

# Zoetwatervoorziening in Nederland

aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21<sup>e</sup> eeuw





# Zoetwatervoorziening in Nederland

aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21e eeuw

2<sup>e</sup> (gecorrigeerde) druk

Frans Klijn, Emiel van Velzen, Judith ter Maat, Joachim Hunink

met bijdragen van:

Gerrit Baarse, Victor Beumer, Pascal Boderie, Jelle Buma, Joost Delsman, Jacco Hoogewoud, Marco Hoogvliet, Geert Prinsen, Jan van Bakel (Alterra), Rolien van der Mark, Remco van Ek, Robin van Sligte, Henk Verheij, Gert-Jan Zwolsman (KWR)

1205970-000



**Titel**  
Zoetwatervoorziening in Nederland

**Opdrachtgever**                      **Project**                                      **Pagina's**  
Rijkswaterstaat- Waterdienst 1205970-000                                      229

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

**Samenvatting**  
Dit rapport gaat over de aanscherping van de knelpuntenanalyse die is uitgevoerd in de context van de landelijke zoetwaterverkenning. Het rapport volgt de opzet van de eerder uitgebrachte knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) en is voor een groot deel zelfs identiek omwille van de zelfstandige leesbaarheid. De aanscherping betreft (1) berekeningen met een verbeterde versie van het deltamodel (NHI versie 2.2), (2) de resultaten van onderzoek aan een langjarige reeks weersomstandigheden in plaats van slechts enkele karakteristieke jaren, en (3) een diepergaande analyse van een aantal belangrijke onderwerpen.

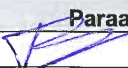


De zoetwaterverkenning ondersteunt het Deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma door onderzoek en het beschikbaar maken van relevante informatie. Dit deelprogramma werkt aan de formulering van een beleidstrategie inzake de nationale zoetwatervoorziening voor de lange termijn (besluit in 2015).

De knelpuntenanalyse is een eerste stap in de 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, en wat dat voor consequenties kan hebben. 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 de 'deltascenario's', met nadruk op 2050 en een doorkijk naar 2100. 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.

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

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
15	22/05/2012	dr Frans Klijn		ir G. Lenselink		ir J. Vissers	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Over dit rapport</b>	<b>1</b>
1.1	Ten geleide	1
1.2	Zoetwater in het Deltaprogramma	1
1.3	Waar gaat het Deltaprogramma Zoetwater over?	2
1.3.1	Relatie met andere deelprogramma's	2
1.3.2	De landelijke zoetwaterverkenning	4
1.4	Waar gaat dit rapport over?	4
1.4.1	De centrale vraag	5
1.4.2	Reikwijdte van de landelijke knelpuntenanalyse	5
1.5	Voor wie is het rapport bedoeld?	6
1.6	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>Aanpak van de knelpuntenanalyse</b>	<b>9</b>
2.1	Algehele opzet	9
2.1.1	Ruimte- en tijdschaal, abstractieniveau en resolutie	9
2.2	Hoe zit het systeem in elkaar?	10
2.2.1	Fysiek: fysische geografie en de waterbalans	11
2.2.2	Socio-economisch: watergebruik en afhankelijkheid van omstandigheden	14
2.2.3	Waterverdeling door Nederland: het netwerk, inlaatpunten en uitslagpunten	16
2.3	Veranderingen in de toekomst: wat er mogelijk op ons afkomt	18
2.3.1	Klimaatscenario's en overige geo-ecologische veranderingen	18
2.3.2	Sociaal-economische scenario's	21
2.3.3	Deltascenario's: relevante combinaties van geo-ecologische en sociaal-economische scenario's	23
2.4	Modellering	25
2.4.1	Het fysieke systeem 1: NHI	26
2.4.2	Het fysieke systeem 2: presentatie per waterhuishoudkundige regio en/of district	28
2.4.3	Tijdstappen en karakteristieke droogtejaren	32
<b>3</b>	<b>Resultaten vraaganalyse</b>	<b>35</b>
3.1	Analyse van de watervraag, nu en in de toekomst	35
3.2	Stedelijke functies	36
3.2.1	Aard watervraag	36
3.2.2	Omvang watervraag	40
3.2.3	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	41
3.2.4	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	42
3.3	Infrastructuur	42
3.3.1	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	43
3.3.2	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	43
3.4	Landbouw	43
3.4.1	Aard en omvang watervraag	43
3.4.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	45
3.4.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	46
3.5	Terrestrische natuur en natuur in kleine wateren	46
3.5.1	Aard en omvang watervraag	48
3.5.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	50

3.5.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	50
3.6	Natuur in en langs de grote wateren en ruimtelijke kwaliteit (en daarvan afhankelijke gebruikers van oppervlaktewateren)	51
3.6.1	Aard en omvang watervraag	51
3.6.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	51
3.6.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	51
3.7	Visserij	52
3.7.1	Aard en omvang watervraag	52
3.7.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	53
3.7.3	Afhankelijkheid hoofdwatersysteem	53
3.8	(Drink)waterwinning	54
3.8.1	Aard en omvang watervraag	54
3.8.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	57
3.8.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	59
3.9	Industriewatervoorziening	61
3.9.1	Aard en omvang watervraag	61
3.9.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	61
3.9.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	62
3.10	Koelwater voor industrie en energieproductie	62
3.10.1	Aard en omvang watervraag	63
3.10.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	65
3.10.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	67
3.11	Scheepvaart	68
3.11.1	Aard en omvang van de watervraag	69
3.11.2	Verwachte ontwikkeling in de toekomst	71
3.11.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	73
3.12	Recreatie	74
3.12.1	Aard en omvang van de watervraag	74
3.12.2	Verwachte ontwikkelingen in de toekomst	75
3.12.3	Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem	76
3.13	Overzicht: hoeveel water wordt voor welke sector (welk gebruik) gevraagd?	76
3.14	De watervraag van regio's	78
3.14.1	De theoretische doorspoelvraag	80
3.14.2	De gestelde watervraag per regio	80
3.14.3	Hoeveel vaker komt een grote regionale watervraag in de toekomst voor?	84
<b>4</b>	<b>Resultaten beschikbaarheidsanalyse: waterbalansen</b>	<b>87</b>
4.1	Waterbalansen algemeen	87
4.2	Neerslag en verdamping: de verticale balans	87
4.2.1	Verwachtingen voor de toekomst	91
4.3	Polderwateren en ondiep grondwater: de snelle korte buffer	93
4.3.1	De betekenis van de grondwaterstanden	96
4.3.2	Verwachtingen voor de toekomst	96
4.3.3	Wat betekent dit voor brakke en zoute kwel? Interne verzilting	99
4.3.4	Een bijzonder geval: neerslaglenzen die drijven op brak of zout grondwater	102
4.4	Het diepe grondwater: de grote langzame buffer	103
4.4.1	Verwachtingen voor de toekomst	104
4.5	Rivieraanvoer en -afvoer: de horizontale zoetwaterbalans	108
4.5.1	Verwachtingen voor de toekomst	108
4.5.2	Wat kan veranderend watergebruik door de bovenburen nog betekenen?	110
4.6	Wat gebeurt er met de zoet-zoutovergangen in de open verbindingen?	112



4.6.1	Verwachtingen voor de toekomst	113
4.7	Het waterpeil van grote zoete meren	113
4.7.1	Verwachtingen voor de toekomst	114
4.8	Verdeling van water over Nederland	115
4.8.1	Waarom wateraanvoer? Doelen	117
4.8.2	De verdringingsreeks	117
4.9	Overzicht: hoeveel water is beschikbaar per waterhuishoudkundige regio?	118
<b>5</b>	<b>Confrontatie vraagontwikkeling en ontwikkeling beschikbaarheid: knelpunten</b>	<b>121</b>
5.1	Uitgangspunten	121
5.2	Van watervragers naar knelpuntindicatoren	121
5.3	Knelpunten in de wateraanvoer, per regio	122
5.3.1	Overzicht watervragen en –tekorten per regio: variabiliteit en klimaateffecten	122
5.3.2	Berekeningstekorten	127
5.3.3	Zoutproblemen/ doorspoelproblemen	129
5.3.4	Peilproblemen in peilbeheerst gebied	131
5.3.5	De knelpunten in de regionale watervoorziening: een overzicht	134
5.3.6	Tekorten in de oppervlaktewatervoorraden: IJsselmeerpeil	137
5.3.7	Inlaatbeperkingen door verhoogde zoutconcentraties: Gouda en Bernisse	145
5.3.8	Tekort aan water voor peilhandhaving van de rivieren?	155
5.3.9	Tekort aan water voor waterinlaat naar de regio vanuit de Rijntakken?	155
5.3.10	Tekort aan water voor peilhandhaving Brabantse en Limburgse kanalen	159
5.4	Landelijk beeld per gebruiksfunctie/ sector	160
5.4.1	Stedelijke functies	160
5.4.2	Infrastructuur	162
5.4.3	Landbouw	166
5.4.4	Terrestrische natuur en natuur in de kleine wateren	173
5.4.5	Aquatische natuur en natuur langs grote wateren	180
5.4.6	Binnenvisserij	183
5.4.7	Inlaatpunten drinkwatervoorziening	186
5.4.8	Inlaatpunten industrie	190
5.4.9	Koelwaterlozingen door energiecentrales en industrie	191
5.4.10	Scheepvaart en vaardiepte	196
5.4.11	Waterrecreatie: vaardiepte en waterkwaliteit	208
<b>6</b>	<b>De bevindingen samengevat</b>	<b>211</b>
6.1	Ten geleide	211
6.2	Over de vraagontwikkeling	211
6.3	Over de ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid	212
6.4	Over de knelpunten ...	215
6.4.1	... in de zoetwatervoorziening	215
6.4.2	... voor de sectoren/ landgebruiksfuncties	218
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>223</b>



# 1 Over dit rapport

## 1.1 Ten geleide

Dit rapport gaat over de aangescherpte landelijk analyse van knelpunten in de zoetwatervoorziening in de 21<sup>e</sup> eeuw. Het betreft bij uitstek een verdieping en controle van onderdelen van de analyse die in 2011 is gepubliceerd (Klijn et al., 2011), en die deel uitmaakt van de landelijke zoetwaterverkenning. Die verkenning is gedaan voor het Deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma.

Dit rapport is qua opbouw identiek aan de vorige versie (Klijn et al., 2011) en behandelt dezelfde onderwerpen. De inhoud is ook deels hetzelfde – en zelfs de letterlijke tekst –, maar op een aantal onderdelen is sprake van een verdergaande analyse met een geactualiseerd model voor de waterhuishouding (NHI versie 2.2, dat onderdeel uitmaakt van het Deltamodel) meer of nauwkeuriger gegevens (onder meer een 35-jarige reeks weersomstandigheden in plaats van slechts die van enkele karakteristieke jaren), of een iets uitgebreidere wijze van behandelen op basis van recent of eerder gemist onderzoek. Waar sprake is van een aanscherping wordt dit nadrukkelijk aangegeven aan het begin van de betreffende paragraaf – met aanduiding van waar de aanscherping uit bestaat – en waar dit leidt tot nieuwe inzichten of afwijkende bevindingen krijgt dit natuurlijk terdege aandacht.

## 1.2 Zoetwater in het Deltaprogramma

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 richtinggevendende 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.

Eén van de deelprogramma's is het Deltaprogramma Zoetwater. Dat deelprogramma heeft tot doel om de besluitvorming over de zoetwatervoorziening van rijkswege 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 2015);
- geen-spijtmateregelen (tot 2015).

### 1.3 Waar gaat het Deltaprogramma Zoetwater over?

In het Deltaprogramma 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 hier 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, zwembadwater, 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 Deltaprogramma Zoetwater 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 programma 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 landelijke 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.

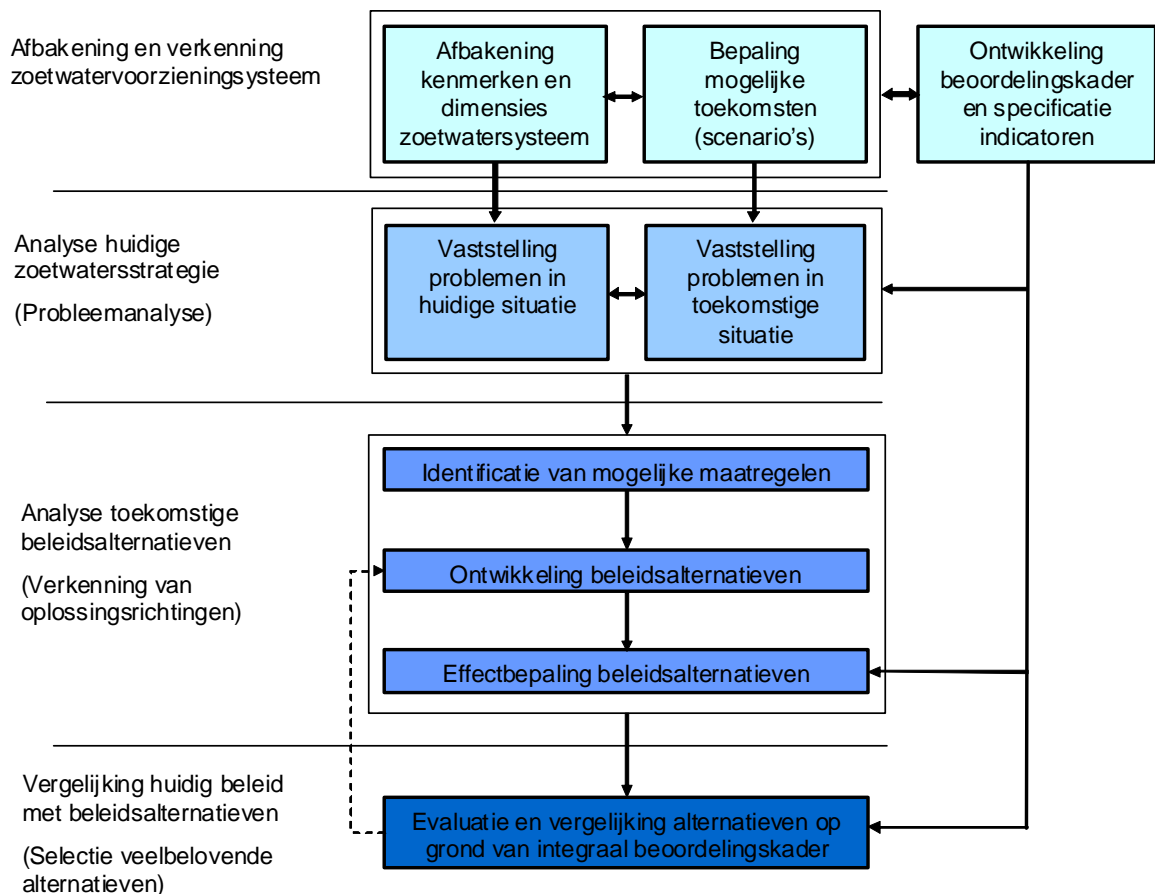
De nadruk van het programma ligt op landelijk en bovenregionaal niveau. Dat betekent dat het nationale perspectief wordt aangehouden. Ook waar de problemen en oplossingsrichtingen soms op regionaal niveau in beeld worden gebracht gaat het om de bovenregionale samenhang.

#### 1.3.1 Relatie met andere deelprogramma's

Het Deltaprogramma 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 Deltaprogramma Zoetwater 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 regionale deelprogramma's zullen de te nemen maatregelen concreet worden.



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

### 1.3.2 De landelijke zoetwaterverkenning

Het Deltaprogramma 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, en 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).

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

Bij de ondersteuning van en interactie met het programmeerteam 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.

## 1.4 Waar gaat dit rapport over?

Dit rapport gaat over het onderdeel *knelpuntenanalyse* van de *landelijke zoetwaterverkenning*. Deze wijkt af van de al eerder uitgebrachte versie van de knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) door een aanscherping op een aantal punten, maar dat betekent niet dat het karakter van de rapportage afwijkt. Dat wil zeggen dat ook dit rapport informatie en kennis beschikbaar maakt die relevant is voor de *eerste fase* van een 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 – op verzoek van het programmeerteam – nog geen normatieve duiding wordt gegeven.

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?

#### 1.4.1 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 Deltaprogramma 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.

#### 1.4.2 Reikwijdte van de landelijke knelpuntenanalyse

De landelijke knelpuntanalyse 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 knelpuntanalyse 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. *Ten opzichte van de eerste landelijke knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) wordt voor enkele sectoren de betekenis van watertekorten nader geduid, bijvoorbeeld in termen van opbrengstschade (landbouw). Waar van toepassing, wordt dit vermeld.*

Dit rapport betreft dus uitsluitend de landelijke analyse, en niet de eveneens uitgevoerde regionale analyses. Over die laatste is en 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 voor doen, maar steeds vanuit landelijk perspectief; dit met het oog op de 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. *Voor dit rapport gaat het om het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) versie 2.2, wat een verbeterde versie is ten opzichte van die gebruikt is voor Klijn et al. (2011).* De resultaten van de modelexercitie 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 knelpuntanalyse.

## 1.5 Voor wie is het rapport bedoeld?

Dit rapport is bedoeld ter ondersteuning van de discussie door *alle betrokkenen* bij de lange-termijnverkenning 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'. 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. 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.

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

## 1.6 Leeswijzer

Eén van de eerste opgaven voor het Deltaprogramma Zoetwater is aanscherping van het beeld van de precieze omvang van het zoetwatervraagstuk, zowel op dit moment als 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 ook dit rapport over de aanscherping van de landelijke knelpuntenanalyse gestructureerd.

In hoofdstuk 2 wordt de beschrijving van de *aanpak* van de knelpuntenanalyse herhaald, 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 toegepast.

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



***In aanvulling op de eerste knelpuntenanalyse is nu ook de vraag per regio onderzocht en gekwantificeerd.***

In hoofdstuk 4 wordt de *waterbeschikbaarheid* beschreven in afhankelijkheid van klimaat, buffering in grondwatervoorraden en aanvoer door de grote rivieren. Alle relevante waterstromen en voorraden zijn 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, ***met extra aandacht voor aangescherpte, nieuwe of gewijzigde inzichten.***



## 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 (beregeningswater). 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 hoofdwatersysteem. 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 km<sup>2</sup> 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 de eerste knelpuntanalyse* uitgegaan van een drietal representatieve jaren. *Voor de onderhavige analyse zijn ook 35-jarige reeksen doorgerekend, waar relevant en/of ter verificatie van de eerdere uitkomsten. Daarop wordt verderop in dit hoofdstuk ingegaan.*

De 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. Voor het Deltaprogramma als geheel zijn daartoe zogenaamde *deltascenario's* samengesteld. Verderop in dit hoofdstuk wordt uitgebreid teruggekomen op het gebruik van *scenario's* in het algemeen en de *deltascenario's* in het bijzonder.

## 2.2 Hoe zit het systeem in elkaar?

Bij de analyse wordt uitgegaan van de huidige situatie. Dat is ongeveer 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.).

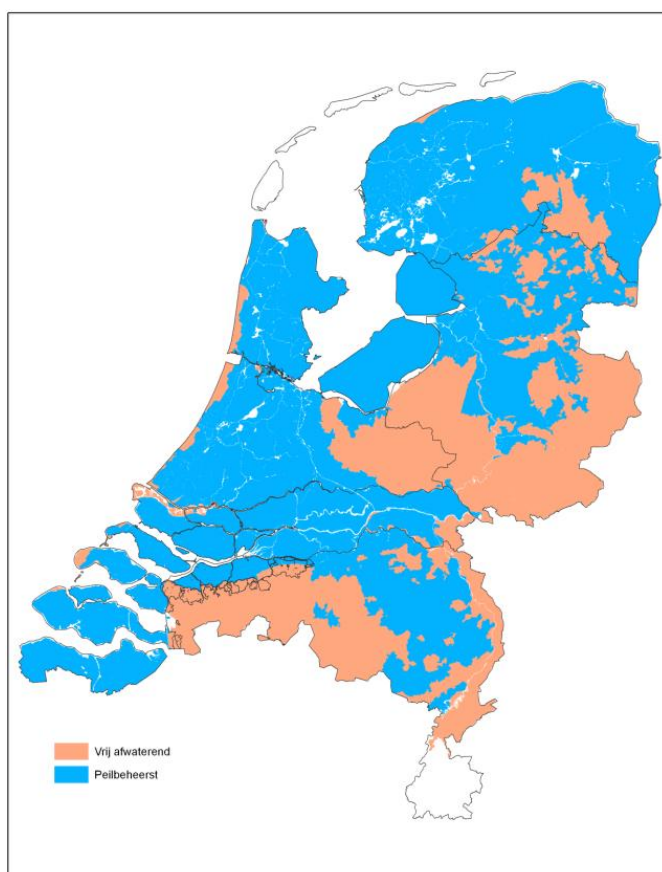
Deze drie onderdelen worden hier achtereenvolgens kort besproken, voor zover relevant voor een goed begrip van de verdere knelpuntenanalyse.

### 2.2.1 Fysiek: fysieke 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 2.16 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

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.

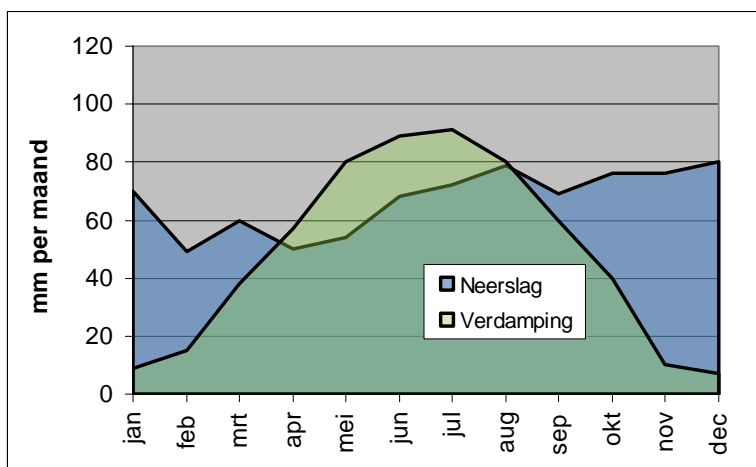
Het tweede relevante onderwerp is de *waterbalans*. Die bestaat ten eerste uit neerslag en verdamping. Beide worden door het klimaat bepaald, met de daarbij behorende verschillen tussen jaren. Ten tweede gaat het om aanvoer door de grote rivieren die vanuit het buitenland Nederland instromen, en de uitstroom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

Tabel 2.1 Waterbalans van Nederland (landoppervlak plus zoete wateren: 36,750 km<sup>2</sup>) gemiddeld voor de periode 1971-2000 en voor een extreem droog jaar (1976) (NHV, 2004).

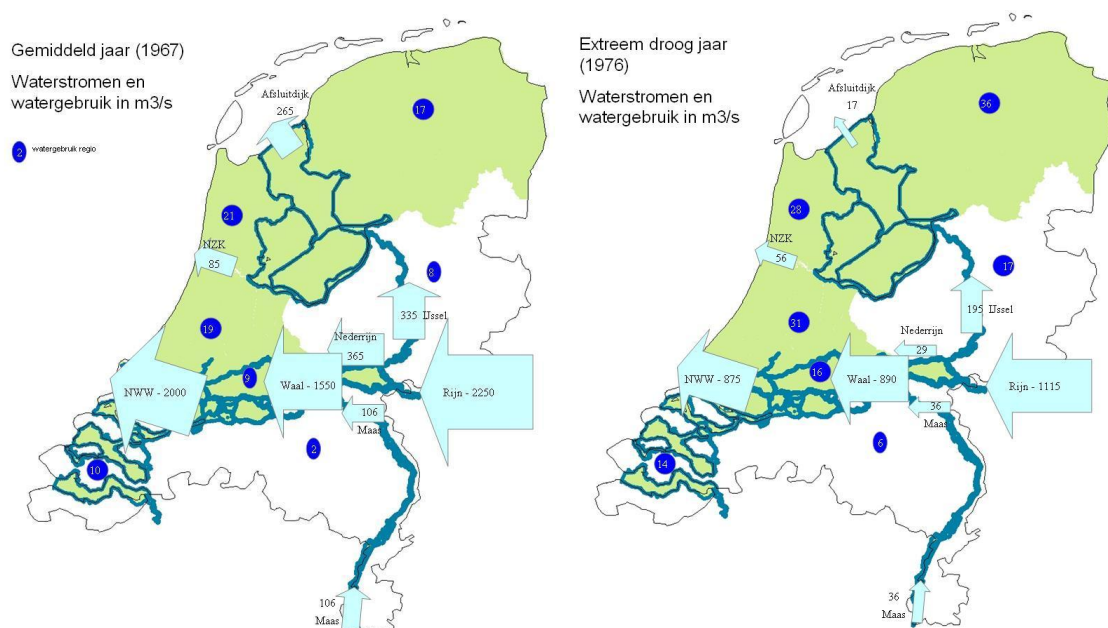
	Gemiddeld		Extreem droog jaar (1976)	
	mm	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	mm	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
<b>In</b>				
Regenval	795	29.200	535	19.700
Rijn (aan de grens)	1.915	70.400	1.130	41.500
Maas (aan de grens)	200	7.400	95	3.500
Andere rivieren	90	3.300	40	1.500
<b>Totaal</b>	<b>3.000</b>	<b>110.300</b>	<b>1.800</b>	<b>66.200</b>
<b>Uit</b>				
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
<b>Totaal</b>	<b>3.000</b>	<b>110.300</b>	<b>1.800</b>	<b>66.200</b>

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 (naar PBL, 2011).

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 km<sup>3</sup> water per jaar. De industrie krijgt hiervan 0,35 km<sup>3</sup> en ontrekt zelf nog eens 0,2 km<sup>3</sup>, waarmee het totale gebruik van de industrie op ruim 0,5 km<sup>3</sup> 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 km<sup>3</sup> 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.

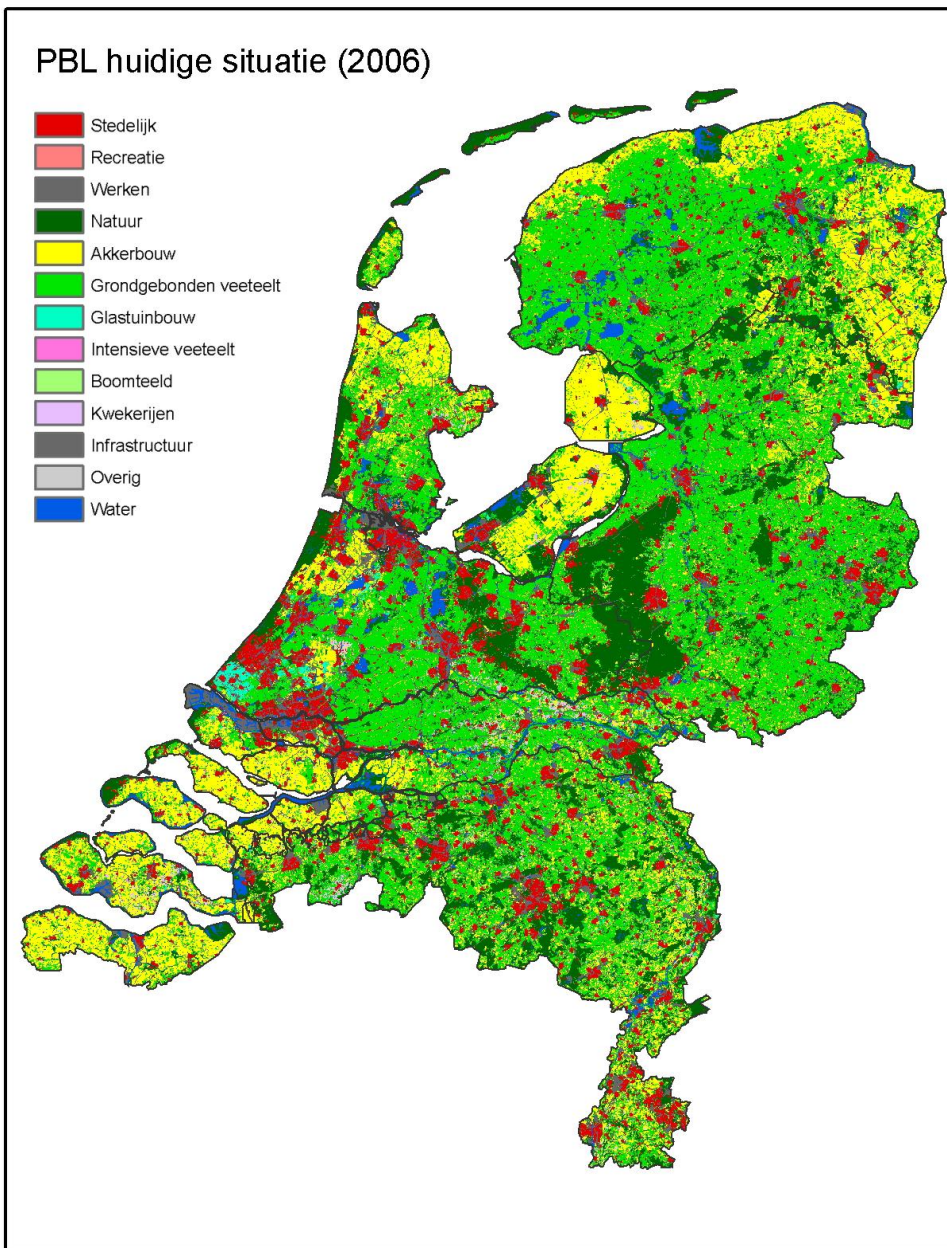
Een tweede vorm van handhaving van gewenste omstandigheden betreft het zoutgehalte en de waterkwaliteit van oppervlaktewateren. Te zout water is onbruikbaar voor irrigatie in de landbouw. Te hoge nutriëntengehalten kunnen leiden tot algenbloei in plassen, meren en andere wateren, waarin mensen willen 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.

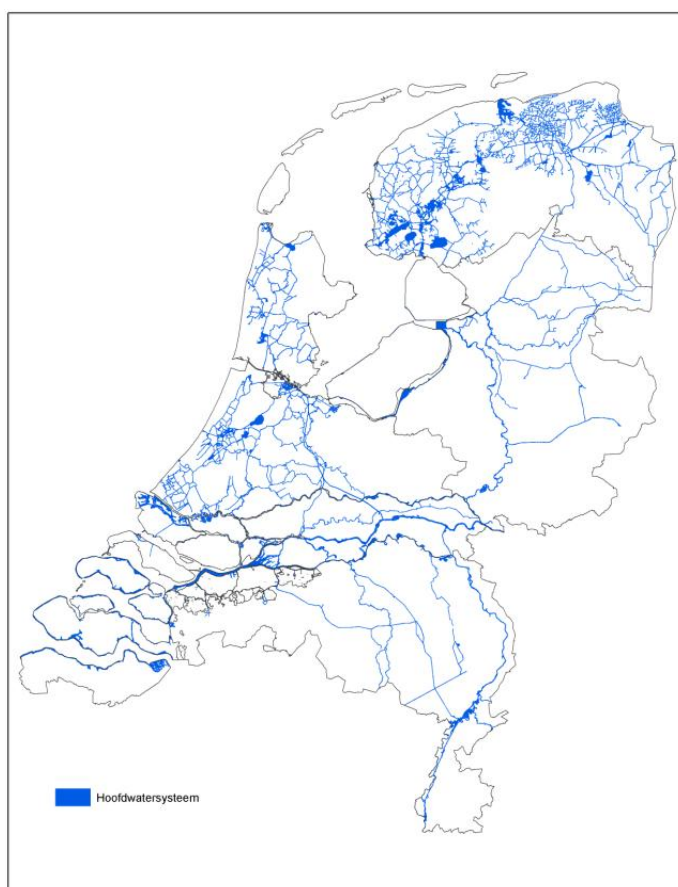
De omvang van de vraag is lastig te kwantificeren, vanwege het verschil in aard van de vraag: consumptief met een onbekende teruglozing via riolering, via verdamping van gewassen of natuurlijke vegetatie, kortdurend ten behoeve van koeling tot alleen betrekking hebbend op de condities (peil).



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*

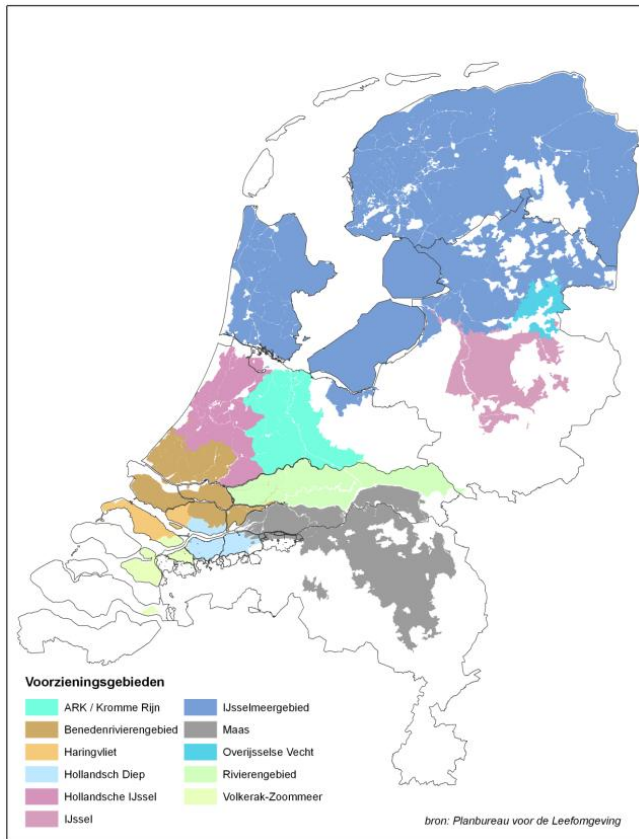
Een tweede deel van het hoofdnetwerk bestaat uit de grote meren, waaronder het IJsselmeer en Markermeer en het Hollands Diep- Haringvliet en Volkerak. Daar kunnen grote hoeveelheden water tijdelijk worden opgeslagen bij wijze van voorraad.

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 hoofwatersysteem 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<sup>e</sup> 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:

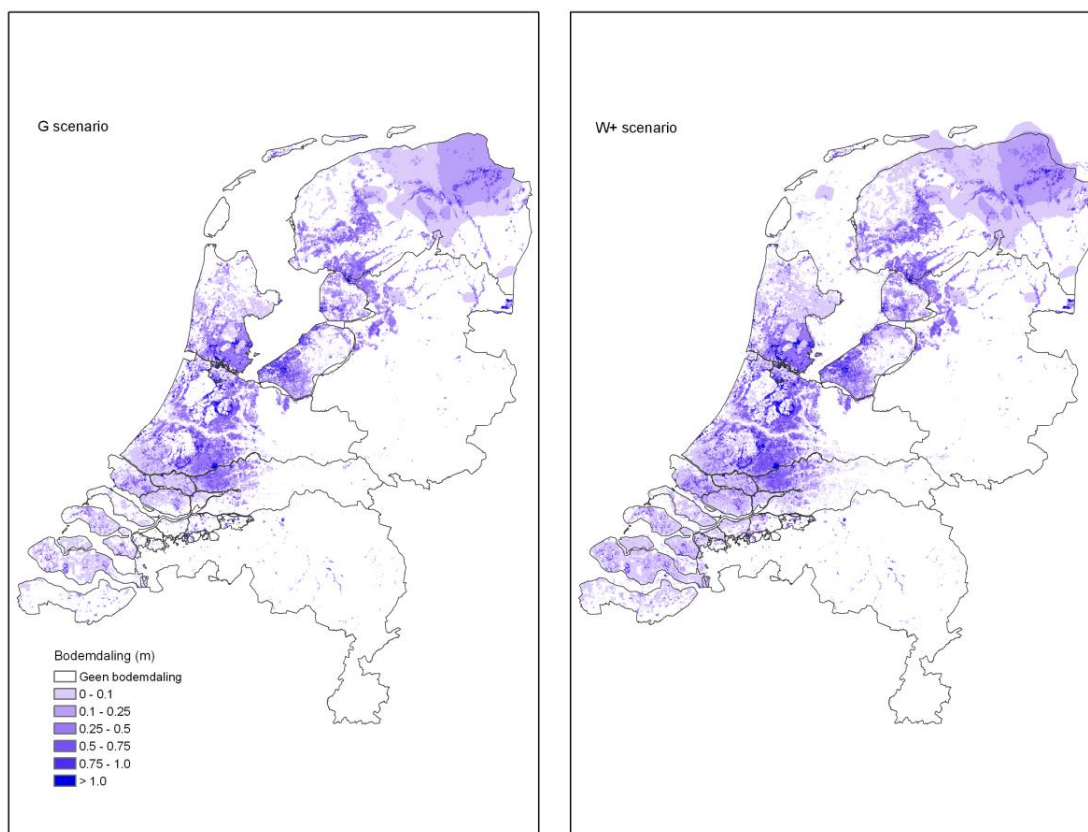
- veranderingen in neerslagregime;
- veranderingen in verdampingsregime;
- veranderingen in afvoerregime van rivieren;
- verandering in zeespiegelstand.

