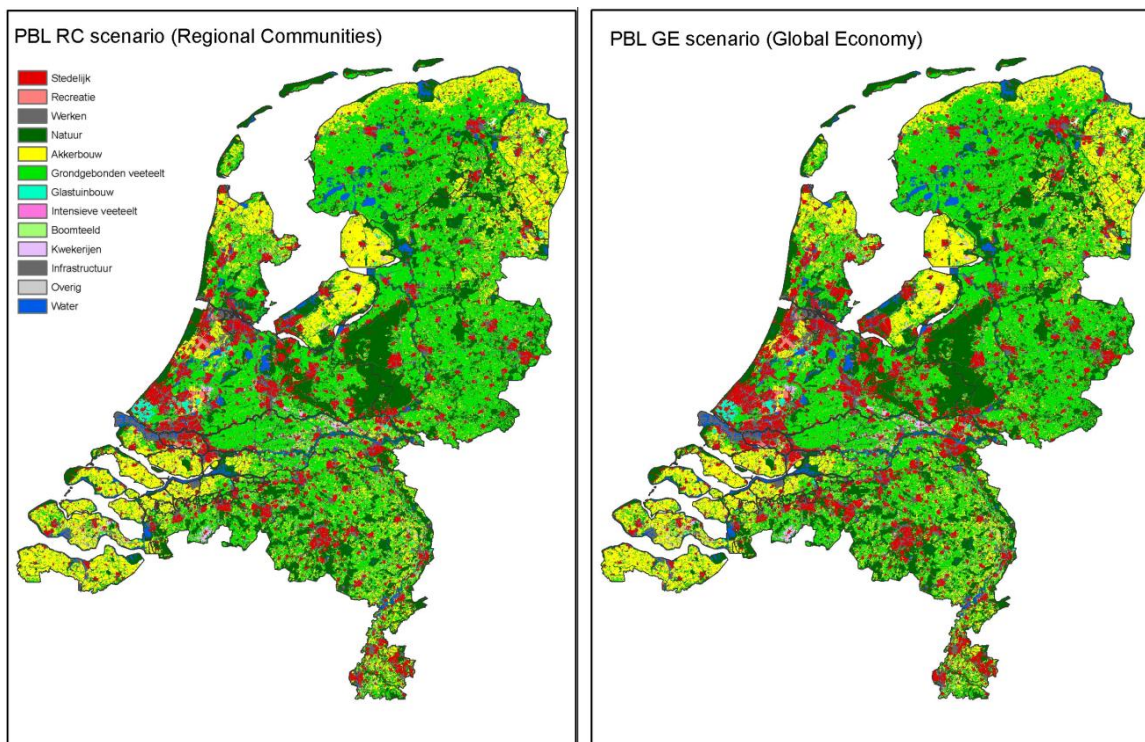
	1971-2001	GE 2040	SE 2040	TM 2040	RC 2040
Bevolking (miljoen personen)	16.0*	19.7	18.9	17.1	15.8
Aandeel 65+ (%)	14*	23	23	25	25
Aantal huishoudens (miljoen)	7.0*	9.8	8.3	8.5	6.9
Werkzoekenden zonder baan (%)	3.3	4.3	5.5	4.7	7.7
Groei BBP per hoofd per jaar (%) 2002-2040	1.9	2.1	1.5	1.7	1.2
BBP per hoofd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

* 2001; [#] 2002

Scenario's voor maatschappelijke ontwikkelingen kijken doorgaans minder ver vooruit dan scenario's voor klimaatverandering. De grens ligt wel zo'n beetje bij 2050, omdat het maatschappijstelsel in vergelijking met het klimaatstelsel veel sneller reageert en de onzekerheden dus ook groter zijn. Voor het Deltaprogramma zijn voor het socio-economisch systeem voor na 2050 slechts 'doorkijkjes' gemaakt.

Voor de sociaal-economische ontwikkelingen wordt aangesloten bij de scenario's die zijn gemaakt door de planbureaus voor 2040 (CPB *et al.*, 2006; Janssen *et al.*, 2006). De belangrijkste karakteristieken van deze scenario's zijn samengevat in Tabel 2.3. In drie van de vier scenario's groeit de Nederlandse bevolking nog enigszins, vooral in het westen van het land. In scenario RC is er enige krimp. De economie groeit in alle scenario's, maar niet even hard.

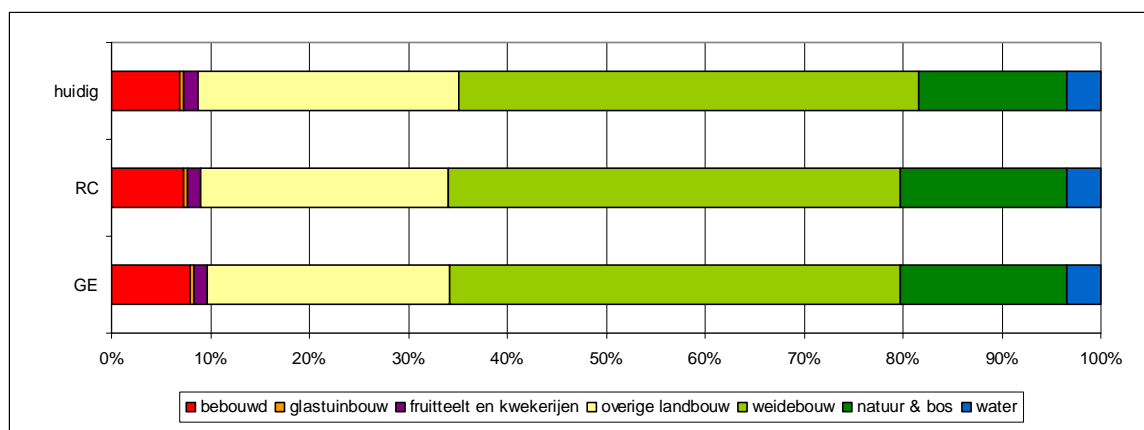
Van deze 4 scenario's worden er hier slechts 2 gebruikt, conform wat voor het deltamodel en het hele Deltaprogramma is voorgesteld. De ratio daarachter is dat wordt verkend wat de bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen is, maar dat een overzichtelijk aantal scenario's wordt onderzocht uit praktische overwegingen. Daarom is gekozen voor ten eerste het scenario dat waarschijnlijk de grootste watervraag vanuit de landbouw betekent omdat er de minste verstedelijking bij wordt verwacht (RC), en voor ten tweede het scenario waarbij de watervraag vanuit de landbouw het kleinst is, maar juist die van de drinkwaterwinning het grootst omdat er daarbij de meeste mensen in Nederland wonen en de economie het hardst groeit (GE).



Figuur 2.8 Landgebruik in 2050 bij twee scenario's van bevolkingsgroei en economische groei (Regional Communities (RC), links; Global Economy (GE), rechts) zoals berekend door PBL voor de deltasenario's.

De demografische en economische ontwikkelingen bepalen de ontwikkeling van het landgebruik, die bepalend is voor de omvang en plaats van de watervraag. Daarbij spelen natuurlijk ook de wereldmarkt en het Europees (landbouw)beleid een rol. Het PBL heeft de scenario's RC en GE omgezet naar kaarten met het verwachte ruimtegebruik in 2040. Daarvoor is gebruik gemaakt van de Ruimtescanner en is uitgegaan van de situatie 2005 en reeds vastgesteld beleid (zie Kuiper & Bouwman, 2009).

Voor de zoetwaterverkenning – en breder voor het deltamodel – wordt aangenomen dat deze kaarten ook voldoende indicatief zijn voor 2050. Het ruimtegebruik in 2050 bij de scenario's RC en GE is weergegeven in Figuur 2.8. De kwantitatieve veranderingen zijn weergegeven in Figuur 2.9: die zijn nauwelijks opvallend, maar er is in GE een toename van stedelijk gebied ten koste van landbouwgebied.



Figuur 2.9 Kwantitatieve (procentuele) veranderingen van landgebruik in de sociaal-economische scenario's RC en GE

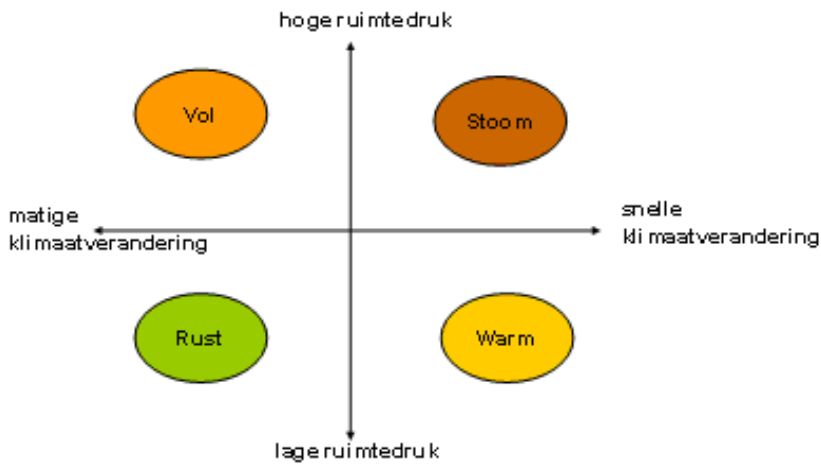
2.3.3 Deltascenario's: relevante combinaties van geo-ecologische en sociaal-economische scenario's

Voor het Deltaprogramma zijn Deltascenario's ontwikkeld, die in alle deelprogramma's gebruikt worden. Voor 2050 zijn voor de deltasenario's de twee uiterste scenario's voor klimaatverandering (G en W+; aangevuld met andere relevante geo-ecologische veranderingen) gecombineerd met de twee uiterste scenario's voor sociaal-economische verandering (RC en GE), om aldus de bandbreedte van mogelijke veranderingen te omspannen: van het 'ergste' wat ons kan overkomen tot het 'minst erge'.

De volgende 4 deltasenario's zijn zo onderscheiden:

- VOL: matige klimaatverandering en grote ruimtedruk (G/ GE);
- STOOM: snelle klimaatverandering en grote ruimtedruk (W+/ GE);
- WARM: snelle klimaatverandering en geringe ruimtedruk (W+/ RC);
- RUST: matige klimaatverandering en geringe ruimtedruk (G/ RC).

Omdat deze terminologie nog niet is ingeburgerd gebruiken we in dit rapport meestal de aanduidingen die er tussen haakjes achter staan: de combinaties klimaatscenario/ socio-economisch scenario.



Figuur 2.10 De deltascenario's geplaatst in een assenkruis van geo-ecologische en sociaal-economische drijvende krachten

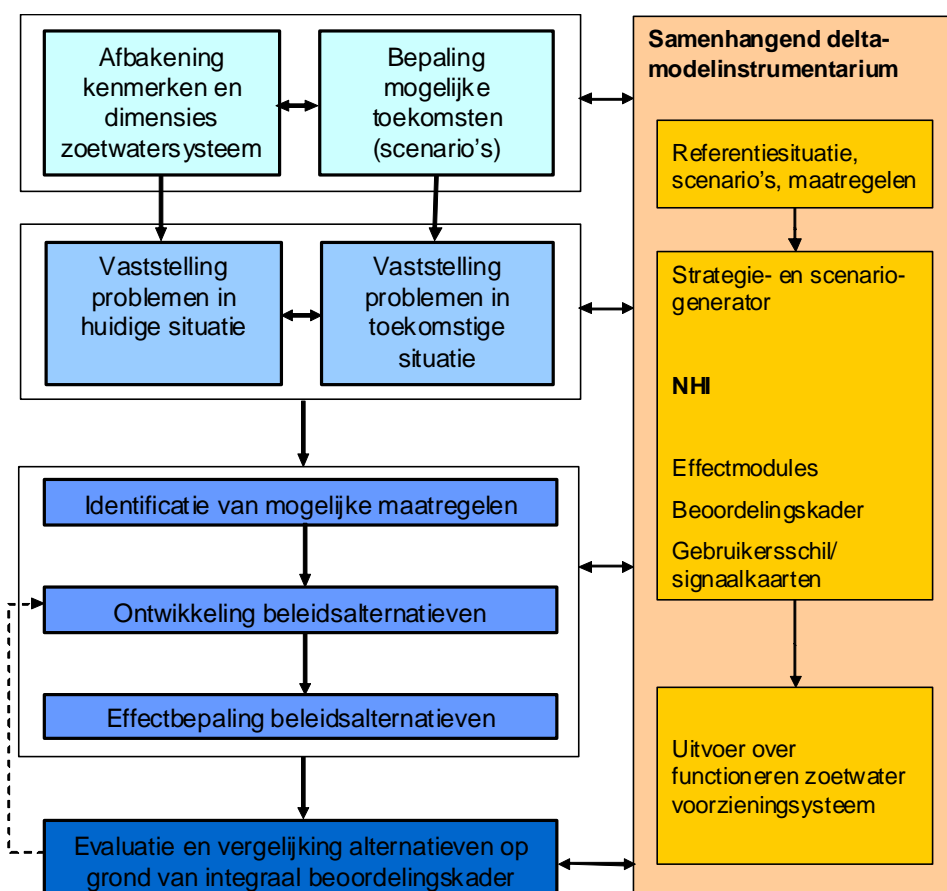
Wat het 'ergst' en het 'minst erg' is kan verschillen per vraagstuk. Voor het zoetwaterbeheer vormt het klimaatscenario met de geringste beschikbare hoeveelheid zoetwater in de zomer gecombineerd met de grootste watervraag de grootste opgave. Nu wordt de grootste *drinkwatervraag* verwacht bij socio-economisch scenario GE, maar de grootste *landbouwwatervraag* juist bij scenario RC. Omdat dus niet op voorhand duidelijk is wat voor het zoetwaterbeheer de 'minste opgave' en 'grootste opgave' zijn, worden alle 4 deltascenario's doorgerekend en worden de meest uiteenlopende in dit rapport besproken.

Voor de periode 2050 tot 2100 werd het door de planbureaus onverantwoord geacht om socio-economische verwachtingen uit te spreken. Daarom is in het kader van de deltascenario's doorgedacht vanuit 'de minste' en 'de ergste' opgave (Bruggeman et al., 2011). In de praktijk betekent dit dat de klimaatscenario's G en W+ worden gebruikt voor klimaatverandering, aangevuld met een sterk toenemende, respectievelijk nauwelijks toenemende watervraag.

2.4 Modelling

Om kwantitatieve, gebiedsspecifieke uitspraken te kunnen doen over knelpunten nu en in de toekomst wordt gebruik gemaakt van rekenmodellen. Daarbij wordt zoveel mogelijk afgestemd met andere deelprogramma's in het Deltaprogramma. Dat betekent dat voor de waterhuishouding gebruik wordt gemaakt van het deltamodelinstrumentarium. Voor effecten op sectoren/ gebruiksfuncties wordt eveneens zoveel mogelijk gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde modellen.

Specifiek voor de zoetwaterverkenning is gekozen voor één geïntegreerd hydrologisch model voor de waterhuishouding van Nederland, waarmee van perceelsniveau tot hoofdsysteem berekeningen kunnen worden gedaan: het NHI. Dit model wordt eveneens gebruikt door de waterschappen, die aan de ontwikkeling ervan hebben bijgedragen, en het is opgenomen in het deltamodelinstrumentarium. De opzet en werking ervan worden hieronder kort toegelicht.



Figuur 2.11 Voor de zoetwaterverkenning wordt gebruik gemaakt van het deltamodelinstrumentarium, waarin NHI een centrale plaats heeft.

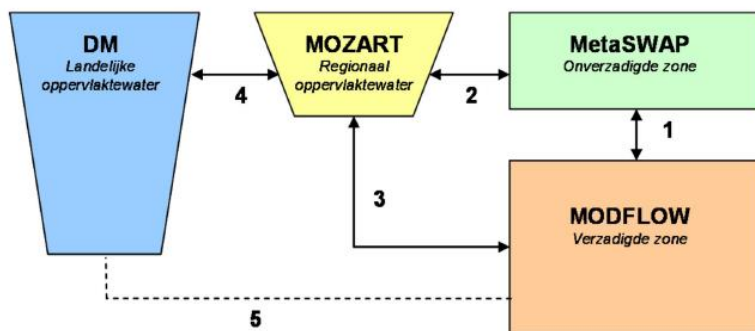
Met dit model kunnen de hydrologische omstandigheden worden berekend in verschillende meteorologische jaren in de huidige situatie en bij toekomstscenario's. Het levert hydrologische omstandigheden, zoals grondwaterstanden, kwel- en infiltratiefluxen, waterpeilen in grond en sloten, percentages gebiedsvreemd water, en zoutconcentratie in de bodem en in het oppervlaktewater.

Deze hydrologische omstandigheden worden vervolgens gebruikt om de effecten op gebruiksfuncties te berekenen. De op dit moment beschikbare sectormodellen zijn beperkt tot de gebruiksfuncties landbouw, natuur en scheepvaart. Daarvoor zijn de volgende modellen gebruikt:

- AGRICOM voor de landbouwschade (landsdekkend);
- DEMNAT voor de effecten op de terrestrische natuur (landsdekkend);
- HABITAT voor natuurpotenties buitendijks en aquatisch (alleen langs de grote wateren);
- BIVAS voor de scheepvaart (hoofdvaarwegennet);
- LTM+ voor koelwaterlozingen.

2.4.1 Het fysieke systeem 1: NHI

De modellering van de waterhuishouding vindt plaats met behulp van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Dit bestaat uit een aantal aan elkaar gekoppelde modellen (Delsman & Prinsen, 2010), die als ruimtelijk in elkaar geneste systemen kunnen worden beschouwd.



Figuur 2.12 Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) bestaat in essentie uit een aantal gekoppelde hydrologische modellen.

De kleinste ruimtelijke rekeneenheid wordt gevormd door een model voor de onverzadigde zone (MetaSWAP), dat als het ware de wortelzone van gewassen in een *perceel* representeert. Hier valt regen op en verdampt water uit – al dan niet via de plant. Deze eenheid genereert de watervraag van het *land*: de landbouwpercelen, stadsparken en natuurgebieden. Geografisch gaat het om gridcellen van 250x250 m, waarvan wordt aangenomen dat deze qua bodemeigenschappen en landgebruik homogeen zijn.

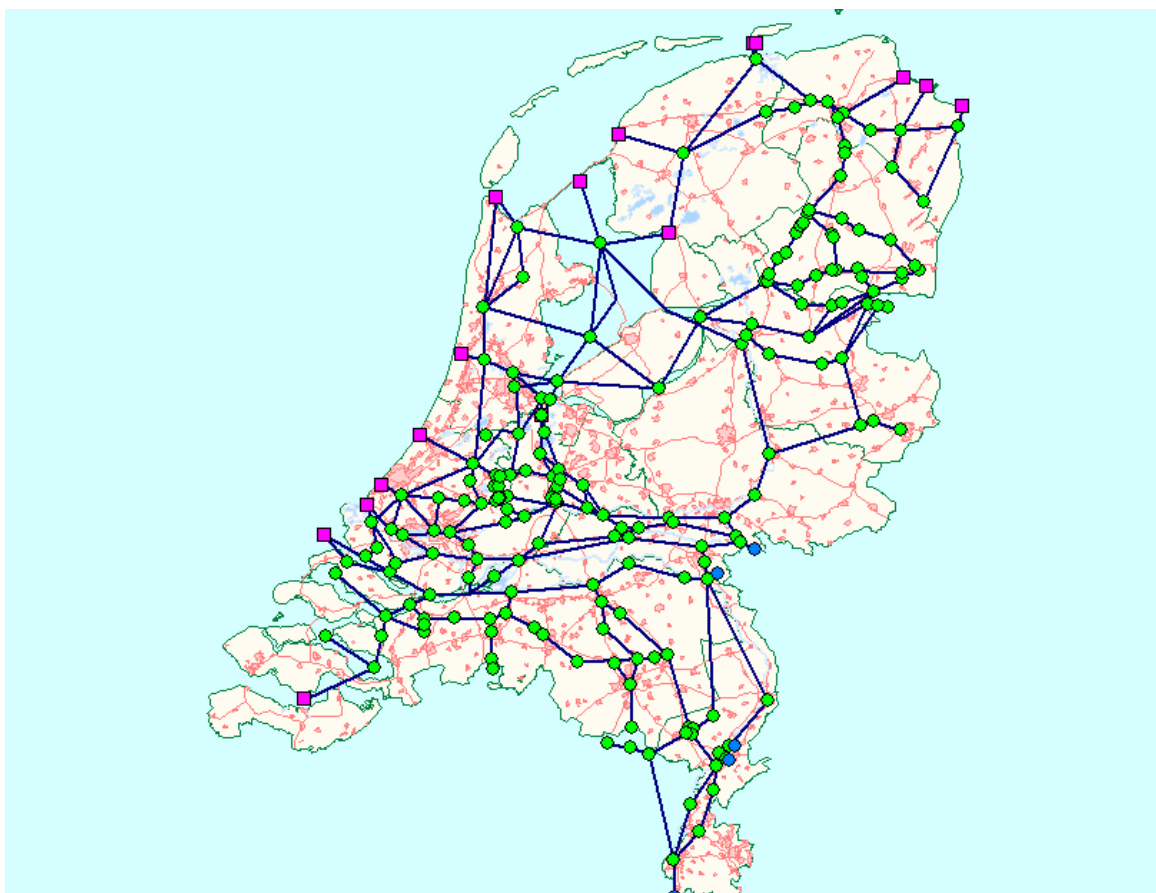
De onverzadigde zone wisselt uit met *grondwater* in de verzadigde zone: aanvulling als het hard/lang regent en capillaire opstijging als het hard/lang verdampt. Met MODFLOW worden grondwaterstanden, inzijging en kwelfluxen berekend.

Zowel de onverzadigde als verzadigde zone wisselen water uit met de sloten en beken van het *regionale oppervlaktewatersysteem*. Deze worden gerepresenteerd in het model MOZART. Hiermee worden waterpeilen en fluxen van drainage en infiltratie berekend. De *ruimtelijke rekeneenheid* is de zogeheten Local Surface Water unit (LSW). Deze wordt als 'homogeen' beschouwd en is in feite een representatie van sloten etc., waarvan de precieze ruimtelijke configuratie er voor landelijke analyses niet toe doet. Er zijn bijna 9000 van deze LSW's. Ze zijn gemiddeld 300 ha groot (Delsman & Prinsen, 2010).

De regionale wateren wisselen tenslotte weer uit met het hoofdwatersysteem en een aantal belangrijke regionale wateren: boezemwater, tochten, vaarten, kanalen, wijken, riviertjes en de grote rivieren en meren. Hiervoor wordt *nu nog* het Distributiemodel (DM) gebruikt; later zal dit worden vervangen door een geavanceerder hydraulisch model (LTM+). Het DM vormde ook de kern van de modellering in eerdere droogtestudies (Rijkswaterstaat-RIZA, 2003; Van Beek et al., 2008).

Met het DM wordt de waterbeweging berekend in het landelijke netwerk, dat daartoe is geschematiseerd in een netwerk van knopen en takken (Figuur 2.13).

De knopen representeren grote watervolumes, maar ook plekken waar waterlopen ('takken') samenkomen, waar water wordt onttrokken of geloosd, en randen van het netwerk (Noordzee, Waddenzee). In het DM worden voor tiendaagse tijdstappen (decaden) berekeningen uitgevoerd per knoop. Voor de takken worden waterverdeling, debieten en waterstanden berekend, waarbij soms beperkingen gelden; bijvoorbeeld vanwege een beperkte capaciteit van een pomp, een gering verval of een te smalle waterloop.



Figuur 2.13 Het netwerk van 'knopen' en 'takken' van het gebruikte distributiemodel (DM)

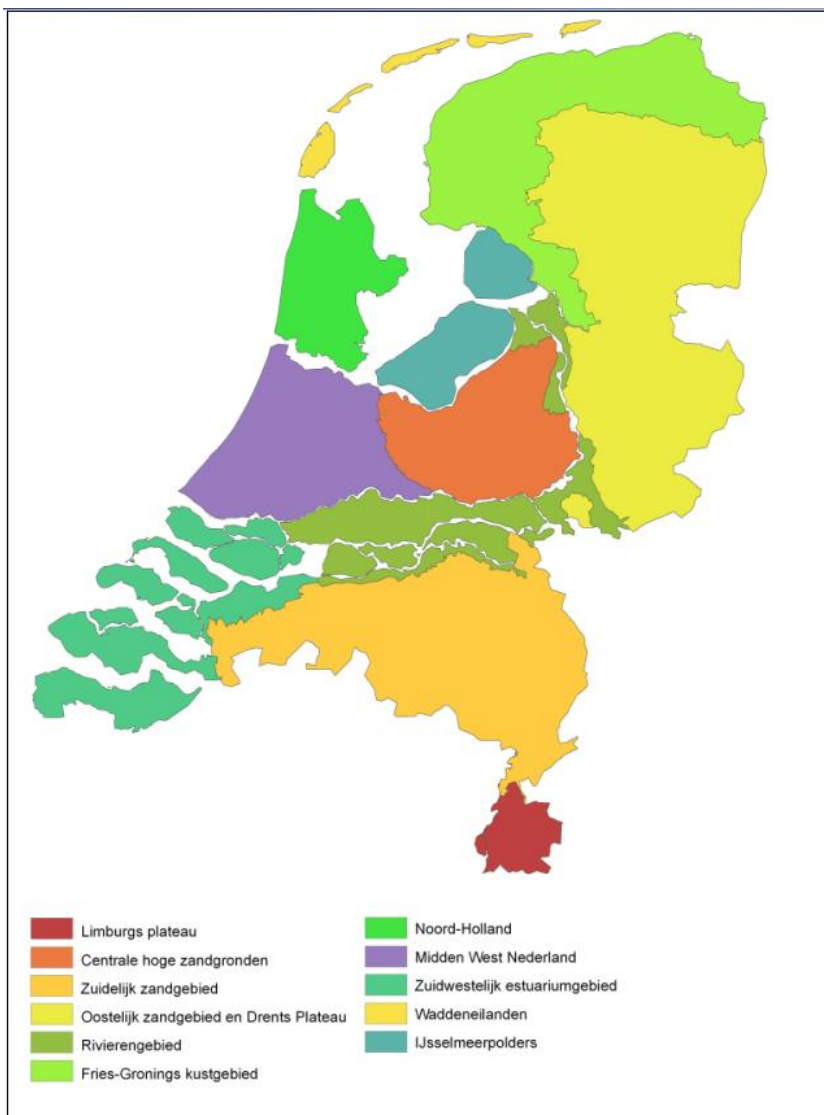
2.4.2 Het fysieke systeem 2: presentatie per waterhuishoudkundige regio en/of district

Met NHI worden resultaten berekend voor verschillende ruimtelijke eenheden: gridcellen, respectievelijk LSW's. Soms worden resultaten op kaart dus weergegeven voor gridcellen, soms voor LSW's.

Voor de interpretatie van uitkomsten is het vaak gewenst resultaten te aggregeren naar grotere ruimtelijk eenheden, die herkenbaar, aanwijsbaar en benoembaar zijn. Daartoe is – mede ten behoeve van een studie van het PBL – een indeling van ruimtelijke eenheden gemaakt op fysiografische grondslag. Dat wil zeggen naar gebiedskenmerken, zoals hoogteligging, bodemopbouw, grondwaterregime, en drainagesysteem. Zo'n indeling betreft dus waterhuishoudkundige eenheden, zoals dijkringen (bijv. Schouwen-Duiveland, Land van Altena, Noordoostpolder), inziggebieden (bijv. Veluwe, Utrechtse Heuvelrug), e.d.

Er zijn ruimtelijke eenheden onderscheiden op twee schaalniveaus: districten en regio's. Er zijn 63 waterhuishoudkundige districten onderscheiden (Figuur 2.15), waarvan de precieze begrenzing berust op een 'logische samenvoeging' van LSW's, en 9 waterhuishoudkundige regio's (Figuur 2.14), die bestaan uit 'logisch samengevoegde' districten. In dit rapport wordt vrijwel uitsluitend met deze waterhuishoudkundige regio's gewerkt.

In hoge mate gecorreleerd met de eigenschappen van deze districten is het landgebruik, dat immers een reflectie is van bodem- en (grond)watereigenschappen. Het 'landgebruiksprofiel' is daarmee karakteristiek voor de verschillende gebieden (Figuur 2.16).



Figuur 2.14 Waterhuishoudkundige regio's

2.4.3 Tijdstappen en karakteristieke droogtejaren

Het modelinstrumentarium rekent in tijdstappen van één dag (MetaSWAP en MODFLOW) en decaden (MOZART en DM). Dat vraagt veel rekentijd, vooral als langjarige reeksen worden doorgerekend. En dat is uiteindelijk de bedoeling in de zoetwaterverkenning: reeksen van 35 jaar.

Voor een eerste analyse wordt daarom vaak gekozen voor het doorrekenen van representatieve 'droogtejaren'. Een droogtejaar is een historisch jaar dat karakteristiek wordt geacht voor een bepaalde mate van droogte. Zo'n aanpak is gevolgd in zowel de Droogtestudie (Rijkswaterstaat-RIZA, 2005) als in de studie van Van Beek *et al.* (2008). Ook nu is dat gedaan.

Karakteristieke droogtejaren kunnen inzicht geven in de mogelijke droogtesituaties en kunnen worden gebruikt om een indruk van het droogterisico te krijgen. Voor deze knelpuntenanalyse zijn 3 karakteristieke droogtejaren gekozen (Tabel 2.4) met verschillend neerslagtekort, bijbehorende rivierafvoeren en bijbehorende omstandigheden op zee (getijde en storm). Deze zijn gebruikt voor berekeningen van de peilveranderingen op het IJsselmeer en de zoutindringing op de Nieuwe Maas.

Het jaar 1967 kan worden beschouwd als een 'gewoon' jaar, zoals dat met een overschrijdingskans van circa 50% optreedt. We noemen het 'gemiddeld', omdat die aanduiding eerder en elders wordt gebruikt. Het is dus gemiddeld droog en ook gemiddeld nat. Het jaar 1989 staat voor een 'droog' jaar. Het komt ongeveer overeen met een 10%-jaar. En 1976 was extreem droog. Het staat model voor een 1% overschrijdingskans van optreden.

Tabel 2.4 Karakteristieke jaren zoals gebruikt in deze knelpuntenanalyse met de bijbehorende herhalingsstijd en overschrijdingskans (naar ontstane droogteschade), met hun afvoertekort en zomer's neerslagtekort (alle waarden afgerond, naar KNMI, 2005).

Soort jaar	herhalingsstijd (jaar)	overschrijdingskans	afvoertekort (10 ⁶ m ³)	neerslagtekort (mm)
Gemiddeld (1967)	2	0,5 (50%)	300	150
Droog (1989)	8 (10)	0,125 (10%)	3.700	220
Extreem droog (1976)	110 (100)	0,0125 (1%)	10.700	360

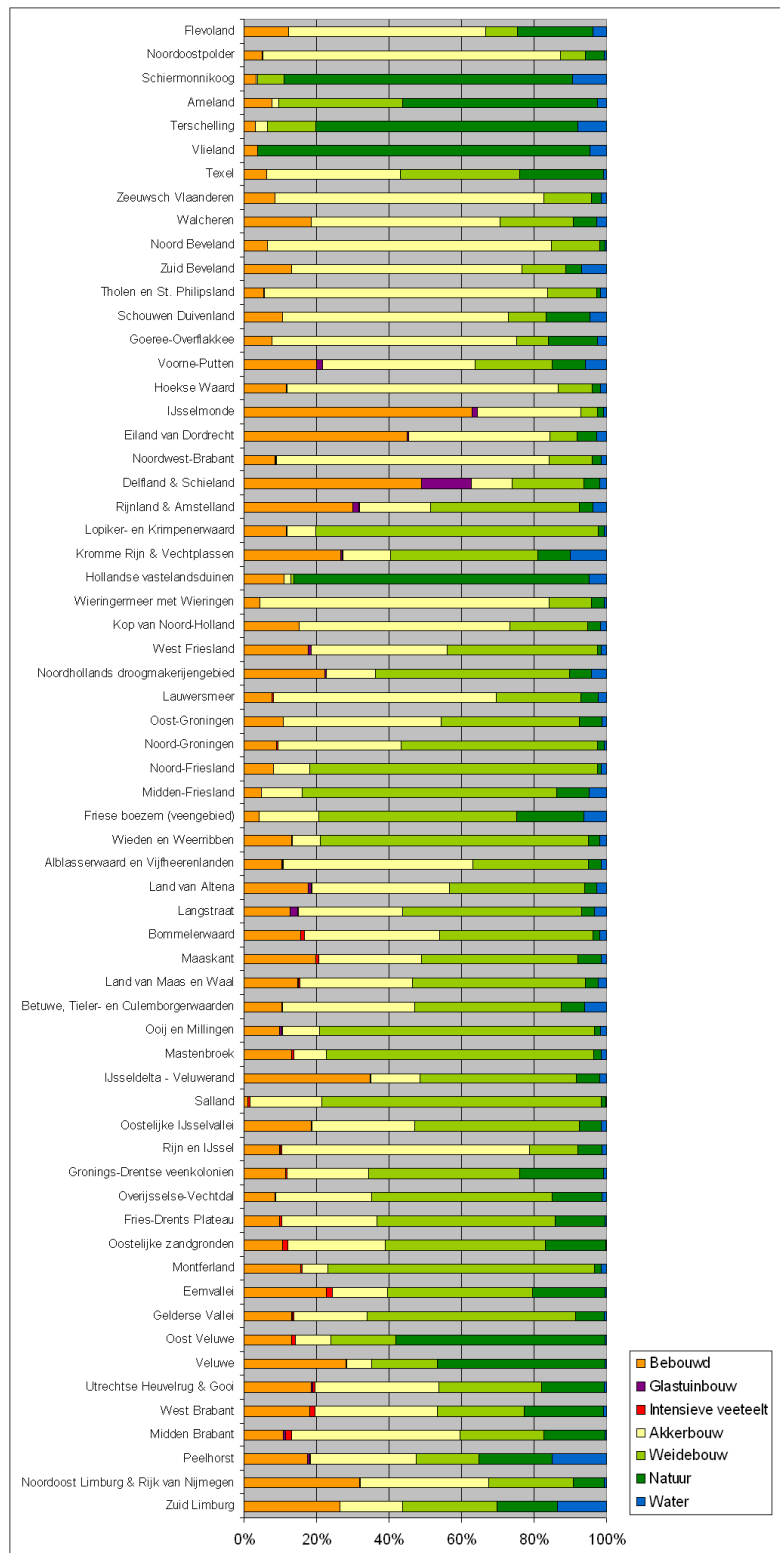
Voor de rivierafvoeren geldt dat de frequentie van optreden van 'afvoerhydrologische droogtejaren' niet altijd samenvalt met die van 'meteorologisch droge' jaren. In deze studie zijn – in afwijking van eerdere studies – wel dezelfde jaren gebruikt. Ze worden gekarakteriseerd naar het zogenaamde 'afvoertekort' van de Rijn (cf. de begrippenlijst van Van Beek *et al.*, 2008). Daar is sprake van als de afvoer (decadegemiddeld) onder een in internationaal verband afgesproken niveau komt (voor de Rijn 1800 m³/s).



Legenda

0 buitendijks gebied; buitendijks gebied	13 Fries-Drents Plateau	26 Langstraat	39 Wieringermeer met Wieringen	52 Tholen en St. Philipsland
01 Zuid Limburg	14 Overijsselse-Vechtdal	27 Land van Altena	40 Hollandse vastelandsduinen	53 Zuid Beveland
02 Noordoost Limburg & Rijk van Nijmegen	15 Gronings-Drentse veenkolonien	28 Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	41 Kromme Rijn & Vechtplassen	54 Noord Beveland
03 Peelhorst	16 Rijn en IJssel	29 Wieden en Weerribben	42 Lopiker- en Krimpenerwaard	55 Walcheren
04 Midden Brabant	17 Westelijke IJsselvallei	30 Friese boezem (veengebied)	43 Rijnland & Amstelland	56 Zeeuwisch Vlaanderen
05 West Brabant	18 Salland	31 Midden-Friesland	44 Delfland & Schieland	57 Texel
06 Utrechtse Heuvelrug & Gooi	19 IJsseldelta - Veluwerand	32 Noord-Friesland	45 Noordwest-Brabant	58 Vlieland
07 Veluwe	20 Mastenbroek	33 Noord-Groningen	46 Eiland van Dordrecht	59 Terschelling
08 Oost Veluwe	21 Ooij en Millingen	34 Oost-Groningen	47 IJsselmonde	60 Ameland
09 Gelderse Vallei	22 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	35 Lauwersmeer	48 Hoekse Waard	61 Schiermonnikoog
10 Eemvallei	23 Land van Maas en Waal	36 Noordhollands droogmakerijgebied	49 Voorne-Putten	62 Noordoostpolder
11 Montferland	24 Maaskant	37 West Friesland	50 Goeree-Overflakkee	63 Flevoland
12 Oostelijke zandgronden	25 Bommerlerwaard	38 Kop van Noord-Holland	51 Schouwen Duiveland	

Figuur 2.15 Indeling in waterhuishoudkundige districten, omgrensd en met kleurnuances onderscheiden binnen de waterhuishoudkundige regio's (kleurgroepen)



Figuur 2.16 Landgebruik in de onderscheiden waterhuishoudkundige districten, in de huidige situatie. Er zijn gebieden met veel natuur (Waddeneilanden), duidelijke akkerbouwgebieden (Flevoland, Zeeuwse eilanden), en opvallende weidebouwgebieden (Friesland); ook is de glastuinbouw duidelijk geconcentreerd.

3 Resultaten vraaganalyse

3.1 Analyse van de watervraag, nu en in de toekomst

Watervragers kunnen op veel manieren worden gecategoriseerd. Zo is er onderscheid tussen gebiedsgebonden vragers (grote arealen) en netwerkgebonden vragers (innamepunten aan rivieren en kanalen/vaarten). Bij de gebiedsgebonden vraag wordt wel onderscheid gemaakt naar gebiedstype – stedelijk, landelijk, natuur –, maar andere veel gebruikte categorisering zijn die naar sector – consumenten, industrie, landbouw – of naar aard van de vraag:

- 1 condities op land (grondwaterpeil, waterkwaliteit),
- 2 extractievragen,
- 3 tijdelijk gebruik en teruglozen (koelwater),
- 4 condities te water (vaardiepte scheepvaart),
- 5 indirecte vraag (kwaliteit leefomgeving voor wonen, recreatie etc.).

Eén beste indeling van watervragers is dan ook niet te geven. Afhankelijk van het doel kan een indeling worden gekozen. In dit hoofdstuk bespreken we de watervraag naar gebruiksfunctie/ sector, waarbij we de volgende indeling aanhouden:

- Stedelijke functies
- Infrastructuur
- Landbouw
- Terrestrische natuur en natuur van kleine wateren
- Aquatische natuur van grote wateren (incl. visserij en recreatie)
- (Drink)waterwinning
- Industriewatervoorziening
- Koelwater voor industrie en energieproductie
- Scheepvaart
- Recreatie

We bespreken steeds:

- De aard en omvang van de vraag, en waar relevant de plaats van de vraag;
- De ontwikkeling van de vraag in de toekomst;
- De afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem.

3.2 Stedelijke functies

3.2.1 Aard watervraag

Zeer veel functies in het stedelijk gebied zijn afhankelijk van voldoende water van voldoende kwaliteit, en dus gevoelig voor droogte. Dat betekent ook dat er veel belanghebbenden zijn bij voldoende, goed water. Veel partijen lopen schade op als onvoldoende water beschikbaar is.

De watervraag in het stedelijk gebied wordt vooral bepaald door het *peilbeheer* dat wordt gevoerd om te voorkomen dat gebouwen, wegen, dijken, rioleringen, overige leidingen, etc. verzakken.

Op de tweede plaats is water nodig voor de *doorspoeling* van watergangen, om de kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater te borgen. Tenslotte zijn er de stedelijke flora en fauna die van water moeten worden voorzien. Peilbeheer en doorspoeling zijn daarvoor beide van belang.

Wat de vraag is van bovengenoemde functies en via welke routes water wordt aangevoerd, verschilt per stad. Elke stad heeft een watersysteem met specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten. We maken hier alleen een onderscheid naar steden in Laag-Nederland (op klei en veen) en steden in Hoog-Nederland (op de zandgronden). Met dit onderscheid hangen de belangrijkste verschillen samen. In de eerste categorie steden wordt het peil beheerst en vindt doorspoeling plaats. In de tweede categorie is door de afwezigheid van een aaneengesloten netwerk van watergangen het peil meestal niet gebiedsdekkend beheerst en kan niet worden doorgespoeld.

Bodemdaling komt in Laag-Nederland veel voor als gevolg van zetting en krimp¹ van klei- en veenlagen, of veenoxidatie. Dit treedt onder meer op als gevolg van lage grondwaterstanden. De processen zijn irreversibel. In Hoog-Nederland is bodemdaling een zeer beperkt probleem door de meestal zandige ondergrond. Leemlagen kunnen nog wel ongelijke zettingen veroorzaken.

Bodemdaling kan grote bouwkundige schade aan woningen, gebouwen en infrastructuur opleveren. Huisaansluitingen breken af en rioleringbuizen en andere leidingen en kabels breken en moeten worden vervangen. Tevens zijn de kosten voor het (opnieuw) ophogen van gedaald stedelijk gebied zeer hoog. Behalve wegen, pleinen en parken moeten ook particuliere tuinen, opritten en parkeerplaatsen worden opgehoogd. Door de daling van het maaiveld moet ook de waterhuishouding worden aangepast.

Bodemdaling kan worden beperkt door hoge grondwaterstanden te handhaven. Om lage grondwaterstanden te voorkomen moet het peil van het oppervlaktewater worden gehandhaafd en soms ook water worden geïnfiltreerd in de bodem.

Het grondwaterpeil in de stad wordt beïnvloed door vele factoren. Neerslag, verdamping, kwel, infiltratie, vegetatie, ondergrondse constructies, drainage, (lekkende) rioolbuizen e.d. hebben allen tot gevolg dat het grondwaterpeil in de stad een grillig verloop heeft en lokaal sterk kan variëren. Een belangrijke regulerende factor is evenwel het peil in het oppervlaktewater. Peilvariatie in het oppervlaktewater werkt door op de grondwaterstand via:

- directe doorwerking, zijwaarts vanuit het oppervlaktewater naar het freatisch watervoerende pakket.
- een dieper gelegen watervoerend pakket, en vervolgens opwaarts naar de deklaag waarin zich de freatische grondwaterstand bevindt.

Het *oppervlaktewaterpeil* is ook belangrijk voor drijvende woningen en woonboten ter voorkoming van schade aan de toegangsconstructie en aan de huisaansluiting. Ook natuurvriendelijke oevers ondervinden dan schade door verdroging, evenals recreatiestranden. Beschoeiingen en kades kunnen beschadigd raken door een te laag waterpeil. En drainage kan (sneller) verstopt raken doordat buizen die normaal met water gevuld zijn nu droog vallen, waardoor ijzerhydroxide zich afzet. Meer onderhoud is dan nodig.

Voorals in Laag-Nederland is in vooroorlogse wijken gebruik gemaakt van *houten paalfunderingen*. Door het dalen van de grondwaterstand kunnen de palen deels droog komen te staan. Op dat moment worden de palen door oxydatie en mogelijk schimmels aangetast. Bij herhaalde droogstand kunnen de palen dusdanig worden aangetast dat de fundering vervangen moet worden. Dit probleem kan

1. *Zetting en krimp zijn twee verschillende processen die beide tot volumevermindering en zakking leiden. Waar zetting wordt veroorzaakt door samendrukking van klei- of veenlagen in de bodem, is uitdroging de belangrijkste oorzaak voor krimp.*

ondermeer beperkt worden door het vasthouden van water in het gebied en het handhaven van een hoog grondwaterpeil.

Het aantal woningen in Nederland dat tussen 1900 en 1945 is gebouwd, lag in 2006 op circa 830.000 (Luijendijk, 2006). Naar schatting hebben momenteel circa 140.000 woningen last van funderingsproblemen door een te laag grondwaterpeil (KMPG/ Grontmij, 2001). Naar schatting is een derde van de historische gebouwen in Nederland kwetsbaar voor droogte (Deltares, oktober 2010).

Schade aan funderingen en gebouwen, maar ook preventieve maatregelen, zorgen voor een aanzienlijke kostenpost voor huiseigenaren (herstelkosten van funderingen bedragen veelal meer dan € 40.000, ruwweg 10 tot 30% van de totale waarde van het pand) (Deltares, oktober 2010).

Op dit moment wordt openbaar groen in stedelijk gebied zelden geïrrigeerd, terwijl particulieren dit in de tuin al wel regelmatig doen. Als door klimaatverandering de potentiële verdamping toeneemt, is te verwachten dat de irrigatie van openbaar groen en tuinen verder zal toenemen. Particulieren gebruiken nu nog veelal drinkwater voor dit doel, maar dit lijkt een weinig duurzame oplossing, zeker als grotere volumina nodig zijn. Bovendien is de kwaliteit van het lokaal aanwezige oppervlakte- en grondwater in veel gevallen voldoende om te worden gebruikt voor irrigatie.

Sportparken en andere grootschalige groenvoorzieningen worden nu al vaak berekend uit lokaal oppervlaktewater of grondwater. De omvang en de schaal van deze inrichtingen zal toenemen. Stedelijk oppervlaktewater en grondwater wordt soms ook gebruikt als bron van bluswater; natuurlijk mag die bron niet droogvallen.

De *waterkwaliteit* in stedelijk gebied is soms beter dan in het omliggende landelijk gebied. Mede daarom kennen stedelijke oppervlaktewatersystemen vaak gesloten circulatie met een eigen seizoensberging; alleen bij extreme droogte ontstaat een watertekort en moet water worden ingelaten.

De kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater is medebepalend voor de bruikbaarheid van dat water voor recreatie (vissen, varen, zwemmen), voor watervoorziening (irrigatie, spoelwater, bluswater) en voor de kwaliteit van ecosystemen (vissen, macrofyten, algen, kroos) en dus ook voor de landschappelijke kwaliteit en leidt – in het ergste geval – tot stank.

Indien de kwaliteit van het aangevoerde water hoog genoeg is kan volstaan worden met aanvulling van het watertekort in de stad. Als de kwaliteit van het stedelijk water echter onvoldoende is en hinder oplevert ontstaat een doorspoelbehoefte. Juist in droge, warme perioden zien we de noodzaak tot wateraanvoer en doorspoelen ontstaan, omdat de wateren in de stad vrijwel altijd eutroof zijn en dus snel geplaagd worden door algenbloei en kroos.

Met doorspoeling wordt ook *verzilting* bestreden. Verzilting speelt vooral in Zeeland, in kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland. Behalve voor de aquatische ecosystemen is verziltingsbestrijding belangrijk met het oog op:

- aantasting van beton en wapening gevolgd door scheurvorming in de fundering van bebouwing;
- aantasting van beton en staal in kerende wanden.

Een bijzonder probleem vormt *hitte* in de stad. Door het hitte-eilandeffect (*urban heat island*) worden steden aanzienlijk warmer dan hun omgeving. Dit komt deels door een gebrek aan verdamping – en dus aan water.

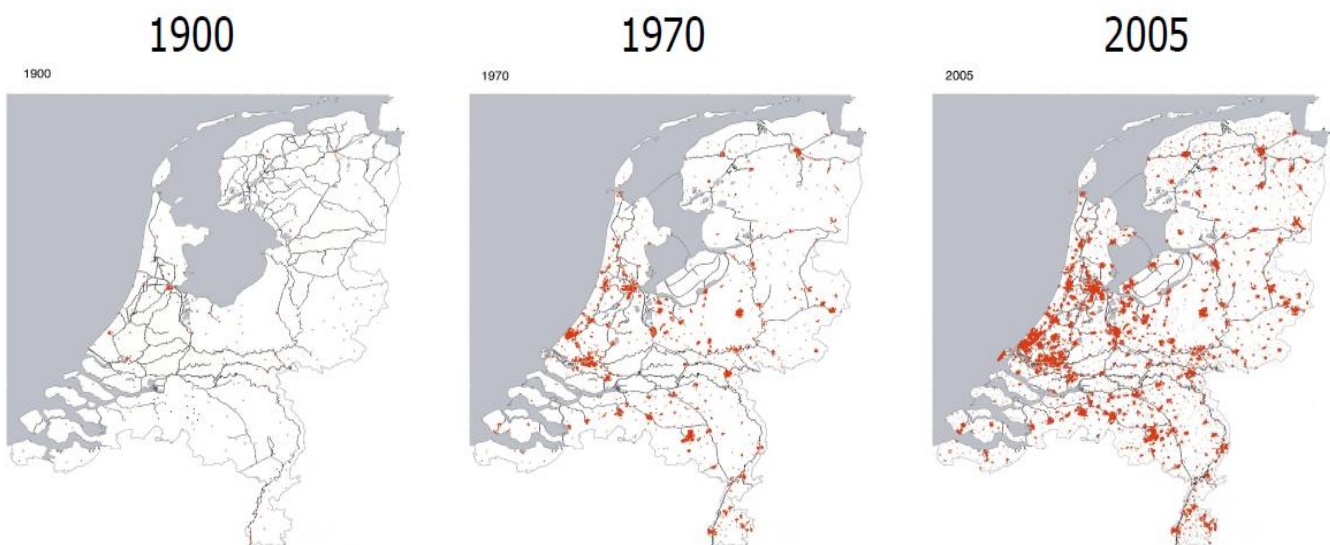
3.2.2 Omvang watervraag

Het is bijzonder moeilijk de watervraag van stedelijk gebied te kwantificeren. Wel kan een globale raming worden opgesteld voor de watervraag die met verdamping is gemoeid. De watervraag voor doorspoeling is hierin niet verdisconteerd.

De verdamping in steden blijkt uit metingen circa 320 mm te bedragen in een gemiddeld meteorologisch jaar. Dit is minder dan in het landelijk gebied (ca. 500 mm/jaar). Op basis van het oppervlak aan stedelijk gebied in Nederland (16%), waarvan naar schatting 45% bestaat uit water en groenvoorziening, kan een schatting worden verkregen. Als de verdamping van de vegetatie gelijk wordt gesteld aan die in het landelijk gebied² bedraagt de totale watervraag voor verdamping in de stad circa 1,5 km³ in een gemiddeld meteorologisch jaar.

3.2.3 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Demografische en sociaal-economische ontwikkelingen zullen naar verwachting grote invloed hebben op hoe wij wonen en werken. De bevolkingsomvang neemt mogelijk nog toe (door immigratie), stabiliseert of kent lichte krimp. De groei van het aantal kleinere huishoudens blijft doorgaan en bij verdere economische groei en doorzetten van vergrijzing ontstaat een toenemende behoefte aan ruimer wonen en recreatiemogelijkheden. Verstedelijking en druk op ruimte en water nemen hierdoor in ieder geval verder toe, vooral in de Randstad (Min. V&W, VROM en LNV, 22 december 2009).



Figuur 3.1 Verstedelijking in de afgelopen eeuw

3.2.4 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Stedelijk gebied wordt zelden als afzonderlijke watervrager geïdentificeerd, behalve in het geval van enkele grote steden (Amsterdam, Rotterdam). Meestal wordt meegelift met het regionaal waterbeheer en wordt de vraag verdisconteerd in regionale watervragen voor doorspoeling en peilbeheer. Gezien de

2. De potentiële verdamping van stedelijk groen is in werkelijkheid meestal hoger door de hogere temperatuur en lagere luchtvochtigheid in de bebouwde omgeving.

grote belangen kan wel van een grote afhankelijkheid van dit waterbeheer worden gesproken, met name in Laag-Nederland.

3.3 Infrastructuur

Onder infrastructuur vallen 'natte', droge en ondergrondse infrastructuur. Onder de natte infrastructuur worden hier dijken en andere waterkeringen en waterkerende kunstwerken verstaan. Die kunnen instabiel worden door tijdelijke droogte (veenkade bij Wilnis) of plotselinge peildalingen in het oppervlaktewater, of ze kunnen langzaam verzakken bij bodemdaling door grondwaterstands daling. Voorbeelden van droge infrastructuur zijn wegen en spoorwegen. En onder ondergrondse infrastructuur vallen rioleringen, kabels (elektra, data) en leidingen (water, gas, olie).

De droge en de ondergrondse infrastructuur is erg gevoelig voor ongelijkmatige zettingen/zakkingen, en in geval van paalfunderingen voor (langdurige) veranderingen in de grondwaterstanden. Zettingen worden in belangrijke mate bepaald door (tijdelijke en/of langdurige) verlaging van de grondwaterstanden. Mogelijke effecten zijn:

- scheurvorming en onvlakheid in (spoor)wegen;
- drempelvorming bij overgangen tussen verschillend gefundeerde constructiedelen in (spoor)wegen;
- beschadiging van de ondergrondse infrastructuur;
- paalrot bij houten funderingen.

Daling van het oppervlaktewaterpeil kan leiden tot stabiliteitsverlies van waterkeringen (dijken en langsconstructies) en objecten (waterkerende kunstwerken). Voor een uitgebreid overzicht van mogelijke effecten wordt verwezen naar Deltares (2009).

Waar grondwaterstanden dalen of het peil van oppervlaktewater niet kan worden gehandhaafd is een verhoogd risico op problemen. Hiervoor wordt verwezen naar respectievelijk paragrafen 4.3 en 5.3.3.

3.4 Landbouw

3.4.1 Aard en omvang watervraag

De landbouw in Nederland is veruit de grootste grondgebruiker van het land, met circa 70% van het totaalareaal. De verdeling van gewassen (in procenten) binnen het landbouwareaal per waterbeheerdistrict is weergegeven in Figuur 3.2. Daaruit blijkt dat de landbouw ook een zeer diverse grondgebruiker is.

Feitelijk mag dan ook niet worden gesproken van *de* landbouw. Enerzijds is er extensieve weidebouw aan het ene eind van het spectrum, anderzijds is er de teelt van groenten, fruit of bloemen in kassen aan het andere eind van het spectrum. De kassenteelt heeft tegenwoordig nauwelijks nog een relatie met de ondergrond en heeft vaak een gesloten watersysteem.

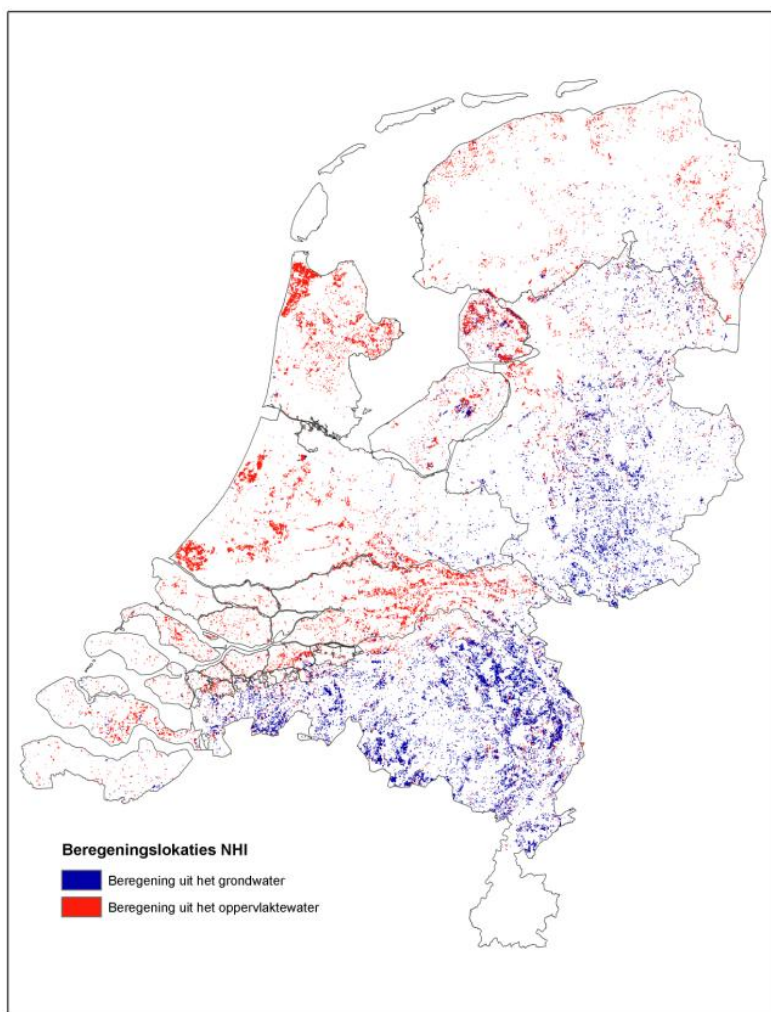


Figuur 3.2 Verdeling van gewassen binnen het landbouwareaal van de waterbeheerdistricten, zoals gebruikt voor de berekening van landbouwschades (naar LGN3).

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

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

Om aan de watervraag van landbouwgewassen te voldoen wordt soms beregend. We zien in Figuur 3.3 dat op de hoge zandgronden zeer veel beregening uit het grondwater kan plaatsvinden, vooral in Brabant en Noord-Limburg: daar zijn veel installaties. Verder zien we veel installaties voor beregening uit het oppervlaktewater in de Bollenstreek (Zuid-Holland en de Kop van Noord-Holland), in fruitteeltgebieden (Noordoostpolder en rivierengebied) en in glastuinbouw- en vollegrondstuinbouwgebied.



Figuur 3.3 Plekken waar bestaande beregeningsinstallaties de irrigatie van landbouwgewassen uit grondwater respectievelijk oppervlaktewater mogelijk maakt

3.4.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Het is moeilijk te voorspellen hoe de arealen van de verschillende teelten zich zullen ontwikkelen. Veel scenariostudies wijzen op een verdere intensivering van de landbouw in Nederland, met meer kassen, meer tuinbouw, meer bollen, en meer sierteelt. In het algemeen geldt dat de ontwikkeling van de internationale markt (zowel vraag als aanbod van elders) en het EU- en rijkslandbouwbeleid doorslaggevend zijn voor de autonome ontwikkeling van de landbouw. Voor deze knelpuntenanalyse gaan we uit van de landgebruikprojecties die zijn gemaakt op basis van de WLO-scenariostudie ten behoeve van het Deltamodel (Bruggeman et al., 2011).

Door vergelijking van de landgebruikprojecties voor 2050 met die van het huidig landgebruik is vastgesteld hoe het landbouwareaal zich ontwikkelt. In zowel GE als RC neemt het totale landbouwareaal af, vooral de akkerbouw en grondgebonden veeteelt. Die afname is het opvallendst in de gebieden die verstedelijken, terwijl de meer perifere gebieden van Noord- (Friesland, Groningen) en Zuid-Nederland (Limburg, Zeeland) nauwelijks veranderingen laten zien. Tevens vindt er een verschuiving plaats naar meer kassen en meer intensieve volgrondsteelten (fruit, bollen, e.d.).

3.4.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

De landbouw is een grootgebruiker van water. Per ha verdampt een landbouwgewas in de open lucht in een gemiddeld jaar ongeveer 5000 m³ (equivalent met 500 mm). Met ruim 2 miljoen ha landbouwgrond is dit een watervraag van meer dan 10 miljard m³ per jaar.

Gewasverdamping is de basis van de groei van gewassen. Het water daarvoor kan via beregening worden toegediend, maar het grootste deel wordt door de bodem geleverd, deels vanuit hangwater, deels door capillaire opstijging vanuit het grondwater. Voor beide zijn de bodemfysische eigenschappen van de grond heel belangrijk, maar voor het laatste geldt natuurlijk dat het beheer van het grondwaterpeil een sleutelfactor is, maar ook infiltratie van water via 'omgekeerde drainage' kan een bijdrage leveren.

Beregening kan als een *extractie*-vraag worden beschouwd. Het vraagt oppervlakte- of grondwater van voldoende kwaliteit. Die 'eis' heeft de landbouw gemeen met andere 'kwaliteitsvragers'. Een belangrijke factor is het zoutgehalte van het te gebruiken beregeningswater.

Omgekeerde drainage en een hoog grondwaterpeil vragen vooral om handhaving en/of opzet van slootpeilen. Die vraag wordt dan ook gedeeld met andere 'peilvragers'. Bij peilbeheer – van zowel grond- als oppervlaktewater – is relevant dat het beoogt droogteschade te voorkomen, maar zonder natschade te veroorzaken.