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) voor algemene toepassing in het Deltaprogramma.



Figuur 2.7 Verbeterde bodemdalingprognoses voor 2050, zoals gebruikt in het NHI voor respectievelijk klimaatscenario G (nauwelijks veranderend klimaat, doorgaande autonome trend) en scenario W+, waar lagere grondwaterstanden leiden tot versnelde oxydatie en zetting.

Behalve klimaatverandering is voor de waterhuishouding van Nederland ook bodemdaling nog relevant. 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). Daarmee is de invloed van bodemdaling op het verschil tussen waterpeil en bodemhoogte plaatselijk veel groter dan die van zeespiegelstijging.

Er zijn recent nieuwe prognoses gemaakt van de te verwachten bodemdaling ten behoeve van het Deltaprogramma (De Lange *et al.*, 2011). *Voor deze aangescherpte knelpuntanalyse zijn deze nieuwe bodemdalingprognoses gebruikt, waarin ook effecten van tektoniek (incl. de gevolgen van olie-, gas- en zoutwinning) zijn verdisconteerd (Figuur 2.7). Deze zijn gebruikt bij alle nieuwe berekeningen voor grond- en oppervlaktewater.*

### 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.

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 klimaatsysteem 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 ook slechts 2 gebruikt, conform wat voor het hele Deltaprogramma is voorgesteld. De ratio daarachter is weer dat moet worden 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).

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).

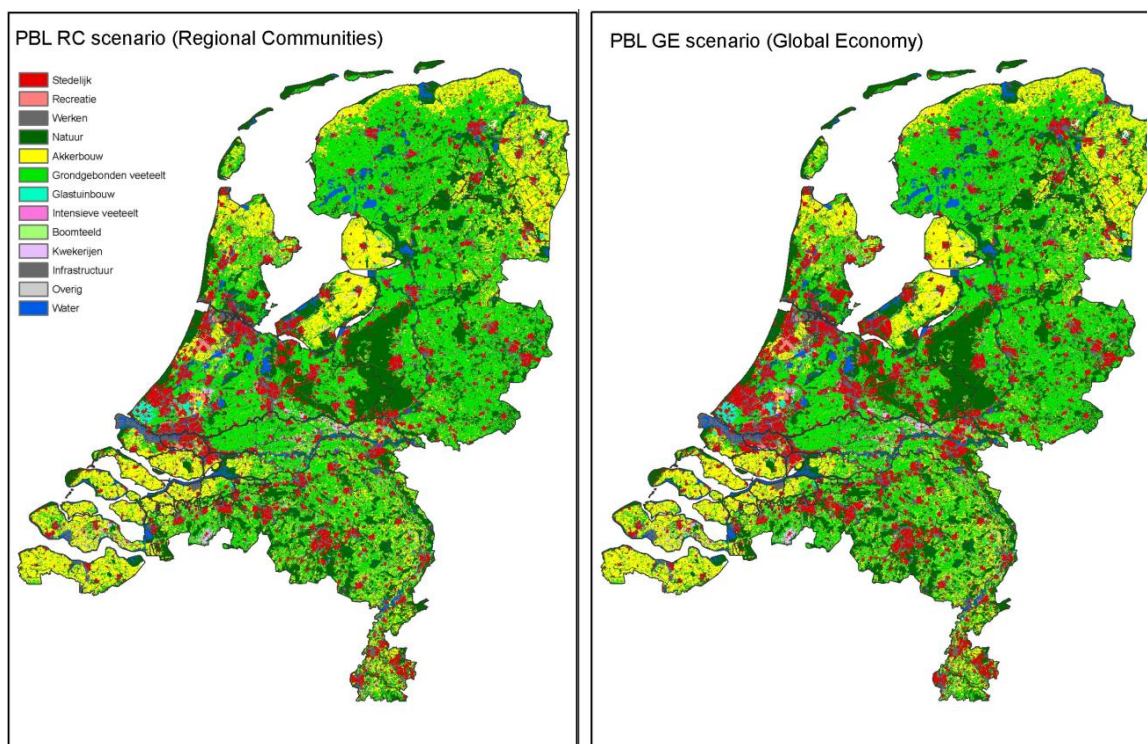
	1971-2001	GE 2040	SE 2040	TM 2040	RC 2040
Bevolking (miljoen personen)	16.0*	19.7	18.9	17.1	15.8
Aandeel 65+ (%)	14*	23	23	25	25
Aantal huishoudens (miljoen)	7.0*	9.8	8.3	8.5	6.9
Werkzoekenden zonder baan (%)	3.3	4.3	5.5	4.7	7.7
Groei BBP per hoofd per jaar (%) 2002-2040	1.9	2.1	1.5	1.7	1.2
BBP per hoofd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

\* 2001; <sup>#</sup> 2002

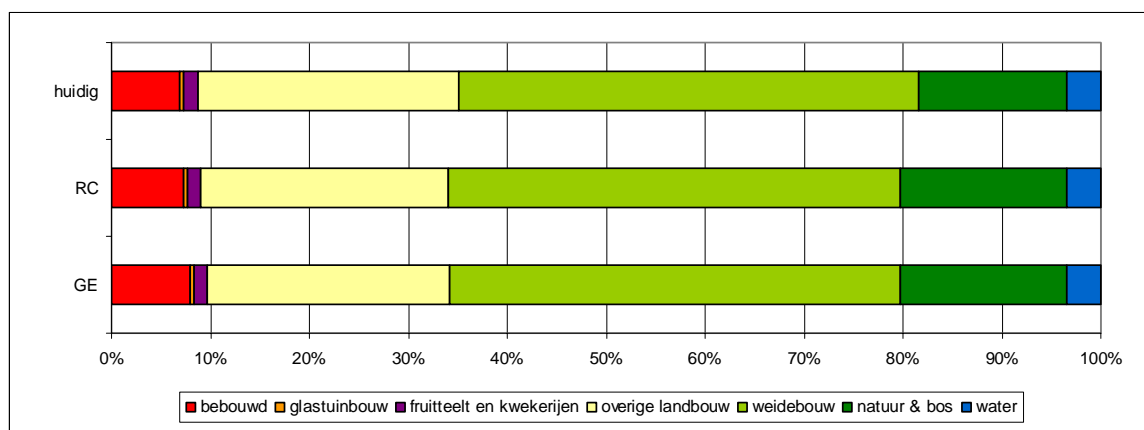
De demografische en economische ontwikkelingen bepalen de ontwikkeling van het landgebruik, die bepalend is voor de omvang en plaats van de watervraag. Daarbij spelen natuurlijk ook de wereldmarkt en het Europees (landbouw)beleid een rol. Het PBL heeft de scenario's RC en GE omgezet naar kaarten met 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 2.8 Verwacht 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.



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

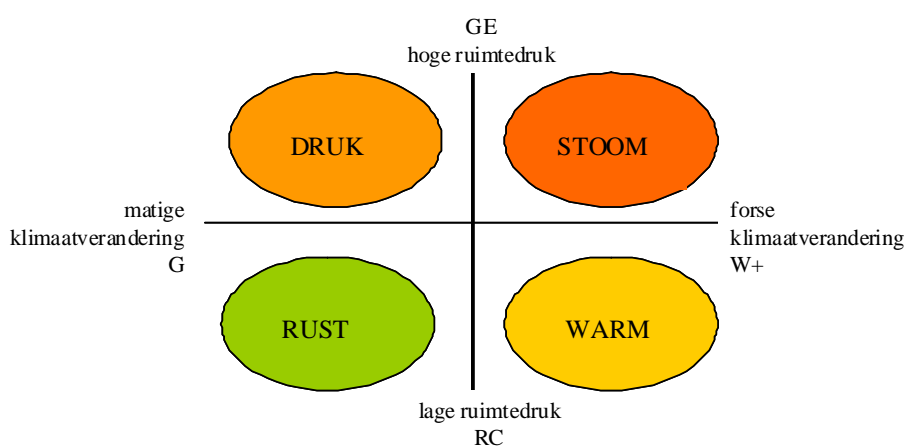
Voor het Deltaprogramma zijn zogenaamde Deltascenario's ontwikkeld, die in alle deelprogramma's gebruikt worden. Voor 2050 zijn voor de deltasenario's de twee uiterste

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:

- DRUK: 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).

Ten eerste omdat we soms alleen het effect van klimaatverandering of alleen dat van sociaal-economische verandering willen aanduiden, en ten tweede omdat de terminologie van de deltasenario's nog niet echt is ingeburgerd, gebruiken we in dit rapport vaak nog de aanduidingen van KNMI (2006) en WLO (2006) die er tussen haakjes achter staan: de combinaties klimaatscenario/ socio-economisch scenario.



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

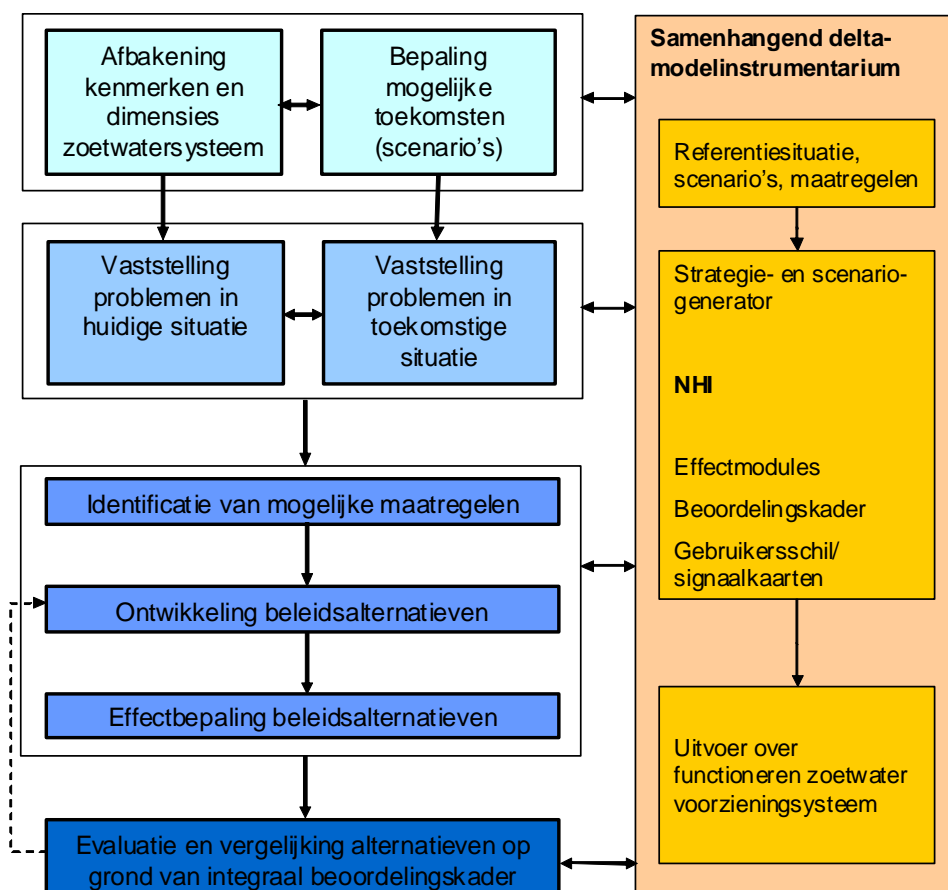
Wat het 'ergst' en het 'minst erg' is kan verschillen per vraagstuk. Voor het zoetwaterbeheer vormt het klimaatscenario met de geringste beschikbare hoeveelheid zoetwater in de zomer gecombineerd met de grootste watervraag de grootste opgave. Nu wordt de grootste *drinkwatervraag* verwacht bij socio-economisch 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 afhankelijk van het onderwerp steeds die deltasenario's doorgerekend die het meest uiteenlopen.

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 deltasenario'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 zogenaamde deltamodel. Voor effecten op sectoren/ gebruiksfuncties wordt eveneens zoveel mogelijk gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde modellen, die in het deltamodelinstrumentarium zijn opgenomen.

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 deltamodel. De opzet en werking ervan worden hieronder kort toegelicht.



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

Met dit model kunnen de hydrologische omstandigheden worden berekend in verschillende meteorologische jaren in de huidige situatie en in scenario's voor de toekomst. Het levert hydrologische omstandigheden, zoals grondwaterstanden, kwel- en infiltratiefluxen,

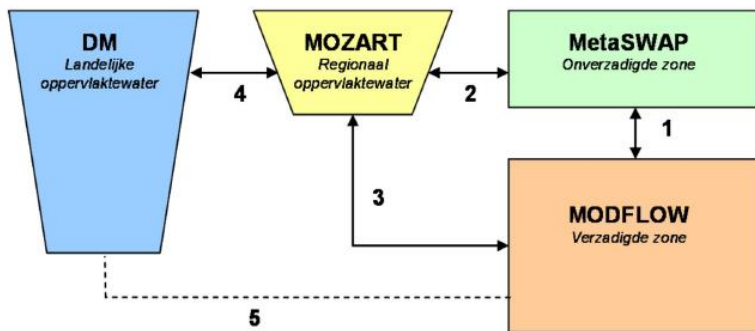
waterpeilen in grond en sloten, percentages gebiedsvreemd water, en zoutconcentratie in de bodem en in het oppervlaktewater.

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. *Voor deze aangescherpte analyse is hoofdzakelijk gerekend met versie 2.2 van het NHI; waar nog met een eerder versie is gerekend – bijvoorbeeld bij de analyse van langjarige tijdreeksen – is dit aangegeven*



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

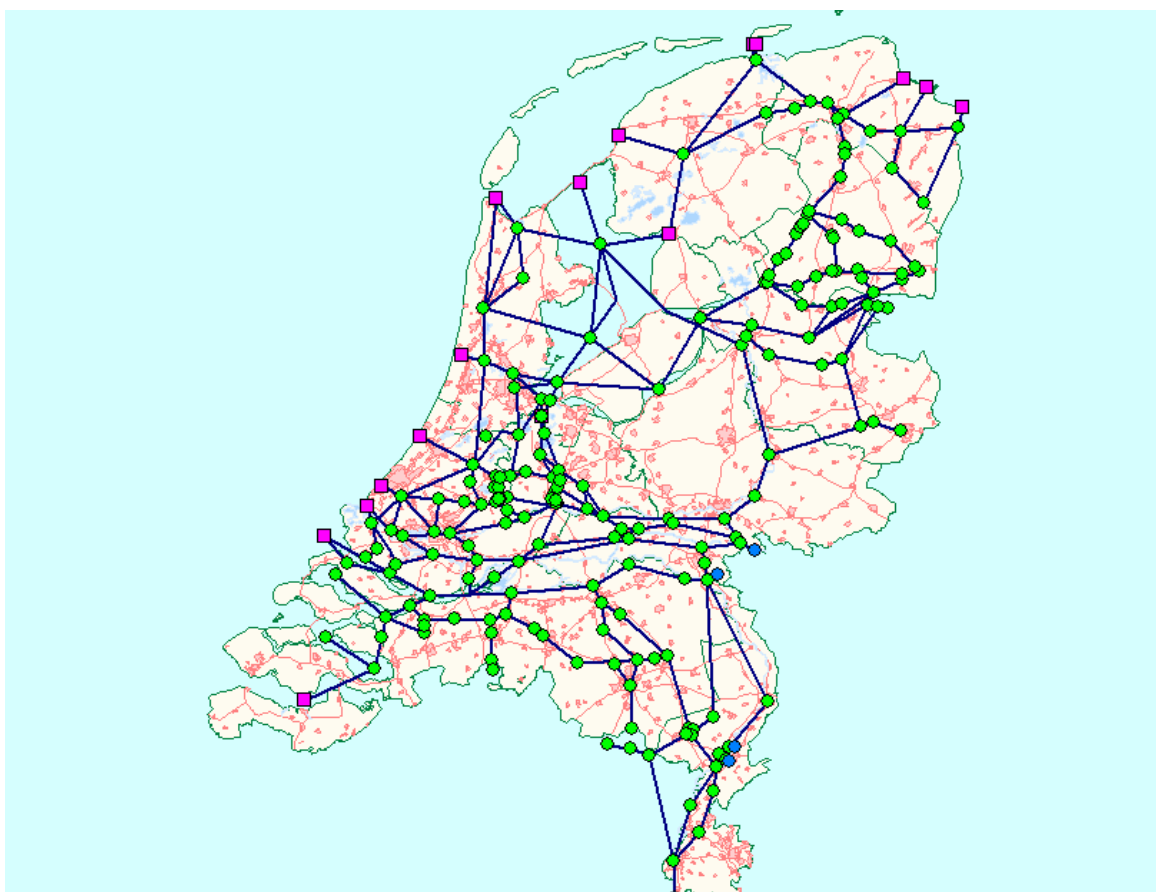
De kleinste ruimtelijke rekeneenheid wordt gevormd door een model voor de onverzadigde zone (MetaSWAP), dat als het ware de wortelzone van gewassen in een *perceel* representeert. Hier valt regen op en verdampt water uit – al dan niet via de plant. Deze eenheid genereert de watervraag van het *land*: 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).



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

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.

### **Aanpassingen NHI: versie 2.2**

De eerste knelpuntenanalyse is uitgevoerd met het NHI versie 2.1. Op basis van onder andere de ervaringen in de landelijke knelpuntenanalyse en met inbreng van regionale kennis door de regionale partners zijn er verbeteringen in schematisatie en software doorgevoerd. *In modelversie 2.2 heeft dit vooral geleid tot een verbeterde waterverdeling in het hoofdsysteem (DM), maar ook is de kwaliteit van de berekening van de oppervlaktewaterverdeling tijdens watertekort verbeterd, evenals de zoutmodellering.*

*De voor het deelprogramma Zoetwater meest relevante verbeteringen zijn:*

- *verfijning indeling in NHI- districten (o.a. het afsplitsen van diepe droogmakerijen voor meer inzicht in lokale differentiatie);*
- *verbetering van de landelijke waterverdelingregels door inbreng van verschillende regionale beheerders en regionale diensten van Rijkswaterstaat;*
- *afzonderlijke modellering van stedelijke gebieden;*
- *verbetering van de berekening van zoute kwel vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater;*
- *verbetering van de berekening van gewasverdampingsreductie en bodemvocht.*

*Verder is NHI 2.2 nog aangepast op de volgende punten:*

- *Berekening: op basis van de LEI- tellingen van 2010 is het potentieel beregend areaal herzien.*
- *Grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening: .deze zijn aangepast op grond van een recente inventarisatie door KWR.*

*Deze veranderingen hebben de volgende consequenties gehad voor de uitkomsten van de NHI- berekeningen ten opzichte van de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011):*

- *op regionale schaal en knooppunten met de Rijkswateren zijn de resultaten van de modellering van waterverdeling, wateraanvoer en -afvoer verbeterd.*
- *een andere aanpak van het modelleren van chloride en de interactie met het oppervlaktewater leidt tot realistischer chlorideconcentraties.*
- *gebruik van een hydrologisch meer representatieve bodemopbouw zorgt voor een betere schatting van vochttekorten op klei- en zandgronden.*

#### 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 Local Surface Water units (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 drainagestelsel. Zo'n indeling betreft

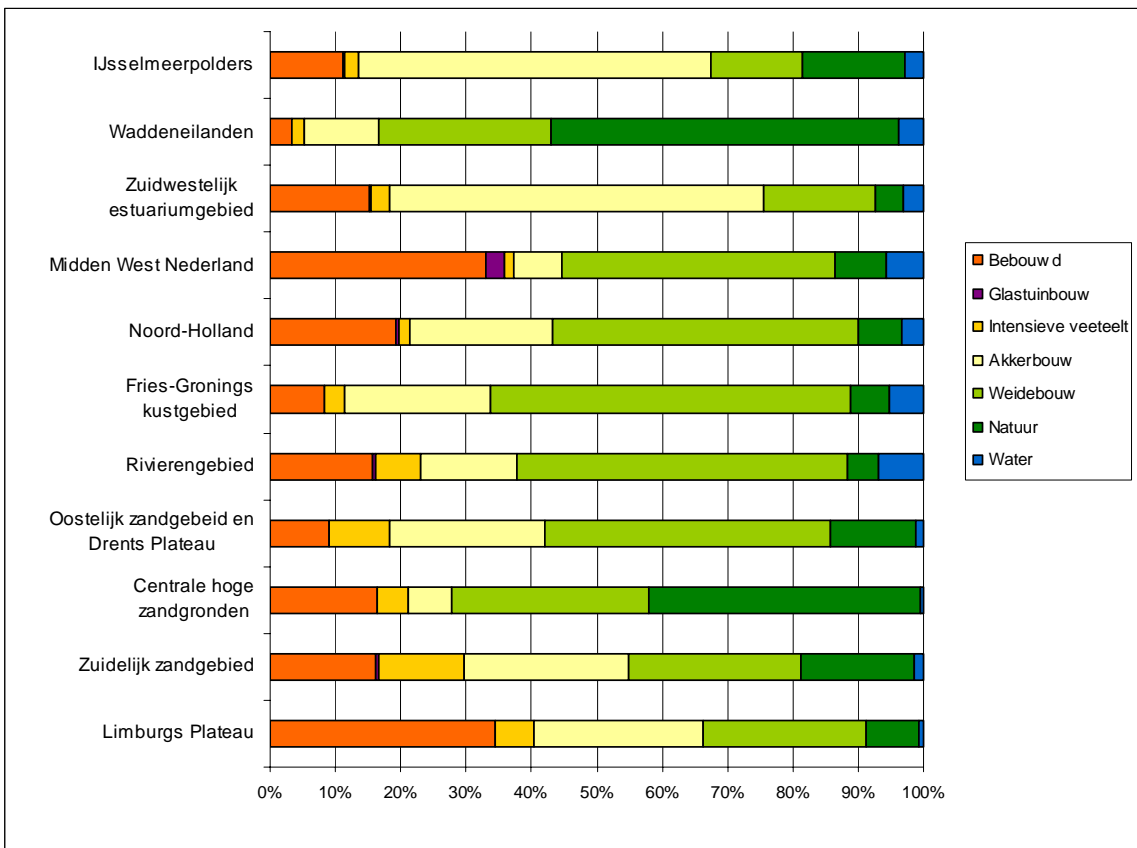
dus waterhuishoudkundige eenheden, zoals dijkringen (bijv. Schouwen-Duiveland, Land van Altena, Noordoostpolder), inziggebieden (bijv. Veluwe, Utrechtse Heuvelrug), e.d.

Er zijn ruimtelijke eenheden onderscheiden op verschillende schaalniveaus: districten en regio's. Er zijn 11 waterhuishoudkundige regio's onderscheiden (Figuur 2.14), waarvan er 2 niet zijn geanalyseerd (Limburgs Heuvelland en Waddeneilanden). Deze zijn op hun beurt onderverdeeld in 63 waterhuishoudkundige districten. *Voor deze aangescherpte knelpuntenanalyse zijn deze weer verder onderverdeeld in circa 150 NHI-districten (Figuur 2.16), omdat dat praktisch beter aansloot bij de behoefte en de berekeningen in NHI (versie 2.2).* Voor alle indelingen geldt dat de precieze begrenzing berust op een 'logische samenvoeging' van LSW's. In dit rapport worden de resultaten vrijwel uitsluitend gepresenteerd voor de 9 geanalyseerde waterhuishoudkundige regio's.

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.

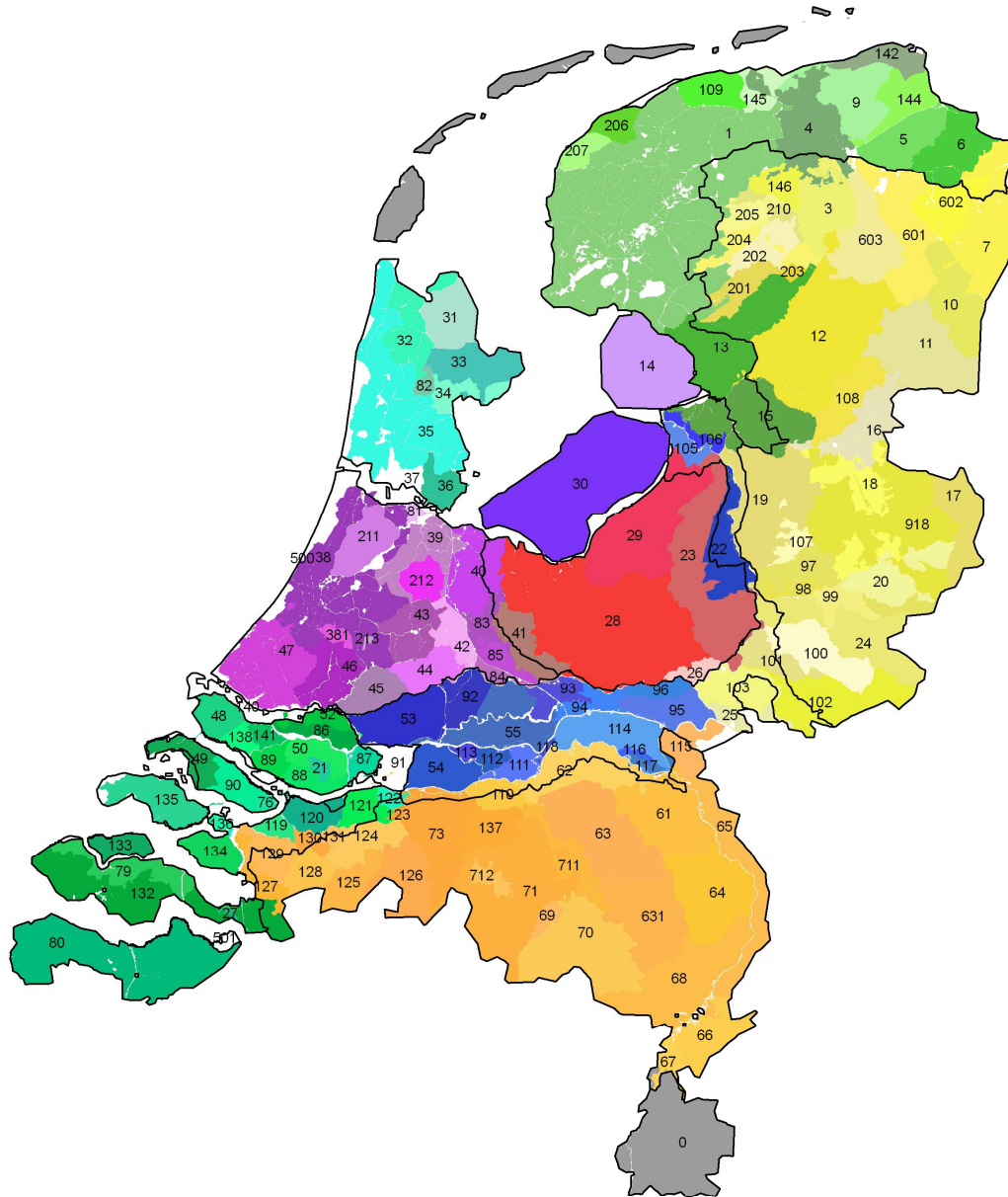


Figuur 2.14 Waterhuishoudkundige regio's



Figuur 2.15 Landgebruik in de waterhuishoudkundige regio's in de huidige situatie. Er zijn gebieden met veel natuur (Waddeneilanden, Centrale hoge zandgronden), duidelijke akkerbouwgebieden (IJsselmeerpolders, Zuidwestelijk estuariumgebied), en opvallende weidebouwgebieden (Fries-Gronings kustgebied); ook is de glastuinbouw duidelijk geconcentreerd in Midden- West Nederland.





*Figuur 2.16 Indeling in NHI- districten weergegeven met kleurnuances en genummerd, met daaroverheen de grenzen van de 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). *Deze aanpak is ook gebruikt in de eerste knelpuntenanalyse (Klijn *et al.*, 2011), omdat de tijd ontbrak voor het doorrekenen van langjarige reeksen.*

*Voor deze aangescherpte analyse zijn ook langjarige NHI berekeningen uitgevoerd voor de perioden 1961-1995 of 1961 – 1985. Deze diende (1) als controle om te zien of de resultaten voor de representatieve jaren voldoende betrouwbaar zijn, en (2) ter vervanging van die resultaten voor representatieve jaren waar dat niet het geval is. De berekeningen voor langjarige reeksen zijn uitgevoerd met NHI versie 2.1. Bij gebruik van de afgeleide statistiek uit deze langjarige modelberekeningen is deze waar nodig bijgesteld op basis van de berekeningen voor de representatieve jaren met versie 2.2.*

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 zomers neerslagtekort (alle waarden afgerond, naar KNMI, 2005).

Soort jaar	neerslagtekort (mm)	herhalingsstijd (jaar)	afvoertekort (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	herhalingsstijd (jaar)	indicatieve overschrijdingskans
Gemiddeld (1967)	150	2 (2)	300	1,3	0,5 (50%)
Droog (1989)	220	11 (10)	3.700	4,6	0,125 (10%)
Extreem droog (1976)	360	89 (100)	10.700	80	0,0125 (1%)

De in Tabel 2.4 weergegeven karakteristieken van een droogtejaar zijn *indicatief*, op basis van een gemiddelde over heel Nederland en afgerond. *Per gebied kunnen de karakteristieken nogal sterk verschillen. Dat heeft geleid tot discussie; reden om er hier alsnog enige extra aandacht aan te besteden.*

Het KNMI heeft voor de Droogtestudie (Rijkswaterstaat- RIZA, 2005) onderzoek gedaan naar de herhalingstijden van de karakteristieke jaren op basis van de meetgegevens van de periode 1961-1995 (Beersma et al., 2004). Het maximale neerslagtekort en de bijbehorende herhalingstijden voor de karakteristieke droogtejaren zijn weergegeven in Tabel 2.5 respectievelijk Tabel 2.6, en wel specifiek voor de deelgebieden die in het programma Zoetwater worden onderscheiden in het kader van de bestuurlijke samenwerking met andere overheden. Hieruit wordt duidelijk dat de karakteristieken vooral voor het jaar 1976 sterk verschillen per gebied, met in dit 'extreem droge' jaar een neerslagtekort van gemiddeld 310 (Oost) tot 410 mm (Noord-West), maar ook in 1967 (een 'gemiddeld' jaar) met gebiedsgemiddeld 120 (Noord-Oost) tot 200 mm (Noord-West) neerslagtekort. Dit weerspiegelt het patroon van regionale verschillen binnen Nederland (zie Figuur 4.3).

Uit de herhalingstijden blijkt dat de volgorde van de droogtejaren goed vergelijkbaar is, en de orde van grootte eveneens. Zo geldt dat in elk gebied 1976 het droogste jaar is binnen de analyseperiode. Er is dan ook geen reden de keuze van de karakteristieke droogtejaren te veranderen of van die benadering af te stappen.

Tabel 2.5 *Maximaal potentieel neerslagtekort (in mm) per deelgebied (gemiddeld) in de voor de knelpuntenanalyse gebruikte karakteristieke jaren ( naar gegevens van Beersma et al., 2004).*

Maximaal potentieel neerslagtekort						
Jaar	Noord-West	Noord-Oost	Midden-West	Oost	Zeeland	Maasgebied
1967	200	120	196	132	179	158
1989	255	195	254	185	290	258
1976	410	335	390	310	443	381

Tabel 2.6 *Berekende herhalingstijd per deelgebied van de voor de knelpuntenanalyse gebruikte karakteristieke jaren ( naar gegevens van Beersma et al., 2004).*

Herhalingstijd						
Jaar	Noord-West	Noord-Oost	Midden-West	Oost	Zeeland	Maasgebied
1967	2	2	4	3	2	2
1989	7	7	11	7	12	15
1976	85	61	90	45	188	94

Voor de rivierafvoeren geldt dat de frequentie van optreden van 'afvoerhydrologische droogtejaren' niet altijd samenvalt met die van 'meteorologisch droge' jaren (zie Tabel 2.4). In deze studie zijn – in afwijking van eerdere studies – voor de berekeningen wel consequent 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 m<sup>3</sup>/s).



### 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 *eerst* 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.

*Daarna gaan we in op de watervraag van regio's aan het hoofdwatersysteem. Dat is dus een vraag die is opgebouwd uit de som van alle vragen in een regio aan het hoofdsysteem. De vragers die direct uit het netwerk onttrekken – zoals koelwater voor industrie of drinkwateronttrekking aan het hoofdsysteem – horen hier niet bij. De regionale vraag bestaat uit 3 hoofdcomponenten: peilbeheer, doorspoeling (waterkwaliteitsbeheer) en irrigatie/beregening, die alle sectoren in die regio ondersteunen, zowel in stedelijk gebied als landelijk gebied.*

*Met deze drie hoofdcomponenten sluiten we aan bij de verdringingsreeks, die we in die paragraaf kort behandelen.*

## 3.2 Stedelijke functies

### 3.2.1 Aard watervraag


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 en dat er schade ontstaat als er 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 steden in Laag-Nederland wordt het peil beheerst en vindt doorspoeling plaats. In Hoog-Nederland is door de afwezigheid van een aaneengesloten netwerk van watergangen het peil meestal niet beheerst en kan niet worden doorspoeld.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van belangrijke stedelijke functies die afhankelijk zijn van peilbeheer en doorspoeling, en van knelpunten die kunnen optreden bij een tekort aan water. Het overzicht is voornamelijk van toepassing op *Laag-Nederland*. Vanwege de steviger ondergrond zijn bebouwing en infrastructuur in *Hoog-Nederland* minder of niet afhankelijk van water, maar stedelijk groen wel, evenals functies die een goede waterkwaliteit vragen. De in de tabel vermelde functies en knelpunten worden hieronder toegelicht.

Tabel 3.1 *Functies (en daarin te voorkomen knelpunten) met een watervraag aan het oppervlaktewatersysteem in de bebouwde omgeving. Schema is voornamelijk van toepassing op Laag-Nederland.*



	Regulering via	Waterafhankelijke factoren en processen	Gerelateerde stedelijke functies of knelpunten
Watervraag bebouwde omgeving	Peilbeheer	oppervlaktewaterpeil ↓ grondwaterpeil	Voorkomen bodemdaling en verzakken (door verschildzetting) van gebouwen, constructies en infrastructuur
			Voorkomen schade aan funderingen door te laag grondwaterpeil (bijv. rot houten palen)
			Ondersteuning groenvoorziening
			Garanderen bevaarbaarheid
			Tegengaan hitte
	Doorspoeling	Goede waterkwaliteit	Aantrekkelijke leefomgeving, woongenot
			Faciliteren recreatie
			Ondersteuning natuur in stadswateren
			Borgen volksgezondheid
			Voorkomen schade door chloride en sulfaat aan bebouwing en constructies

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

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

Voor beide geldt dat de doorwerking van het oppervlaktewaterpeil op het grondwaterpeil geringer is naarmate de bodem zwaarder (kleiiger) en minder doorlatend is.

*Bodemdaling* komt in Laag-Nederland veel voor als gevolg van zetting en krimp<sup>1</sup> van klei- en veenlagen, of door veenoxidatie. Deze processen treden op bij verlaging van het oppervlakte- en grondwaterpeil. De daling is irreversibel. In Hoog-Nederland is bodemdaling een zeer beperkt probleem door de meestal zandige ondergrond. Leemlagen kunnen nog wel ongelijke zettingen veroorzaken.

Bodemdaling en verschilzetting kunnen grote bouwkundige schade aan woningen, gebouwen en infrastructuur opleveren. Pandaansluitingen breken af en rioleringbuizen en andere kabels en leidingen breken en moeten worden vervangen. Wegen, pleinen, parken en particuliere tuinen, opritten en parkeerplaatsen moeten geregeld worden opgehoogd. De kosten daarvan zijn aanzienlijk. In navolging van de daling van het maaiveld moet ook de waterhuishouding (het peilbeheer) worden aangepast. Ook daar zijn kosten aan verbonden.

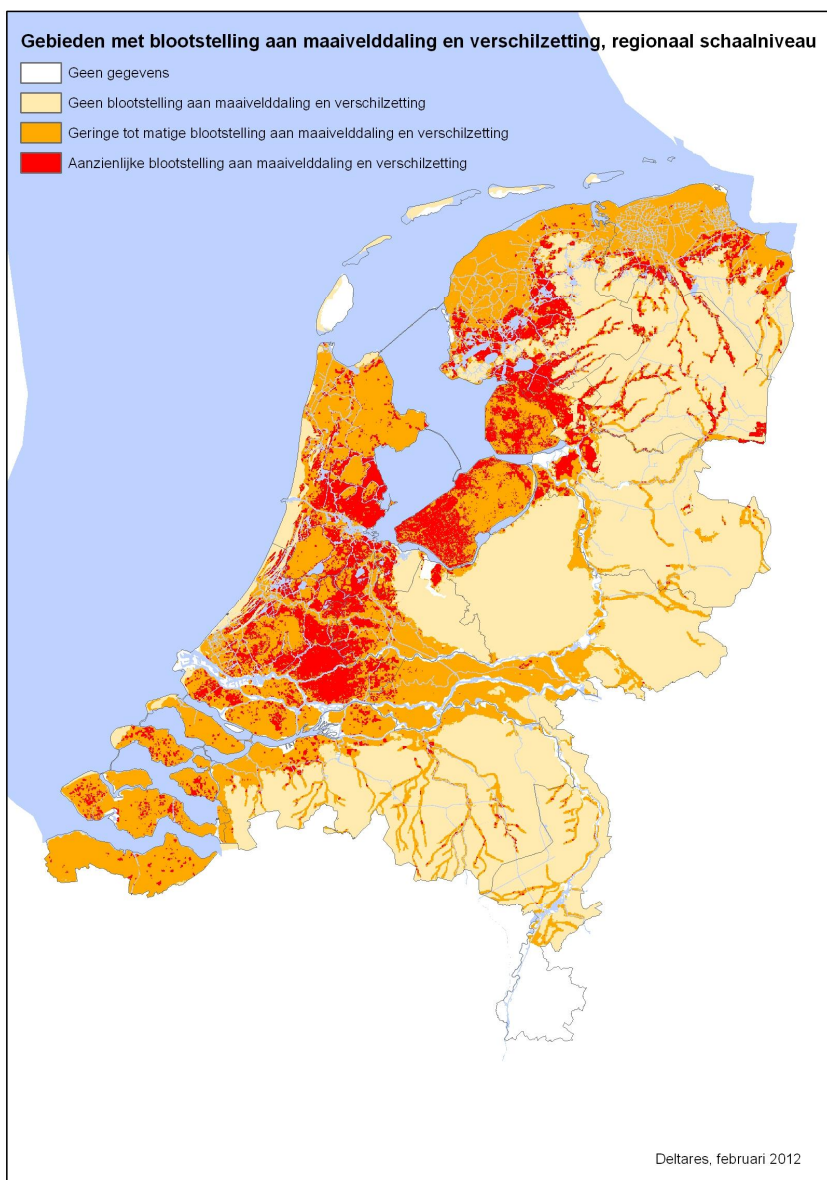
De schade aan binnenstedelijke infrastructuur (wegen, leidingen, riolering) door ongelijkmatige zakking van de bodem wordt geschat op enkele tientallen miljoenen euro's per jaar. Ook de schade door zakking van het maaiveld van openbaar terrein (sportterrein, groen, parkeerplaatsen), tuinen en erven wordt geschat op enkele tientallen miljoenen euro's per jaar (Hoogvliet et al., 2012). Deze schades treden hoofdzakelijk op in gemeenten met een venige ondergrond. In een studie voor het RIZA (Fiselier et al., 2004) zijn de kosten van bouwen en wonen op een veenbodem vergeleken met de kosten daarvan in een kleigebied. Er is uitgegaan van een typische woonwijk van 3000 woningen op 150 hectare. De aanleg blijkt op een slappe veenbodem 31 miljoen duurder. Vervolgens is de gemeente voor onderhoud – vooral aan infrastructuur – over een periode van 15 jaar in totaal 50 miljoen euro duurder uit en de bewoners nog eens 10 miljoen euro. Samen betekent dat een extra onderhoudspost van zo'n 4 M€ per jaar voor 3000 woningen, ofwel ruim 1000 €/jr per woning.

Vooraf in Laag-Nederland is in vooroorlogse wijken gebruik gemaakt van *houten paalfunderingen*. Bij lage grondwaterstanden kunnen de palen deels droog komen te staan. Op dat moment worden de palen door oxydatie en mogelijk schimmels aangetast. Bij herhaalde langdurige droogstand kunnen de palen dusdanig worden aangetast dat de fundering vervangen moet worden. Schade aan funderingen en gebouwen, maar ook preventieve maatregelen, zorgen voor een aanzienlijke kostenpost voor huiseigenaren. Herstelkosten van funderingen bedragen gemiddeld € 54.000, ruwweg 10 tot 30% van de totale waarde van het pand (Luijendijk, 2006). In 2001 hadden 70.000 à 140.000 woningen funderingsproblemen door een te laag grondwaterpeil (KMPG/ Grontmij, 2001).

Voor het deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering is met de onlangs beschikbaar gekomen Basisregistratie Adressen en Gebouwen bepaald hoeveel panden in de periode 1890 – 1945 (de periode waarin veelvuldig houten palen zijn toegepast) zijn gebouwd in gebieden die een risico kennen

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.*

op paalrot en funderingsschade door maaiveldddaling of verschilzetting (zie Figuur 3.1). Dit zijn er circa 750.000<sup>2</sup>. Daarvan liggen er zo'n 450.000 in gebieden die gevoelig zijn voor grondwaterstandsddaling. Als van alle 750.000 panden de fundering zou moeten worden hersteld à grofweg € 54.000, is het potentiële maximale schadebedrag als gevolg van grondwateronderlast ruim 40 miljard euro; dit is nadrukkelijk een bovengrens (Hoogvliet et al., 2012), en het betreft een totaalbedrag, geen jaarkosten. Het is momenteel niet mogelijk om dit schadebedrag te splitsen naar de verschillende mogelijke oorzaken van de grondwateronderlast (bemalingen en lokale onttrekkingen, drainage en lekkende riolen, incidentele droogte of klimaatverandering).



*Figuur 3.1 Gevaar van schade aan bebouwing door maaiveldddaling en verschilzettingen die worden veroorzaakt door grondwateronderlast (Hoogvliet et al., 2012)*

2. Ook de oudere op palen gefundeerde panden in Amsterdam zijn in dit aantal verdisconteerd.



Figuur 3.1 toont in welke gebieden meer of minder gevaar bestaat op het optreden van schade aan gebouwen door bodemdaling of verschildzetting als gevolg van grondwateronderlast. In de met oranje en rood aangeduide gebieden bestaat ook een gevaar op paalrot, behalve in de IJsselmeerpolders, de beekdalen in Hoog-Nederland en die delen van het rivierengebied waar is gebouwd op het zand van stroomruggen.

Voor *stedelijk groen* kunnen structureel te lage grondwaterstanden of het uitzakken van de grondwaterstand in droge perioden zowel voor openbaar groen als voor particuliere tuinen leiden tot:

1. extra sproeibehoeftte vanuit leidingwater met extra (drink)watergebruik als gevolg
2. sterfte van planten (vast en jaarlijkse), struiken en bomen, direct als gevolg van vochttekort of indirect als gevolg van een grotere vatbaarheid voor ziekten. Vooral jonge beplanting (< 3 jaar) is kwetsbaar.

Op dit moment wordt kleinschalig openbaar groen in stedelijk gebied zelden geïrrigeerd. Sportparken en andere grootschalige groenvoorzieningen worden nu al wel vaak beregend uit lokaal oppervlaktewater of grondwater.

Het watergebruik van particulieren is onderzocht door TNS- NIPO in opdracht van de VEWIN (Foekema & Van Thiel, 2011). Onder meer is het gebruik van drinkwater voor besproeiing van tuinen onderzocht. In de lente/zomer is dit watergebruik gemiddeld 11 liter per huishouden per dag. Ook is gebleken dat aan het eind van de lente van 2010 het watergebruik 30 keer zo hoog was als het berekende jaargemiddelde. Dit laatste geeft een indicatie van hoeveel hoger het watergebruik kan liggen in droge perioden, maar het kan niet gebruikt worden om vast te stellen vraag hoeveel hoger het watergebruik zal komen te liggen als de wateraanvoer naar de stad gestremd raakt of als de zomer veel droger uitvalt dan gemiddeld (Hoogvliet et al., 2012).

Over de omvang van effecten van droogte voor stedelijk groen is nog weinig bekend. Omdat er nog geen sprake is geweest van een groot verlies aan stedelijke aanplant als gevolg van droogte in Nederland, wordt een eventueel verlies aan begroeiing niet apart geregistreerd. De vervanging van beplanting blijft daardoor verborgen in de onderhoudsstatistieken van gemeenten. Ook over sterfte van beplanting in particuliere tuinen als gevolg van droogte is geen informatie beschikbaar. Ter indicatie: de totale beheerkosten voor gemeentelijk openbaar groen zijn momenteel bijna 750 miljoen euro per jaar (exclusief sportvelden en begraafplaatsen). Uitval van bomen en struiken is in potentie een grote kostenpost. Als enkele procenten van de beplanting uitvalt, bedragen de vervangingskosten al gauw tientallen miljoenen. Uitval kan worden verminderd door bij de keuze van beplanting rekening te houden met wijzigende groeiomstandigheden (de vervangingsfrequentie van een gemiddelde straatboom in Nederland is circa 39 jaar) (Hoogvliet et al., 2012).

In stedelijk gebied is oppervlaktewater medebepalend voor het aanzicht van stad of wijk en aldus van grote invloed op het woongenot en de welzijnsbeleving van de bewoners. De aanwezigheid van water in stedelijk gebied wordt overwegend positief beoordeeld. Maar dit wordt anders wanneer het water een slechte kwaliteit heeft of stinkt, als de sloot achter iemands huis verandert in een groene algensoep of er dode vissen in rondrijven. Het is dan onplezierig om nabij zulk water te wonen en het vormt dan zelfs een bedreiging voor de volksgezondheid. Negatieve effecten op de *waterkwaliteit* worden vooral verwacht in de droge, warmere klimaatscenario's (G+, W+). Bij die scenario's zijn te verwachten effecten:

- Afname van gehalte opgelost zuurstof door hogere watertemperatuur;
- Snellere biologische afbraak en daardoor afname van zuurstofgehalte;
- Toename van hoeveelheid ziekteverwekkers en toxines (bacteriën en algen);
- Troebelheid door algengroei;
- Toename van concentraties van stoffen door 'indamping';
- Toename van exotische organismen.

De gevoeligheid van de waterkwaliteit voor klimaatverandering varieert per watertype. Kleine zoete en geïsoleerde waterlichamen ondervinden meer last. De effecten zijn voor de verschillende watertypen ook anders van aard: voor vennen zijn de problemen gerelateerd aan verdroging, diepere plassen en grote wateren worden bedreigd door eutrofiëring en rivieren kampen met exoten, koelwaterlozing en lage waterpeilen. In de kustregio's wordt het effect van zoutindringing relevanter bij toename van de verdamping en verminderde doorspoelmogelijkheden.

De kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater is bepalend voor de bruikbaarheid van dat water voor recreatie (vissen, varen, zwemmen), voor extractie (irrigatie, spoelwater, bluswater), voor de kwaliteit van ecosystemen (vissen, waterplanten, algen, kroos), en voor de kwaliteit van de leefomgeving en dus woongenot. Hogere temperaturen leiden tot een grotere behoefte aan verkoeling, en daarmee tot een grotere druk op recreatiewater. Een slechte waterkwaliteit kan bovendien leiden tot grotere gezondheidsrisico's. Hogere watertemperaturen kunnen leiden tot hogere concentraties ziekteverwekkers in recreatiewater. Bacteriën die van nature in recreatiewater voorkomen en zich daar kunnen vermeerderen zijn *Vibrio* (veroorzaakt oorontsteking en wondinfecties) en *Pseudomonas aeruginosa* (oorontsteking). Sommige soorten blauwalg produceren giftige stoffen (cyanotoxines) (RIVM, 2010). Volgens expertschattingen wordt jaarlijks voor circa 50% van de zwemwateren een negatief zwemadvies afgegeven voor een periode die varieert van een week tot anderhalve maand. Niet bekend is of in of nabij steden gelegen zwemwateren hierin slechter scoren dan daarbuiten. Indirect zal een verslechterd uitzicht op wateren met algen (groene soep) en/of stank, effect hebben op het woongenot en daarmee op de waarde van aan het water gelegen woningen.

De stedelijke waterkwaliteit wordt, waar mogelijk, beheerst door doorspoeling. Ook *verzilting* wordt zo bestreden. Verzilting speelt vooral in Zeeland, in kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland. Behalve voor beregening en het aquatisch ecosysteem is verziltingsbestrijding belangrijk met het oog op aantasting van beton en wapening in de fundering van bebouwing en kerende wanden..Overigens speelt hierbij het sulfaatgehalte van het water mogelijk een grotere rol dan het chloridegehalte.

Een bijzonder probleem is het effect van *hitte* in de stad voor de volksgezondheid (hittestress). Door het hitte-eilandeffect (*urban heat island*) worden steden aanzienlijk warmer dan hun omgeving. De aanwezigheid van water – en in het bijzonder de verdamping ervan – is een factor in het al dan niet ontstaan van extreem hoge temperaturen. Het bestaan van het stedelijk hitte-eiland kan daarom deels worden geweten aan het grote aandeel verhard oppervlak waar geen verdamping optreedt. De precieze bijdrage van watertekorten aan de toename van hittestress is nog onderwerp van studie. Overigens is niet alleen de temperatuur bepalend is voor de ervaring van hitte voor de mens. Ook zonnestraling, wind en luchtvochtigheid bepalen in hoeverre warmte als belastend wordt ervaren.

Overige mogelijke gevolgen van watertekorten in stedelijk gebied kunnen zijn:

- Schade aan drijvende woningen en woonboten;
- Verdroging van natuurvriendelijke oevers;
- Schade aan beschoeiingen en kades;
- Verstopping van drainageleidingen door ophoping van ijzeroxides;
- Tekort aan bluswater.

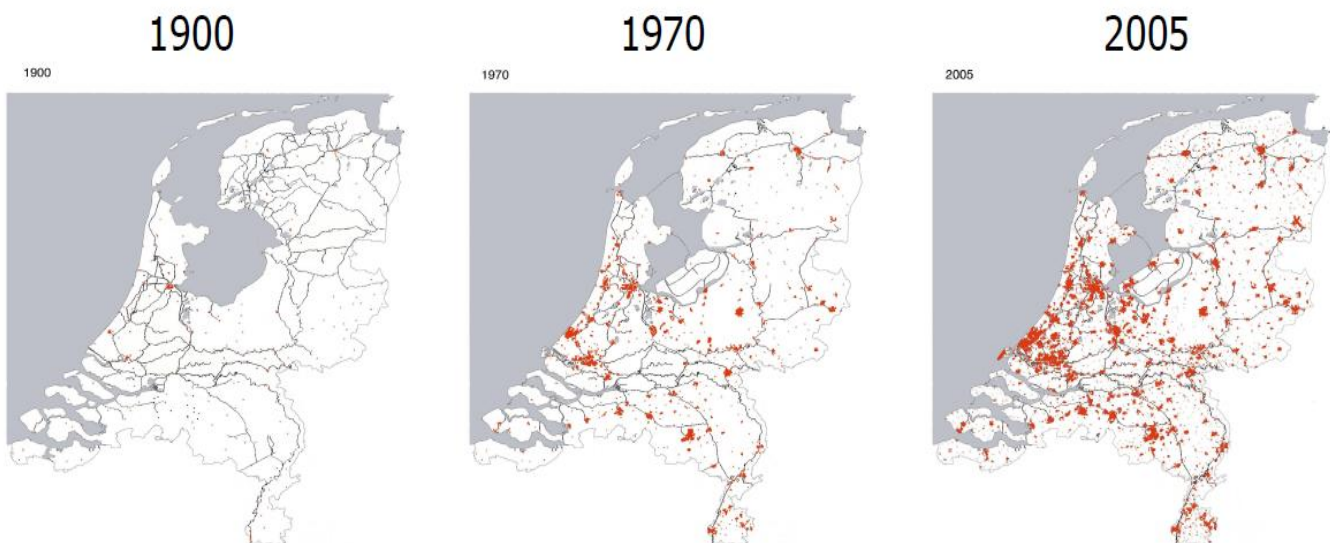
### 3.2.2 Omvang watervraag

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 gebied<sup>3</sup> bedraagt de totale watervraag voor verdamping in de stad circa 1,5 km<sup>3</sup> 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 3.2 Verstedelijking in de afgelopen eeuw

Het stedelijk gebied zelf is voortdurend in ontwikkeling: kantoren en woningen worden gebouwd, infrastructuur wordt aangelegd, wijken en bedrijventerreinen worden geherstructureerd en rioleringen vervangen. Het Deltaprogramma Nieuwbouw & Herstructurering werkt aan het verbeteren van de inzichten in de ontwikkelingen die zich in het stedelijk gebied kunnen voordoen. In een volgende versie van de Deltascenario's zal meer aandacht worden besteed aan deze ontwikkelingen.

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

### 3.2.4 Afhangelijkheid 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 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).

Op funderingen wordt hier niet verder ingegaan, omdat daarvoor geldt wat hiervoor is besproken bij stedelijke functies. Bovendien wordt bij het funderen van civieltechnische werken rekening gehouden met (verschil)zetting.

Voor natte infrastructuur geldt dat plotselinge 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).

Een bijzonder geval zijn veenkades; de ringdijk bij Wilnis is daarvan een voorbeeld en 'Wilnis' inmiddels 'een begrip'. Veenkades zijn regionale waterkeringen die niet zijn opgeworpen, maar restanten zijn van het oorspronkelijke veengebied, waarnaast aan één kant het veen voor turfwinning is afgegraven en aan de ander kant het boezemwater als vaarweg heeft gefungeerd. Dergelijk veenkades komen vooral voor in het laagveengebied van Utrecht en de beide Hollanden (STOWA, 2004), waar diepe droogmakerijen tussen 'bovenlanden' zijn gelegen. In mindere mate, en met kleinere hoogteverschillen, worden ze gevonden in Noordwest- Overijssel en Friesland. Daar zijn de polders veeleer ontstaan door bodemdaling en minder vaak door veenafgraving. Veenkades zijn dus een bijzonder geval omdat ze niet zijn opgebouwd uit voor waterkeringen geëigend materiaal. Veen wordt immers bij uitdroging veel lichter, waardoor de macrostabiliteit van de waterkering bij uitdroging zeer sterk terugloopt en de kade onder druk van het water makkelijk kan wegschuiven. Veenkades zijn dus zeer gevoelig voor uitdroging, maar er kan ook worden gesteld dat ze door de aard van het materiaal als waterkering ongeschikt zijn en reconstructie behoeven.

Droge en 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. Zettingsgevoelige gronden zijn in beeld gebracht in Figuur 3.1. Mogelijke effecten zijn:

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

### 3.3.1 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Omdat bodemdaling en (verschil)zetting bekende fenomenen zijn, die tot extra onderhoud kunnen leiden van droge en natte, bovengrondse en ondergrondse infrastructuur, wordt daar bij de aanleg van nieuwe infrastructuur terdege rekening mee gehouden. En bij reguliere reconstructies en rehabilitaties eveneens. Vrijwel altijd wordt voorbelast, vaak wordt gebruik gemaakt van zandcunetten, soms van diepe of drijvende (piepschuim) funderingen. Dit alles met het oog op het verkleinen van de gevoeligheid voor verschilzettingen, of die nu het gevolg zijn van zware belasting van bovenaf (vrachtverkeer, treinen), of van uitdroging of waterdrukverlies in de ondergrond.

Veenkades worden vrijwel allemaal – letterlijk – verzaaid met kleiig materiaal en zo stapsgewijs steeds minder gevoelig gemaakt voor uitdroging. Door het aanbrengen van kleidekken wordt de verdamping beperkt en wordt de kering tevens zwaarder gemaakt. Waar veenkades sowieso als een lokaal probleem mogen worden beschouwd, mag worden aangenomen dat ze geleidelijk zo worden aangepast dat ze minder gevoelig worden voor uitdroging.

### 3.3.2 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

De droge en natte infrastructuur is geen specifieke watervrager. Alhoewel de grondwaterstand en waterdruk belangrijke factoren zijn voor de stabiliteit, wordt bij het merendeel van de infrastructuur meegelift op het regionale beleid en beheer van oppervlakte- en grondwaterpeilen.

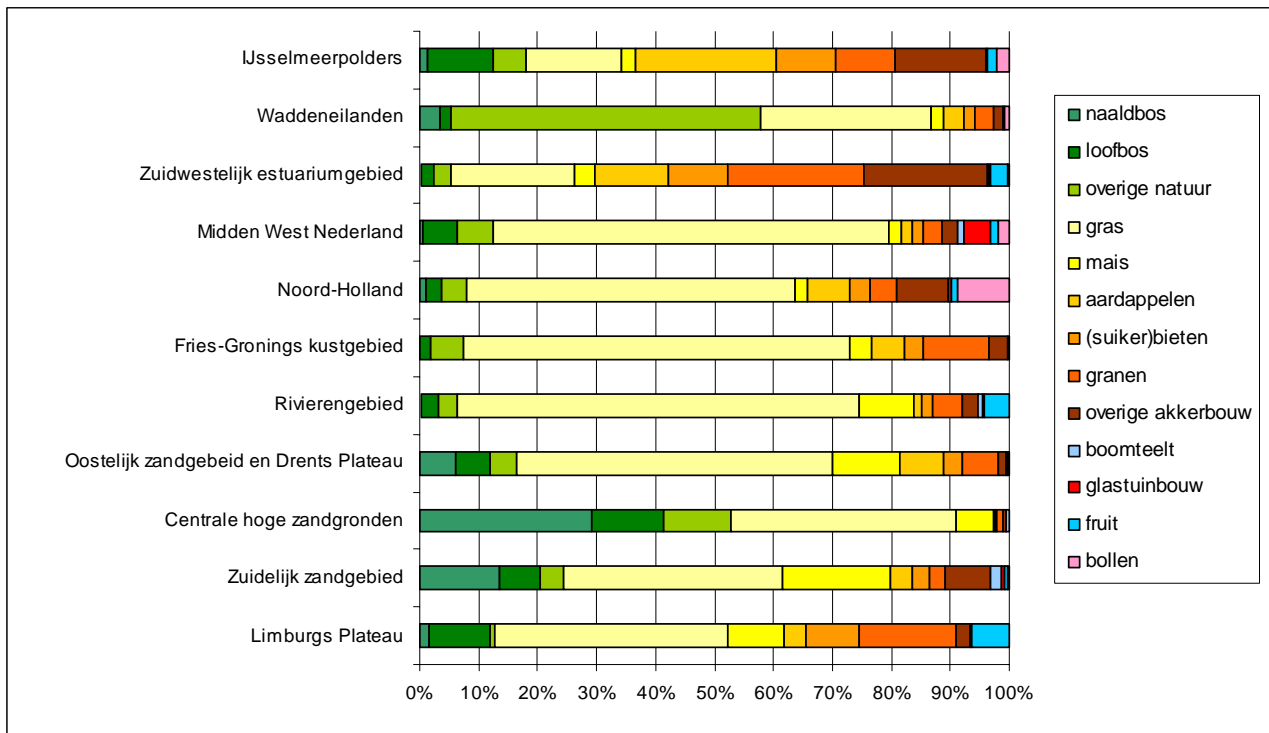
Wel worden, sedert het onverwachte falen van de veenkade bij Wilnis, in toenemende mate veenkades gespreeid, om de uitdroging van de onverzadigde bovenlaag en de daling van het grondwaterpeil in de kade te vertragen/voorkomen. Zoals hierboven al vermeld kan worden gesteld dat veenkades eigenlijk niet aan de vereisten voor een goede waterkering voldoen; maar men zou evenzogoed kunnen volhouden dat 'met water gevulde waterkeringen' wel degelijk prima kunnen voldoen, mits ze gegarandeerd gevuld zijn. Dat vraagt water, en alerte beheerders. Op de totale watervraag voor regionaal waterbeheer is deze sproeivraag gering; en er worden geen eisen aan de waterkwaliteit gesteld.

## 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 3.3. 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.

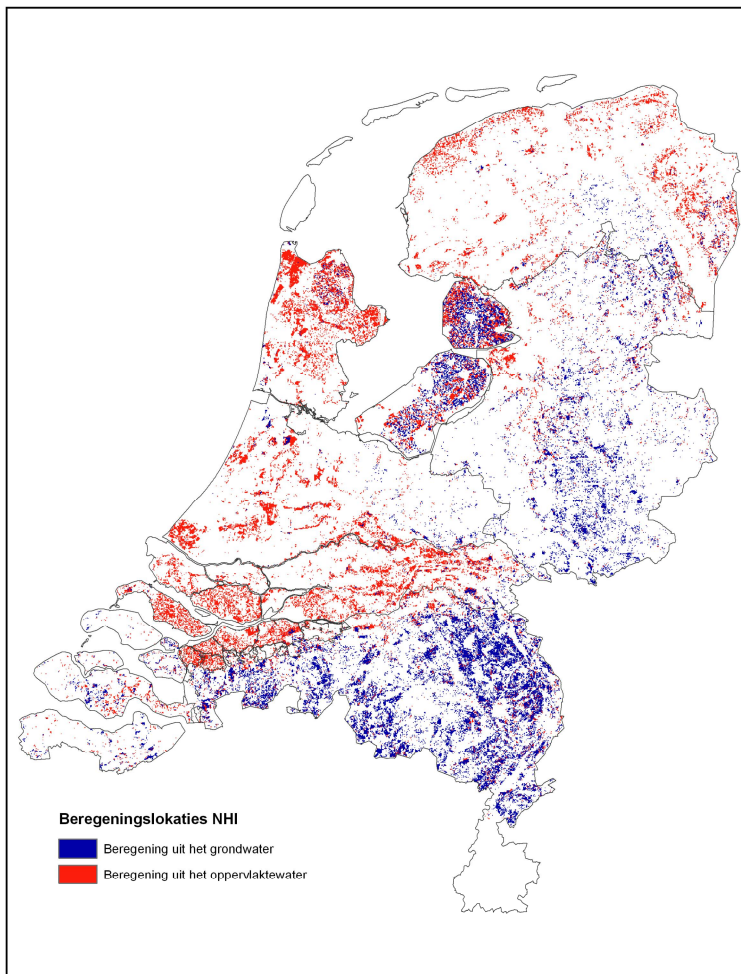


Figuur 3.3 Verdeling van begroeiing binnen het niet-bebouwde areaal van de waterhuishoudkundige regio's, zoals gebruikt voor de berekening van landbouwschades (naar LGN3).

Qua areaal zijn weidebouw (in de veen- en kleigebieden), snijgras en snijmaïs voor de 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 gespecialiseerde producten, zoals bloembollenteelt (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 watertekorten en/of verzilting.

Om aan de watervraag van landbouwgewassen te voldoen wordt soms beregend. *Voor deze aangescherpte knelpuntenanalyse is de inventarisatie van beregeningsinstallaties opnieuw uitgevoerd op basis van nieuwe landbouwtellingen en enquêtes; er zijn nu zeer veel meer beregeningsinstallaties in het NHI-model opgenomen dan voor de eerdere knelpuntenanalyse die circa 50% meer water kunnen onttrekken. De nieuwe installaties zijn weergegeven in Figuur 3.4, waar we zien 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 3.4 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 nationaal landbouwbeleid 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 voor de deltasenari'o's (Bruggeman et al., 2011).

Door vergelijking van de landgebruikprojecties voor 2050 met die van het huidige 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 kasteelt 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 m<sup>3</sup> (equivalent met 500 mm). Met ruim 2 miljoen ha landbouwgrond is dit een watervraag van meer dan 10 miljard m<sup>3</sup> 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 na neerslag, 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 hoge grondwaterstand 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](http://www.verdroging.nl)). Het resultaat is dat het areaal aan zeldzame, soortenrijke natuur is afgenomen, zowel buiten als in natuurgebieden (afname biodiversiteit).

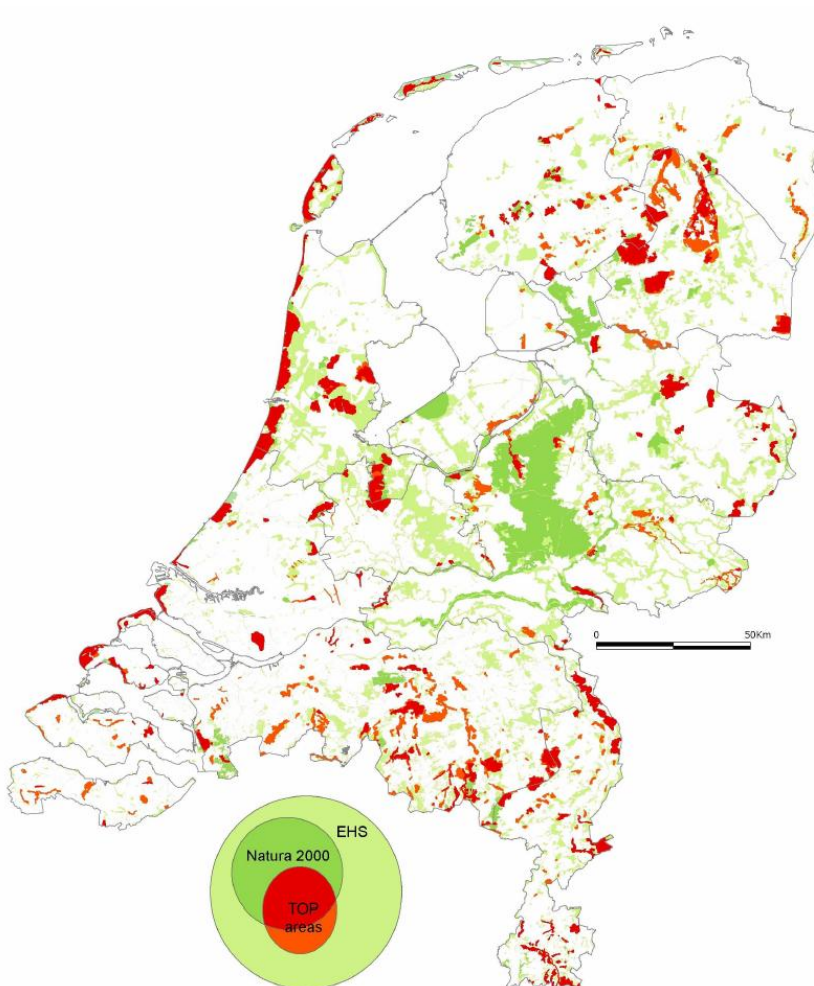
Om de natuur beter te beschermen tegen vermessing, verdroging en versnippering is in 1990 een nationaal natuurbeleidsplan opgesteld met daarin het voornemen om uiterlijk 2018 een ecologische hoofdstructuur (EHS) gereed te hebben (LNV, 1990). De EHS heeft als doel huidige natuurgebieden te vergroten en te verbinden zodat natuur meer robuust wordt tegen negatieve invloeden van de mens (inclusief klimaatverandering). Het beoogde landoppervlak was oorspronkelijk 728.500 hectare, maar is sinds de herijking van de EHS naar beneden bijgesteld naar 600.000 hectare (PBL, 2011).

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 milieucondities (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 (Figuur 3.5) 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.



Figuur 3.5 Ligging van de EHS, Natura 2000 en TOP- gebieden op het Nederlandse land (Landelijk Steunpunt Verdroging)

Buiten de beschermde gebieden komt er ook veel watergerelateerde natuur voor in het landelijk gebied (de 'groene ruimte'). De bescherming van natuur heeft daar niet de hoogste prioriteit, maar vanuit de EU- Kaderrichtlijn water is er wel sprake van een algemeen beschermingsregime voor deze watergerelateerde natuur. Zo dient er te worden gerapporteerd over de chemische en ecologische

toestand van de oppervlaktewateren; die laatste wordt afgemeten aan onder andere het voorkomen van planten, vissen en andere biotische graadmeters.

Klimaatverandering heeft gevolgen voor de waterhuishouding en daarmee ook voor van water afhankelijke ecosystemen. De verwachting is dat klimaatverandering een extra stressfactor gaat vormen bovenop de al bestaande milieustress. De kwetsbaarheid van ecosystemen voor klimaatverandering verschilt per type ecosysteem. Naar natte en vochtige ecosystemen kan water worden aangevoerd om de negatieve effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Naar ecosystemen op droge gronden kan dat niet; daar zal de vegetatie zich noodgedwongen moeten aanpassen aan de nieuwe omstandigheden.

Eerdere verkenningen naar de gevolgen van verdroging wezen uit dat vooral de natte, voedselarme, zwak zure tot basische ecosysteemtypen (blauwgrasland, kalkmoerassen, veenecosystemen) kwetsbaar zijn omdat de invloed van schoon, basenrijk (grond)water sterk is afgenomen door verdroging (te lage grondwaterstanden en te geringe kwelflux, te veel sulfaatrijk 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.

*Voor deze aangescherpte knelpuntenanalyse is de literatuurverkenning uitgebreid om meer zicht te krijgen op de mogelijke knelpunten per ecosysteemtype. De resultaten van deze literatuurverkenning zijn geconfronteerd met modeluitkomsten (zie paragraaf 5.4).*

### 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.

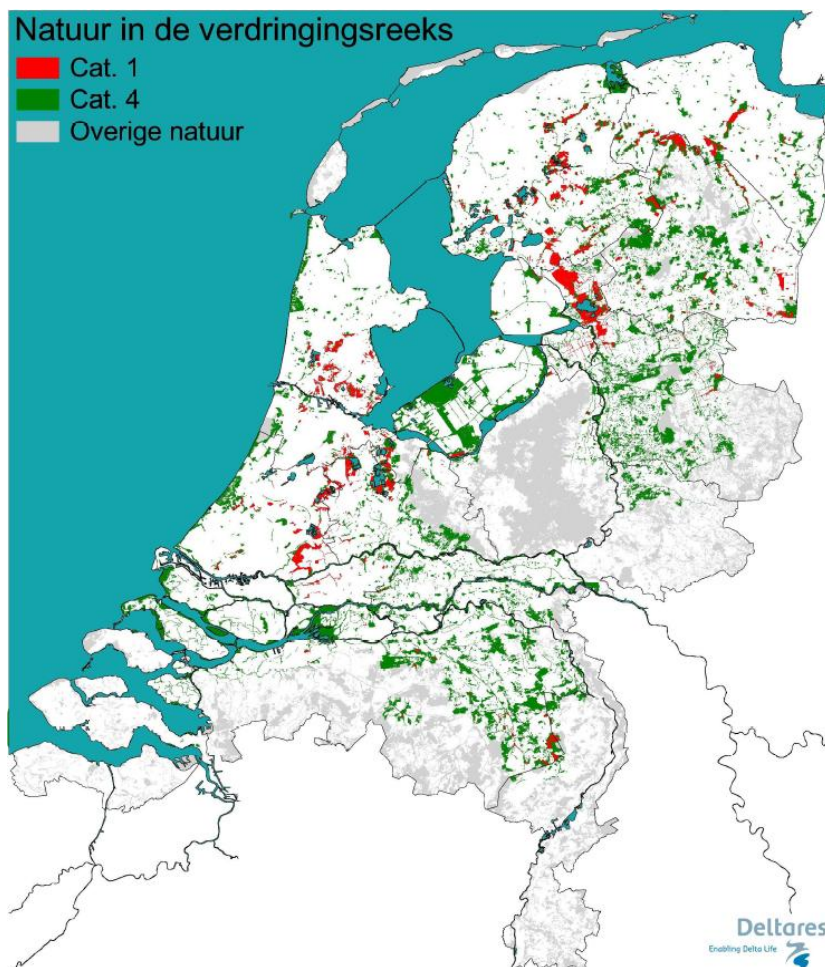
Het is niet eenvoudig om de watervraag voor natuur in kwantitatieve te bepalen. Dat heeft een aantal redenen:

- 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 sulfaatrijk 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.