3.5 Terrestrische natuur en natuur in kleine wateren

Bij natuur maken we onderscheid tussen natuur op land en in wateren in het binnendijkse landelijk gebied, en natuur in en langs de grote wateren. Natuur is daarbij niet beperkt tot natuurgebieden die door het beleid als zodanig zijn aangewezen. Natuur kan ook buiten natuurgebieden voorkomen, soms op onverwachte plekken.

Hier gaat het eerst over de "landnatuur", dat wil zeggen terrestrische natuur en aquatische natuur in regionale wateren. Veel van deze natuur is natuur van natte standplaatsen.

Deze is kenmerkend voor Nederland met zijn overwegend hoge grondwaterstanden en vele open water. Typisch Nederlandse ecosystemen zijn plassen, meren, vennen, sloten, beken, laagvenen, hoogvenen, natte graslanden, natte duinvalleien en natte/vochtige bossen.

Veel natuur is verdwenen als gevolg van ontginning. Na 1950 is de kwaliteit van de resterende natuur sterk onder druk komen te staan door hoge stikstof- en fosfaatbelasting als gevolg van intensivering in de landbouw (veeteelt) en ontwatering ten behoeve van een grotere landbouwproductie (akkerbouw, grasland). Na 1950 zijn ook grondwateronttrekkingen en het areaal bebouwd gebied toegenomen, wat heeft geleid tot verdere verdroging (www.verdroging.nl). Het resultaat is dat het areaal aan zeldzame, soortenrijke natuur is afgenomen, zowel buiten als in natuurgebieden (afname biodiversiteit).

Om de natuur beter te beschermen tegen vermessing, verdroging en versnippering is in 1990 een nationaal natuurbeleidsplan opgesteld met daarin het voornemen om uiterlijk 2018 een ecologische hoofdstructuur (EHS) gereed te hebben (LNV, 1990). De EHS heeft als doel huidige natuurgebieden te vergroten en te verbinden zodat natuur meer robuust wordt tegen negatieve invloeden van de mens (inclusief klimaatverandering). Behalve areaalvergroting (totaal beoogd oppervlak is 750.000 ha) is het ook de bedoeling om de milieukwaliteit voor natuur binnen die EHS te verbeteren.

Om de invulling van de EHS concreet te maken is een systeem van natuurdoeltypen ontwikkeld (Bal et al., 2001), gevolgd door een specificatie van de daarvoor vereiste milieuocondities (Runhaar & Witte, 2006). Voor 'watercondities' spreekt men vaak over Gewenst of Optimaal Grond- en Oppervlaktewater

Regime (GGOR of OGOR). Natuur kan zo worden beschouwd als een soort ingewikkeld gewas, met bijbehorende (zeer) hoge kwaliteitseisen.

Vanuit het rijk zijn in Nederland natuurgebieden aangewezen als Nationaal Landschap (landschapskwaliteit), TOPgebied (verdrogingsbestrijding) en/of als onderdeel van de EHS (natuurbehoud & ontwikkeling). Daarnaast zijn sommige gebieden beschermd door internationaal beleid (Ramsar: wetlands, Natura 2000: EU natuurbeleid); deze gebieden vallen volledig binnen de EHS. De bescherming van Natura2000 gebieden verdient daarbij extra aandacht omdat de EU dit ziet als een resultaatsverplichting. De vereiste watercondities zijn daarbij aangeduid als watergerelateerde instandhoudingsdoelstellingen.

Klimaatverandering heeft consequenties voor de waterhuishouding en daarmee voor daarvan afhankelijke ecosystemen. De kwetsbaarheid verschilt per type ecosysteem. Vooral kwetsbaar zijn de natte, voedselarme, zwak zure tot basische ecosysteemttypen (blauwgrasland, kalkmoerassen, veenecosystemen) omdat de invloed van schoon, basenrijk (grond)water sterk is afgenomen door verdroging (te lage grondwaterstanden en te geringe kwelflux, te veel sulfatrijk systeemvreemd water). Voor kleine oppervlaktewateren is de waterkwaliteit een belangrijke factor. Voor klimaatverandering zijn volgens Vos et al. (2006) veel natte natuurtypen kwetsbaar:

- natte heide en hoogvenen, inclusief vennen;
- natte schraalgraslanden;
- beken en beekdalbossen;
- moerassen;
- duinen en kwelders.

3.5.1 Aard en omvang watervraag

Natuur heeft water nodig om ten eerste de gewenste standplaatsomstandigheden te handhaven of te realiseren (gewenst of optimaal grond- en oppervlaktewaterregime of in het geval van Natura 2000 watergerelateerde instandhoudingsdoelstellingen). Voor oppervlaktewateren is water nodig voor het handhaven van de waterpeilen in peilbeheerste gebieden (bijv. veenweidegebieden) en gebieden die vanuit het hoofdwatersysteem kunnen worden voorzien. Ten derde is water voor doorspoeling nodig om de waterkwaliteit geschikt te houden voor aquatische natuurtypen.

Het is niet eenvoudig om de watervraag voor natuur in kwantitatieve te bepalen. Dat heeft een aantal redenen:

- Natuurbeheerders en waterschappen sturen veelal op condities (peilen, waterkwaliteit) en niet op debieten. Er bestaan waterakkoorden voor debieten, maar die kunnen dus niet specifiek worden gekoppeld aan natuur.
- In Laag- Nederland vraagt natte natuur om water voor het handhaven van waterpeilen en om door te spoelen (bijvoorbeeld IJsselmeerboezem, verzilting in West Nederland). De rol van waterkwaliteit is daarbij complex en niet altijd eenduidig. Op korte termijn kan doorspoeling een gewenste waterkwaliteitsverbetering opleveren, maar inlaat van sulfatrijk rijkswater kan – met name in veengebieden – op de lange termijn juist tot ongewenste indirecte eutrofiëring leiden. Grootschalige inlaat van systeemvreemd water leidt ook tot nivellering van verschillen in waterkwaliteit. In veengebieden speelt daarom het dilemma: verdrogen of vervuilen? Ook in andere gebieden (bijvoorbeeld voedselarme natuur in beekdalen) worstelen natuurbeheerders met een dergelijk dilemma: er is wel behoefte aan gebufferd overstromingswater, maar niet aan 'vies landbouwwater'.
- In grote delen van Hoog- Nederland is er wel een watervraag, maar geen binding met het hoofdwatersysteem. Voor die natte natuurgebieden is het beheer gericht op waterconservering (vasthouden van schoon water, natte bufferzones, peilopzet, versterken kwel).

- Daarnaast zijn er beperkingen in het op landelijke schaal kunnen simuleren van de watervraag (het modelleerproces). Er is weliswaar veel bekend over de gewenste hydrologische randvoorwaarden per natuurtype, maar het ontbreekt aan een landelijk beeld van het voorkomen van die natuurtypen. Er wordt door de provincies gewerkt aan een beheertypenkaart en ambitiekaart, maar ten tijde van deze knelpuntenanalyse was deze kaart nog niet landsdekkend beschikbaar.

Als men dus aan een natuurbeheerder of waterbeheerder vraagt: 'Wat is de watervraag voor natuur?' dan blijft men het antwoord meestal schuldig. In veel gevallen is natuur zo verweven met andere functies dat het beter is om de watervraag gebiedsgericht en niet functiegericht te bepalen.

Uitgaande van het areaal EHS (momenteel ruim 613000 ha) wordt door natuurgebied tussen de 2,6 en 3,4 km³ water gevraagd voor 'normale groei'. Dat is 13- 17% van de jaarlijkse verdamping in Nederland (Tabel 2.1). De bandbreedte in de schatting komt doordat droge heide en naaldbos op de Veluwe juist niet teveel water willen, want dan gaat er iets heel anders groeien dan Struikhei of Grove den.

3.5.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

De ontwikkelingen van de watervraag in de toekomst zijn afhankelijk van hoe het natuur- en waterbeleid zich verder ontwikkelt, c.q. anticipeert op autonome ontwikkelingen zoals klimaatverandering. Het realiseren van de vereiste arealen en milieudoelstellingen loopt al geruime tijd achter op de planning. Bovendien is het bestaande natuurbeleid, zoals dat sinds 1990 in uitvoering is, is recentelijk ter discussie komen te staan.

In de landgebruikscenario's voor deze knelpuntenanalyse wordt ervan uitgegaan dat de EHS wordt gerealiseerd, omdat het precieze moment van realisatie daarvoor niet van belang is (Figuur 2.9).

3.5.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Voor binnendijkse natuur geldt dat deze op theoretische gronden niet afhankelijk zou moeten zijn van water uit het hoofdwatersysteem, maar aangepast aan de 'natuurlijke standplaatsomstandigheden'. In de praktijk hebben we echter te maken met hooggewaardeerde natuur die op veel plaatsen juist is aangepast aan volledig door de mens beheerste standplaatsomstandigheden: peil, waterkwaliteit, e.d. Een conserverend beleid van deze natuursnippen in een matrix van landbouw- en stedelijk gebied vraagt in de praktijk dan ook om vaak handhaving van die condities. En dus om doorspoeling en peilbeheer.

Belangrijker is echter dat ieder natuurtype eigen eisen stelt aan de waterkwaliteit. Hoogveen wil wel veel water, maar het moet *absoluut* regenwater zijn (zelfs drinkwater is al te 'hard'). Planten in beekdalen willen regen- of kwelwater, maar zeker geen 'kanaalwater', etc.

Water uit het hoofdwatersysteem is dan ook slechts bruikbaar om een beperkt deel van de EHS van water te voorzien. En steeds moet de afweging worden gemaakt tussen laten verdrogen of kwaliteitsverlies accepteren (Fiselier et al., 1992).

3.6 Natuur in en langs de grote wateren en ruimtelijke kwaliteit (en daarvan afhankelijke gebruikers van oppervlaktewateren)

3.6.1 Aard en omvang watervraag

We hebben het hier over de natuur in en langs de grote rivieren, het zoete estuariumgebied en het IJsselmeergebied. Het voorkomen van bepaalde natuurtypen wordt hier voornamelijk bepaald door de waterdiepte, het zoutgehalte, de stroomsnelheid, de dynamiek (wel of geen getijde), de waterkwaliteit, grondwaterstanden en het terreinbeheer.

In het kader van de KRW is de huidige status van het *Haringvliet* voor de vissen, het fytoplankton en de macrofauna in het overgangswater van het Haringvliet als goed beoordeeld. In dit type water (zoet getijdewater) scoren zowel de planten als de vissen en de macrofauna in de huidige situatie matig.

In het *IJsselmeergebied* is de waterstand doorslaggevend, maar ook de fluctuatie van het peil en de timing hiervan.

3.6.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Verwachte veranderingen zoals extremere rivierafvoeren en een stijgende zeespiegel zijn voornamelijk van invloed op de waterdiepte, het zouthalte, de stroomsnelheid en de dynamiek. Hierdoor kunnen bepaalde waardevolle ecosystemen en soorten mogelijk verdwijnen, zich vestigen of zich verplaatsen. Bij een toename van extreme seizoenssituaties (drogere zomers en nattere winters) zal het buitendijkse gebied steeds kleinere permanent overstroomde en nooit overstroomde zones krijgen. Met een stijgende zeespiegel is de verwachting dat nu nog droogvallende gebieden in het Haringvliet permanent onder water komen te staan. Eenzelfde trend is te verwachten in het Hollands Diep en de Biesbosch.

De lokstroom bij de waterkering in het Haringvliet zal door de verwachte klimaatverandering in de zomer wellicht langduriger afgesloten worden, waardoor de vismigratie stopt. Voor een gezonde vispopulatie is het van belang dat vissen kunnen migreren van en naar zee. Dit is echter op veel plaatsen beperkt door keringen en sluizen. Dit heeft een negatieve invloed op de visstand. Daarnaast kan toenemende zoutintrusie zorgen voor een afname van zoetwatersoorten, en juist voor een toename van meer zoutminnende soorten.

In het IJsselmeergebied worden autonome ontwikkelingen verwacht van veranderend peilregime, en mogelijk ook een ander peilbeheer. Peilopzet kan de oevernatuur in het gebied doen verdrinken. Peiluitzakken in de zomer kan er juist voor zorgen dat oeverzones zich beter kunnen ontwikkelen en kan een gunstig effect hebben.

3.6.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Voor buitendijkse aquatische natuur zijn veranderingen in de waterhuishouding van belang omdat ze effect hebben op het zoutgehalte en de overstromingsfrequentie, zoals hierboven genoemd. De watervraag van aquatische natuur en natuur in buitendijkse gebieden spitst zich daarom dus niet zozeer toe op een hoeveelheid water, maar meer op zaken als timing van overstromingen, rivierdynamiek, peildynamiek en waterkwaliteit.

De juiste condities en een voldoende omvang van de natuurgebieden zijn daarom bepalender voor het bereiken van natuurdoelstellingen dan waterhoeveelheden.

3.7 (Drink)waterwinning

3.7.1 Aard en omvang watervraag

Gemiddeld wordt per persoon per dag 128 liter drinkwater gebruikt. De belangrijkste toepassingen van drinkwater in een huishouden zijn de douche, het toilet en de wasmachine. Perioden van extreme hitte en/of langdurige droogte verhogen het huishoudelijk gebruik. Tijdens de hittegolven van augustus 2003 en juli 2006 zijn piekvragen tot 50% boven de gemiddelde vraag opgetreden.

Drinkwater in Nederland is van uitstekende kwaliteit. De drinkwatervoorziening wordt verzorgd door 10 verschillende drinkwaterbedrijven. Zij produceren en distribueren drinkwater. Totaal wordt in Nederland circa 1250 miljoen m³ per jaar drinkwater geproduceerd. Voor de productie van drinkwater wordt gebruik gemaakt van grondwater (55%), oppervlaktewater (40%), en oevergrondwater en natuurlijk duinwater (5%).

Vooraf in West-Nederland wordt oppervlaktewater en oevergrondwater gewonnen (zie Figuur 3.4). Dit water is afkomstig uit de Rijn, de Maas en het IJsselmeer. Behalve de 10 drinkwaterbedrijven zijn in Nederland de WatertransportMaatschappij Rijn- Kennemerland (WRK) en het Waterwinningsbedrijf Brabantse Biesbosch (WBB) actief. Deze twee bedrijven distribueren geen drinkwater, maar leveren gedeeltelijk gezuiverd water aan drinkwaterbedrijven en industrie.

Een meer gedetailleerd overzicht van de sector is gegeven in Tabel 3.1 (ontleend aan EIM, 2009 en aangepast door KWR). Er zijn vijf drinkwaterbedrijven die uitsluitend of voornamelijk grondwater gebruiken als grondstof voor de drinkwaterproductie. Het gaat om: Vitens; Brabant Water; Waterleiding Maatschappij Limburg, Waterbedrijf Groningen en Waterleidingmaatschappij Drenthe. Een aantal andere bedrijven gebruikt kleinere hoeveelheden grondwater (Waternet, Evides, PWN, Oasen).

Twee drinkwaterbedrijven maken gebruik van min of meer substantiële hoeveelheden oevergrondwater, te weten WML (locaties Roosteren en Heel) en Oasen (diverse locaties langs de Lek). Voor deze bronnen geldt dat er een bepaalde relatie bestaat met de kwaliteit van het oppervlaktewater in de nabijheid van de winningslocaties van het oevergrondwater. In zeer beperkte mate wordt ook gebruik gemaakt van natuurlijk duinwater (PWN, Waternet). Dit kan worden opgevat als een bijzondere vorm van grondwatergebruik.



Figuur 3.4 Innamelocaties en voorzieningsgebied van de oppervlaktewaterbedrijven in 2007. Uit het Twentekanaal bij Enschede wordt sinds 2008 geen oppervlaktewater meer onttrokken.

De bedrijven die vrijwel uitsluitend of voor een groot deel afhankelijk zijn van oppervlaktewater zijn Evides (samen met het Waterwinningsbedrijf Brabantse Biesbosch); PWN en Waternet (samen met Watertransport maatschappij Rijn-Kennemerland) en Dunea. Door Waterbedrijf Groningen wordt een kleine hoeveelheid oppervlaktewater onttrokken uit de Drentsche Aa. Het ingenomen water wordt ofwel geïnfiltreerd in de duinen (na voorzuivering), ofwel rechtstreeks gezuiverd tot drinkwater. De grote duinwaterbedrijven zijn Dunea, PWN en Waternet. Ook Evides heeft een kleine winning in het Haringvliet bij Scheelhoek ($6 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$) waarvan het water in de duinen wordt geïnfiltreerd.

Vooralsnog worden geen grote wijzigingen verwacht in de infrastructuur van de oppervlaktewaterwinningen. Zo hebben de DPW bedrijven (Dunea, PWN en Waternet) uitgesproken voor de toekomst uit te willen gaan van de bestaande infrastructuur, inclusief duïnfiltratie. Alleen de (kleine) winning van Evides in het Haringvliet wordt mogelijk naar het oosten verplaatst (ca. 20 km), afhankelijk van het besluit over een alternatief beheer van de Haringvlietsluizen.

Tabel 3.1 Waterwinning door drinkwaterbedrijven in Nederland (2007), in miljoenen kubieke meters per type onttrekking

Waterbedrijf	grondwater	oevergrondwater	Natuurlijk duinwater	oppervlaktewater	Totaal
Vitens	354				354
Evides (incl. waterwinnings-bedrijf Brabantse Biesbosch)	21			202 (a)	223
Brabant Water	182				182
Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK)				154 (b, c)	154
Waterleiding Maatschappij Limburg (WML)	54	20			74
Dunea				72	72
Waterbedrijf Groningen	41			7	48
Oasen	5	42			47
Waternet	25 (d)				37
PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland	5		1	24 (e)	31
Waterleiding Maatschappij Drenthe (WMD)	30				30

(a) waarvan 47 Mm³/jaar industriewater;

(b) waarvan 100 Mm³/jaar uit het Lekkanaal en 54 mm³/jaar uit het IJsselmeer (Andijk);

(c) hiervan is 35 Mm³/jaar industriewater (23 Mm³/jaar uit de Lek en 12 Mm³/jaar IJsselmeer);

(d) Winning Bethunepolder = grondwater (al wordt het water opgevangen in een bekken);

(e) direct verwerkt tot drinkwater (UV / H₂O₂ plant)

3.7.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Het drinkwaterverbruik in Nederland is al jaren vrij constant (ca. 128 liter per persoon per dag), hoewel het de laatste jaren lijkt af te nemen (tot 121 liter per persoon per dag) door besparingsmaatregelen op huishoudenniveau. Sedert 2000 is het watergebruik daardoor niet toegenomen, ondanks de bevolkingsgroei.

Maar de bevolking neemt nog flink toe in het GE scenario en iets af in RC. Op grond van die demografische ontwikkelingen en verwachtingen over de watervraag per persoon zijn door KWR prognoses gemaakt voor de drinkwatervraag per provincie (

Tabel 3.2).

In het NHI is – op basis van deze prognoses – aangenomen dat er in het GE scenario een extra onttrekking plaatsvindt van 30%. Voor het RC scenario is aangenomen dat er een vermindering van de onttrekking plaatsvindt van 15%.

Tabel 3.2 Grondwateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening per provincie (periode 2006-2008; in Mm³/jr) en verwachte vraag in 2050 voor twee sociaal-economische scenario's

Provincie	Huidig	GE	RC
Friesland	49.2	62.1	40.9
Groningen	40.1	50.6	33.4
Drenthe	32.5	41.0	27.0
Overijssel	73.5	92.9	61.3
Flevoland	29.9	40.3	25.3
Gelderland	127.4	172.0	107.8
Utrecht	72.3	92.6	60.2
Noord Brabant*	195.5	264.0	165.4
Limburg	56.3	71.1	46.9
Totaal	677	887	568

*) Incl. winningen Brabantse wal en omgeving Biesbosch

3.7.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Voor het produceren van goed drinkwater is een goede en betrouwbare bron essentieel. De drinkwatervoorziening stelt hoge eisen aan de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. Binnen grondwaterbeschermingszones gelden strengere normen voor het gebruik van bepaalde chemicaliën en bestrijdingsmiddelen. Voor oppervlaktewater zijn de bedrijven gebonden aan een minimaal vereiste oppervlaktewaterkwaliteit. Indien rivierwater van onvoldoende kwaliteit is, stoppen de drinkwaterbedrijven tijdelijk de waterinname. Voor de Rijn was het aantal innamestops in van 2006, 2007 en 2008 respectievelijk 0, 1 en 8. Voor de Maas waren er in 2006, 2007 en 2008 respectievelijk 31, 66 en 55 innamestops.

Drinkwaterbedrijven doen dan een beroep op strategische reserves, zoals het IJsselmeer, de Brabantse Biesbosch, de duinen in de kuststreek en diverse grondwaterbeschermingsgebieden. Voor de individuele bedrijven kunnen de reserves en terugvalopties als volgt worden omschreven:

WML: Het waterpeil van het bekken van Heel mag in verband met het tegengaan van verdroging van het naastgelegen natuurgebied Heelderpeel niet verder worden verlaagd dan NAP + 20,30 m. Door deze restrictie heeft het bekken een reservecapaciteit van 1 miljoen m³. Bij staking van de inname van Maaswater kan het bekken gedurende 2 weken (bij piekvraag) tot 3 weken (normale vraag) water leveren. Het strategisch plan van Waterproductiebedrijf Heel voorziet echter in reservecapaciteit met satellietstations (grondwater) waardoor de inname bij Heel gedurende zes maanden kan worden gestaakt.

Dunea: Wanneer de verdroging van de duinen wordt geaccepteerd, kan Dunea de inname over het algemeen twee tot drie weken stilleggen (afhankelijk van de vraag). Hierbij treedt een daling op in de infiltratiebekkens in de duinen van 10 cm per dag. Bij gelijkblijvende grondwateronttrekking worden dan de grondwaterstanden in de duinen verlaagd. Na drie weken zijn de grondwaterstanden dermate laag dat de capaciteit van de onttrekking terugloopt. Voor extreme noodgevallen kan dan nog worden

overgeschakeld op een secundair systeem van grondwaterputten in Den Haag dat ongeveer 3 liter per persoon per dag kan leveren, uitsluitend voor directe consumptie (niet voor sanitatie).

Evides: De capaciteit van de buffervoorraad in de Biesbosch bedraagt ca. 2 maanden en kan worden uitgebreid tot 3 maanden door het aanspreken van de "ijzeren reserve". Het voorraadbekken De Gijster (netto capaciteit: 32,5 Mm³) zal dan eerst worden aangesproken (waterschijf van 10 meter). De dijken van dit bekken zijn zodanig geconstrueerd dat dit straffeloos kan. Wanneer wordt uitgegaan van een warme-zomerafzet van 18 Mm³/maand (zoals in augustus 2003), is deze voorraad voldoende voor ca. 8 weken. Daarna zal de zogenaamde "ijzeren reserve" kunnen worden aangesproken. Er kan dan een waterschijf van 7 m uit het bekken Honderdendertig (oppervlak 230 ha) en van 5 m uit de Petrusplaat (oppervlak 105 ha) worden onttrokken. Deze twee procesbekkens kunnen 21,4 Mm³ leveren, wat overeenkomt met 6 weken bij gemiddelde afzet en 5 weken bij piekafzet.

Wanneer de inname bij Scheelhoek (Haringvliet) moet worden gestaakt zal Evides via de net gereed gekomen koppelleiding met de Berenplaat direct drinkwater leveren aan Goeree-Overflakkee. Via deze leiding kan 800 m³/uur drinkwater worden getransporteerd; voldoende om Goeree-Overflakkee van drinkwater te voorzien.

PWN heeft twee spaarbekkens bij het innamepunt in Andijk. Het waterpeil in deze bekkens mag niet meer dan 60 cm boven het IJsselmeerpeil komen in verband met de stabiliteit van de dijken. De buffer van Andijk is daardoor beperkt: 4-6 dagen reserve bij de huidige vraag. Ook de bekkens en infiltratiepanden in de duinen hebben weinig capaciteit, omdat bij onttrekking zonder infiltratie schade aan de natuur zal optreden. Als er door een calamiteit geen IJsselmeerwater kan worden ingenomen, kan nog een beroep worden gedaan op het waterwinstation Cornelis Biemond in Nieuwegein (ruwwaterbron: Lekkanaal) en de productiebedrijven van Waternet in Leiduin (ruwwaterbron: Lek) en Weesperkarspel (ruwwaterbron: Bethunepolder). De capaciteit van de leidingen is op deze situaties ingericht, maar als de calamiteit lang aanhoudt wordt de kans op falen groter (vanwege overbelasting).

Waternet beschikt over een strategische reservevoorraad van drie maanden in de duinen. Echter, wanneer deze voorraad wordt aangesproken zal het duingebied verdrogen. Een andere mogelijkheid is grondwater winnen in Nieuwegein, maar dat is duurder. Tenslotte kan ook een deel van het water uit 'WRK3' van Andijk als *back-up* dienen, maar dit water is ook nodig voor infiltratie ten behoeve van de productie in Bergen en Mensink.

Met deze opvangmogelijkheden houdt Waternet het bij de huidige vraag naar drinkwater een aantal weken vol.

Als Pompstation Weesperkarspel (winning Bethunepolder) uitvalt, zullen pompstation Leiduin (gevoed door het Lekkanaal) en de WRK3 leiding van Andijk dat op moeten vangen. De speelruimte van de waterleidingplas in de Bethunepolder zelf is beperkt. Het peil van de plas mag niet meer dan ca. 10 cm zakken, omdat anders het hydrologische systeem wordt verstoord.

Voor de *grondwaterbedrijven* geldt dat deze vaak kunnen kiezen uit een mix van diverse winningen om een bepaalde regio van water te voorzien. Overwegingen die daarbij een rol spelen zijn de kwaliteit van het ruwe water, de mate van verdroging die wordt veroorzaakt, ruimtelijke ontwikkelingen in het intrekgebied, etc. Het wegvallen van een pompstation kan dus meestal worden opgevangen door verhoging van de productie door andere stations die op dezelfde leiding zijn aangesloten (redundantie).

3.8 Industrierwatervoorziening

3.8.1 Aard en omvang watervraag

De industrie gebruikte in 2006 ruim 3700 miljoen m³ water per jaar. Het grootste deel daarvan betrof koelwater, hetgeen weer wordt geloosd. Het niet-koelwater gedeelte van het industriële gebruik betrof ca 470 miljoen m³ per jaar. Daarvan wordt 195 miljoen m³ door de industrie zelf onttrokken, waarvan 83 miljoen m³ uit grondwater, vaak voor hoogwaardig consumptief gebruik (bier, frisdrank), en 112 miljoen m³ uit oppervlaktewater (bijv. proceswater). Naast de eigen onttrekking gebruikte de industrie in 2006 214 miljoen m³ drinkwater via het leidingnet en 150 miljoen m³ laag- en hoogwaardig industriewater dat afzonderlijk door drinkwater- en industriewaterbedrijven wordt geleverd (EIM, 2009).

Hierbij geldt de aantekening dat de verbruikscijfers voor de industrie niet erg betrouwbaar zijn. Van oudsher werden dit soort cijfers verzameld door het CBS op grond van min of meer uitgebreide, vijfjaarlijkse enquêtes. Na 2001 is het CBS hiermee gestopt. Daardoor is een soort vacuüm ontstaan wat betreft de beschikbaarheid van deze informatie. Er is op dit moment geen centrale bron waar min of meer complete, consistente en betrouwbare informatie over het industriële watergebruik kan worden verkregen. De cijfers na 2001 berusten op bewerkingen en interpretaties van oudere cijfers.

Levering van al dan niet gezuiverd oppervlaktewater aan de industrie vindt plaats vanuit het Brielse Meer door *Evides Industrierwater*, het Hollands Diep door *HydroBusiness* (voortgekomen uit Brabant water) en het Groningse boezemsysteem/IJsselmeer door *North Water* (een joint venture van Evides Industrierwater, Waterbedrijf Groningen en WMD). Dit betreft onttrekkingen op andere innamepunten dan die voor drinkwater. Het Brielse Meer is, samen met de Biesbosch Bekkens, de centrale pijler voor de industriewatervoorziening van het Rotterdamse havengebied, West-Brabant en Zeeland. HydroBusiness levert water aan industriecomplex Moerdijk en North Water bedient de industrie rondom de Eemshaven.

Evides en de WRK nemen naast water voor drinkwater gelijktijdig water in voor levering aan de industrie. Dit vindt plaats op de locaties Brabantse Biesbosch (Gat van de Kerksloot), Andijk en Nieuwegein. Het water wordt na een voorbehandeling geleverd. WRK levert industriewater aan hoogovens (Tata Steel) in IJmuiden (31 Mm³/jaar), Crown Van Gelder Papier (3,2 Mm³/jaar) en enkele andere kleine afnemers in het Amsterdams havengebied. Evides levert voorbehandeld industriewater (ca. 47 Mm³/jaar) aan diverse grote bedrijven in het Rotterdamse havengebied, West Brabant en Zeeland.

3.8.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Bij snelle economische groei, zoals in het GE scenario, mag uitbreiding van de industriële bedrijvigheid worden verwacht, maar ook een snelle ontwikkeling van de toegepaste watertechnologie. Dat betekent enerzijds stijging van de vraag naar industriewater, maar anderzijds meer hergebruik en sluiting van de waterketen. Hergebruik van water is nu al '*proven technology*' (bijvoorbeeld bij DOW Chemical in Terneuzen) en zal in de toekomst ongetwijfeld op veel grotere schaal worden toegepast, mede om de afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem te verminderen waar verziltingsrisico's worden voorzien.

Het netto effect van deze tegenstrijdige ontwikkelingen op de toekomstige vraag naar industriewater valt op dit moment niet te voorzien.

Moerdijk: illustratie van de praktijk

Het industriële complex Moerdijk ligt aan het Hollandsch Diep. Het gaat om een haven en industrieterrein van 2600 ha waarop ca. 400 bedrijven aanwezig zijn, waaronder zeer grote chemische bedrijven (o.a. een raffinaderij). HydroBusiness verzorgt de aanlevering van water, het zuiveren van industrieel afvalwater en het hergebruik van water. Op bedrijventerrein Moerdijk heeft HydroBusiness een apart industriewaternet.

Voor veel industriële processen is niet de hoogst mogelijke waterkwaliteit noodzakelijk. Bijvoorbeeld voor koelen, spoelen en reinigen. Voor deze toepassingen levert HydroBusiness industriewater. Het jaarlijkse waterverbruik op het industrieterrein is enorm, totaal ruim één miljard m³! Het overgrote deel hiervan is koelwater dat weer op het Hollandsch Diep wordt geloosd. Daarnaast wordt drinkwater (1-2 Mm³/jaar) en industriewater (5-8 Mm³/jaar) afgenomen.

De inname van drinkwater en industriewater is teruggelopen ten opzichte van voorgaande jaren. De reden van deze terugloop is onder andere dat bedrijven minder drinkwater als proceswater zijn gaan gebruiken. Ook is bij bedrijven die veel drinkwater gebruikten de productie door de economische crisis gedaald. Daarentegen is het gebruik van oppervlaktewater toegenomen. De gerapporteerde grondwateronttrekking vindt plaats ten behoeve van bodemsanering. Het afvalwater dat geloosd wordt op de riolering wordt getransporteerd naar de zuivering van Hoogheemraadschap Brabantsche Delta in Bath (waarna het wordt geloosd op de Westerschelde).

Momenteel loopt er een onderzoek naar de mogelijkheden om het water dat vrijkomt binnen het haven- en industrieterrein Moerdijk zoveel mogelijk te zuiveren en te hergebruiken op het terrein zelf, met hulp van Brabant Water en Hoogheemraadschap Brabantse Delta. Alle waterstromen worden in kaart gebracht en er wordt gekeken waar koppelingen mogelijk zijn. Wat voor de een afvalwater is, kan voor de ander grondstof zijn. Door zo efficiënter met water om te gaan, kan het waterverbruik teruggebracht worden. Bovendien wordt zo de leveringszekerheid vergroot.

De gemiddelde productiecapaciteit van HydroBusiness voor industriewater is 6 miljoen m³/jaar oftewel 685 m³/uur; de maximale capaciteit is 1100 m³/uur. De netto buffercapaciteit bedraagt 7000 m³, wat overeenkomt met 10 uur bij gemiddelde productie. De buffer is dus beperkt.

3.8.3 Afhangelijkheid van het hoofwatersysteem

De industrie stelt, afhankelijk van de toepassing, hogere of lagere eisen aan de waterkwaliteit. Relevante variabelen in dit verband zijn het zwevend- stofgehalte, de hardheid en de troebelheid van het water, en niet het minst het zoutgehalte.

Voor de productie van gedemineraliseerd water (nodig voor de productie van stoom en het gebruik daarvan in achterliggende installaties) worden zeer hoge eisen gesteld aan de waterkwaliteit, met name aan het zoutgehalte (chloride). Er zijn geen wettelijke normen voor industriewater, wel bindende afspraken tussen bedrijf en leverancier. Meestal wordt een maximale chlorideconcentratie afgesproken van 150 mg/l, soms 200 mg/l. Bij hogere concentraties ontstaan problemen met ionenwisselaars (productie van gedemineraliseerd water), neemt de corrosie onevenredig toe, stijgt het energieverbruik voor de zuivering, etc. Voor deze knelpuntenanalyse is specifiek gekeken naar die locaties die risico lopen te verzilten. Dit zijn, in volgorde van afnemend risico, het Brielse Meer, het Hollandsch Diep, het IJsselmeer en het Lekkanaal.

3.9 Koelwater voor industrie en energieproductie

Het beleid voor de nationale elektriciteitsvoorziening is vastgelegd in het Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III, 2009). Het SEV geeft een overzicht van de huidige en mogelijke toekomstige grootschalige productielocaties (groter dan 500 MW) en van de huidige en geplande hoogspanningsverbindingen. In het SEV III zijn 24 bestaande en nieuwe locaties aangewezen voor de grootschalige productie van elektriciteit (waarvan er momenteel 17 worden gebruikt). De totale thermische productiecapaciteit in Nederland (incl. de kleinere productie-eenheden) bedroeg per eind 2006 ca 20.000 MW (Tennet, 2007). Toekomstige uitbreidingen van de grootschalige productiecapaciteit vinden in principe plaats op de in het SEV III vastgestelde locaties.

Binnen de gestelde normen mag het op deze locaties beschikbare oppervlaktewater worden gebruikt als koelwater. Voor de koeling van de bestaande elektriciteitscentrales wordt in Nederland momenteel op vrij grote schaal gebruik gemaakt van koelwater dat wordt onttrokken aan het hoofwatersysteem (doorgaans aan de grote rivieren, maar ook aan een aantal grote kanalen (Amsterdam-Rijnkanaal, Noordzeekanaal) en het IJsselmeer. Daarnaast maakt een aantal centrales gebruik van koelwater uit zee/estuaria.

3.9.1 Aard en omvang watervraag

In de notitie *Industriewater in Nederland* (EIM, 2009) is aangegeven dat het jaarlijkse gebruik van koelwater uit oppervlaktewater door elektriciteitscentrales in 2006 ruim 9000 Mm³ bedroeg. In deze notitie is tevens aangegeven dat de onttrekking van oppervlaktewater door de industrie in 2006 bijna 3200 Mm³ bedroeg. Hiervan wordt ca 95% als koelwater gebruikt. De grootste gebruikers van koelwater worden gevonden in de (petro)chemische en de staalindustrie.

Door RIZA is op basis van de periode 2000-2005 een inventarisatie gemaakt van de warmtelozingen van elektriciteitscentrales en bedrijven op het oppervlaktewater voor lozingen groter dan 1 MW (RIZA, 2006).

Door KEMA is ten behoeve van de uitvoering van de knelpuntenanalyse een actualisering gemaakt van de informatie op grond van de RIZA inventarisatie. Voor het elektriciteitsproductiesysteem (verder aan te duiden als het E-systeem) is daartoe een vergelijking gemaakt met de meest recente informatie die bij

KEMA beschikbaar is over de bij TenneT aangemelde productie-eenheden (de eenheden die zijn aangesloten op het elektriciteitsnet). Voor de industriële lozingen van koelwater is een update gemaakt op grond van de meest recente informatie die beschikbaar is bij de regionale diensten van Rijkswaterstaat, welke verantwoordelijk zijn voor de vergunningverlening. Hierbij zijn ook de bekende, kleinere lozingen (< 1 MW) toegevoegd.

Een overzicht van de huidige productie-eenheden van het E-systeem is opgenomen in Tabel 3.3. De tabel geeft voor alle productie-eenheden de naam, het ontvangende water, de vergunde warmtelast en de voor de knelpuntenanalyse gebruikte warmtelast. In het overzicht zijn ook de productie-eenheden opgenomen die gebruik maken van zout koelwater. Omdat de knelpuntenanalyse uitsluitend betrekking heeft op de eenheden die gebruik maken van zoet koelwater, zijn alleen die voorzien van een volgnummer. Deze nummers worden gebruikt voor referentie van de eenheden zoals die op de kaarten met berekeningsresultaten in hoofdstuk 5 worden getoond.

Tabel 3.3 *Overzicht huidige productie-eenheden en warmtelasten E-systeem*

Nr	Naam	Ontvangend Water	Vergund (MW)	Praktijk (MW)
1	AEB UIT	NZK	456	156
2	AVR Afvalverwerking BV (Gerbrandyweg)	Nieuwe Waterweg	385	237
3	Centrale Gelderland UIT	Waal	794	706
4	Centrale Harculo	IJssel (haventje; voorhaven)	360	0
5	Clauscentrale Maasbracht uit	Maas (haventje; koeltoren)	0	0
6	Dongecentrale	Amer/Donge	2	0
	E.ON - Maasvlakte	Edisonbaai	1789	0
	E.ON - Maasvlakte	Europahaven	7	0
7	E.ON - Galilenstraat	Keilehaven	156	160
8	E.ON-Roca	Hollandsche IJssel	2	0
	Electrabel	Amazonehaven	750	0
9	Electrabel Bergum BG10	Bergumermeer (Pr.Margrietkanaal)	267	267
10	Electrabel Bergum BG20	Bergumermeer (Pr.Margrietkanaal)	267	267
	Enecogen	Beerkanaal	520	0
	EPZ. N.V. (Conventioneel)		620	0
	EPZ N.V. (Kerncentrale)		0	0
11	Essent-Amer	Amer (koeltoren)	1545	636
12	Essent-Donge	Amer/Donge	106	0
13	Essent (WKC-Moerdijk)	Hollandsch Diep	322	179
14	Flevocentr 30	IJsselmeer	0	0
15	Flevocentr STEG 1	IJsselmeer	179	179
16	Flevocentr STEG 2	IJsselmeer	179	179
17	Hemweg Centrale UIT	Jan van Riebeekhaven NZK	1340	617

18	Lage weide LW6	ARK	200	121
19	Merwedecentrale MK 11	ARK	90	72
20	Merwedecentrale MK 12	ARK	190	129
21	NUON Diemen DM33	ARK/IJmeer	249	121
22	NUON Diemen DM34	ARK/IJmeer	300	0
23	NUON Power Buggenum WAC uit	Maas (haventje)	308	256
	Sloe Centrale B.V. (v.h. Delta Energy)	Vlissingen-Oost	480	0
24	Velsen Centrale V24 UIT	binnenkanaal	601	502
25	Velsen Centrale V25 UIT	binnenkanaal	458	0

Voor de huidige industriële koelwaterlozingspunten is op grond van de geactualiseerde inventarisatie van KEMA een lijst opgesteld met orde 170 lozingspunten. Voor deze punten zijn dezelfde gegevens vastgesteld zoals die voor de productie-eenheden van het E-systeem zijn bepaald. De huidige warmtelast is voor de industriële lozingspunten in alle gevallen gelijk gesteld aan de vergunde warmtelast. Dit wordt gezien als een realistische bovengrens van de totaal benodigde capaciteit voor warmtelozing door de industrie. Gezien de omvang van deze lijst is deze niet in dit rapport opgenomen.

De te hanteren warmtelast voor het E-systeem in de huidige situatie is gebaseerd op een vraag naar elektriciteit die is bepaald als het gemiddelde over de uren met de hoogste etmaalvraag voor de dagen in de maand augustus. Deze vraag bedraagt 107% van de jaargemiddelde vraag. De keuze voor de maand augustus als basis voor de bepaling van de warmtelasten is ingegeven door het feit dat in die periode vaak de grootste problemen optreden op grond van de beschikbare capaciteit voor warmtelozing (hoge watertemperaturen, lage afvoeren). Augustus is - mede door de invloed van vakanties - niet de maand waarbij zich de hoogste vraag naar elektriciteit voordoet.

De totale, maatgevend veronderstelde vraag is 13,8 GW (107% van de jaargemiddelde vraag die voor de huidige situatie gelijk is aan 12,8 GW). Voor de bepaling van de vraag per productie-eenheid is uitgegaan van een realistische inzet van alle beschikbare productie-eenheden (op basis van de zogenaamde 'merit order'). Afhankelijk van bedrijfstechnische en -economische overwegingen kan de werkelijke inzet hiervan afwijken. Op grond van deze realistische toedeling bedraagt het totale ingezette vermogen van de productie-eenheden die gebruik maken van zoet koelwater ca 6,5 GW. De rest van het ingezette vermogen om te voldoen aan de totale vraag van 13,8 GW komt van de bij TenneT aangemelde centrales die op zee warmte lozen (5,2 GW); niet bij TenneT aangemelde centrales met luchtkoeling (0,3 GW); wind (0,5 GW) en import (1,4 GW).

De inzet volgens de 'merit order' wordt gezien als een realistische basis voor de vaststelling van de warmtelasten zoals die in de praktijk zullen kunnen optreden (laatste kolom van Tabel 3.3). De voorlaatste kolom geeft een overzicht van de vergunde warmtelasten. Voor een aantal productie-eenheden geldt dat de 'praktijk' warmtelasten zijn gelijkgesteld aan nul. Dat is in de eerste plaats van toepassing voor de (niet genummerde) eenheden die lozen op zout water (en niet meedoen in de berekeningen van de beschikbare capaciteit voor warmtelozing). Voor een aantal eenheden die beschikken over eigen koelvoorzieningen (centrale Harculo (4) en Clauscentrale (5)) is als uitgangspunt gehanteerd dat de warmtelasten in kritieke perioden op nul kunnen worden gesteld. Daarnaast zijn er centrales met verschillende productie-eenheden die afzonderlijk in (Tabel 3.3.) zijn opgenomen. Hierbij is er voor de bepaling van de praktijk warmtelast vanuit gegaan dat de meest efficiënte eenheden worden ingezet (en een aantal eenheden dus niet wordt benut).

3.9.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

De ontwikkeling van zowel de toekomstige vraag naar elektriciteit als de productiecapaciteit worden gekenmerkt door grote onzekerheden. De vraag naar elektriciteit wordt met name bepaald door de economische groei, de bevolkingsgroei en door sociaal-economische ontwikkelingen die bepalend zijn voor het consumentengedrag (zoals een afname van het relatieve energiegebruik uit oogpunt van milieubewustzijn, of juist een toename door een groter gebruik van airco en elektrische auto's). Ten aanzien van de toekomstige productiecapaciteit gaat het met name om de elektriciteitsproductie die leidt tot een vraag naar koelwater aan het zoete watersysteem.

In dit verband is er sprake van een aantal mogelijke ontwikkelingen die over het algemeen tot een afname van de afhankelijkheid van het gebruik van zoet koelwater zullen leiden. De belangrijkste zijn:

- plaatsen van (nieuwe) energiecentrales aan de kust (gebruik zout koelwater);
- hogere rendementen van nieuwe productie-units (minder koelcapaciteit nodig per eenheid vermogen);
- toename gebruik van bronnen anders dan fossiele brandstoffen (kernenergie, duurzame bronnen);
- meer toepassing van koeltorens;
- vergroting mogelijkheden energie-import uit buitenland.

Op dit moment zijn geen prognoses beschikbaar op grond waarvan uitspraken kunnen worden gedaan over de aard en omvang van het toekomstige E-systeem, laat staan voor de toekomstige warmtelasten voor de verschillende productie-eenheden (gespecificeerd naar tijd en plaats). Voor de uitvoering van de knelpuntenanalyse is daarom uitgegaan van een sterk vereenvoudigde benadering. Deze is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De toekomstige jaarproductie van elektriciteit (per type productie-eenheid) wordt gebaseerd op de WLO scenario's Global Economy (GE) (hoge olieprijs) en Regional Communities (RC).
- Op grond van het onderscheid per type productie-eenheid wordt de jaarproductie vastgesteld van de productie-eenheden met een warmtelast, voor zowel de huidige als de toekomstige situatie (voor scenario's GE en RC).
- De toekomstige warmtelast voor het deel van het E-systeem dat afhankelijk is van zoet koelwater wordt ten opzichte van de huidige warmtelast opgeschaald met een factor die is gebaseerd op de verhouding van de toekomstige en huidige jaarproductie van de eenheden met een warmtelast. Een dergelijke factor wordt afzonderlijk bepaald voor de scenario's GE en RC.
- De schaalfactoren per scenario worden toegepast voor alle productiepunten en warmtelasten van het huidige E-systeem. De impliciete veronderstelling is daarbij dat de productie-eenheden van het toekomstige E-systeem zich bevinden op dezelfde locaties als in de huidige situatie en dat de warmtelasten van alle productie-eenheden met hetzelfde percentage toenemen.

Tabel 3.4 Productie van elektriciteit met onderverdeling naar type productie-eenheid

Type productie-eenheid	Productie 2002	Productie 2040 (TWh)	
		GE (hoge olieprijs)	RC
Kolencentrales	25	122	40
Gascentrales	34	42	24
Kerncentrales	4	0	0

Duurzaam	4	3	33
Decentraal (WKK)	26	37	36
Totaal	93	204	133
waarvan met warmtelast	85	201	100

Tabel 3.4 geeft een overzicht van de jaarproductie van het E-systeem voor het jaar 2002 en de scenario's GE (hoge olieprijs) en RC onderscheiden naar type productie-eenheid. Van de totale productie is het deel bepaald waarbij sprake is van een warmtelast, dat is de totale productie zonder 'duurzaam' en kerncentrales (omdat de laatste worden verondersteld altijd hun warmte op zee te lozen).

De groeifactoren voor de toekomstige warmtelasten voor het GE en RC scenario zijn afgeleid van de verhouding tussen de productiegetallen in de laatste rij van Tabel 3.4. Dit leidt voor het scenario GE tot een schaalfactor $201/85 = 2,36$ en voor RC tot een schaalfactor van $100/85 = 1,18$. Om te komen tot een schatting van de warmtelasten per productie-eenheid voor het jaar 2050 zijn deze schaalfactoren toegepast op de 'praktijk' warmtelasten zoals die zijn weergegeven in de laatste kolom van Tabel 3.3..

Wat betreft de hier gehanteerde procedure zijn de volgende opmerkingen van toepassing:

- De getallen voor de elektriciteitsproductie op basis van de WLO scenario's gelden voor resp. de jaren 2002 en het zichtjaar 2040. De op grond hiervan afgeleide schaalfactoren worden voor de knelpuntenanalyse toegepast voor het verschil tussen de huidige situatie (2010) en het zichtjaar 2050.
- De bovenstaande procedure moet worden opgevat als een zeer grove, sterk vereenvoudigde benadering en heeft uitsluitend tot doel om voor de knelpuntenanalyse een indicatie te geven van de mogelijke range van de toekomstige warmtelasten. Het GE scenario dat uitgaat van een grote toename van de vraag waarbij de toekomstige productie vrijwel geheel door fossiele brandstoffen plaatsvindt moet daarbij als een bovengrensbepaling worden gezien (toename warmtelasten met een factor 2,36). Het RC scenario dat uit gaat van een minder grote groei van de elektriciteitsproductie in Nederland en een aanzienlijke toename van de duurzame productie moet in dat opzicht waarschijnlijk als meer realistisch worden gezien.

Tabel 3.5 Huidige en toekomstige warmtelasten voor E-systeem en industrie

Bron	Warmtelasten op zoet watersysteem (MW)		
	Huidig (inventarisatie KEMA voor 2010)	Scenario's voor zichtjaar 2050	
		GE	RC
E-systeem	4461	10528	5264
Industrie	3919	3919	3919
Totaal	8380	14447	9183

Over de toekomstige ontwikkeling van de behoefte aan zoet koelwater door de industrie is geen informatie beschikbaar. Verondersteld moet worden dat een belangrijk deel van de toename van het elektriciteitsverbruik dat ten grondslag ligt aan de toename van de productiecapaciteit van het E-systeem voor de scenario's GE en RC aan de industrie moet worden toegeschreven. Derhalve is voor de industrie aangenomen dat de behoefte aan zoet koelwater (gebaseerd op de vergunde warmtelasten voor de huidige situatie) voor de toekomstige situatie gelijk blijft (voor zowel GE als RC).

Een overzicht van de huidige en toekomstige warmtelasten op het zoete watersysteem voor het E-systeem en de industrie is gegeven in Tabel 3.5.

3.9.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Aan het gebruik en de lozing van koelwater zijn voorwaarden gesteld die in normen zijn vastgelegd. Op grond van de thans geldende normen van de Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) mag de maximale opwarming van het ontvangende water niet meer zijn dan 3 °C, en mag een maximale temperatuur van 28 °C niet worden overschreden. In de mengzone mag in niet meer dan 25% van de natte doorsnede de temperatuur meer dan 30 °C bedragen.

Als niet aan de gestelde normen voor de lozing van koelwater kan worden voldaan moet het gebruik van koelwater worden beperkt. Indien andere koelvoorzieningen (zoals koeltorens) beschikbaar zijn kan dat gebeuren zonder beperking van de productie op de kritieke locatie. Anders moet de productie worden beperkt of gestaakt.

Voor het E-systeem geldt dat bij het optreden van productiebeperkingen het verlies aan elektriciteitsproductie moet worden opgevangen. Dit kan door (het vergroten van) de inzet van productie-eenheden zonder koelwaterbeperkingen of door het (tijdelijk) importeren van stroom uit het buitenland via het koppelnet. In de zomer van 2003 is een vrij precaire situatie ontstaan waarbij het reservevermogen van het E-systeem als geheel beneden een kritisch minimum dreigde te dalen. Mede door het tijdelijk verruimen van de koelwaternormen is de minimumgrens uiteindelijk niet onderschreden. Inmiddels zijn bepaalde tijdelijke verruimingsmogelijkheden binnen de huidige formulering van de normen opgenomen. Aanvullende verruimingen worden daarbij in principe niet meer toegestaan.

In bepaalde gevallen kan het gebeuren dat door het optreden van koelwaterbeperkingen tijdelijk niet kan worden voldaan aan de vraag naar elektriciteit, zodat een situatie van 'onvermogen' optreedt. Deze situatie wordt aangeduid met *Loss of Load Probability* (LOLP). Voor de betrouwbaarheid van de levering in termen van de LOLP wordt thans als norm gehanteerd dat een situatie van 'onvermogen' niet meer dan 0,5 uur per jaar mag optreden. Structurele maatregelen om dit te voorkomen hebben betrekking op het uitbreiden of aanpassen van de productiecapaciteit. Daarbij kan de koelwatervraag

worden beperkt door het gebruik van andere dan fossiele energiebronnen; door het (ver)plaatsen van centrales naar/ aan zee; of het bouwen van alternatieve koelcapaciteit (zoals koeltorens). Een andere mogelijkheid is dat meer structureel in een deel van de toekomstige vraag wordt voorzien door het vergroten van de import.

Ook voor de industrie kan een tekort aan koelcapaciteit leiden tot productiebeperkingen. In 2003 zijn vrij ernstige beperkingen opgetreden die net als voor het E-systeem hebben geleid tot tijdelijke normverruiming. Daarnaast zijn volgens de sector in dat jaar ook werkelijke productiebeperkingen opgetreden. Bij het optreden van beperkingen in de beschikbaarheid van zoet koelwater kunnen de gevolgen voor de industrie ernstig zijn, gezien de vaak essentiële functie van de te koelen units in het productieproces.

Voor de uitvoering van de knelpuntenanalyse wordt gebruik gemaakt van een één-dimensionaal landelijk temperatuurmodel op basis van SOBEK dat al eerder is gebruikt voor analyses van de koelcapaciteit van Rijkswateren (het zogenoemde LTM+). Gegeven de debieten en watertemperaturen in de takken van het waterverdelingsnetwerk kunnen met dit model berekeningen worden uitgevoerd van de beschikbare capaciteit voor warmtelozing voor nader te bepalen locaties en tijdstappen. Een beperking in de huidige berekening van de beschikbare koelcapaciteit is dat in het één-dimensionale model slechts rekening kan worden gehouden met twee van de drie aspecten waarop de huidige normstelling is gebaseerd (alleen de restricties betreffende de maximale opwarming van 3° C en de maximaal toelaatbare temperatuur van 28 °C van het ontvangende water). De berekeningen zijn daarbij gebaseerd op volledige menging van de koelwaterlozing met het passerende debiet.

3.10 Scheepvaart

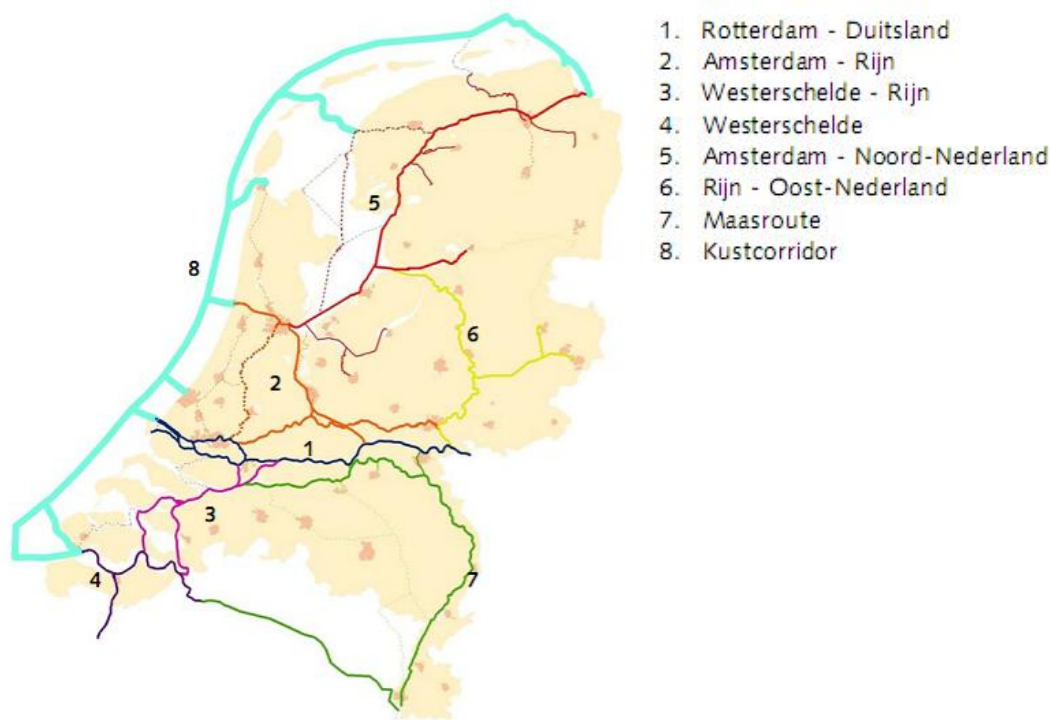
Bij scheepvaart gaat het om beroepsscheepvaart en recreatievaart, en binnenvaart en zeevaart. In deze knelpuntenanalyse beperken we ons tot de beroepsscheepvaart, en wel in het bijzonder de binnenvaart, omdat daar mogelijk knelpunten ontstaan.

De binnenvaart heeft een belangrijke rol in het goederenvervoer in Nederland. In 2004 vervoerde de binnenvaart 330 miljoen ton goederen, circa 30% van het totale vervoerde gewicht aan goederen in/ via Nederland.

3.10.1 Aard en omvang van de watervraag

Essentieel voor de binnenvaart is een vlot en veilig verloop van het scheepvaartverkeer. Vlot wil zeggen dat op tijd en betrouwbaar goederen worden afgeleverd. Dat vraagt een vaarwegennet met voldoende capaciteit, van zowel de vaarwegen zelf als de infrastructuur – in het bijzonder de sluisen. Voor de capaciteit is belangrijk dat er zo min mogelijk sluisen zijn, dat er geen stremmingen optreden, en dat er geen verminderde afluaddiepte is door te lage waterstanden.

Bij het vaarwegennet gaat het vooral om de hoofdtransportassen, waarin 8 corridors worden onderscheiden (Figuur 3.5). De belangrijkste corridors zijn Rotterdam- Duitsland en Amsterdam- Rijn. Daarnaast zijn er nog veel kleinere vaarwegen, die aftakken van het hoofdvaarwegennet.



Figuur 3.5 Vaarwegcorridors

Op de corridor Rotterdam- Duitsland passeren jaarlijks bij Lobith 130.000 schepen de grens (oost- en westrichting samen), waarvan 10.000 containerschepen. Zij vervoeren gezamenlijk 230 miljoen ton; dat is per reis gemiddeld 2400 ton/ schip. Enkele andere passagegegevens zijn:

- Lekkanaal (Utrecht) 50.000 passages (40 miljoen ton)
- Julianakanaal (Limburg) 25.000 passages (20 miljoen ton)
- Twentekanaal 14.000 passages (5 miljoen ton)

Alle vaarwegen zijn ingedeeld in zogenaamde CEMT-klassen gekoppeld aan de scheepvaartclassificatie (Tabel 3.6). De scheepsklassen VIb en VIc zijn duwstellen met een maximale diepgang van 4 m. Tabel 3.7 geeft een overzicht van de scheepsklassen die op enkele corridors zijn toegestaan en de waterdiepte die voor die corridors wordt nagestreefd.

Tabel 3.6 Klassenindeling beroepsvaart (bron: DVS)

CEMT Klasse	Motorvrachtschepen			Duwstellen			Koppelverbanden		
		Hoogte	Diepgang geladen		Hoogte	Diepgang geladen		Hoogte	Diepgang geladen
0	M0								
I	M1	4,02		B01	5,77		C11 C1b	4,02	
			2,5			1,9			2,5
II	M2	4,88	2,6	B02	5,77	2,6			
III	M3	5,08	2,6	B03	5,77	2,6			
	M4	5,08	2,7	B04	5,77	2,7			
	M5	4,70	2,7						
IV	M6	5,15	3	BI	5,77		C2I	5,15	3
	M7	5,24	3			3			
Va	M8	6,25		BII-1	5,77	3,5			
				BII-2L	6,68	4			
			3,5	BII-2B	6,68	4			
Vb							C3I	6,25	3,5-4
VIa							C2b	5,15	3
							C3b	6,25	3,5-4
VIb				BII-4	9,10	3,5-4	C4	6,25	3,5-4
VIc				BII-6L	9,10	3,5-4			
VIIa				BII-6B	9,10	3,5-4			

Tabel 3.7 Overzicht waterdiepten voor enkele corridors, gerelateerd aan de scheepvaartklassen

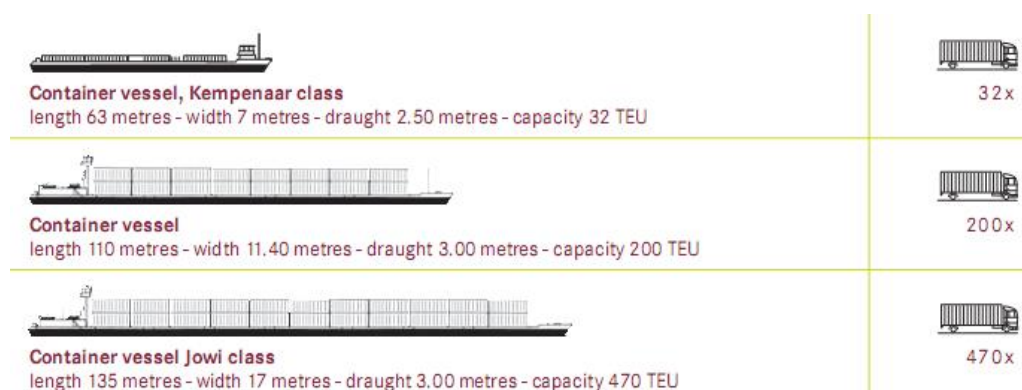
Corridor	Kanaal / rivier (alleen belangrijkste)	Scheepvaartklasse	Waterdiepte
1	Bovenrijn, Waal, Merwede, Oude Maas	VIc	variabel
	Hartelkanaal	VIc	> 5,3 m
2	Amsterdam-Rijnkanaal	VIb (max. diepg 4 m)	6,0 m
	Lekkanaal	Vb (max diepg 2,5 m)	4,2 m
6	Pannerdensch Kanaal, IJssel	VIc	variabel
	Twentekanaal	Va (max diepg 2,8 m)	3,5 m
	Zijtak naar Almelo	IV (max diepg 2,5 m)	3,5 m
7	Maas, Amer, Bergsche Maas, Julianakanaal	Va	5,0 m
	Maas-Waalkanaal	Vb (max diepg 3,2)	4,0 m

3.10.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Voor de toekomst van de scheepvaart zijn de volgende ontwikkelingen relevant: een schaalvergroting in de vloot en een toename van de verladen volumina. Op beide wordt hieronder ingegaan. Daarnaast worden de eisen aan tijdige levering mogelijk (nog) groter. Over een uitbreiding van het vaarwegennet worden geen uitspraken gedaan. Zo die al aan de orde is gaat het zeer waarschijnlijk niet om meer vaarwegen, maar alleen om capaciteitsvergroting van de bestaande vaarwegen.

Bij de vloot zijn de volgende ontwikkelingen te signaleren:

- schaalvergroting: minder maar grotere schepen.
- nieuwbouw is vooral CEMT-klasse V of groter; nieuwe gangbare afmetingen 135 m lang x 14,2 of 17 m breed (Rijnmax schip of M10 klasse);
- er komen meer schepen van nieuwe scheepstypen zoals NeoKemp, AMS barge, en INBI schip;
- de nieuwe schepen worden standaard uitgerust met boegschroeven en krijgen grotere vermogens
- kleine binnenschepen (tot 1.500 ton en 86 m lengte) krijgen een steeds kleinere rol (Buck Consultants);
- de vloot diversifieert (snel- langzaam; groot- klein; veelzijdig- specifiek) en specialiseert (naar ladingsoort en vervoersrelatie);
- verdergaande containerisatie (Figuur 3.6);
- het totale laadvermogen neemt toe.



Figuur 3.6 Moderne binnenvaart: grotere containerschepen (BVB).

Voor de lange-termijnontwikkeling van de goederenstromen zijn door DVS prognoses gemaakt, in aansluiting op de WLO-scenario's die in de deltasceario's zijn verdisconteerd. Daarbij is uitgegaan van de situatie in 2002 (referentiejaar). Voor deze knelpuntenanalyse zijn de getalswaarden relevant van de scenario's RC en GE, de uitersten. DVS schat dat de binnenvaart in 2040 in RC zo'n 270 miljoen ton bedraagt, en in GE zo'n 618 miljoen ton, in vergelijking met 318 miljoen ton in 2002. Dat is een zeer grote bandbreedte, van meer dan 15% daling tot een groei met meer dan 90%.

3.10.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

De binnenvaart is afhankelijk van de waterdiepte in relatie tot een afgesproken vaargeulbreedte en doorvaarthoogte. Op de grote rivieren varieert de waterdiepte met de afvoer. Op kanalen en de grote meren speelt een beperkte vaardiepte nauwelijks een rol, want daar wordt een vast waterpeil gehandhaafd; zolang dat kan tenminste. Als het peil te ver daalt, kan het water te ondiep worden voor een ongehinderde vaart, het eerst bij sluisdrempels.

De maximale aflaaddiepte van de beroepsvaart hangt dus af van de waterdiepte. Op de grote rivieren varieert de waterdiepte met de afvoer, althans op de vrij afstromende rivieren: de Waal en de IJssel. In droge perioden is de afvoer gering en neemt de waterdiepte daar af. Voor de Nederrijn-Lek en de Maas geldt dat deze zijn gestuwd bij geringe rivierafvoer; daar kan een minimum vaardiepte worden gerealiseerd.

Tot waterdiepten van 4,3 m is er voor geen enkel schip een beperking in de aflaaddiepte. De grootste diepgang is namelijk 4 m (duwstellen uit klassen VIb en Vic), waar nog een bodemspeling van 0,3 m onder de kiel bij komt. De overheid informeert de binnenvaart bij geringe afvoeren over de actuele waterdiepten. Dit zijn de zogenaamde Minst Gepeilde Diepten (MGD). Schippers en verladers baseren hun reisplanning hierop.

Een beperking van de aflaaddiepte betekent dat minder vracht mee kan. Voor de grotere schepen geldt dat elke centimeter minder afladen zo'n 20-30 ton vracht scheelt (HKV, 2007). Als er sprake is van langdurige perioden dat minder vracht kan worden getransporteerd, dan bestaat het risico dat vervoerders overstappen naar andere modaliteiten zoals weg- en railtransport. Uit studies blijkt dat zelfs bij langdurige beperkingen minder dan 10% zal overstappen. Dit houdt ook verband met de geringe beschikbare overcapaciteit bij die andere modaliteiten.

De scheepvaartsector zelf geeft aan te verwachten dat een aflaaddiepte van minder dan 1,8 m pas tot echt grote problemen gaat leiden. Maar ze voorziet dat knelpunten het eerst zullen optreden op de Duitse Rijn.

Samengevat: de binnenvaart stelt vooral eisen aan de capaciteit van het hoofdvaarwegennet. Die capaciteit wordt vooral bepaald door de vaarwegdimensies en sluiscapaciteiten. De capaciteit kan onder druk komen bij lage afvoeren, als op de rivieren de vaardiepte te gering wordt. Daar is met een andere waterverdeling weinig aan te doen, want het gaat hierbij nauwelijks om een kwantiteitsvraag in absolute zin, maar meer om een inrichtingsvraagstuk (van de vaarweg): hoe te voorkomen dat de rivier te snel 'leegloopt'. Overigens is daarbij de verdeling van de rivierafvoer over de drie Rijntakken wel bepalend voor de vaardiepten op die takken.

De scheepvaart stelt geen eisen aan de waterkwaliteit.

3.11 Recreatie

Bij de waterrecreatie wordt onderscheid gemaakt naar de volgende hoofdvormen:

- oeverrecreatie (zonnen, zwemmen, sportvissen);
- kleine watersport (zeilen/surfen, roeien, kanoën, waterskiën, duiken, etc.);
- recreatietoervaart.

De kleine watersport heeft betrekking op verschillende vormen van lokale waterrecreatie waaraan een vaartuig te pas komt zonder overnachtingsmogelijkheden. De toervaart vindt doorgaans plaats met een zeil- of motorboot voorzien van accommodatie voor overnachting.

Oeverrecreatie en kleine watersport zijn in essentie locatiegebonden en hebben betrekking op perioden (bezoeken) van een dag of minder. De toervaart vindt plaats binnen bepaalde delen en op bepaalde routes van het recreatietoervaartnet. Hierbij gaat het in de regel om meerdaagse recreatie (dagen tot weken).

3.11.1 Aard en omvang van de watervraag

Verschillende literatuurbronnen geven inzicht in de omvang van de vraag naar waterrecreatie (in termen van aantallen dagtochten). Tabel 3.8 geeft een overzicht en vergelijking van 3 verschillende bronnen.

Opvallend is het verschil in aantallen die door de verschillende bronnen worden gegeven. In Stichting Recreatie (2008) worden hiervoor als redenen genoemd: verschillende methoden van onderzoek en het hanteren van verschillende definities. Geconstateerd moet worden dat er ten aanzien van de omvang van de waterrecreatie dus nog geen sprake lijkt te zijn van een eenduidige gegevensbasis.

Tabel 3.8 Indicatie van huidige omvang van de waterrecreatie

Recreatie-activiteiten	Waterrecreatie (miljoenen dagtochten)		
	SEO (2003) (jaar 2000) ¹	CVTO (2005) ²	TRN (2002) ³
Oeverrecreatie (zonnen, zwemmen, vissen)	32,9	95,0	48,2
Kleine watersport (zeilen/surfen, roeien, kanoën)	12,4	12,7	6,1
Recreatietoervaart	12,8	13,3	4,9
Totaal	58,1	120,9	59,2

¹ SEO: Stichting voor Economisch Onderzoek (UvA)

² CVTO: Continu VrijeTijdsonderzoek

³ TRN: Toerisme Recreatie Nederland

Meer specifiek voor de toervaart zijn de volgende kentallen van toepassing:

- Uit een onderzoek van WaterrecreatieAdvies (2005) valt af te leiden dat het bij de toervaart zou kunnen gaan om ca. 300.000 boten. In de Beleidsvisie Recreatietoervaart Nederland (BRTN 2008-2013) van de Stichting Recreatietoervaart Nederland wordt melding gemaakt van een aantal van 400.000 pleziervaartuigen (SRN, 2008).
- Stichting Recreatie (2008) geeft voor 2003 een aantal van 815 jachthavens met in totaal 133.500 (zomer-)ligplaatsen.

- Op landelijke schaal is een vaarwegennet gedefinieerd met een totale lengte van 4400 km. Dit vaarwegennet wordt aangeduid als het Basistoervaartnet en is bevaarbaar voor boten van 2,4 m hoog met een diepgang tot 1,1 m (SRN, 2008).

Hierbij wordt opgemerkt dat recentelijk (maart 2011) de Toekomstvisie Waterrecreatie beschikbaar is gekomen (met meer actuele getallen en trends). Deze informatie kon voor dit rapport nog niet worden verwerkt.

Ten aanzien van de mogelijke effecten van het watervoorzieningsstelsel op de waterrecreatie bestaan er duidelijke verschillen tussen de locatiegebonden vormen van waterrecreatie (oeverrecreatie en kleine watersport) en de recreatietoervaart. Voor de verdere beschouwing van de mogelijke knelpunten voor de waterrecreatie wordt daarom onderscheid gemaakt naar locatiegebonden waterrecreatie en recreatietoervaart.

3.11.2 Verwachte ontwikkelingen in de toekomst

Voor waterrecreatie zijn in de WLO-scenario's geen sectorspecifieke ontwikkelingen gegeven. Door SEO (2003) is destijds wel een prognose gemaakt van het aantal dagtochten voor de totale waterrecreatie voor de periode 2000-2020. Toen werd een forse groei van de waterrecreatie verwacht (in de orde van 50% tot 70%). Niet duidelijk is welke aannamen hieraan ten grondslag lagen en of deze tendens op grond van de meer recente WLO scenario's nog van toepassing is.

In overleg met de sector zijn de volgende mogelijke trends geïdentificeerd:

- Klimaatverandering kan leiden tot een toename van de vraag naar waterrecreatie. Voor alle vormen van waterrecreatie geldt dat ze weergevoelig zijn en dat warmte en droogte voordelig werken. Klimaatverandering leidt ook tot seizoensverlenging (Kenniscentrum Recreatie, 2008).
- Wat betreft het aanbod van de mogelijkheden voor waterrecreatie is er sprake van een algemene ontwikkeling waarbij het oppervlak aan waterpartijen voor waterrecreatie toeneemt. Dit wordt onder andere ingegeven door ontwikkelingen rond het wonen aan het water en het creëren van toegang van woongebieden tot waterrecreatiegebieden (denk aan ontwikkelingen als Blauwe Stad). In combinatie met de vergrijzing en de toename van vrije tijd zal dit naar verwachting leiden tot een toename van de locatiegebonden waterrecreatie en een intensivering van de recreatietoervaart (met name als dergelijke ontwikkelingen zich afspelen aan of rond vaarroutes).
- Voor de toervaart is in de Beleidsvisie Recreatietoervaart Nederland 2008-2013 (SRN, 2008) een uitwerking gegeven van de ontwikkelingen die moeten leiden tot een knelpuntvrij en aantrekkelijk netwerk van recreatievaarwegen. Een tendens binnen de toervaart is dat het gebruik van sloepen (naast zeil- en motorboten die zijn voorzien van accommodatie voor overnachting) ook steeds meer het karakter krijgt van toervaart, in de zin van het maken van langere tochten over delen van het toervaartnet.

3.11.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

Het aanbod van de waterrecreatievoorzieningen wordt bepaald door de toestand van het watersysteem.

In kwantitatieve zin gaat het om de beschikbaarheid van water in de zin van bereikbaarheid, oppervlakten, diepte, stroomsnelheden en golfslag. Waterkwantiteit kan vooral beperkend zijn voor de recreatietoervaart, bijvoorbeeld door te weinig vaardiepte; te hoge stroomsnelheden; of beperkingen in doorvaarthoogten in rivieren en kanalen door te hoge waterstanden.

Ook kunnen zich beperkingen voordoen door de interactie met beroepsscheepvaart, hetgeen bijvoorbeeld kan leiden tot problemen met steile en aanhoudende golfslag ter plaatse van tweezijdig aangebrachte damwanden. Een specifiek probleem met betrekking tot de recreatietoervaart is de omvang van het onderhoudsbaggerwerk dat nodig is voor de instandhouding van het toervaartnet. Met deze baggeropgave zijn grote bedragen gemoeid, hetgeen er soms toe leidt dat minimale waterdieptes worden verlaagd. Het omgaan met vervuilde bagger vormt daarbij een extra probleem.

Een onvoldoende waterkwaliteit kan op verschillende manieren afbreuk doen aan de mogelijkheden en de beleving (waardering) van de waterrecreatie. Een van de belangrijkste bedreigingen is eutrofiëring en daaraan gerelateerde problemen als (toxische) algenplagen, gezondheidsrisico's, stank, zuurstofloosheid en vissterfte. Ook andere microbiologische verontreinigingen kunnen leiden tot gezondheidsrisico's. Deze problemen kunnen vervolgens leiden tot (tijdelijke) zwemverboden. Het optreden van deze waterkwaliteitsproblemen is met name van belang voor de locatiegebonden vormen van waterrecreatie (waarbij zwemmen een belangrijke rol speelt), maar ook voor de belevingswaarde voor de recreatietoervaart.

Bij de uitwerking van de knelpuntenanalyse is het accent gelegd op twee zaken, te weten:

- mogelijke kwantitatieve beperkingen in het Basistoervaartnet (buiten het vaarwegennet dat onderdeel vormt van het landelijke verdelingsnetwerk).
- waterkwaliteitsproblemen als gevolg van eutrofiëring en andere microbiologische organismen. Met name de risico's op het ontstaan van algenbloei worden hierbij als een groot potentieel probleem beschouwd.

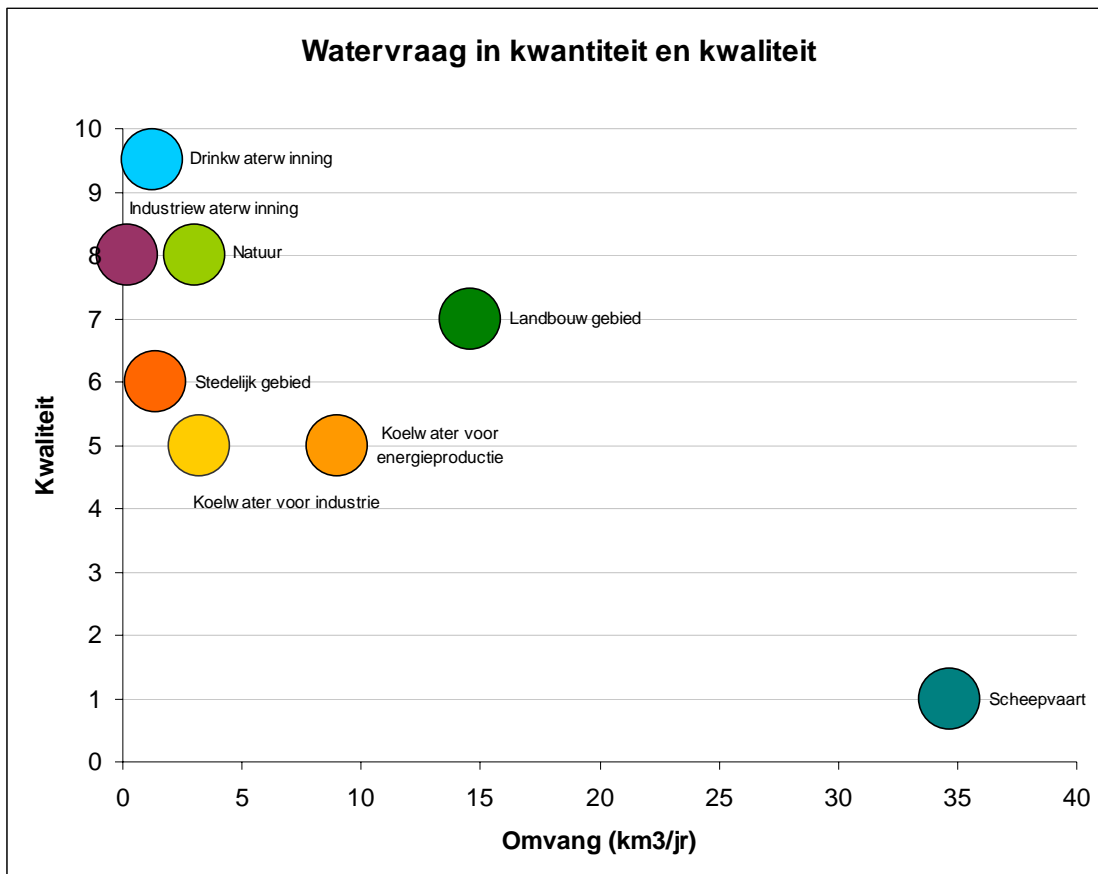
3.12 Overzicht: hoeveel water wordt waarvoor gevraagd?

Het begrip watervraag blijkt een lastiger begrip dan men zou denken. De kwantiteitsvraag van extractiegebruikers, zoals drinkwaterwinning is makkelijk te bepalen: dat wat wordt opgepompt. Maar de vraag van landbouwgebied of natuurgebied is lastiger. Gaat het daarbij om alles wat verdamppt, of specifiek om de 'vraag aan het hoofwatersysteem'. Op dat laatste wordt verderop in dit rapport ingegaan, want die vraag is mede afhankelijk van wat de functies/ sectoren al gratis krijgen: uit de lucht (regen) of via kwel (in Flevoland bijvoorbeeld). Ten tweede geldt dat vaak niet duidelijk is of water nu plantengroei ten goede komt of alleen dient voor peilbeheer: het gaat naar landelijk gebied, maar waar het daar precies blijft?

De absolute kwantiteitsvraag is hier opgevat als: hoeveel is nodig voor een functievervulling, los van waar het water vandaan komt: van boven, van onder, of uit het hoofdsysteem? Als we die vraag uitdrukken in kubieke kilometers kan dat in een grafiek worden gezet om een indruk te krijgen van de verhoudingen (Figuur 3.7). De lastigste sector is dan de scheepvaart: die verbruikt namelijk geen water. Dan is de vraag zeer gering. Maar zonder flinke rivierafvoer is er onvoldoende vaardiepte op de Rijn. Zo geredeneerd vraagt scheepvaart juist het meest.

Verder stellen de functies/ sectoren nog eisen aan de kwaliteit. Daar hebben we hier – alleen ter oriëntatie – een 'rapportcijfer' voor gegeven (zie Figuur 3.7). Ook dat is lastig, want het gaat om zeer veel verschillende kwaliteitsparameters: zout, algen, gifstoffen, etc. Dat neemt niet weg dat je ook in vies water kunt varen, ook in zout water kunt vissen (je vangt alleen wat anders), je een 7-tje wilt om goed te kunnen boeren, maar men voor drinkwater toch wel een 9,5 eist. In dat cijfer is ook verdisconteerd dat natuur, bijvoorbeeld, hoge eisen stelt aan het grondwaterpeilregime.

De figuur toont in ieder geval dat er verschil is tussen veeleisende gebruikers (drinkwaterwinning) en véél eisende gebruikers (het landbouwgebied), en dat natuur op beide vlakken flinke eisen stelt. Dat kan consequenties hebben voor welke sectoren/landgebruiktypen het eerst of het meest van afnemende zoetwaterbeschikbaarheid last zullen ondervinden.



Figuur 3.7 *Indicatief overzicht van de watervraag van sectoren/ landgebruikfuncties in kubieke kilometers per jaar voor een gemiddeld jaar, en van hun kwaliteitseis (rapportcijfer).*

4 Resultaten beschikbaarheidsanalyse: waterbalansen

4.1 Waterbalansen algemeen

Waterbalansen bepalen de beschikbaarheid van water: hoeveel komt Nederland in, hoeveel verlaat het land (Tabel 2.1) en hoeveel wordt tijdelijk opgeslagen. Op de schaal van heel Nederland kunnen dan twee deelbalansen worden beschouwd. Ten eerste is dat de klimatologische – verticale – balans: neerslag versus verdamping (Figuur 2.2).

De rivieren vormen de tweede belangrijke deelbalans, met horizontale instroom via vooral Rijn en Maas, aangevuld met een beetje uit kleinere rivieren en beken³. Dit water komt dus vooral uit het oosten en zuiden, waartegenover een afvoer staat naar zee over de westelijke en noordelijke landsgrens. Dit is de horizontale waterbalans van Nederland (Figuur 2.3).

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

We zullen achtereenvolgens ingaan op de verticale waterbalans (paragraaf 4.2 tot en met 4.4) – met nadruk op het groeiseizoen – en op de horizontale balans van rivieraanvoer en afvoer naar zee (paragraaf 4.5 tot en met 4.8).

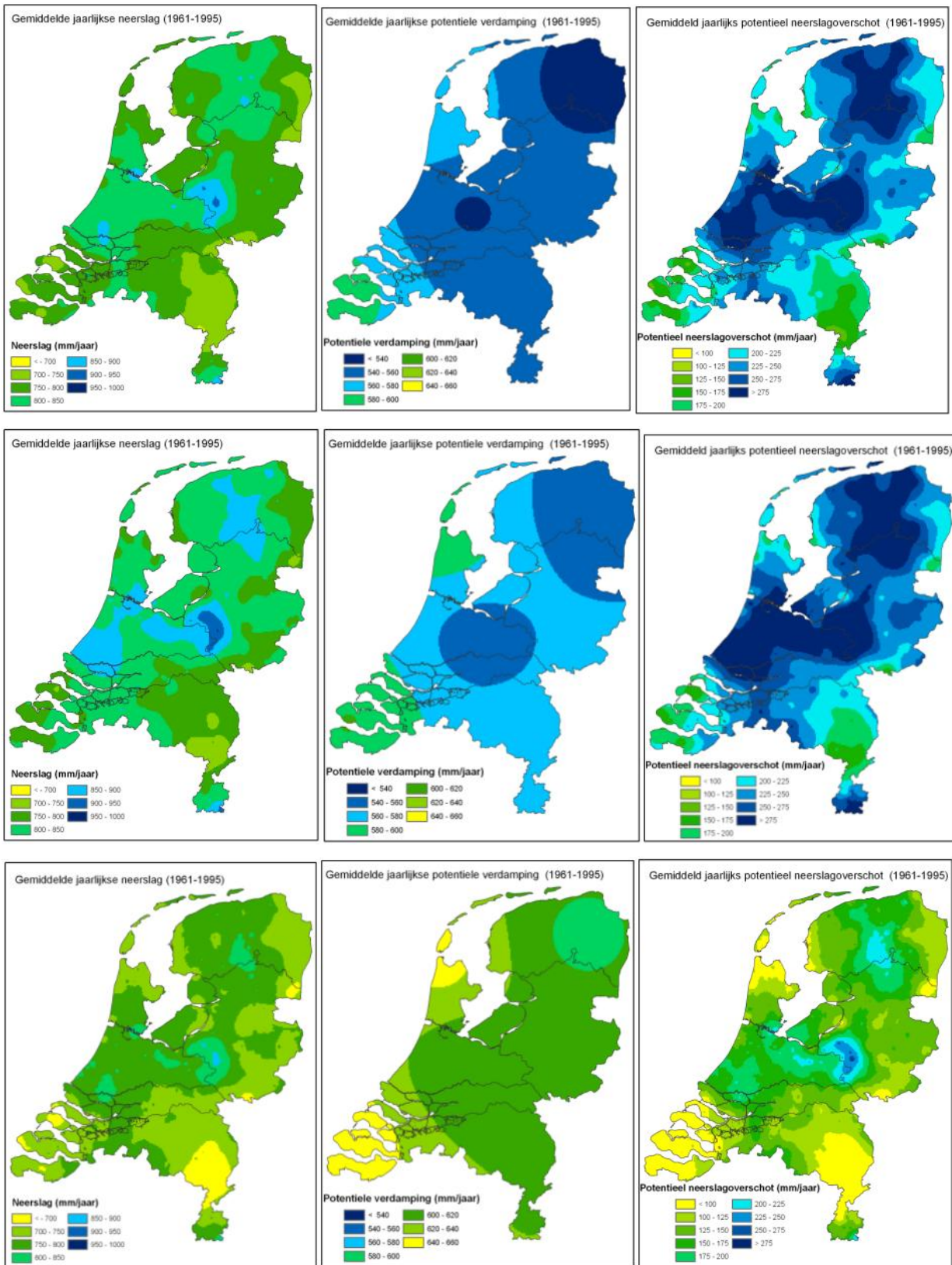
4.2 Neerslag en verdamping: de verticale balans

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

De verticale waterbalans is overal van toepassing, want het regent overal en verdamping treedt ook overal op. Wel zijn er forse regionale verschillen, zoals blijkt uit de gegevens die door het KNMI zijn aangeleverd (Figuur 4.1, bovenste rij). En er zijn grote verschillen tussen seizoenen: 's winters is er een fors neerslagoverschot, 's zomers een verdampingoverschot. In de hoge zandgronden zijt het winterse neerslagoverschot in de bodem, waardoor de grondwaterstanden stijgen. Omdat het grondwater daar diep zit, is dat geen probleem. In poldergebieden stijgt het grondwater dan echter tot boven het maaiveld. Dat leidt tot wateroverlast. Om wateroverlast in natte tijden te voorkomen wordt water afgevoerd en uitgemalen. Daarmee gaat het verloren.

In het zomerhalfjaar is er juist een verdampingoverschot, ook wel neerslagtekort genoemd (Figuur 2.2). Dan wordt de bodem in de wortelzone droger en dalen de grondwaterstanden vrijwel overal. Om dit te beperken wordt 's zomers water aangevoerd uit de grote rivieren en meren.

3. De Schelde en Eems stromen direct in zee en kunnen daarom nauwelijks als instroom naar Nederland worden beschouwd; ze mengen al op de landsgrens met zeewater.



Figuur 4.1 Gemiddelde jaarlijkse neerslag, verdamping en neerslagoverschot in mm in het huidige klimaat (boven), en in 2050 bij scenario G (midden), en W+ (onder) van 35 jaar weer(prognoses).

Door variaties in neerslag en verdamping in de tijd zijn alle jaren verschillend. In deze eerste knelpuntanalyse wordt gewerkt met karakteristieke droogtejaren: gemiddeld, droog en extreem droog, waarvoor respectievelijk de jaren 1967, 1989 en 1976 'model' staan. Voor deze 3 droogtejaren zijn de neerslag en potentiële verdamping weergegeven in Figuur 4.2. De potentiële verdamping is de verdamping die zou optreden als overal gras groeide en dat genoeg water kreeg (Makkink- PE). In werkelijkheid is de verdamping minder, omdat er niet genoeg water is en planten minder groeien; dan spreekt men van de actuele verdamping. Ook groeit natuurlijk niet overal gras.

Uit de grafieken valt af te lezen dat het neerslagtekort inderdaad fors verschilt voor een grofweg 50%, een 10% en een 1% jaar. Maar het valt ook op dat het moment waarop de 'droogte' begint steeds anders is, evenals de duur. In het 'gemiddelde' 1967 begon het droogtetekort in april, was het heel groot in juni en juli en ontstond er in augustus weer een evenwicht. In het 'droge' 1989 was vooral de maand mei extreem droog: al zo droog dat de droogte de hele zomerperiode bleef beheersen. Pas in oktober is er weer een neerslagoverschot. In het 'extreem droge' 1976 was het al erg droog in maart en extreem droog in april. De verdere 'uitputting' van watervoorraden duurde tot en met augustus.

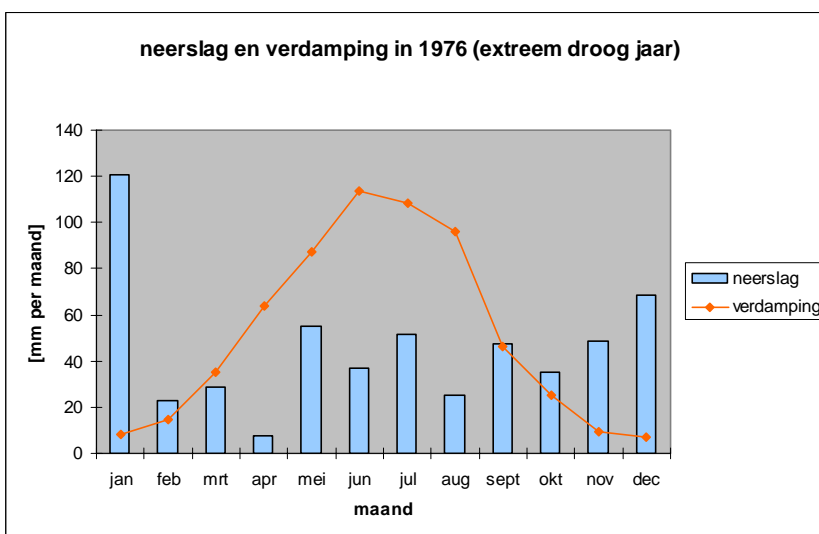
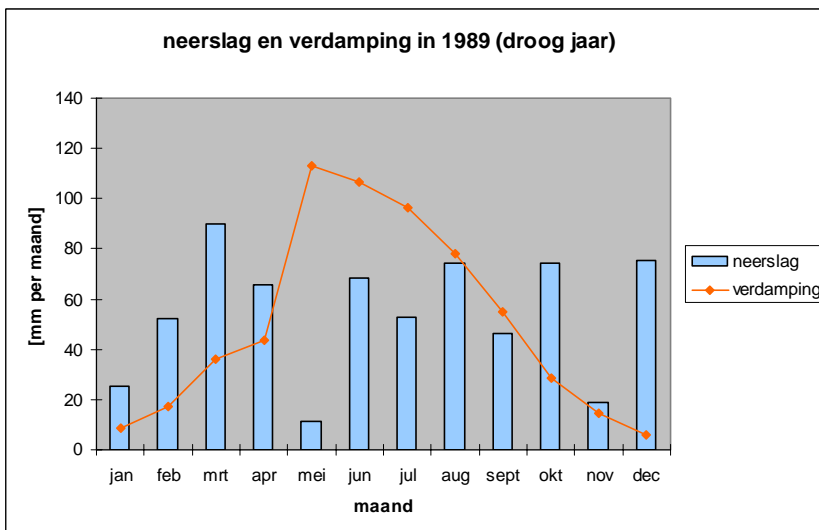
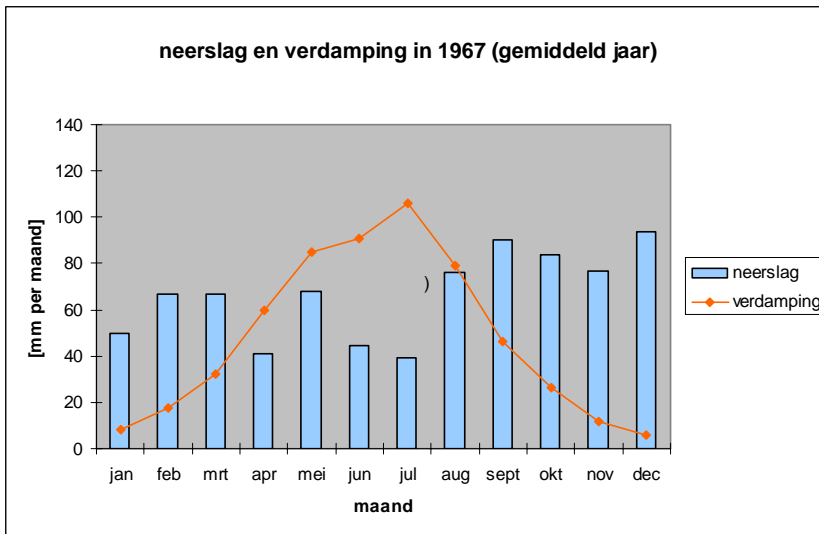
Uit de figuur blijkt ook dat ieder jaar anders is, de keuze van karakteristieke droogtejaren lastig, en het principe van karakteristieke jaren discutabel: er is altijd sprake van een toevalselement en invloed van de 'timing' op de gevolgen voor verschillende sectoren en verschillende teelten. Daar komt bij dat de opeenvolging van verschillende jaren ook in hoge mate toevallig is. Twee of meer achtereenvolgende droge jaren valt niet uit te sluiten.

In het zomerhalfjaar is het meeste water nodig, want dan groeien de landbouwgewassen, dan groeit de vegetatie in natuurgebieden, en dan wordt het meeste water gebruikt (voor douchen, autowassen, tuinsproeien en koeling). Uit het verloop van de neerslag en verdamping gedurende een jaar blijkt al dat in het zomerhalfjaar de waterbeschikbaarheid juist tekort schiet: er is een neerslagtekort.

Omdat er in de winter sprake is van een neerslagoverschot, zou het prettig zijn als dat kon worden opgeslagen. Deels gebeurt dat ook, namelijk van nature in bodemvocht en in grondwater. Maar het grootste deel van het neerslagoverschot wordt afgevoerd naar zee, omdat het ons op dat moment teveel is.

Vervolgens is er in de zomer weer watertekort. Dan wordt eerst de voorraad bodemvocht opgebruikt die via capillaire opstijging wordt aangevuld uit het ondiepe grondwater, er wordt oppervlaktewater aangevoerd naar laaggelegen delen van het land, en in de zandgronden waar dat niet kan wordt de grondwatervoorraad aangesproken. Op deze subsystemen – ondiep grondwater en polderwater, diep grondwater, water uit de rivieren en meren – wordt verder in dit hoofdstuk achtereenvolgens ingegaan.

In Hoog- Nederland is de verticale waterbalans van neerslag en verdamping *doorslaggevend*, omdat neerslag daar de enige aanvoerpost is (zie Figuur 2.6). Dat is dus het geval in Zuid-Limburg, op de zuidelijke, oostelijke en centrale zandgronden en op het Fries-Drents plateau, evenals op een aantal geïsoleerde stuwwallen, in de kustduinen en op de Waddeneilanden.



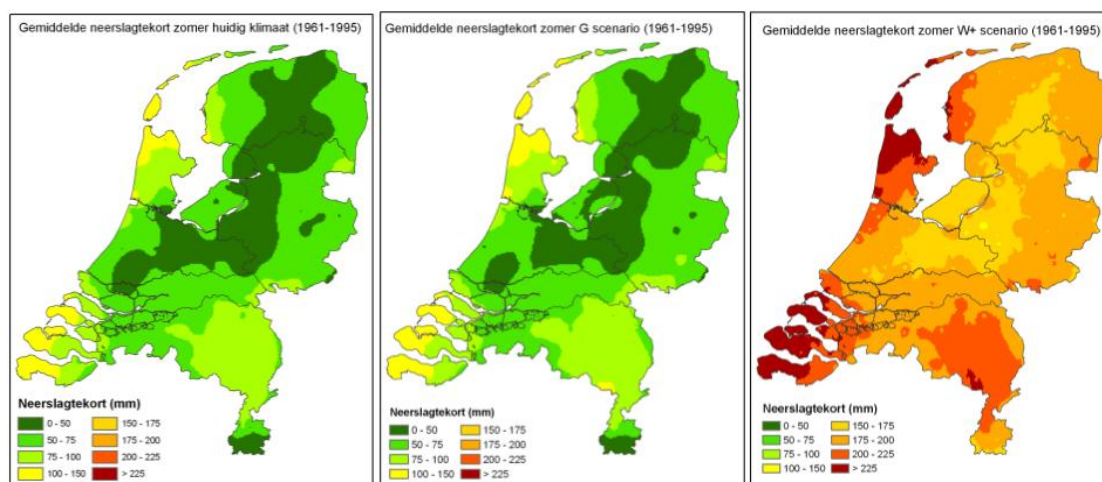
Figuur 4.2 Neerslag en potentiële verdamping de 3 karakteristieke droogtejaren, waarmee de analyses zijn gedaan

4.2.1 Verwachtingen voor de toekomst

In de klimaatscenario's wordt verwacht dat de neerslag in de winter toeneemt. In scenario G met 4% in 2050 en in scenario W+ met 14%. In de zomer neemt door de temperatuurstijging de potentiële verdamping toe, met 3 % in G in 2050 en met wel 16% in W+. In G neemt de zomerneerslag echter ook 3% toe, hetgeen de extra verdamping enigszins compenseert, maar in W+ neemt de zomerneerslag juist met 20% af!

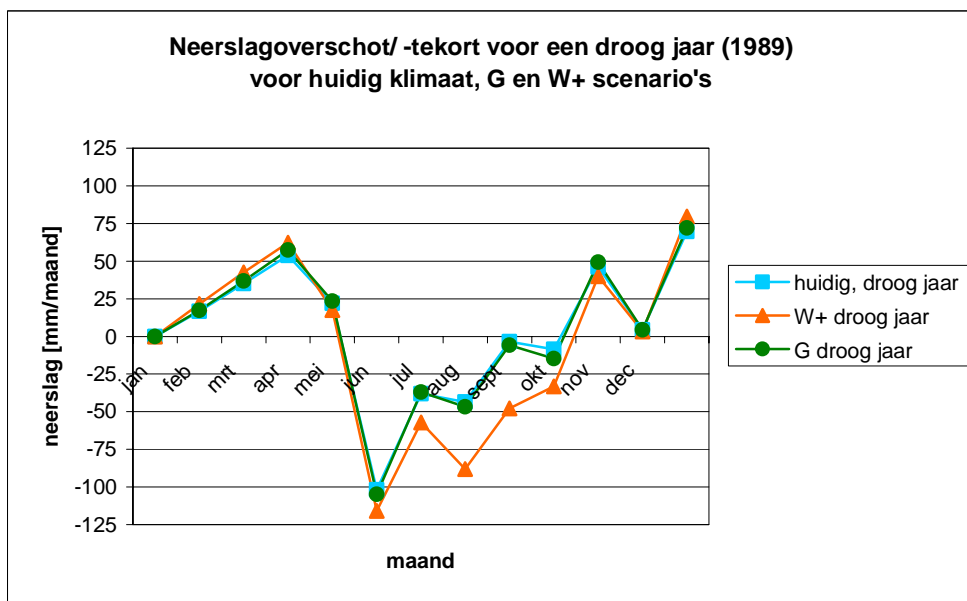
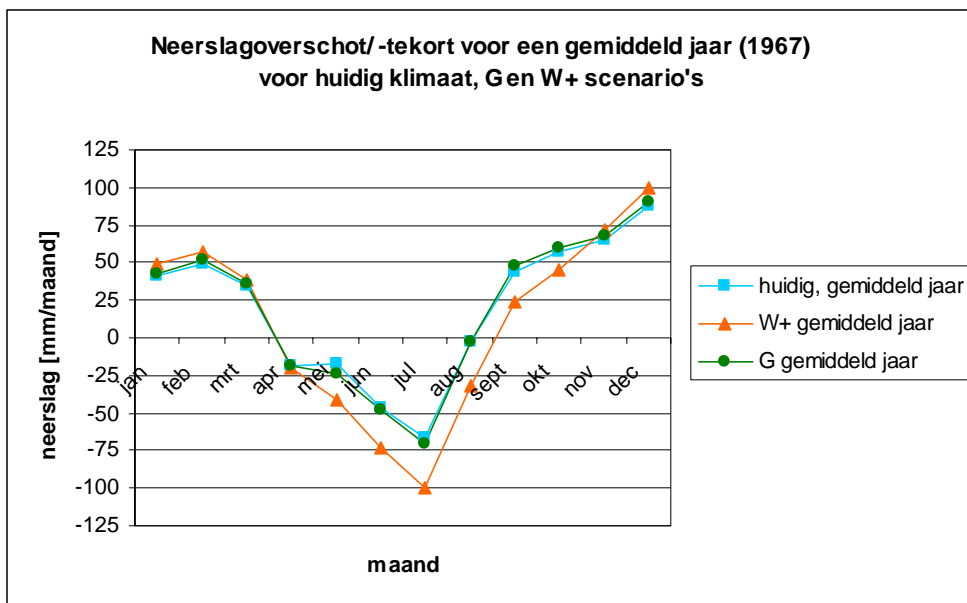
Hoe al deze veranderingen zich ruimtelijk manifesteren is te zien in Figuur 4.1 voor scenario G in 2050 in het midden en voor scenario W+ in 2050 onderaan. We zien dat de verschillen tussen neerslag en potentiële verdamping over het gehele jaar door klimaatverandering vooral in het W+ scenario fors veranderen. Ook de ruimtelijke verschillen nemen toe. Scenario G wijkt daarentegen nauwelijks af van het huidig klimaat.

Hoe het neerslagtekort (potentiële verdamping minus neerslag) zich in het voor de zoetwaterproblematiek relevante *zomerhalfjaar* ontwikkelt is weergegeven in Figuur 4.3, waar het gemiddelde van een 35-jarige reeks is weergegeven. Hier is eens te meer duidelijk dat scenario G in 2050 nauwelijks afwijkt van het huidige klimaat, maar dat scenario W+ een veel drogere zomer oplevert, met forse neerslagtekorten.



Figuur 4.3 Gemiddeld meteorologisch neerslagtekort in het zomerhalfjaar in mm in het huidige klimaat (links), en in 2050 bij scenario G (midden), en W+ (rechts) van 35 jaar weer(prognoses)

De ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort (potentiële verdamping minus neerslag) is natuurlijk ook berekend voor de karakteristieke jaren, voor de beide klimaatscenario's G en W+, op basis van de gegevens die door het KNMI zijn aangeleverd. Ook in Figuur 4.4 is te zien dat het neerslagtekort in 2050 sterk toeneemt in het W+ scenario, maar in het G-scenario nauwelijks afwijkt van dat in het huidige klimaat. Dit geldt zowel voor een gemiddeld jaar als voor een droog jaar.



Figuur 4.4 Het verloop van het potentiële neerslagoverschot/ -tekort (neerslag - potentiële verdamping) in het huidige klimaat en in 2050 bij 2 klimaatscenario's, voor twee karakteristieke droogtejaren.

Het is opvallend dat de toename van de neerslag in het winterhalfjaar nauwelijks is terug te vinden in het berekende neerslagoverschot. Maar veel opvallender is natuurlijk de grote toename van het neerslagtekort in de zomer in scenario W+. Dat effect kan in 2100 nog twee maal zo sterk zijn. Scenario G wijkt qua neerslagoverschotten/ -tekorten nauwelijks af van het huidige klimaat, en zal dat ook in 2100 nauwelijks doen.

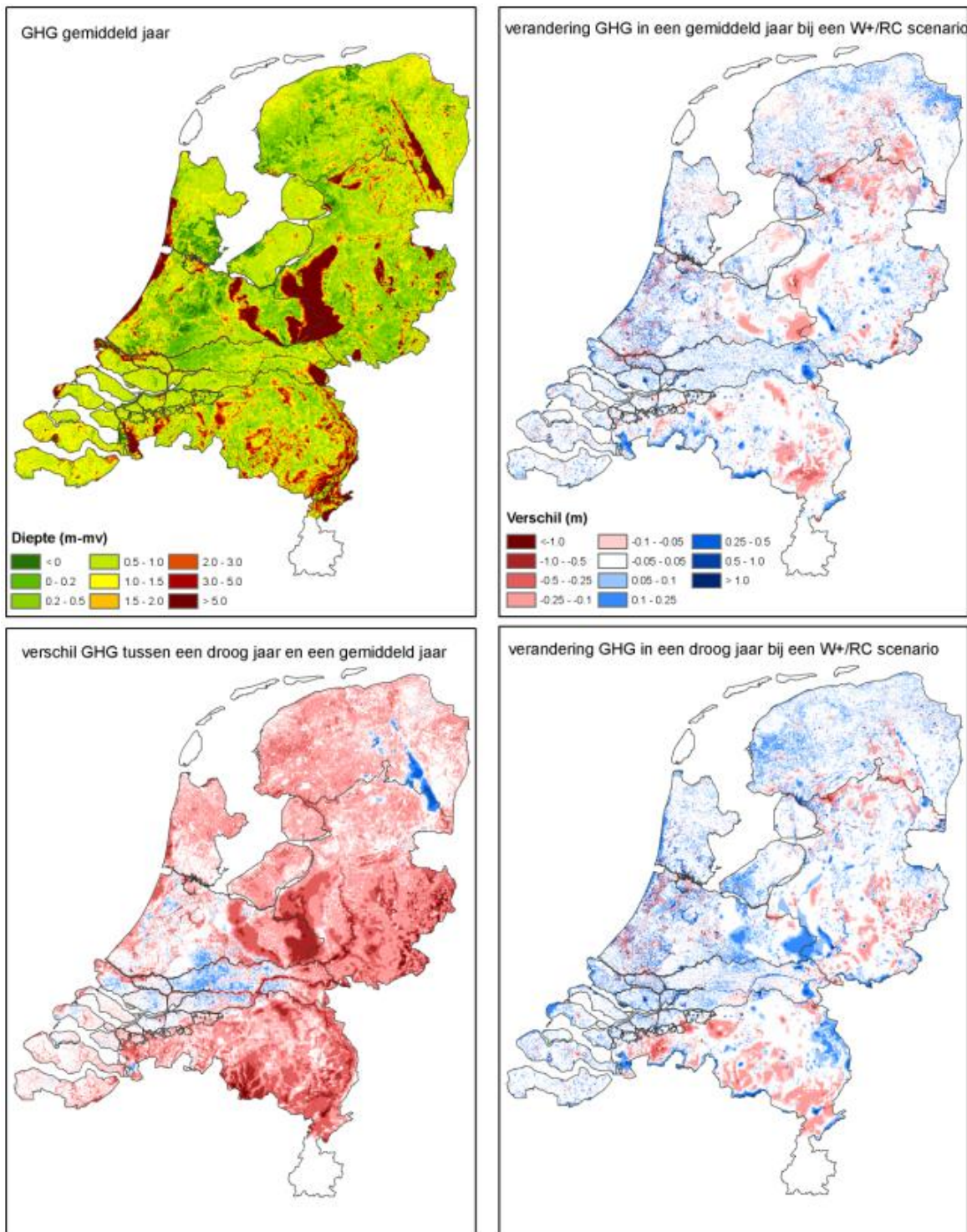
4.3 Polderwateren en ondiep grondwater: de snelle korte buffer

In perioden met neerslagoverschot stijgen de grondwaterstanden in de bodem. Daardoor komt de grondwaterspiegel tussen sloten, greppels of beken *bol* te staan. Het water stroomt langzaam ondergronds naar de sloten, greppels en beken, afhankelijk van de doorlatendheid van de grond. Dit uit zich in de gemiddeld hoogste grondwaterstanden (GHG), die verschillen al naar gelang de bodemopbouw en hoogteligging (Figuur 4.5, links boven). In laagveen- en kleigebieden vinden we ondiepe grondwaterstanden van slechts enkele decimeters onder maaiveld, in de zandgronden relatief diepe op de ruggen en ondiepe in de beekdalen. Zeer diepe grondwaterstanden komen voor in de duinen en in de Pleistocene stuwwallen (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Hondsrug). In een droog jaar is de GHG lager (zelfde figuur, links onder), waarbij overigens opvalt dat ze in het westelijk rivierengebied, de laagveengebieden van West-Nederland en de Hondsrug hoger zijn. Dat kan te maken hebben met het specifieke neerslagpatroon in de 2 vergeleken jaren, maar de precieze verklaring ontbreekt nog.

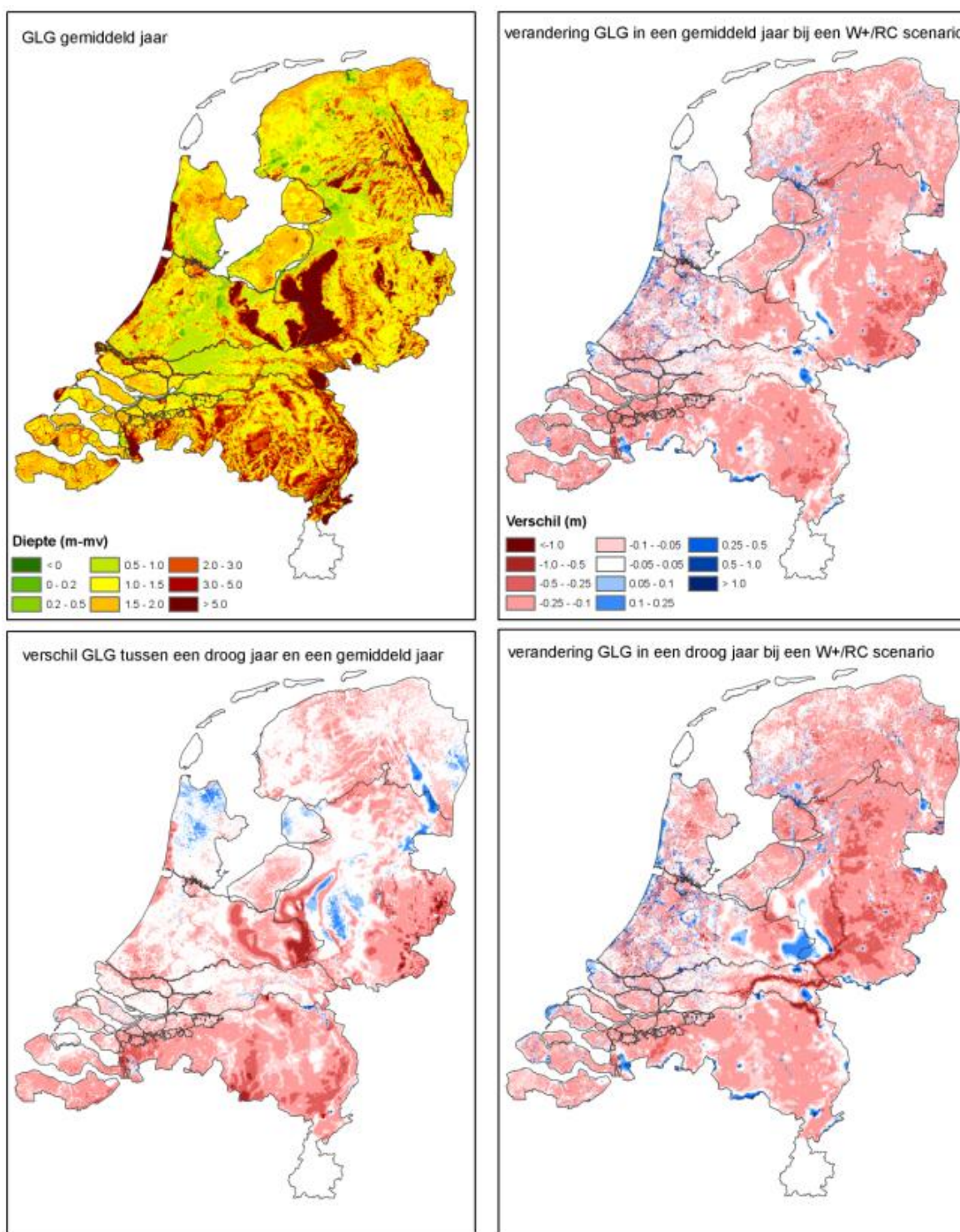
In perioden met neerslagtekort kan grondwater via capillaire opstijging naar de (onverzadigde) wortelzone opstijgen en de gewassen en begroeiing van water voorzien; die verdampen het dan. De grondwaterspiegel kan dan *hol* komen te staan tussen sloten, waarvandaan water in de grond infiltreert. In de hogere zandgronden ontbreken sloten meestal. Greppels zijn daar al drooggevallen en bij langdurige droogte vallen ook de beken soms droog. In de zomer treden de gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG) op. Die verschillen eveneens al naar gelang de bodemopbouw en hoogteligging (Figuur 4.6, links boven). Ze vertonen een vergelijkbaar verspreidingspatroon. In een droog jaar is de GLG natuurlijk ook lager (zelfde figuur, links onder), maar ook hier zien we een anomalie met tot 25 cm hogere GLG's plaatselijk in de noordelijke helft van het land (Kop van Noord-Holland, Noordoostpolder, Hondsrug) en ten westen van de IJssel. De verklaring kan weer in het specifieke neerslagpatroon van de betreffende jaren zitten, maar blijft ook nu ongewis.

In het algemeen is er dus sprake van een tijdelijke buffer van water over de seizoenen: de grondwaterstanden stijgen in de winter en dalen in de zomer. In de zeer hoge gronden van Zuid-Limburg en de hoge zandgronden (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, delen van het Fries-Drents Plateau, delen van Twente) is het grondwater buiten bereik van de plantenwortels. Er vindt ook geen/nauwelijks capillaire opstijging plaats. Daar is dus alleen 'hangwater' beschikbaar voor de planten en gewassen: een kleine buffer voor een korte tijd. Deze situatie is vergelijkbaar met die in grote delen van bijv. Frankrijk, Duitsland, Denemarken, etc. In de lager gelegen 'hogere zandgronden' van Noord-Brabant, Oost-Nederland en het Fries-Drents Plateau kan enige capillaire opstijging plaatsvinden vanuit het grondwater. Daar vormt ook het grondwater nog enige buffer. In peilbeheerste gebieden met veel sloten kunnen ook de sloten nog als buffer fungeren, van waaruit infiltratie kan optreden naar het ondiepe grondwater in het perceel. Dat geeft nog iets meer respijt in de tijd.

Door deze verschillen zien we dat de grondwaterstanden in de hoge zandgronden het sterkst fluctueren met de seizoenen: het verschil tussen de hoogste en laagste grondwaterstanden is groot. In poldergebieden zijn de fluctuaties over het algemeen klein, omdat het slootpeil wordt gehandhaafd. De fluctuaties zijn het kleinst waar ook nog grondwater opwelt.



Figuur 4.5 Gemiddelde van de 3 hoogste berekende grondwaterstanden (GHG) in de huidige situatie voor een gemiddeld jaar (boven, links), de lagere stand in een droog jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar (onder, links), en de daling van beide in 2050 door klimaatverandering conform scenario W+/ RC (rechts, ten opzichte van de evenknie links).



Figuur 4.6 Gemiddelde van de 3 laagste berekende grondwaterstanden (GLG) in de huidige situatie voor een gemiddeld jaar (boven, links), de lagere stand in een droog jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar (onder, links), en de daling van beide in 2050 door klimaatverandering bij scenario W+/RC (rechts, ten opzichte van de evenknie links)

4.3.1 De betekenis van de grondwaterstanden

De betekenis van deze grondwaterstanden voor landbouw en natuur is dat het grondwater in Hoog- Nederland buiten het bereik van de wortels van gewassen en plantengroei is. Omdat daar ook geen water kan worden aangevoerd is de landbouw en natuur daar dus volledig afhankelijk van de zomerneerslag en het bodemvocht dat is overgebleven van de winterperiode. De bodemvochthuishouding bepaalt dus de beschikbaarheid van water voor de gewassen, als niet wordt beregend. De bodemeigenschappen zijn dan heel belangrijk.

In Laag-Nederland is de grondwaterstand over het algemeen zo ondiep dat water door capillaire opstijging de wortelzone kan bereiken. Het ondiepe grondwater speelt dan een belangrijke rol als buffer voor droge perioden. Daar is de beheersing van waterpeilen ook mede voor bedoeld. Door het beheersen van het polderpeil wordt immers ook de grondwaterstand beïnvloed – zij het in zeer beperkte mate – en dus water naar de gewassen gebracht.

We zien in Figuur 4.6 (linksboven) dat de laagste grondwaterstanden in de kleigebieden van Laag-Nederland (Zuid-Holland, Flevoland, Friesland-Groningen) tot meer dan 1,5 m onder maaiveld komen te liggen in een gemiddeld jaar. In een droog jaar is dat nauwelijks dieper (linksonder), vooral door het peilbeheer en doordat het grondwater al deels buiten het bereik van de wortels raakt.

4.3.2 Verwachtingen voor de toekomst

In de beide klimaatscenario's is sprake van een neerslagtoename in de winter. In G is er ook in de zomer een toename, maar in de W+ is de neerslag 's zomers veel minder.

In G neemt ook de verdamping in de zomer toe, waardoor op jaarbasis de extra neerslag slechts tot een marginale toename van het neerslagoverschot leidt (zie Figuur 4.4). Dat betekent dat de grondwaterstanden in scenario G/ GE nauwelijks zullen verschillen van die in het huidige klimaat – inclusief alle variatie tussen jaren en de ruimtelijke verschillen. In W+ ontstaat juist een veel groter neerslagtekort dan in het huidige klimaat.

Wat dat betekent voor de grondwaterstanden is te zien in Figuur 4.5 en Figuur 4.6 voor respectievelijk de hoogste en laagste grondwaterstanden. Beide hebben betrekking op het verschil tussen de huidige situatie en scenario W+/RC.

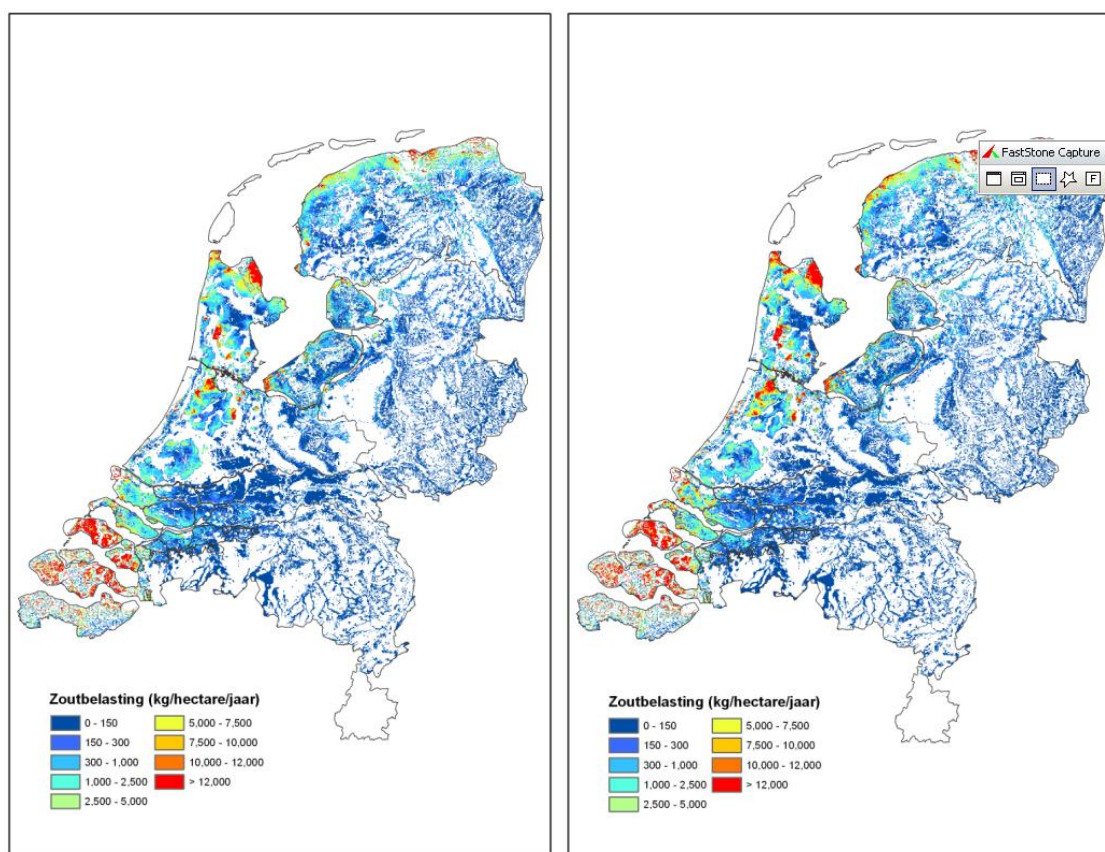
Vergelijk de figuren rechts steeds met het equivalent links en zie: de hoogste grondwaterstanden (Figuur 4.5) in Laag- Nederland worden iets hoger, in Hoog- Nederland dalen ze. Als W+ wordt gecombineerd met sociaal-economisch scenario GE (niet op kaart getoond) dan ontstaan ook nog vele rode 'vlekken' in de zandgebieden van Noord- Brabant en Oost- Nederland, die worden veroorzaakt door de grotere onttrekkingen van grondwater voor de drinkwatervoorziening.