Natuur is als watervrager opgenomen in de verdringingsreeks, het instrument om water te verdelen in droge perioden. Natuur staat daarin zowel in de hoogste categorie 1, namelijk voor zover gerelateerd aan onomkeerbare effecten in de bodem, als in de laagste categorie 4. Op basis van informatie over bodem, voorzieningsgebieden vanuit het rijkswater en gebieden uit de provinciale natuurbeheerplannen is een eerste kaart gemaakt van welke categorie uit de verdringingsreeks waar in Nederland verwacht zou mogen worden (Figuur 3.6). De kaart heeft alleen betrekking op natuurgebieden, en dus niet op natuurwaarden daarbuiten, zoals in kleine wateren.



Figuur 3.6 Ligging van watergerelateerde natuur in relatie tot de categorieën van de verdringingsreeks, en overige natuur (niet gerelateerd aan wateraanvoer).

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

Uitgaande van het areaal EHS (momenteel ruim 613000 ha) wordt door natuurgebied tussen de 2,6 en 3,4 km<sup>3</sup> 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 Struikheide of Groveden.

*Een andere benadering is om te bepalen hoeveel water nodig om het jaarlijkse watertekort in te perken. Dit kan door voor het areaal waar natuur voorkomt het verschil uit te rekenen van:*

- *de gewenste en de actuele grondwaterstand, of*
- *het jaarlijks neerslagtekort, of*
- *het jaarlijks vochttekort.*

*De resulterende landelijke watervraag komt daarbij altijd ruim beneden de 1 km<sup>3</sup> te liggen.* Voor natuur is het bovendien acceptabel als eens in de zoveel tijd niet volledig kan worden voldaan aan de waterbehoefte; het gaat immers om het borgen van de 'de juiste' standplaatscondities – die van nature ook variëren.

### 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, 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).

*Alleen al door de klimaatverandering kan volgens Gaast & Massop (2009) de waterbehoefte van de bestaande natuur verdubbelen in scenario W+ in 2050.*

### 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 seizoenen (drogere zomers en nattere winters) zal het buitendijkse gebied steeds kleinere permanent overstromde en nooit overstromde 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 zoutinvasie 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.

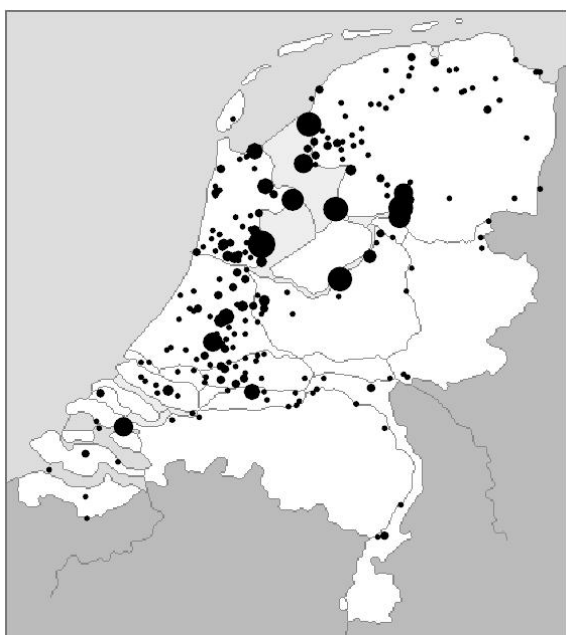
### 3.7 Visserij

#### 3.7.1 Aard en omvang watervraag

Bij visserij kan onderscheid worden gemaakt tussen binnenvisserij enerzijds en zeevisserij en vis- en schelpdierkweek anderzijds. Die laatste sector vraagt geen zoet water; dus daarover gaat het hier niet. Binnen de binnenvisserij kan weer onderscheid worden gemaakt tussen beroepsvisserij en sportvisserij (alhoewel bij die laatste het onderscheid binnen- en zee weer zelden tot niet wordt gemaakt). Naar de beroepsbinnenvisserij en de sportvisserij is voor deze aangescherpte knelpuntanalyse een apart onderzoek gedaan (Paalvast & Noordhuis, 2012). Vrijwel alle teksten en cijfers in deze aangescherpte knelpuntanalyse zijn aan dat onderzoek ontleend.

Het economisch belang van de beroepsbinnenvisserij bedroeg op basis van de aanlandingen in 2004 circa 7.6 M€ en in 2010 4,5 M€. Dit zijn de bedragen die op de afslag werden genoteerd: deze zijn dus te beschouwen als opbrengst. Voor 2004 werd door de consument naar schatting 17 M€ betaald voor vis afkomstig van de binnenvisserij. Dat is dus het economisch belang inclusief de tussenhandel.

De aanlanding van vis toont vooral de laatste twee decennia een neerwaartse trend, die te maken heeft met een afnemende visstand, vooral van aal, maar ook van andere commerciële vissoorten.



Figuur 3.7 Spreiding van de beroepsbinnenvisserijbedrijven in 1995 op basis van vestigingslocatie. De grootte van de cirkel symboliseert het aantal bedrijven (Tien & Dekker, 2005).

In de beroepsbinnenvisserij waren in 2010 naar schatting 340 personen werkzaam verdeeld over 222 bedrijven. 74 bedrijven visten op het IJssel- en Markermeer, 120 in de binnenwateren en 28 op de grote rivieren. Door het recente verbod op de vangst van aal en wolhandkrab op de grote rivieren zijn er van de riviervissers in 2011 nog slechts 10 overgebleven. Dit betekent dat het op de schaal van Nederland om een relatief kleine sector gaat, die al decennia in omvang krimpt (zie Figuur 3.7 voor de stand van zaken in 1995).

De sportvisserij kan eigenlijk niet als economische sector worden beschouwd, in de zin dat het geen primaire producent is zoals de beroepsvisserij; het is veeleer een vorm van recreatie. Desalniettemin worden hier enkele feiten over de sportvisserij vermeld, die kunnen bijdragen aan een juiste interpretatie van de cijfers over de beroepsbinnenvisserij.

De bijdrage van de sportvisserij aan de economie wordt geschat op 330 M€ per jaar. Dat is niet de opbrengst aan vis – zoals bij de beroepsvisserij –, maar de omzet: hengels, stoeltjes, paraplu's, buitenboordmotoren, camouflagepakken, hotelkosten, boothuur, vergunningen, lidmaatschappen, etc. Naar schatting van De Graaf (2010) komt dat neer op circa €15,- per gevangen vis. Dergelijke bedragen weerspiegelen het recreatieve karakter.

Nederland telt ruim 1.600.000 sportvissers, waaronder 216.000 vrouwen en 472.000 kinderen in de leeftijd van 4 – 15 jaar.

### 3.7.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

Er is al decennialang een afname van het aantal beroepsvissers op binnenwateren. Recente verboden op het vangen van aal en wolhandkrab hebben in 2011 geleid tot een afname van het aantal vissers op de rivieren. Op het IJsselmeer vertoont de spieringstand grote schommelingen en is er nu en dan sprake van een vangstverbod.

Er is in de ogen van de beroepsvissers steeds minder vis beschikbaar, waarvoor Aalscholvers, verbeterde waterkwaliteit en de wereldwijde – en grotendeels onbegrepen – achteruitgang van de aal verantwoordelijk worden gehouden. Daarnaast is er concurrentie van goedkope kweekvis uit Azië.

Het LEI verwacht dan ook een verdere achteruitgang van de omvang van de beroepsbinnenvisserij in de toekomst.

### 3.7.3 Afhankelijkheid hoofdwatersysteem

Door de beroepsvisserij wordt geen zoetwater gevraagd. Belangrijk is een goede habitatkwaliteit van de wateren waarin gevestigd wordt. Deze kunnen zoet of zout zijn, moeten voldoende productief zijn (dus bij voorkeur voedselrijk zonder eutrofiëringverschijnselen), goed zijn verbonden met andere wateren die voor de vis in andere levensfasen een belangrijke rol vervullen (functiegebieden: bijv. paaigronden, opgroeihabitat, etc.) onder andere door zoet- zoutovergangen, de vis moet geen last hebben van 'vermaling' door sloopschroeven, gemalen of waterkrachtcentrales, etc.

Daarmee is de zorg voor een goede algehele habitatkwaliteit de essentie van waterbeheer ten behoeve van de (beroeps)visserij. Het gaat dus om de kwaliteit van het aquatisch ecosysteem. In het bijzonder de kwaliteit van het IJsselmeer en Markermeer is belangrijk, want daar zitten nog de meeste vissers. Maar ook de visstand op de grote rivieren en overige binnenwateren is afhankelijk van het rijkswaterbeheer. Die visstand is gebaat bij een open Haringvliet en ongestuwde rivieren. Daarmee verschillen de wensen wezenlijk van die van de landbouw en scheepvaart.

Uiteindelijk heeft de binnenvisserij belang bij hetzelfde als het natuurbeleid: een goede water- en habitatkwaliteit. Voor de beroepsvisserij kan de nadruk wat meer op hoge productie liggen dan bij de sportvisserij, waarvoor de variatie aan soorten en habitats (wateren) met verschillende soorten mogelijk zeker zo interessant is (karperwater, meervalwater, snoekwater, zalmwater, e.d.).

### 3.8 (Drink)waterwinning

#### 3.8.1 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 m<sup>3</sup> 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 3.8). 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 3.2 (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. Deze zijn vooral actief in de hogere zandgronden van Oost- en Zuid- Nederland.. Een aantal andere bedrijven gebruikt kleinere hoeveelheden grondwater (Waternet, Evides, PWN, Oasen). De grondwateronttrekking per provincie is weergegeven in Tabel 3.3, die uit de eerste knelpuntenanalyse is overgenomen.

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.

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 Mm<sup>3</sup>/jaar) waarvan het water in de duinen wordt geïnfiltreerd.





Figuur 3.8 Innamelocaties en voorzieningsgebied van de oppervlaktewaterbedrijven in 2007. Uit het Twentekanaal bij Enschede wordt sinds 2008 geen oppervlaktewater meer onttrokken.

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 duininfiltratie. 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 3.2 Waterwinning door drinkwaterbedrijven in Nederland (2007), in miljoenen kubieke meters per type onttrekking<sup>4</sup>

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 Mm<sup>3</sup>/jaar industriewater;

(b) waarvan 100 Mm<sup>3</sup>/jaar uit het Lekkanaal en 54 mm<sup>3</sup>/jaar uit het IJsselmeer (Andijk);

(c) hiervan is 35 Mm<sup>3</sup>/jaar industriewater (23 Mm<sup>3</sup>/jaar uit de Lek en 12 Mm<sup>3</sup>/jaar IJsselmeer);

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

(e) direct verwerkt tot drinkwater (UV / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> plant)

 Tabel 3.3 Gemiddelde jaarlijkse grondwateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening voor die provincies waarin grondwater wordt gewonnen (periode 2006-2008; in Mm<sup>3</sup>/jr)

Provincie	Huidig
Friesland	49.2
Groningen	40.1
Drenthe	32.5
Overijssel	73.5
Flevoland	29.9
Gelderland	127.4
Utrecht	72.3
Noord Brabant*	195.5
Limburg	56.3
<b>Totaal</b>	<b>677</b>

\*) Incl. winningen Brabantse wal en omgeving Biesbosch

4. In 2012 zijn door VEWIN nieuwe drinkwaterstatistieken gepubliceerd, die niet meer konden worden opgenomen.

### 3.8.2 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 3.4).

*In de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) is de toename van de vraag naar drinkwater vrij grofstoffelijk bepaald, met kengetallen voor heel Nederland. In deze aangescherpte analyse is meer detail nagestreefd, vooral geografisch.*

Daartoe is eerst de omvang van de bevolking op gemeentelijk niveau geschat, gebaseerd op CBS prognoses (die meer detail kennen dan de WLO scenario's). Bezien we deze prognoses, dan zien we globaal het volgende beeld:

- Sterke groei in de provincies Flevoland en Utrecht, matige groei in de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland, Gelderland (met uitzondering van de Achterhoek) en rond de stad Groningen.
- Forse krimp in Zuid-Limburg en Noordoost Groningen; matige krimp in Noord- en Midden-Limburg en in de Achterhoek.
- In de rest van het land (provincies Friesland, Drenthe, Overijssel, Noord-Brabant, Zeeland) is er groei in de ene gemeente en krimp in de andere, met een regionaal te verwaarlozen netto effect.

Vervolgens is door Baggelaar et al. (2010) geschat wat het hoofdelijk huishoudelijk waterverbruik in 2040 zou zijn voor de scenario's GE en RC. Ten opzichte van het actuele verbruik in 2007 van 127,7 l/p/d neemt het toe tot 142,3 l/p/d in het GE scenario (+11,4%), en af tot 111,4 l/p/d (-12,8%) in het RC scenario.

Door de verandering van de bevolkingsomvang te combineren met de schatting van het hoofdelijk huishoudelijk verbruik kan de verandering van het huishoudelijk drinkwaterverbruik worden berekend. Omdat de afzet van drinkwater niet alleen wordt bepaald door de huishoudelijke consumptie, maar er ook nog klein zakelijk verbruik, groot zakelijk verbruik en lekverliezen zijn, is daarvoor gecorrigeerd. Daartoe is de bijdrage van huishoudelijk verbruik aan de totale afzet van drinkwater in 2007 bepaald op basis van de inventarisatie van Baggelaar et al. (2010). Het blijkt dat het huishoudelijk verbruik in de Randstad en de 'overgangszone' 70% van de totale afzet bedraagt, terwijl dat in de rest van Nederland iets lager is, namelijk 66%.

Op basis van deze verkenning van Baggelaar et al. (2010) en de noodzakelijke correcties kan **een prognose voor de verandering van het drinkwatergebruik per provincie worden verkregen. De resultaten van die analyse door KWR zijn samengevat in Tabel 3.4**, waarbij we geen onderscheid meer maken tussen huishoudelijk en ander gebruik (zie daarvoor het rapport van KWR, 2012).

Tabel 3.4 Prognose van de verandering van de vraag naar drinkwater (in procenten) in het jaar 2040 ten opzichte van het basisjaar 2007 per provincie voor de sociaal-economische scenario's RC en GE, met kleuraanduiding voor de relatieve mate van groei (groen) en krimp (oranje).

Provincies	RC (%)	GE (%)	Bron	Waterbedrijf
Groningen	-15,1	9,5	Grondwater/ Drentsche Aa	WbGr
Friesland	-11,2	14,5	Grondwater	Vitens
Drenthe	-10,5	15,4	Grondwater	WMD
Overijssel	-10,2	15,7	Grondwater	Vitens
Gelderland	-11,1	14,9	Grondwater	Vitens
Flevoland	9,9	41,7	Grondwater	Vitens
Utrecht	1,8	30,2	Grondwater	Vitens
Noord-Holland	-1,9	25,4	IJsselmeer/ Lekkanaal	PWN, Waternet, PWN
Zuid-Holland	-5,7	20,5	Maas/ Oeverfiltraat Lek	Evides, Dunea, Oasen
Zeeland	-12,8	12,4	Maas + beperkt Haringvliet	Evides
Noord-Brabant	-11,5	14,3	Grondwater	Brabant water
Noord/ Midden Limburg	-17,1	7,0	Grondwater/ Maas	WML
Zuid Limburg	-25,7	-4,1	Grondwater	WML

In de tabel vallen de volgende zaken op:

- Provincies met een sterke groei in het GE scenario en enige groei of beperkte krimp in het RC scenario zijn: Flevoland, Utrecht, Noord-Holland en Zuid-Holland. De groeipercentages in het GE scenario variëren van (afgerond) 20 tot 40%.
- Provincies met matige groei in scenario GE (ca. 15%) tot matige krimp in scenario RC (ca. 10%) zijn: Overijssel, Drenthe, Gelderland, Friesland, Noord-Brabant en Zeeland.
- Landsdelen die neigen naar krimp zijn: Groningen en Noord-Midden Limburg. De prognoses variëren van + 10% (GE scenario) tot -17% (RC scenario).
- In Zuid-Limburg wordt in beide scenario's krimp verwacht, variërend van 5% (GE) tot 25% (RC).

*De hier gegeven indicaties voor de verandering van de drinkwaterafzet in het jaar 2040 zijn ingebouwd in NHI, en voor de verdere modellering natuurlijk gecorrigeerd naar 2050. Voor de precieze inbouw is ook relevant om na te gaan wat de herkomst is van het drinkwater per provincie, omdat het uitmaakt of een andere hoeveelheid grondwater wordt onttrokken, dan wel oppervlaktewater wordt ingelaten.* De oorsprong is daarom eveneens aangegeven in Tabel 3.4; en we gaan er hieronder nog kort op in.

- Een eventuele toename van de vraag naar drinkwater in *Noord-Holland* kan worden opgevangen door vergroting van de inname uit het IJsselmeer (Andijk) en het Lekkanaal (Nieuwegein).
- *Zuid-Holland* is voor zijn drinkwater grotendeels afhankelijk van inname uit de Maas (Bergsche Maas, Afgedamde Maas).
- De verwachte sterke toename van de drinkwatervraag in *Flevoland* en *Utrecht* zal door Vitens bij voorkeur worden opgevangen door extra grondwateronttrekkingen.

- In *Flevoland* zal wellicht extra worden onttrokken in de provincie zelf, maar levering vanuit Friesland is ook mogelijk is.
- In *Utrecht* zijn diverse 'problematische' winningen, waar verdroging optreedt, stedelijke druk groot is, etc. Daar zal waarschijnlijk een deel van het benodigde water uit een andere provincie worden betrokken (Gelderland of Flevoland). Zolang hierover geen besluit is genomen wordt voor de knelpuntenanalyse uitgegaan van vergroting van de grondwaterwinningen in de provincie Utrecht zelf.
- In *Gelderland*, *Overijssel* en *Friesland* zal een eventuele toename van de drinkwatervraag in eerste instantie binnen de provincie zelf worden opgevangen, al zijn ook hier interprovinciale leveringen mogelijk (bijv. uit de Achterhoek naar Twente). Hierop wordt momenteel gestudeerd door Vitens. Ook hier wordt voor de knelpuntenanalyse voorlopig uitgegaan van vergroting van de grondwaterwinningen in de provincies zelf.
- In *Drenthe* en *Noord-Brabant* zal een eventuele toename van de vraag naar alle waarschijnlijkheid worden opgevangen door uitbreiding van de grondwateronttrekkingen binnen de provinciegrenzen, omdat de drinkwatervoorziening hier op provinciale leest is georganiseerd. Voor Groningen en Limburg geldt hetzelfde; maar hier wordt eerder krimp dan groei voorzien. In Midden- Limburg zal bij krimp wellicht minder oppervlaktewater aan de Maas worden onttrokken (productielocatie Heel).
- De situatie in *Zeeland* is relatief complex, omdat het drinkwater hier afkomstig is uit verschillende bronnen: het Haringvliet voor Schouwen- Duiveland en de Maas voor de rest van Zeeland. Groei of krimp in Zeeland zal moeten worden opgevangen door aanpassing van deze oppervlaktewaterwinningen.

### 3.8.3 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 m<sup>3</sup>. 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 Mm<sup>3</sup>) 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 Mm<sup>3</sup>/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 Mm<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/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).

### 3.9 Industrierwatervoorziening

#### 3.9.1 Aard en omvang watervraag

De industrie gebruikte in 2006 ruim 3700 miljoen m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> per jaar. Daarvan wordt 195 miljoen m<sup>3</sup> door de industrie zelf onttrokken, waarvan 83 miljoen m<sup>3</sup> uit grondwater, vaak voor hoogwaardig consumptief gebruik (bier, frisdrank), en 112 miljoen m<sup>3</sup> uit oppervlaktewater (bijv. proceswater). Naast de eigen onttrekking gebruikte de industrie in 2006 214 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater via het leidingnet en 150 miljoen m<sup>3</sup> 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 industrierwatervoorziening 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 Mm<sup>3</sup>/jaar), Crown Van Gelder Papier (3,2 Mm<sup>3</sup>/jaar) en enkele andere kleine afnemers in het Amsterdams havengebied. Evides levert voorbehandeld industriewater (ca. 47 Mm<sup>3</sup>/jaar) aan diverse grote bedrijven in het Rotterdamse havengebied, West Brabant en Zeeland.

#### 3.9.2 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 m<sup>3</sup>! Het overgrote deel hiervan is koelwater dat weer op het Hollandsch Diep wordt geloosd. Daarnaast wordt drinkwater (1-2 Mm<sup>3</sup>/jaar) en industriewater (5-8 Mm<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/jaar oftewel 685 m<sup>3</sup>/uur; de maximale capaciteit is 1100 m<sup>3</sup>/uur. De netto buffercapaciteit bedraagt 7000 m<sup>3</sup>, wat overeenkomt met 10 uur bij gemiddelde productie. De buffer is dus beperkt.

### 3.9.3 Afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem

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.

### 3.10 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 hoofdwatersysteem (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.

### 3.10.1 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 Mm<sup>3</sup> bedroeg. In deze notitie is tevens aangegeven dat de onttrekking van oppervlaktewater door de industrie in 2006 bijna 3200 Mm<sup>3</sup> 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 elektriciteitproductiesysteem (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 3.5. 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.

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.

Tabel 3.5 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 Riebeeckhaven 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
	Sloecentrale B.V. (voorheen Delta Energy)	Vlissingen-Oost	480	0
24	Velsen Centrale V24 UIT	binnenkanaal	601	502
25	Velsen Centrale V25 UIT	binnenkanaal	458	0

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 warmtevoorziening (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 3.5). 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 warmtevoorziening). 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 3.5 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).

### 3.10.2 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 3.6 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
<b>Totaal</b>	<b>93</b>	<b>204</b>	<b>133</b>
<b>waarvan met warmtelast</b>	<b>85</b>	<b>201</b>	<b>100</b>

Tabel 3.6 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 3.6. 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 3.5.

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 bovengrensbepending 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 3.7 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
<b>Totaal</b>	<b>8380</b>	<b>14447</b>	<b>9183</b>

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 3.7.

### 3.10.3 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 precare 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 verruiming 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.

### 3.11 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. Daarvoor werden ongeveer 5000 à 6000 schepen gebruikt.

Op de corridor Rotterdam- Duitsland passeren jaarlijks bij Lobith circa 100.000 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:

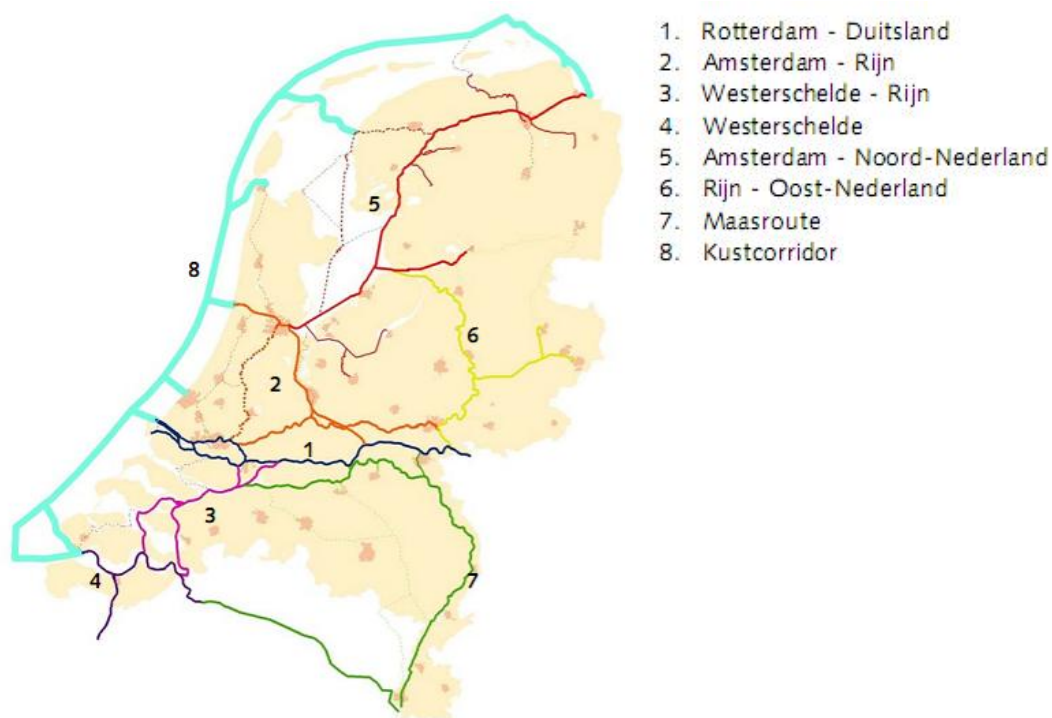
- Lekkanaal (Utrecht) 50.000 passages (40 miljoen ton)
- Julianakanaal (Limburg) 25.000 passages (20 miljoen ton)
- Twentekanaal 14.000 passages (5 miljoen ton)

Het aantal recreatievaartuigen in Nederland bedraagt ongeveer 300.000 (exclusief kleine vaartuigen zoals roeibootjes). Dat zijn er dus veel meer dan actieve beroepsschepen; maar de recreatievaart maakt slechts ongeveer 1.000.000 reizen per jaar.

### 3.11.1 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 aflaaddiepte is door te lage waterstanden.

Bij het vaarwegennet gaat het vooral om de hoofdtransportassen, waarin 8 corridors worden onderscheiden (Figuur 3.9). De belangrijkste corridors zijn Rotterdam- Duitsland en Amsterdam- Rijn. Daarnaast zijn er nog veel kleinere vaarwegen, die aftakken van het hoofdvaarwegennet. Op die vaarwegen vindt ook veel recreatievaart plaats. Daarbij is soms de doorvaarthoogte belangrijk als er veel zeiljachten komen.

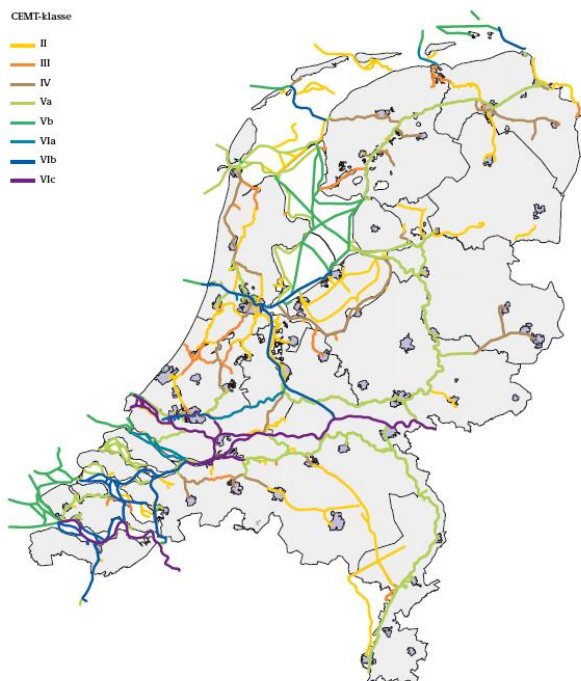


Figuur 3.9 Vaarwegcorridors

Alle vaarwegen zijn ingedeeld in zogenaamde CEMT-klassen gekoppeld aan de scheepvaartclassificatie (Tabel 3.8). De scheepsklassen VIb en VIc zijn duwstellen met een maximale diepgang van 4 m. Tabel 3.9 geeft een overzicht van de scheepsklassen die op enkele corridors zijn toegestaan en de waterdiepte die voor die corridors wordt nagestreefd.

Tabel 3.8 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 2,5
			2,5			1,9			
II	M2	4,88	2,6	B02	5,77	2,6			
III	M3	5,08	2,6	B03 B04	5,77 5,77	2,6 2,7			
	M4	5,08	2,7						
	M5	4,70	2,7						
IV	M6	5,15	3	BI	5,77	3	C2I	5,15	3
	M7	5,24	3						
Va	M8	6,25		BII-1	5,77	3,5			
			BII-2L	6,68	4				
			BII-2B	6,68	4				
Vb							C3I	6,25	3,5-4
VIa							C2b C3b	5,15 6,25	3 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			



Figuur 3.10 CEMT-klassenindeling vaarwegen in Nederland (II Kempenaar, III Dortmund-Eemskanaalschip, IV Rijn-Hernekanaalschip, V Groot Rijnschip en duwvaart, VI Duwvaart, VII Duwvaart) (CBS & AVV, 2003; zie verder wikipedia).



Tabel 3.9 Overzicht vereiste waterdiepten voor enkele corridors, gerelateerd aan de scheepvaartklassen

Corridor	Kanaal / rivier (alleen belangrijkste)	Scheepvaartklasse	Waterdiepte
1	Bovenrijn, Waal, Merwede, Oude Maas	Vlc	variabel
	Hartelkanaal	Vlc	> 5,3 m
2	Amsterdam-Rijnkanaal	Vlb (max. diepg 4 m)	6,0 m
	Lekkanaal	Vb (max diepg 2,5 m)	4,2 m
6	Pannerdensch Kanaal, IJssel	Vlc	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




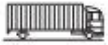

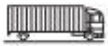
### 3.11.2 Verwachte ontwikkeling in de toekomst

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.

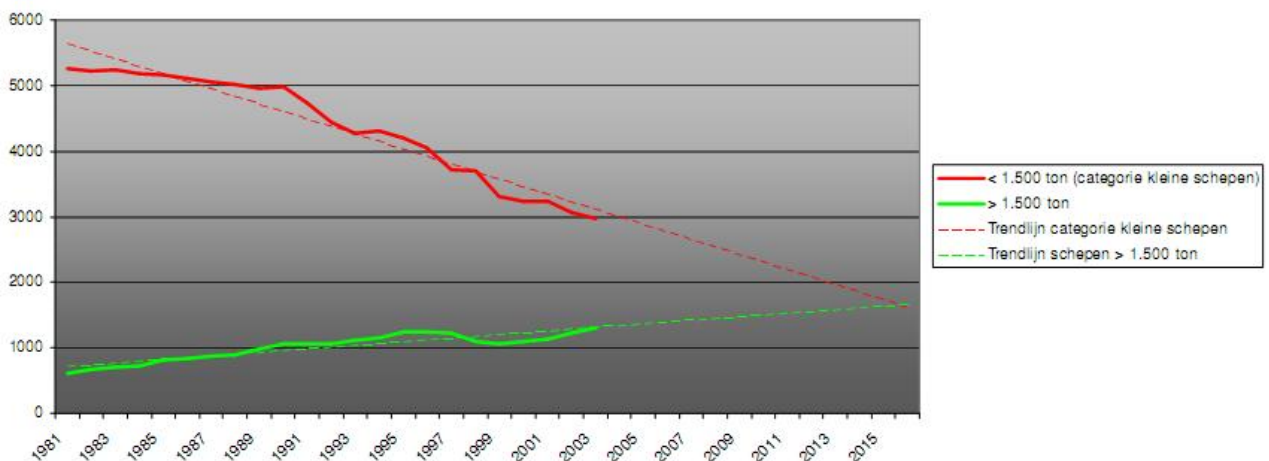
Bij de **vloot** zijn de volgende ontwikkelingen te signaleren:

- 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 3.11);
- het totale laadvermogen neemt toe.

De trend van schaalvergroting onder de nieuwbouwschepen is weergegeven in Figuur 3.12. Gebruik van grotere schepen (schaalvergroting) leidt tot lagere transportkosten per ton. De voordelen van schaalvergroting nemen relatief toe naarmate de vervoersafstand groter wordt. Grote binnenschepen zijn ook gemakkelijker te financieren en voor de schipper aantrekkelijker omdat er een grotere woning in past.

 <b>Container vessel, Kempenaar class</b> length 63 metres - width 7 metres - draught 2.50 metres - capacity 32 TEU	 32 x
 <b>Container vessel</b> length 110 metres - width 11.40 metres - draught 3.00 metres - capacity 200 TEU	 200 x
 <b>Container vessel Jowi class</b> length 135 metres - width 17 metres - draught 3.00 metres - capacity 470 TEU	 470 x

Figuur 3.11 Moderne binnenvaart: grotere containerschepen (BVB).



Figuur 3.12 Trendlijn kleine schepen (< 1.500 ton) en schepen > 1.500 ton in de periode 1983-2016 (Buck Consultants).

Voor de **goederenstromen** wordt het volgende verwacht:

- De binnenvaart blijft marktleider in internationaal vervoer;
- Binnenvaart is marktleider in bulkvervoer (ertsen, kolen, zand, grind, chemische producten). In de toekomst beperkte groei/daling bulkvervoer: daling van vervoer van ertsen en agribulk. Geen groei van vervoer van zand en grind en aardolieproducten;
- Binnenvaart heeft geen positie in het vervoer van basis- en eindproducten;
- De weg is marktleider in het containervervoer maar de positie van de binnenvaart lijkt te groeien (van 15% in 1994 naar 33% in 2004 op basis van vervoerd gewicht), maar de groei van het containervervoer per binnenschip stagneerde in 2008 over de gehele linie en gaf in veel gevallen zelfs een sterke daling te zien. Die daling was sterker dan die van de overslagcijfers van de zeehavens, hetgeen duidt op verlies van marktaandeel. Deze negatieve tendens is reeds enkele jaren gaande.

Voor de lange-termijnontwikkeling van de goederenstromen zijn door DVS prognoses gemaakt, in aansluiting op de WLO-scenario's (zie Tabel 3.10) die in de deltasenario'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 in 2040 tot een groei met meer dan 90% tot dat jaar.

Tabel 3.10 Prognose goederenvervoer over water, van, naar en door Nederland per WLO- scenario in vervoerd gewicht (miljoen ton) (naar DVS)

aangepast december 2006 in mln. ton	2002	2020				2040			
		RC	SE	TM	GE	RC	SE	TM	GE
binnenvaart	318,3	298,5	360,5	408,0	446,9	270,5	393,6	480,5	617,9
binnenvaart cont index 2002=100	24,7	37,6	48,5	52,8	66,4	42,6	82,3	83,6	149,8
binnenvaart	100	94	113	128	140	85	124	151	194
binnenvaart containers	100	152	196	214	269	172	333	338	606
% groei p/i tov 2002									
binnenvaart	0,0%	-0,4%	0,7%	1,4%	1,9%	-0,5%	0,4%	0,8%	1,6%
binnenvaart containers	0,0%	2,4%	3,8%	4,3%	5,6%	0,6%	2,7%	2,3%	4,2%
% containerlading tov totale lading									
binnenvaart	7,8%	12,6%	13,4%	12,9%	14,9%	15,7%	20,9%	17,4%	24,2%

RC = Regional Communities, SE = Strong Europe, TM = Transatlantic Market, GE = Global Economy

### 3.11.3 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.

## 3.12 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).

### 3.12.1 Aard en omvang van de watervraag

Verschillende literatuurbronnen geven inzicht in de omvang van de vraag naar waterrecreatie (in termen van aantallen dagtochten). Tabel 3.11 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.

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).

Tabel 3.11 Indicatie van huidige omvang van de waterrecreatie

Recreatie-activiteiten	Waterrecreatie (miljoenen dagtochten)		
	SEO (2003) (jaar 2000) <sup>1</sup>	CVTO (2005) <sup>2</sup>	TRN (2002) <sup>3</sup>
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

<sup>1</sup> SEO: Stichting voor Economisch Onderzoek (UvA)

<sup>2</sup> CVTO: Continu VrijeTijdsonderzoek

<sup>3</sup> TRN: Toerisme Recreatie Nederland

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.