De laagste grondwaterstanden (Figuur 4.6) zijn in het scenario W+/ RC over vrijwel het hele land lager, behalve in de infiltratiegebieden van de Veluwe en andere zeer hoge en droge zandgronden, omdat het grondwater daar de wortels niet kan bereiken en dus niet verdampt. Op de zandgronden is de daling over het algemeen zo'n 10-25 cm, in peilbeheerste gebieden in Laag- Nederland is deze wat minder. Bovendien valt in de figuur van een droog jaar (Figuur 4.6, rechts onder) ook op dat de lage waterstanden in de grote rivieren tot grondwaterstanddalingen gaan leiden. De rivieren beginnen te draineren. Dit is te zien bij de Maas, Waal en IJssel met uitstraling naar de wijde omgeving.

4.3.3 Wat betekent dit voor brakke en zoute kwel? Interne verzilting

De lagere grondwaterstanden leiden tot een groter drukverschil tussen 'buitenwater' en grondwater in de polder. Dat leidt tot een toename van de kwelflux. Een hogere zeespiegel vergroot die druk nog eens extra. En een aanpassing van de polderpeilen aan een dalende bodem vergroot het effect nog meer.

Door de grotere kwelflux komt de zoutgrens – de grens tussen het onderliggende zoute grondwater en de erop liggende zoetwaterbel en -lenzen – in West en Noord-Nederland omhoog. Waar de kwel brak of zout is en het oppervlaktewater beïnvloedt, wordt dat *interne verzilting* genoemd. Een maat voor deze interne verzilting is de zoutbelasting – dat wat de sloten en het ondiepe grondwater 'belast' (Figuur 4.7). Zoutbelasting is niet hetzelfde als de zoutgehalten, want daar speelt verdunning door neerslag en doorspoeling een rol bij. We zien dat de zoutbelasting in de toekomst toeneemt: vergelijk scenario W+/RC met huidig in de figuur. Omdat zoutbelasting met grondwaterstromen samenhangt en dus een langzaam proces is, volstaat het tonen van een gemiddelde.

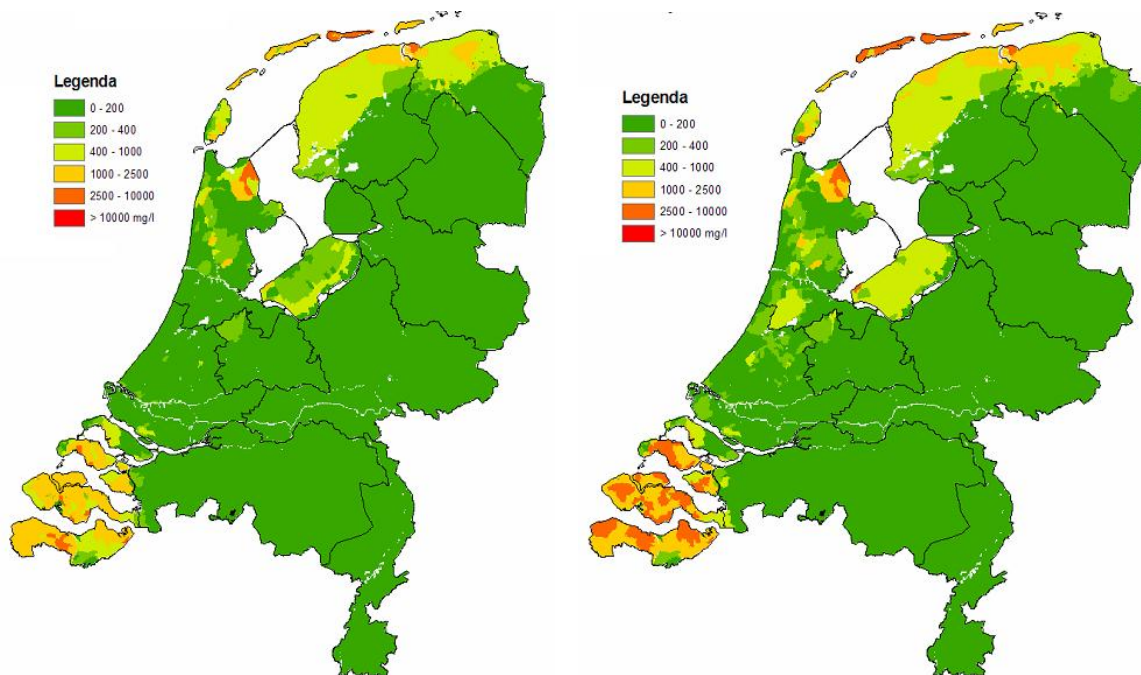


Figuur 4.7 Zoutbelasting vanuit het grondwater (interne verzilting) in de huidige situatie (links) en in 2050 bij scenario W+/RC.

De zoute kwel beïnvloedt het bodemvocht in percelen waar zoetwaterlenzen uitgeput raken, maar stroomt bij voorkeur en dus voor het grootste deel naar de sloten. Zo worden ondiep grondwater en polderwater zouter.

In droge perioden neemt het zoutgehalte in polderwateren toe doordat er meer zoute kwel is en ook het inlaatwater hogere zoutconcentraties kent. In het zomerhalfjaar is er zelfs sprake van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de sloten nog verder toeneemt. Dit alles leidt tot zouter grond- en oppervlaktewater en een toenemende behoefte aan doorspoelen.

De berekeningen die met NHI zijn gedaan gaven geen verandering in het zoutgehalte in de sloten als gevolg van klimaatverandering, terwijl dit wel werd verwacht op grond van eerder onderzoek, praktijkervaring en theorie. Dit is onderkend als een zwakke plek van NHI die verbetering behoeft (memo Joost Delsman). Daarom tonen we in Figuur 4.8 kaarten uit eerder onderzoek, ter indicatie van wat verwacht kan worden. Voor de effectbepalingen landbouw en natuur is in deze eerste knelpuntanalyse overigens wel verder gewerkt met de NHI-resultaten; dit geeft een onderschatting van de effecten van interne verzilting (zie hoofdstuk 5).



Figuur 4.8 Zoutgehalte (mg Cl/l) in de sloten in een droog jaar in het huidige klimaat en bij scenario W+/RC in 2050 (Van Beek et al., 2008).

In Figuur 4.8 zien we voor een gemiddeld jaar in 2050 bij W+ de sloten op de Zeeuwse (schier)eilanden sterk verzilten, en die in Friesland-Groningen, de Flevopolders en de droogmakerijen van de beide Hollanden licht brak worden.

Behalve hogere zoutconcentraties kunnen er in de zomer ook waterkwaliteitsproblemen ontstaan die samenhangen met hoge nutriëntengehalten. Dat leidt tot algenbloei of extreme kroos(varen)groei. Beide waterkwaliteitsproblemen worden bestreden door de sloten en grotere watergangen door te spoelen. Zo wordt de kwaliteit geborgd om gebruik mogelijk te maken voor beregening, veedrenking, recreatie (zwemmen, vissen), etc.

4.4 Het diepe grondwater: de grote langzame buffer

Nederland heeft door de Pleistocene zandondergrond verhoudingsgewijs veel goed doorlatende sedimenten, die als watervoerende pakketten fungeren. Deze watervoerende pakketten worden in hoofdzaak aangevuld ('*recharge*') door inzijging van neerslagoverschotten en geleegd ('*discharge*') door kwelstromen naar laaggelegen gebieden gevolgd door drainage via oppervlaktewateren. Plaatselijk vindt ook inzijging vanuit oppervlaktewater plaats en er is sprake van onttrekkingen door de mens.

Grondwater stroomt traag in vergelijking met oppervlaktewater. De stroomsnelheid is globaal 2-3 ordes (factor 100- 1000) langzamer dan die van oppervlaktewater (sloten halen meters per uur, rivieren wel een meter per seconde). Daardoor reageert het diepe grondwaterpakket veel langzamer op seizoensfluctuaties en variaties in het weer en zelfs op klimaatverandering. Ook verontreiniging dringt door die traagheid slechts langzaam door in het grondwater, maar het duurt ook decennia tot eeuwen alvorens deze weer is verdwenen door verdunning of uitstroom via kwel.

Het landelijk beeld van waar in het huidig klimaat inzijging plaatsvindt en waar kwel, wordt in Figuur 4.9, linksboven, gegeven. We zien inzijging en kwel van maximaal enkele millimeters per dag. Forse inzijging is er in de hoge zandgronden en de duinen, maar ook langs droogmakerijen en polders (Haarlemmermeer en Noordoostpolder). Kwel is er sterk langs de randen van de hoge zandgronden, in de beekdalen en in de diepe polders en droogmakerijen. Linksonder is het verschil van een droog jaar met een gemiddeld jaar gegeven. Dat is miniem. En dat is logisch want de diepe grondwaterstromen reageren langzaam, over meer jaren, en dus nauwelijks op een enkele droge zomer.

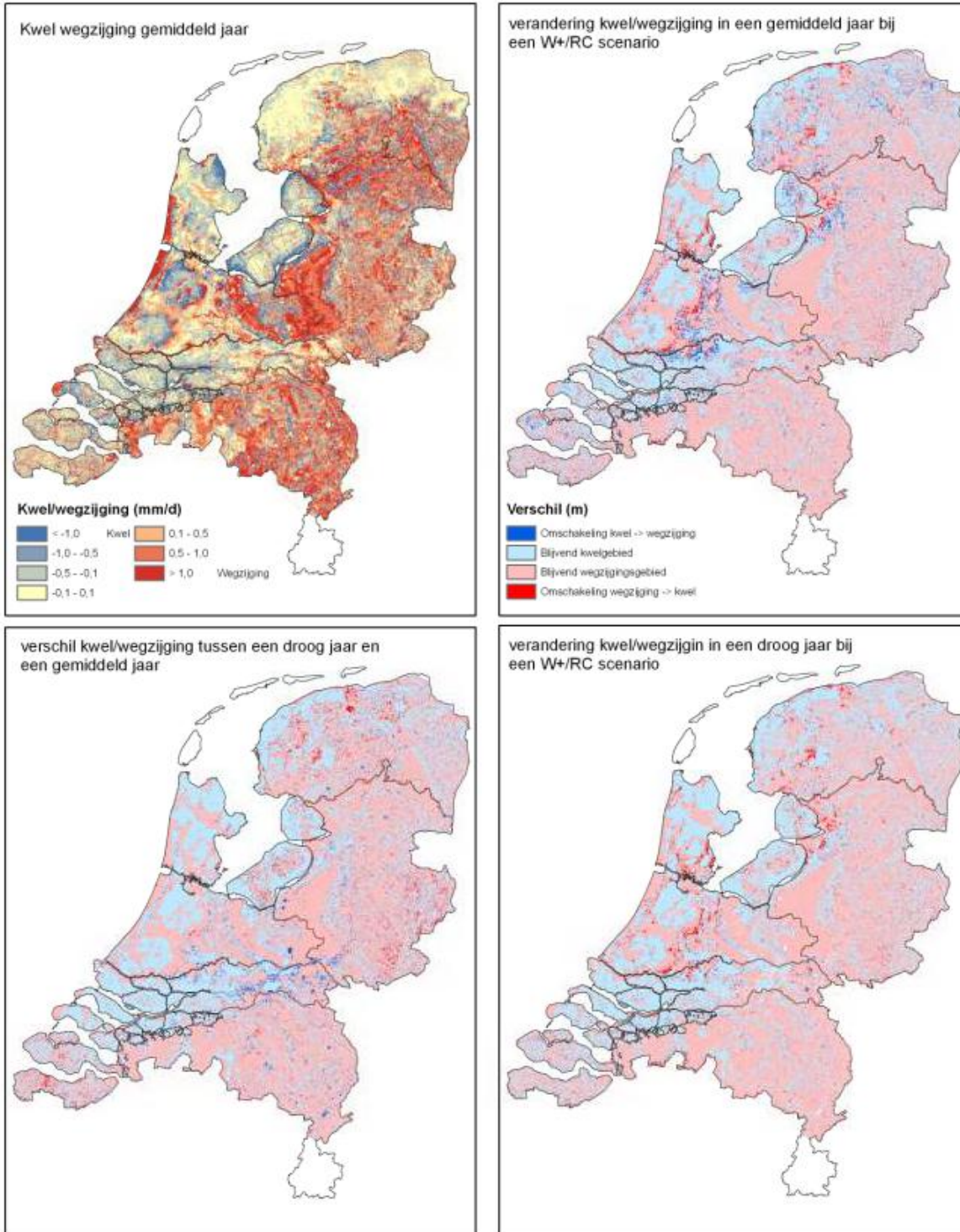
Nederland is dus rijk aan grondwater van goede kwaliteit. De grootste grondwatervoorraden zijn te vinden in de hoge zandgronden van Oost-, Midden- en Zuid-Nederland. De grondwatervoorraad vormt daar een belangrijke buffer. Grondwater speelt de volgende rollen:

- Diep grondwater onder beschermende lagen is een belangrijke bron voor drinkwater en frisdrankproductie;
- Waar het grondwater zoet is, kan het in droge tijden worden gebruikt voor beregening in de landbouw;
- Rond de hoge zandgronden is kwel verantwoordelijk voor de relatief hoge natuurwaarden;
- In Laag-Nederland is kwel van grondwater soms een last vanwege het hoge zoutgehalte.

4.4.1 Verwachtingen voor de toekomst

Hier moeten we onderscheid maken tussen de effecten van de scenario's voor de grondwaterstanden en de effecten voor de grondwaterstromingen (kwel en wegzijging).

Grondwaterstanden op grote schaal reageren zeer traag op klimaatverandering. Voor het berekenen van effecten van klimaatverandering op het grootschalige grondwatersysteem zijn dan ook eigenlijk langjarige berekeningen noodzakelijk, die voor de voorliggende knelpuntanalyse nog niet zijn afgerond. We beschikken dus nog niet over actuele en consistente resultaten. Stuurman *et al.* (2008) hebben echter al eens vergelijkbare berekeningen uitgevoerd, namelijk voor een periode van 30 jaar. Die betroffen alleen het noordoosten van het land waarvoor het gedetailleerde MIPWA model beschikbaar was. Omdat daarbij van andere invoergegevens over neerslag en verdamping is uitgegaan, kunnen die resultaten niet goed vergeleken worden.



Figuur 4.9 Wegzijging naar het diepe grondwater en kwel naar oppervlaktewateren in de huidige situatie in een gemiddeld jaar (links, boven), verschil tussen een droog jaar en een gemiddeld jaar (links, onder), en verschil tussen de situatie in 2050 bij W+/RC en de huidige situatie en het equivalent in de huidige situatie (rechts, ten opzichte van links)

De effecten van toekomstige veranderingen op kwel en wegzijging zijn wel voor de huidige knelpuntenanalyse berekend. Deze zijn te zien in Figuur 4.9 voor scenario W+/RC. Aan de figuren rechts – die het verschil met de huidige situatie weergeven – is de invloed van het klimaat te zien, maar meer nog de invloed van de bodemdaling. Nogal wat wegzijgingsgebieden worden kwelgebied, bijvoorbeeld in de Krimpenerwaard langs de Lek. Ook gaat de nu nog kwellende binnenduintrand bij Haarlem inzigen.

4.5 Rivieraanvoer en -afvoer: de horizontale zoetwaterbalans

De waterbalans van Nederland (Tabel 2.1) liet zien dat de grote rivieren zeer grote hoeveelheden water naar Nederland voeren. Die aanvoer varieert natuurlijk in de tijd en verschilt per rivier.

De Rijn heeft een groot en breed stroomgebied, met forse bijdragen van sneeuwsmelt en grondwater. Het afvoerregime is gelijkmatig, met niet zulke grote verschillen tussen winter en zomer. De Maas is meer een regenrivier; die komt ook uit een kleiner stroomgebied, met veel steile hellingen en ondoorlatende ondergrond. Dat leidt tot een grilliger afvoerregime: grotere verschillen tussen winter- en zomerafvoer. Vergelijk de blauwe lijn (referentie) van de bovenste en onderste grafieken die de maandgemiddelde afvoeren van beide rivieren toont in Figuur 4.10. Waar de Rijn in de zomer nauwelijks onder de 1800 m³/s gemiddeld daalt, zakt de Maas tot onder de 100 m³/s. Overigens is ieder jaar natuurlijk anders; ook dat hoort bij het verschillende karakter van beide rivieren. De Rijn is relatief 'betrouwbaar', de Maas zeer onvoorspelbaar.

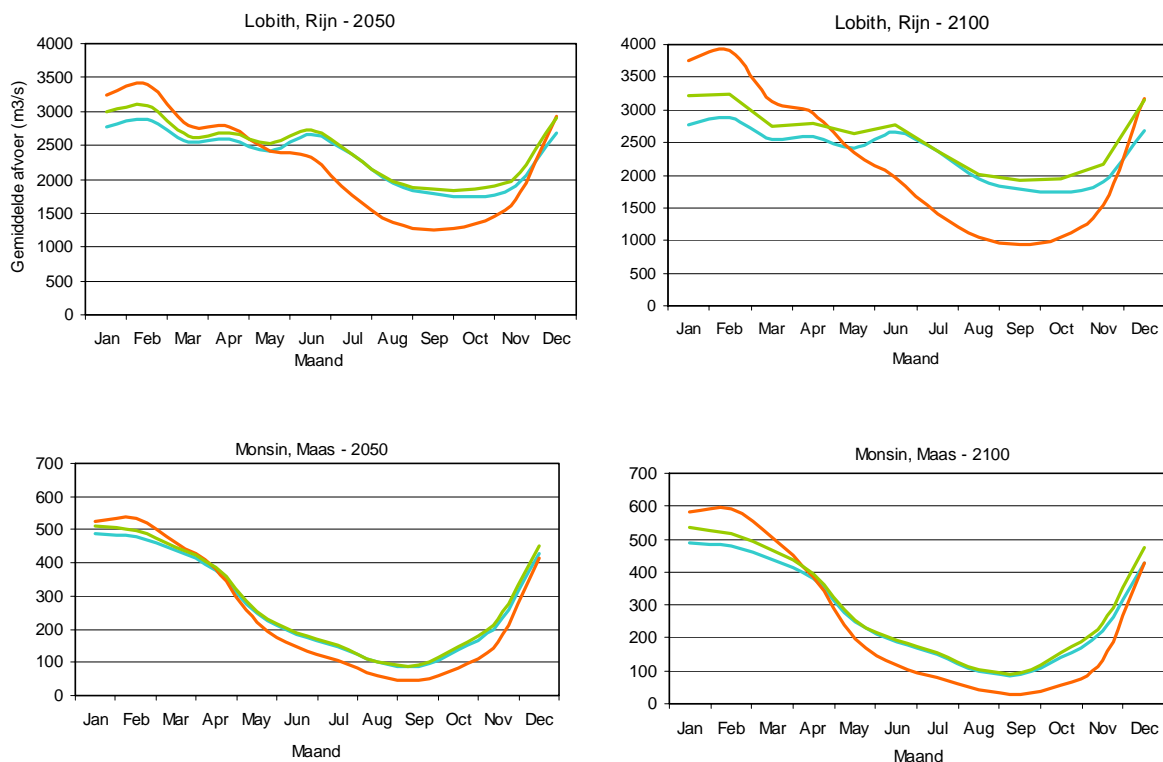
Behalve deze twee grote rivieren zijn er nog kleinere rivieren die water naar Nederland aanvoeren: de Schelde (loopt meteen naar zee), de Overijsselse Vecht, etc. Deze zijn voor de totale waterbalans minder belangrijk.

4.5.1 Verwachtingen voor de toekomst

Er zijn afvoerscenario's gemaakt voor de Rijn en Maas door de KNMI-scenario's voor neerslag en verdamping op de stroomgebieden van deze twee rivieren los te laten in afvoerhydrologische modellen. Zo zijn de rivierafvoerregimes bij een ander klimaat berekend. Figuur 4.10 geeft de berekende maandgemiddelde afvoer in 2050 en 2100 voor de Rijn en de Maas in vergelijking met de huidige. Op vergelijkbare wijze zijn de karakteristieke jaren doorgerekend, maar die resultaten tonen we hier niet.

De figuren laten zien dat beide klimaatscenario's een hogere winterafvoer opleveren. De zomerafvoer wordt in klimaatscenario G niet lager, maar een fractie hoger, terwijl die in W+ sterk afneemt. In 2050 zakten we op de Rijn van gemiddeld 1800 m³/s naar 1300 m³/s, en in 2100 kan de zomerafvoer zelfs dalen tot een maandgemiddelde van minder dan 1000 m³/s.

De Maas voert in de zomer al weinig af, maar ook die geringe afvoer daalt bij W+ nog fors. We zien grofweg een halvering van de maandgemiddelde afvoer in de zomermaanden in 2050, nog verergerend in 2100.



Figuur 4.10 Afvoerregime (maandgemiddelde afvoer in m³/s) van de Rijn (boven) en de Maas (onder) in het huidige klimaat (referentie, in blauw) en in 2050 (links) en 2100 (rechts) bij klimaatscenario's G (groen) en W+ (oranje)

Voor de Rijn is in Tabel 4.1 weergegeven hoeveel dagen een bepaalde minimumafvoer wordt onderschreden. Dat geeft een indicatie van mogelijk vaarbependingen door te weinig vaardiepte. De resultaten in deze tabel wijken af van die in eerder onderzoek (zie bijv. Klijn et al., 2010), omdat de nu gevonden klimaatveranderingen minder ingrijpende gevolgen lijken te hebben en de rivierafvoeren ook minder dalen dan eerder is berekend.

Deze afvoeren zijn vervolgens gebruikt in het landelijk SOBEK-model om de waterstanden op de hoofdrievieren te berekenen (Rijn, Maas, IJssel). Daar wordt in hoofdstuk 5 gebruik van gemaakt bij de bespreking van mogelijke knelpunten voor de scheepvaart.

Tabel 4.1 Berekend gemiddeld aantal dagen per jaar dat een minimumafvoer op de Bovenrijn (bij Lobith) van 1000 respectievelijk 700 m³/s wordt onderschreden op basis van de 35-jarige reeksen voor twee KNMI- 2006 scenario's.

	Huidig	G 2050	W+ 2050	G 2100	W+ 2100
< 1000 m ³ /s	19 (5%)	15 (4%)	54 (15%)	12 (3%)	94 (26%)
< 700 m ³ /s	< 1 (0%)	0 (0%)	10 (3%)	<1 (0%)	34 (9%)

4.6 Wat gebeurt er met de zoet-zoutovergangen in de open verbindingen?

In West Nederland stromen de Rijn en Maas vrij uit in zee. Deels gebeurt dat via de Haringvlietsluizen, en deels via de Nieuwe Waterweg. Door de Haringvlietsluizen op een bepaalde manier te beheren kan zoutindringing via de Nieuwe Waterweg worden voorkomen. Zo beoogt men de zoetwaterinname van Centraal-Holland via Gouda en de Bernisse niet in gevaar te laten komen.

Via de Nieuwe Waterweg staan zoet en zout water echter wel voortdurend rechtstreeks met elkaar in verbinding. Dat is immers een open verbinding. Bij vloed dringt zout water de Nieuwe Waterweg op, bij eb wordt het zout weer teruggedrongen naar zee. Bij zeer lage afvoeren kan het zout ver de rivieren op komen (Figuur 4.11), zeker als dat gepaard gaat met hogere waterstanden op zee. Dan kan in het uiterste geval zelfs zout water via de Oude Maas en het Spui het Haringvliet bereiken.

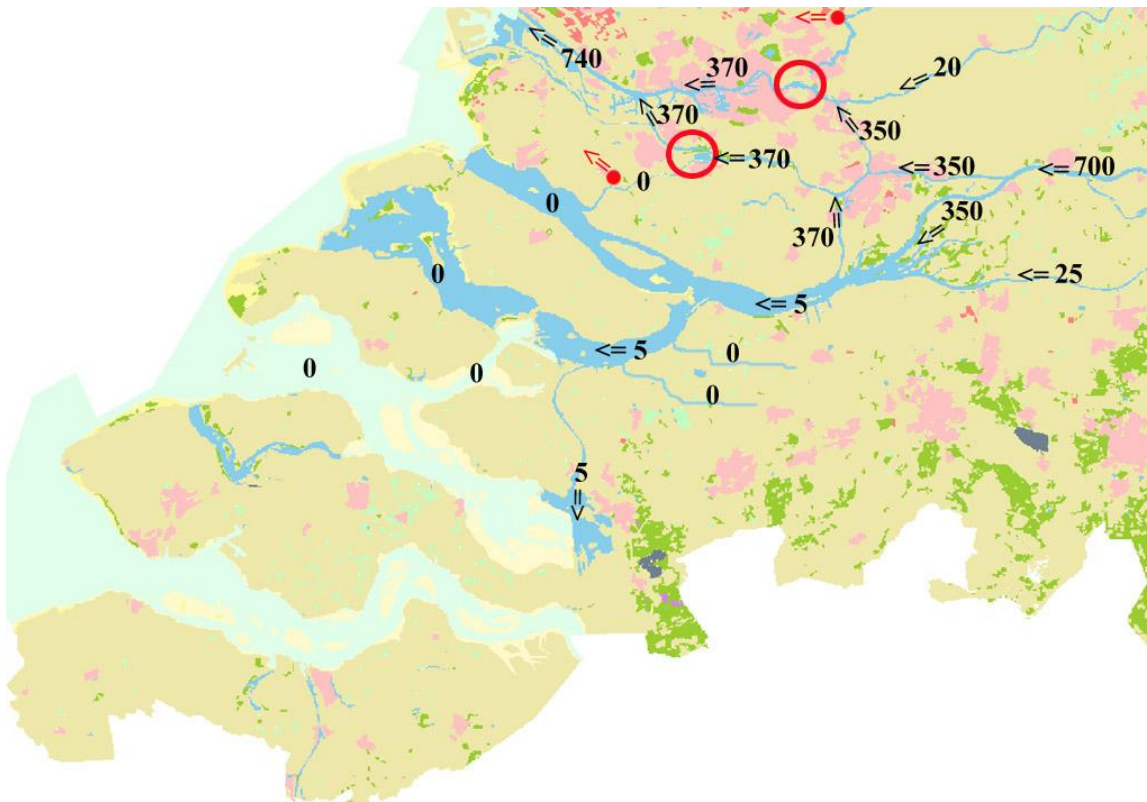


Figuur 4.11 Achterwaartse verzilting tijdens droogteperiode 2003 (RWS-DZH, 2004)

De Haringvlietsluizen functioneren als spuisluisen; er wordt alleen gespuid en geen water ingelaten. Het kierbesluit, dat beoogde een geleidelijke overgang tussen zoet en zout water te realiseren ten behoeve van de visintrek en ecologisch herstel, is door het huidige kabinet teruggedraaid. Daarmee blijft de harde grens bestaan en gaat er alleen water uit, nooit in.

De Haringvlietsluizen spelen een essentiële rol in de verziltingsbestrijding van de Nieuwe Waterweg. Door de Haringvlietsluizen bij (zeer) lage afvoeren te sluiten, wordt het rivierwater naar het noorden geperst en volledig via de Nieuwe Waterweg afgevoerd (Figuur 4.12). Hoe meer water via de Nieuwe Waterweg wordt gestuurd hoe minder groot de zoutindringing is. Dit betekent dat in perioden met lage rivierafvoer bijna de volledige Rijn- en Maasafvoer via de open Nieuwe Waterweg naar zee wordt geleid (Figuur 4.12).

Zo wordt zo lang mogelijk getracht de afvoer over de Nieuwe Waterweg boven de 1500 m³/s te houden. Bij lage en zeer lage afvoeren lukt dat niet meer en treedt zogenaamde *externe verzilting* op. Het water in de rivieren wordt dan zouter en bereikt de inlaatpunten voor drinkwater, industriewater en regionaal waterbeheer (inlaat voor peilbeheer, doorspoelen en beregenen).



Figuur 4.12 Afvoerverdeling in het benedenrivierengebied bij lage rivierafvoeren (Rijn ca 900 m³/s bij Lobith, Maas ca 25 m³/s bij Eijsden). De rode cirkels geven de punten aan tot waar het 'zout' via de Nieuwe Waterweg maximaal mag doordringen om de zoetwateraanvoer (inlaatpunten bij de rode stippen) niet te bedreigen.

Door de landbouw, industrie- en drinkwatervoorziening worden eisen gesteld aan de chlorideconcentraties in inlaatwater of in de sloot. In de praktijk variëren de eisen van maximaal 150 tot maximaal 450 mg/l. Dat is zoet. Voor de drie belangrijkste innamepunten in het benedenrivierengebied geldt:

- 150 mg/l voor innamepunt Bernisse;
- 150 mg/l voor innamepunt Beerenplaat (drink- en industriewater); en
- 250 mg/l voor de innamepunt Gouda.

Alleen onder extreme omstandigheden verzilt de belangrijke innamepunten voor de regionale watervoorziening.

4.6.1 Verwachtingen voor de toekomst

Als gevolg van zeespiegelstijging en lagere rivierafvoeren zal het voorkomen van externe verzilting steeds minder succesvol zijn. Dat is vooral in het scenario W+ het geval, zoals in de vorige paragraaf is vastgesteld. Lage rivierafvoeren worden frequenter en langduriger overschreden. In zulke situaties kan er sprake zijn van een knelpunt, namelijk als de kritische grenzen voor inlaatwater worden overschreden.

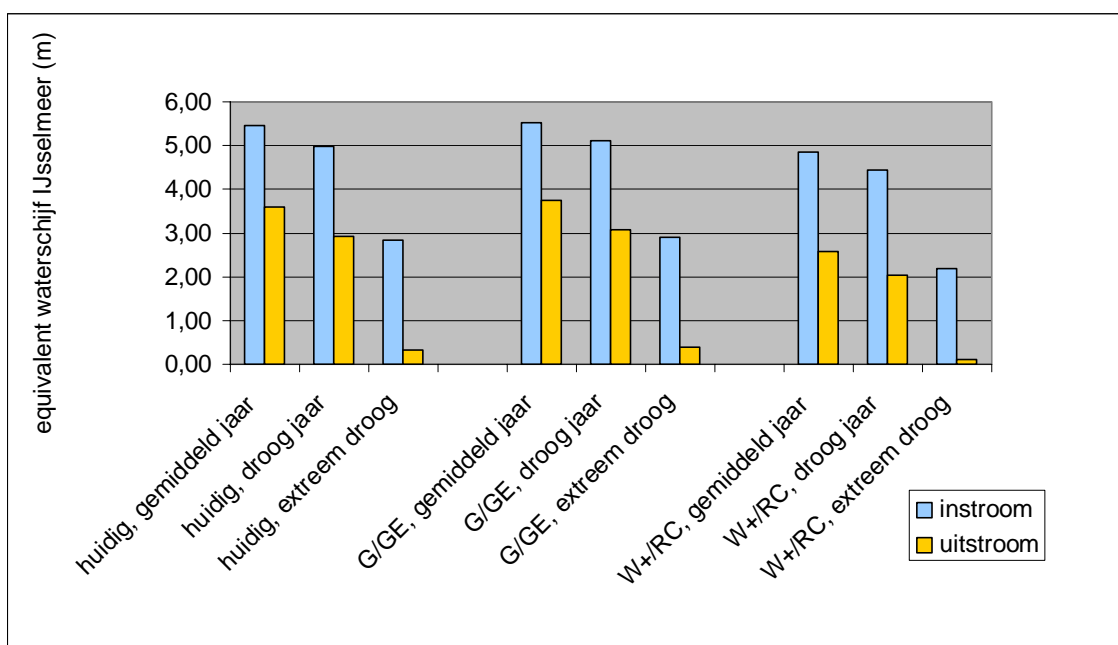
In hoofdstuk 5 zal uitgebreid ingegaan worden op de inlaatpunten Gouda en Bernisse, reden om er hier niet verder op in te gaan.

4.7 Het waterpeil van grote zoete meren

Het IJsselmeer – en in mindere mate het Markermeer en de randmeren – vormen een belangrijke buffer voor de waterbehoefte van Noord- Nederland. Het IJsselmeer werkt als een ‘stromende voorraad’, met een instroom vanuit de rivieren en een uitstroom naar de Waddenzee.

Friesland-Groningen, Drente en delen van Overijssel, Flevoland en Noord-Holland gebruiken IJsselmeerwater voor peilbeheer en landbouwwatervoorziening. Tevens wordt water uit het IJsselmeer gebruikt voor de doorspoeling van de boezemwateren en om het Noordzeekanaal zoet te houden. Daarom wordt met een klein debiet doorgespoeld richting IJmuiden, tegen lekverliezen bij de sluizen.

Het IJsselmeer ontvangt vooral water van de IJssel, met kleinere bijdragen van de Vecht en vanuit de omliggende regio's via beken en poldergemalen. Dit vormt de instroom. Teveel water wordt via de spuisluizen in de Afsluitdijk afgevoerd naar de Waddenzee. Dit is de uitstroom. Voor het gehele zomerhalfjaar (april t/m september) opgeteld gaat het bij de instroom en uitstroom om verscheidene meters in ‘equivalent waterschijf IJsselmeer’. Dat wil zeggen: de schijf die zou ontstaan als alle water op alleen het IJsselmeer zou worden opgeslagen (Figuur 4.13).



Figuur 4.13 Instroom- en uitstroom naar en uit het IJsselmeer, Markermeer en randmeren, uitgedrukt als equivalent waterschijf (m), in verschillende karakteristieke jaren voor het huidig klimaat en scenario's G/GE en W+/RC in 2050.

Links in Figuur 4.13 is te zien dat de instroom in het huidige klimaat meestal meer dan 5 m is. Dat is ook het geval in een droog jaar (1/10 jaar), maar loopt terug tot 3 m in een extreem droog jaar (1/100 jaar). De uitstroom komt in een droog jaar nog overeen met 3 m waterschijf, maar is in een extreem droog jaar slechts enkele decimeters.

Het verschil tussen instroom en uitstroom is – in potentie – beschikbaar voor ‘nuttige toepassing’, zoals verspreiding door Noord- Nederland. Om de beschikbare waterschijf precies te berekenen moeten echter eerst nog twee ‘verliesposten’ worden verdisconteerd: een deel van het water zal gewoon verdampen en een deel zijgt weg naar de ondergrond en kwelt weer op in de diepe polders eromheen. Het gaat voor verdamping om een ‘equivalente waterschijf’ van zo’n 0,2 tot 0,35 m, en in een extreem droog jaar wel 0,6 m. En de grondwaterstroming naar de polders is goed voor een verlies van 6 cm in 6 maanden, onafhankelijk van het weer.

Voor het Volkerak -Zoommeer zou een vergelijkbaar verhaal kunnen worden gehouden, maar hier wordt juist een beslissing voorbereid over het eventueel weer zout maken van het systeem. Hier gaat het om een veel kleiner meer, met veel geringere in- en uitstroom en een veel kleiner voorzieningsgebied. We gaan er hier niet verder op in, omdat er een aparte studie naar loopt.

Voor het Haringvliet- Hollands Diep en aanliggende wateren geldt een ander verhaal, want dat is niet volledig afgesloten. Het water stroomt vrij uit naar zee via de Nieuwe Waterweg. Op dat gebied is hiervoor al ingegaan.

4.7.1 Verwachtingen voor de toekomst

Wat de klimaatverandering en socio-economische veranderingen voor de balans van het IJsselmeerpeil betekenen, is op delfde manier berekend. De resultaten zijn eveneens weergegeven in Figuur 4.13, voor het jaar 2050. In het midden van de figuur zijn de resultaten voor klimaatscenario G/GE weergegeven en aan de rechterzijde die voor scenario W+/RC.

We zien dat in 2050 bij G/GE er iets meer water instroomt en iets meer uit. Dat heft elkaar op, zodat er geen consequenties voor de balans zijn. Ook de beschikbare waterschijf die is berekend, wijzigt nauwelijks (enkele centimeters op een totaal van 1,6 tot ruim 1,8 m equivalente waterschijf).

Bij scenario W+/RC zien we dat in een gemiddeld en droog jaar de instroom in het zomerhalfjaar fors kleiner is. De uitstroom is ook veel kleiner en in een extreem droog jaar zelfs bijna nihil. Dat wil zeggen dat alle water binnenlands blijft.

De crux bij dit alles ligt natuurlijk in het verloop van het IJsselmeerpeil gedurende de tijd. Die hangt ook af van de watervraag. Daarop wordt ingegaan in het volgende hoofdstuk, over de knelpunten.

4.8 Verdeling van water over Nederland

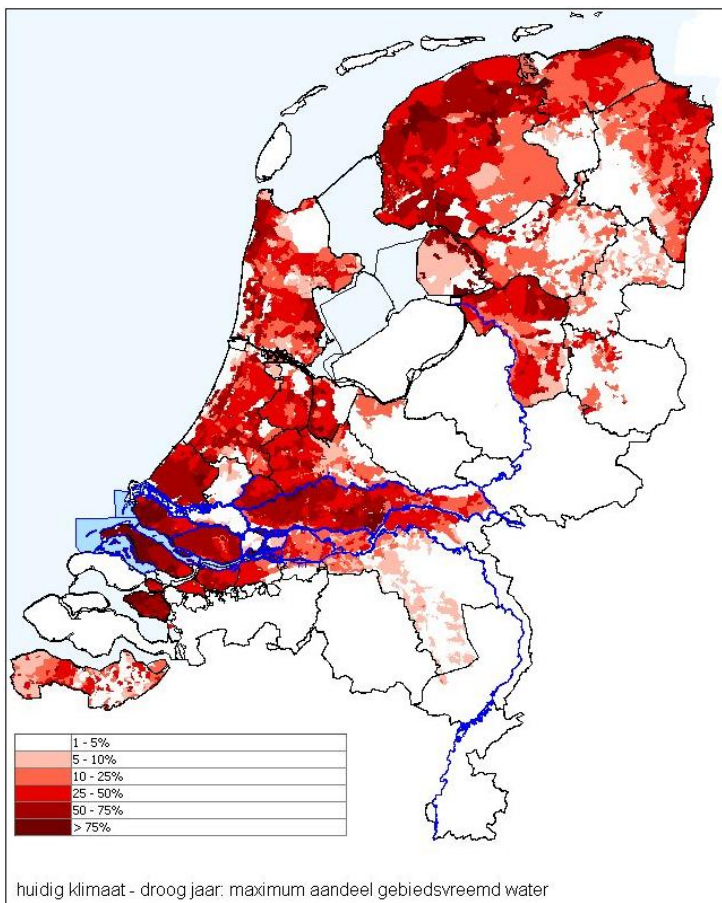
In perioden van neerslagtekort, dalende grondwaterstanden of slootpeilen en/of bij oplopende zoutgehalten in de sloten wordt water uit het hoofdsysteem (de grote rivieren en meren) ingelaten in kanalen, boezemwateren en polders (Figuur 4.14). Met die wateraanvoer wordt beoogd het waterpeil te handhaven, de zoutgehalten voldoende laag te houden (doorspoeling) en eventuele irrigatie mogelijk te maken.



Figuur 4.14 Het waterverdelingsnetwerk in Nederland vanaf de grote rivieren, met onder andere de Zuidwillemsvaart- Mark-Vliet in Brabant, de Drentse Hoofdvaart naar het noorden, de Friese Boezem met het Margrietkanaal-Van Starckenborghkanaal en de vele boezemwateren in Holland (Droogtestudie, 2005).

WATERAANVOER kan natuurlijk alleen in gebieden waar dat fysiek mogelijk is, omdat de infrastructuur voorhanden is. Waar dat mogelijk is laat Figuur 4.15 zien; deze geeft het percentage gebiedsvreemd water voor een extreem droog jaar in de huidige situatie.

Na de droge zomers van 1976 en 2003 zijn beleidsanalytische studies verricht om vast te stellen of het nut had de aanvoermogelijkheden te vergroten (PAWN-studie, Pulles, 1985; resp. Droogtestudie en Van Beek et al., 2008).



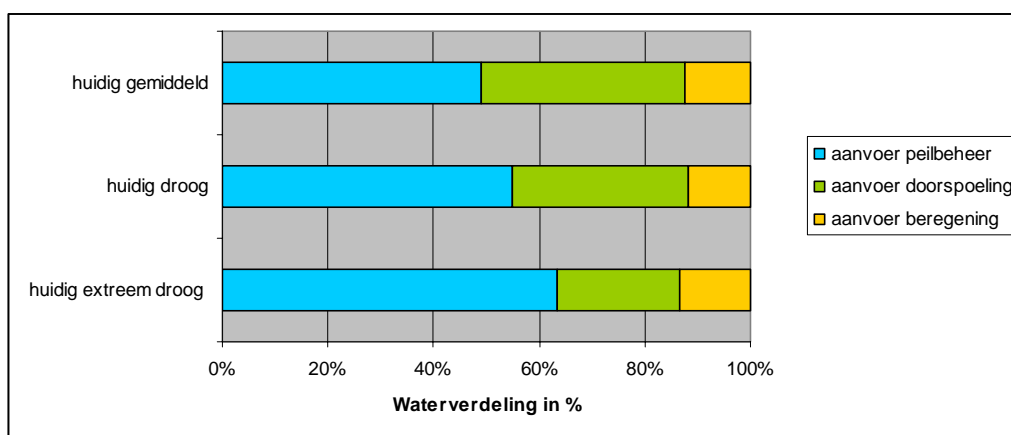
Figuur 4.15 Maximaal percentage 'gebiedsvreemd' water (t.o.v. het totaal) in het zomerhalfjaar een droog jaar in het huidige klimaat. Dit geeft een indruk van waar aanvoer van water uit het hoofdwatersysteem mogelijk is.

4.8.1 Waarom wateraanvoer? Doelen

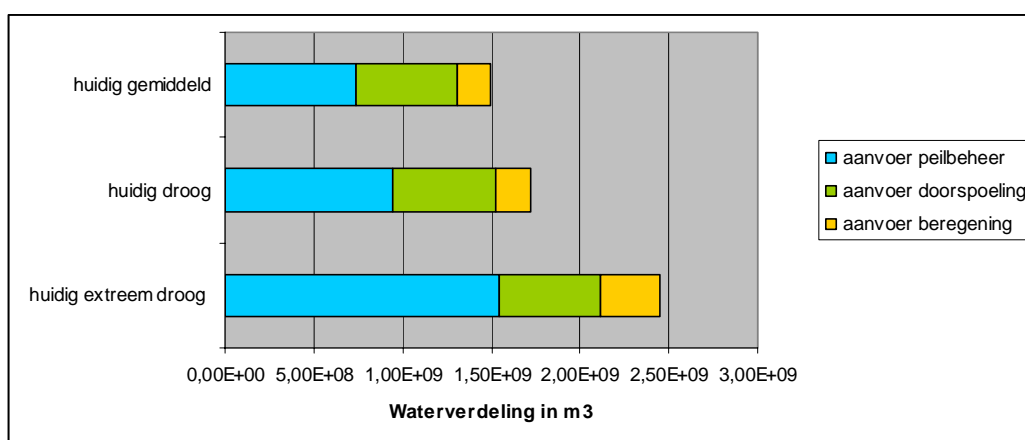
Het hoofddoel van de verdeling van water uit het hoofdwatersysteem over regionale wateren en polders is het handhaven van het waterpeil in de sloten. Met peilbeheer wordt voor alles beoogd te voorkomen dat schade aan kades en oevers ontstaat, klink van de bodem optreedt, heipalen rotten, funderingen verzakken, etc. Zulke schade kan heel groot zijn en is deels irreversibel. Het voorkomen van zulke irreversibele schade wordt als van collectief belang beschouwd. Het geldt voor landelijk, stedelijk en natuurgebied.

Het tweede oogmerk is het garanderen van een waterkwaliteit die gebruik door veel verschillende gebruikers toestaat. Dan gaat het om doorspoeling. Het doorspoelen van polderwateren gebeurt vooral om deze niet te zout te laten worden, waardoor het gebruik voor beregening door de landbouw of andere doeleinden onmogelijk wordt, maar ook om de nutriëntentoestand van de polder- of boezemwateren te verlagen en zo kroesgroei te beperken en algengroei te voorkomen. Dat laatste is ook een collectief belang.

Daarna gaat het om wateraanvoer voor allerlei sectoren en gebruikers, deels individueel, deels commercieel, deels 'nuts'-georiënteerd. Het gaat daarbij om zeer veel verschillende gebruikers, die deels al zijn besproken in hoofdstuk 3. Water wordt echter niet aangevoerd voor natuur langs grote wateren: die is gewoon. Net als recreatie langs grote wateren, of binnenvisserij. Die hebben wel een groot belang bij een goede waterkwaliteit respectievelijk een goede ecosysteemkwaliteit, maar wateraanvoer naar de regio specifiek voor ondersteuning van die functies is onwaarschijnlijk.



Figuur 4.16 Procentuele verdeling van aangevoerd water over de drie hoofddoelen van wateraanvoer uit het hoofdwatersysteem, in de huidige situatie (huidig klimaat) in drie verschillende karakteristieke droogtejaren.



Figuur 4.17 Hoeveelheden aangevoerd water per hoofddoel, in de huidige situatie (huidig klimaat) in drie verschillende karakteristieke droogtejaren.

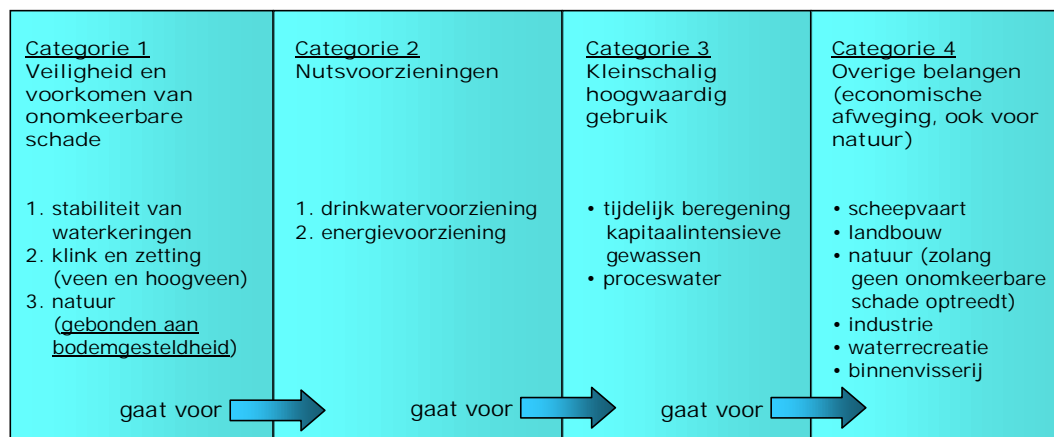
De verdeling van aangevoerd water over deze drie hoofddoelen van het regionaal waterbeheer is weergegeven in Figuur 4.16; daaruit blijkt dat hoe droger de zomer, des te meer water naar peilbeheer gaat, terwijl doorspoeling in procenten steeds minder krijgt. In absolute hoeveelheden ligt dat natuurlijk anders: doorspoeling blijft dan ongeveer gelijk (Figuur 4.17).

De volgorde waarin alle verschillende gebruikers water krijgen aangevoerd is door het beleid vastgelegd in een 'verdringingsreeks'. Omdat dat de kern is van het beleid over de waterverdeling, wordt daarop nog wat verder ingegaan.

4.8.2 De verdringingsreeks

Voor droge en extreem droge perioden is een 'verdringingsreeks' opgesteld (Figuur 4.18), waarin is vastgelegd welke vrager het eerst en welke het laatst gekort wordt op water als er te weinig beschikbaar is. Deze 'verdringingsreeks' treedt in werking in zeer droge jaren – zoals 2003 – als niet alle watervragers van de gevraagde hoeveelheid water kunnen worden voorzien. De maatschappelijk belangrijkste functies krijgen dan voorrang.

In deze reeks staat peilbeheer bovenaan, omdat dalende waterpeilen in polders tot irreversibele schade aan infrastructuur (kades, wegen, heipalen) kunnen leiden. Ook koelwater voor de energievoorziening staat hoog. Daarentegen worden enige opbrengstverliezen in de landbouw en in andere economische sectoren als 'noodzakelijkerwijs te accepteren' beschouwd, of er wordt een beroep gedaan op het eigen initiatief van deze sectoren om tijdelijk andere bronnen aan te boren.



Figuur 4.18 De verdringingsreeks. Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade (www.droogtestudie.nl).

De verdringingsreeks is gefundeerd in onderzoek en berust op ampele overwegingen over wat meer en wat minder belangrijk is. Daardoor kan de reeks ook als richtlijn dienen voor de volgorde van bespreking van knelpunten in het volgende hoofdstuk: als er voor categorie 4 een tekort aan water is, is dat *vervelend*, maar als er voor categorie 1 tekort is, is het *heel erg*. Deze denklijn is gevolgd voor het vaststellen van de volgorde waarin in hoofdstuk 5 de knelpunten worden besproken.

4.9 Overzicht: hoeveel water is beschikbaar per waterhuishoudkundige regio?

Na de deelbalansen en de waterverdeling door Nederland in het voorgaande kort te hebben behandeld, kunnen we nu komen tot een algemene indruk van de totale waterbalans in het zomerhalfjaar in de verschillende waterhuishoudkundige regio's (Figuur 2.14).

We geven deze 'gebiedsbalansen' zoals die zijn berekend met het NHI (deltamodel)⁴ voor het huidige klimaat en voor de deltasenario's, om een indruk te krijgen van de ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid als functie van klimaatverandering en vraagverandering. Immers, zoals de watervraag van de sectoren mede wordt bepaald door toegenomen verdamping bij klimaatverandering, wordt de waterbeschikbaarheid mede bepaald door groter verbruik bij die gestegen vraag, die weer mede afhankelijk is van socio-economische verandering. Omdat scenario G/GE nauwelijks afwijkt van het huidige klimaat wordt dat scenario hier niet getoond, en evenmin worden de verschillen tussen verschillende karakteristieke jaren getoond.

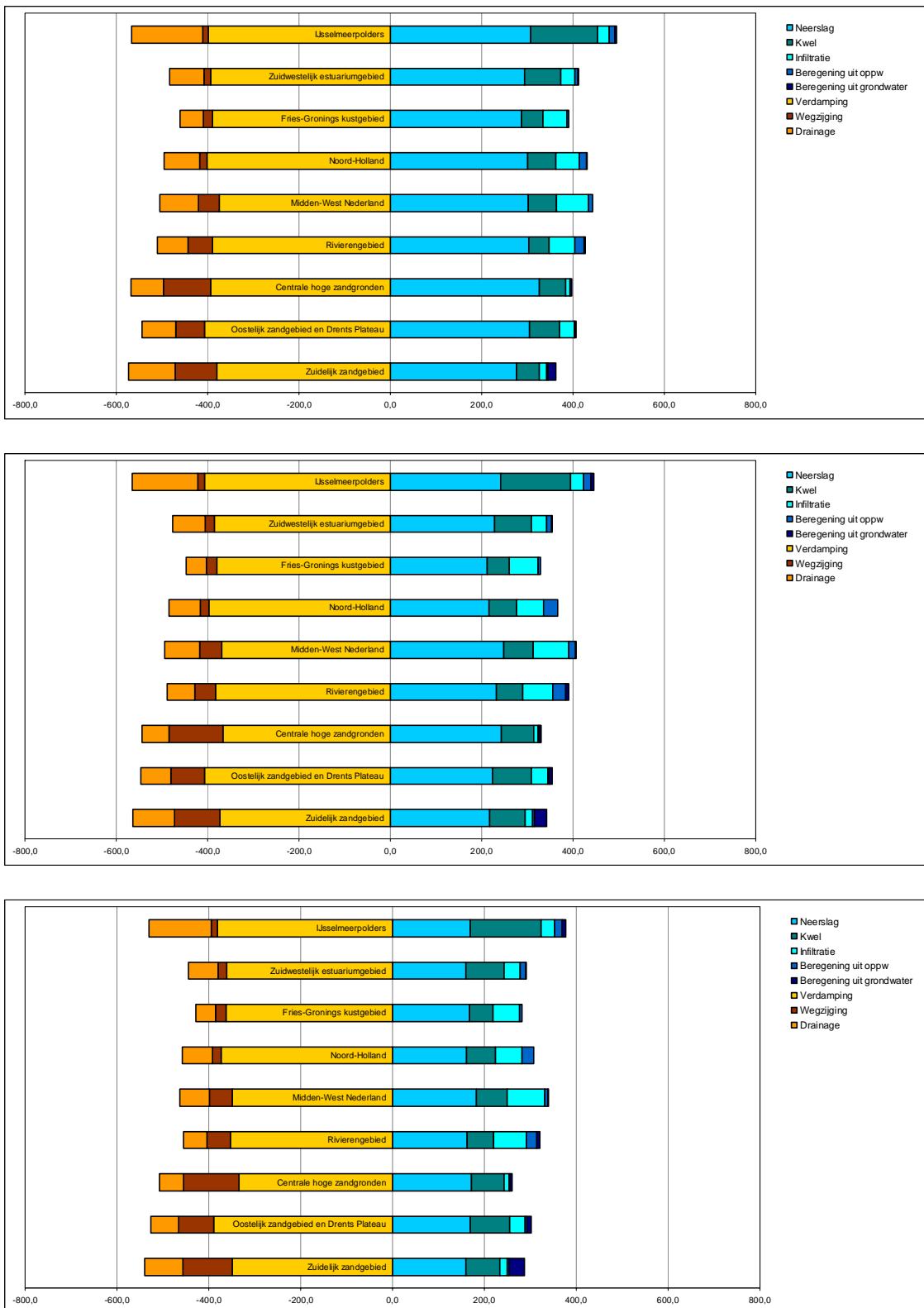
De balansen zijn uitgedrukt in mm waterschijf over het gehele oppervlak van de waterhuishoudkundige regio's. De eerste twee posten op de balans zijn dan neerslag en verdamping, want omdat neerslag en verdamping overal optreden zijn dit de grote posten. Ten tweede staan kwel vanuit het diepe grondwater en wegzijging naar de diepere ondergrond tegenover elkaar. Deze beide posten op de 'gebiedsbalans' zijn in sommige gebieden in evenwicht, namelijk als het water op de ene plaats inzigt (bijvoorbeeld in dekzandruggen) en iets verderop (bijvoorbeeld in beekdalen) weer opwelt. Ten derde staat infiltratie uit oppervlaktewater de grond in tegenover drainage van wateroverschotten die uit het gebied worden afgevoerd, al dan niet door bemaling. Tenslotte kan water behalve door infiltratie ook nog door beregening in de grond worden gebracht, hetzij uit het aangevoerde oppervlaktewater, hetzij uit grondwater. Deze laatste post op de 'gebiedsbalansen' is daarmee feitelijk niet goed te plaatsen: soms is het een extra aanvoer (oppervlaktewater), soms eerder een afvoerpost (onttrekking uit grondwater). Vooralsnog is dit onderscheid niet gemaakt en is deze post bij de 'in-posten' geplaatst, tot nadere overweging. Daarbij dient men te bedenken dat dit wordt gecompenseerd door meer verdamping, zodat de totale balans zou moeten kloppen.

Figuur 4.19 laat de ontwikkeling van de regionale waterbalans in het zomerhalfjaar zien in scenario W+/RC in de tijd, steeds voor een droog jaar: van huidig (boven), via 2050 (midden) naar 2100 (onder).

Uit Figuur 4.19 blijken ten eerste de grote regionale verschillen:

- Zo ontvangt de Veluwe stijgingsregens die weerspiegeld worden in de hoogste neerslag op de Centrale hoge zandgronden (3^e balk van onder, rechterzijde);
- De grootste wegzijging is te zien in alle regio's met hoge zandgronden (onderste 3 balken, linkerzijde);
- In de zandgebieden met hun sterk doorlatende ondergrond is er ook kwel van betekenis, namelijk in de beekdalen; daar tegenover staat wegzijging in de ruggen;
- De grootste kwelflux *en* de grootste afvoer (drainage) zijn te zien in de IJsselmeerpolders (bovenste balk);
- De grootste bijdrage van infiltratie uit sloten zien we in de peilbeheerste gebieden met wateraanvoer (balken 3 t/m 6: Friesland-Groningen, Noord- Holland, Midden-West Nederland en het Rivierengebied).

4. Daarom ontbreken de balansen van Zuid-Limburg en de Waddeneilanden. Die zitten (nog) niet in het NHI.



Figuur 4.19 Verticale waterbalans (mm waterschijf) in het zomerhalfjaar in een droog jaar bij scenario W+/RC in 2050 (midden) en 2100 (onder) ten opzichte van de huidige situatie (boven) per waterhuishoudkundige regio. Alle uitvoerposten aan de linkerzijde en alle invoerposten aan de rechterzijde.

Ten tweede zien we dat in het huidige klimaat er al een discrepantie is tussen het totaal van aanvoerposten en afvoerposten in het zomerhalfjaar. In alle regio's is er een tekort, dat leidt tot daling van de grondwaterstanden in de zomer.

Dit tekort is het kleinst in de IJsselmeerpolders, want daar is sprake van veel kwel van grondwater. Het tekort is daar rond de 50 mm. Het tekort is het grootst in de hoge zandgronden: ruim 150 mm. Let wel: dit tekort is niet hetzelfde als het verdampingsoverschot, want alle posten op de waterbalans zijn hier meegeteld, zelfs die door wateraanvoer (infiltratie).

Ten derde zien we – door vergelijking van de plaatjes van boven naar beneden – dat de invloed van deltasceario W+/RC op de balans fors is. En dus ook op de waterbeschikbaarheid. In 2050 neemt de neerslag overal af, en de bijdrage van infiltratie uit sloten in de peilbeheerste gebieden toe (Friesland-Groningen, Noord- Holland, Midden-West Nederland en het Rivierengebied). Maar de verdamping wordt nog nauwelijks gereduceerd. In de IJsselmeerpolders is het tekort ongeveer verdubbeld tot zo'n 100 mm, in de zandgronden is het opgelopen tot circa 200 mm.

In 2100 zien we in W+/RC wel een afname van de verdamping, doordat de landbouwgewassen en de natuur onvoldoende water krijgen. De balans wordt als geheel smaller: minder erin, maar ook minder eruit. Dat is een indicatie van substantiële droogte. Het tekort neemt daarmee echter niet meer zichtbaar toe. Wel nemen de relatieve bijdragen van kwel (IJsselmeerpolders) en infiltratie van aanvoerwater (peilbeheerste gebieden) toe.

5 Confrontatie vraagontwikkeling en ontwikkeling beschikbaarheid: knelpunten

5.1 Uitgangspunten

In deze knelpuntenanalyse wordt bepaald waar en wanneer een knelpunt optreedt bij het voldoen aan de watervraag van een gebied/ regio of een sector /landgebruiktype. Dat omvat vragen zoals: 'Welke sectoren/ watervragers lopen klem?'; 'Wanneer?'; en 'Hoe klem?'.

Het antwoord of dat het geval is, hangt natuurlijk af van de onderzochte klimaatscenario's, het gebruikte zichtjaar (2050, met doorkijk naar 2100) en de werkwijze (karakteristieke jaren of langjarige reeks). Daar is in hoofdstuk 2 op ingegaan. Maar ook hangt de identificatie van een knelpunt af van enkele cruciale aannames.

De belangrijkste aanname is dat wordt uitgegaan van de huidige waterverdelinginfrastructuur, en continuering van het huidige beleid en beheer. Dus geen nieuw beleid. Meer specifiek wil het zeggen:

- met de huidige breedte van watergangen;
- met de huidige inlaat- en doorvoercapaciteiten van sluizen;
- met de huidige boezempelen;
- met de huidige streefpeilen van buitenwater (IJsselmeer e.d.);
- met het huidige beleid ten aanzien van het voldoen aan de vraag van verschillende gebruikers (de 'verdringingsreeks').