### 3.12.2 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.

### 3.12.3 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.

### 3.13 Overzicht: hoeveel water wordt voor welke sector (welk gebruik) gevraagd?

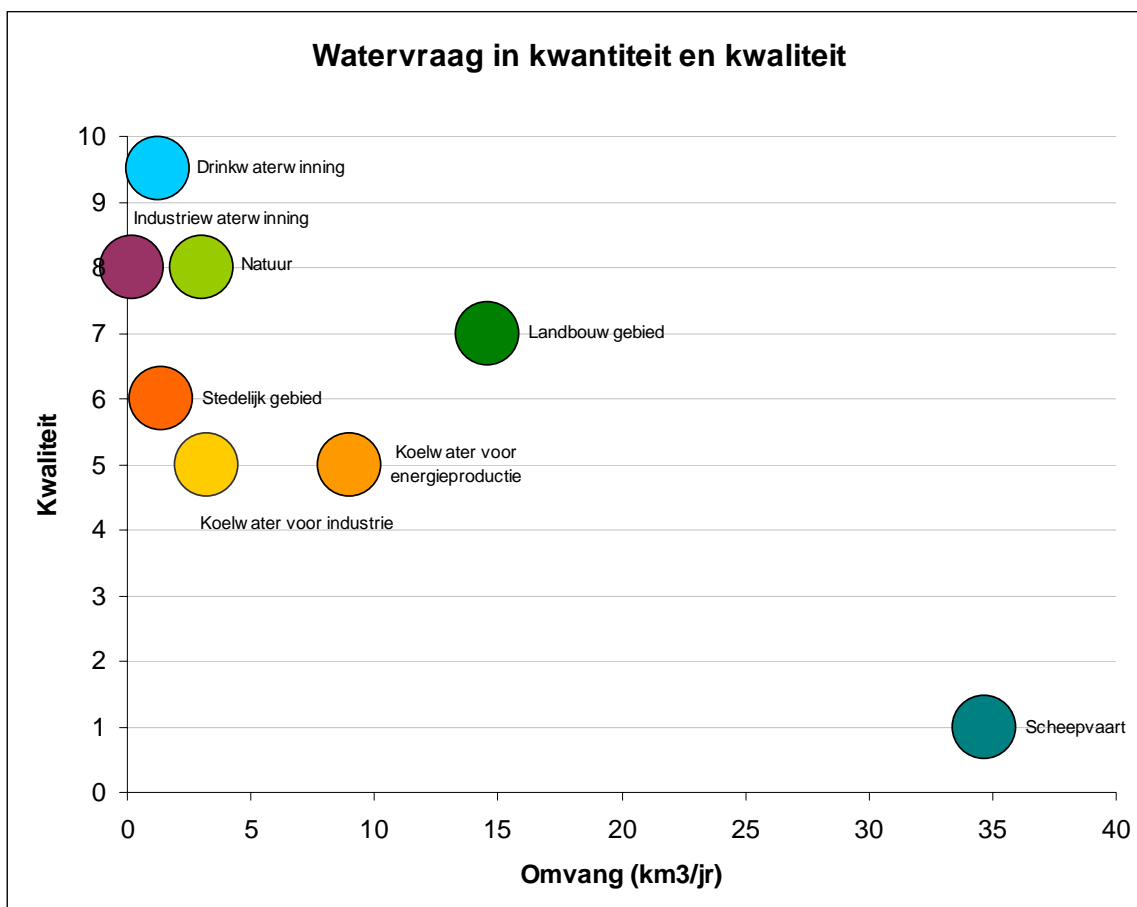
Het begrip watervraag blijkt een lastiger begrip dan men zou denken. De kwantiteitsvraag van extractiegebruikers, zoals drinkwaterwinning is makkelijk te bepalen: dat wat wordt opgepompt. Maar de vraag van landbouwgebied of natuurgebied is lastiger. Gaat het daarbij om alles wat verdampt, of specifiek om de 'vraag aan het hoofdwatersysteem'. 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 3.13). 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 gereedeneerd 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 3.13). 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 3.13 Indicatief overzicht van de watervraag van sectoren/ landgebruikfuncties in kubieke kilometers per jaar voor een gemiddeld jaar, en van hun kwaliteitseis (rapportcijfer).

*Als we de vraag van de 'opgebruikers' hier bij elkaar optellen, en die van de 'tijdelijke gebruikers' (koelwater, scheepvaart) negeren, komen we op ongeveer 23 km<sup>3</sup> watervraag in een gemiddeld jaar. Dat komt overeen met de optelsom van verdamping en gebruik voor heel Nederland zoals die in Tabel 2.1 is gegeven.*

### 3.14 De watervraag van regio's

Voor het waterbeheer van regio's wordt water gevraagd aan het hoofdsysteem, waar dat mogelijk is. Het gaat hier dus om een gebiedsgebonden watervraag aan het hoofdwatersysteem. Dat betreft dus water dat via inlaatwerken, kanalen, boezemwateren en sloten door het gebied wordt verspreid, in aanvulling op water uit neerslag (waar 's zomers tekort aan bestaat) en kwel.

Een watervraag stellen aan het hoofdsysteem kan langs de grote rivieren en in Laag- Nederland onder vrij verval: het water stroomt dan onder invloed van de zwaartekracht de polders in. Het kan ook in sommige delen van Hoog- Nederland, namelijk daar waar bovenstrooms via kanalen kan worden afgetapt (langs de Maas in Limburg bijvoorbeeld) of waar met gemalen water in kanaalpanden tegen de zwaartekracht in kan worden gepompt (naar Twente en het Drents Plateau bijvoorbeeld). Waar het allemaal mogelijk is wordt behandeld in het volgende hoofdstuk over waterbeschikbaarheid (meer specifiek in paragraaf 4.8).

Het hoofddoel van de verdeling van water uit het hoofdwatersysteem over regionale wateren en polders in Laag- Nederland is **peilhandhaving** in oppervlaktewater en in de grond. 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 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 kroesgroeï te beperken en algenbloei te voorkomen. Dat laatste is ook een collectief belang.

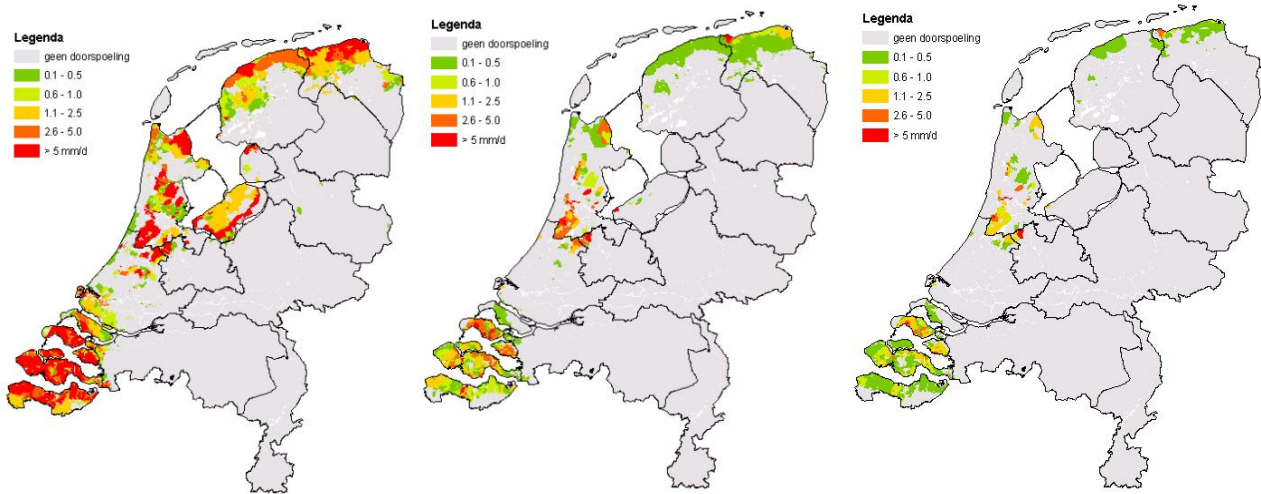
Daarna gaat het om wateraanvoer voor allerlei sectoren en gebruikers, deels individueel, deels commercieel, deels 'nuts'-georiënteerd. Het gaat daarbij om zeer veel verschillende gebruikers, die hiervoor deels al zijn besproken. Omwille van de eenvoud noemen we dit '**beregening**', omdat dat de grootste en makkelijkst aanwijsbare post op deze balans is.

Deze regionale watervraag kan op verschillende manieren worden vastgesteld:

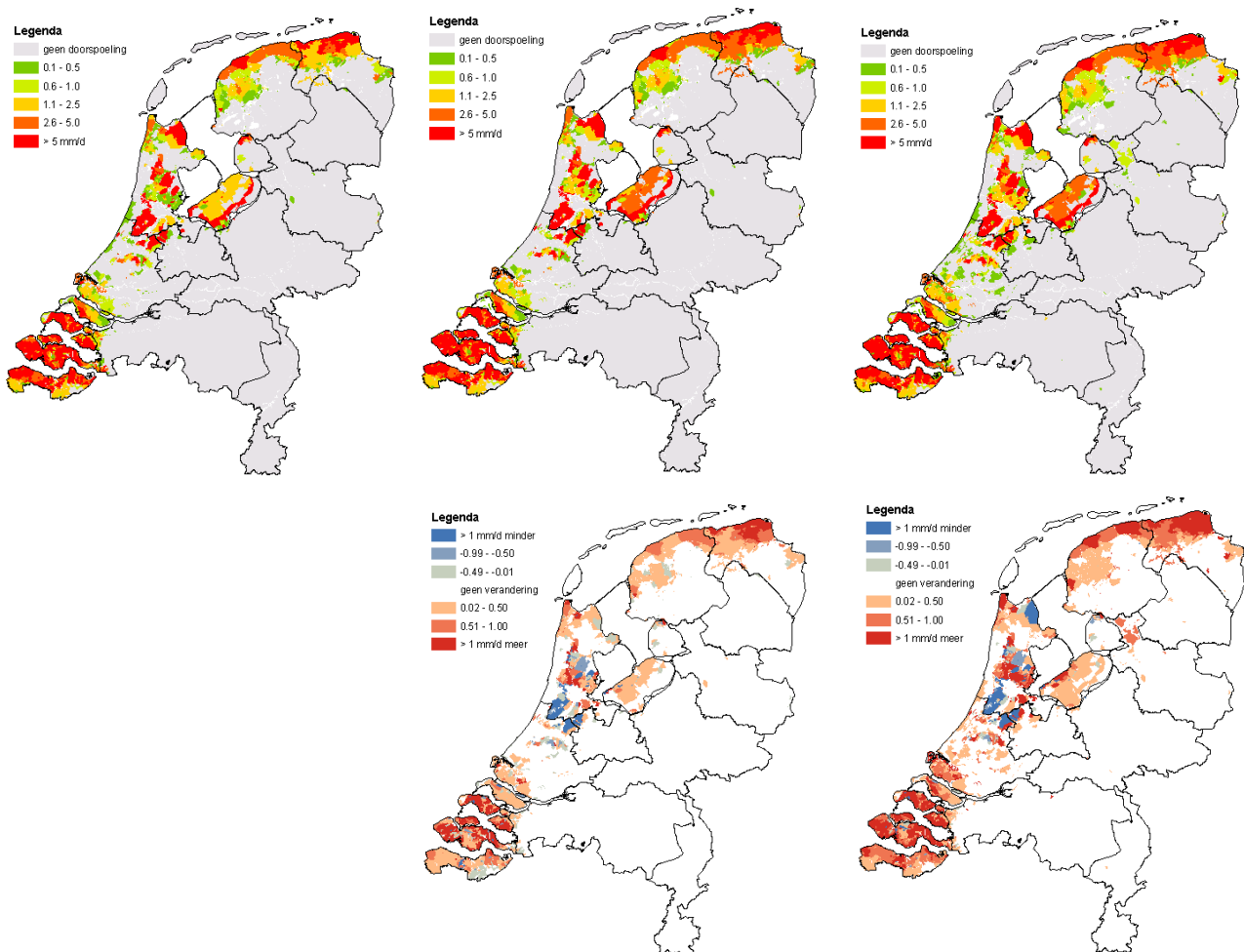
- 1 Hoeveel water zouden de regio's **graag willen** hebben, los van de vraag of dat kan worden geleverd? ; of
- 2 Vanuit de werkelijk aan het hoofdwatersysteem **gestelde watervraag**, waaraan in principe zou kunnen worden voldaan omdat er in ieder geval wateraanvoer **mogelijk** is.

*De eerste vraag is heel lastig te beantwoorden, omdat voor de posten doorspoeling en peilbeheer geen harde randvoorwaarden of eisen gelden. Hier wordt alleen voor doorspoeling een korte – nogal theoretische – verhandeling gehouden om 'enig gevoel' te krijgen. Daarna wordt ingegaan op de gestelde vraag, zoals die uit NHI komt. Of aan die vraag werkelijk kan worden voldaan hangt van veel meer factoren af, waar in hoofdstuk 5 op wordt ingegaan: de feitelijke knelpuntanalyse.*





Figuur 3.14 Theoretische doorspoelbehoefte in mm/dag indien men het zoutgehalte in de watergangen maximaal op respectievelijk 250, 600 en 1000 mg/l chloride zou willen houden, berekend voor een 'droog jaar' in het huidige klimaat



Figuur 3.15 Ontwikkeling van de theoretische doorspoelbehoefte in scenario's G/GE (midden) respectievelijk W+/RC (rechts) in 2050 in vergelijking met de huidige (voor een 'droog jaar'); en het verschil van deze scenario's ten opzichte van huidige (onder).

### 3.14.1 De theoretische doorspoelvraag

Met NHI is berekend welke doorspoelvraag resulteert *als men zou streven naar een zoutgehalte in sloten met een maximum van te voren vastgesteld gehalte*, in heel Nederland. De berekeningen zijn gedaan voor een droog jaar (referentie 1989) op basis van water- en zoutbalansen. Als zoutgrens zijn respectievelijk chloridegehalten van 250, 600 en 1000 mg/l in de sloot aangehouden en er is aangenomen dat kan worden doorgespoeld met water met een chloridegehalte van 200 mg/l.

In Figuur 3.14 is weergegeven welke doorspoelvraag dan resulteert. Aan de kaarten is te zien dat voor doorspoeling veel water nodig zou zijn in Zeeland, op de Zuid-Hollandse eilanden, in de droogmakerijen met brakke kwel (Haarlemmermeer, Beemster), in de IJsselmeerpolders (Wieringermeer, Flevoland) en in Noord-Friesland en Noord-Groningen. Dat is te zeggen: als een zoutnorm van 250 mg/l zou worden aangehouden. Voor zoutgehalten van 600 of 1000 mg/l in de sloot (geschikt voor beregening in vollegrondskakkerbouw respectievelijk grasland), is veel minder nodig, en is het areaal waar de theoretische wens zou kunnen bestaan ook veel kleiner.

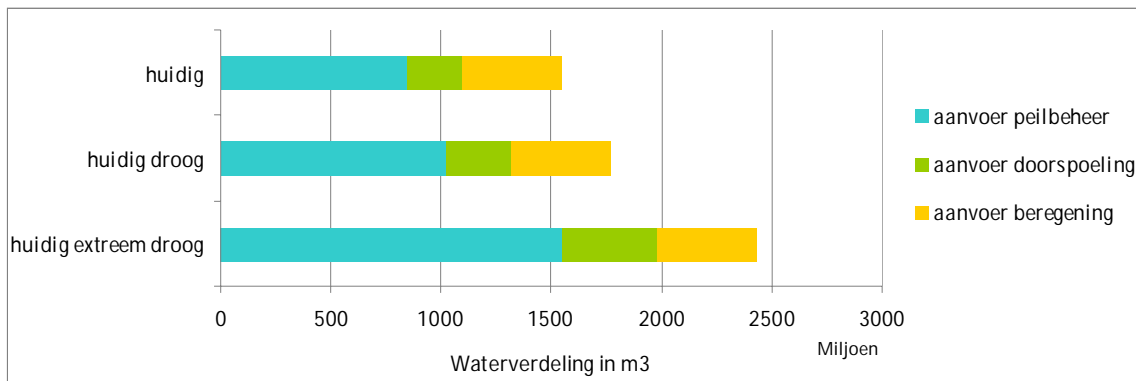
Er zijn natuurlijk gebieden waarvoor deze theoretische exercitie 'irrelevant' is, zoals de Lauwersmeer en de inlagen op Schouwen-Duiveland (bedoeld zilte natuurgebieden). Maar tegelijk blijven sommige plekken er in alle gevallen opvallend uitspringen, zoals de Horstermeerpolder en Polder Mijdrecht, beide met sterke zoute kwel.

Op dezelfde wijze is nagegaan hoe deze *theoretische doorspoelvraag* zich zou kunnen ontwikkelen *in de toekomst*. Daartoe zijn de berekeningen ook uitgevoerd voor de deltasenario's G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM), voor het jaar 2050 (Figuur 3.15). We zien de doorspoelbehoefte in sommige droogmakerijen afnemen, maar in het grootste deel van de 'theoretische vraaggebieden' iets toenemen, met in W+/RC soms meer dan 1 mm/dag (overeenkomend met circa 20% meer).

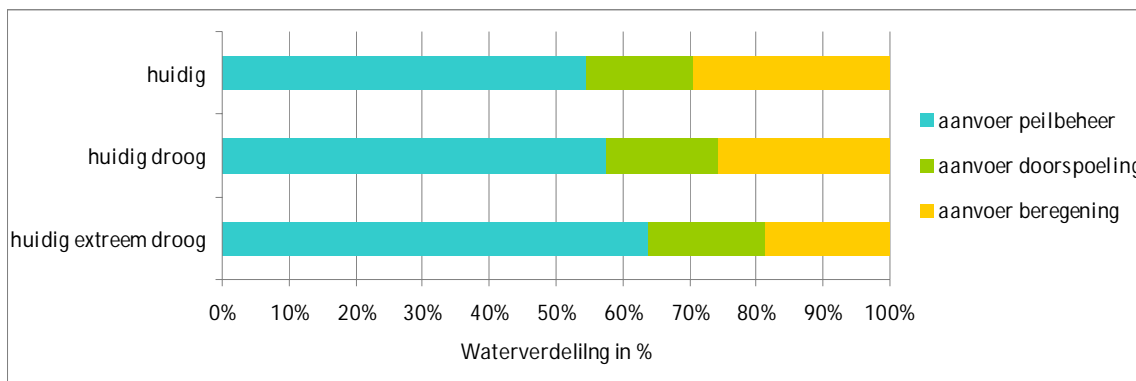
### 3.14.2 De gestelde watervraag per regio

In plaats van te berekenen hoeveel water gebieden in theorie vragen, kan ook worden vastgesteld hoeveel ze in werkelijkheid vragen. Dat noemen we de 'gestelde vraag', in tegenstelling tot de niet-gestelde – die immers alleen van theoretische betekenis is als toch geen aanvoer mogelijk is. Die 'gestelde vraag' heeft alleen betrekking op gebieden waar wateraanvoer uit het hoofdsysteem mogelijk is. We hebben de gestelde vraag afgeleid uit berekeningen met NHI, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar de drie genoemde hoofddoelen, en we hebben deze berekend voor verschillende karakteristieke jaren en in verschillende scenario's: huidig, G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM) in 2050.

De verdeling van aangevoerd water over de drie hoofddoelen van het regionaal waterbeheer in de huidige situatie is weergegeven in Figuur 3.16. Daaruit blijkt dat hoe droger de zomer, des te meer water naar peilbeheer gaat. Doorspoeling krijgt dan in procenten steeds minder, maar in absolute hoeveelheden blijft deze post ongeveer gelijk (Figuur 3.17). De aan het hoofdwatersysteem gestelde vraag varieert van ca 1,5 tot 2,5 km<sup>2</sup>/jaar, wat veel minder is dan de circa 23 km<sup>2</sup> totaalvraag in een gemiddeld jaar tot bijna 26 km<sup>2</sup> in een zeer droog jaar. Dit verschil wordt in de zomer 'gedekt' uit de dan vallende neerslag, uit kwel en uit interen op grondwatervoorraden, en het wordt in de winter weer aangevuld uit neerslagoverschotten.



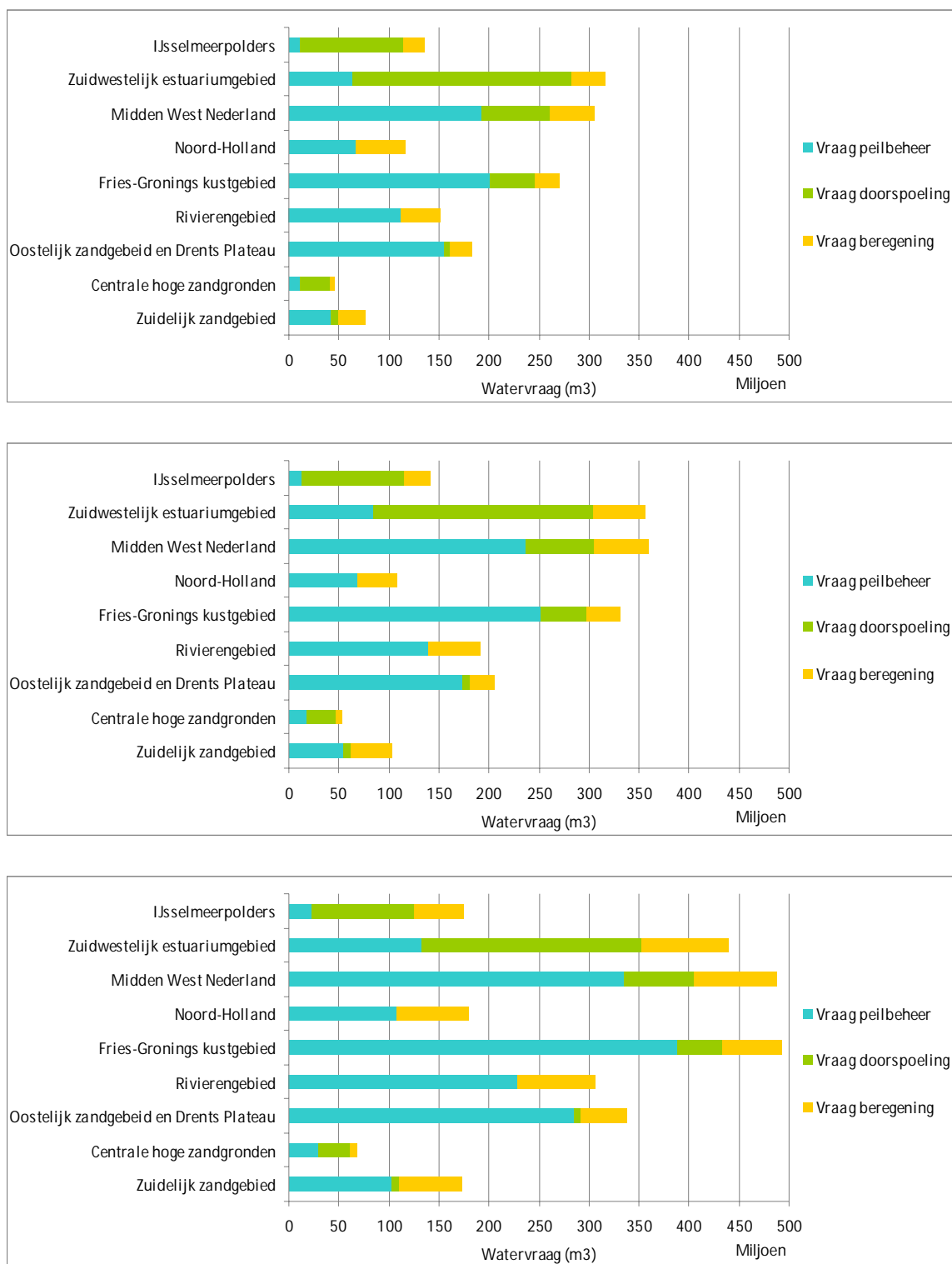
Figuur 3.16 Hoeveelheden aangevoerd water per hoofddoel (in miljoenen kubieke meters), in de huidige situatie (huidig klimaat) in drie verschillende karakteristieke droogtejaren.



Figuur 3.17 Procentuele verdeling van aangevoerd water over de drie hoofddoelen van wateraanvoer uit het hoofwatersysteem, in de huidige situatie (huidig klimaat) in drie verschillende karakteristieke droogtejaren.

In Figuur 3.18 en Figuur 3.19 is te zien dat de gestelde regionale watervraag in de zandgebieden – waar water niet in onbeperkte hoeveelheden beschikbaar is – relatief gering is, zowel in kubieke meters als in mm waterschijf; deze vraag wordt volledig bepaald door de kleine oppervlakken waar nog wel water naar kan worden aangevoerd. In de regio's waar water wel ruim voorhanden is, is de vraag in mm waterschijf ook het grootst: IJsselmeerpolders, Midden- West Nederland en het Zuidwestelijk estuariumgebied (vrijwel volledig bepaald door Goeree-Overflakkee). Het Rivierengebied en het Fries-Gronings kustgebied komen daar achteraan. Het oostelijk zandgebied vraagt veel in kubieke meters, maar in mm waterschijf is het beperkt; dat is het gevolg van het zeer grote oppervlak waarover het water – in theorie – wordt verdeeld.

Opvallend, en het gevolg van de wijze van schematiseren in NHI, is dat Noord-Holland geen water vraagt voor doorspoeling: alle doorspoeling betreft daar de kanalen die bij het hoofdsysteem horen. Ook Friesland- Groningen vraagt maar weinig voor doorspoeling: ook de Friese boezem wordt tot het hoofdsysteem gerekend. Omgekeerd is de doorspoelingsvraag van de Centrale zandgronden ook opmerkelijk; deze komt voort uit de doorspoelingsvraag van Amersfoort voor z'n stadswateren, die juist weer niet bij het hoofdsysteem hoort, terwijl de grachten en stadswateren van Rotterdam en Amsterdam – die flink worden doorgespoeld – wel tot het hoofdsysteem worden gerekend.



Figuur 3.18 'Gestelde watervraag' per regio, uitgesplitst naar aard van de vraag, voor een gemiddeld jaar (boven), een droog jaar (midden) en een zeer droog jaar (onder) in het huidige klimaat, in Mm<sup>3</sup>



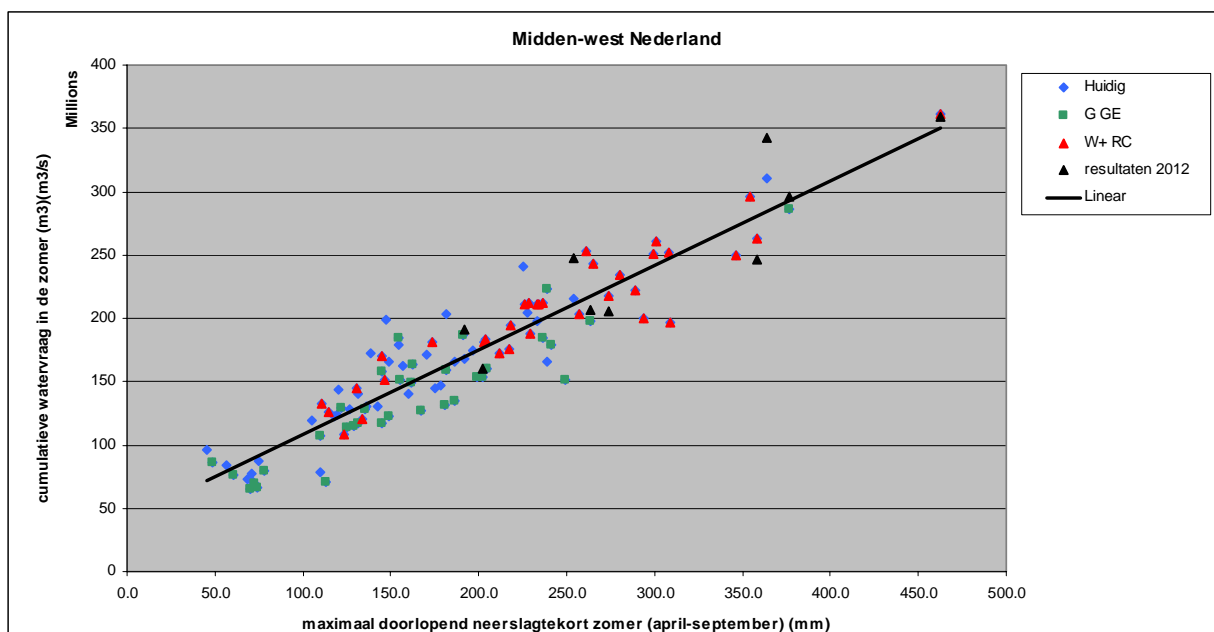
Figuur 3.19 'Gestelde watervraag' per regio (in mm waterschijf, 'uitgesmeerd' over het hele gebied), uitgesplitst naar aard van de vraag, voor een gemiddeld jaar (boven), een droog jaar (midden) en een zeer droog jaar (onder) in het huidige klimaat.

### 3.14.3 Hoeveel vaker komt een grote regionale watervraag in de toekomst voor?

Figuur 3.18 en Figuur 3.19 geven de watervraag weer, zoals berekend met NHI voor de drie karakteristieke jaren (grotweg 1:2, 1:10 en 1:100). Daarmee is er echter nog geen antwoord gegeven op de vraag hoe de regionale watervraag zich in de toekomst zou kunnen ontwikkelen, onder invloed van klimaatverandering. Die vraag wordt hier kort geadresseerd, en uitgebreider in hoofdstuk 5. *En passant* maken we hier duidelijk dat het gebruik van karakteristieke jaren in deze knelpuntenanalyse verantwoord is in het onderzoek inzake wateraanvoer, gezien de goede correlatie die we hebben kunnen vaststellen tussen de watervraag en het weer.

Voor deze analyse is allereerst met versie 2.1 van het NHI een 35-jarige reeks weersomstandigheden doorgerekend. De 35-jaarsberekeningen zijn uitgevoerd voor het huidige klimaat (historische reeks) en voor het klimaat in 2050 bij de scenario's W+/RC (WARM) en G/GE (DRUK). De uitkomsten zijn daarna gecorrigeerd om aan te sluiten bij versie 2.2. van het NHI.

Met de uitkomsten van de 35-jaarsberekeningen is eerst het verband tussen het maximaal doorlopend neerslagtekort en de regionale watervraag voor zowel peilbeheer als beregening onderzocht. Daar blijkt per regio een sterke correlatie tussen te bestaan (zie Figuur 3.20, waarin een voorbeeld voor Midden-West Nederland). Deze correlatie wordt veroorzaakt doordat niet alleen de watervraag voor beregening afhangt van de verdamping, maar die voor peilbeheer ook voor een belangrijk deel. De gevonden correlatie tussen de watervraag en het neerslagtekort wijzigt niet als gevolg van klimaatverandering; de correlatie is wel gebiedsspecifiek, want afhankelijk van de eigenschappen van bodem, grondwater en wateraanvoermogelijkheden. De relaties tussen het maximaal doorlopend neerslagtekort en de watervraag stellen ons in staat om per deelgebied een schatting te maken van de watervraag, zonder dat daarvoor opnieuw met NHI behoeft te worden gerekend.



Figuur 3.20 Relatie tussen het maximaal doorlopend neerslagtekort en de cumulatieve watervraag voor peilbeheer voor het gebied Midden- West Nederland.

Ook zijn per gebied de herhalingstijden uitgezet tegen de watervraag, waarmee het mogelijk wordt de gevolgen van klimaatscenario's weer te geven als een verschuiving van herhalingstijden. Figuur 3.21 toont dit verband voor Midden-West Nederland, voor het huidige klimaat en de beide deltasenario's G/GE (DRUK) en W+/ RC (WARM). Hier heeft een watervraag voor *peilbeheer* van circa 225 mm in het zomerhalfjaar nu een herhalingstijd van 10 jaar; in scenario W+/RC wordt deze hoeveelheid water iedere 3 jaar gevraagd. De analyses wijzen uit dat de watervraag voor berekening een vergelijkbare verschuiving van de herhalingstijden laat zien. Klimaatscenario G laat ook wel enige verschuivingen zien van de herhalingstijden, maar die zijn niet significant. De verschillen tussen scenario G en huidig klimaat vallen binnen de onzekerheidsband.

De herhalingstijden laten een dusdanig goede relatie zien met de vraag voor peilbeheer en berekening, dat hieruit kan worden geconcludeerd dat een analyse op basis van karakteristieke jaren verantwoord is voor het schatten van de regionale watervraag, in verschillende jaren en bij verschillende scenario's.



Figuur 3.21 De herhalingstijd van de cumulatieve watervraag voor peilbeheer voor het gebied Midden- West Nederland in 3 verschillende 'klimaten'.

Tabel 3.12 geeft een overzicht van de op basis van deze regionale verbanden afgeleide herhalingstijden van de karakteristieke jaren in het huidige klimaat en de herhalingstijden van dezelfde watervraag in klimaatscenario W+, voor alle waterhuishoudkundige regio's. Hierin is heel duidelijk zichtbaar dat bij scenario W+ een grote watervraag als gevolg van droge en extreem droge jaren veel vaker voor zal komen: grofweg een factor 5 tot 8 vaker.

Tabel 3.12 Afgeleide herhalingsjaren van een bepaalde watervraag voor peilbeheer (links) en berekening uit het oppervlaktewater (rechts) voor de drie karakteristieke jaren per waterhuishoudkundige regio. Te lezen als: "eens per ... jaar".

Regio	Jaar Scenario	Peilbeheer			Berekening		
		Gemiddeld	Droog	Extreem droog	Gemiddeld	Droog	Extreem droog
Zuidelijke zandgebied	huidig	3	11	124	2	5	156
	W+	1	3	20	1	1	28
Centrale hoge zandgronden	huidig	6	5	37	2	6	50
	W+	2	2	9	1	2	15
Oostelijk zandgebied	huidig	5	7	85	4	7	121
	W+	1	2	11	1	2	33
Rivierengebied	huidig	4	8	45	3	6	61
	W+	1	2	12	1	2	22
Fries-Gronings kustgebied	huidig	4	8	66	4	10	82
	W+	1	2	12	1	3	22
Noord Holland	huidig	7	4	36	5	6	39
	W+	1	1	1	2	2	13
Midden-west Nederland	huidig	3	8	97	3	9	71
	W+	1	2	20	1	3	25
Zuidwestelijk Estuariumgeb.	huidig	2	10	56	3	7	74
	W+	0	3	19	1	2	18
IJsselmeerpolders	huidig	3	4	47	3	6	55
	W+	1	1	13	1	2	10



## 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 beken<sup>5</sup>. 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

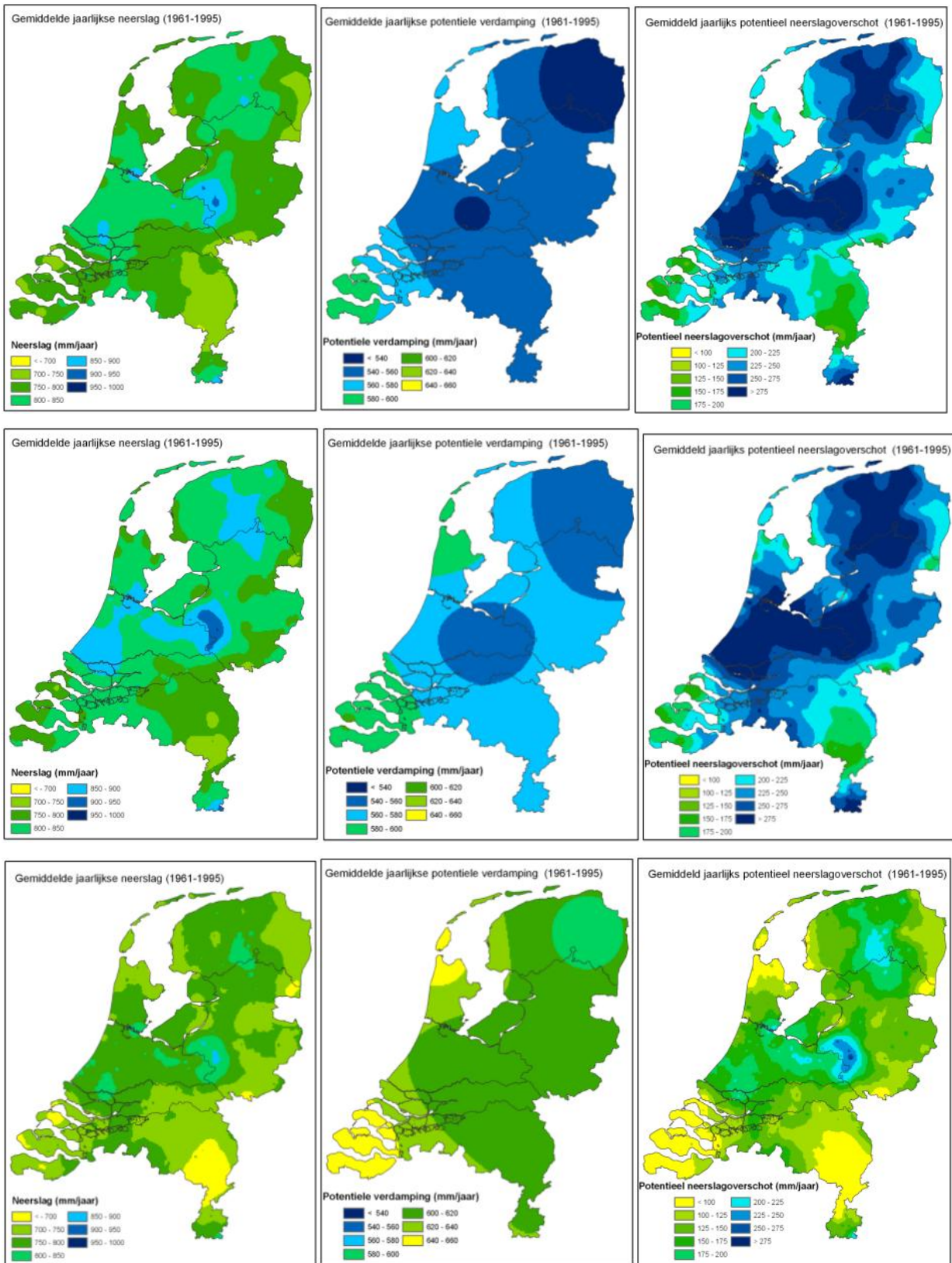
De verticale waterbalans heeft betrekking op de verhouding tussen neerslag en verdamping. Beide variëren in de loop van het jaar. De verticale waterbalans is een belangrijke indicator van het klimaat (zie bijv. de Bosatlas of The Times Atlas of the World).