Een tweede belangrijke aanname is dat er van een knelpunt zal worden gesproken als een bepaalde streefwaarde of doelstelling niet wordt gehaald, los van de vraag of die streefwaarde / doelstelling terecht is, of discutabel. Ofwel: de normatieve juistheid van de streefwaarde/ doelstelling staat niet ter discussie. Dat past bij de keuze van het programmateam om onderscheid te willen maken tussen 'knelpunten' in niet-normatieve termen en 'problemen', waar een normatief oordeel voor nodig is.

Drie willekeurige voorbeelden van streefwaarden/ doelstellingen zijn:

- het streefpeil van het IJsselmeer in de zomer is -20 cm NAP;
- het toelaatbare chloridegehalte van inlaatwater bij Gouda is 250 mg/l Cl⁻;
- het polderpeil in veengebieden mag niet meer dan 30 cm onder maaiveld komen.

5.2 Van watervragers naar knelpuntindicatoren

De watervraag is in hoofdstuk 3 per sector behandeld. Daarbij bleek al dat veel sectoren vergelijkbare eisen stellen aan de waterhuishouding, bijvoorbeeld omdat ze nadeel ondervinden van hoge zoutgehaltes, of schade lijden als het grondwaterpeil te ver daalt. Het is dan ook mogelijk aan de sectorale eisen/ wensen hydrologische *indicatoren* te hangen.

Een indicator is daartoe gedefinieerd als:

Een eigenschap van oppervlaktewater, grondwater en/of bodemvocht die een aanwijzing geeft van het mogelijk optreden van knelpunten in waterafhankelijke gebruiksfuncties/ sectoren in ruimte en tijd.

Die indicatoren kunnen worden gekwantificeerd met het hydrologisch modelinstrumentarium (NHI). Aldus is het mogelijk met behulp van een relatief beperkte set indicatoren een beeld te verkrijgen wat voor knelpunten waar zullen ontstaan.

Voor alle besproken sectoren zijn de meest relevante hydrologische indicatoren geïdentificeerd, die in deze landelijke knelpuntenanalyse zijn onderzocht met behulp van het NHI (deltamodelinstrumentarium). In het algemeen blijken 2 groepen indicatoren doorslaggevend: 1) het (verloop van het) peil van grond- en oppervlaktewater is belangrijk voor ruim de helft van de sectoren/ gebruiksfuncties en 2) het zoutgehalte in de wortelzone alsmede de waterkwaliteit van het oppervlaktewater in het algemeen is belangrijk voor veel sectoren/ gebruiksfuncties. Daarnaast zijn er indicatoren die specifiek relevant zijn voor enkele sectoren/functies, zoals de temperatuur van oppervlaktewater voor koeling van energiecentrales.

De gebruikte indicatoren worden steeds nader gespecificeerd in de volgende paragrafen.

5.3 Knelpunten in de wateraanvoer, per regio

Voor deze analyse is een gebiedsgebonden knelpunt gedefinieerd als het optreden van een situatie waarbij onvoldoende oppervlaktewater kan worden geleverd om te voldoen aan achtereenvolgens de door de regionale waterbeheerder 'gestelde vraag' naar:

- water voor peilbeheer;
- water voor doorspoelen; en
- water voor beregening.

In verband met de prioriteitsvolgorde in de verdringingsreeks bespreken we knelpunten rond deze drie vragen in omgekeerde volgorde, dus *achtereenvolgens* tekorten voor beregening, doorspoeling en peilbeheer. Deze tekorten kunnen het gevolg zijn van beperkingen in de transportcapaciteit van het verdelingsnetwerk naar de vragende gebieden, maar ook van het 'op raken' van de voorraad, of het niet voldoen aan kwaliteitseisen van in te laten water. Het tweede is bijvoorbeeld het geval als het IJsselmeerpeil zover daalt dat het streefpeil niet kan worden gehandhaafd en de inlaat van water naar het regionaal distributienetwerk moet worden gestaakt. Het laatste is het geval als het zoutgehalte bij Gouda te hoog wordt. Op die beide situaties wordt eveneens ingegaan.

5.3.1 Overzicht watervragen en –tekorten per regio: variabiliteit en klimaateffecten

Voor een eerste indruk van de gebiedsgebonden knelpunten geven we een kwantitatief beeld van de vraag en tekorten (in mm waterschijf, gemiddeld voor het hele gebied) voor deze drie doelen, per waterhuishoudkundige regio (Figuur 2.14), in histogrammen (Figuur 5.1, Figuur 5.2, Figuur 5.3). Vraag en tekorten zijn bepaald met het deltamodel, meer specifiek met het NHI, dus met de bijbehorende onzekerheden. Dat verklaart ook het ontbreken van Zuid-Limburg en de Waddeneilanden, die (nog) niet in NHI zitten.

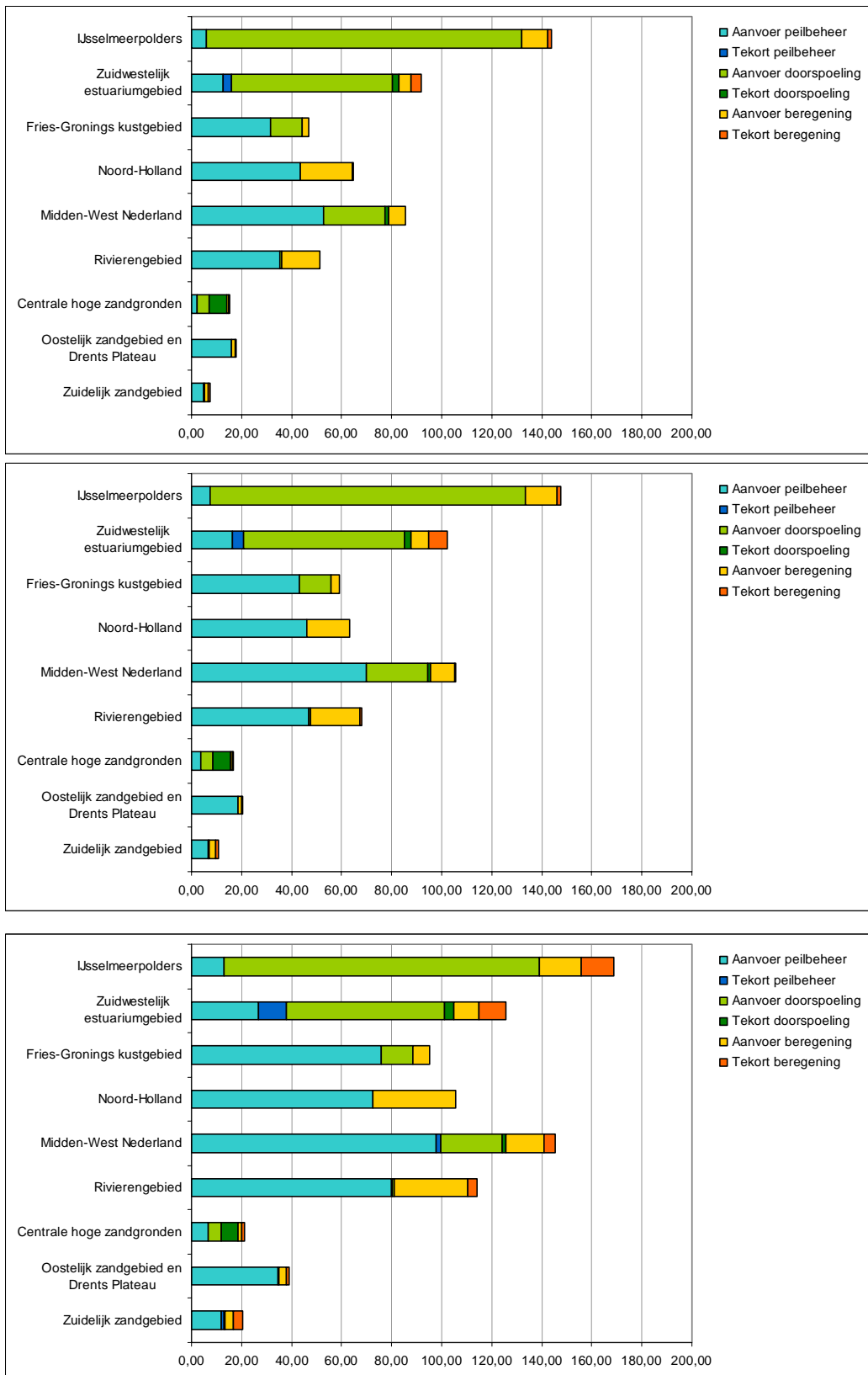
Voor een goed begrip van deze figuren is het ten eerste relevant dat het hier bij het woord 'vraag' gaat om de 'gestelde vraag', dus niet om de absolute watervraag zoals we die in hoofdstuk 3 hebben getracht vast te stellen, maar om de 'vraag die aan het hoofdwatersysteem is gesteld'.

Ten tweede moet worden bedacht dat de getallen (in mm waterschijf) betrekking hebben op gehele regio's, maar uitgesmeerd over het gehele oppervlak van die regio's. Dat leidt tot schijnbaar markante verschillen in watervraag tussen de regio's, maar die verschillen zijn deels het resultaat van het 'uitmiddelen' en dus niet belangrijk. We zien dus wel dat de drie regio's met hogere zandgronden weinig water vragen (onderste drie 'balken') en de regio's met beheerst peil (bovenste zes) veel meer. De grootste vraag komt uit de IJsselmeerpolders en een eveneens grote van het zuidwestelijk estuariumgebied. In droge en extreem droge jaren neemt de watervraag van Midden- West Nederland verhoudingsgewijs sterk toe, door een grote vraag voor peilbeheer.

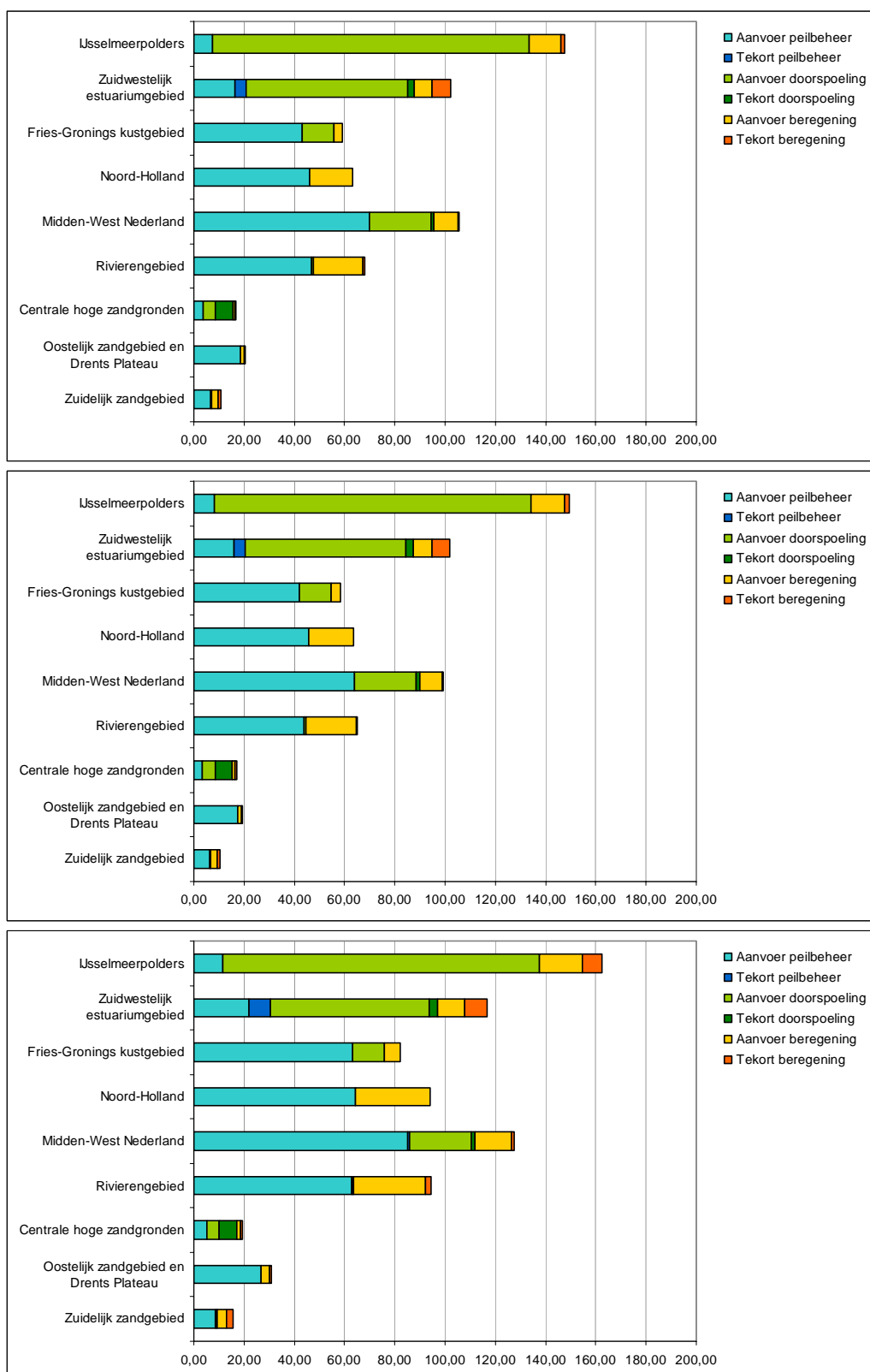
In Figuur 5.1 is het effect van *klimaatvariabiliteit* te zien: het verschil tussen karakteristieke jaren. In een droog jaar wordt in de gebieden met wateraanvoer (de bovenste 6 'balken' zo'n 20 % meer water gevraagd. In de hogere zandgronden met veel landbouw (de onderste 2 'balken') neemt de vraag procentueel nog meer toe. Er zijn haast geen verschillen in de tekorten tussen een gemiddeld en een droog jaar, behalve in het Zuidwestelijk estuariumgebied waar het beregeningstekort en het peilbeheertekort toeneemt. In een extreem droog jaar neemt de vraag overal toe, en ontstaan er in veel regio's tekorten, behalve in Noord-Holland en Friesland- Groningen.

In Figuur 5.2 is vervolgens de invloed van de *klimaatverandering* in beeld gebracht, door de watervragen en –tekorten in 2050 bij scenario's G/GE en W+/RC te plaatsen naast die van het huidig klimaat. Dat is gedaan voor een 10% droog jaar, omdat dat voor veel knelpunten als redelijk maatgevend kan worden beschouwd (komt vaak genoeg voor). Hier zien we dat het verschil tussen scenario G/GE en de huidige situatie vrijwel nihil is; als er al verschillen zijn gaat het om een fractioneel kleinere watervraag en een fractioneel groter tekort. Alles in de sfeer van enkele procenten. Scenario W+/RC verschilt wel significant van de huidige situatie: de vraag is groter, vooral voor peilbeheer. Dat laatste verklaart de veel grotere vraag in Friesland- Groningen, Noord- Holland, Midden- West Nederland en het Rivierengebied. De watervraag van de regio's is in dit scenario soms bijna 50% groter (oostelijk zandgebied), maar in de meeste regio's is deze circa 20- 25 % groter. Ook de tekorten zijn in dit scenario groter, behalve in Friesland- Groningen en Noord-Holland, waar in een droog jaar nog steeds volledig aan de vraag wordt voldaan.

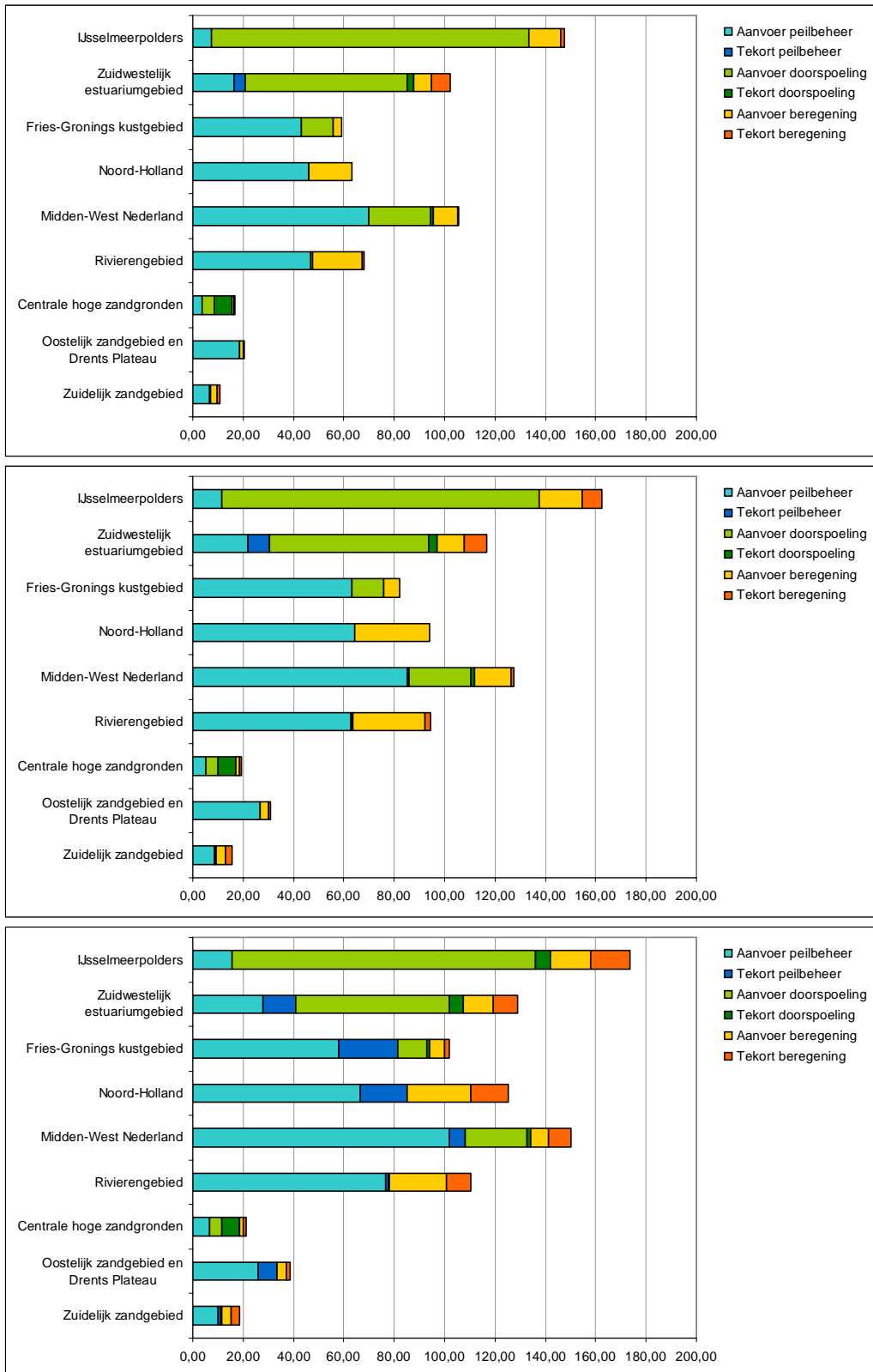
Voor 2100 zet de hier getoonde trend fors door. Dit is te zien in Figuur 5.3, waaruit blijkt dat de vraag in de meeste regio's blijft toenemen en aldaar hetzij de tekorten fors toenemen hetzij nieuwe tekortsituaties ontstaan. Dat laatste is ook het geval bij het peilbeheer, hetgeen irreversibele effecten denkbaar maakt.



Figuur 5.1 'Bestemming' van het aanvoerwater en grootte van de tekorten (verschil tussen gevraagd en geleverd voor het betreffende doel;). Verschillen tussen een gemiddeld jaar (boven), een droog jaar en een extreem droog jaar (onder) in de huidige situatie (mm waterschijf voor het zomerhalfjaar).



Figuur 5.2 Omvang van de watervraag per doel en grootte van de tekorten (verschil tussen gevraagd en geleverd voor het betreffende doel). Invloed van het scenario van klimaatverandering, zoals blijkt uit verschillen tussen de huidige situatie (boven), G/GE (midden) en W+/RC (onder) in 2050, steeds voor een droog jaar (mm waterschijf voor het zomerhalfjaar).



Figuur 5.3 Omvang van de watervraag per doel en grootte van de tekorten (verschil tussen gevraagd en geleverd voor het betreffende doel). Doorkijkje naar 2100 van scenario W+/RC (onder) ten opzichte van 2050 (midden) en huidig (boven), steeds voor een droog jaar (mm waterschijf voor het zomerhalfjaar).

5.3.2 Berekeningstekorten

De beregeningsvraag op ieder moment wordt bepaald door hoeveel beregening de gewassen vragen en het oppervlak van die gewassen. In het NHI zijn voor het landbouwkundig landgebruik de gewassen geschematiseerd, en is van ieder gewas vastgesteld voor welk percentage het berekend wordt. Hiermee wordt de beregeningsvraag berekend per LSW per tijdstip. Uitgangspunt daarbij zijn de bestaande beregeningsinstallaties: per installatie kan wel meer water worden gevraagd, maar er is hier niet uitgegaan van een toename van het aantal beregeningsinstallaties (daarop wordt verderop dieper ingegaan).

Omdat het in dit rapport niet mogelijk is de beregeningsvraag voor ieder moment in de tijd weer te geven (zoals wel kan in een meer dynamisch computer-instrument: 'filmpjes'), is hier volstaan met het weergeven van de maximale vraag (in mm per decade; Figuur 5.4). De *maximale* vraag is in een gemiddeld en een droog jaar vrijwel gelijk, omdat die van het momentane weer afhangt en niet van de duur van de droogte; in een droog jaar wordt langer water gevraagd. Daarom is alleen de kaart gegeven voor een droog jaar: die illustreert de situatie voldoende, want geeft zeker de werkelijk maximale vraag weer. De histogrammen die hierboven zijn besproken geven de vraag en het cumulatieve tekort over het gehele zomerhalfjaar (Figuur 5.1).

Of in die beregeningsvraag kan worden voorzien, hangt af van de aanwezigheid van beregeningsinstallaties. Daarbij is onderscheid gemaakt naar beregening uit grondwater en beregening uit oppervlaktewater (Figuur 3.3). Beregening uit oppervlaktewater vertaalt zich in een watervraag aan het hoofdwatersysteem, beregening uit grondwater vraagt extra onttrekking uit putten.

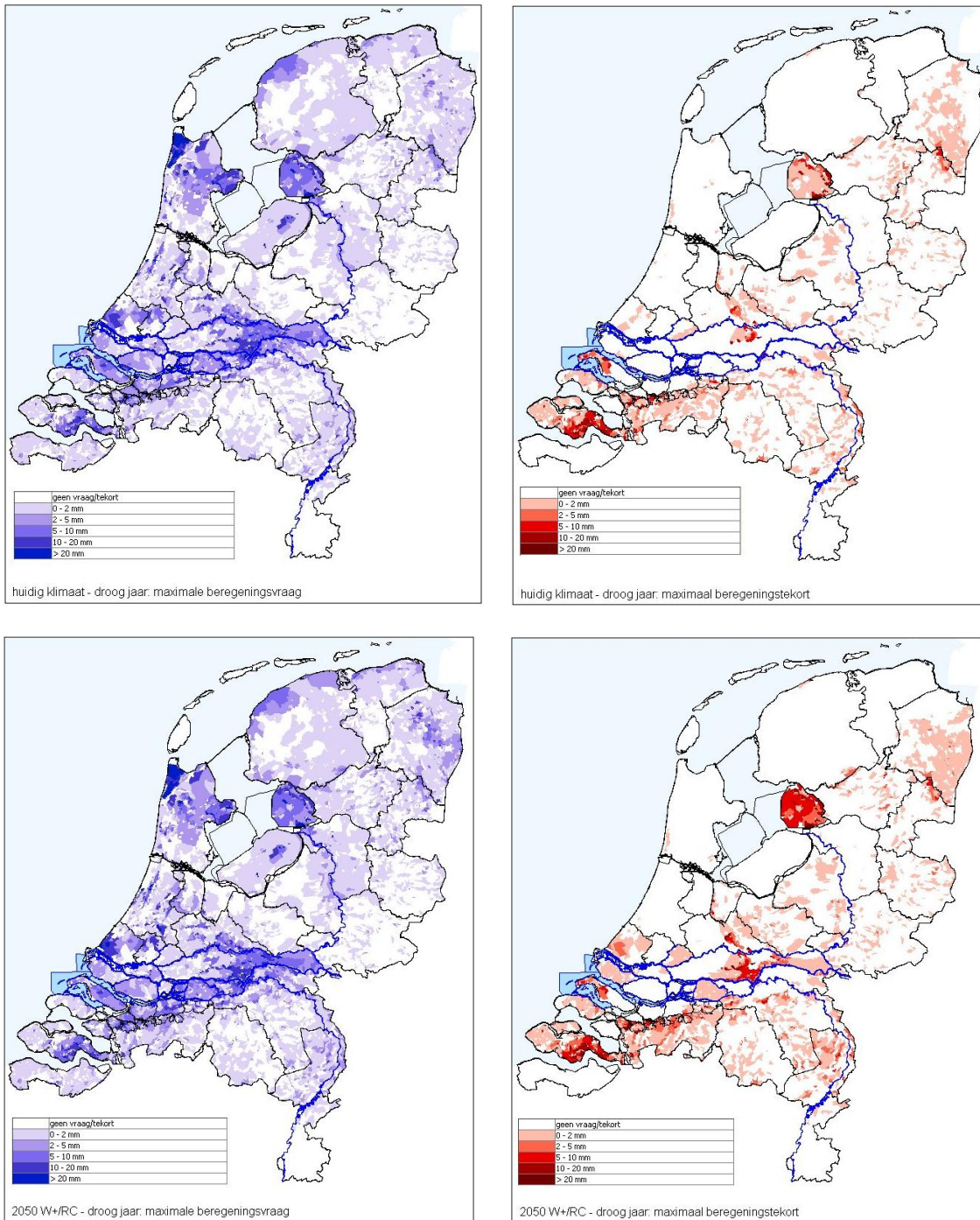
Door de watervraag en het geleverde water van elkaar af te trekken, kan het tekort aan beregeningswater worden berekend. Dat is in dit verband de hoeveelheid water die wel wordt gevraagd voor beregening uit oppervlaktewater, maar niet wordt geleverd. Dat beregeningstekort staat eveneens in Figuur 5.4, aan de rechterkant.

We zien in de kaarten dat de watervraag in de huidige situatie vooral groot is in gebieden met veel fruitteelt (Rivierengebied, Zuid-Beveland, Noordoostpolder), tuinbouwgebieden (West-Friesland, rond Zoetermeer) en bollengebieden (bollenstreek, Kop van Noord-Holland). Of de grote vraag van de bollengebieden wel terecht is, vraagt nog verificatie. In 2050 zien we een toename van de vraag in Oost-Groningen (veenkoloniën) en in de Peel.

In de plaatjes rechts zien we dat in grote delen van het land aan de beregeningsvraag wordt voldaan, zowel in 2050 W+/RC als in de huidige situatie (een groot deel van het land is wit). Dit is het geval in de beide Hollanden, de beide Flevolanden en Friesland-Groningen. Tekorten doen zich in de huidige situatie vooral voor op de Zeeuwse (schier-)eilanden, in de Noordoostpolder, en in de veenkoloniën, evenals plaatselijk in het rivierengebied⁵. Het beregeningstekort neemt W+/RC in 2050 toe in deze gebieden, maar ook in de rest van het rivierengebied, Oost-Groningen en op de Peel.

Dit duidt erop dat zowel beregening uit grondwater als uit oppervlaktewater plaatselijk of in grotere gebieden een knelpunt is; nu al, maar in de toekomst nog prangender.

5. De getoonde tekorten op de Hollandse eilanden en in het Westland, zowel nu als in W+/RC in 2050, zijn veroorzaakt door onvolkomenheden in de modellering: het gebruik van decadegemiddelden voor zout bij inlaatpunt Bernisse en te geringe capaciteit van inlaatpunten op Goeree en in de Krimpenerwaard.



Figuur 5.4 Berekende maximale beregeningsvraag in een droog jaar in de huidige situatie en in 2050 bij scenario W+RC, links boven en onder, en het maximale beregeningstekort in die situaties. Getallen in mm/decade. (NB: De tekorten in het Rijnmondgebied zijn onjuist door modelfouten.)

5.3.3 Zoutproblemen/ doorspoelproblemen

Door klimaatverandering neemt het zoutgehalte in polderwateren toe, vooral in droge jaren (zie Figuur 4.8), zoals we in hoofdstuk 4 hebben vastgesteld. Behalve door hogere zoutconcentraties kunnen er in de zomer ook waterkwaliteitsproblemen ontstaan door hoge nutriëntengehalten, die kunnen leiden tot algenbloei. Beide waterkwaliteitsproblemen worden bestreden door de sloten en grotere watergangen door te spoelen. Zo wordt de waterkwaliteit geborgd.

Allereerst is vastgesteld hoe groot de watervraag is die de waterkwaliteit in de verschillende landsdelen moet waarborgen. Die is vervolgens vergeleken met de hoeveelheid water die in de verschillende jaren bij verschillende klimaatscenario's wordt geleverd. Dat levert het tekort aan doorspoelwater. De resultaten van deze analyse zijn verwerkt in de histogrammen van Figuur 5.1.

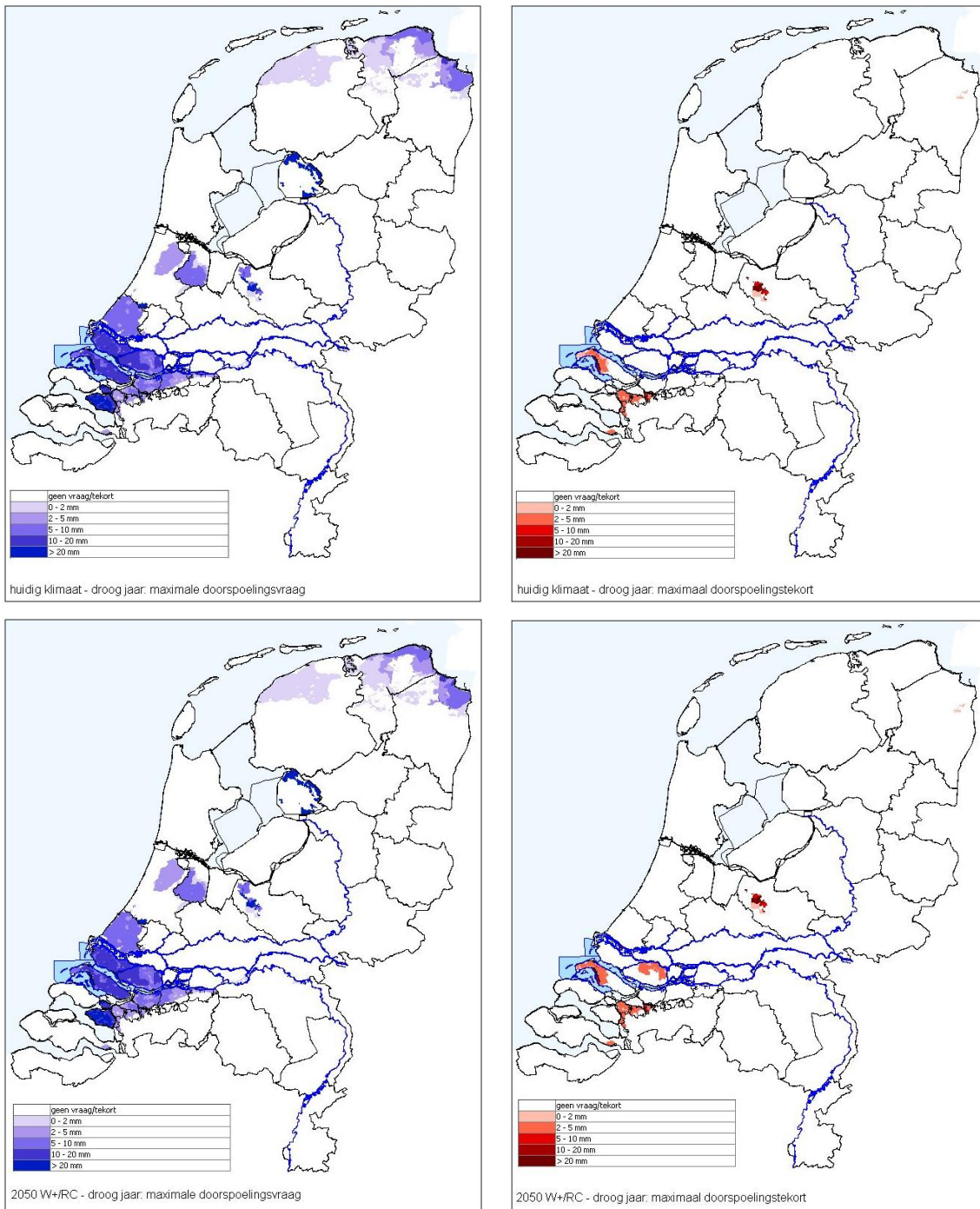
In Figuur 5.5 geven we weer het ruimtelijk beeld, door de maximale doorspoelvraag en het doorspoeltekort in een droog jaar op kaart weer te geven, voor de huidige situatie en voor 2050 in scenario W+/ RC. We doen dat weer alleen voor een droog jaar, omdat de maxima in verschillende karakteristieke jaren gelijk zijn, of het nu om een gemiddeld of een droog jaar gaat.

We zien in de kaarten dat de doorspoelvraag in de toekomst (W+/RC in 2050) gelijk is aan die in de huidige situatie. We zien ook dat een doorspoelvraag slechts voor een beperkt deel van Nederland is geformuleerd; de doorspoelvraag is namelijk door de regionale waterbeheerders gespecificeerd.

We zien een doorspoelvraag langs de kust van Friesland- Groningen, plaatselijk in de Noordoostpolder, in de diepe droogmakerijen van Zuid-Holland (Mijdrecht en Haarlemmermeer), in het Westland en op de meeste Zuid-Hollandse eilanden, in West-Brabant en op Tholen.

Een doorspoeltekort doet zich in een droog jaar nauwelijks voor, en in een gemiddeld jaar ook niet, behalve plaatselijk in West- Brabant⁶. Ook ligt er nog een intrigerende vlek bij Amersfoort, die mogelijk aan een stedelijke doorspoelbehoefte is gekoppeld maar vermoedelijk een modelfout is. Er lijkt op basis van de modelresultaten geen sprake te zijn van een groot knelpunt, noch in de huidige situatie noch in de toekomst⁷.

-
6. *Het weergegeven tekort op Goeree en in de Hoekse Waard is veroorzaakt door onvolkomenheden in de modellering: er is gerekend met een te geringe capaciteit van het inlaatpunt, respectievelijk een decadegemiddelde zoutconcentratie.*
 7. *Bedenk echter dat er nog twijfels zijn over de berekende zoutgehalten in de sloten (zie paragraaf 4.3.4)*



Figuur 5.5 Maximale doorspoelingsvraag in een droog jaar in de huidige situatie en in 2050 bij scenario W+/RC, links boven en onder, en het berekende maximale doorspoeltekort in die situaties. Getallen in mm/decade. (NB: De berekende tekorten voor Goeree, de Hoekse Waard en rond Amersfoort komen door modelfouten.)

5.3.4 Peilproblemen in peilbeheerst gebied

De derde grote regionale watervraag is die voor het peilbeheer. Te lage slootpeilen kunnen lage grondwaterstanden betekenen en instabiliteit van oevers en waterkeringen veroorzaken. De watervraag voor peilbeheer is in de meeste regio's de grootste en belangrijkste watervraag aan het hoofdsysteem, zoals we hebben vastgesteld in het begin van deze paragraaf.

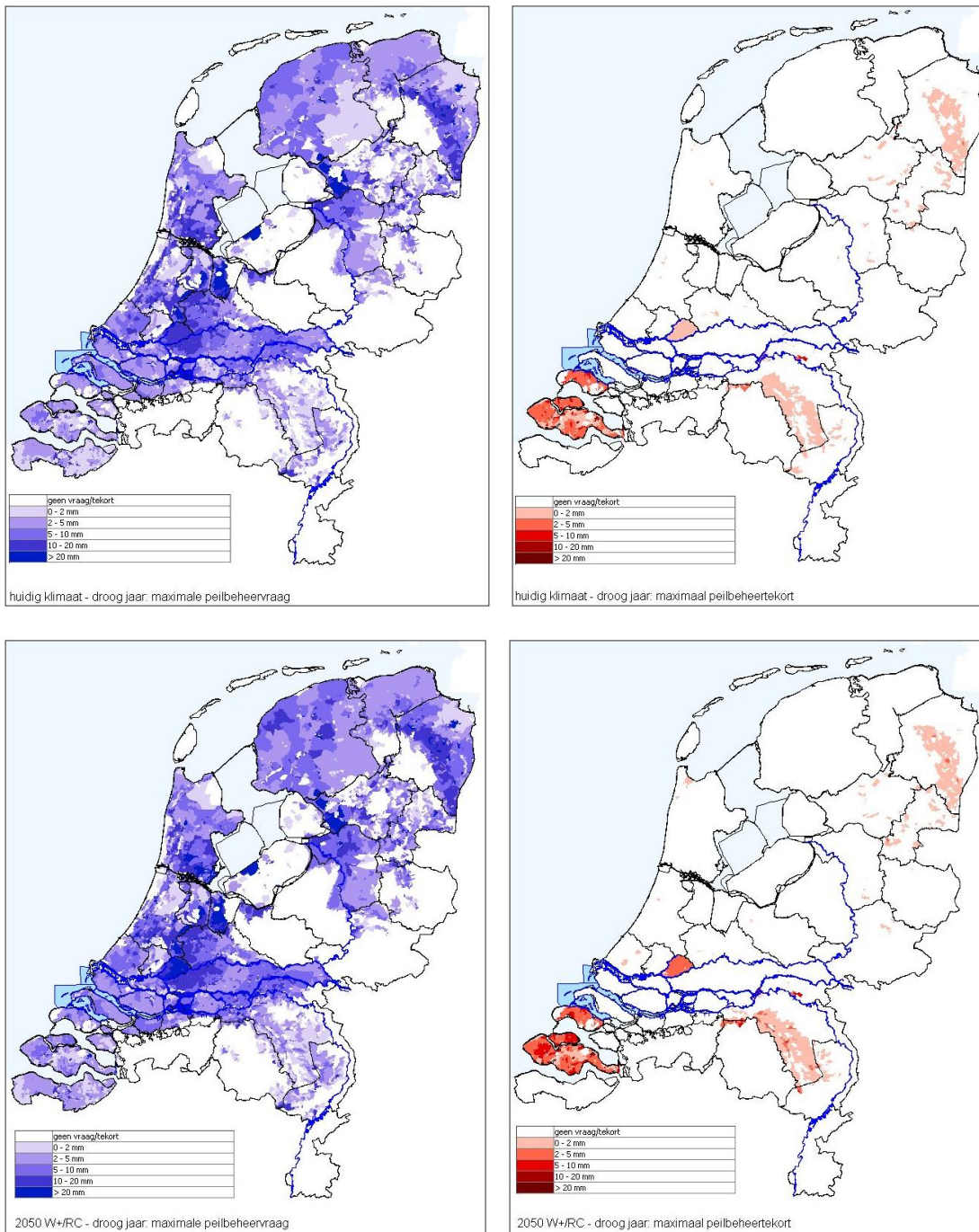
Hier geven we weer enkele kaarten van illustratieve indicatoren: de watervraag voor peilbeheer en het watertekort voor peilbeheer. Ook geven we kaarten van de maximale onderschrijding van het streefpeil in de sloten en de duur van de onderschrijding, beide als indicator van de ernst van het 'peiltekort' (hoe lager, des te erger; hoe langer, des te erger).

Figuur 5.6 geeft aan de linkerkzijde de maximale watervraag voor peilbeheer in de huidige situatie en in 2050 voor scenario W+/RC. Deze vraag is door NHI berekend op basis van neerslag en verdamping, gegeven het landgebruik en de gewassen, en kent dus niet het artefact dat voortvloeit uit 'opgave door de waterbeheerder' zoals de doorspoelingsvraag die op de kaarten laat zien. We zien dat de watervraag alleen wordt berekend voor gebieden naar waar wateraanvoer mogelijk is.

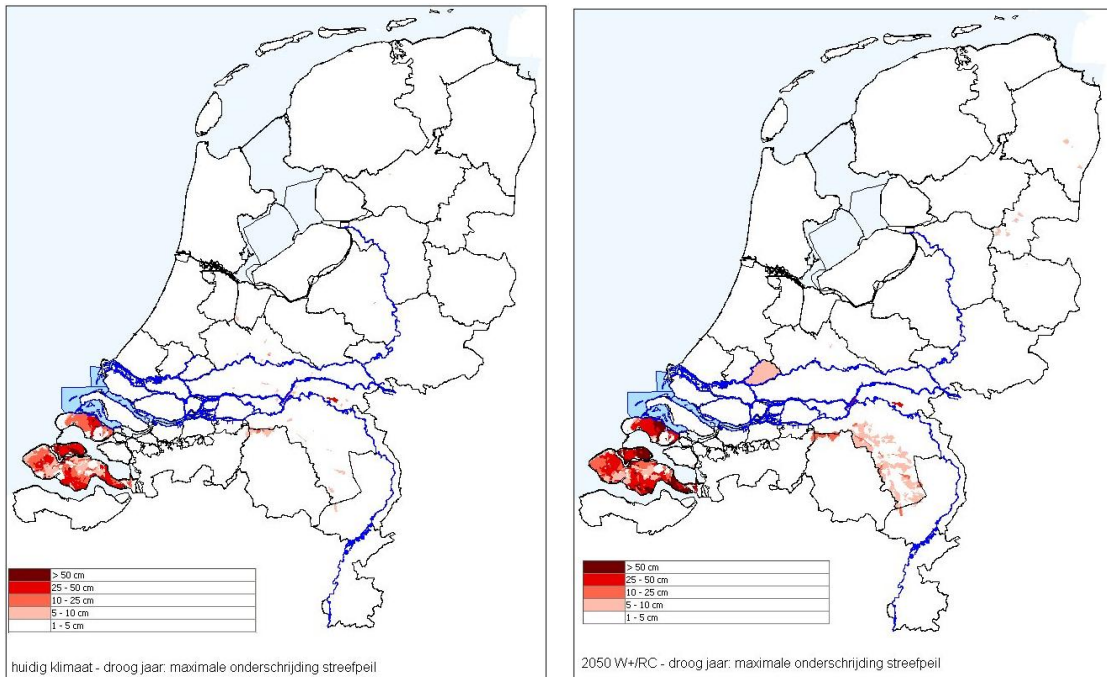
Vergelijking van de kaart onder links met boven links laat zien dat de vraag in de toekomst iets toeneemt; die toename wordt grotendeels veroorzaakt door de toenemende verdamping door klimaatverandering en landgebruikverandering, en deels door grotere onttrekkingen voor beregening in de zandgronden. De tekorten (in de kaartjes aan de rechterzijde) nemen evenredig toe. Maar tekorten doen zich alleen voor op plaatsen waar de wateraanvoer voor peilbeheer (heel) lastig is: ten eerste natuurlijk op de Zeeuwse (schier-)eilanden die geen wateraanvoer kennen (Walcheren, de beide Bevelanden en Schouwen-Duiveland), ten tweede in de veenkoloniën van Groningen- Drente en in de Centrale Slenk net ten westen van de Peelrandbreuk in Noord- Brabant. Het intrigerende – en toenemende – tekort in de Krimpenerwaard is weer het gevolg van een onvolkomenheid in de modellering⁸.

Waar in de vraag naar water voor peilbeheer niet volledig kan worden voorzien, zal de grondwaterstand in het zomerhalfjaar dalen (Figuur 5.7 en Figuur 5.8). Het slootpeil zakt verder uit en de duur dat het streefpeil wordt onderschreden neemt toe. Dat betekent dat grotere schade kan optreden in gebieden waar peilbeheersing cruciaal is om de bodemdaling te beperken (laagveengebieden) en infrastructuur schade kan oplopen.

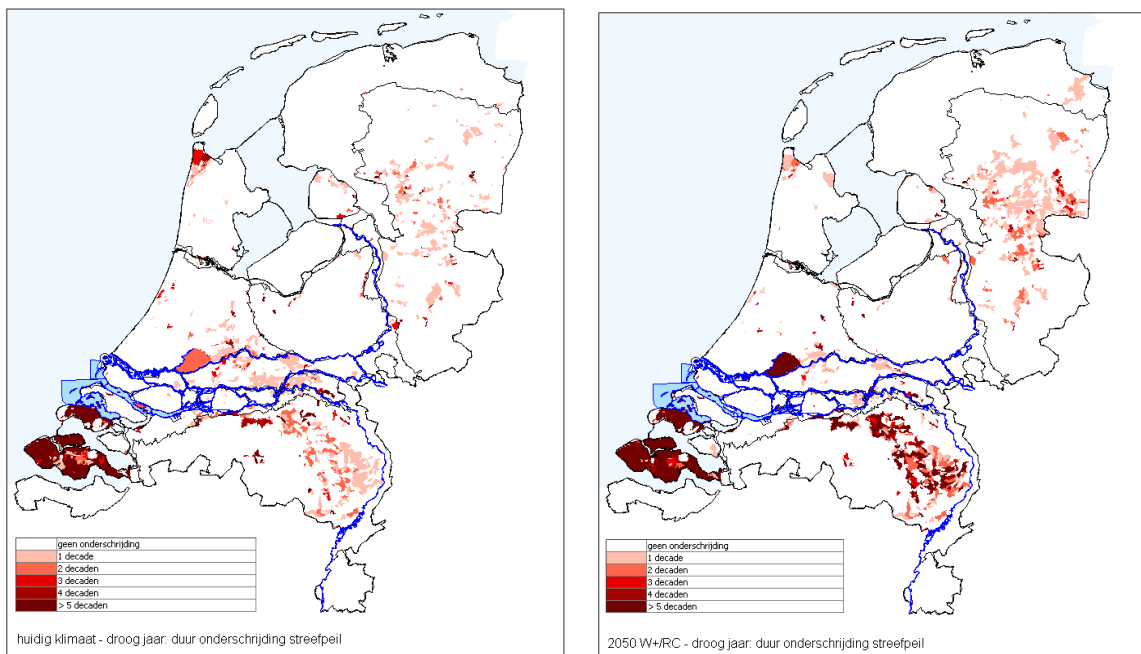
8. De inlaatcapaciteit was te krap begroot Dit zal in het modelinstrumentarium worden gerepareerd.



Figuur 5.6 Maximale watervraag voor peilbeheer in een droog jaar in de huidige situatie en in 2050 bij scenario W+/RC, links boven en onder, en het maximale tekort aan water voor peilbeheer in die situaties. Getallen in mm/decade (NB: het tekort in de Krimpenerwaard berust op een modellfout).



Figuur 5.7 Maximale overschrijding van het streefpeil in de watergangen in cm in een droog jaar in het huidige klimaat (links) en in scenario W+RC in 2050 (rechts) (NB: de overschrijding in de Krimpenerwaard berust op een modelfout).

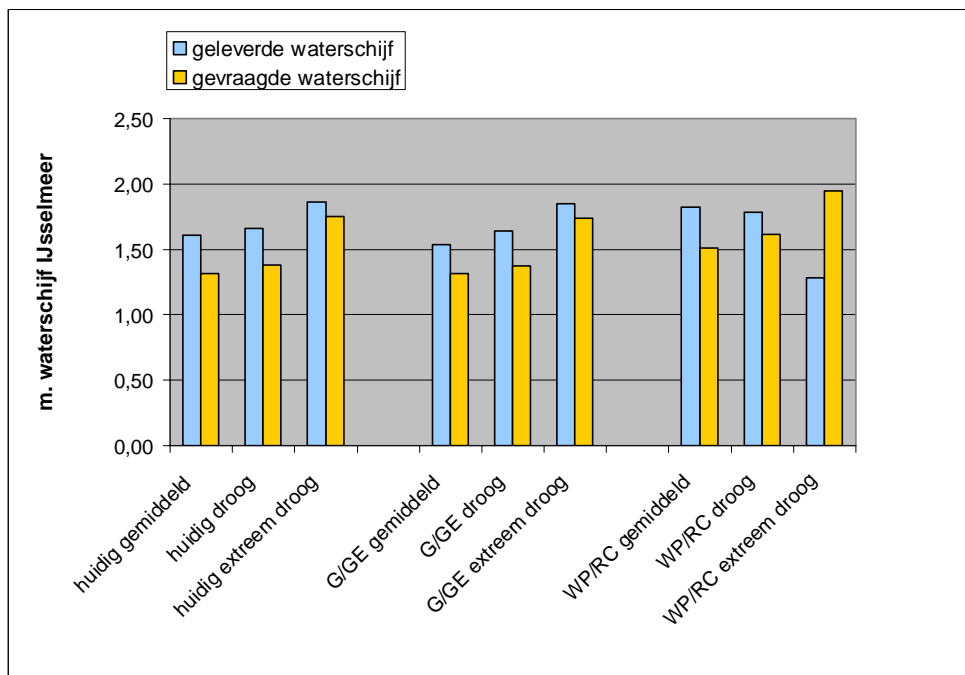


Figuur 5.8 Duur van de overschrijding van het streefpeil in de watergangen in decaden in een droog jaar in het huidige klimaat en in scenario W+RC in 2050 (NB: de overschrijding in de Krimpenerwaard berust op een modelfout).

5.3.5 Tekorten in de oppervlaktewatervoorraden: IJsselmeerpeil

In hoofdstuk 4 is vastgesteld dat de instroom- en uitstroom van het IJsselmeer dusdanig zijn dat er in het zomerhalfjaar meestal nog een equivalente waterschijf beschikbaar is van behoorlijke importantie. Voor de knelpuntenanalyse wordt deze geleverde waterschijf eerst afgezet tegen de watervraag van de regio's die uit het IJsselmeer water krijgen (Figuur 5.9). Zowel de geleverde waterschijf als de gevraagde waterschijf zijn afhankelijk van het weer (karakteristiek jaar) en het scenario.

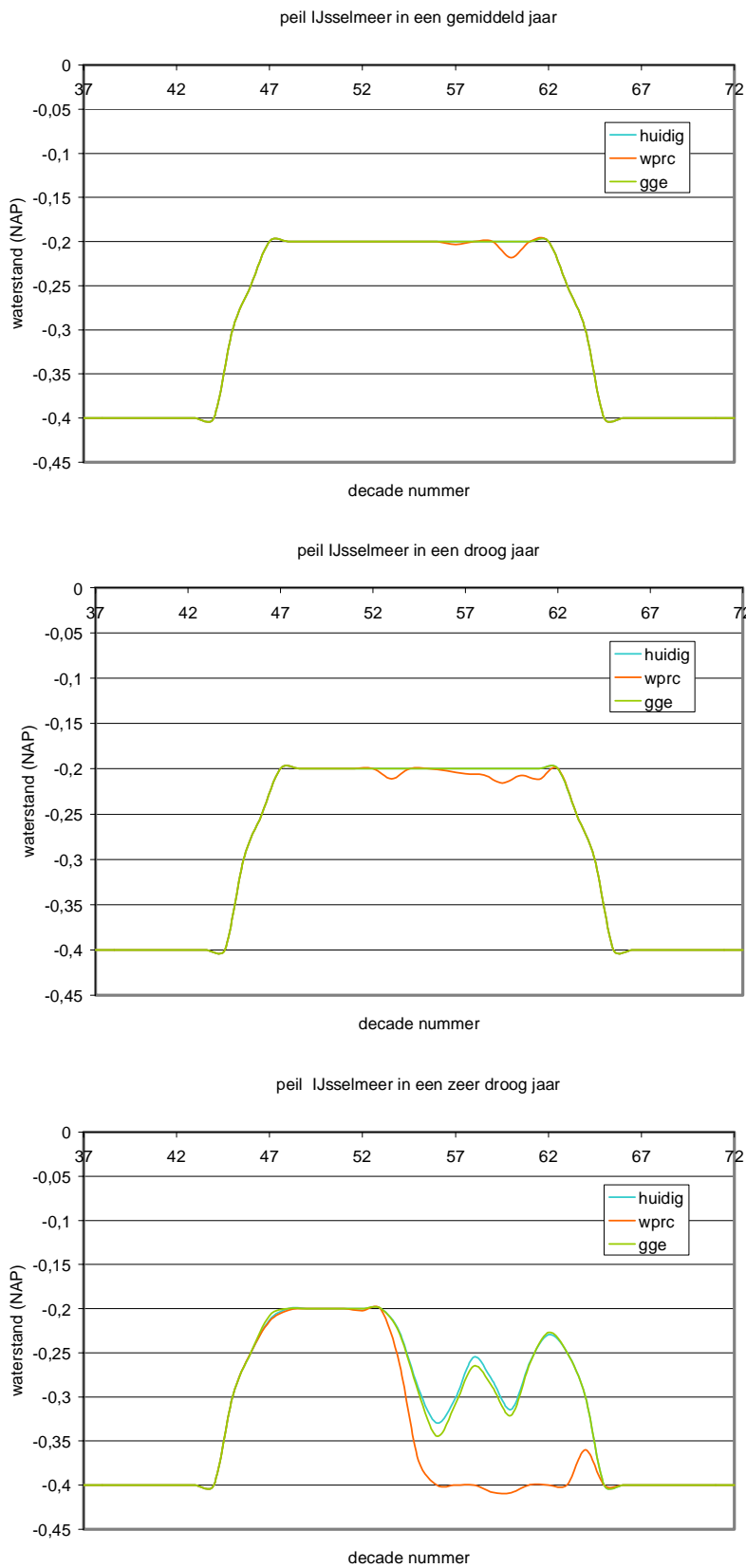
We zien dat de verschillen tussen jaren veel groter zijn dan tussen klimaatscenario's: de variabiliteit is groter dan het effect van klimaatverandering. We zien ook dat er in alle jaren aan de vraag van de regio's kan worden voldaan, behalve in 2050 in een extreem droog jaar bij scenario W+/RC. In een droog jaar bij klimaatscenario W+/ RC wordt het verschil wel heel klein. De verschillen tussen huidig klimaat en G/GE zijn weer marginaal.



Figuur 5.9 Beschikbare waterschijf en watervraag vanuit de regio (in meters equivalent IJsselmeerpeil) in het zomerhalfjaar voor verschillend klimaat en verschillende jaren in 2050

De beschikbaarheid en vraag zijn echter variabel in de tijd: als het veel regent is er geen vraag en is veel beschikbaar, als het een tijd droog is, is het 'overtollige' water al naar de Waddenzee geloosd en niet meer voorradig. Daarom moet naar het tijdsverloop van het IJsselmeerpeil worden gekeken.

In Figuur 5.10 is voor een drietal karakteristieke jaren voor verschillend klimaat het verloop van het IJsselmeerpeil in het zomerhalfjaar uitgezet, als functie van variërende instroom, uitstroom en wateraanvoer naar de regio's die IJsselmeerwater ontvangen. Het zomerstreefpeil is -0,2 m NAP en het 'laagst toelaatbare' waterpeil is -0,4 m NAP, volgens vigerende regels. Daaronder wordt de inlaat naar de regio gestopt.



Figuur 5.10 Peilverloop in de tijd van het IJsselmeer in een gemiddeld, droog en extreem droog jaar in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario's G/GE en W+/RC

We zien dat in een gemiddeld jaar en een droog jaar (bovenste twee plaatjes) het peil in 2050 in het scenario G/GE niet onder streefpeil daalt en een vrijwel gelijk verloop vertoont als in het huidige klimaat. In scenario W+/RC daalt het peil soms in de nazomer enkele centimeters onder streefpeil.

In een extreem droog jaar daalt het peil in het huidig klimaat echter al met 0,1- 0,15 m. In scenario G/GE is die daling marginaal meer, en in W+/RC daalt het peil gedurende circa 8 decaden tot beneden - 0,4 m NAP. Dan wordt volgens het huidig beleid de inlaat gestopt, wat de watertekorten verklaart die eerder in dit hoofdstuk zijn besproken.

De analyse van het IJsselmeerpeil leidt tot de volgende conclusies:

- Alleen in een extreem droog jaar (1 %) in het W+/RC scenario treedt in 2050 een forse *mismatch* op tussen watervraag en waterbeschikbaarheid in het IJsselmeer. Het watertekort komt neer op grofweg een equivalente waterschijf van 0,65 m op het IJsselmeer.
- In de andere scenario's is er nog een waterschijf beschikbaar en wordt het laagst toegestane peil op het IJsselmeer niet bereikt.
- In een gemiddeld tot droog jaar wordt zelfs in het zomerhalfjaar nog een substantiële hoeveelheid water ongebruikt afgevoerd naar de Waddenzee.

Samengevat *lijkt* het knelpunt van het IJsselmeerpeil in 2050 hiermee beperkt tot extreem droge jaren. In gemiddelde en droge jaren, die minder dan 10% kans van voorkomen hebben, is er nog geen probleem met de watervoorziening, hoewel het streefpeil van -20 cm NAP niet meer de hele tijd gehandhaafd kan worden. Echter: de analyse zoals hier gepresenteerd gaat uit van een scenario, waarin weliswaar minder water beschikbaar is en meer water wordt gevraagd, maar er is *niet uitgegaan van de aanschaf van veel meer beregeningsinstallaties*. Daarom is een aanvullende berekening gedaan, omdat de te verwachten extra gewasschade daar wel aanleiding voor zou kunnen zijn.

En wat als er meer beregend gaat worden?

Er is allereerst een bovenschatting gedaan voor de beregeningsbehoefte, veronderstellende dat:

- de gewasschade in een droog jaar (10 % overschrijdingskans) geaccepteerd is;
- in de scenario's G/GE en W+/RC in een droog jaar zoveel beregend wordt dat de gewasschade gelijk is aan die in de huidige situatie;
- het verschil in gewasverdamping tussen G/GE en huidig en W+/RC en huidig de extra beregeningsvraag bepaalt, vermeerderd met 50% ter compensatie van verliezen bij het sproeien.

De zo verkregen vraag is gecorrigeerd voor het percentage grondwaterberekening, waarna een extra vraag resulteert in 2050 ter grootte van respectievelijk 0,03 en 0,63 m equivalente waterschijf IJsselmeer. Voor het G/GE scenario is dit verwaarloosbaar. Voor het W+/RC scenario is het substantieel: meer dan het verschil tussen streefpeil en 'toelaatbaar laagste peil'. Rekening houdend met de timing van instroom, vraag en spuien wordt geschat dat voor een droog jaar van de 0,63 m extra beregeningsvraag in 0,43 m kan worden voorzien. Dat betekent een tekort van 0,20 m uitgedrukt als waterschijf in het IJsselmeer.

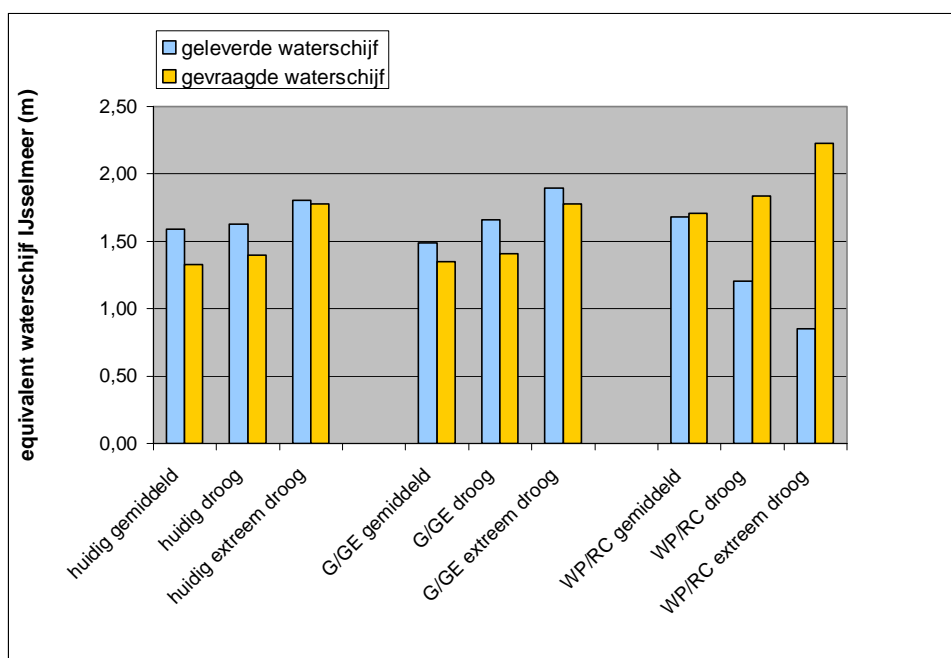
En wat na 2050? Doorkijkje 2100

Net als in Figuur 5.9 is de watervraag van de regio's in Noord Nederland uitgezet tegen de geleverde waterschijf. Dit is weergegeven in Figuur 5.11.