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 zijgt 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.

---

5. 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 referentieverdamping weergegeven in Figuur 4.2. De referentieverdamping is de verdamping die zou optreden als overal gras groeide en dat genoeg water kreeg (Makkink- PE). Ten eerste groeit natuurlijk niet overal gras. Houden we rekening met verschillen in begroeiing, maar veronderstellen we wel genoeg water om maximaal te verdampen, dan spreken we van *potentiële verdamping*. Als we ook nog rekening houden met het feit dat er niet altijd voldoende water beschikbaar is om maximaal te verdampen, dan spreken we van *actuele verdamping*.

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.

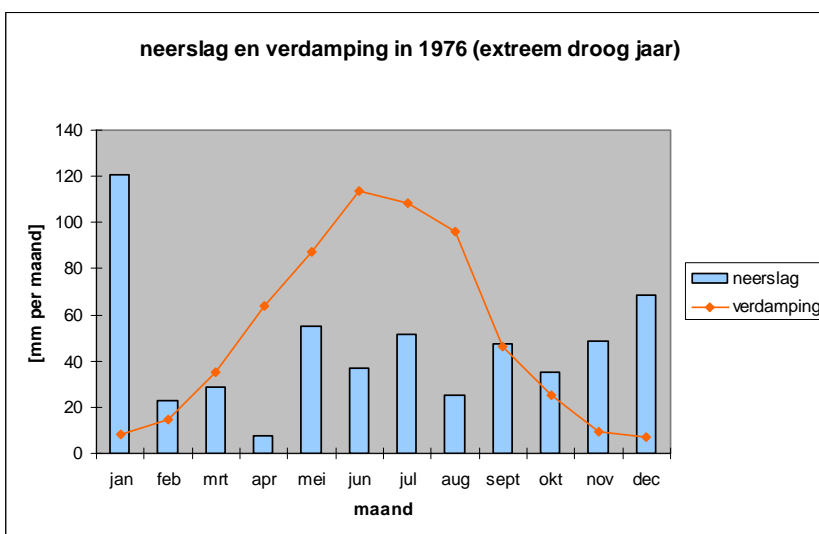
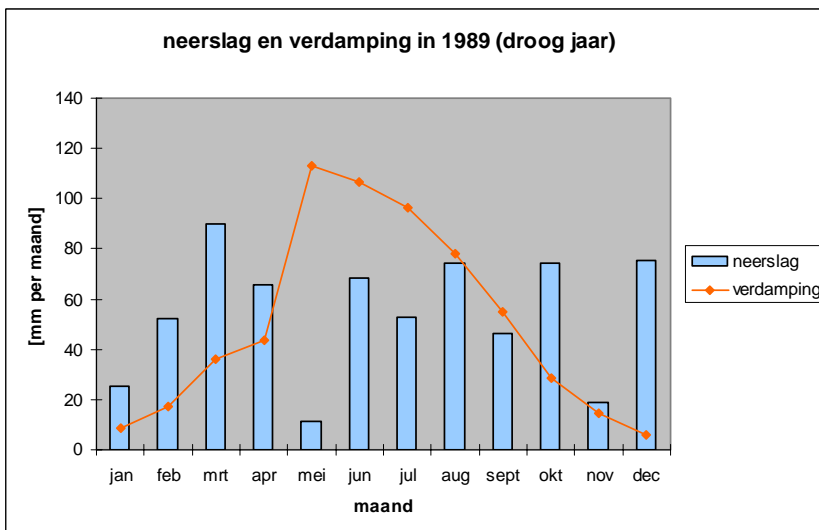
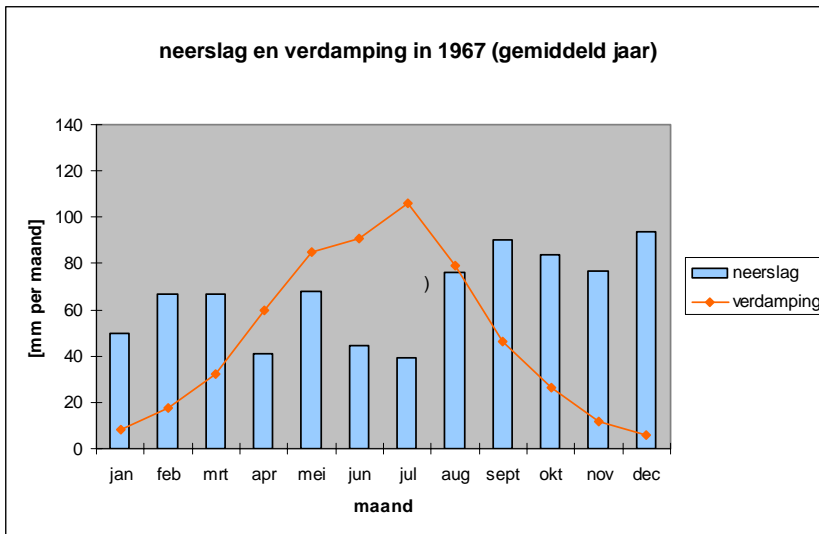
Uit de figuur blijkt ook dat ieder jaar anders is, de keuze van karakteristieke droogtejaren lastig, en het principe van karakteristieke jaren discutabel: er is altijd sprake van een toevalselement en invloed van de 'timing' op de gevolgen voor verschillende sectoren en verschillende teelten. Daar komt 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.



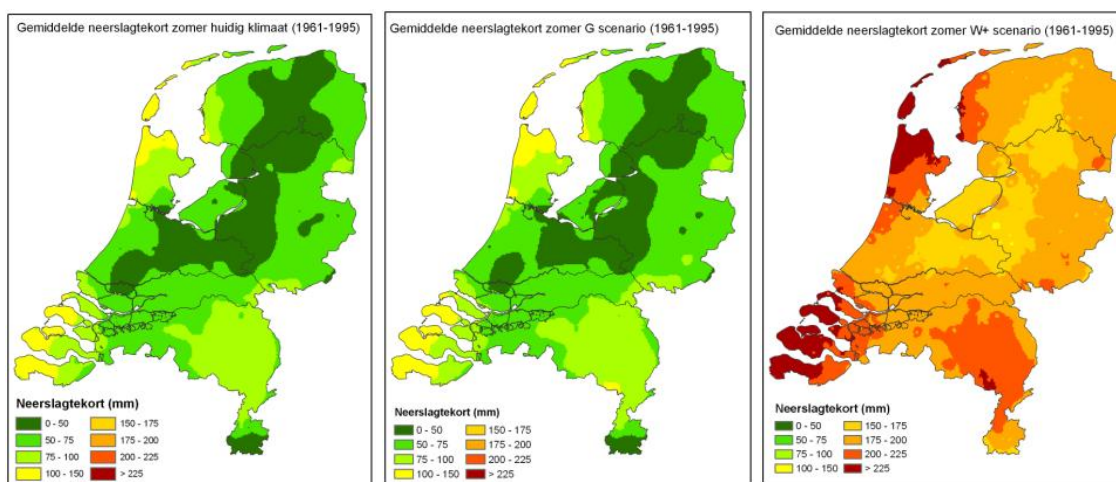
Figuur 4.2 Neerslag en referentieverdamping in de 3 karakteristieke droogtejaren, waarmee de analyses zijn gedaan

#### 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!

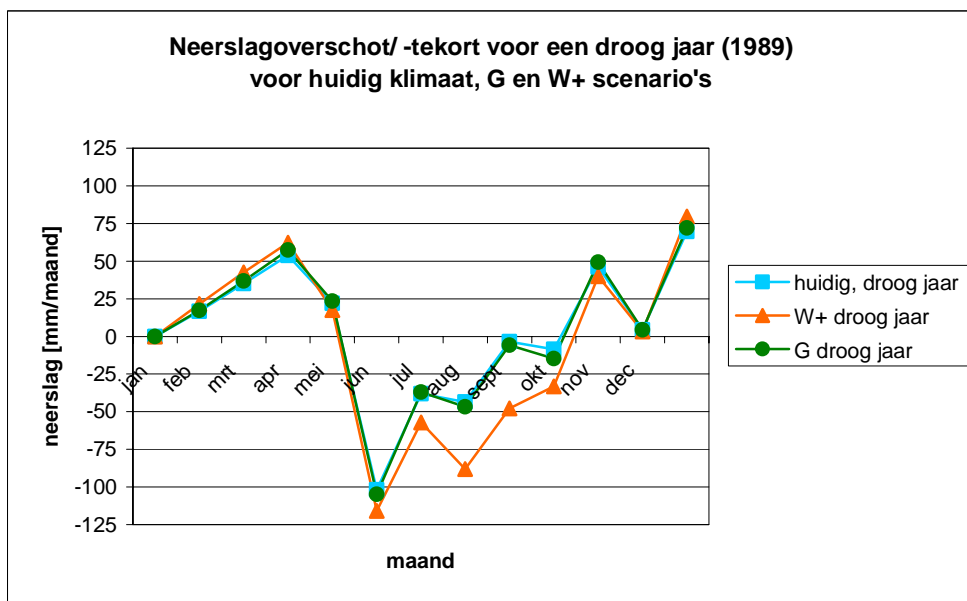
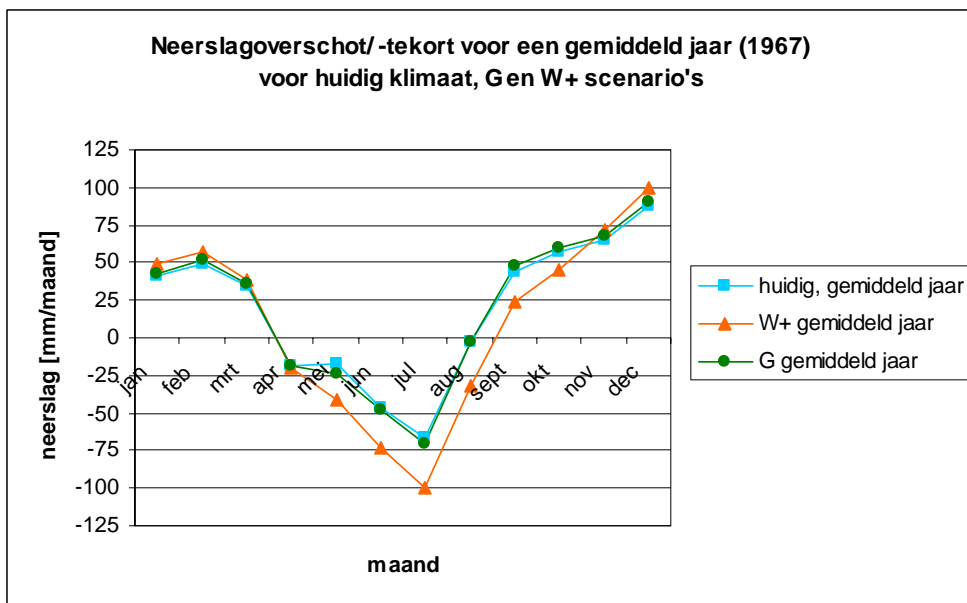
Hoe al deze veranderingen zich ruimtelijk manifesteren is te zien in Figuur 4.1 voor scenario G in 2050 in het midden en voor scenario W+ in 2050 onderaan. We zien dat de verschillen tussen neerslag en potentiële verdamping over het gehele jaar door klimaatverandering vooral in het W+ scenario fors veranderen. 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

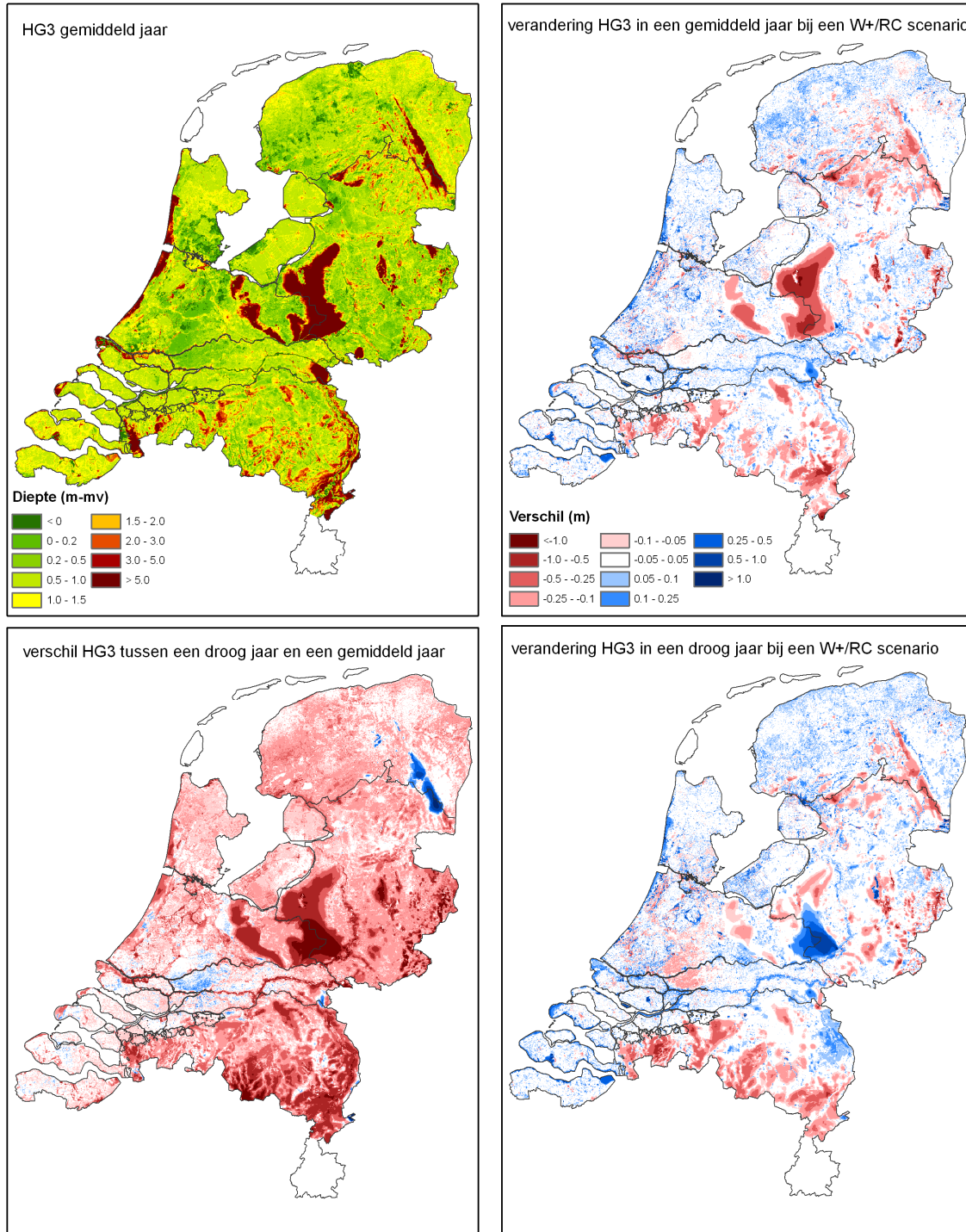
In perioden met neerslagoverschot stijgen de grondwaterstanden in de bodem. Daardoor komt de grondwaterspiegel tussen sloten, greppels of beken in de winter *bol* te staan. Het water stroomt langzaam ondergronds naar de sloten, greppels en beken, afhankelijk van de doorlatendheid van de grond. In perioden 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 in de zomer *hol* komen te staan tussen sloten, waarvandaan water in de grond infiltreert. In de hogere zandgronden, waar sloten meestal ontbreken, zijn greppels dan al drooggevallen en bij langdurige droogte vallen ook de beken soms droog.

Grondwaterstanden en het verloop daarvan kan op veel verschillende manieren worden weergegeven, met verschillende 'maatlatten'. Veel gebruikte maatlatten zijn de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). De waarde van deze maatlatten wordt berekend door het gemiddelde van de 3 hoogste of laagste grondwaterstanden op de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> dag van de maand per jaar over een periode van minimaal 8 jaar. *Wanneer geen 8-jarige reeks beschikbaar is, kan gebruik worden gemaakt van het gemiddelde van de hoogste drie grondwaterstanden (HG3 genoemd) en het gemiddelde van de laagste drie grondwaterstanden (LG3 genoemd) van eveneens de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> dag van de maand, maar dan van een specifiek jaar. Deze maatlatten zijn hier gebruikt. De getoonde kaarten zijn gebaseerd op nieuwe berekeningen met een langere aanlooptijd, om beter evenwicht te krijgen. Ze zijn dan ook iets anders dan de kaarten in de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011).*

Figuur 4.5, links boven, geeft de berekende gemiddeld hoogste grondwaterstanden (HG3) in de huidige situatie voor een gemiddeld jaar. Deze verschillen al naar gelang de bodemopbouw en hoogteligging. In laagveen- en kleigebieden zien 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 HG3 over het algemeen lager dan in een gemiddeld jaar (links onder).

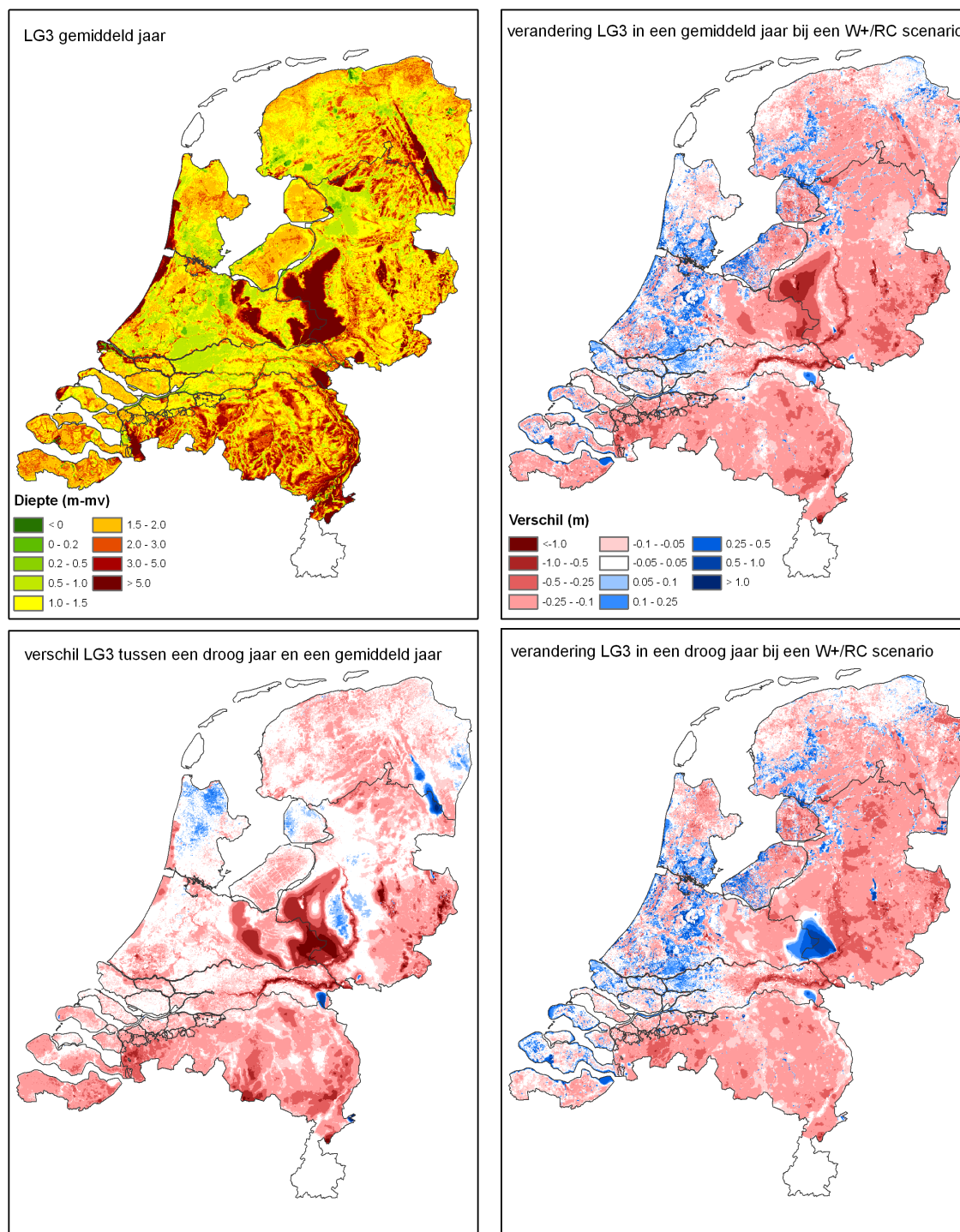
Figuur 4.6, links boven, toont de gemiddeld laagste grondwaterstanden (LG3). Die verschillen eveneens al naar gelang de bodemopbouw en hoogteligging. Ze vertonen een vergelijkbaar verspreidingspatroon. In een droog jaar is de LG3 – net als de HG3 – over het algemeen ook lager (zelfde figuur, links onder). De invloed van een droog jaar op de HG3 is in de poldergebieden duidelijk geringer dan die op de LG3, omdat de GHG mede wordt bepaald door de voorafgaande periode, die in dit droge jaar minder afwijkt van het gemiddelde. De verschillen in Hoog-Nederland – waar diepe grondwaterstanden voorkomen – worden vooral bepaald door langjarige trends; hierdoor zijn de gevolgen van een droog jaar voor de HG3 en LG3 in de hogere zandgronden vrijwel gelijk.

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. 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 ondiepe grondwater zelf nog enige buffer.



**Figuur 4.5** Gemiddelde van de 3 hoogste berekende grondwaterstanden (HG3) 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 verandering van beide in 2050 door klimaatverandering bij scenario W+/RC (WARM) (rechts, ten opzichte van de evenknie links).





**Figuur 4.6** Gemiddelde van de 3 laagste berekende grondwaterstanden (LG3) 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 verandering van beide in 2050 door klimaatverandering bij scenario W+/RC (WARM) (rechts, ten opzichte van de evenknie links)

In peilbeheerste gebieden met veel sloten kunnen ook de sloten nog als buffer fungeren. 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.

#### 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.

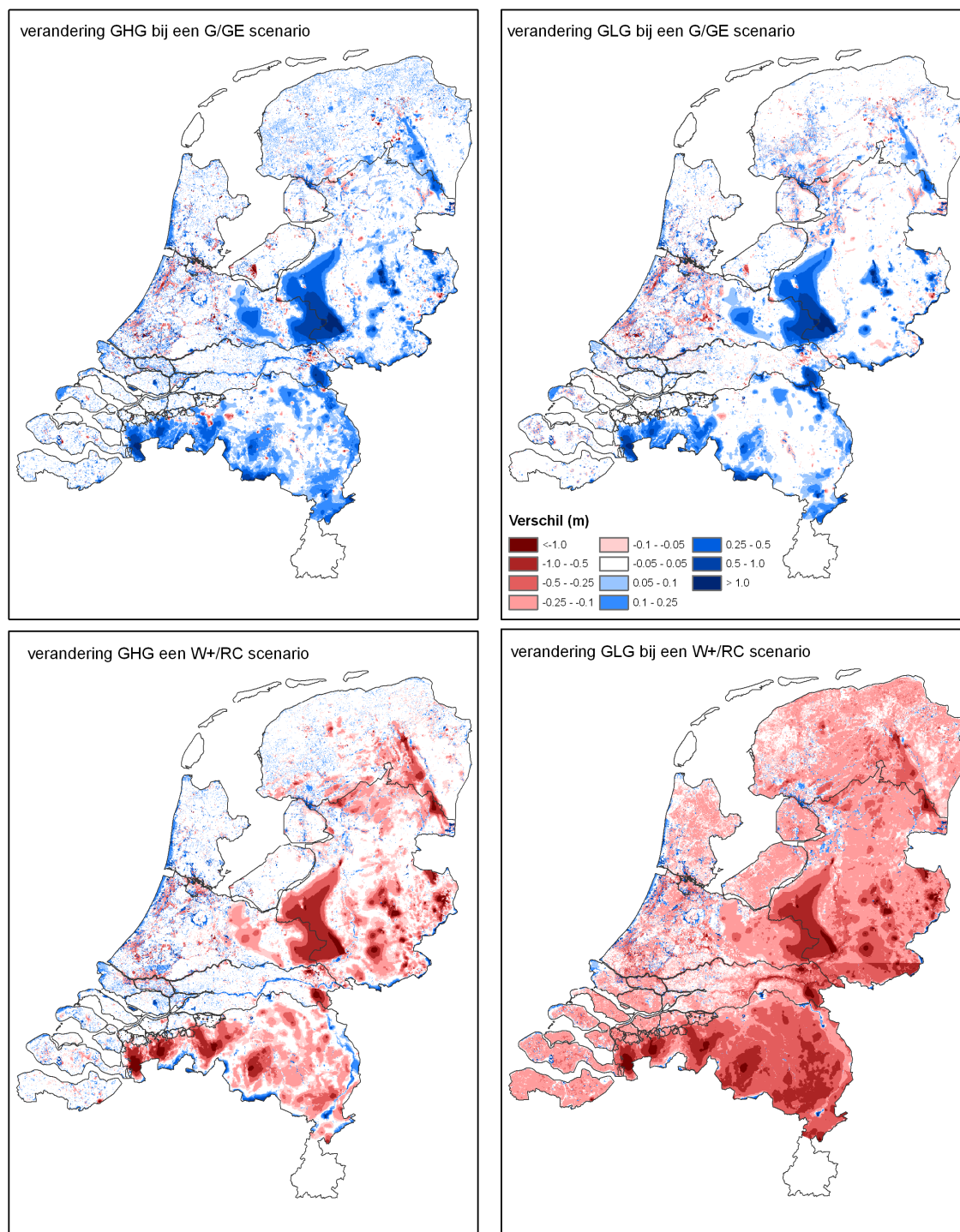
We zien in Figuur 4.6 (linksboven) dat de laagste grondwaterstanden in de kleigebieden van Laag-Nederland (Zuid-Holland, Flevoland, Friesland-Groningen) tot meer dan 1,5 m onder maaiveld komen te liggen in een gemiddeld jaar. In een droog jaar is dat nauwelijks dieper (linksonder), vooral door het peilbeheer 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 weinig 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 in een representatief jaar in een W+-scenario 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. Dit wordt veroorzaakt omdat de hoge grondwaterstanden in de peilgestuurde gebieden worden bepaald door neerslag op één moment en de grondwaterstanden op de hogere zandgronden worden veroorzaakt door het jaarlijkse neerslagoverschot, dat als gevolg van het W+ klimaatscenario kleiner wordt.



*Figuur 4.7* Verandering van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) door klimaatverandering bij scenario G/GE in 2050 (boven, links), van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in dat scenario (boven, rechts) en verandering van de GHG respectievelijk GLG in 2050 door klimaatverandering bij scenario W+/RC (WARM) (onder, links; respectievelijk onder, rechts).

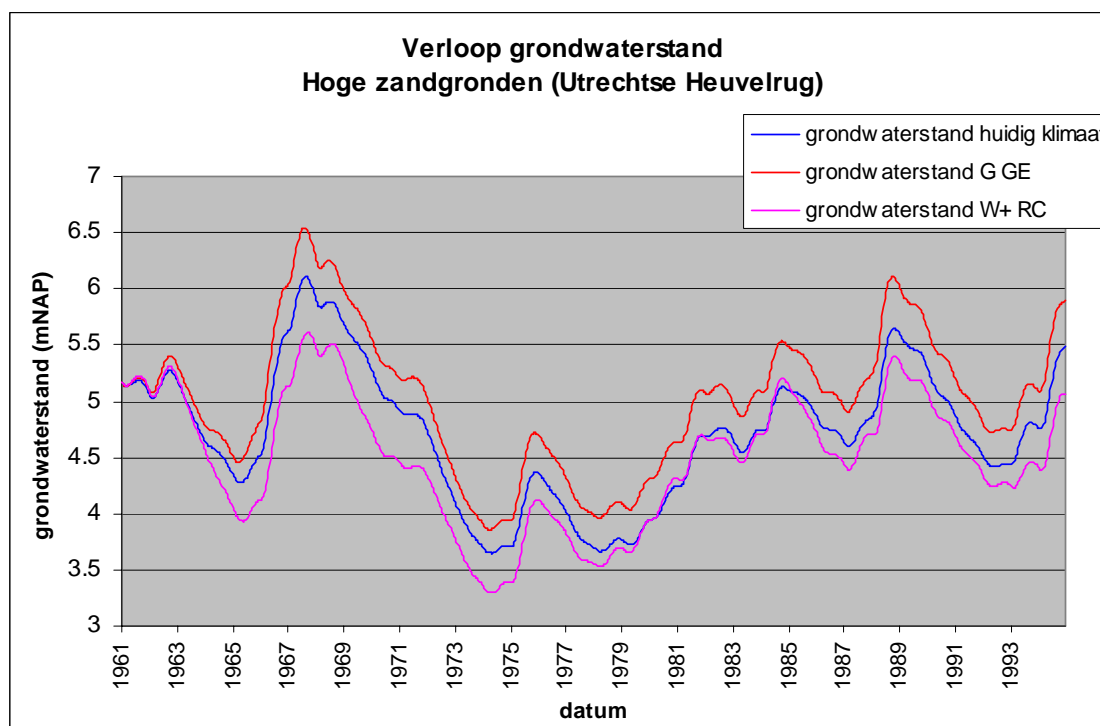
De gemiddeld laagste grondwaterstanden (Figuur 4.6) zijn in het scenario W+/ RC voor een groot deel van het hele land lager. Op de zandgronden is de daling over het algemeen zo'n 10-25 cm, in peilbeheerste gebieden in Laag- Nederland is deze wat minder. Hier is lokaal ook een stijging mogelijk. Dit verschil in hogere versus lagere grondwaterstanden wordt veroorzaakt door verschillen in bodemdaling als gevolg van de heterogene bodemopbouw. Bovendien valt in Figuur 4.6 ook op dat de lage waterstanden in de grote rivieren tot grondwaterstanddalingen gaan leiden, zowel in een gemiddeld jaar als in een droog jaar (rechtsboven, respectievelijk rechtsonder). De rivieren gaan extra draineren. Dit is te zien bij de Maas, Waal en IJssel met uitstraling naar de wijde omgeving.

In Figuur 4.5 en Figuur 4.6 zijn verschillen in de grondwaterstand weergegeven als gevolg van variabiliteit – in het huidige klimaat – en klimaatverandering. Aldus wordt inzichtelijk hoe variabel het huidige klimaat is, en hoe groot de effecten van het meest 'zomerdroge' klimaatscenario zijn in een gemiddeld en een droog jaar. *Bij een analyse van specifieke jaren wordt echter onvoldoende rekening gehouden met langjarige trends en het najen van het langzaam reagerende grondwatersysteem. Daarom is, naar aanleiding van de eerste knelpuntenanalyse, nu ook onderzocht wat in 2050 de effecten zouden kunnen zijn van het W+/RC-scenario (WARM) en het G/GE- scenario (DRUK) op de gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstanden over een periode van 35 jaar (respectievelijk GHG en GLG). De resultaten van deze analyse, waarbij op de KNMI-meetreeks van 1961-1995 de scenario's zijn losgelaten, zijn weergegeven in Figuur 4.7. Hieruit blijkt dat bij scenario G/GE (DRUK) door het grotere neerslagoverschot de grondwaterstanden in de hogere zandgronden zullen stijgen, zowel de hoge als de lage. In gebieden met ondiepe grondwaterstanden kan zowel stijging als daling optreden.* De verschillen in Laag- Nederland worden deels veroorzaakt door verschillen in de bodemdaling.

*In klimaatscenario W+/RC dalen de grondwaterstanden in de hoge zandgronden; ook nu zowel de hoge als de lage. In Laag- Nederland wordt weinig verandering van de hoge grondwaterstanden berekend. De lage grondwaterstanden dalen daar echter ook, net als in de rest van Nederland. De daling in de hoge zandgronden is het opvallendst en het ernstigst, maar ook voor de gebieden met ondiepe grondwaterstanden wordt een duidelijke daling berekend. Dat zijn vaak klei- of veengebieden, zodat het gevolgen kan hebben voor de snelheid van bodemdaling.*

*In Figuur 4.8 is het berekende verloop van de grondwaterstand in de tijd weergegeven voor een locatie op de Utrechtse Heuvelrug. Dit toont duidelijk de systematisch enkele decimeters hogere grondwaterstand in scenario G/GE en de vrijwel steeds lagere in scenario W+/RC. Wat ook opvalt, is dat de verschillen ten opzichte van het huidige klimaat sterk afhankelijk zijn van het neerslagverloop over het jaar in een bepaalde periode. Zo wordt een duidelijk lagere grondwaterstand berekend in scenario W+/RC voor de periode 1965-1975, maar voor de periode 1980-1985 is het verschil met de grondwaterstand in het huidige klimaat veel kleiner.*

Uit de figuur blijkt tenslotte heel duidelijk dat de grondwaterstand in een inziggingsgebied op de hogere zandgronden veel gevoeliger is voor verschillen tussen jaren dan voor de effecten van klimaatverandering. Het grondwaterpeil fluctueert sterk. Dat de verschillen tussen jaren groot zijn is ook af te leiden uit Figuur 4.5 en Figuur 4.6: in de plaatjes linksonder is steeds het verschil tussen een droog jaar en een gemiddeld jaar weergegeven. Deze verschillen zijn voor zowel de HG3 als de LG3 groter dan de verschillen als gevolg van klimaatverandering (plaatjes rechts onder).

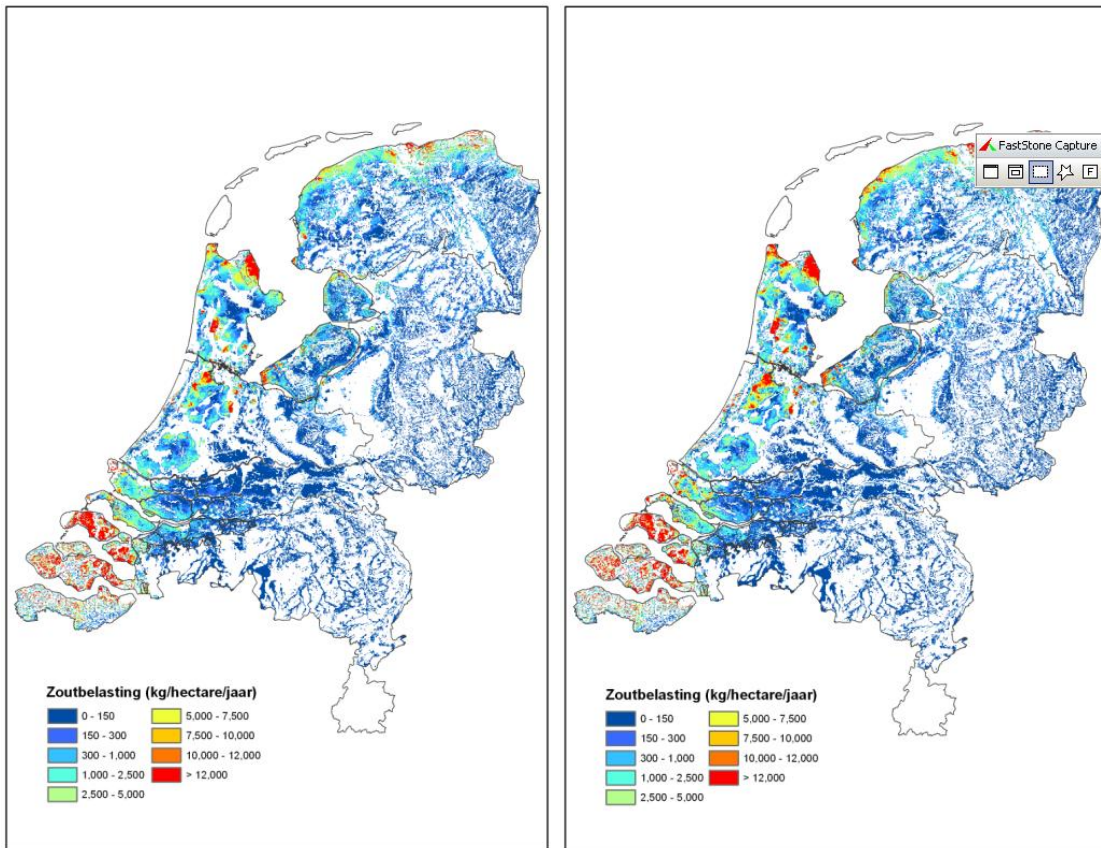


Figuur 4.8 Berekend verloop van de grondwaterstand voor een locatie op de Utrechtse Heuvelrug voor respectievelijk het huidige klimaat, scenario G /GE en scenario W+ /RC.

#### 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 4.9). 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.

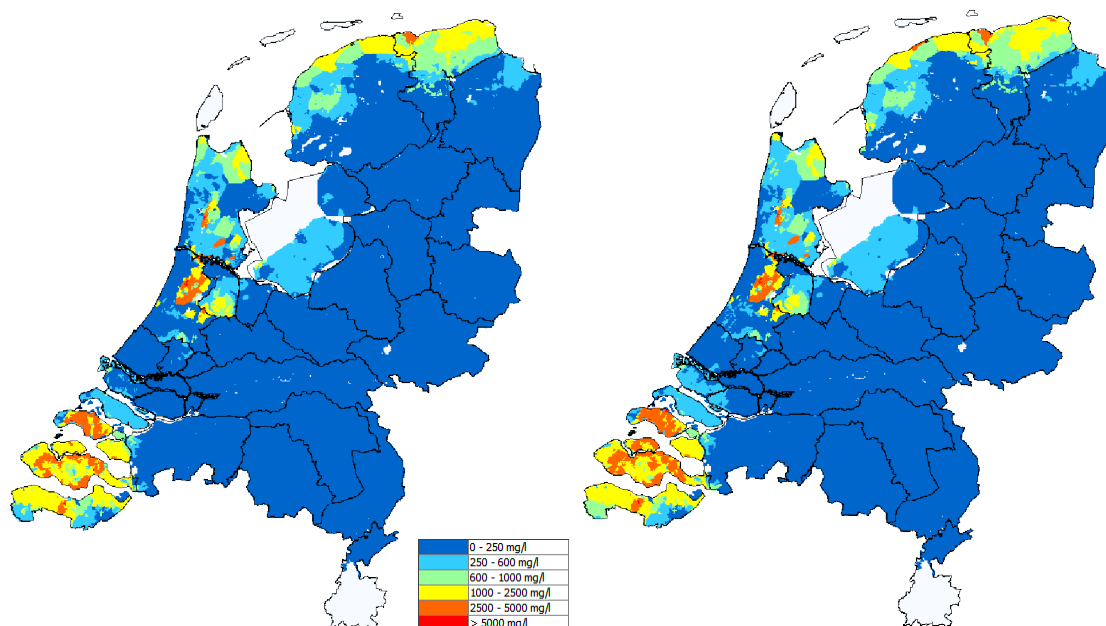


Figuur 4.9 Zoutbelasting vanuit het grondwater (interne verzilting) in de huidige situatie (links) en in 2050 bij scenario W+/ RC.

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 over het algemeen toe, met name doordat de brakke kwel minder wordt verdund door zoet neerslagwater. Daarnaast kent ook het inlaatwater hogere zoutconcentraties, en kan er zelfs sprake zijn van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de sloten nog verder toeneemt. Om de kwaliteit van het water niet te laten verslechteren neemt de behoefte aan doorspoelwater toe. In de berekeningen met het NHI wordt deze koppeling tussen toenemende chlorideconcentraties en toenemende behoefte aan doorspoelwater niet meegenomen. Er is gerekend met een gelijkblijvend doorspoeldebiet, omdat hierover gegevens beschikbaar waren.

In Figuur 4.10 zien we de gebieden terugkomen waar interne verzilting een probleem vormt: de zuidwestelijke delta, de Hollandse droogmakerijen, het Fries- Groningse kustgebied en de IJsselmeerpolders. In een klimaat met drogere zomers (W+) is er sprake van een toename van chlorideconcentraties, al zijn de verschillen tussen de huidige situatie en die in scenario W+/RC (WARM) beperkt ten opzichte van de nu al voorkomende concentraties.

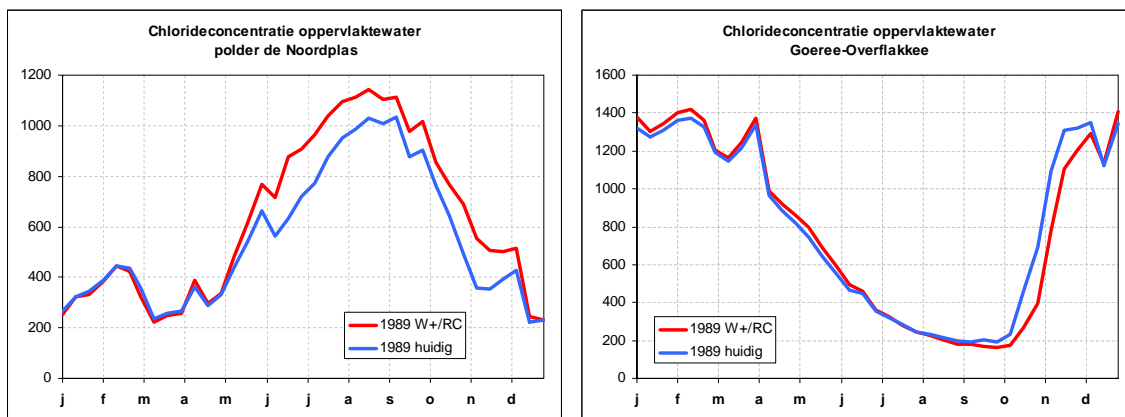


Figuur 4.10 Zoutgehalte (mg Cl/l) in de sloten op 1 juli van een droog jaar in het huidige klimaat en bij scenario W+/RC (WARM) in 2050, berekend met NHI.

In Figuur 4.10 zien we voor een droog jaar de sloten op de Zeeuwse (schier)eilanden in de zomer sterk verzilten, en die in Friesland-Groningen, de IJsselmeerpolders en de droogmakerijen van de beide Hollanden licht brak worden. Dat is al het geval in het huidige klimaat. In scenario W+/RC wordt dat in 2050 iets erger op de Zeeuwse eilanden.

Het verloop in de tijd van de chlorideconcentratie in sloten wordt getoond in Figuur 4.11, en wel voor twee verschillende locaties. Deze figuur toont het verloop van de chlorideconcentratie voor een droog jaar en voor respectievelijk de huidige situatie en voor W+/RC (WARM). Links zien we het verloop in een diepe droogmakerij, waar het merendeel van de zoutlast is geconcentreerd in wellen. Wellen zijn locaties waar geconcentreerd brakke kwel uit het watervoerend pakket uittreedt. In de zomer neemt de zoutconcentratie in de sloten daardoor toe, omdat er minder bijmenging is van zoete neerslag. Door het grotere neerslagtekort in het W+-scenario is er nog minder bijmenging en neemt de chlorideconcentratie nog verder toe.

Rechts zien we het verloop zoals dat kenmerkend is voor een gebied waar onbeperkt met zoet water kan worden doorgespoeld, namelijk een locatie op Goeree-Overflakkee. De doorspoeling zorgt voor concentraties die in de zomer juist sterk verlaagd zijn. De doorspoeling domineert de zomerse waterbalans zo, dat klimaatverandering nauwelijks effect heeft op het zoutgehalte in het groeiseizoen. Daarentegen liggen de concentraties in het klimaatscenario door een toename van de zoutvracht 's winters wel boven de huidige concentraties, ondanks de grotere hoeveelheid winterneerslag. Dat komt deels door de hogere zeespiegel, die de kwelintensiteit doet toenemen.



Figuur 4.11 Berekend verloop van de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater in polder de Noordplas (links) en op Goeree-Overflakkee (rechts), voor een droog jaar, huidig (blauw) en W+/RC (WARM) (rood)

#### 4.3.4 Een bijzonder geval: neerslaglenzen die drijven op brak of zout grondwater

In gebieden waar op geringe diepte brak grondwater aanwezig is, zoals de Zeeuwse eilanden, zijn landbouwgewassen en natuurlijke plantengroei vaak aangewezen op de zoetwatervoorraad in neerslaglenzen. Deze ondiepe zoetwaterlenzen zijn te klein om in een model als NHI in genoeg detail mee te nemen. Toch is er op basis van ander onderzoek en beschikbare gegevens wel wat te zeggen over hoe deze lenzen zich in verschillende toekomstscenario's ontwikkelen. De Louw et al. (2011) hebben vastgesteld wat de meest bepalende factoren zijn voor de watervoorraad in een neerslaglens. Dit zijn de hoeveelheid kwel, het jaarlijkse neerslagoverschot en de diepteligging van drainagebuizen. Aannemende dat de ligging van de drainagebuizen in het toekomstscenario niet verandert, veranderen alleen de kwelhoeveelheid en het neerslagoverschot. In Tabel 4.1 zijn voor twee gebieden waar neerslaglenzen belangrijk zijn (Zeeland en Friesland) de veranderingen in neerslagoverschot en kwelverandering samengevat.

Tabel 4.1 Verandering neerslagoverschot en kwelflux in 2050 in klimaatscenario W+

Locatie	neerslagoverschot (mm/d)	kwel (mm/d)
De Bilt (als referentie)	- 0,27 mm/d (- 31%)	
Zeeland	- 0,31 mm/d (-68%)	- 0,1 tot + 0,1 (+ 12% gem)
Friesland	- 0,29 mm/d (- 43%)	- 0,1 tot + 0,1 (+ 8% gem)

In beide gebieden neemt de kwel wisselend toe en af, maar steeds veel minder dan het neerslagtekort toeneemt. Volgens De Louw et al. (2011) kan een afname van het jaarlijkse neerslagoverschot met 0,3 mm/d in een gedraineerd referentieperceel tussen sloten leiden tot een afname van de dikte van de neerslaglens van 25% betekenen. Een toename van de kwel met 0,1 mm/d zou ook een afname van 25% tot gevolg hebben. Gecombineerde effecten zijn niet onderzocht. Desalniettemin kan worden gesteld dat neerslaglenzen gevoelig zijn voor de



in klimaatscenario W+ voorspelde afname van het neerslagoverschot; de gebieden met neerslaglenzen liggen bovendien in die landsdelen waar het neerslagtekort het sterkste afneemt.

In het zuidwestelijk estuariumgebied wordt plaatselijk grondwater uit kreekruigen onttrokken. Ook in deze kreekruigen zijn zoetwaterlenzen gevormd, die iets groter van omvang zijn dan de neerslaglenzen in individuele percelen. Ze zijn ontstaan door infiltratie van neerslagoverschotten, op plaatsen waar het land relatief hoog ligt. Ook deze staan ook onder druk in klimaatscenario W+, omdat het neerslagoverschot afneemt. Daarmee neemt ook de hoeveelheid water die duurzaam uit deze kreekruigen kan worden onttrokken, af.

#### 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 4.15, 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

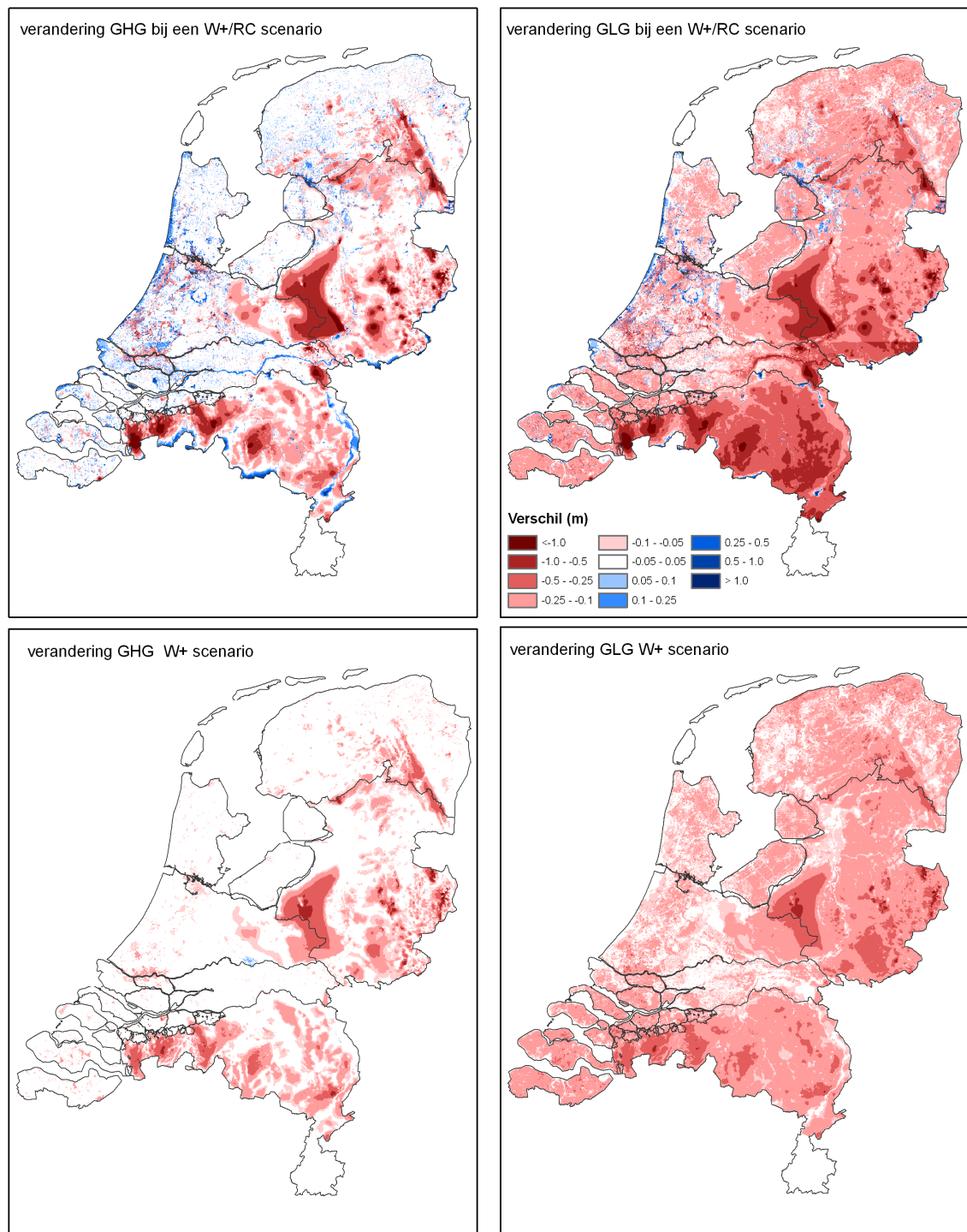
Hier moeten we onderscheid maken tussen de effecten van de scenario's voor de grondwaterstanden, de effecten voor de diepe grondwaterstromingen en de effecten op de grondwateraanvulling (kwel en wegzijging).

*Het diepe grondwater reageert traag op klimaatverandering. Voor het berekenen van lange-termijneffecten op het grootschalige grondwatersysteem zijn dan ook langjarige berekeningen noodzakelijk. Die zijn uitgevoerd voor het huidige klimaat en voor de scenario's W+/RC en G/GE. Tevens zijn enkele berekeningen gedaan om het effect van klimaatverandering alleen (hier W+) te kunnen onderscheiden van dat van klimaatverandering en socio-economische ontwikkeling samen (hier W+/RC).*

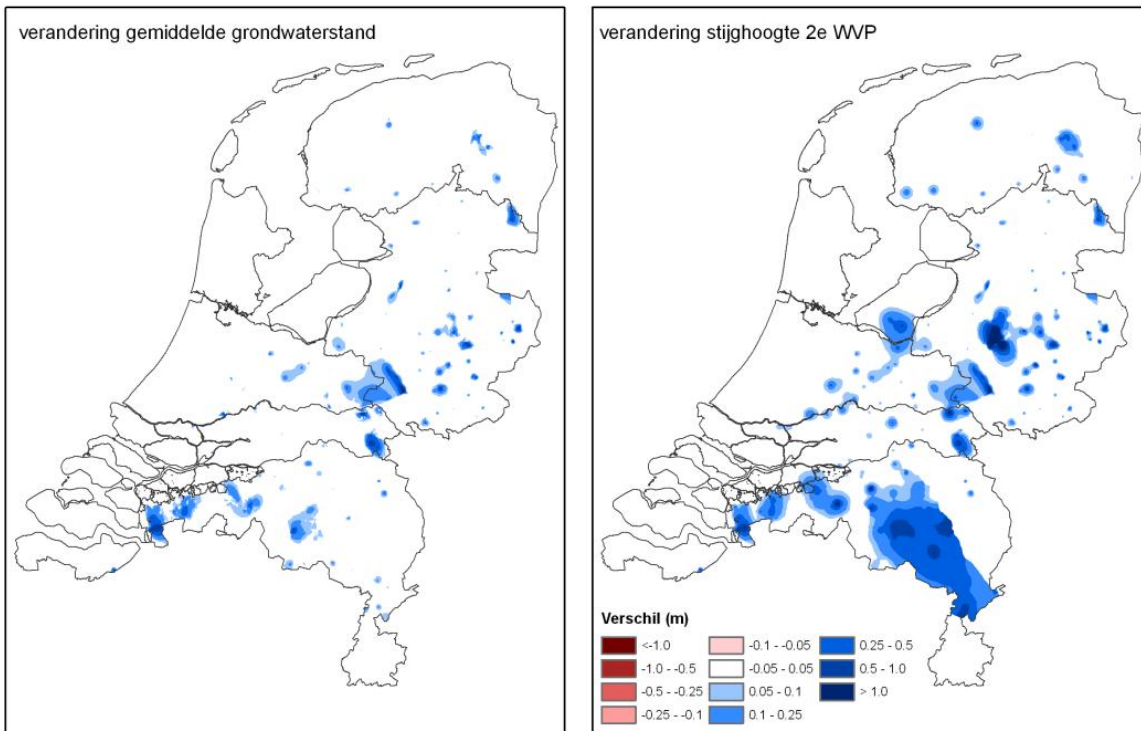
*De effecten van de scenario's G/GE en W+/RC voor de freatische grondwaterstanden zijn al besproken in paragraaf 4.3 en weergegeven in Figuur 4.7. Alleen klimaatverandering (scenario W+) geeft een vergelijkbaar beeld, maar de effecten zijn minder groot dan wanneer ook het socio-economische scenario verschilt. Dit is weergegeven in Figuur 4.12. Vergelijk in deze figuur bijvoorbeeld de verschillen in de verandering van de GHG (links boven en links onder) of die van de verandering van de GLG (rechts boven en rechts onder). De verschillen in Laag-Nederland zijn vooral het gevolg van verschillen in bodemdaling; die in Hoog-Nederland komen door toegenomen grondwateronttrekkingen die zich manifesteren in 'rode vlekken'.*

*Om de effecten van veranderende onttrekkingen voor de drinkwatervoorziening op de grondwaterstanden afzonderlijk te kunnen begroten, zijn nog enkele aanvullende berekeningen uitgevoerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aannames uit de eerste landelijke knelpuntenanalyse, dat wil zeggen een toename van de grondwateronttrekkingen met 30% in het GE- scenario, en een afname van 15% in het RC- scenario. De verandering van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van het tweede watervoerende pakket (WVP) die dat tot gevolg heeft, zijn weergegeven in Figuur 4.13 respectievelijk Figuur 4.14. Grotere onttrekkingen leiden tot plaatselijk veel lagere grondwaterstanden en lagere stijghoogten. Geringere onttrekkingen leiden tot hogere grondwaterstanden en grotere stijghoogten. De effecten treden vooral op in de hogere delen van Nederland, waar de meeste grondwateronttrekkingen zijn gelocaliseerd. Ten tweede zijn in het westen en noorden van het land dicht aan het oppervlak kleiformaties aanwezig die de effecten van een onttrekking naar het freatisch grondwaterpeil dempen, terwijl het bovendien peilbeheerste gebieden zijn.*

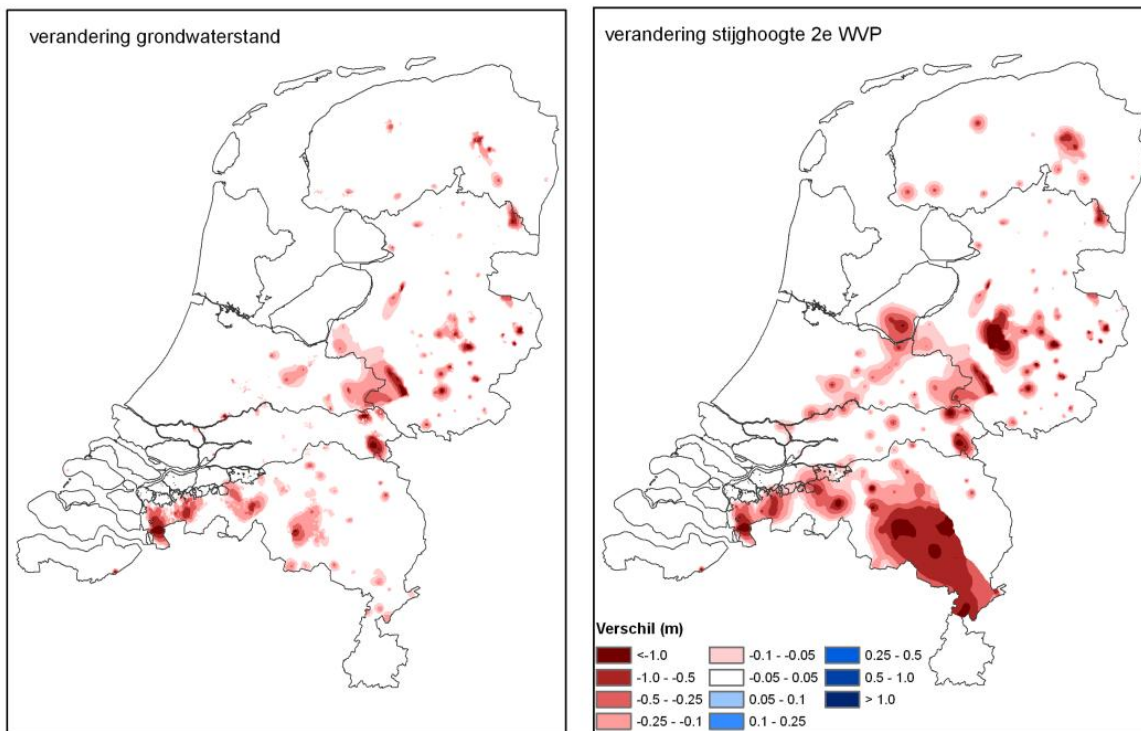
*Deze analyse leert ons dat een veranderende watervraag een veel groter effect heeft op het diepe grondwater dan de afnemende beschikbaarheid door klimaatverandering volgens het droogste klimaatscenario, W+.*



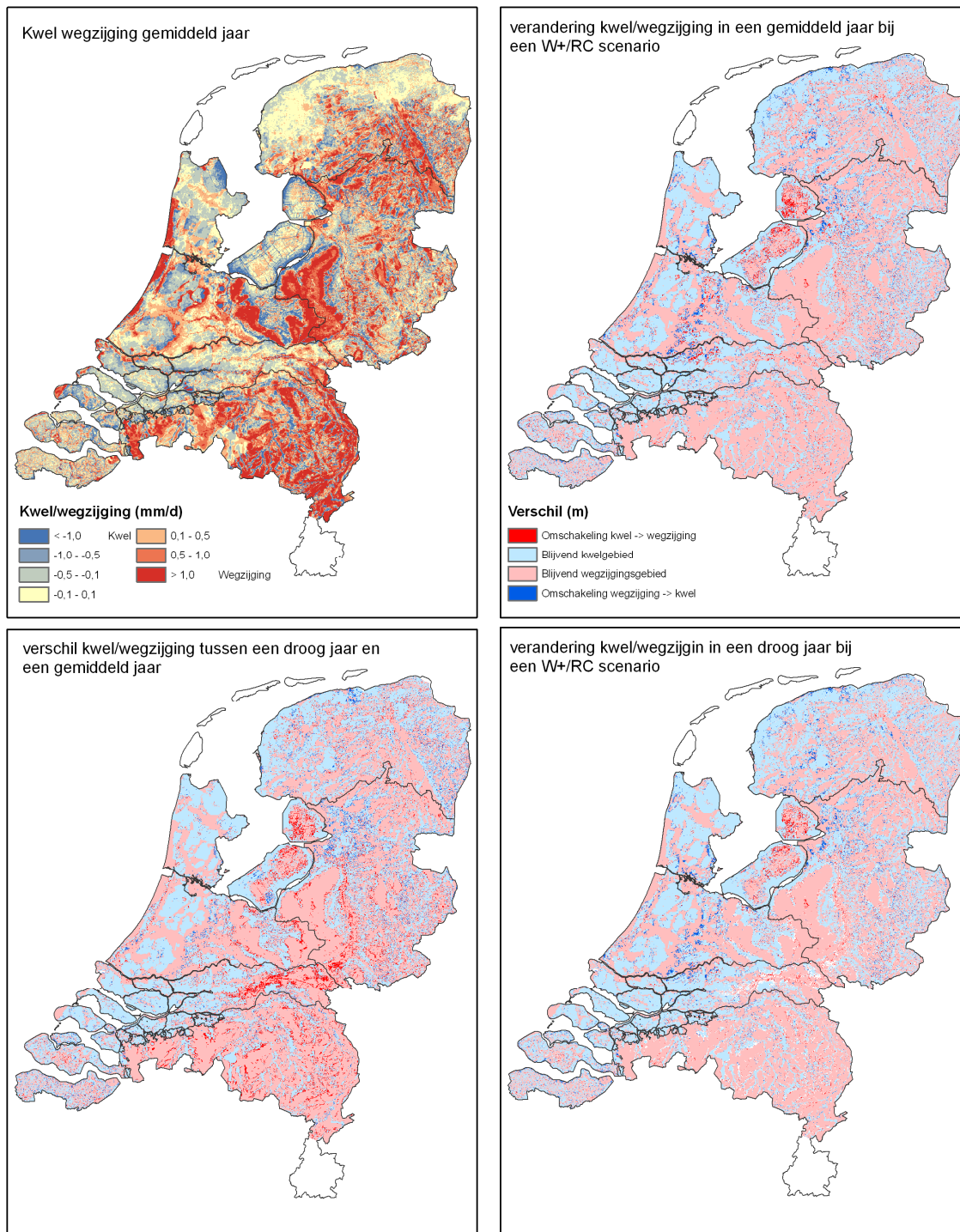
*Figuur 4.12 Verandering van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in 2050 in combinatie scenario W+/RC (boven, links; respectievelijk rechts) en de bijdrage daaraan van alleen klimaatverandering (W+; onder, links; respectievelijk rechts).*



Figuur 4.13 Verandering van de gemiddelde grondwaterstand (links) en van de stijghoogte van het diepe grondwater (2<sup>e</sup> watervoerend pakket) als gevolg van een afname van drinkwateronttrekkingen met 15% (RC)



Figuur 4.14 Verandering van de gemiddelde grondwaterstand (links) en van de stijghoogte van het diepe grondwater als gevolg van een toename van de drinkwateronttrekkingen met 30% (GE)



Figuur 4.15 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 waren al voor de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) berekend. De resultaten van de herberekening met NHI versie 2.2. zijn te zien in Figuur 4.15 voor scenario W+/RC. Aan de figuren rechts – die het verschil met de huidige situatie weergeven – is de invloed van dit ‘droogste’ scenario te zien, maar meer nog de invloed van de bodemdaling. Nogal wat wegzijgingsgebieden worden kwelgebied, bijvoorbeeld in de Krimpenerwaard langs de Lek.

#### 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 sneeuwmelt 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 4.16. Waar de Rijn in de zomer nauwelijks onder de 1800 m<sup>3</sup>/s gemiddeld daalt, zakt de Maas tot onder de 100 m<sup>3</sup>/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.

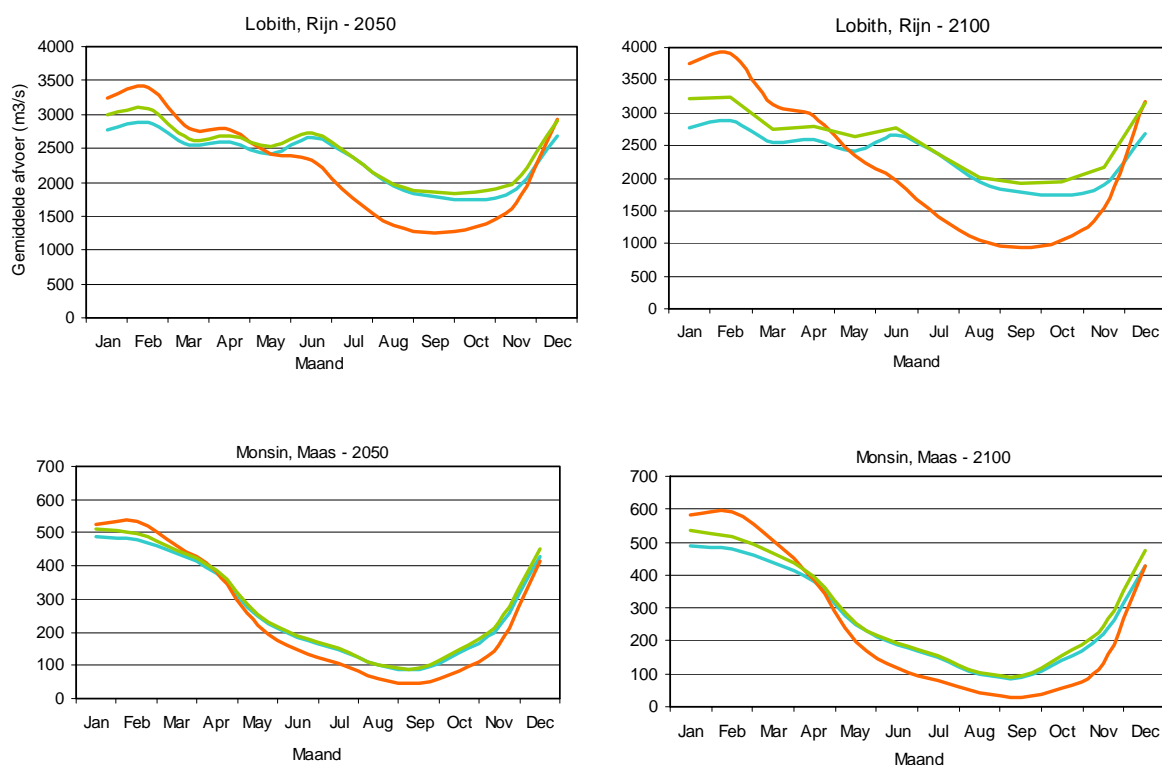
Behalve deze twee grote rivieren zijn er nog kleinere rivieren die water naar Nederland aanvoeren: de Schelde (loopt meteen naar zee), de Overijsselse Vecht, etc. Deze zijn voor de totale waterbalans minder belangrijk.

##### 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 4.16 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 zakken we op de Rijn van gemiddeld 1800 m<sup>3</sup>/s naar 1300 m<sup>3</sup>/s, en in 2100 kan de zomerafvoer zelfs dalen tot een maandgemiddelde van minder dan 1000 m<sup>3</sup>/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 4.16 Afvoerregime (maandgemiddelde afvoer in m<sup>3</sup>/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 4.2 weergegeven hoeveel dagen een bepaalde minimumafvoer wordt onderschreden. Dat geeft een indicatie van mogelijke 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 hoofdrijen te berekenen (Rijn, Maas, IJssel). Daar wordt in hoofdstuk 5 gebruik van gemaakt bij de bespreking van mogelijke knelpunten voor de scheepvaart.

Tabel 4.2 Berekend gemiddeld aantal dagen per jaar dat een minimumafvoer op de Bovenrijn (bij Lobith) van 1000 respectievelijk 700 m<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup> /s	19 (5%)	15 (4%)	54 (15%)	12 (3%)	94 (26%)
< 700 m <sup>3</sup> /s	< 1 (0%)	0 (0%)	10 (3%)	<1 (0%)	34 (9%)

#### 4.5.2 Wat kan veranderend watergebruik door de bovenburen nog betekenen?

In de hierboven getoonde berekende afvoerregimes van de Rijn en de Maas voor 2050 en 2100 is alleen het effect van klimaatverandering verdisconteerd. Daarbij is dus *wel* rekening gehouden met extra verdamping door gewassen en natuurlijke vegetatie door de hogere temperaturen, maar *niet* met extra waterverbruik voor drinkwater, industrie en irrigatie in het stroomgebied bovenstrooms van Nederland. In hoeverre het 'opgebruiken' van water bovenstrooms de rivierafvoeren nog kan beïnvloeden is een relevante vraag.

Hoeveel water bovenstrooms verbruikt wordt, is afhankelijk van sociaaleconomische ontwikkelingen, vooral in Duitsland (Rijn), Frankrijk (Maas en Rijn) en België (Maas). In de deltasenario's die voor het deltaprogramma zijn opgesteld is aan dergelijke bovenstroomse ontwikkelingen nog geen aandacht besteed. In de uitwerking die wordt voorzien voor eind 2012 zullen deze wel aandacht krijgen. Daarop vooruitlopend wordt hier kort ingegaan op enkele beschikbare getallen uit de literatuur en recent onderzoek. Het gaat daarbij dus om het *verbruik*, nu en in de toekomst.

Voor het Rijnstroomgebied bovenstrooms van Nederland geven De Rijk et al. (2010) een jaargemiddeld verbruik van 22 m<sup>3</sup>/s. Weliswaar constateren zij een zeer hoog koelwatergebruik, maar dit water wordt ook weer teruggevoerd naar de rivier en telt dus niet mee als *verbruik* (extractie). Voor het Maasstroomgebied noemt De Wit (2008) een jaargemiddeld verbruik van 6 m<sup>3</sup>/s.

Het EU project SCENES – dat in 2011 is afgerond – geeft eveneens waarden voor het huidige verbruik, en heeft tevens scenario's gemaakt voor 2050. De gevolgen van deze scenario's zijn gekwantificeerd met het hydrologische model WaterGAP. Watergebruik door industrie en huishoudens is berekend op jaarbasis, dat door de landbouw op dagbasis. SCENES schat het huidig verbruik in het *zomerhalfjaar* op 133 m<sup>3</sup>/s voor het Rijnstroomgebied en 47 m<sup>3</sup>/s voor het Maasstroomgebied. Dat is dus een factor 6 tot 8 hoger dan de schattingen van De Rijk et al. (2010) en De Wit (2008), maar het betreft wel het zomerhalfjaar en niet het jaargemiddelde.

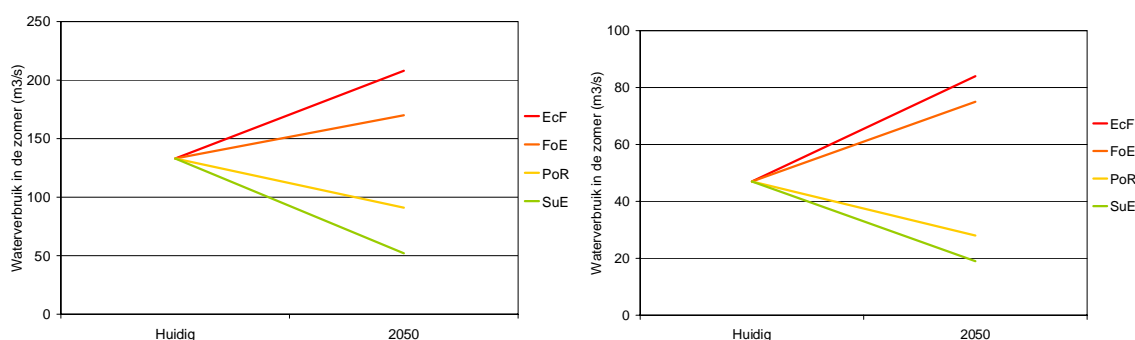
Desalniettemin kan worden geconcludeerd dat de verschillende bronnen zeer uiteenlopende schattingen geven voor het verbruik in beide stroomgebieden. Dat betekent dat de kwaliteit van de schattingen nog zeer onzeker is en we geen harde conclusies kunnen trekken. Dit vraagt nog nadere aandacht in het kader van de deltasenario's.