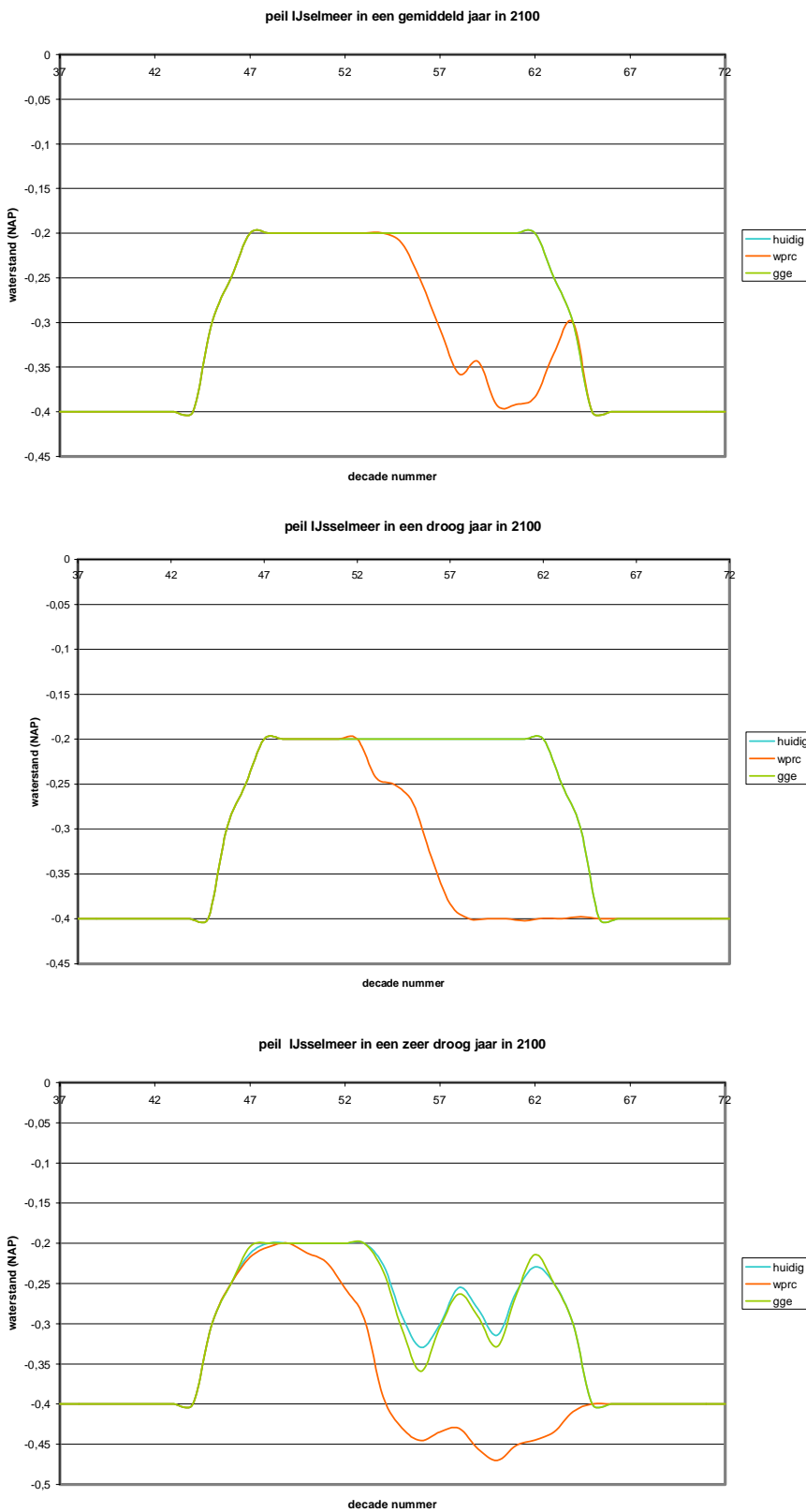
In tegenstelling tot in 2050 treden in het W+/RC scenario in alle karakteristieke jaren tekorten op. In een gemiddeld jaar valt dit tekort wel mee maar in een droog jaar is het tekort al zo groot dat niet aan de watervraag kan worden voldaan. In een extreem droog jaar zakt het peil ver onder het laagst toelaatbare peil van -0,4 m NAP. De berekende peildalingen op het IJsselmeer (Figuur 5.12) ondersteunen dit beeld.

Verder is relevant dat in een gemiddeld jaar er in 2100 bij het W+ scenario geen enkele voorraad meer is om aan een – in de toekomst mogelijk veel grotere – extra beregeningsvraag te voldoen.

In het G/GE scenario ontstaan in 2100 geen knelpunten in de waterlevering. Dat lag in de lijn der verwachting, gezien de geringe agro-hydrologische effecten die hiervoor zijn verwacht.



Figuur 5.11 Beschikbare waterschijf en watervraag vanuit de regio (in meters equivalent IJsselmeerpeil) voor verschillend klimaat en verschillende jaren in 2100



Figuur 5.12 Peilverloop in de tijd van het IJsselmeer in een gemiddeld, droog en extreem droog jaar in het huidige klimaat en in 2100 bij scenario's G/GE en W+/RC

5.3.6 Inlaatbeperkingen door verhoogde zoutconcentraties: Gouda en Bernisse

Voor de watervoorziening van Rijnland wordt in de huidige situatie water ingelaten uit de Hollandsche IJssel bij Gouda. Gouda is de belangrijkste innameplaats voor het beheersgebied van hoogheemraadschap Rijnland. Het water wordt ingelaten uit de Hollandsche IJssel ongeveer 17 km landinwaarts van de monding van de Hollandsche IJssel in de Nieuwe Maas. De inlaat wordt gesloten als het chloridegehalte van het inlaatwater te hoog is (meer dan 250 mg/l nabij de stormvloedkering bij Krimpen aan den IJssel), doordat de Rijnafvoer onvoldoende is om zoutindringing op de Nieuwe Maas te voorkomen. Dat is in de praktijk bij een afvoer bij Lobith kleiner dan circa 1100 m³/s. Bij een te hoog chloridegehalte is sprake van een knelpunt.

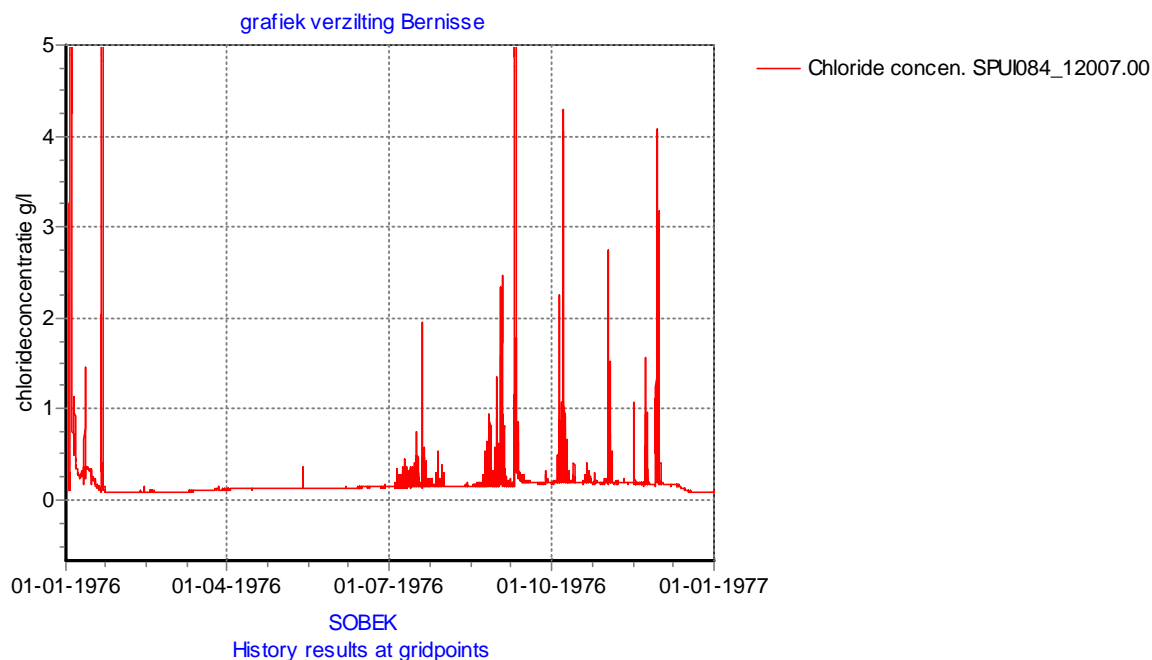
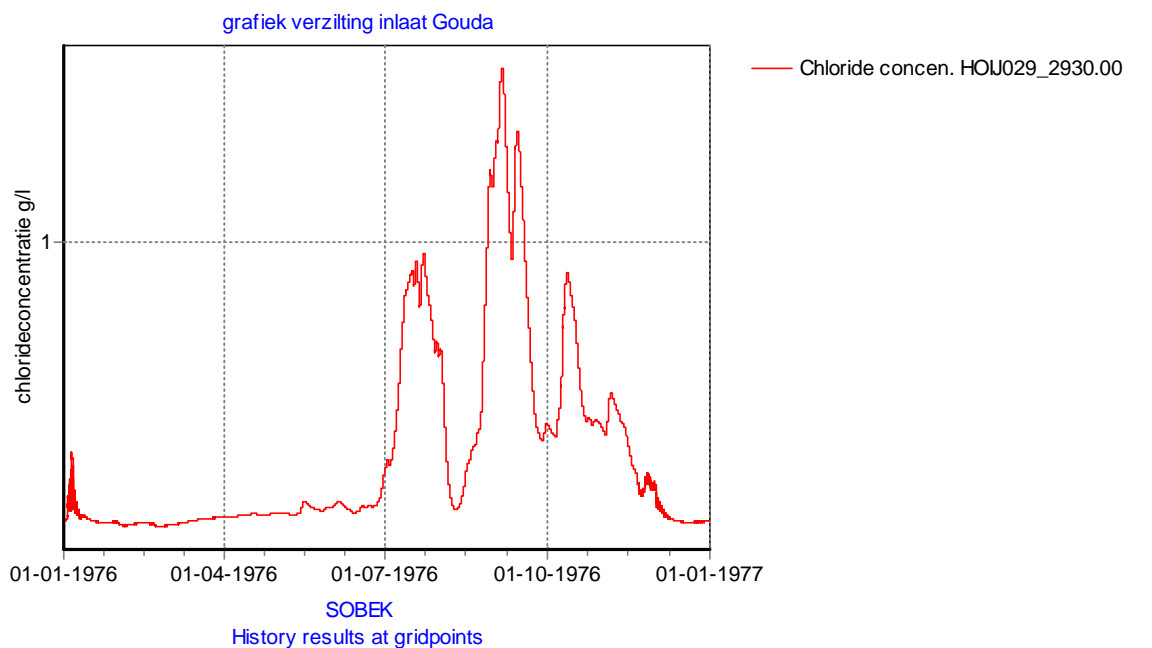
Op vergelijkbare wijze voorziet Bernisse het hoogheemraadschap Delfland en de industrie in het Botlekgebied van zoetwater. Het inlaatpunt bevindt zich langs het Spui, dat het Haringvliet met de Oude Maas verbindt.

Als een inlaatbeperking optreedt bij Gouda wordt een terugvaloptie in werking gesteld, de zogenaamde Kleinschalige WaterAanvoer (KWA), om problemen in de beheersgebieden van de hoogheemraadschappen van Delfland, Rijnland en Schieland te voorkomen. In 2003 is aanvullend op de KWA een tweede alternatieve aanvoerroute in gebruik geweest op voorstel van de hoogheemraadschappen Rijnland en Amstel, Gooi en Vecht, ten tijde van een acuut ervaren inlaatbeperking bij Gouda: de zogenaamde Tolhuissluisroute. De zomer van 2003 was meer dan gemiddeld droog, maar niet extreem. Door een aantal tijdelijke aanpassingen kon water vanuit het IJmeer via de Amsterdamse grachten, het Amstel- Drechtkanaal, de Tolhuissluis en het Aarkanaal naar Alphen aan de Rijn en Bodegraven worden gestuurd om Rijnland van water te voorzien.

De centrale vraag in deze knelpuntenanalyse is dus *of en hoe veel vaker* Gouda en Bernisse in de toekomst niet kunnen inlaten. De zoutgehalten bij deze innameplaatsen zijn voor deze knelpuntenanalyse berekend met het model SOBEK. Dit model is ook gebruikt in een eerdere studie door RWS Dienst Zuid-Holland (Beijk, 2008). In beide studies zijn de zoutgehalten bij een aantal innameplaatsen in de Rijn- en Maasmonding berekend voor de 4 KNMI scenario's in 2050.

Een interessante observatie aan de resultaten van zulk soort analyses heeft betrekking op het verloop van hoge zoutgehalten in de tijd. Bij Gouda is sprake van een 'gemengde propstroom' in de Hollandse IJssel, waarbij het zoutgehalte geleidelijk oploopt en weer terugloopt, terwijl bij Bernisse de invloed van getijden in het snelstromende Spui tot kortdurende pieken leidt. Vergelijk daarvoor de berekeningsresultaten voor beide locaties in Figuur 5.13. Voor de inname van water bij deze punten heeft dit natuurlijk consequenties: is het langdurig onmogelijk, of kan het na een uurtje weer omdat het weer zoet genoeg is? Dat stelt wel eisen aan het beheer van de inlaat.

In Tabel 5.1 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven voor een extreem droog jaar (referentie 1976) in het huidig klimaat en in 2050 bij scenario's G en W+ voor de innameplaatsen Gouda en Bernisse, en ter vergelijking de resultaten van de eerdere studie van Beijk (2008).



Figuur 5.13 Berekend verloop van het zoutgehalte bij inlaat Gouda en Bernisse: langdurig verhoogd (gemengd) versus korte maar heel hoge pieken.

Tabel 5.1 Overschrijding zoutinlaatcriterium (aantal dagen) bij Gouda en Bernisse voor een extreem droog jaar (referentie 1976) in huidig klimaat, G en W+, en de resultaten van Beijk (2008) voor diezelfde omstandigheden

	Knelpuntenanalyse (zomerhalfjaar)			Beijk, 2008 (hele jaar)		
	huidig	G	W+	huidig	G	W+
Gouda > 48 uur > 250 mg/l	27	35	81	76	86	161
Bernisse > 7uur >150 mg/l	1	1	23	30	34	105

Het verschil tussen de resultaten van de knelpuntenanalyse en de eerdere RWS-studie van Beijk lijkt erg groot (wel een factor 2), maar is eenvoudig terug te voeren op verschillende uitgangspunten:

- Ten eerste hebben de resultaten in de RWS-studie betrekking op het gehele jaar, in de knelpuntenanalyse betreffen ze alleen het zomerhalfjaar (april t/m september). Nadere beschouwing leert dat voorjaars- en najaarsstormen vaak verzilting veroorzaken. Omdat in die periode de waterbehoefte over het algemeen niet groot is, is bij de knelpuntenanalyse voor het zomerhalfjaar gekozen⁹. Ware het hele jaar beschouwd, dan had dat voor Gouda in W+ een overschrijdingduur van 145 dagen opgeleverd, en voor Bernisse 104 dagen. Dit verklaart voor Bernisse dus vrijwel het gehele verschil en voor Gouda een groot deel van het verschil.
- In de RWS-studie zijn voor een extreem droog jaar de rivierafvoeren van 1976 gecombineerd met de hoogwaterstanden bij Hoek van Holland uit 1990. Dit is een *worst-case* situatie omdat in 1990 op zee veel meer hoge hoogwaters voorkwamen dan in 1976 (wel 2,7 maal zo vaak als we alle hoogwater boven 1,50 m NAP optellen). Dit verklaart grotendeels de rest van het verschil.
- Ten derde is in de knelpuntenanalyse gecorrigeerd voor afgenomen zoutconcentraties in het Rijn- en Maaswater (- 20 mg/l), omdat de gebruikte achtergrondconcentraties bij Lobith en Eijsden gedateerd zijn. Op dit moment zijn de achtergrondgehalten bij (zeer) lage afvoeren ongeveer 40 mg/l lager. Voor een heel jaar scheelt dat 42 dagen overschrijding bij Bernisse.

De verschillen tussen de knelpuntenanalyse en de eerdere RWS-studie zijn dus goed te verklaren. Ze geven vertrouwen in de laatste berekeningen. Tegen die achtergrond zijn ook de overschrijdingen van zoutcriteria berekend voor een aantal andere inlaatpunten van zoetwater voor regionaal waterbeheer (landbouwwatervoorziening, doorspoeling, peilbeheer) in het benedenrivierengebied (Tabel 5.2). In deze tabel staat Bernisse nogmaals genoemd, maar nu met een ander inlaatcriterium, namelijk > 48 uur in plaats van > 7 uur. Dat scheelt 2 dagen.

Een lastig punt bij de interpretatie van deze resultaten is dat de frequenties van 'klimatologisch' of 'agrohydrologisch' droge jaren niet overeenkomen met de frequenties van een 'droog jaar' vanuit het oogpunt van externe verzilting; met andere woorden: er valt op dit moment niet goed een frequentie van voorkomen aan te koppelen.

9. Voor de watervoorziening van Rijnland en Delfland is vooral het zomerhalfjaar belangrijk, want het gaat om peilbeheer en landbouw, voor Bernisse gaat het ook om proceswater en drinkwater; dan is het hele jaar belangrijk

Tabel 5.2 Overschrijdingsduur (dagen) van 'zoutcriteria' voor een aantal innamepunten van water voor regionaal waterbeheer in het zomerhalfjaar in huidig klimaat en in 2050 bij scenario G en W+. De genoemde herhalingsduur heeft betrekking op de externe verziltingsituatie (zie toelichting)

	huidig			G			W+		
	gemiddeld	Droog	Extreem droog	gemiddeld	Droog	Extreem droog	gemiddeld	Droog	Extreem droog
herhalingsduur	1,2 ¹	4,3 ¹	onbek. ²	1,2 ¹	4,3 ¹	onbek. ²	1,2 ¹	4,3 ¹	onbek. ²
HY Gouda	0	0	27	0	0	35	0	0	81
Lek Streefkerk	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Lek Kinderdijk	0	0	0	0	0	0	0	0	24
OM De Bosschen	0	0	0	0	0	0	0	0	22
Spui Beerenplaat	0	0	4	0	0	5	0	0	46
Spui Bernisse	0	0	2	0	0	2	0	0	21

De volgende locatiespecifieke criteria zijn toegepast:

- Gouda: chloridegehalte > 250 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 48 uur
- Lekkerkerk: chloridegehalte > 250 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 48 uur
- Streefkerk: chloridegehalte > 250 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 48 uur
- Kinderdijk: chloridegehalte > 250 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 48 uur
- OM De Bosschen: chloridegehalte > 250 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 48 uur
- Beerenplaat: chloridegehalte > 150 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 24 uur
- Bernisse: chloridegehalte > 150 mg/l gedurende aaneengesloten periode van 24 uur

¹ gebaseerd op Beersma et al. (2005)

² Voor het jaar 1976 is in Beersma et al. een herhalingsduur afgeleid van 32 jaar. Dit geldt voor een combinatie van rivierafvoeren 1976 en waterstanden Hoek van Holland 1990. De waterstanden in Hoek van Holland in 1976 waren lager dan in 1990. Daarom zou de herhalingsduur naar beneden bijgesteld moeten worden. Het jaar 1976 blijkt in de praktijk globaal vergelijkbaar met het jaar 2003, zoals gepresenteerd in de studie van Beijck.

Al met al kan worden vastgesteld dat in 2050 in het W+-scenario de inlaatcriteria voor zout op de verschillende innamepunten in het zomerhalfjaar veel vaker zullen worden overschreden dan in het huidige klimaat of scenario G; dat wil zeggen in een klimatologisch extreem droog jaar, waarvan we (nog) niet weten welke 'verziltingsfrequentie' daar bij hoort. In een 'gemiddeld' of 'droog' jaar is er ook in scenario W+ geen sprake van een knelpunt.

Doorkijkje naar 2100

Voor 2100 geven de berekeningen voor scenario W+ een sterke toename van de verzilting te zien, vooral in Gouda. Zelfs voor een gemiddeld jaar wordt voor inlaatpunt Gouda een overschrijding van 71 dagen in het zomerhalfjaar berekend waarop een chlorideconcentratie van 250 mg/l gedurende 48 uur of langer overschreden wordt.

In 2100 treedt bij Gouda ook verzilting op in het G-scenario, maar alleen in een extreem droog jaar. Dat komt doordat de zeespiegel hoger staat. Het G-scenario geeft in 2100 globaal dezelfde verzilting in Gouda als het W+-scenario in 2050, hetgeen strookt met de mate van zeespiegelverhoging.

Voor inlaatpunt Bernisse geldt dat het aantal dagen dat een chlorideconcentratie van 150 mg/l wordt overschreden in 2100 stijgt van 21 naar 30 dagen voor het W+-scenario in een extreem droog jaar. Ook in een gemiddeld jaar kan bij het W+-scenario al verzilting optreden (2 dagen > 150 mg/l).

In het G-scenario blijft de verzilting bij Bernisse beperkt, ook in een extreem droog jaar (maximaal 2 dagen > 150 mg/l).

Tabel 5.3 Overschrijding zoutinlaatcriterium bij Gouda en Bernisse in het zomerhalfjaar voor drie droogtejaren in scenario's G en W+ in 2050 en 2100

	G			W+		
	Gemiddeld	Droog	Extreem droog	Gemiddeld	Droog	Extreem droog
Gouda 2050	0	0	35	0	0	81
Gouda 2100	0	0	37	71	84	118
Bernisse 2050	0	0	2	0	0	21
Bernisse 2100	2	0	2	2	8	30

5.3.7 Tekort aan water voor peilhandhaving Nederrijn-Lek?

De waterverdeling over de Waal, IJssel en Nederrijn-Lek wordt bij lage afvoeren geregeld door de stuw bij Driel. Het doel van de kanalisatie van de Nederrijn-Lek (gestart in 1970) was tweeledig; zorgen voor bevaarbare rivieren en voor voldoende aanvulling van het IJsselmeer. Hiertoe zijn drie stuwen in de Nederrijn-Lek gebouwd, zodat hier steeds voldoende vaardiepte zou zijn en er meer water over de vrij-afstromende IJssel kon worden gestuurd.

De meest bovenstroomse stuw bij Driel fungeert als de kraan die de afvoerverdeling tussen Nederrijn-Lek en de IJssel regelt. Deze wordt zo bediend dat er zo lang mogelijk tenminste 285 m³/s over de IJssel kan stromen en er altijd 25 m³/s voor de Neder-Rijn overblijft. Die 25 m³/s zijn nodig voor de waterverdeling meer stroomafwaarts via Amsterdam-Rijnkanaal en Lek. Zolang de afvoer bij Lobith hoger is dan 1300 m³/s kan hieraan voldaan worden. Bij lagere afvoeren blijft de 25 m³/s voor de Neder-Rijn gereserveerd, maar kan het debiet over de IJssel van 285 m³/s niet langer worden gehandhaafd. Dat heeft consequenties voor de bevaarbaarheid, waar elders in dit hoofdstuk op wordt ingegaan. Er kan dan ook een knelpunt ontstaan rond de afvoerverdeling over de Rijntakken. Dit vraagt nadere analyse, waarbij verschillende watervragers en regio's zijn betrokken (scheepvaart op de vrij afstromende rivieren, het noorden van het land via het IJsselmeer, Midden-West Nederland).

Met de stuw bij Hagestein kan het peil op het kruispunt tussen Amsterdam-Rijnkanaal en Nederrijn-Lek worden beheerst. Daarbij kan zich de situatie voordoen dat de Waal lager komt te staan dan het Amsterdam-Rijnkanaal dat gewoonlijk in open verbinding staat met de Nederrijn-Lek. Dit kan een knelpunt zijn als de sluisdeuren daar niet op zijn berekend; dit vraagt nog een nadere analyse.

5.3.8 Watertekorten voor peilhandhaving in de gestuwde Maas en Brabantse kanalen?

De Maas kent regelmatig voorkomende perioden met lage afvoer. Het Nederlandse deel van de Maas is gekanaliseerd met zeven stuwen tussen Borgharen en Lith. Deze zorgen ervoor dat de vaardiepte minimaal 3 meter is. Vrijwel direct nadat het water van de Maas de grens tussen België en Nederland is gepasseerd, vindt een verdeling plaats over drie takken: de Zuid-Willemsvaart, het Julianakanaal en de Grensmaas. De afvoer over de Grensmaas wordt zo lang mogelijk op peil gehouden voor de natuur.

Via de kanalen gaat een deel van het Maaswater naar delen van Limburg en Noord-Brabant. Deze zijn daar voor hun watervoorziening op aangewezen. Het gaat hier om peilbeheer en doorspoeling van de kanalen en Brabantse beken.

Gezien de lagere laagwaterafvoeren die voor de Maas verwacht worden in scenario W+ is een knelpunt te verwachten rond deze verdeling. Naar het zich laat aanzien kunnen de gewenste debieten voor de diverse takken en doeleinden vaker en langduriger niet gegarandeerd worden. Dit is een mogelijk knelpunt, dat nog niet is geanalyseerd, maar in het vervolg wel specifieke aandacht vraagt.

5.4 Landelijk beeld per gebruiksfunctie/ sector

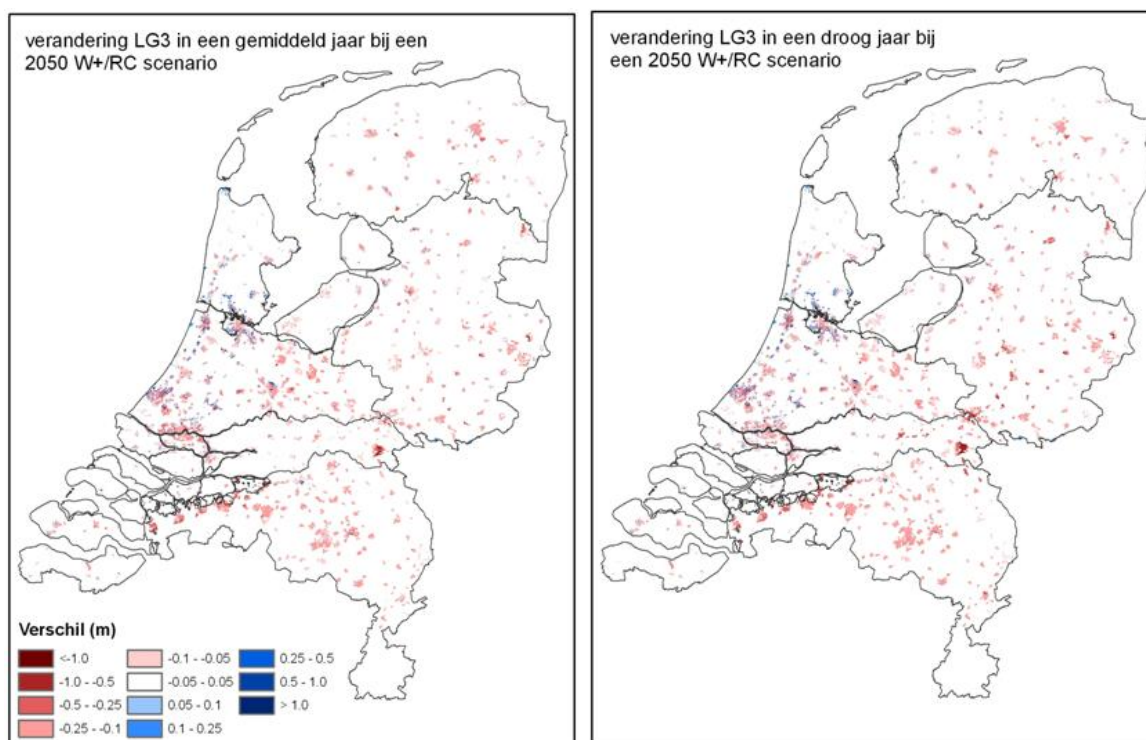
Bij gebruiksfuncties wordt onderscheid gemaakt tussen netwerkgebonden functies – die aan waterlopen zijn gebonden of daar water aan onttrekken – en gebruiksfuncties van het land. Die laatste zijn afhankelijk van de verticale waterbalans in de bodem (onverzadigde en verzadigde zone) van landbouwpercelen en stedelijke en natuurgebieden. Op enkele van deze functies gaan we hier eerst in, namelijk op stedelijke functies, landbouw en natuur. Daarna worden enkele netwerkgebonden functies besproken.

In hoeverre sprake is van een knelpunt wordt weer aan de hand van hydrologische indicatoren bepaald, maar waar we beschikken over modellen om de gevolgen voor de functies/ sectoren zelf te bepalen, is dat ook gedaan.

5.4.1 Stedelijke functies

Voor stedelijk gebied zijn geen specifieke knelpuntbepalingen gedaan op basis van modelresultaten. Wel is een geografische analyse gemaakt van waar grondwaterstanddaling door klimaatverandering overlapt met stedelijk gebied. Daarbij is gebruik gemaakt van de met NHI berekende daling van de laagste grondwaterstanden in een gemiddeld jaar en een droog jaar (Figuur 5.14).

De kaarten laten zien dat de grondwaterstanden in bestaand stedelijk gebied in 2050 in scenario W+ in het zomerhalfjaar enkele decimeters kunnen dalen ten opzichte van de huidige situatie. Dat zijn dalingen die groter zijn dan de huidige verschillen tussen een gemiddeld en een droog jaar.



Figuur 5.14 Verschil tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3) in scenario W+/RC in 2050 en die in de huidige situatie in bestaand stedelijk gebied.

De dalingen zijn het grootst in steden op de hoge zandgronden, zoals in Twente, de Nijmeegse stuwwal, de Utrechtse Heuvelrug en in Brabant. Dat zijn steden op zandgrond, waar de gevolgen beperkt zullen blijven. Maar de grondwaterstanden dalen ook meer dan een decimeter in Laag-Nederland, bijv. in Rotterdam, Dordrecht, Delft, Leiden, Amsterdam, Gouda, Woerden, Hoorn, Leeuwarden en Groningen.

Verder kunnen slechts enkele kwalitatieve uitspraken worden gedaan, omdat de watervraag van stedelijk gebied zeer slecht bekend is:

- Onder uitzonderlijke droogte- en hittecondities kan aanzienlijke zettingschade ontstaan door het verzakken van constructies. Ook paalrot wordt vaak genoemd.
- Door een slechte waterkwaliteit kunnen leefbaarheid en recreatie aan het water in het gedrang komen, evenals de economische activiteiten die daaraan gekoppeld zijn.
- Voor groen – openbaar en particulier – geldt dat dit niet zonder water kan, of in elk geval niet lang.
- Door verstedelijking zal het *urban heat island* effect over een groter gebied kunnen gaan optreden, en door klimaatverandering ernstiger vormen aannemen. Als ter compensatie wordt ingezet op een verdere vergroening en verblauwing van de stad, is daar meer water voor nodig.

Afsluitend wordt geconcludeerd dat stedelijke functies sterk afhankelijk zijn van de juiste condities. De schade kan groot zijn als er onvoldoende water of water van onvoldoende kwaliteit beschikbaar is. Maar de mogelijke schade is nooit goed gekwantificeerd.

5.4.2 Infrastructuur

Aan infrastructuur zijn in deze fase van het onderzoek nog geen specifieke kwantitatieve analyses gewijd. Waterkerende infrastructuur is afhankelijk van handhaving van waterpeilen en 'droge' infrastructuur op zettingsgevoelige gronden is afhankelijk van handhaving van grondwaterpeilen. Van beide is vastgesteld dat deze in scenario W+ kunnen gaan dalen, al in 2050 en zeker in 2100.

Dit vraagt nadere analyse.

5.4.3 Landbouw

Voor de landbouw is de vochtvoorziening van de plant de doorslaggevende factor. Deze is afhankelijk van:

- het vochttekort in de wortelzone;
- het zoutgehalte in de wortelzone.

Zonder opslag van het neerslagoverschot van de winter in de bodem of aanvullende watervoorziening in de vorm van beregening of infiltratie kan het vochttekort aanzienlijk zijn, zoals in hoofdstuk 4 is uitgewerkt. De bodem is de voornaamste bron om dit tekort te overbruggen. Het vochtleverend vermogen ervan (som van uitputting van de wortelzone en capillaire nalevering) varieert van minder dan 50 mm per groeiseizoen voor een humusarme zandgrond met een dunne wortelzone en met diepe grondwaterstand tot meer dan 300 mm voor een zavelgrond met een dikke wortelzone. Er zijn dus droogtegevoelige en niet-droogtegevoelige gronden. Droogtegevoelige gronden ondervinden droogteschade in een groot aantal jaren, tenzij er een aanvullende watervoorziening is in de vorm van beregening, bevoeiing of infiltratie.

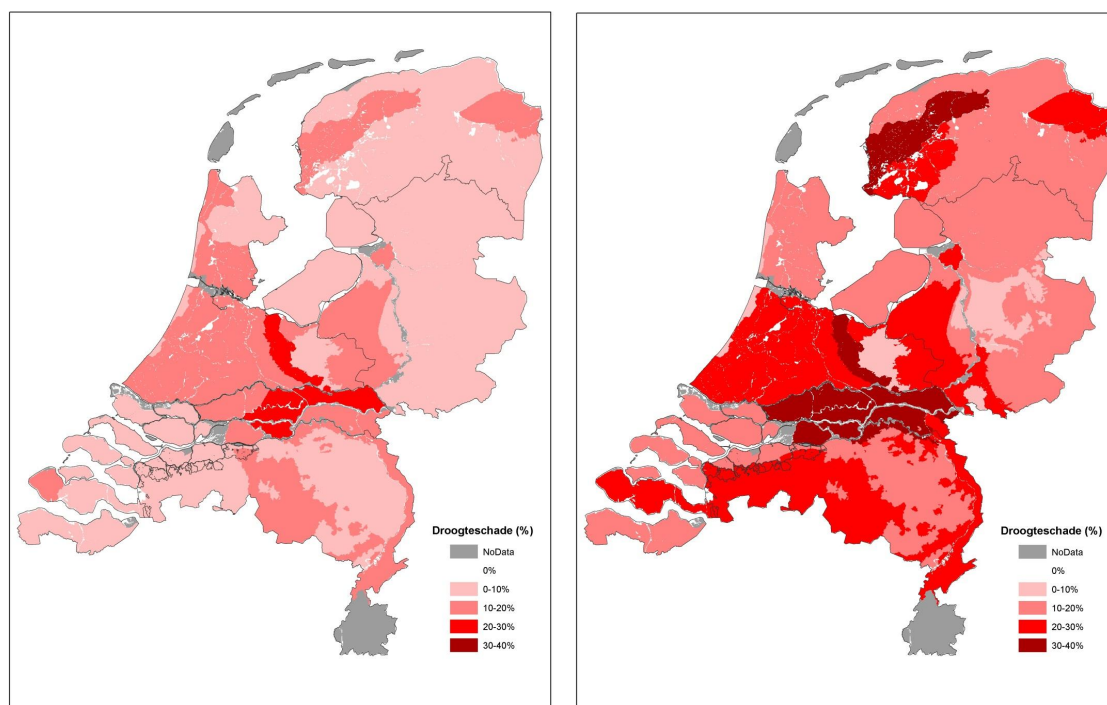
Vochttekort in het groeiseizoen veroorzaakt een reductie van de gewasverdamping en leidt tot verminderde gewasopbrengsten. Op basis daarvan zijn droogteschades in de landbouw berekend. Bij wijze van check is eerst voor geheel Nederland nagegaan hoe de droogteschade in het huidige klimaat in verschillende droogtejaren zich tot elkaar verhoudt en hoe groot deze is in scenario W+/RC (Tabel 5.4). Hierop is door deskundigen geconcludeerd dat de berekende resultaten plausibel zijn.

Tabel 5.4 De berekende totale droogteschade (in %) voor geheel Nederland in verschillende karakteristieke jaren in het huidig klimaat en scenario W+/RC

	Huidig	W+/ RC
gemiddeld jaar	6	15
droog jaar	10	21
extreem droog jaar	25	36

Daarop zijn ook de opbrengstreducties in procenten op kaart weergegeven voor een droog jaar in het huidige klimaat en voor 2050 in scenario W+/RC (Figuur 5.15). Vergelijking van de kaarten wijst uit dat er in dit toekomstscenario vrijwel overal, behalve in enkele delen van het oostelijk zandgebied, een schadetoename van zo'n 10% is. Dat strookt met de berekende schadetoename die voor heel Nederland uitkomt op 11% voor een droog jaar (Tabel 5.4). Het betekent overigens een verdubbeling van de droogteschade in de landbouw.

Deze resultaten zijn in lijn met eerder onderzoek naar consequenties voor de landbouw, die de schade echter uitdrukten in monetaire termen (geldbedragen). Van Beek (2008) vond meer dan een verdubbeling in een gemiddeld jaar en een toename van 20- 25% in een extreem droog jaar. Klijn et al. (2010) kwamen op een gemiddelde jaarlijkse schadetoename (verwachtingswaarde) van ruim 80%.



Figuur 5.15 Droogteschade (in %) in een droog jaar in het huidige klimaat (links) en in 2050 in scenario W+/ RC (rechts)

Eerder is vastgesteld dat ook de zoutschade bij klimaatverandering kan toenemen, maar dat de getalswaarden in het niet vallen bij die voor vochttekort (Van Beek et al., 2008; Klijn et al., 2010). De zoutproblematiek is bovendien vooral regionaal van betekenis. De voor deze knelpuntenanalyse door AGRICOM berekende zoutschade is beperkt tot kleine arealen in Noord-Holland, de Noordoostpolder en Noord- Friesland en Groningen. Bij het scenario W+/RC neemt de zoutschade toe maar het areaal waar schade optreedt, is ongeveer gelijk.

Daarbij moeten enkele kanttekeningen worden gemaakt:

- Er is al vastgesteld dat de zoutmodellering in NHI te wensen overlaat. Er is haast geen toename in zoutgehalten in de sloten te zien (zie hoofdstuk 4);
- Zoutschade veroorzaakt door capillaire opstijging in gebieden met zoute/brakke kwel wordt door NHI niet juist gemodelleerd en komt dus niet in de resultaten tot expressie;
- Zoutschade in de glastuinbouw en schade door bladverbranding en structuurbederf zijn niet meegenomen;
- Boomteelt en enkele andere teelten zijn als zoutgevoelig gekwalificeerd maar de gebruikte schadepcentages zijn discutabel.

De watervraag voor beregening

In NHI is per rekengridcel gedefinieerd welk gewas/ teelt er voorkomt, of dat gewas wordt beregend en zo ja, of de beregening uit grondwater of oppervlaktewater plaats vindt. Voor beregenbare grids wordt bij een vooraf gespecificeerde uitdroging van de wortelzone binnen het groeiseizoen beregening 'aangezet'; indien het beregening uit oppervlaktewater betreft alleen als er ook voldoende oppervlaktewater beschikbaar is.

Dit levert een beregeningshoeveelheid per jaar, evenals een resterende gewasverdampingsreductie. Voor een droog jaar (10% droog) zijn per *bestuurlijke regio*¹⁰ de beregeningsbehoefte en het gewasverdampingstekort berekend voor het huidige klimaat en het klimaat in 2050 bij scenario's G/RC en W+/RC.

Uit de resultaten bleek dat klimaatscenario G voor de landbouw weinig gevolgen heeft; daarom zijn ze hier voor dat scenario niet weergegeven. Voor scenario W+/ RC zijn de resultaten wel gegeven, en wel in Tabel 5.5. Hieruit blijkt duidelijk dat het klimaatscenario W+ een grote invloed kan hebben op de landbouw. Zowel de beregeningsbehoefte als het gewasverdampingstekort nemen toe met circa 60% respectievelijk factor 3.

Tabel 5.5 De hoeveelheid beregening uit oppervlaktewater en de gewasverdampingsreductie in een droog jaar per bestuurlijke regio in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario W+/ RC

	Huidig klimaat				2050 W+/ RC			
	beregening uit oppervlaktewater		gewasverdampingsreductie		beregening uit oppervlaktewater		gewasverdampingsreductie	
	(mm)	(Mm ³)	(mm)	(Mm ³)	(mm)	(Mm ³)	(mm)	(Mm ³)
Noord- Nederland	3,2	21	21,8	143	6,2	40	68,0	447
Oost- Nederland	1,9	15	25,1	202	3,3	27	68,4	549
Flevoland en NH	15,5	50	22,3	72	27,2	88	63,9	205
West-Nederland	7,4	31	41,8	179	11,7	49	86,6	372
Rivierengebied	26,9	51	50,7	95	39,3	74	105,7	722
Zuid-Nederland	3,8	23	44,7	280	6,5	36	92,9	580
Zuidwestelijke Delta	14,3	46	29,0	80	19,6	63	79,0	217
Totaal		237		1051		377		3092

10. Door het programmteam van het deelprogramma Zoetwater zijn bestuurlijke regio's onderscheiden, waar regionale knelpuntenanalyses voor zijn uitgevoerd. Deze zijn in de onderhavige rapportage verder nergens gebruikt, omdat ze waterhuishoudkundig te heterogeen geacht worden. Maar voor de landbouwkundige analyse heeft Alterra ze wel gebruikt, en daar komen deze resultaten uit.

De in de toekomst verwachte verandering van de hoeveelheid beregening uit oppervlaktewater in de scenario's is gebaseerd op de aanname dat deze alleen geldt voor gridcellen die nu ook al kunnen worden beregend. Dat veronderstelt dat er geen nieuwe beregeningsinstallaties worden aangeschaft. Dit kan een forse onderschatting van de werkelijke ontwikkeling in de landbouw impliceren. De berekeningen leverden een toename van de beregening op van 60% als gevolg van vrijwel *alleen klimaatverandering*.

Daarom is een tweede analyse gedaan, waarbij is verondersteld dat landbouwschade leidt tot een uitbreiding van het areaal beregenbare landbouwgronden. Om een orde van grootte te kunnen bepalen is verondersteld dat de uitbreiding zodanig is dat de verdampingsreductie in een droog jaar in 2050 gelijk is aan die nu. Aldus is per district de extra watervraag berekend en opgeteld bij de al vastgestelde toename (Tabel 5.6).

Tabel 5.6 De hoeveelheid beregening uit oppervlaktewater (alle getallen in Mm^3) in een droog jaar per bestuurlijk district in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario W+/ RC onder de aanname dat de gewasverdampingsreductie zal worden gecompenseerd door de aanschaf van extra beregeningsinstallaties

district	Huidig	2050 W+/ RC			
	beregening	Nu beregend areaal	Volledige compensatie	Fractie uit oppervlaktewater	Toename door W+
Noord-Ned.	21	40	456	0,76	346
Oost-Ned.	15	27	521	0,52	271
Flevoland en NH	50	88	199	0,71	142
West-Nederland	31	49	289	0,51	147
Rivierengebied	51	74	940	0,71	668
Zuid-Nederland	23	36	450	0,13	59
Zuidwestelijke delta	46	63	206	0,67	138
Kolomtotaal	237	377	2041		1770
Totaal	237		2147		

Dit levert een toename op van $237 Mm^3$ naar $2147 Mm^3$. Dat is ruim 9 keer zoveel! Het is dan ook een bovenschatting. Alles overziend kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- scenario G/RC heeft weinig effect op de het verloop van de vochttoestand van de bodem en daarmee ook weinig op de landbouw;
- het scenario W+/ RC leidt tot een aanzienlijke toename van de watervraag voor beregening in 2050, van 60% op nu beregend areaal en van ruwweg 9 keer zoveel om de extra gewasverdamping volledig op te heffen.

5.4.4 Terrestrische natuur en natuur in de kleine wateren

In deze knelpuntenanalyse zijn alleen effecten berekend voor de floristische kwaliteit van de vegetatie voor zover veroorzaakt door een verandering in de waterhuishouding.

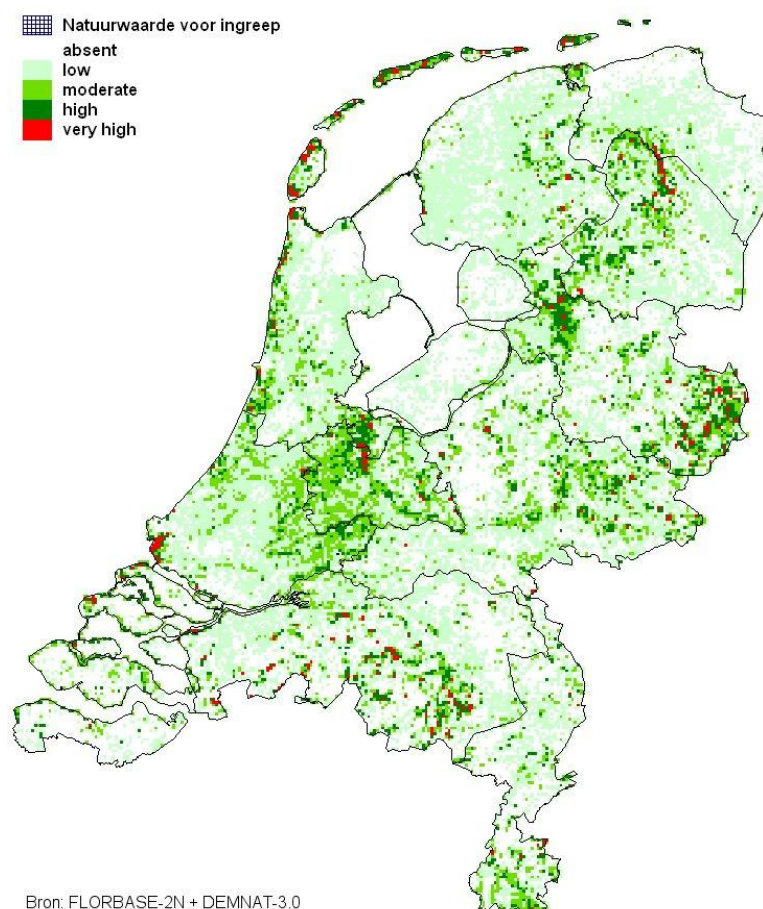
Dan gaat het om de gevolgen voor de vegetatie door daling van grondwaterstanden, het opdrogen van geïsoleerde waterpartijen, het wegvallen van kwelstromen, etc. Hierover is door Witte *et al.* (2009) gepubliceerd.

Daarvoor is het landelijke ecohydrologische voorspellingsmodel DEMNAT 3.0 gebruikt. DEMNAT berekent de toe- of afname van de (botanische) volledigheid van achttien ecosysteemtypen: ecotoopgroepen genaamd. In tabel 5.4.1 zijn deze gespecificeerd. Met behulp van een natuurwaarderingssysteem worden de gevolgen gewogen naar de betekenis voor het natuurbehoud in Nederland.

Tabel 5.7 De 18 ecotoopgroepen die in DEMNAT-3.0 worden onderscheiden

code	omschrijving (<i>landschapstype</i>)
A12	Verlandings- en zoetwatervegetaties van voedselarme, zwak zure wateren (<i>vennen, duinmeren</i>)
A17	Verlandings- en zoetwatervegetaties van matig voedselrijke wateren (<i>sloten en plassen in laagveengebieden en nattere zandstreken</i>)
A18	Verlandings- en zoetwatervegetaties van zeer voedselrijke wateren (<i>sloten en plassen in laagveen- en kleigebieden</i>)
bA10	Verlandings- en zoetwatervegetaties van brakke wateren (<i>sloten en plassen in brakke polders, inlagen</i>)
K21	Pionier- en graslandvegetaties op natte, voedselarme zure bodems (<i>natte heiden en hoogvenen</i>)
K22	Pionier- en graslandvegetaties op natte, voedselarme zwak zure bodems (<i>veenmosrietlanden, trilvenen, blauwgraslanden, kalkarme duinvalleien</i>)
K27	Pionier- en graslandvegetaties op natte, matig voedselrijke bodems (<i>hooilanden in het laagveen en in de middenloop van beekdalen</i>)
K28	Pionier- en graslandvegetaties op natte, zeer voedselrijke bodems (<i>ruigtes langs rivieren en sloten, nat cultuurgrasland</i>)
bK20	Pionier- en graslandvegetaties op natte, brakke bodems (<i>natte graslanden in brakke polders</i>)
bK40	Pionier- en graslandvegetaties op vochtige, brakke bodems (<i>vochtige graslanden in brakke polders</i>)
K41	Pionier- en graslandvegetaties op vochtige, voedselarme zure bodems (<i>vochtige heiden</i>)
K42	Pionier- en graslandvegetaties op vochtige, voedselarme zwak zure bodems (<i>heischrale graslanden, kalkarme duinvalleien</i>)
H22	Bossen en struwelen op natte, voedselarme zwak zure bodems (<i>bronbossen</i>)
H27	Bossen en struwelen op natte, matig voedselrijke bodems (<i>elzenbroekbos, nat hellingbos</i>)
H28	Bossen en struwelen op natte, zeer voedselrijke bodems (<i>riverbossen, grienden</i>)
H42	Bossen en struwelen op vochtige, voedselarme zwak zure bodems (<i>loofbossen op zandgronden</i>)
H47	Bossen en struwelen op vochtige, matige voedselrijke bodems (<i>parkachtige bossen, loofbossen</i>)

In figuur 5.4.1 is de ruimtelijke verspreiding weergegeven van (botanische) natuurwaarden van natte en vochtige ecosysteemtypen in de huidige situatie. Vooral kwelgebieden herbergen veel zeldzame soorten en daarmee hoge natuurwaarden. Daar komen de zeer waardevolle ecotoopgroepen K22, K21 en K23 voor. Qua areaal zijn matig voedselrijke en voedselrijke ecotoopgroepen dominant (K28, A18, K27 en A17), maar die hebben een geringere natuurwaarde, omdat ze minder zeldzaam zijn en minder zeldzame soorten kennen. Door hun veelvuldige voorkomen vertegenwoordigen de (zeer) voedselrijke ecotooptypen toch een groot deel van de totale natuurwaarde in Nederland.



Figuur 5.16 Natuurwaarde van natte en vochtige ecosystemen in de huidige situatie, gebaseerd op FLORBASE-2N.

Om de verandering van de botanische natuurwaarde als gevolg van de deltasenario's te kunnen berekenen zijn de volgende invoerparameters relevant:

- Verandering van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG);
- Verandering van de kwelflux (vooral van lithoclien water, met een hoge basenverzadiging);
- Verandering van het fosfaatgehalte in de kleine wateren (uit % gebiedsvreemd water);
- Verandering van het chloridegehalte in de kleine wateren;
- Verandering van het waterpeil in de kleine wateren.

Deze zijn berekend met NHI en als invoer voor DEMNAT gebruikt, waarbij voor landgebruik een GE of RC scenario is aangehouden en voor klimaat G en W+. De landgebruikscenario's GE of RC bleken niet tot grote verschillen te leiden, de verschillende klimaatscenario's wel.

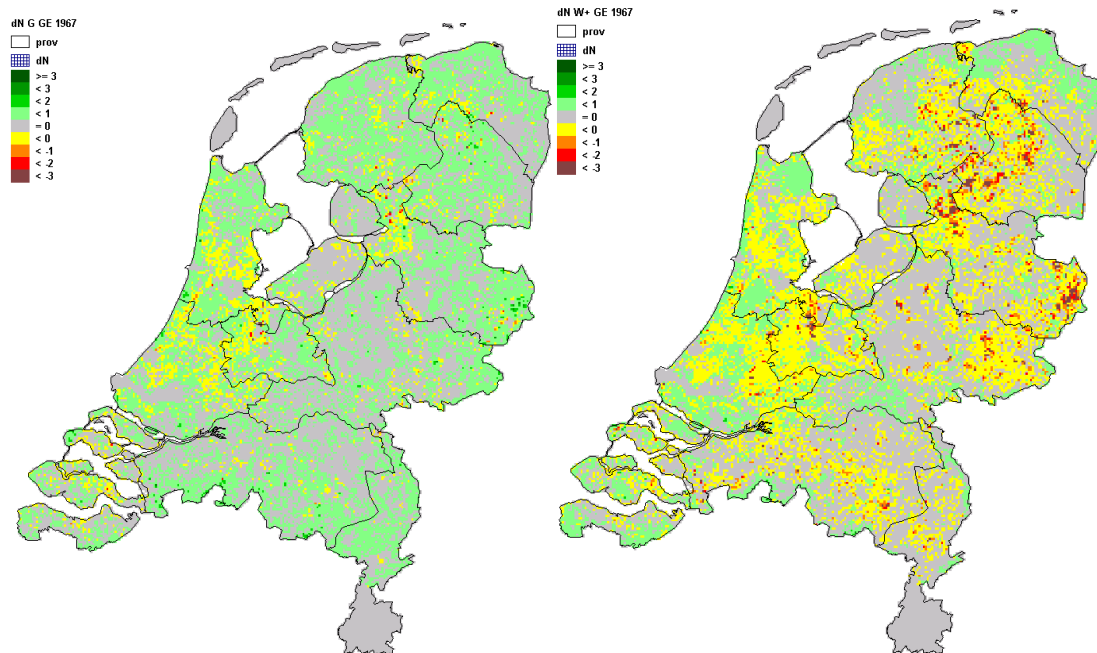
De gevolgen van het W+ scenario zijn al eerder in 2008 met het PAWN instrumentarium doorgerekend voor hetzelfde 'gemiddelde jaar' als in deze studie gebruikt (1967). De nu met NHI gevonden veranderingen van GVG en kwelflux wijken echter sterk af van de veranderingen die toen zijn berekend. Dat ligt waarschijnlijk deels aan de 'climate forcing', maar heeft ook te maken met de wijze van berekenen; in ieder geval kunnen de consequenties voor de natuur niet zomaar met elkaar worden vergeleken.

Over de relevante standplaatsfactoren is het volgende vastgesteld:

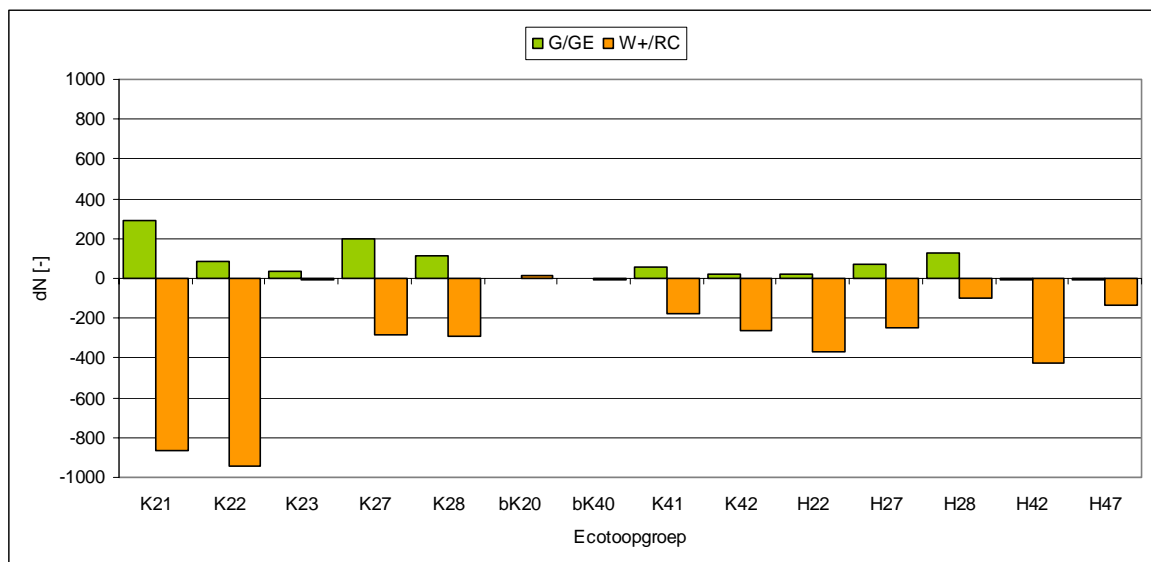
- Het G-scenario laat een lichte stijging van de GVG zien, conform de verwachting;
- De inlaat van systeemvreemd water neemt af en de verandering in chlorideconcentraties in oppervlaktewateren is zeer gering;
- Het peil in de kleine oppervlaktewateren laat weinig verandering zien.

- Het W+-scenario zoals berekend met NHI laat (soms grote) dalingen zien in de GVG voor grote delen van hoog Nederland;
- De kwelverandering laat een toename van kwel zien die groter is dan indertijd met PAWN berekend, maar qua patroon vergelijkbaar;
- Het percentage gebiedsvreemd water wordt substantieel groter (en is groter dan indertijd berekend met PAWN);
- De chlorideconcentraties nemen in het W+ scenario toe, maar veel minder sterk (met ca. 100 mg/l) dan indertijd met het PAWN instrumentarium berekend (toen met ca. 400 mg/l);
- Het peil van de kleine oppervlaktewateren laat plaatselijk geringe dalingen zien.

De natuurwaardeverandering die hiervan in 2050 het gevolg is voor het G en W+ scenario (beide met GE en voor een gemiddeld jaar) is voor de terrestrische ecotooptypen ruimtelijk weergegeven in Figuur 5.17. In Figuur 5.18 zijn de veranderingen ook nog in natuurwaardepunten weergegeven voor de 14 terrestrische ecotoopgroepen afzonderlijk.



Figuur 5.17 Ruimtelijk beeld van de totale berekende natuurwaardeverandering (in natuurwaardepunten per gridcel) in 2050 voor het G (links) en W+ scenario (rechts) voor de 14 terrestrische ecotoopgroepen.



Figuur 5.18 De verandering in natuurwaarde (N) van de terrestrische ecotoopgroepen in 2050 voor twee deltasenario's berekend met NHI

Figuur 5.17 laat zien dat het G-scenario tot een kleine toename van de natuurwaarde leidt. De geringe achteruitgang in Laag-Nederland wordt verklaard door de veranderingen in chlorideconcentratie die van invloed zijn op een aantal natte terrestrische ecotoopgroepen.

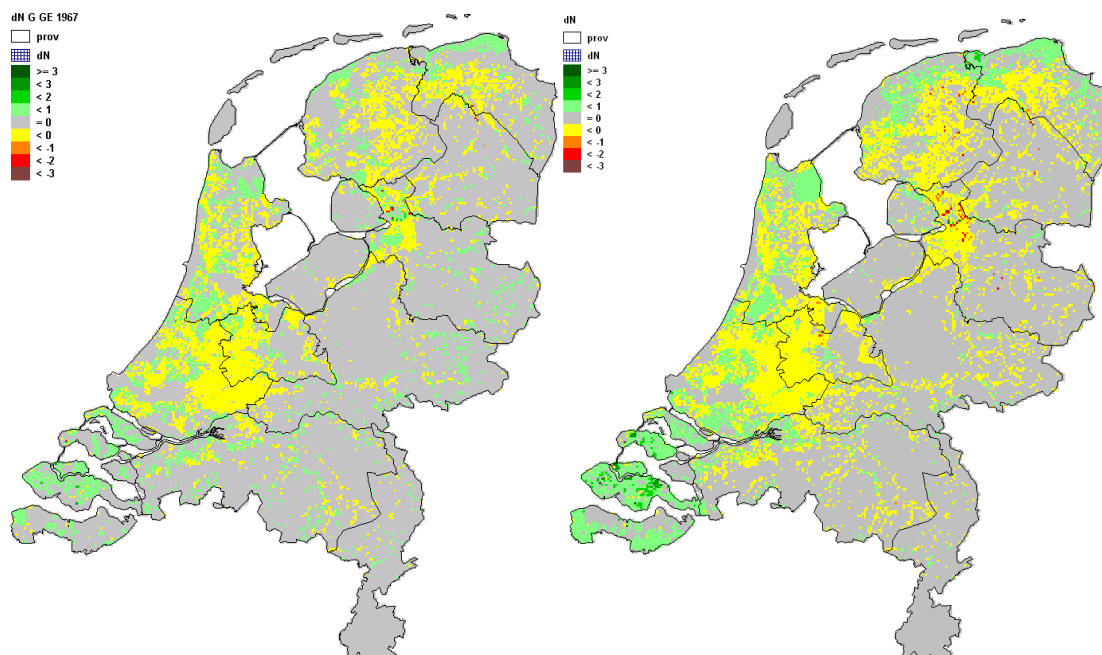
Het W+ scenario laat daarentegen een sterke achteruitgang zien, vooral op de zandgronden van Hoog-Nederland. Dat komt door de daling van de GVG, die substantieel is, variërend van 5- 20 cm, tot zelfs meer dan 40 cm in Zuid Nederland. Rondom grondwateronttrekkingen worden dalingen van meer dan een meter berekend. Vooral K21 en K22 reageren sterk op de GVG-dalingen. Een geringe maar wijdverspreide toename in de natuurwaarde wordt berekend voor de lage delen van Nederland. Deze kunnen worden verklaard uit een stijging van de GVG in die gebieden. Tevens leidt de toename in het chloridegehalte in de oppervlaktewateren tot een toename van de relatief waardevolle natte en vochtige brakke ecotoopgroepen (bK20, bK40).

Figuur 5.18 geeft de verandering in natuurwaardepunten per ecotoopgroep. De grootste achteruitgang is te zien bij scenario W+/RC bij K21 en K22 (Kruidige vegetaties van natte, voedselarme standplaatsen). De -850 tot -900 natuurpunten komt voor deze typen overeen met zo'n 25% achteruitgang. De totale achteruitgang in natuurwaarde van dit scenario is 8%. Scenario G/GE leidt tot een geringe vooruitgang, van 2%.

Voor de 4 aquatische ecotoopgroepen in de regionale wateren zijn de veranderingen in de natuurwaarde voor het G en W+ scenario (beide GE landgebruik en gemiddeld jaar) weergegeven in Figuur 5.19. In Figuur 5.20 is de verandering per ecotoopgroep weergegeven voor de ecotoopgroepen afzonderlijk.

Voor de aquatische ecotoopgroepen zien we vooral effecten in Laag-Nederland, in beide scenario's. Er is enige toename van de brakke ecotoopgroep bA10, vooral in Zeeland, en sterker in W+ dan in G. Een lichte toename in het chloridegehalte door de verspreiding van gebiedsvreemd water zorgt voor enige afname van enkele wijdverbreide zoete aquatische ecotoopgroepen (A17, A18). Ook de daling in het waterpeil kan daarbij nog een rol spelen. Het W+ scenario levert een grotere achteruitgang op voor de zoete ecotoopgroepen, met name door de grotere mate van inlaat van systeemvreemd water.

Over de hele linie zien we echter een achteruitgang van de natuurwaarde in zowel W+/RC als nu ook in G/GE (Figuur 5.20). Deze achteruitgang bedraagt 6%, respectievelijk 1% voor de aquatische groepen.



Figuur 5.19 Ruimtelijk beeld van de totale natuurwaardeverandering (in natuurwaardepunten per gridcel) voor het G (links) en W+ scenario (rechts) voor de 4 aquatische ecotoopgroepen.



Figuur 5.20 De verandering in natuurwaarde van de aquatische ecotoopgroepen in 2050 voor twee deltasenario's berekend met NHI

5.4.5 Aquatische natuur en natuur langs grote wateren

Veranderende rivierafvoeren en een hogere zeespiegel hebben invloed op het overstromingsregime in buitendijkse gebieden en op het zoutgehalte van het water. Dat leidt tot veranderingen in de natuur in het buitendijks gebied.

Voor deze knelpuntenanalyse is het simulatiemodel HABITAT gebruikt om vast te stellen wat de verwachte veranderingen in de hydrologie betekenen voor de potentiële ontwikkeling van de natuur. Daartoe is de ruimtelijke verdeling van habitats (relevant voor individuele soorten) of ecoseries (relevant voor gehele ecosystemen/ ecotopen) bepaald in zowel de huidige situatie als in 2050 bij scenario's W+ en G bepaald. Ecoseries geven de potentie voor het voorkomen van ecosystemen weer, met de daarin voorkomende soorten planten en dieren.

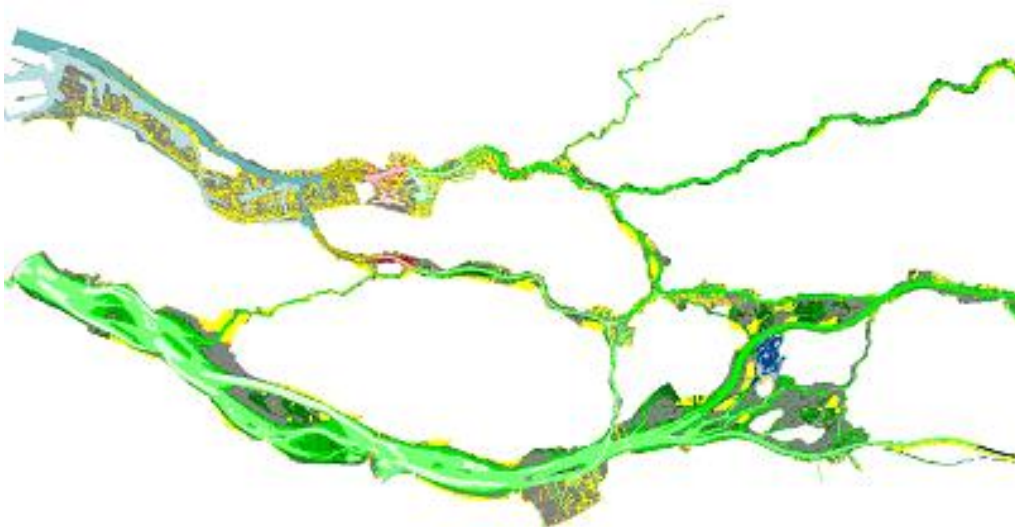
De ecoseries die in de knelpuntenanalyse zijn onderscheiden zijn gebaseerd op de Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels (RES). Elke ecoserie wordt hierbij bepaald door een combinatie van verschillende milieuomstandigheden, waarmee 61 verschillende ecoserietypen kunnen worden onderscheiden, naar:

- Getijslag (2 klassen)
- Zoutconcentratie (4 klassen)
- Overstromingsduur (10 klassen)
- Stroomsnelheid (5 klassen)
- Waterdiepte (9 klassen)

Ecoseries worden gegenereerd met het HABITAT-model. Dat gebruikt informatie over bodemhoogte, hoge en lage waterstanden, zoutconcentraties, stroomsnelheden, en het landgebruik om een beeld te vormen van de milieuomstandigheden op iedere plek. Deze milieuomstandigheden bepalen de ontwikkelingsmogelijkheden van soorten en gehele levensgemeenschappen.

De bodemhoogte is afgeleid uit kaarten en GIS-bestanden. De waterstanden, zoutconcentraties en stroomsnelheden zijn berekend met SOBEK. Als uitgangspunt is een gemiddeld jaar (1967) genomen, omdat natuurontwikkeling vooral wordt bepaald door een 'integratie over de tijd' van milieuomstandigheden.

Met HABITAT is de verdeling van ecoseries bepaald voor het benedenrivierengebied (Figuur 5.21) en het bovenrivierengebied. Het IJsselmeer is niet in de analyses betrokken, omdat wat daar gebeurt niet zozeer door het klimaat wordt bepaald, maar veeleer door keuzes over het peilbeheer.



Figuur 5.21 Ruimtelijke verdeling van ecoseries in het benedenrivierengebied, zoals bepaald met HABITAT op basis van bodemhoogte en hydrologische parameters. Voorbeeld: huidige situatie.

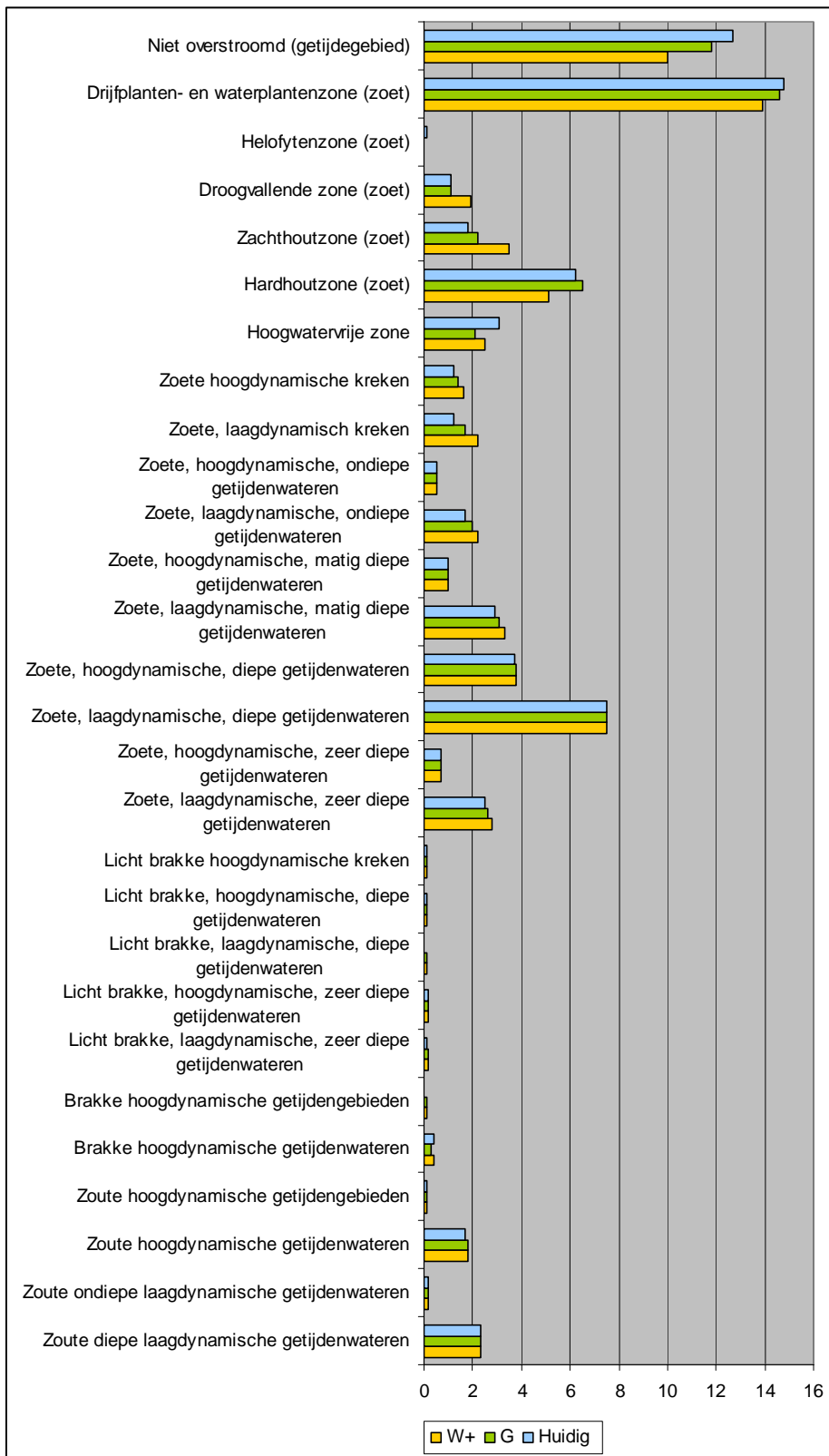
HABITAT is achtereenvolgens toegepast voor de huidige situatie, en de scenario's W+ en G in 2050 (Figuur 5.22 en Figuur 5.23). Vervolgens is de procentuele bijdrage bepaald van de ecoserietypen die als natuur kunnen worden aangemerkt van het totale buitendijkse gebied (dat voor een groot deel uit landbouwgrond bestaat of is bebouwd).

Uit de analyse komt naar voren dat over het algemeen de verdeling van ecoseries in de onderzochte gebieden niet sterk verandert in 2050. Dit kan worden geïnterpreteerd als: de klimaatverandering heeft weinig consequenties voor de aquatische natuur en de natuur in buitendijks gebied. Deels is deze conclusie voorbarig, omdat de effecten in het benedenrivierengebied optreden in een zeer smalle zone tussen diep water en hoog land: daar is wel degelijk sprake van het verdrinken van bestaand intergetijdegebied en het ontstaan van nieuw intergetijdegebied, en van verschuiving van habitats. En er kunnen dan ook enkele algemene trends worden waargenomen die, in 2050 of later, tot knelpunten zouden kunnen leiden.

Zo neemt, ten eerste, het totale oppervlak niet-overstroomd/ hoogwatervrij gebied af, evenals het areaal hardhoutzone (Figuur 5.22). Dit betekent minder mogelijkheden voor soorten om tijdens een hoogwater te overleven. Dit kan leiden tot vaker tijdelijk uitsterven van buitendijkse populaties.

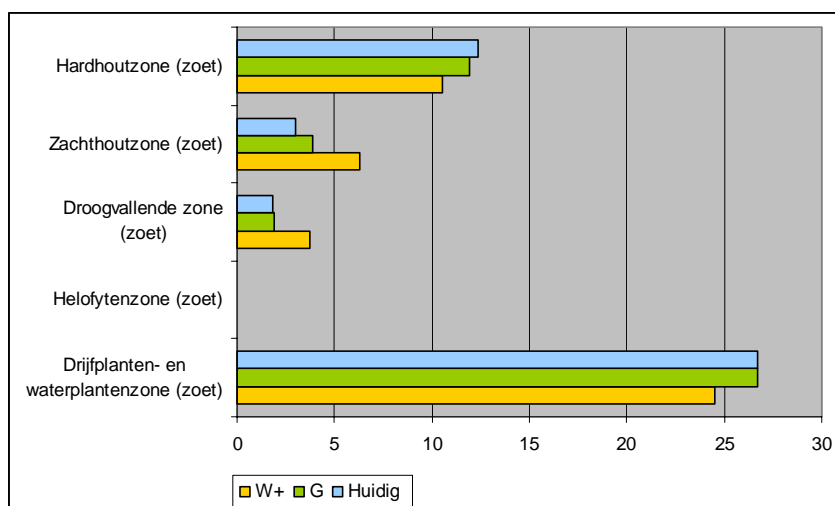
Zoete, laagdynamische aquatische natuur neemt daarentegen toe (er komt meer water), en ook de zachthoutzone en de droogvallende zone nemen procentueel iets toe. Deze ontwikkelingen zouden een positief effect kunnen hebben op het voorkomen van de Kleine Lisdodde, Spindotterbloem, Driekantige bies en Bittere veldkers, maar ook op Snoek en Brasem.

Er wordt een toename verwacht van lichtbrakke natuur in het Haringvliet. Deze wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hogere zeespiegel. Dit kan een positief effect hebben op Zeebies, Klein zee gras, Groot zee gras, Spiering, Fint, Puitaal en Bot.



Figuur 5.22 Percentage per natuurlijk ecoserietype (%) van het buitendijks benedenrivierengebied bij verschillende klimaatscenario's in 2050 in vergelijking met huidige situatie.

Ten slotte wordt een kleine toename van droogvallend gebied verwacht, gerelateerd aan de lagere rivierafvoeren in de zomer. Dit zou ertoe kunnen leiden dat ondiepe plassen langs de rivieren droogvallen.



Figuur 5.23 Percentage per natuurlijk ecoserietype (%) van het buitendijks bovenrivierengebied (de rest is landbouw of bebouwd) bij verschillende klimaatscenario's in 2050 in vergelijking met huidige situatie.

Naar aanleiding van de resultaten wordt opgemerkt dat de invloed van menselijk handelen op veranderingen in het voorkomen van ecoseries in het algemeen veel groter is dan de invloed van klimaatverandering. Men denke daarbij aan keuzen over het beheer van de Haringvlietssluisen (kier, dicht of stormvloedkering), over de Volkerak (zout of zoet), of over de ontpoldering Noordwaard (Biesbosch). Dat betekent dat bij een beoordeling van maatregelen over zoetwaterbeheer de consequenties voor buitendijkse natuur pas echt van betekenis worden. Maar meer nog betekent het dat wensen betreffende het zoetwaterbeheer kunnen worden geformuleerd met het oog op natuurherstel of natuurontwikkeling: een minimumafvoer door de Grensmaas, een zoete lokstroom bij de Haringvlietssluisen, een constante zoetwaterstroom naar de Oosterschelde om de mosselteelt te bevorderen, *et cetera*. Deze onderwerpen vallen echter buiten de reikwijdte van deze knelpuntenanalyse.

5.4.6 Inlaatpunten drinkwatervoorziening

Voor de drinkwaterwinning kan er een knelpunt ontstaan als niet voldaan wordt aan kwaliteitseisen voor ruwwater. Daarbij moet onderscheid gemaakt worden tussen eisen aan ruwwater op innamepunten waar oppervlaktewater wordt ingenomen, bij oeverinfiltratie en bij grondwaterwinningen. Hier wordt eerst naar oppervlaktewater en oeverinfiltratie gekeken en daarna nog kort naar grondwaterwinningen. Er wordt ingegaan op de volgende indicatoren:

- zoutgehalte oppervlaktewater;
- watertemperatuur oppervlaktewater;
- verzilting grondwater.

De analyse is gebaseerd op modelberekeningen voor de eerste twee indicatoren en op deskundigenschattingen voor het grondwater.

Zoutgehalte oppervlaktewater bij innamepunten

Maatgevend is het aantal overschrijdingen van de drinkwaternorm voor zout (150 mg/l chloride) bij puntinames (Lekkanaal, Oude Maas, Haringvliet) en de jaargemiddelde chlorideconcentratie bij oeverfiltratie (Lek, Noord). Het zoutgehalte van het innamewater kan in de toekomst stijgen door de stijging van de zeespiegel en langdurig lage rivierafvoeren, waardoor externe verzilting optreedt en de zoutlast van de Rijn minder wordt verdund.

De ontwikkeling van het chloridegehalte in de Rijn- Maasmonding en het benedenrivierengebied is verkend met het waterkwaliteitsmodel SOBEK-NDB. Voor het IJsselmeer is het zoutgehalte bij Andijk gemodelleerd door KWR, met een eenvoudig bakjesmodel.

Tabel 5.8 geeft de overschrijding (in dagen) van de drinkwaternorm voor een aantal locaties in het benedenrivierengebied. Daaruit blijkt dat sommige innamepunten het gevaar lopen te verzilten, met name in het W+ scenario in een droog jaar. Dit betreft de winning van Evides in het Haringvliet (Scheelhoek) en de noodinlaat van Evides in de Oude Maas (Beerenplaat). Maar ook de oeverwinningen van Oasen vanaf de Noord tot ca. 5 km stroomopwaarts in de Lek (Ridderkerk, Lekkerkerk, Nieuw-Lekkerland) worden bedreigd, hoewel daarvoor geldt dat van gemiddelde zoutconcentraties wordt uitgegaan en niet van momentane gehalten.

Bij het W+ scenario vindt in een extreem droog jaar ook een overschrijding van de drinkwaternorm plaats in het *Lekkanaal* (inname Waternet en PWN), vanwege de dan zeer lage rivierafvoer en dus beperkte verdunning van de zoutvracht van de Rijn. De drinkwaternorm wordt dan 70 keer overschreden, maar de grens waarboven het water volgens het Infiltratiebesluit niet meer in de duinen mag worden geïnfiltreerd wordt net niet overschreden (max. = 199 mg/l).

Tabel 5.8 Aantal overschrijdingen (dagen/jaar) van de 150 mg/l norm voor chloride op drinkwaterinnamepunten in de Lek, de Noord, de Oude Maas en het Haringvliet, bij verschillende klimaatscenario's en karakteristieke jaren.

locatie	Huidig klimaat			G 2050			W+ 2050		
	gemidd.	droog	extreem droog	gemidd.	droog	extreem droog	gemidd.	droog	extreem droog
Nieuwegein	0	0	0	0	0	0	0	0	70
Lexmond	0	0	0	0	0	0	0	0	73
Schoonhoven	0	0	0	0	0	0	0	0	105
Bergambacht (Rh)	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Nieuw-Lekkerland	1	3	13	1	4	16	3	5	132
Lekkerkerk	1	6	23	1	6	30	8	8	136
Ridderkerk (Rw)	3	20	58	3	22	60	16	26	154
Beerenplaat	105	144	251	115	152	247	189	166	283
Scheelhoek	0	0	14	0	0	13	0	0	103

De inname bij Scheelhoek langs het Haringvliet is volgens het onderzoek in extreem droge jaren onmogelijk in de maand januari – ook al in het huidige klimaat. De oorzaak is een hoge waterstand op zee in combinatie met lage afvoeren, waarbij de zouttong via de Oude Maas en het Spui kan doordringen tot in het Haringvliet.

Hierbij worden concentraties > 200 mg/l bereikt (max. 260-360 mg/l), waardoor het water niet meer mag worden geïnfiltreerd in de duinen. Het grote aantal overschrijdingen in het W+ scenario in een extreem droog jaar wordt overigens vooral veroorzaakt door de zeer lage Rijnafvoeren in zomer en herfst (beperkte verdunning van de zoutvracht).

De innameplaatsen langs de Maas blijven bij alle scenario's zoet, al wordt de 150 mg/l grens wel benaderd in de Afgedamde Maas in een extreem droog (1%) jaar in het W+ scenario. Uit de modellering blijkt het zoutgehalte in de Amer ter hoogte van de Biesbosch nooit hoger te zijn dan dat in de Bergsche Maas (ca. 5 km stroomopwaarts). De zouttong vanuit de Nieuwe Waterweg reikt dus niet tot in de Amer.

Voor het IJsselmeer bij Andijk zijn door KWR prognoses voor het chloridegehalte gemaakt (Bonte & Zwolsman, 2010). Daaruit blijkt dat voor een gemiddeld hydrologisch jaar de 150 mg/l grens bij Andijk niet wordt overschreden. In een relatief droog jaar (in dit geval 1997) wordt de 150 mg/l grens wel frequent overschreden in 2050 in het W+ scenario. In een zeer droog jaar (in dit geval 2003) wordt de 150 mg/l grens bij huidig klimaat al ca. 100 dagen overschreden, oplopend tot bijna 150 dagen in het W+-scenario. De belangrijkste oorzaken zijn verminderde verdunning van de zoutvracht van de Rijn en lek- en schutverliezen via de Afsluitdijk. In zeer droge jaren wordt de drinkwaterfunctie van het IJsselmeer dus serieus bedreigd.

Samengevat: er zijn knelpunten voor Evides (winning Scheelhoek), Oasen (winnings Ridderkerk, potentieel ook voor Lekkerkerk en Nieuw-Lekkerland), PWN (Andijk) en Waternet (Lekkanaal). De risico's voor Waternet lijken relatief beperkt en zullen alleen optreden in een extreem droog jaar. De knelpunten zullen zich met name manifesteren in droge tot extreem droge jaren.

Kanttekeningen bij de berekende zoutgehalten bij drinkwaterinname

Het gebruikte model SOBEK-NDB is afgeregeld op een tiental lokaties in de Rijn-Maasmonding. Dat gaf vertrouwen, maar er is wel sprake van een kleine systematische onderschatting van de chloridegehalten op 'zoete locaties' ter grootte van 13-35 mg/l (gemiddeld 22 mg/l).

De invoer van het model op de rivieren is gedateerd: het rekent met een chloridevracht op de Rijn (Lobith) van 95 kg/s. Tegenwoordig is die nog slechts 60 kg/s (Bonte & Zwolsman, 2009), onder andere door sanering van de zoutlozingen in de Elzas. Dit leidt bij een jaargemiddelde afvoer (2200 m³/s) tot een overschatting van de chloridevracht met 35 kg/s en een overschatting van de concentratie met 16 mg/l; bij lage afvoeren (van circa 800-1000 m³/s) is de overschatting wel 35-44 mg/l. Voor de Maas geldt dat de overschatting van de chlorideconcentratie bij lage afvoeren nog veel groter is: ca. 70 mg/l. Dit kan het verschil betekenen tussen voldoen aan de drinkwaternorm of het overschrijden daarvan.

Omdat er geen tijd was voor nieuwe berekeningen is dit probleem pragmatisch opgelost door enkele correcties op de berekeningsresultaten toe te passen.

Watertemperatuur

De maximaal toelaatbare watertemperatuur bij de innamepunten van oppervlaktewater is 25 °C. Tijdens de hittegolf van juli 2006 werden maximale watertemperaturen van 28 °C gemeten, zowel in de Rijn als in de Maas (Zwolsman & van Vliet, 2007). Hoge temperaturen zullen bij een veranderend klimaat vaker voorkomen.

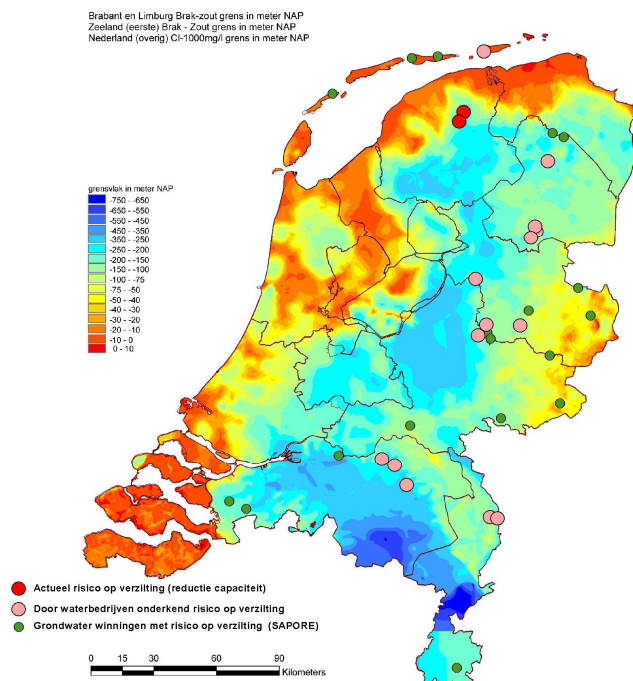
Uit de analyses blijkt dat de 25 °C grens in ernstige mate wordt overschreden in een extreem droog jaar in alle klimaatscenario's, en in het W+ scenario ook in een gemiddeld en droog jaar.

Hoge watertemperaturen worden doorgaans afgevlakt door menging in de voorraadbekken en door bodempassage. Hierdoor zal de watertemperatuur van het geleverde drinkwater minder hoog zijn dan de temperatuur van het innamewater tijdens droge en warme zomers. De grootste knelpunten zullen zich dan ook kunnen voordoen waar bodempassage geen onderdeel uitmaakt van het zuiveringsproces. Waar het water vanuit het bekken rechtstreeks tot drinkwater wordt verwerkt (Biesbosch, De Punt, deels ook bij Andijk) is de kans op overschrijding van de 25 °C norm van het drinkwater zelf tijdens een warme en droge zomer reëel.

Grondwateronttrekkingen en verzilting

In het GE- scenario neemt de watervraag en daarmee de onttrekking sterk toe (met ca 30%). Hoewel de grondwateraanvulling op jaarbasis toeneemt in zowel het G- als het W+ klimaatscenario, kan dit de toegenomen onttrekking niet compenseren. Daarom zien we ook grondwaterstanddalingen in de hoge zandgronden rond de winputten (Figuur 4.5 en Figuur 4.6).

Voor de drinkwatervoorziening zelf kan de kwaliteit van het grondwater een knelpunt worden als de zoet-zoutgrens omhoog komt: het zogenaamde opkegelen. Van de circa 220 grondwaterwinningen voor drinkwater worden er 36 als kwetsbaar voor verzilting beschouwd (Figuur 5.24). Zolang binnen de vergunningruimte wordt onttrokken zijn er nu nog geen acute problemen, behalve bij 2 winningen in Friesland. In scenario W+/GE neemt door de sterk toegenomen onttrekking het risico op verzilting toe. Voor 22 winningen betekent dit een verhoogd risico op het omhoog trekken van (fossiel) brak grondwater. Probleemgebieden zijn vooral Friesland, de Waddeneilanden en Oost Nederland (Achterhoek, Twente).



Figuur 5.24 Risico op verzilting door opkegeling van brak grondwater voor de huidige grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening.

5.4.7 Inlaatpunten industrie

Op diverse locaties in Nederland wordt industriewater ingenomen. Dit water wordt hetzij direct (bijv. Brielse Meer), hetzij na voorbehandeling (bijv. Lekkanaal, Biesbosch) geleverd aan de afnemers. Voor deze knelpuntenanalyse zijn locaties relevant die risico lopen te verzilten. Dit zijn het Brielse Meer (bron van industriewater voor de Rijnmond, West-Brabant en Zeeland), het Hollandsch Diep (bron voor industriecomplex Moerdijk), het Lekkanaal (levering aan hoogovens en diverse bedrijven in het Amsterdams havengebied) en het IJsselmeer (levering hoogovens en de industrie in de Eemshaven, via het Fries- Groningse boezemsysteem).

Er zijn geen wettelijke normen voor industriewater, wel afspraken tussen bedrijf en leverancier. Meestal wordt een maximale chlorideconcentratie afgesproken van 150 mg/l, soms 200 mg/l. Bij hogere concentraties ontstaan problemen met ionenwisselaars (productie van gedemineraliseerd water), neemt corrosie toe, etc.

Voor het *Lekkanaal* is bij de knelpuntenanalyse voor drinkwater al geconcludeerd dat concentraties boven de 150 mg/l zeer uitzonderlijk zijn en alleen worden verwacht onder extreem droge omstandigheden (extreem droog jaar in scenario W+). Voor het *IJsselmeer* werd vastgesteld dat concentraties boven de 150 mg/l al in het huidige klimaat frequent kunnen voorkomen in een droog jaar. Bij het W+-scenario zal in 2050 de 150 mg/l grens in het IJsselmeer ook in minder droge jaren veelvuldig worden overschreden, evenals de 200 mg/l grens. Dat kan tot problemen leiden voor de levering van industriewater aan de industrie bij de Eemshaven.

Het *Brielse Meer* is via het riviertje de Bernisse verbonden met het Spui. De ontwikkeling van de chlorideconcentratie in het Spui bij de aftakking naar de Bernisse is al besproken in paragraaf 4.6.

Tabel 5.9 Prognose van overschrijding (in dagen) van chlorideconcentraties in het Spui (Bernisse) in verschillende klimaatscenario's en karakteristieke jaren

	Huidig			G 2050			W+ 2050		
	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog
n> 150	11	3	23	13	3	23	20	4	71
n> 200	8	3	14	9	3	16	17	3	43
n> 250	8	3	8	8	3	9	16	3	32
n> 300	7	2	7	8	2	8	15	3	25
n> 500	2	1	5	5	1	5	8	2	14
n>1000	0	1	3	0	1	4	6	1	5

Uit Tabel 5.9 blijkt dat de inlaat bij Bernisse zeer gevoelig is voor verzilting. Verzilting treedt vooral op in een extreem droog jaar en neemt toe in het W+ scenario 2050. Dat kan de industriewatervoorziening via het Brielse Meer beïnvloeden. De in de tabel gegeven getallen hebben echter betrekking op de daggemiddelde chlorideconcentratie. Mogelijk kan er bij eb, als de chlorideconcentratie weer daalt, water worden ingelaten. Deze mogelijkheid verdient nadere verkenning.

In het *Hollandsch Diep* (Moerdijk) wordt de 150 mg/l grens alleen overschreden in het W+-scenario in 2050, en alleen in een extreem droog jaar (Tabel 5.10). Er is dus sprake van enig risico voor de industriewatervoorziening van het industriële complex bij Moerdijk in droge tot zeer droge jaren, vooral bij het W+-scenario.

Tabel 5.10 Prognose van overschrijding (in dagen) van chlorideconcentraties in het *Hollandsch Diep* (inloop Dortsche Kil) in verschillende scenario's en karakteristieke jaren.

	Huidig			G 2050			W+ 2050		
	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog
n > 150	0	0	2	0	0	2	0	0	65
n > 200	0	0	1	0	0	1	0	0	3

De industriewaterlevering aan *hoogovens* hangt aan twee 'ankers', namelijk het Lekkanaal en het IJsselmeer. Alleen in een extreem droog jaar is gelijktijdige overschrijding van de 150 mg/l grens in het Lekkanaal en het IJsselmeer mogelijk. Hierdoor is het risico van een onderbreking van de levering aan Hoogovens vanwege een slechte waterkwaliteit zeer klein.

De levering van industriewater aan de industrie in de *Eemshaven* loopt wel serieus gevaar als het zoutgehalte van het IJsselmeer te hoog wordt. Het water in de Groningse boezem is de bron voor deze industriewatervoorziening. Tekorten alhier worden aangevuld uit het IJsselmeer, waardoor het debiet vanuit het IJsselmeer in een droge zomer kan oplopen tot boven de 100 miljoen m³ (voorbeeld 2006). Het zoutgehalte van het IJsselmeer is dan ook bepalend voor het zoutgehalte in het boezemwater en dus voor de industrie.

De levering van industriewater vanuit het Brielse Meer aan de industrie in de *Rijnmond, West-Brabant en Zeeland* wordt serieus bedreigd als het Spui verzilt, evenals de zoetwatervoorziening van Delfland. Dit kan zich voordoen in een droog jaar in 2050 bij het W+-scenario.

Ook de levering van industriewater uit het *Hollandsch Diep* aan het complex *Moerdijk* kan door verzilting problematisch worden, maar dit is veel minder knellend dan in het Spui/Brielse Meer.

Nu bekend is waar zich knelpunten voordoen, kan ook worden vastgesteld wie ze zal voelen, namelijk de volgende leveranciers van water: Evides Industriewater, Hydro Business (ontstaan uit Brabant Water) en North Water (een joint venture van Evides Industriewater, Waterbedrijf Groningen en Waterleidingmaatschappij Drenthe).

5.4.8 Koelwaterlozingen door energiecentrales en industrie

De knelpuntenanalyse berust op een vergelijking van de warmtelasten met de beschikbare capaciteit voor warmtelozing in het oppervlaktewater. Deze vergelijking is gedaan voor elk afzonderlijk vraagpunt (de productie-eenheden van het E-systeem en de industriële koelwaterlozingspunten) en voor tijdstappen van een dag. Aldus zijn enkele indicatoren voor het optreden van knelpunten berekend, en wel de volgende:

- totaal aantal dagen waarop de beschikbare capaciteit voor warmtelozing kleiner is dan de warmtelast;
- omvang van de beperking van de capaciteit voor warmtelozing als % van de warmtelast, gemiddeld over het aantal dagen waarbij zich een beperking voordoet;
- aantal malen dat een beperking van de capaciteit voor warmtelozing optreedt duur langer dan 5 dagen;
- maximale aaneengesloten periode (dagen) dat een beperking optreedt.

Verder wordt per vraagpunt onderscheid gemaakt naar vier probleemfasen. Fase 0 betekent dat er zich in het geheel geen problemen voordoen. Van fase 1 tot fase 3 is er in toenemende mate sprake van problemen. De per vraagpunt toegekende probleemfase is de hoogste fase van de vier probleemindicatoren, volgens Tabel 5.11; de hoogste fase telt dus.

Tabel 5.11 Vaststelling probleemfase per probleemindicator

Probleemindicator	Probleemfase			
	0	1	2	3
Aantal dagen met capaciteitsbeperking	0	0 - 5	5 - 10	> 10
Gemiddelde omvang capaciteitsbeperking	0%	0% - 50%	50% - 100%	>100%
Aantal malen met capaciteitsbeperking > 5 dagen	0	1	2, 3	> 3
Maximale periode (dagen) met capaciteitsbeperking	0	0 - 5	5 - 10	> 10

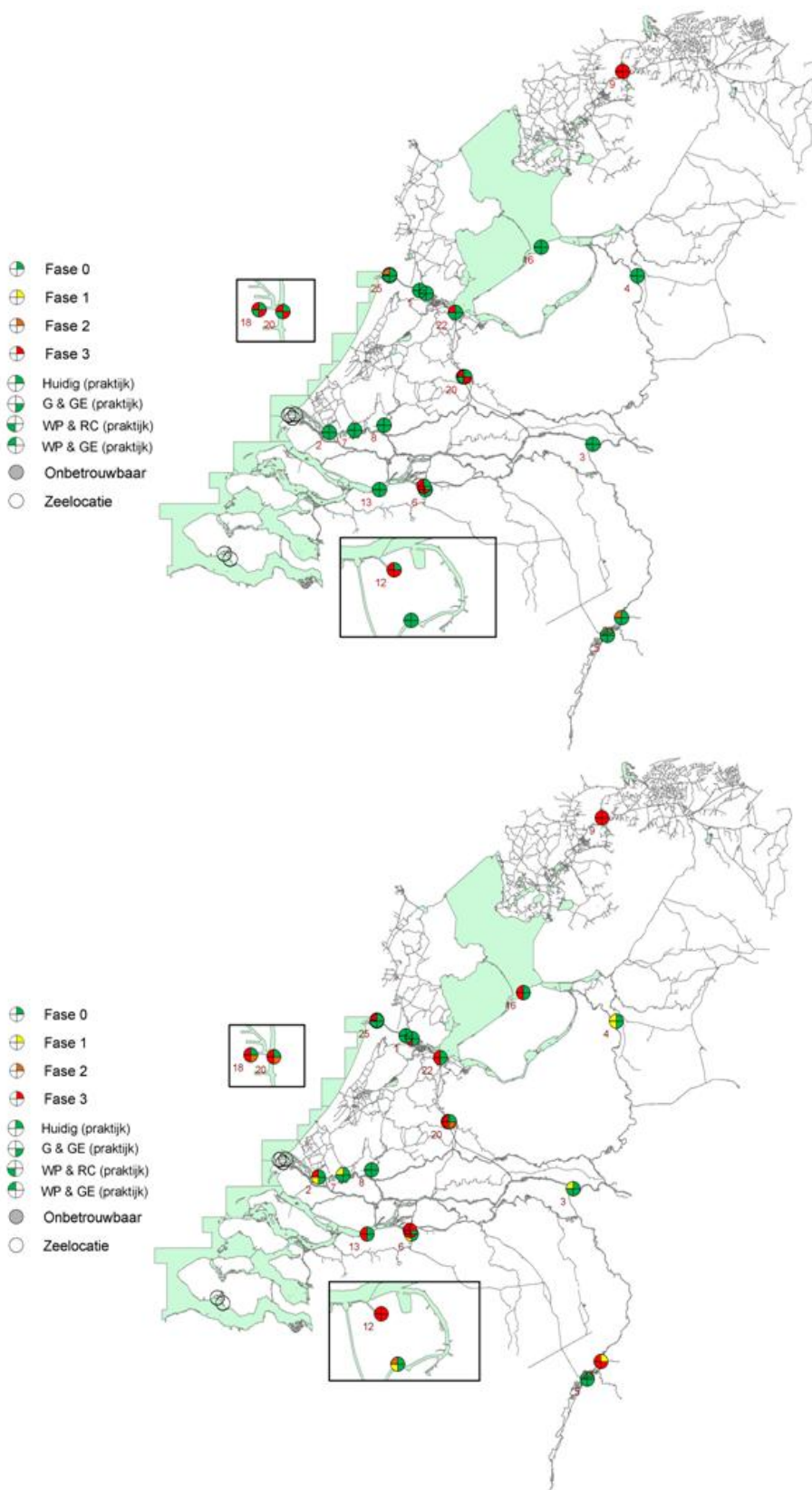
Elektriciteitsproductie

De analyse is gedaan voor 4 scenario's en drie karakteristieke jaren. We *tonen* alleen de resultaten voor een droog en extreem droog jaar (Figuur 5.25, boven respectievelijk onder), maar geven natuurlijk ook de bevindingen over een gemiddeld jaar.

De figuren geven de resultaten van de berekeningen voor vier situaties: huidig; 2050 G/GE; 2050 W+/RC; en 2050 W+/GE. De kaart geeft de resultaten per vraagpunt (de productie-eenheden van het E-systeem) in een kleurencode die de probleemfase representeert (zie de legenda bij de kaart). De nummering van de E-vraagpunten in de figuur komt overeen met die in Tabel 3.3.

Niet elk vraagpunt zoals opgenomen in Tabel 3.3 wordt afzonderlijk weergegeven, omdat sommige vraagpunten betrekking hebben op verschillende productie-eenheden in dezelfde centrale. Het afgebeelde punt is dan representatief voor alle eenheden van diezelfde centrale. Op deze wijze geldt:

- Punt 9 is representatief voor 9 en 10 (centrale Bergum);
- Punt 12 is representatief voor 11 en 12 (centrale Amer/Donge);
- Punt 16 is representatief voor 14, 15 en 16 (Flevocentrale);
- Punt 20 is representatief voor 19 en 20 (Merwedecentrale);
- Punt 22 is representatief voor 21 en 22 (centrale Diemen);
- Punt 25 is representatief voor 24 en 25 (centrale Velsen).



Figuur 5.25 Knelpunten voor elektriciteitsproductie door beperkte warmtelozingscapaciteit in een droog jaar (boven) en een extreem droog jaar (onder), voor huidig klimaat en voor 3 scenario's voor 2050 (zie de legenda)

De belangrijkste bevindingen voor een *droog* jaar (Figuur 5.25, boven) zijn:

- In de huidige situatie doen zich geen problemen voor, behalve bij centrale Bergum (9). Alle berekeningen wijzen hier op een ernstig probleem; dit vraagt een nadere check op de basisgegevens en de wijze van modellering.
- In scenario G/GE komen er 4 probleemlocaties bij: de Amer/Donge centrale (12), de centrale Lage Weide (18), de Merwedecentrale (20) aan het Amsterdam-Rijnkanaal, en centrale Buggenum (23) aan de Maas.
- In scenario W+/RC is er een probleem voor de Amer/Donge centrale; zijn er geen problemen bij de centrale Lage Weide en de Merwedecentrale; en heeft Buggenum een probleem in fase 2.
- Voor de situatie W+/GE is op alle eerder genoemde locaties probleemfase 3 van toepassing en treden ook problemen op voor de centrales Diemen (22, fase 3) en Velsen (25, fase 2).

In een *gemiddeld* jaar zijn de knelpunten al haast zo groot als in een droog jaar. De resultaten komen dan ook vrijwel overeen met die voor een droog jaar en het kaartbeeld is vrijwel gelijk (niet opgenomen in dit rapport). De belangrijkste verschillen zijn:

- In scenario G/GE zijn de problemen bij de centrale Lage Weide (18) en de Merwedecentrale (20) iets kleiner, maar niet afwezig (fase 2 in plaats van fase 3).
- In de simulaties doen zich nu ook problemen voor bij de centrale Buggenum (23) zich in scenario's G/GE en W+/RC. In scenario W+/GE zijn de problemen groter (fase 3 in plaats van fase 2).

Deze resultaten zijn enigszins opmerkelijk omdat centrale Buggenum in de problemen is in een gemiddeld jaar, waar in een droog jaar geen probleem bestond. Dat komt doordat juist in het karakteristieke jaar 1967 de Maas een lage afvoer had, terwijl dat jaar meteorologisch gezien gemiddeld was. Die anomalie van een relatief lage afvoer wordt nu in de rekenresultaten weerspiegeld

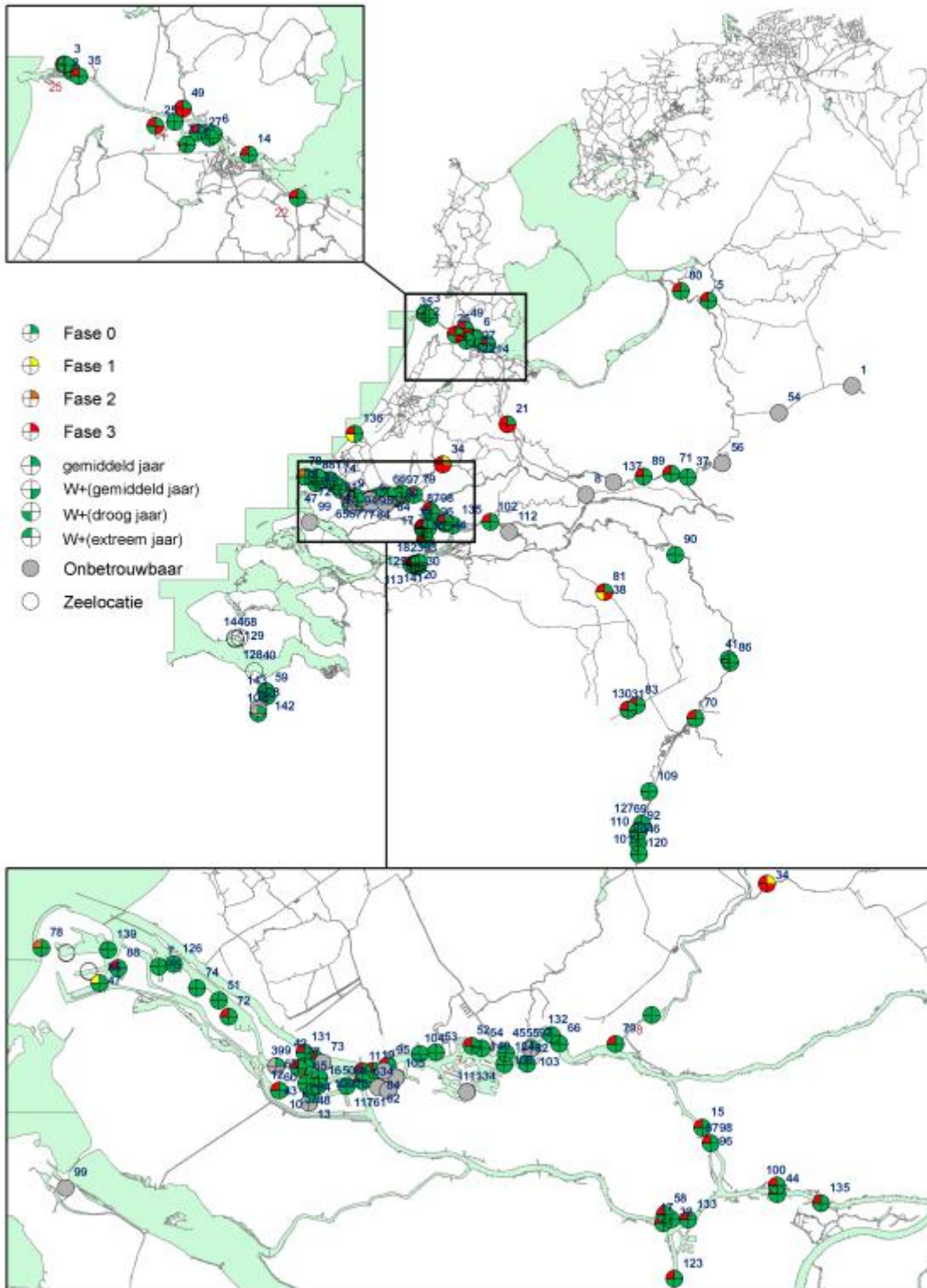
Voor een extreem droog jaar (Figuur 5.25, onder) is het volgende gevonden. In de huidige situatie treden al problemen op bij de centrales Amer/Donge (12) en Buggenum (23). In scenario G/GE nemen de problemen toe (ernstiger bij Buggenum, nieuwe problemen bij Lage Weide (18) en de Merwedecentrale (20)). In scenario's W+/RC en W+/GE zien we een sterke toename van de punten met problemen; met name bij de laatste, omdat de vraag naar elektriciteit daarbij groter is. Er resteren slechts enkele locaties waar geen problemen optreden. Een daarvan is de Clauscentrale (5), die beschikt over koeltorens.

Het algemene beeld is dat in een gemiddeld en droog jaar al voor 2050 op een aantal locaties knelpunten zullen ontstaan, vooral in scenario W+/GE. Dat is een relatief droog klimaat met een grote elektriciteitsvraag. De knelpunten doen zich voor langs de Maas, de Amer, het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal. Voor een extreem droog jaar doen zich in de huidige situatie al problemen voor langs Maas en Amer.

Koelwater voor industrie

Voor deze knelpuntenanalyse zijn aanvankelijk circa 170 industriële lozingspunten van koelwater beschouwd, die in het LTM+ zijn gemodelleerd. Circa 13 industriële lozingspunten zijn niet verder beschouwd omdat er twijfel bestaat over de juistheid van hun schematisering. Voor de overige punten zijn de verwachte knelpunten weergegeven in Figuur 5.26.

Deze kaart geeft de resultaten voor het huidige klimaat (gemiddeld jaar) en voor 2050 in scenario W+ (voor een gemiddeld, een droog en een extreem droog jaar).



Figuur 5.26 Knelpunten warmteozing Industrie door capaciteitsbeperkingen in de huidige situatie (gemiddeld jaar) en in 2050 bij klimaatscenario W+ voor een gemiddeld, droog en extreem droog jaar

De analyse wijst uit dat zich in de huidige situatie in een gemiddeld jaar niet of nauwelijks problemen voordoen. In het klimaat van 2050 bij scenario W+ ontstaan problemen in een gemiddeld of droog jaar op minder dan 10 locaties. Maar in een extreem droog jaar zullen in de toekomst bij scenario W+ op circa 40 van de ruim 150 locaties problemen ontstaan. Deze punten liggen verspreid over geheel Nederland, langs alle binnenwateren.

Concluderend

Voor de *energieproductie* geldt dat zich in een extreem droog jaar (1 % jaar) nu al problemen voordoen (Maas, Amer). Voor de toekomst is het algemene beeld dat in 2050 op veel meer locaties knelpunten kunnen worden verwacht, en al in een gemiddeld jaar (50 % jaar).

Dat is vooral het geval in scenario W+/GE, want dat kent de grootste klimaatverandering en de grootste energiebehoefte. De problemen doen zich het eerste en het prangendst voor langs de Maas, de Amer, het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal, en bij vrijwel alle productie-eenheden.

Klimaatsscenario G biedt vrijwel dezelfde koelcapaciteit als het huidig klimaat, alhoewel het buitenwater warmer is; en sociaal-economisch scenario RC vraagt minder energie. Bij beide zijn de toekomstige problemen daardoor beperkter.

Voor de *industrie* geldt dat er in de huidige situatie in een gemiddeld jaar geen problemen met koelwaterlozingen zijn. In klimaatsscenario W+ ontstaan in een gemiddelde of droog jaar problemen voor een beperkt aantal punten. Maar een extreem droog jaar veroorzaakt in 2050 in scenario W+ ernstige problemen voor een groot aantal punten langs alle binnenwateren.

De knelpunten zijn in scenario W+/GE in een extreem droog jaar dusdanig groot dat de hele energievoorziening in gedrang zou kunnen komen. En voor de industrie geldt dan dat beperkingen aan het lozen van koelwater tot aanzienlijke productieverliezen kunnen leiden.

5.4.9 Scheepvaart en vaardiepte

De scheepvaart ondervindt een knelpunt als niet volledig kan worden afgeladen. Dan neemt de laadcapaciteit van de schepen af, en de vervoerscapaciteit van de waterwegen.

De effecten op de scheepvaart zijn onderzocht met behulp van SOBEK en BIVAS. Met SOBEK zijn waterstandseffecten berekend, en die zijn gerelateerd aan criteria voor de ernst van een beperking van de aflaaddiepte, die weer is gekoppeld aan de scheepsklasse. Voor de grootste schepen (duwbotten met volle bakken) geldt een maximale aflaaddiepte van 4 m; met een veiligheidsmarge van 0,3 m is het eerste criterium dan 4,3 m. Bij geringere waterdiepten is er dus sprake van een knelpunt voor die klasse schepen; voor andere klassen hoeft dat niet zo te zijn. Een tweede criterium is als er sprake is van een substantiële beperking in de aflaaddiepte. Die is voor de grootste schepen gesteld op 3,3 m (opnieuw inclusief 0,3 m marge). De scheepvaartsector heeft zelf aangegeven dat ze geen onoverkomelijk probleem ziet zolang de 1,8 m aflaaddiepte niet wordt onderschreden; dan moeten wel veel meer reizen gemaakt worden, maar er kan nog steeds worden gevaren. Dat vraagt 2,1 m waterdiepte.

Omdat verschillende scheepvaartcorridors door verschillende scheepvaartklassen worden gebruikt, is in Tabel 5.12 per corridor aangegeven bij welke diepte een eerste respectievelijk tweede criterium wordt onderschreden.

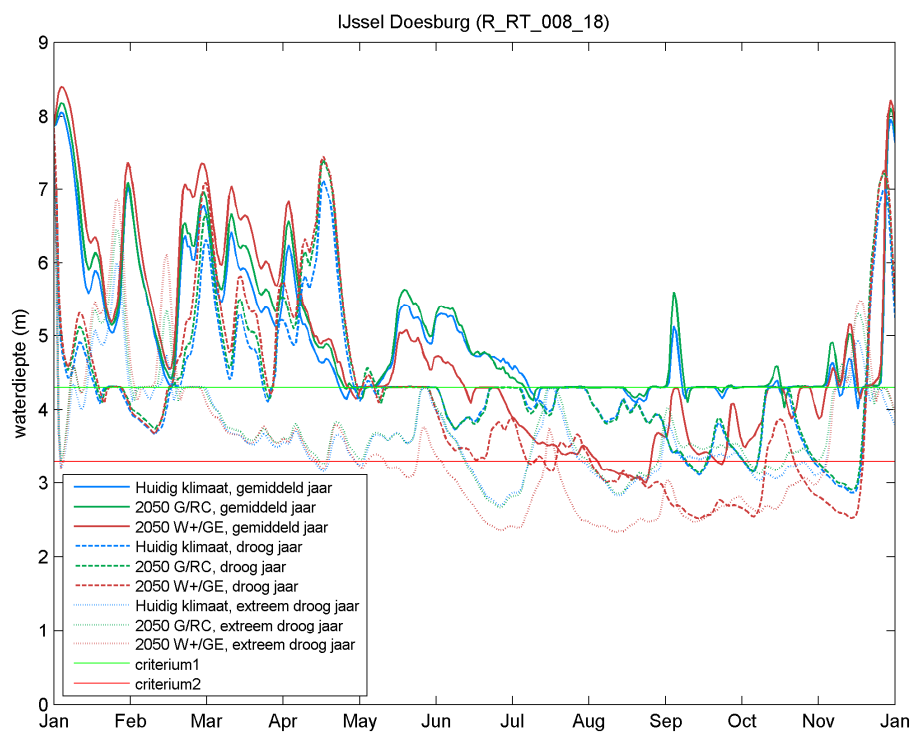
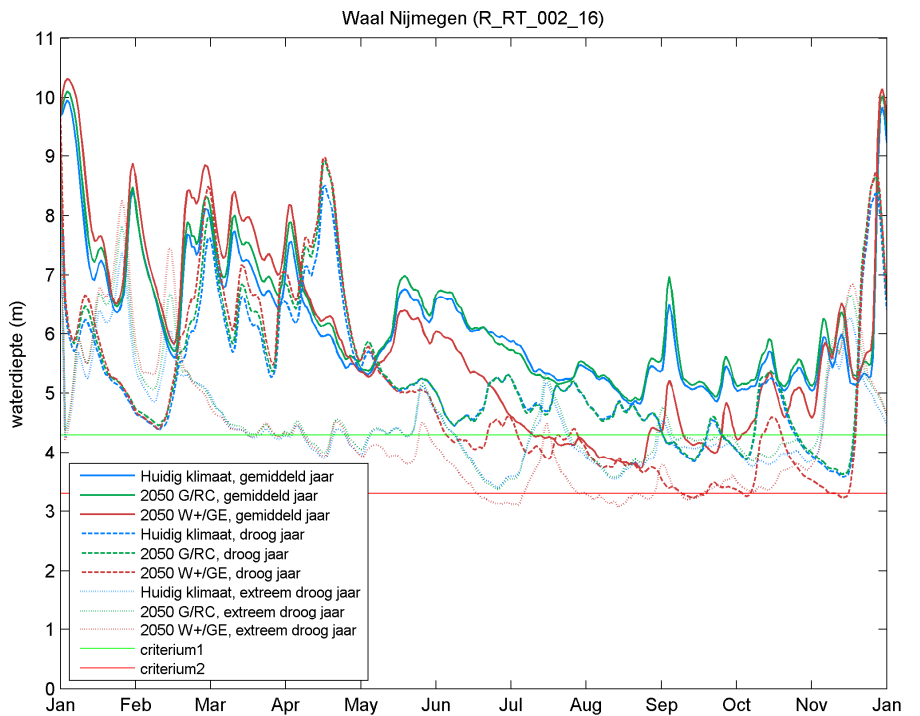
Tabel 5.12 Overzicht dieptecriteria waarbij van een knelpunt wordt gesproken per scheepsklasse

Corridor	Naam rivier / kanaal	Criterium 1	Criterium 2
1	Waal + Merwede + Oude Maas	4.3	3.3
1	Hartel+Calandkanaal	4.3	3.3
1	Nieuwe Waterweg	4.3	3.3
1	Nieuwe Maas	4.3	3.3
1	Noord	4.3	3.3
2	Noordzeekanaal	4.3	3.3
2	Amsterdam-Rijnkanaal	4.3	3.3
2	Lekkanaal	2.8	1.8
2	Nederrijn-Lek	4.3	3.3
6	IJssel + Pannerdensch Kanaal	4.3	3.3
6	Twentekanaal	3.1	2.1
6	Zijtak Almelo	2.8	1.8
7	Maas	4.3	3.3
7	Maas-Waalkanaal	3.5	2.5

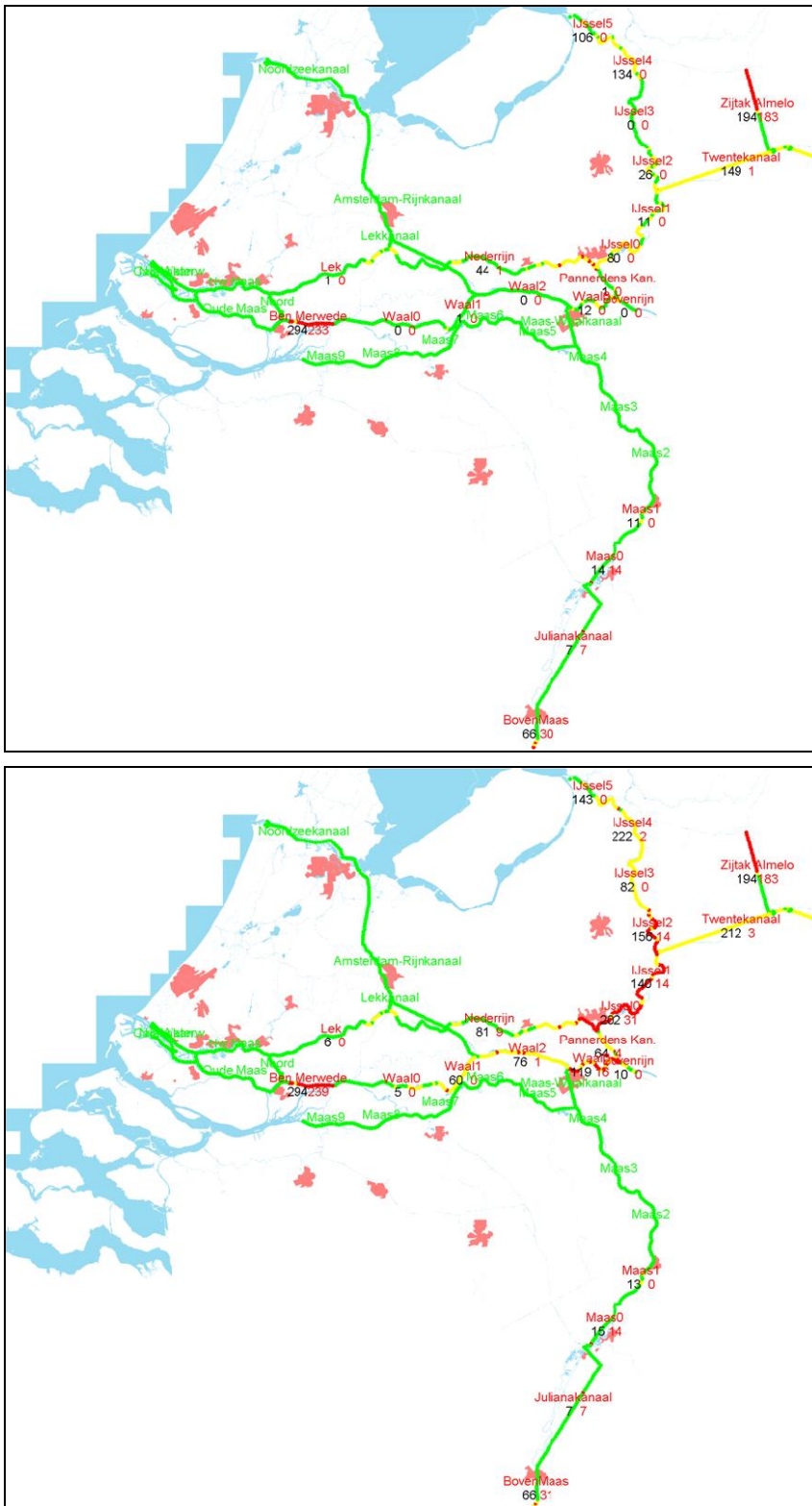
Allereerst is hiermee voor locaties in het rivierengebied vastgesteld wanneer en hoelang de criteria worden onderschreden, in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario G/RC en W+/GE. Bij wijze van voorbeeld zijn de resultaten voor twee locaties gegeven in Figuur 5.27. Hierin is te zien dat klimaatscenario W+ in een gemiddeld jaar op de Waal in de zomer tot een langdurig – meer dan een maand – maar niet heel ernstig knelpunt kan leiden. Verder is te zien dat W+ in 2050 in een droog jaar tot een ernstig en langdurig knelpunt leidt en dat dit in een zeer droog jaar nu al bestaat en dus ook in beide klimaatscenario's. Op de IJssel zijn de knelpunten nog wat ernstiger, mede door de beperkte breedte van de vaargeul aldaar. Overigens wordt in geen enkel karakteristiek jaar in geen van beide klimaatscenario's in 2050 de 2,1 m vaardiepte onderschreden, maar op de IJssel zit het er niet ver meer vanaf (Figuur 5.27, onderste plaat).

In Figuur 5.28 is voor het hele rivierstelsel aangegeven hoe groot de afllaadbeperving is in dagen in een gemiddeld jaar en in een droog jaar in de huidige situatie. Hieruit blijkt dat op de IJssel al in een gemiddeld jaar een afllaadbeperving bestaat van meer dan 100 dagen en op de Beneden-Merwede van bijna 300 dagen. Dat laatste heeft vermoedelijk ook te maken met een beperkte breedte van deze rivier.

In Figuur 5.29 is weergegeven hoe de situatie is in 2050 bij scenario W+, als de rivierafvoer in de zomer daalt. Dan worden de beperkingen op de IJssel en de Waal groot in een gemiddeld jaar en zeer groot in een droog jaar.

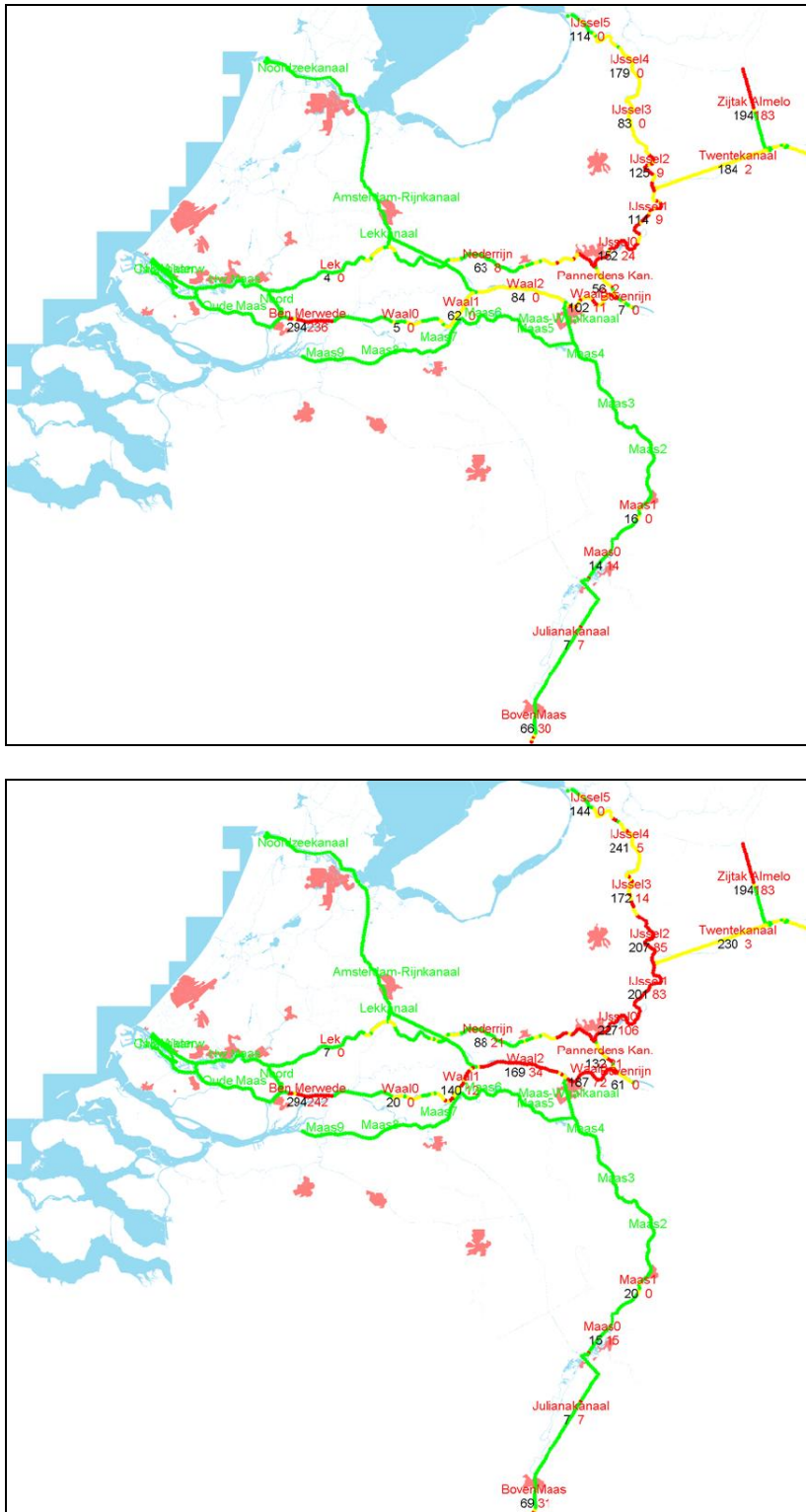


Figuur 5.27 Onderschrijding van de waterdieptecriteria in de Waal bij Nijmegen en in de IJssel bij Doesburg in verschillende karakteristieke afvoerjaren bij huidig klimaat, en in 2050 bij scenario G/RC en W+/GE



Figuur 5.28 Vaarbepering in dagen in een gemiddeld jaar en een droog jaar in het huidige klimaat. Zwarte en rode getallen geven weer hoeveel dagen in de riviertak criterium 1 respectievelijk 2 wordt overschreden.

30 mei 2011, definitief



Figuur 5.29 Vaarbeperking in dagen in een gemiddeld jaar en een droog jaar in 2050 in scenario W+/GE. Zwarte en rode getallen geven weer hoeveel dagen in de riviertak criterium 1 respectievelijk 2 wordt onderschreden.

Ter illustratie van de omvang en ontwikkeling van het knelpunt zijn enkele resultaten voor de Waal en de IJssel – de belangrijkste achterlandverbindingen – samengevat in Tabel 5.13. Daarbij zijn de getallen genomen voor de Midden-Waal en Midden-IJssel, omdat veel van de overige berekende vaardieptebeperkingen te maken hebben met onvoldoende breedte van de vaargeul. In deze knelpuntenanalyse zijn we vooral in de gevolgen van te lage afvoeren geïnteresseerd. Dat betekent dat de getallen slechts als indicatie moeten worden beschouwd.

Tabel 5.13 Aantal dagen met overschrijding van de gespecificeerde kritische vaardiepte in een gemiddeld en een droog jaar op de Waal ('Midden-Waal') en de IJssel (IJssel 2, nabij Zutphen).

		Huidig klimaat		2050 W+/GE	
		< 4,3 m	< 3,3 m	< 4,3 m	< 3,3 m
Waal	Gemiddeld jaar	0	0	84	0
	Droog jaar	76	1	169	34
IJssel	Gemiddeld jaar	26	0	125	9
	Droog jaar	156	14	207	85

Uit de tabel blijkt dat de gewenste vaardiepte voor volgeladen duwvaart in een droog jaar op de Waal nu in een gemiddeld jaar nooit worden overschreden, maar in een droog jaar meer dan 70 dagen; dan zijn er echter nog nauwelijks beperkingen voor grote schepen tot 3 m aflaaddiepte. Op de IJssel zijn de vaarbeperkingen groter.

In 2050 bij scenario W+ zijn de beperkingen in een gemiddeld jaar ongeveer net zo groot als nu in een droog jaar, en in een droog jaar is de beperking in aantal dagen op de Waal meer dan verdubbeld en op de IJssel toegenomen met 1/3^e.

5.4.10 Waterrecreatie: vaardiepte en waterkwaliteit

Het voor de recreatievaart gedefinieerde Basistoervaartnet heeft een totale lengte van 4400 km. Daarvan is 1850 km hoofdvaarweg in beheer bij RWS. De rest bestaat uit kleinere vaarwegen in beheer bij provincies en lokale overheden. Het Basistoervaartnet is minimaal bevaarbaar voor boten van 2,4 m hoog met een diepgang tot 1,1 m. Gezien de verdeling van afmetingen en diepgang van de recreatievloot betekent dit dat door een deel van de recreatievloot slechts een deel van het Basistoervaartnet kan worden bevaren (SRN, 2008). De implicatie hiervan is dat ook direct potentieel ernstige beperkingen door de recreatietoervaart kunnen worden ondervonden indien de vaardiepte verder zou afnemen. Dit zal verschillend uitwerken voor motorboten en zeilvaart. Voor de laatste categorie (diepe kiel) geldt dat er ook in de bestaande situatie al serieuze beperkingen zijn (met diepgang en doorvaarthoogte), zodat de additionele effecten kunnen meevallen. Dit zal in meer detail moeten worden bekeken.

De beschikbare vaardiepte op het hoofdvaarwegennet vormt over het algemeen geen probleem voor de recreatievaart, ook niet als hier bepaalde beperkingen zouden optreden. Voor de recreatievaart is het met name van belang dat de waterstanden worden gehandhaafd in de kleinere, regionale en lokale wateren (de haarvaten van het Basistoervaartnet).

In de watersysteemmodellering zijn dit de wateren die niet expliciet in het landelijke netwerk zijn opgenomen maar deel uitmaken van de oppervlaktewateren die binnen de gebiedsbalansen (op boezem- en polderniveau) worden beschouwd. Een indicatie voor het optreden van mogelijke problemen met de vaardiepte voor de recreatievaart moet voor deze wateren dan ook worden verkregen door het beschouwen van de peilen op boezem- en polderniveau in het peilbeheerste deel van Nederland.

Een beeld van de maximaal optredende peildalingen voor geheel Nederland voor de situatie W+/RC voor een droog jaar was al gegeven in Figuur 5.7. Een nadere beschouwing leert dat problemen met het handhaven van de peilen in het peilbeheerste deel van Nederland zich alleen voordoen in scenario W+ in een extreem droog jaar. Knelpunten zullen zich dan voordoen in Noord-Holland, Friesland, Groningen en delen van Overijssel en Drenthe. Uit de gedetailleerde analyse is afgeleid dat peildalingen zich dan over perioden van 3 tot 5 decaden kunnen voordoen, omdat dan langer dan 2 maanden het minimumpeil van het IJsselmeer (-0,40 m NAP) wordt bereikt.

Ook voor een klein deel van Zuid-Holland en voor grote delen van Zeeland worden aanzienlijke peildalingen voorzien (in Zeeland zelfs groter dan 50 cm). De eerste zijn het gevolg van beperkingen in de watervoorziening door verzilting bij Gouda. Deze zullen in de praktijk worden voorkomen (omdat zo nodig verzilt water wordt ingelaten als peilen dreigen te worden onderschreden). En voor Zeeland geldt dat de meeste regionale wateren geen onderdeel uitmaken van het Basistoervaartnet.

Voor de mogelijke effecten op de recreatievaart zijn dus alleen de gebieden van belang die voor hun watervoorziening afhankelijk zijn van het IJsselmeer. Voor de provincies Friesland, Noord-Holland en Groningen geldt dat deze een belangrijk deel van het Basistoervaartnet herbergen (resp. 709, 525 en 467 km, hetgeen in totaal overeenkomt met bijna 40% van het Basistoervaartnet). En als alleen gekeken wordt naar de kleinere wateren binnen het toervaartnet is dit aandeel naar verwachting nog groter. Mede gezien de gevoeligheid van dit deel van het toervaartnet voor een afname van de vaardiepte (onder normale omstandigheden is slechts een minimumvaardiepte van 1,10 m gegarandeerd) moet een significant effect op de recreatievaart worden verwacht. Daar staat tegenover dat de beperkingen zich alleen voordoen in een extreem droog jaar (met een 1 % overschrijdingskans). Met een dergelijke kans van voorkomen is het optreden van ernstige knelpunten mogelijk acceptabel. Een nadere analyse op grond van langere tijdreeksen zal meer inzicht moeten verschaffen in de kans en ernst van optredende peildalingen, en de daarmee gepaard gaande effecten op de recreatievaart.

Locatiegebonden waterrecreatie (oeverrecreatie en kleine watersport) gaat gepaard met fysiek contact met water, waarbij men ook water binnen kan krijgen. De grootste bedreigingen voor de waterrecreatie hebben dan ook betrekking op gezondheidsrisico's door microbiota. Door de KWR is een analyse gemaakt van de mogelijke ontwikkelingen van verontreinigingen van natuurlijke zwemlocaties door microbiologische verontreinigingen (KWR, 2011).

Verschiede soorten microbiologische verontreinigingen hebben een fecale herkomst, andere ontstaan van nature. De belangrijkste van die laatste zijn de cyanobacteriën (blauwalgen), die in oppervlaktewater tot 'bloei' kunnen komen en drijfvlagen kunnen vormen. Verschillende soorten kunnen een breed scala aan toxische stoffen produceren die gevaarlijk zijn voor mens en dier. Daarnaast zijn er veel andere natuurlijke organismen die uiteenlopende ziekteverschijnselen kunnen veroorzaken.

Bronnen van verontreiniging met fecaliën hangen samen met effluenten van RWZI's (riooloverstorten) en met directe lozingen door plezier- en beroepsvaart.

Een belangrijke bron wordt ook gevormd door zwemmers zelf. Daarnaast zijn er dierlijke bronnen door afspoeling van mest en uitwerpselen van (water)vogels. Voor deze zaken geldt dat ze sterk door locale omstandigheden worden bepaald en niet zozeer door klimaatverandering.

Cyanobacteriën gedijen vooral onder voedselrijke omstandigheden met name bij voldoende aanwezigheid van fosfaat. Relatief hoge watertemperaturen spelen daarbij een zeer belangrijke rol. Hogere watertemperaturen door klimaatverandering kunnen leiden tot het toenemen van problemen met blauwalgen. De verminderde beschikbaarheid van water (voor verdunning en doorspoeling) kan daaraan bijdragen.

Het ontstaan van blauwalgen moet voor zowel de locatiegebonden waterrecreatie als de recreatietoervaart als een ernstig (potentieel) knelpunt worden gezien. Voor de verdere analyse is het van belang dat een beter inzicht wordt verkregen in de ontwikkeling van de risico's op het ontstaan van blauwalgen en in de eventuele mogelijkheden om deze risico's te verkleinen.

6 De bevindingen samengevat

6.1 Ten geleide

In dit hoofdstuk geven we de belangrijkste conclusies van de *eerste fase* van de landelijke knelpuntenanalyse. Deze zijn verwoord in de vorm van korte uitspraken. Om de onderlinge samenhang tussen die uitspraken te vergroten zitten er nu en dan meer algemene uitspraken tussen die het geheel enigszins de vorm van een samenvatting geven. Zo kan dit hoofdstuk ook worden gelezen als een samenvatting met conclusies, waarvoor de onderbouwing in de voorafgaande hoofdstukken is te vinden.

Alvorens de conclusies te geven wordt nogmaals met nadruk gewezen op het feit dat het hier om een *eerste* ronde knelpuntenanalyse gaat, gebaseerd op **landsdekkend** onderzoek met het **deltamodel** instrumentarium (meer specifiek NHI), en nog slechts aan de hand van drie karakteristieke jaren (grofweg een 50%, een 10% en een 1% jaar). Bovendien geeft het rapport nadrukkelijk de **stand van zaken weer op het moment van schrijven**; en dat is feitelijk nog midden in de analyse. Niet alle knelpunten hebben dan ook evenveel aandacht gehad en er wordt dan ook geen volledigheid gepretendeerd.

In de tweede fase zullen langjarige reeksen worden doorgerekend en meer onderwerpen worden aangepakt.

6.2 Over de vraagontwikkeling

- Er zijn twee uitersten van sociaal-economische ontwikkeling beschouwd, conform de deltasceario's: GE (voor VOL en STOOM) en RC (voor RUST en WARM).
- In sociaal-economisch scenario GE is er een significante toename van de bevolkingsomvang, een flinke economische groei en een toename van stedelijk gebied ten koste van landbouwgrond. Die groei zet na 2050 nog door. Dat leidt tot:
 - een toename van de vraag naar drinkwater,
 - een grotere industriële watervraag,
 - een grotere koelwatervraag,
 - hogere eisen aan stedelijk water.
- In combinatie met hogere temperaturen betekent dit een toename van de watervraag niet alleen door de bevolkingsgroei, maar ook door een groter watergebruik per persoon. Er is in het model uitgegaan van een vraagtoename voor drink- en industriewater van 30% in 2050.
- In sociaal-economisch scenario RC is de toename van de bevolking beperkt om later zelfs te dalen. Ook de economische groei is beperkt. Er is in het model uitgegaan van een afname van de vraag voor drink- en industriewater van 15% in 2050.
- In RC is vooral de watervraag van de landbouw en de natuur groot. Deze wordt grotendeels veroorzaakt door verdamping die bij klimaatverandering nog toeneemt.
- De verschuivingen in het landgebruik van beide sociaal-economische scenario's zijn op kaart nauwelijks traceerbaar en kwantitatief haast verwaarloosbaar. Ook voor de watervraag van de verschillende regio's maken de landgebruikveranderingen haast geen verschil.

6.3 Over de ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid

- Er zijn ook twee uitersten van klimaatontwikkeling beschouwd, conform de deltasenario's: G (voor RUST en VOL) en W+ (voor WARM en STOOM).
- Het verschil tussen de beide onderzochte klimaatscenario's is groot, vooral doordat de luchtstroming over West-Europa verschuift.
- Niet onderzochte klimaatscenario's zijn W en G+. Daarvan wordt opgemerkt dat W overeen komt met grofweg tweemaal zo snelle veranderingen als G, en G+ met een half maal zo snelle verandering als W+. Daarmee vormen G en W+ de uitersten van waarschijnlijk geachte klimaatverandering.
- Scenario G verschilt vanuit agro-hydrologisch en eco-hydrologisch oogpunt nauwelijks van het huidige klimaat, noch in 2050 noch in 2100. Dat wil zeggen dat het 's zomers – in het groeiseizoen – nauwelijks droger wordt (wel natter in de winter).
- In scenario G blijft de Maasafvoer in de zomer vrijwel gelijk en gaat de Rijnafvoer zelfs iets omhoog, door langere naijling van nattere winters (*base flow*). Ook voor 2100 geldt dat de verschillen klein zijn.
- Scenario G vormt aldus een adequate ondergrens voor onderzoek naar de gevolgen van klimaatverandering, zowel in 2050 als 2100.
- Dit betekent dat voor scenario G (RUST en VOL) de meeste voorziene knelpunten in de regio (met name voor landbouw en natuur) dan ook hetzij nu al bestaan, hetzij voortkomen uit een toenemende vraag door de sociaal-economische ontwikkeling (meer grondwaterwinning bijvoorbeeld).
- Dat geldt niet voor knelpunten die worden veroorzaakt door zeespiegelstijging en/of bodemdaling, want die processen treden ook op in scenario G (en G+).
- In de knelpuntenanalyse is er weinig aandacht voor scenario G, vanwege de geringe effecten. Maar men dient te beseffen dat de *kans* op realisatie van dit scenario (of W zonder +) even groot is als die van W+ (of G+); alhoewel de precieze grootte van die kansen onbekend is.
- Klimaatscenario W+ leidt tot grote verschillen met het huidige klimaat: het wordt veel droger. Dat uit zich in meer specifieke hydrologische veranderingen en knelpunten voor veel regio's en sectoren.
- De verdamping in W+ kan in 2050 16% groter zijn en de zomerneerslag 20% geringer.
- Het neerslagtekort in de zomer neemt in W+ dan ook fors toe: van grofweg 50 – 100 mm waterschijf naar 150- >225 mm waterschijf in 2050. Die trend kan na 2050 doorzetten.
- Door het grote neerslagtekort dalen de laagste grondwaterstanden in de zomer vrijwel overal met enkele decimeters; in de winter dalen de hoogste grondwaterstanden ook in de hogere zandgronden, maar door de vele winterneerslag stijgen ze licht in peilbeheerst Laag-Nederland. Hierbij wordt aangetekend dat deze bevindingen voorlopig zijn en bevestiging behoeven door berekeningen aan langjarige reeksen.
- In de berekende grondwaterstanddalingen voor W+/GE (STOOM) in 2050 zijn zeer duidelijk de gevolgen van toegenomen grondwateronttrekkingen te zien; daar daalt de laagste grondwaterstand plaatselijk 1 m. Ook kunnen bij scenario W+ (WARM en STOOM) in een droog jaar de uiterwaarden sterk verdrogen door lage rivierwaterstanden.

- In scenario W+ wordt verwacht dat de zoutbelasting van polders vanuit het grondwater toeneemt. Dit is het gevolg van een hogere zeestand en een dalend maaiveld, waardoor het drukverschil toeneemt. Deze zogenaamde interne verzilting wordt dan ook eveneens in scenario G verwacht, zij het minder sterk.
- Interne verzilting leidt tot zoutere sloten en mogelijk hogere zoutgehalten in de wortelzone. Dit wordt verwacht in de kuststrook van Friesland-Groningen, in Noord-Holland, in Zeeland en in de Flevopolders en diepe droogmakerijen van Holland. De zoutgehalten zijn door het NHI nog niet adequaat voorspeld, mede omdat daarvoor langjarige reeksen moeten worden doorgerekend.
- Op verscheidene plaatsen is interne verzilting overigens voor een belangrijk deel het gevolg van menselijk handelen: de inpolderingen en droogmakingen uit het verleden hebben de waterdrukverschillen vergroot met significante kwelstromen en het opwellen van zout grondwater tot gevolg.
- De zomerafvoer van de grote rivieren – Rijn en Maas – neemt in scenario W+ sterk af, terwijl die in scenario G een fractie toeneemt. De (over een maand gemiddelde) Rijnafvoer daalt in de zomer van 1800 m³/s in de droogste maand naar 1300 m³/s in 2050 tot minder dan 1000 m³/s in 2100. De Maas voert 's zomers al weinig af – en is daarom ook volledig gekanaliseerd – maar de afvoer daalt eveneens nog fors in scenario W+: in de droogste maand van nog geen 100 m³/s nu naar minder dan 50 m³/s in 2050 en nog eens de helft minder in 2100.
- Door de hogere zeespiegel en de verminderde rivierafvoer neemt in scenario W+ de externe – achterwaartse – verzilting in de open zeegaten sterk toe. In scenario G neemt de rivierafvoer nauwelijks af en heeft alleen de hogere zeespiegel invloed. Externe verzilting leidt tot het naar binnen verschuiven van de zoet- zoutgrens in de Rijn-Maasmond via de Nieuwe Waterweg.
- In scenario W+ neemt de instroom naar het IJsselmeer in het zomerhalfjaar af, het spuien naar de Waddenzee ook.
- In een extreem droog jaar is er in het huidig klimaat al haast geen uitstroom uit het IJsselmeer (vrijwel alle water wordt dan opgebruikt), maar in een gemiddeld of droog jaar wordt nog 2 a 3 m waterschijf ongebruikt op de Waddenzee geloosd, omdat deze beschikbaar komt op een moment dat er geen behoefte aan is en overschrijding van het streefpeil dreigt. In 2050 in W+ is dat in een gemiddeld of droog jaar nog steeds ruim 2 m.

6.4 Over de knelpunten ...

6.4.1 ... in de zoetwatervoorziening

- Wateraanvoer naar de regio beoogt te voorzien in een vraag naar water voor beregening, doorspoelen en peilbeheer. De laatste heeft volgens de verdringsreeks de hoogste prioriteit.
- We spreken van watertekorten als niet zoveel kan worden aangevoerd als wordt gevraagd (de 'gestelde vraag').
- In het huidige klimaat heeft het zuidwestelijk estuariumgebied in een gemiddeld jaar al te maken met watertekorten, voor al deze drie doelen.

- In een extreem droog jaar (1% droog) geldt voor vrijwel alle regio's dat er tekorten zijn, vooral voor beregening en in mindere mate voor doorspoeling, met uitzondering van Noord-Holland en Friesland-Groningen, die vanuit het IJsselmeer water aangevoerd krijgen.
- Watertekort voor peilbeheer treedt in het huidige klimaat alleen op grote schaal op in het Zuidwestelijk estuariumgebied. Zelfs in een extreem droog jaar kan het peil elders nog vrijwel overal (bijna) worden gehandhaafd.
- In scenario G/GE (VOL) nemen de **tekorten** voor watervoorziening van regio's die nu al tekorten kennen in 2050 in een droog jaar (10%) iets toe, vooral door een toegenomen vraag; in W+/RC (WARM) ontstaan in de meeste regio's tekorten, behalve in Noord-Holland en Friesland- Groningen.
- In 2100 ontstaan bij W+/RC in een droog jaar in alle regio's aanzienlijke tekorten, ook voor peilbeheer. Op dat laatste zijn de IJsselmeerpolders (kwel), het rivierengebied (veel water voorhanden) en de Gelderse Vallei (kwel) uitzonderingen.
- Uit een analyse van kaarten over de beregeningsvraag en -tekorten valt af te leiden dat **beregening** uit grondwater of oppervlaktewater in een droog jaar nu al een knelpunt is, vooral in de Noordoostpolder, op de Zeeuwse (schier)eilanden en op de zandgronden. Dat tekort wordt prangender in 2050 bij scenario W+/RC.
- Er is een grote **doorspoelings**vraag langs de kust van Friesland-Groningen, in de diepe droogmakerijen van Midden-West Nederland, in het Westland en op de Zuid-Hollandse eilanden. Een doorspoeltekort doet zich echter in een droog jaar nauwelijks voor, behalve zeer plaatselijk in West-Brabant en op Goeree, noch in het huidige klimaat noch in 2050 bij scenario W+/RC. Er lijkt geen sprake van een significant knelpunt, ook niet in 2050 bij W+/RC.
- De vraag naar water voor **peilbeheer** is groot in geheel Laag-Nederland, en in delen van de hogere zandgronden (Centrale Slenk in Noord-Brabant, Oostelijke zandgronden). De vraag neemt toe door de toenemende verdamping en plaatselijk in de zandgronden door onttrekkingen die de inzijging vergroten.
- Tekorten voor peilbeheer doen zich nu al voor, vooral in Zeeland, in de centrale Slenk en in de veenkoloniën van Oost-Groningen. Daar ontstaan ook onderschrijdingen van het streefpeil in de watergangen, die in scenario W+/RC ernstiger worden en langer duren.
- De belangrijkste **oorzaken** voor het optreden van tekorten zijn (zowel nu als in de toekomst): 1) er is in het geheel geen wateraanvoer mogelijk (zuidwestelijk estuariumgebied); 2) er is onvoldoende water beschikbaar in de rivieren en kanalen (Brabantse kanalen); 3) de voorraad is overvraagd en/of raakt uitgeput (IJsselmeer); 4) de inlaatpunten raken te zeer verzilt (overschrijding chloridenormen: Gouda en Bernisse).
- Hydrologische knelpunten in het **netwerk** worden verwacht op de Nederrijn- Lek (peil ARK- kruising) en op de Maas en Brabantse kanalen (beperking aanvoer). Beide zijn nu alleen benoemd; ze vragen een nadere kwantitatieve analyse.
- Het **IJsselmeer** levert water aan een groot deel van Noord-Nederland: Noord-Holland, Friesland-Groningen en de IJsselmeerpolders.

- Van het IJsselmeer is vastgesteld dat in 2050 bij W+/RC in een extreem droog jaar niet aan de 'gestelde watervraag' kan worden voldaan: het IJsselmeerpeil daalt dan tot onder toelaatbaar peil (-0,40 m NAP). In een gemiddeld en droog jaar kan nog wel aan de watervraag worden voldaan, ook in scenario W+/RC.
- Dit geldt zolang het areaal beregende landbouwgrond niet toeneemt. Als meer beregeningsinstallaties worden aangeschaft kan de vraag naar water voor beregening in W+/RC groeien met een equivalente waterschijf op het IJsselmeer van ruim 0,6 m. Dan is er in 2050 ook in een 10%-droog jaar al circa 0,2 m waterschijf op het IJsselmeer tekort.
- In 2100 kan er in scenario W+/RC ook in een gemiddeld jaar en droog jaar vanuit het IJsselmeer niet meer aan de vraag worden voldaan (bij nu geldend streefpeil en toelaatbaar laagste peil van respectievelijk -0,20 en - 0,40 m). Er is ook geen enkel 'overschot' meer om in een toenemende vraag te voorzien.
- Waterinlaatpunten bij **Gouda en Bernisse** zijn belangrijk voor de watervoorziening van Midden-West Nederland (inclusief het Westland), en industriewatervoorziening in het Rijnmondgebied.
- In de droge zomers van 2003 en 1976 was er bij deze inlaatpunten bijna de halve zomer sprake van te hoge zoutgehaltes (> 250 mg/l).
- Voor de inlaten bij Gouda en Bernisse is vastgesteld dat de zoutgrens door externe verzilting in W+ in 2050 in het zomerhalfjaar veel vaker wordt overschreden dan in het huidig klimaat of in scenario G. Dat geldt vooral voor een extreem droog jaar, waarvan de precieze frequentie van voorkomen (nog) niet bekend is, omdat deze wordt bepaald door een combinatie van rivierafvoer en stormopzet; die zijn niet eenduidig gecorreleerd met klimatologische droogtejaren. In een 'klimatologisch' gemiddeld of droog jaar is er in 2050 ook in scenario W+ geen sprake van een knelpunt.
- Voor de knelpuntanalyse is relevant dat voor deze beide inlaatpunten de frequentie van optreden van kritische omstandigheden niet goed bekend is: de drie doorgerekende 'karakteristieke jaren' zijn mogelijk onvoldoende representatief. Er worden namelijk weinig overschrijdingen van de zoutgrens berekend, terwijl er in 2003 grote problemen waren. Dit vraagt een nadere, specifieke analyse.
- De eerste berekeningen duiden erop dat 'Gouda' in 2050 in W+ een inlaatbeperking zou kunnen kennen van circa een halve zomer in een klimatologisch extreem droog jaar (1% overschrijdingskans), waarvan de overschrijdingskans voor verzilting nog onbekend is (maar misschien wel 10%).
- Voor 'Bernisse' is het knelpunt kleiner: circa 20 dagen in een extreem droog jaar.
- In 2100 leidt scenario W+ tot een sterke toename van de verzilting, vooral bij Gouda, waar zelfs in een gemiddeld jaar de inlaatbeperking kan oplopen tot ruim 70 dagen in het zomerhalfjaar. Dan treedt bij Gouda ook verzilting op in het G-scenario, maar alleen in een extreem droog jaar. Dat komt doordat de zeespiegel hoger staat.
- Voor Bernisse geldt dat het aantal dagen met een inlaatbeperking in 2100 stijgt van ruim 20 naar circa 30 dagen in het W+-scenario in een extreem droog jaar, en dat ook in een gemiddeld jaar al verzilting optreedt (2 dagen).

6.4.2 ... voor de sectoren/ landgebruiksfuncties

- De waterbalansen van de waterhuishoudkundige regio's voor het zomerhalfjaar – waarin alle posten zijn meegerekend, ook wateraanvoer –, laten voor de huidige situatie zien dat in het zomerhalfjaar het **totaal watertekort** verschilt per regio. Het varieert in een 10%-droog jaar van circa 50 mm in het zomerhalfjaar (IJsselmeerpolders met veel kwel) tot ruim 150 mm op de hoge zandgronden.
- In alle regio's neemt het tekort toe als scenario W+/RC gerealiseerd zou worden: in 2050 loopt het in een droog jaar op naar 100 mm in de IJsselmeerpolders tot circa 200 mm op de hoge zandgronden. Daarbij blijft de verdamping nog ongeveer gelijk aan die in de huidige situatie, maar dat betekent dat het verschil tussen de actuele en de potentiële verdamping wel is toegenomen.
- In 2100 nemen in W+/RC de 'in-posten' op de balans nog verder af, maar ook het totaal van 'uit-posten' neemt af; de verdamping blijft nu achter, een indicator van vochttekort en groeireductie van gewassen en natuurlijke vegetatie.
- De procentuele bijdrage van wateraanvoer aan de 'verticale waterbalans' in peilbeheerste gebieden neemt in scenario W+/RC toe – al in 2050, maar nog meer in 2100 –, vooral in de peilbeheerste gebieden met wateraanvoer: Friesland-Groningen, Noord-Holland, Midden-West Nederland en het Rivierengebied.
- **Gevolg** van deze veranderingen in de 'verticale waterbalansen' is ten eerste dat de grondwaterstanden fors dalen, het ergst op de zandgronden.
- De toenemende vochttekorten in W+ leiden tot peildalingen in sloten en peildalingen van grondwater. Ook worden de waterstandsfluctuaties groter.
- De waterbeheerder kan in Noord-Nederland (Noord-Holland en Friesland-Groningen) het slootpeil niet handhaven, want het IJsselmeer staat daarvoor te laag.
- In Midden- West Nederland is het oppervlaktewater niet zoet te houden of zal het slootpeil dalen. De inlaat bij Gouda zal vaker dichtgaan en de Kleinschalige WaterAanvoer heeft onvoldoende capaciteit.
- Waar geen aanvoer mogelijk is (Zeeland) kan verzilting van sloten en de wortelzone optreden. In hoeverre zoetwaterlenzen kans lopen geheel en meerjarig te verdwijnen vraagt een nadere analyse.
- Voor het **stedelijk gebied** betekent grondwaterstanddaling dat ongelijke zetting van grond kan optreden evenals bodemdaling. Ook is er kans op het rotten van houten heipalen (in oude stadskernen) en schade aan funderingen.
- Dit probleem zal zich vooral voordoen in steden in Laag-Nederland, die op slappe grond (veen en klei) zijn gebouwd, en waar het peil wordt beheerst: bijvoorbeeld Rotterdam, Dordrecht, Delft, Leiden, Amsterdam, Gouda, Woerden, Hoorn, Leeuwarden en Groningen. Daar worden in 2050 zomerse peildalingen van meer dan een decimeter verwacht.
- Op de zandgronden worden grotere peildalingen verwacht, maar op zandgrond zullen de gevolgen beperkt blijven. Daar is meestal 'op staal' gebouwd (direct op het zand).
- De mogelijke consequenties voor stedelijk gebied zijn nog niet voldoende gekwantificeerd.
- Voor de **landbouw** geldt dat de vochtvoorziening van de planten doorslaggevend is.

- De gewasverdampingsreductie loopt in scenario W+/RC overal op. Dat leidt tot droogteschade aan landbouwgewassen.
- In 2050 zal de droogteschade bij W+/RC circa 10% meer bedragen dan die in het huidig klimaat. Dat komt overeen met bijna een verdrievoudiging van de droogteschade in een gemiddeld jaar en een verdubbeling in een droog jaar.
- Om deze 'extra klimaatschade' te voorkomen zou circa 9 keer zoveel beregening nodig zijn: ruim 2,1 km³ in plaats van de nu ongeveer gevraagde 0,24 km³. Dit geeft een soort bovengrens aan van een 'latente' toekomstige beregeningsvraag (getallen voor 2050).
- Zoveel extra water is met de huidige inrichting en regelgeving (peilbesluiten e.d.) niet voorhanden.
- Voor de binnendijkse grond- en oppervlaktewatergebonden **natuur** is vastgesteld dat de floristische natuurwaarde in scenario G/GE nauwelijks verandert. Soms is er een klein positief effect:: de natuurwaarde neemt 1 a 2 % toe.
- In scenario W+/RC is er een achteruitgang van de natuurwaarde door grondwaterstanddaling en waterkwaliteitsverslechtering door aanvoer van gebiedsvreemd water. De floristische natuurwaarde van geheel Nederland daalt: -6 tot -8 %.
- De veranderingen in W+/RC treffen vooral kruidvegetaties van natte, voedselarme standplaatsen. Die worden droger en voedselrijker.
- De consequenties voor buitendijkse natuur zijn globaal verkend, maar lastig te duiden. Bestaand intergetijdgebied verdrinkt, maar er ontstaat ook nieuw intergetijdgebied en milieuzones schuiven op.
- Voor de **drinkwatersector** is vastgesteld dat sommige inlaatpunten van oppervlaktewater serieus worden bedreigd door verzilting. Het gaat om inlaatlocaties die ook nu al last hebben van te hoge zoutgehalten: Bernisse, Scheelhoek, inlaatpunten langs de Lek en het Lekkanaal en Andijk.
- Het gaat vaak om geringe overschrijdingen van de norm (150 mg/l Cl⁻).
- De problemen zullen zich vooral voordoen in droge tot extreem droge jaren.
- Ook hogere temperaturen van het inlaatwater kunnen een knelpunt vormen voor de bereiding van drinkwater. Door het in de grond te infiltreren kan het worden gekoeld.
- De **industriewatervoorziening** zal in scenario W+ vaker met leveringsproblemen worden geconfronteerd.
- Dat komt door hetzij toenemende verziltingsproblemen (inlaat Brielse Meer, voorziet Rijnmond-Maasvlakte van industriewater), hetzij te laag peil op het IJsselmeer (watertekort voor Eemshaven via 'open leidingen' door Friesland-Groningen).
- Voor **koelwater** is vastgesteld dat **elektriciteitscentrales** in de huidige situatie in een gemiddeld of droog jaar nauwelijks problemen hebben. In een extreem droog jaar ontstaan nu al problemen
- In scenario G/GE nemen de problemen toe, door een grotere vraag naar energie (en dus koelwater) bij gelijkblijvende rivierafvoeren.
- In scenario W+/GE (STOOM) ontstaan in 2050 al problemen met de koeling in een droog en zelfs gemiddeld jaar, vooral langs de Maas, Amer, Amsterdam- Rijnkanaal en Noordzeekanaal.
- Inzake de **koeling** met oppervlaktewater van **industrie** is gevonden dat er in de huidige situatie nauwelijks problemen zijn.

- In het W+ scenario zullen in 2050 op minder dan 10 locaties knelpunten ontstaan in een gemiddeld of droog jaar, maar in een extreem droog jaar is dat het geval op circa 40 van de 150 locaties.
- De **scheepvaart** kent nu al vaardieptebeperkingen in een extreem droog jaar. Deze worden opgevangen door meer reizen te maken met minder vracht.
- Omdat de afvoeren van de Rijn en Maas in W+ fors dalen (niet in G) nemen de vaardieptebeperkingen op de Waal en IJssel toe (de Maas en Nederrijn/Lek zijn gekanaliseerd), qua ernst, frequentie en totale duur. In 2050 zijn de vaardieptebeperkingen in een gemiddeld jaar ongeveer net zo groot als nu in een droog jaar, en in een droog jaar verdubbelt het aantal dagen met een vaardieptebeperking.
- De **waterrecreatie** kan in toenemende mate hinder ondervinden van algenbloei.

7 Literatuur

AKWA (Advies en Kenniscentrum Waterbodems), 2004. *MKBA Waterbodems, Bagger: het onzichtbare goud?* AKWA-rapport 04.010, november 2004.

Anonymus, 2009b. *Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta – een verkenning*. Metastudie. Kennis voor Klimaat rapport 017/09, Utrecht.

AVV (2005), Betrouwbaar op de Vaarweg, Rijkswaterstaat. Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Bakel, P.J.T. van, V. Linderhof, C.E. van 't Klooster, A.A. Veldhuizen, D. Goense, H.M. Mulder, H.T.L. Massop, 2009. *Definitiestudie Agricom*. Alterra-rapport 1934, Wageningen.

Bal, D., H.M. Beije, M. Felliger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff, 2001. *Handboek natuurdoeltypen*. Rapport Expertisecentrum LNV 2001/020, Wageningen.

Beersma, J.J., T.A. Buishand & H. Buiteveld, 2004. *Droog, droger, droogst - KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland*. KNMI-publicatie 199-II, De Bilt.

Bartholomeus, R.P. (2009), Moisture matters. Climate-proof and processbased relationships between water, oxygen and vegetation, Amsterdam: Vrije Universiteit, Institute of Ecological Science.

Beijk, V., 2008. *Klimaatverandering en verzilting. Modelstudie naar de effecten van de KNMI '06 klimaatscenario's op de verzilting van het hoofdwatersysteem in het noordelijk deltabekken*. Rijkswaterstaat Waterdienst/ Dienst Zuid-Holland, Rapport 2008.035

Berkhout, P.H.G., N.M. Brouwer, F.A. Felsö, 2003. *Revisie SEO Waterrecreatiemodel*. SEO-rapport nr. 668, Amsterdam.

Beumer, V., Vernimmen, H., Holzhauser, H., 2009. *Effecten natuurwaarden benedenrivierengebied als gevolg van klimaatmaatregelen*. Deltares-rapport i.o.v. Rijkswaterstaat, Delft.

Bijvoet, C., M. de Nooij en C. Koopmans, 2003. *Gansch het raderwerk staat stil. De kosten van stroomstoringen*. Onderzoek in opdracht van TenneT. SEO-rapport nr. 685. ISBN 90-6733-243 7. Amsterdam, juni 2003.

Bonte, M. & J.J.G. Zwolsman (2009). *Klimaatverandering en verzoeting van de Rijn*. H2O (2009), nr. 20, p. 29-31.

Bonte, M. & J.J.G. Zwolsman (2010). *Drinkwaterfunctie en verzilting van het IJsselmeergebied*. Stromingen 16 (2010), nr 2/3, p. 50-60.

Bouma H, Jong D.J. de, Twisk, F., Wolfstein K., 2005. *Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren*. Rapport RIKZ/2005.024, Middelburg.

Brouwer, F. & J.T.M. Huinink, 2002. *Opbrengstderivingspercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten*. Rapport 493. Alterra.

Brouwer, R., J. de Boer, R. van Ek e& M. Hisschemöller, 2003. *Baten van Water in Geld, Groen en Gevoel; Leidraad voor integrale beleidsevaluaties, Waterverkenningen*. RIZA rapport 2003.026, ISBN 9036956358, Lelystad.

Bruggeman, W., M. Haasnoot, S. Hommes, A. te Linde, R. van der Brugge, B. Rijken, E. Dammers & G.J. van den Born, 2011. *Deltascenario's. Verkenning van mogelijke fysieke en sociaaleconomische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO-scenario's, voor gebruik in het Deltaprogramma 2011 – 2012*. Deltares-rapport 1204151.002, Utrecht.

- Buck Consultants International (2008). *Een goede toekomst voor het kleine schip - visie en actieplan*.
- BVB, 2010. , *Waardevol Transport 2010-2011*, Bureau Voorlichting Binnenvaart, Rotterdam.
- CPB, MNP & RPB (Centraal Planbureau, Milieu- en Natuur Planbureau en Ruimtelijk Planbureau), 2006. *Welvaart en Leefomgeving - een scenariostudie voor Nederland*.
- CVTO, 2005. *ContinuVrijeTijdsOnderzoek periode 2004-2005*. Nederlands Bureau voor Toerisme en Congressen.
- De Jong A.H., Hildering H.B.M., 2006. *Lange-termijn bevolkingsscenario's voor Nederland*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Centraal Bureau voor de Statistiek, Bilthoven, Voorburg.
- Deltares, 2009. *Voorstudie: Invloed van tijdelijke peilveranderingen op infrastructuur*. Delft.
- Deltares, 2010. *Building the Netherlands climate proof – Urban areas*. Rapportnummer 1201082-000-VEB-0003, Utrecht.
- De Rijk, S., O. de Keizer, M. de Wit & F. van de Ven, 2009. *Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas*. Deltares-rapport 1201196-000-ZWS-0001, Utrecht.
- Duel, H., J.L. Fiselier, F. Klijn & C. Kwakernaak, 1989. *Gebiedsvreemd water in Nederland; een verkenning van de problematiek van gebiedsvreemd water en de ruimtelijke oplossingsmogelijkheden*. SCMO-TNO rapport R 89/42, Delft/ CML mededelingen 52, Leiden.
- DVS, 2010. *Klimaat en binnenvaart; een strategische verkenning naar de effecten van klimaatverandering op het gebruik van het Hoofdvaarwegennet*. 1 november, 2010, Eindconcept.
- EIM, 2009. *Industriewater in Nederland*.
- Fiselier, J.L., F. Klijn, H. Duel & C. Kwakernaak, 1992. *The choice between desiccation of wetlands or the spread of Rhine water over The Netherlands*. *Wetlands Ecology and Management* 2(1992)/ 1/2: 85-93
- Haas, S.A. de, A.H. Niemeijer, 2007. *Investeringsruimte voor toekomstige droogte. Verkenning van de hydrologische effecten en economische schade in de KNMI '06 klimaatscenario's*. Royal Haskoning, Amsterdam.
- Haasnoot, M., J.S. Verkade, K.M. Bruijn, 2009a. *HABITAT a spatial analysis tool for environmental impact and damage assessment*. Hydroinformatics Conference. Chili 12-16 January 2009.
- Haasnoot M., K. van de Wolfshaar, 2009b. *Combining a conceptual framework and a spatial analysis tool, HABITAT, to support the implementation of river basin management plans*. Accepted for publication in Journal of River Basin Management.
- Hilferink, M. and P. Rietveld, 1999. *Land Use Scanner: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas*. Journal of Geographical Systems 1(2): 155-177.
- HKV, 2007. *MIT – verkenningnota, Duurzame Vaardiepte Rijndelta*. HKV rapport PR-1151.10.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61
- IKC, 1993. *Bodemgeschiktheidstabellen voor landbouwkundige vormen van bodemgebruik*.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S. D, Qin, M, Manning, Z, Chen, M, Marquis, K,B, Averyt, M, Tignor and H,L, Miller (eds,)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,
- Janssen, L.H.J.M., V.R. Okker & J. Schuur, 2006. *Welvaart en leefomgeving: een scenariostudie voor Nederland in 2040*. Centraal Planbureau, Milieu en Natuurplanbureau & Ruimtelijk planbureau.

- Kamp, A. van de en M. Bos, 2002. *Wat drijft de recreant? Een verkenning naar waterrecreatie in Nederland*. Toerisme Recreatie Nederland (TRN), Leidschendam.
- KEMA, 2004. *Droogtestudie koelwaterproblematiek E-productie*. Arnhem, 26 augustus 2004.
- KEMA, 2008. *Klimaatbestendigheid Nederland met betrekking tot koelwatergebruik*. Arnhem, 2 september 2008.
- Kenniscentrum Recreatie, 2008. *De toekomst van toerisme, recreatie en vrije tijd*. Den Haag.
- Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009. *Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's*, KNMI. De Bilt.
- Klijn, F., 1989. *Landschapsecologische Kartering Nederland: grondwaterrelaties*. CML-mededelingen 51, Leiden/ Stiboka-rapport 2107, Wageningen. 41 blz.
- Klijn, F., K. de Bruijn, C. McGahey, M. Mens & H. Wolfert, 2008. *Towards sustainable flood risk management: on methods for design and assessment of strategic alternatives exemplified on the Schelde Estuary*. FLOODsite Report T14-08-02.
- Klijn, F., J. Kwadijk, K. de Bruijn & J. Hunink, 2010. *Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat. Verkenning van wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland*. Deltares-rapport 1002565, Delft.
- KNMI (Beersma, J.J. & T.A. Buishand), 2002. *Droog, droger, droogst - Bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland*. KNMI-publicatie 199-I, De Bilt
- KNMI (Van den Hurk, B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout), 2006. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.
- KPMG / Grontmij, 2001. *Grondwateroverlast in het stedelijk gebied*. Den Haag: in opdracht van RIZA.
- Kuiper, R & A.A. Bouwman, 2009. *Trendkaart Nederland 2040. Achtergrondrapport bij het project 'Nederland Later'*. PBL-publicatienummer 500074006, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.
- Kwadijk, J., F. Klijn & M. van Drunen, 2006. *Klimaatbestendigheid van Nederland: nulmeting. Routeplanner deelproject 1*. WL | Delft Hydraulics & IVM-VUA, WL-rapport Q4183, Delft.
- Kwadijk, J., A. Jeuken & H. van Waveren, 2008. *De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. Verkenning van knippunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem*. Deltares-rapport T2447, Delft
- Kwadijk J.C.J., M. Haasnoot, J. Mulder, M. Hoogvliet, A. Jeuken, R. van de Krogt, N. van Oostrom, H. Schelfhout, E. van Velzen, H. van Waveren & M. de Wit, 2010. *Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands*. WIREs Clim Change 2010 1 000–000 DOI: 10.1002/wcc.64
- Kwakernaak, C., F. Klijn, J.L. Fiselier & H. Duel, 1991. *Alternatieven voor wateraanvoer; een aanzet tot gebiedsgericht beleid tegen de toenemende invloed van gebiedsvreemd water*. Landschap 8(1991)/ 2: 93-107
- KWR, 2008. *Klimaatbestendigheid drinkwatervoorziening in Nederland gebaseerd op oppervlaktewater*. Nieuwegein.
- Lammersen, 2004. *Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein*. Rijkswaterstaat-RIZA, Landesumweltamt NRW, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Düsseldorf. 160pp.
- LNV, 1990. *Natuurbeleidsplan*. Regeringsbeslissing. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Den Haag.

- Luijendijk, 2006. *Als een paal boven water... Een onderzoek naar de technische en economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden voor het oud stedelijk gebied*. Rapport 13/99066894/EL, Grontmij / Rijks Universiteit Groningen, Sterk Consulting.
- Middelkoop, H., M. B. A. V. Asselt, et al. (2004). *Perspectives on flood management in the Rhine and Meuse Rivers*. River research and applications 20: 327-342.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2009. *Handreiking watertekorten. Scenario's watertekorten Versie 2.1*. Rijkswaterstaat-WD, Lelystad.
- Ministeries V&W, VROM en LNV (22 december 2009). *Nationaal Waterplan 2009 – 2015*. Den Haag.
- MNP (Milieu- en Natuurplanbureau), 2005. *Effecten van klimaatverandering in Nederland*. Bilthoven, MNP-rapport nummer 773001034.
- MNP (Milieu- en Natuurplanbureau), 2007. *Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland*. MNP, Bilthoven.
- NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium), 2008. *Deelrapport Kenmerken Landelijk Oppervlaktewater*, Utrecht, december 2008.
- NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium), 2008. *Deelrapport Kenmerken Regionaal Oppervlaktewater*, Utrecht, december 2008.
- NHV (P. Huisman), 2004. *Water in the Netherlands; managing checks and balances*. NHV-special 6, Netherlands Hydrological Society, Utrecht.
- NHV (Nederlandse Hydrologische Vereniging), 2008. *Stromingen jrg 14 nr 4; NHI special*, Utrecht, november 2008.
- NRIT/RIKZ, 2002. *De betekenis van water voor recreatie en toerisme in Nederland*, Den Haag.
- Oasen, 2005. *Onzichtbaar erfgoed in gevaar*. Gouda.
- Passchier, R., F. Klijn & H. Holzhauser (2009). *Beleidsomslagpunten in het zuidwestelijk estuariumgebied? Verkenning van klimaatveranderingsbestendigheid*. Deltares-rapport 1200163-006, Delft.
- PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2009. *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*. PBL-publicatie 500078001, Den Haag/ Bilthoven, april 2009.
- Pulles, J.W., 1985. *Beleidsanalyse van de waterhuishouding van Nederland*. Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Rijkswaterstaat/RIZA, 2005. *Watertekortopgave. Eindrapport droogtestudie Nederland*. RIZA-rapport 2005.015, Lelystad.
- Rijkswaterstaat/RIZA, 2005a. *Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland*. Eindrapport. RIZA-rapport 2005.016, Lelystad.
- Rijkswaterstaat/RIZA, 2006. *Gegevensverzameling warmtelozingen in oppervlaktewater 2000-2005*, Lelystad, juni 2006.
- Rijkswaterstaat, 2007. *In the mirror of a lake: Peipsi and IJsselmeer for mutual references*.
- Rijkswaterstaat-WD, 2008. *Indicatie van de kosten van het Deltaprogramma*. Werkdocument WD 2008/3517, Lelystad.
- Rijkswaterstaat, 2009. *Beheer en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren (BPRW) 2010-2015*. RWS rapport WD1209ZH010, december 2009.
- Runhaar, J. en M. van 't Zelfde, 1996. *Vergelijking ecotooptypen – natuurdoeltypen*. CML no. 128, Leiden, ISBN 90-5191-102-5.

- Runhaar, J., J. Clement, P.C. Jansen, S.M. Hennekens, E.J. Weeda, G.W.W. Wamelink & E.P.A.G. Schouwenberg, 2005. *Hotspots floristische biodiversiteit*. Wageningen UR, WOT Natuur & Milieu (WOT-rapport 9), Wageningen.
- Runhaar, H. & J.P.M. Witte, 2007. *Waterlood Natuur-Terrestrisch Versie 3: Voorstudie naar uitbreiding module Natuur-Terrestrisch*. STOWA rapport 22, ISBN 90.5773.342.0
- RIZA, 2006. *Gegevensverzameling warmtelozingen in oppervlaktewater 2000-2005*, juni 2006.
- SEV III, 2009. *Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening*, Planologische Kernbeslissing deel 3, Kabinetsstandpunt. Den Haag, 2009.
- Silvis, H.J., de Bont C.J.A.M., Helming J.F.M., van Leeuwen M.G.A., Bunte F., van Meijl J.C.M., 2009. *De agrarische sector in Nederland naar 2020: perspectieven en onzekerheden*. LEI Wageningen UR, Den Haag, 2009.
- Slootjes, N., 2009. *Waterberging Zeeuwse Wateren*. Klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. HKV LIJN IN WATER, rapport PR1675.10.
- Sneller en Beter, 2008. *Advies Commissie Versnelling Besluitvorming Infrastructurele Projecten*. Den Haag, april 2008.
- SRN, 2008. *Beleidsvisie Recreatietoervaart Nederland (BRTN 2008-2013)*. Stichting Recreatietoervaart Nederland, Driebergen.
- Stichting Recreatie (2008). *Pre-verkenning waterrecreatie: Inventarisatie van beschikbare kennis*.
- Stuurman, R., P. Baggelaar, W. Berendrecht, J. Buma, P. de Louw & G. Oude Essink, 2008. *Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering*. TNO-rapport 2008-U-R0074/B, Utrecht, januari 2008.
- Taleb N.N., 2008. *De zwarte zwaan. De impact van het hoogst onwaarschijnlijke*.
- Tang P., de Mooij R., 2003. *Four Futures of Europe*. Centraal Planbureau, Den Haag.
- Te Linde A.H., J.C.J.H. Aerts, A.M.R. Bakker & J.C.J. Kwadijk, 2010. *Simulating low-probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data*. *Water Resour. Res.*, 46. W03512. doi:10.1029/2009WR007707.
- TenneT, 2007. *Kwaliteits- en Capaciteitsplan 2008-2014 - Deel I*. Arnhem, december 2007.
- TenneT, 2008. *Visie2030*. Arnhem, februari 2008.
- Ter Maat, G.J., F. Klijn, 2008. *Compartimenteringsstudie; casestudie Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkkring 43); Technische achtergrondrapportage*. Deltares-rapport Q4348.45, Delft.
- Ter Maat, G.J & G. van Meurs, 2009. *Strategie "meestijgen IJsselmeerpeil bij zeespiegelstijging"*. Werkpakket Veiligheid IJsselmeergebied. Deltares-rapport 1200163.003, Delft.
- Tuunter, drs. E., H. de Jong, MSc, ir. K. Hoenderkamp, 2008. *Pre-verkenning waterrecreatie: Inventarisatie van beschikbare kennis*. Stichting Recreatie, Kennis en innovatiecentrum, januari 2008.
- Van Asselt, M. B. A., H. Middelkoop, et al., 2001. *Development of flood management strategies for the Rhine and Meuse basins in the context of integrated river management*. Report of the IRMA-SPONGE project 3/NL/1/164/991518301.
- Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten, 2008. *Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's*. Deltaresrapport T2498, Delft.

- Van der Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop & H.R.J. Vroon, 2009. *Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte: Analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand en bodem*. Alterra rapport 1791, Wageningen.
- Van der Giessen, A., 2005. *Naar een gezamenlijk nationaal hydrologisch modelinstrumentarium*. Eindrapport van de werkgroep Consensus Hydrologie (WUR/Alterra; RIVM/NMP; RWS/RIZA). MNP, Bilthoven.
- Van der Molen D.T., H.P.A. Aarts, J.J.G.M. Backx, E.F.M. Geilen & M. Platteeuw, 2000. *RWES aquatisch*. RIZA rapport 2000.038, RWS-rapport nr. 5. Lelystad, augustus 2000.
- Van der Zeijden, drs. P.Th., drs. A.P. Muizer, drs. R.M. Braaksma, mr. drs. M.N. Pasaribu, 2009. *Industriewater in Nederland*. EIM, Zoetermeer, maart 2009.
- Van Ek, R., J.P.M. Witte, J. Runhaar & F. Klijn, 2000. *Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT*. Ecological Engineering 16: 127-141.
- Vonk, M., C.C. Vos & D.C.J. van der Hoek, 2010. *Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur*. PBL, Den Haag/Bilthoven & Wageningen UR.
- Vos C., et al., 2006. *De Ecologische Hoofdstructuur en klimaatverandering: waar kunnen we het beste investeren in meer ecologische veerkracht?* Alterra rapport 1311, Wageningen.
- Vos, C, P. Opdam, G.J. Nabuurs, R. Bugter & M.Epe, 2007. *Klimaatverandering en ruimtelijke adaptatie natuur: wat we (niet) weten*, Kennis voor Ruimte rapport, ISBN/EAN: 978-90-5192-037-6
- Waterrecreatie Advies, 2005. *Onderzoek aantal recreatievaartuigen in Nederland*. Lelystad.
- Werkgroep Regionale Uitwerking Verdringingsreeks Noord-Nederland, 2009. *Advies van de Werkgroep Regionale Uitwerking Verdringingsreeks Noord-Nederland, Waterverdeling Noord-Nederland*, herziening, november 2009.
- Wienhoven, M., 2009. *Quick scan watergebruiksfuncties. Verkenning naar het relatief belang van zoet water gebruiksfuncties*. Deltares rapport (concept), Delft.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar & R. Van Ek, 2009. *Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland*. KWR 2009.032, Nieuwegein.
- Witte, J-Ph., J. Runhaar, R. van Ek & D. van der Hoek, 2009. *Eerste landelijke schets van de ecohydrologische effecten van een warmer en grilliger klimaat*. H2O 16/17: 37-40.
- WLO, 2006. Centraal Planbureau, Milieu- en Natuur Planbureau en Ruimtelijk Planbureau. *Welvaart en Leefomgeving - een scenariostudie voor Nederland in 2040*.
- Zwolsman, J.J.G. & M.T.H. van Vliet (2007). Effect van een hittegolf op de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas. *H2O* (2007), nr. 22, p. 41-44.