SCENES onderscheidt vervolgens vier scenario's voor 2050, waarvan de twee uitersten qua achterliggende aannames vergelijkbaar zijn met scenario's GE respectievelijk RC. Het betreft de scenario's *Economy First* (EcF) en *Sustainability Eventually* (SuE). Ertussen bevinden zich nog de scenario's *Fortress Europe* (FoE) en *Policy Rules* (PoR).

In deze twee uiterste scenario's stijgt of daalt het verbruik in het Rijnstroomgebied volgens SCENES met bijna respectievelijk ruim 60 % (Figuur 4.17, links). Het aandeel van het verbruik door de industrie is in het Rijnstroomgebied nu zo'n 80%; dit aandeel daalt in alle scenario's. Het huishoudelijk verbruik blijft relatief constant en het aandeel landbouw stijgt.

Voor het Maasstroomgebied – waar de industrie de grootste gebruiker is en blijft – wordt een stijging respectievelijk daling van het verbruik verwacht van 80 % en bijna 60 % (Figuur 4.17, rechts).





Figuur 4.17 Gemiddeld waterverbruik in het zomerhalfjaar in het Rijnstroomgebied (links) en het Maasstroomgebied (rechts) in verschillende scenario's volgens het EU SCENES-project, in m<sup>3</sup>/s.

In Tabel 4.3 is de verandering van het verbruik gecombineerd met de berekende verandering van de gemiddelde afvoer door alleen klimaatverandering. In beide stroomgebieden is bij het scenario SuE de afname van het verbruik groter dan de toename van de afvoer in klimaatscenario G. Dat levert gemiddeld dus meer rivierafvoer op. De afname van de afvoer door klimaatscenario W+ overtreft de extra onttrekking bij scenario EcF echter ruimschoots. Desalniettemin blijft er nog minder rivierafvoer over in die combinatie van W+/GE (=STOOM).

Voor de Rijn geldt dat de mogelijke toename van het waterverbruik bovenstrooms beperkt lijkt, maar dat deze bij lage afvoeren (<1000m<sup>3</sup>/s) toch makkelijk 10% van de afvoer kan gaan bedragen. Dat is significant. De Maas is door de nu al geringe zomerafvoer relatief gevoelig voor een toename van het waterverbruik. De toename van het waterverbruik is in het EcF-scenario relatief groot. Bij een lage afvoer (<50 m<sup>3</sup>/s bij Monsin) zou alle Maaswater volledig kunnen worden opgesoupeerd – indien het gebruik voor die tijd niet flink zou worden gekort.

Tabel 4.3 Invloed van verandering in gebruik op de gemiddelde zomerafvoer van de Rijn (boven) en de Maas (onder), in vergelijking met de invloed van alleen klimaatverandering

Rijn Huidig (m <sup>3</sup> /s)	2322				
		<b>G</b>	<b>G</b>	<b>W+</b>	<b>W+</b>
Klimaatverandering (m <sup>3</sup> /s)		+36	+36	-503	-503
		<b>SuE</b>	<b>EcF</b>	<b>SuE</b>	<b>EcF</b>
Verandering in verbruik (m <sup>3</sup> /s)		+75	-81	+75	-81
<b>Totaal (m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>+111</b>	<b>-45</b>	<b>-428</b>	<b>-584</b>

Maas Huidig (m <sup>3</sup> /s)	145				
		<b>G</b>	<b>G</b>	<b>W+</b>	<b>W+</b>
Klimaatverandering (m <sup>3</sup> /s)		+3	+3	-41	-41
		<b>SuE</b>	<b>EcF</b>	<b>SuE</b>	<b>EcF</b>
Verandering in verbruik (m <sup>3</sup> /s)		+37	-28	+37	-28
<b>Total (m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>+40</b>	<b>-25</b>	<b>-4</b>	<b>-69</b>

#### 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 4.18), 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 4.18 Achterwaartse verzilting tijdens droogteperiode 2003 (RWS-DZH, 2004)

De Haringvlietsluizen functioneren als spuisluizen; er wordt alleen gespuid en geen water ingelaten. 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. 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.

Zo wordt zo lang mogelijk getracht de afvoer over de Nieuwe Waterweg boven de 1500 m<sup>3</sup>/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).

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 innamelocaties in het benedenrivierengebied geldt:

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

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

#### 4.6.1 Verwachtingen voor de toekomst

Als gevolg van zeespiegelstijging en lagere rivierafvoeren zal het voorkómen 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 onderschreden. 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 spuilsuizen 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 4.19).

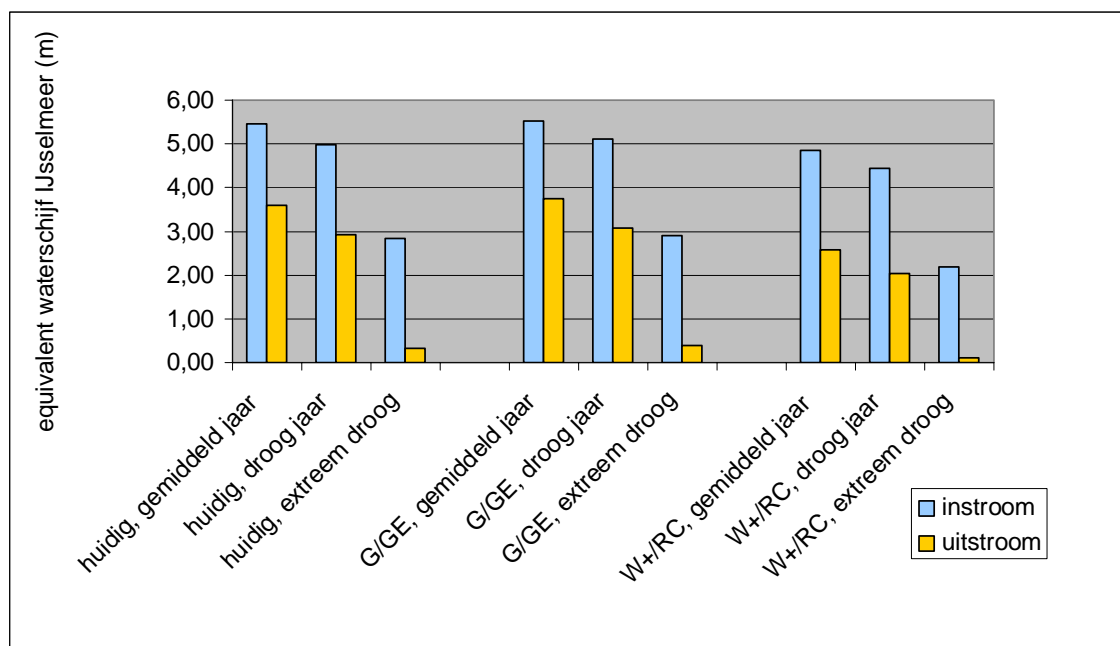
Links in Figuur 4.19 is te zien dat de instroom in het huidige klimaat meestal meer dan 5 m is. Dat is ook het geval in een droog jaar (1/10 jaar), maar loopt terug tot 3 m in een extreem droog jaar (1/100 jaar). De uitstroom komt in een droog jaar nog overeen met 3 m waterschijf, maar is in een extreem 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.



Figuur 4.19 Instroom- en uitstroom naar en uit het IJsselmeer, Markermeer en randmeren, uitgedrukt als equivalent waterschijf (m), in verschillende karakteristieke jaren voor het huidige klimaat en scenario's G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM) in 2050.

## 4.7.1 Verwachtingen voor de toekomst

Wat de klimaatverandering en socio-economische veranderingen voor de balans van het IJsselmeerpeil betekenen, is op dezelfde manier berekend. De resultaten zijn eveneens weergegeven in Figuur 4.19, voor het jaar 2050. In het midden van de figuur zijn de resultaten voor klimaatscenario G/GE (DRUK) weergegeven en aan de rechterzijde die voor scenario W+/RC (WARM).

We zien dat in 2050 bij G/GE (DRUK) 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 (WARM) 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.

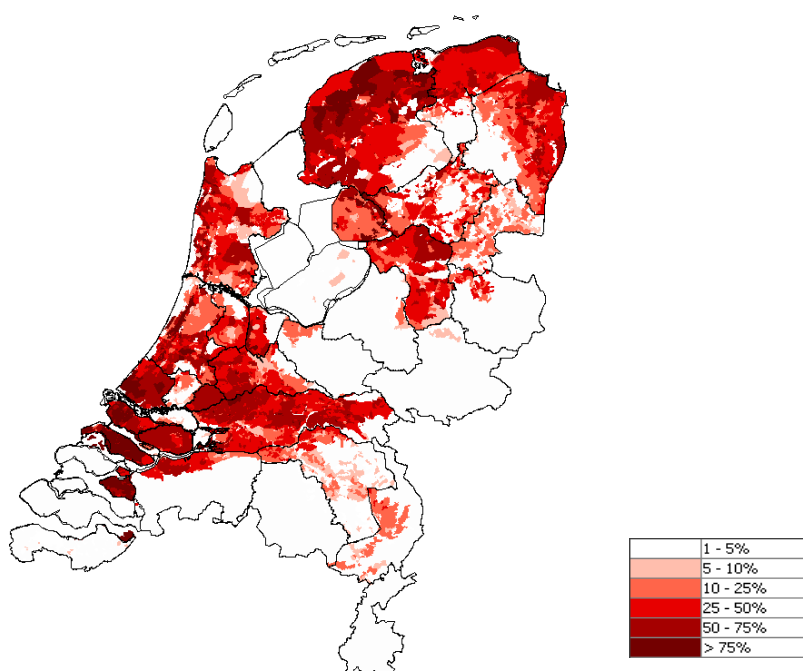
De crux bij dit alles ligt natuurlijk in het verloop van het IJsselmeerpeil gedurende de tijd. Die hangt ook af van de watervraag. Daarop wordt ingegaan in het volgende hoofdstuk, over de knelpunten.

#### 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 4.21). Met die wateraanvoer wordt beoogd het waterpeil te handhaven, de zoutgehalten voldoende laag te houden (doorspoeling) en eventuele irrigatie mogelijk te maken.

Wateraanvoer kan natuurlijk alleen in gebieden waar dat fysiek mogelijk is, omdat de infrastructuur voorhanden is. Waar dat mogelijk is laat Figuur 4.20 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 4.20 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.



Figuur 4.21 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).

#### 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 algenbloei te voorkomen. Dat laatste is ook een collectief belang.

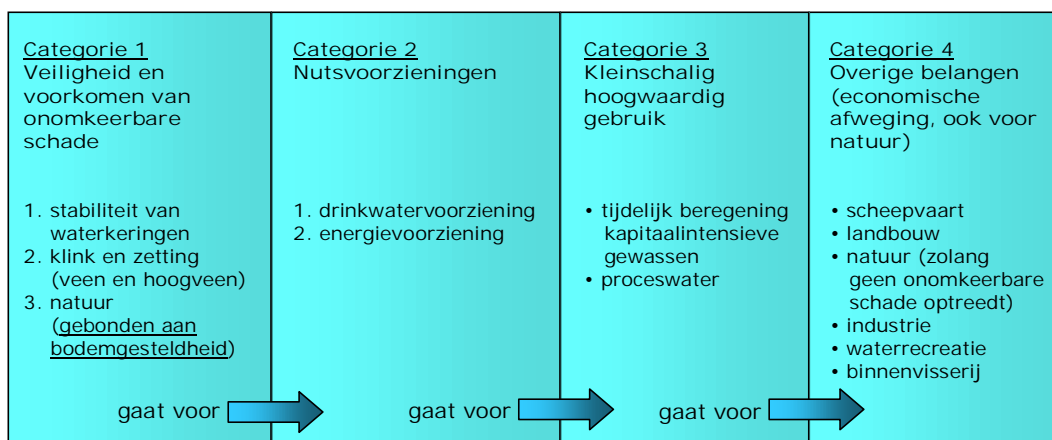
Ten derde gaat het om wateraanvoer voor allerlei sectoren en gebruikers, deels individueel, deels commercieel, deels 'nuts'-georiënteerd. Het gaat daarbij om zeer veel verschillende gebruikers, die al zijn besproken in hoofdstuk 3. Water wordt echter niet aangevoerd voor natuur langs grote wateren: die 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.

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 4.22), 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 4.22 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](http://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 denkwijze 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)<sup>6</sup> voor het huidige klimaat en voor de deltasenarior'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 'gebiedsbalansen' 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

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



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).

Figuur 4.23 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).

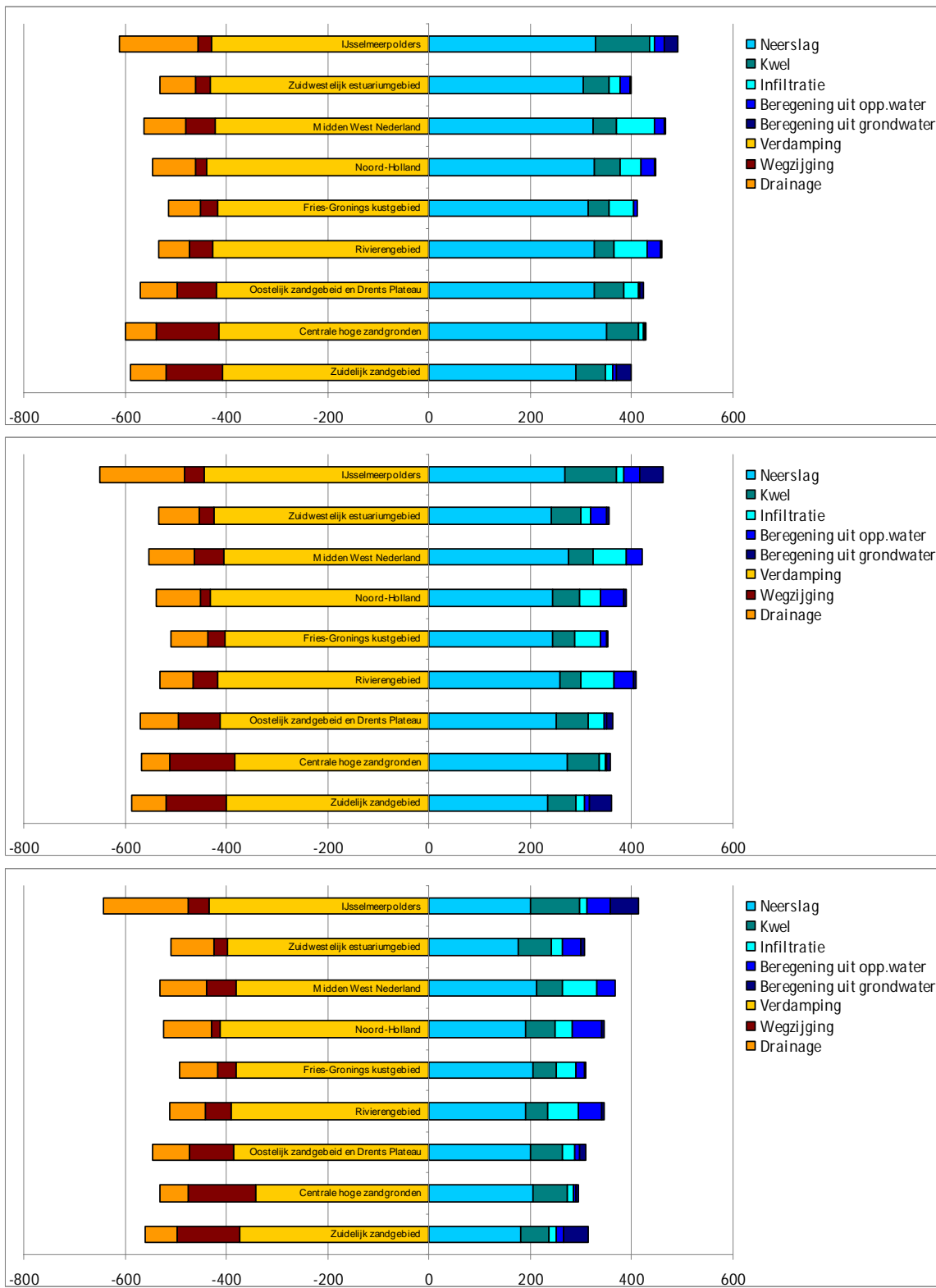
Uit Figuur 4.23 blijken ten eerste de grote regionale verschillen:

- Zo ontvangt de Veluwe stijgingsregens die weerspiegeld worden in de hoogste neerslag op de Centrale hoge zandgronden (3<sup>e</sup> 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).

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 verdampingoverschot, want alle posten op de waterbalans zijn hier meegeteld, zelfs die door wateraanvoer (infiltratie). Bij analyse van de verticale waterbalans moet rekening worden gehouden met de heterogeniteit van de gebieden. Het aandeel kwelwater in Midden-West Nederland is voornamelijk afkomstig van de inliggende droogmakerijen.

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.



Figuur 4.23 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.

## 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 boezempeilen;
- 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<sup>-</sup>;
- 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 (deltamodel). 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. Deze laatste is – naar zeer recente inzichten – overigens overschat<sup>7</sup>. In droge en extreem droge jaren neemt de watervraag van Midden- West Nederland verhoudingsgewijs sterk toe, door een grote vraag voor peilbeheer.

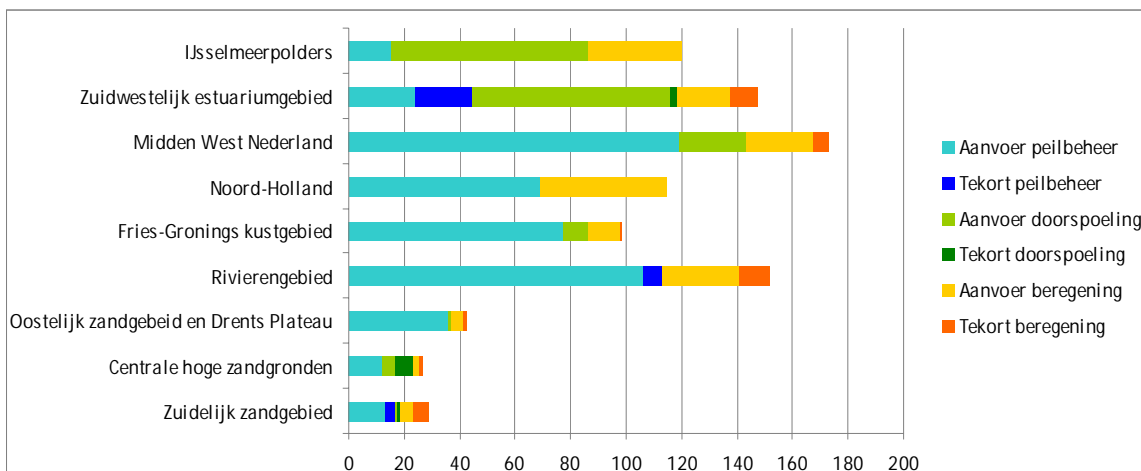
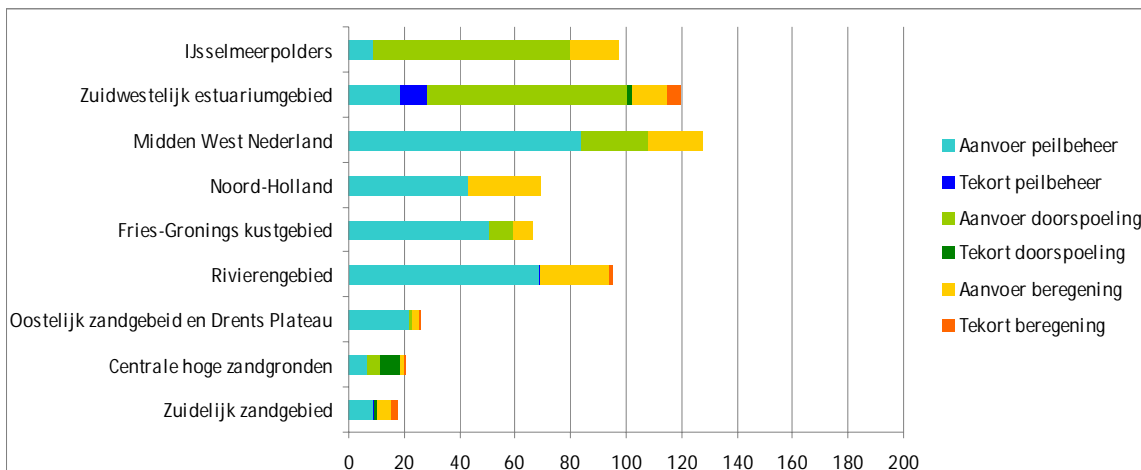
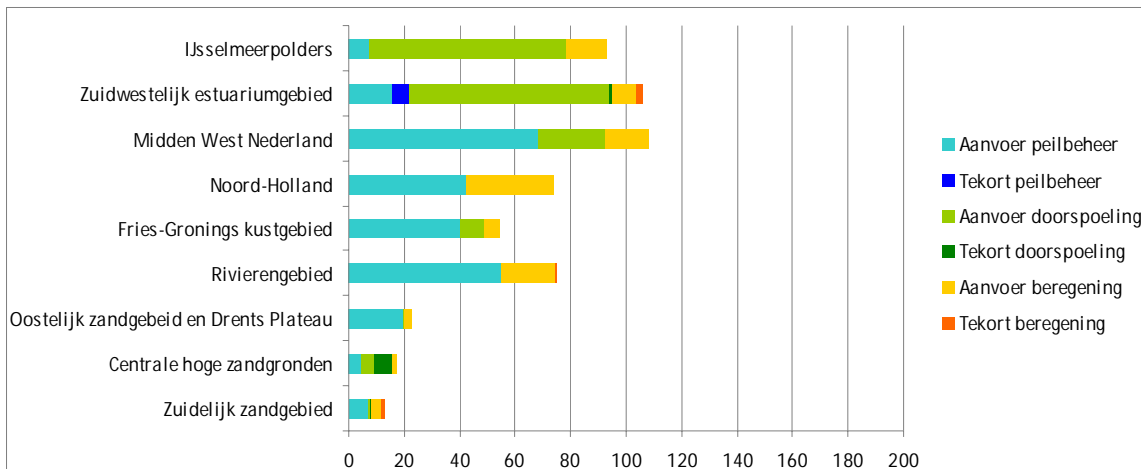
In Figuur 5.1 is het effect van *klimaatvariabiliteit* te zien: het verschil tussen karakteristieke jaren. In een droog jaar wordt in de gebieden met wateraanvoer (de bovenste 6 'balken' zo'n 20 % meer water gevraagd. Op de hogere zandgronden met veel landbouw (de onderste 2 'balken') neemt de vraag 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 (DRUK) en W+/RC (WARM) 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.

---

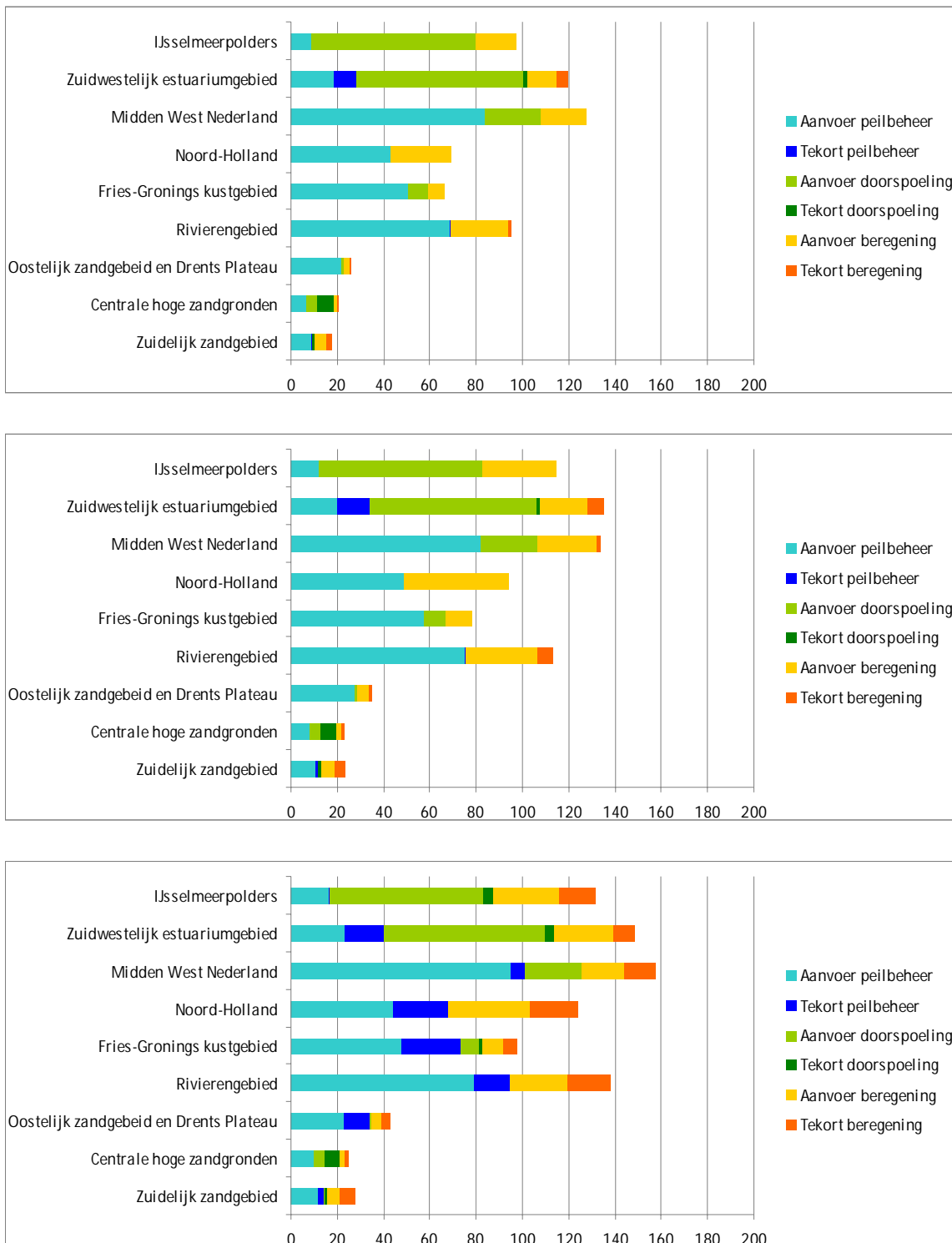
7. Het was niet mogelijk alle NHI- berekeningen voor de getoonde balansen opnieuw te doen, nadat dit inzicht was gerezen.



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 blijkend 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 3.4). Beregening uit oppervlaktewater vertaalt zich in een watervraag aan het hoofdwatersysteem, beregening uit grondwater vraagt extra onttrekking uit putten.

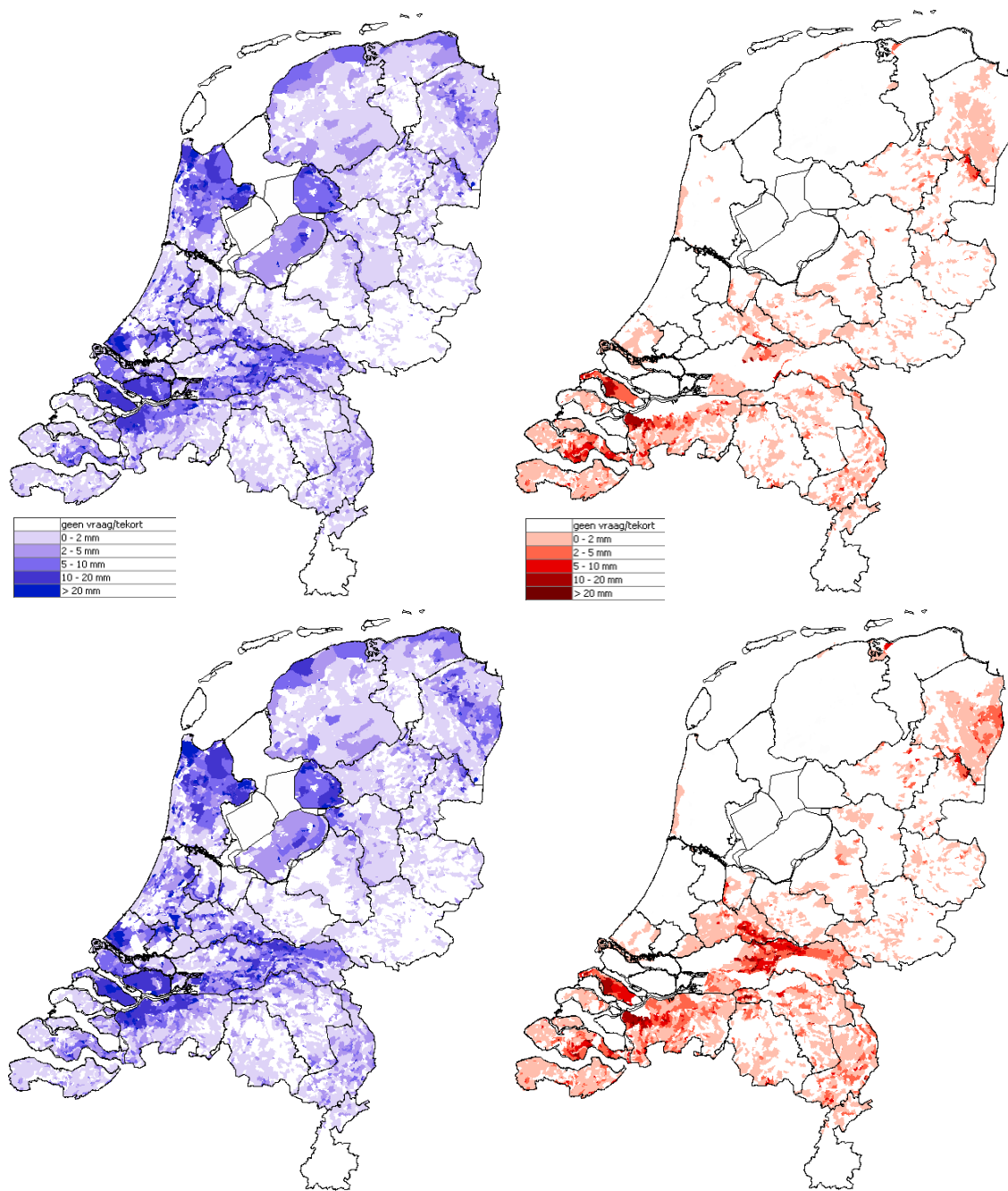
Door de watervraag en het geleverde water van elkaar af te trekken, kan het tekort aan beregeningswater worden berekend. Dat is in dit verband de hoeveelheid water die wel wordt gevraagd voor beregening uit oppervlaktewater, maar niet wordt geleverd. Dat beregeningstekort staat eveneens in Figuur 5.4,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

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 rivierengebied<sup>8</sup>. Het beregeningstekort neemt W+/RC in 2050 toe in deze gebieden, maar ook in de rest van het rivierengebied, Oost-Groningen en op de Peelhorst.

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.

8. 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.

### 5.3.3 Zoutproblemen/ doorspoelproblemen

Door klimaatverandering neemt het zoutgehalte in polderwateren toe, vooral in droge jaren (zie Figuur 4.10), 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.

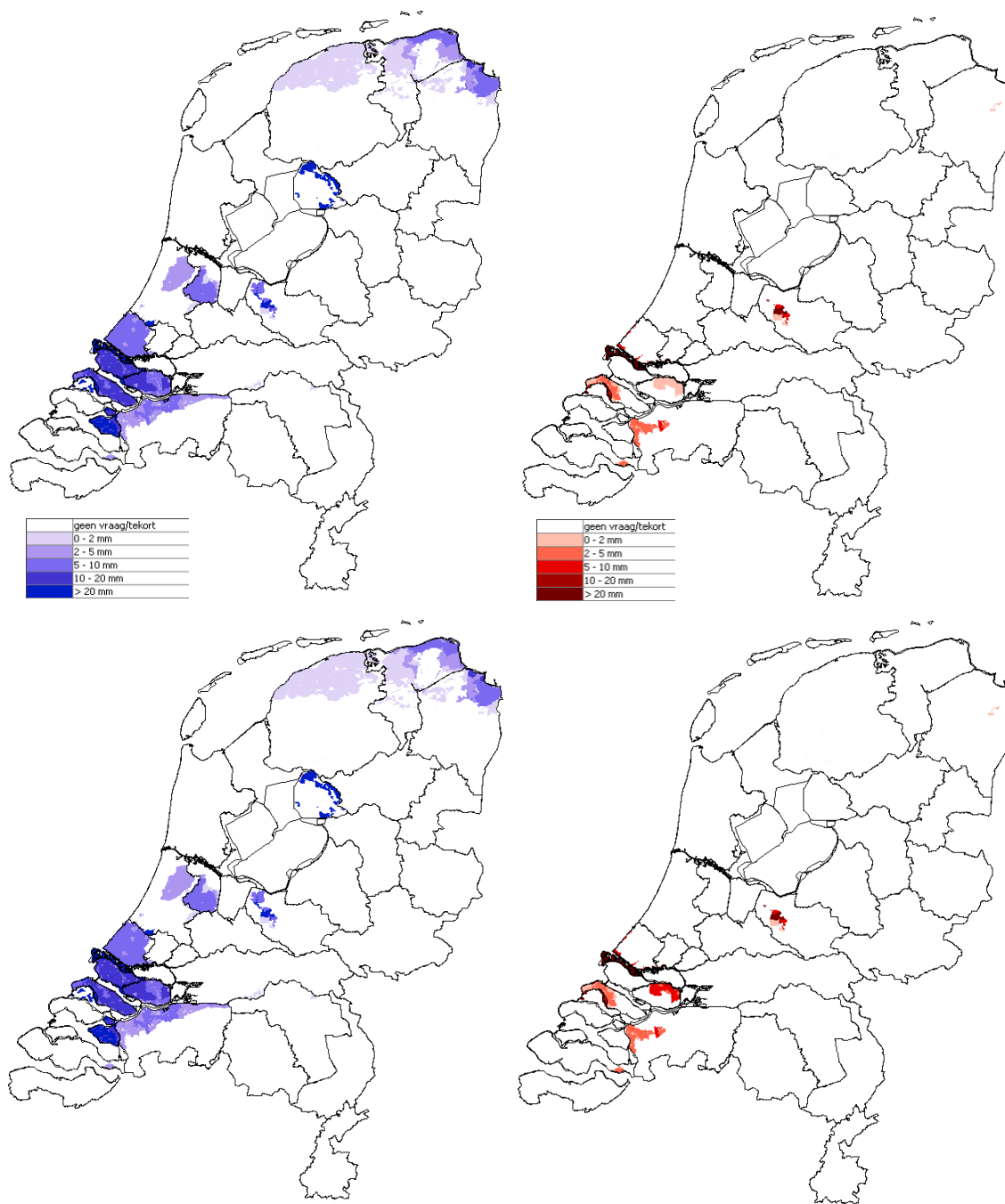
We zien een doorspoelvraag langs de kust van Friesland- Groningen, plaatselijk in de Noordoostpolder, in de diepe droogmakerijen van Zuid-Holland (Mijdrecht en Haarlemmermeer), in het Westland en op de meeste Zuid-Hollandse eilanden, in West-Brabant en op Tholen.

Een doorspoeltekort doet zich in een droog jaar nauwelijks voor, en in een gemiddeld jaar ook niet, behalve plaatselijk in West- Brabant<sup>9</sup>. De intrigerende vlek bij Amersfoort betreft een stedelijke doorspoelbehoefte. Er lijkt op basis van de modelresultaten geen sprake te zijn van een groot knelpunt, noch in de huidige situatie noch in de toekomst<sup>10</sup>.

---

9. Het weergegeven tekort op Goeree en in de Hoekse Waard is veroorzaakt door een te geringe capaciteit van het inlaatpunt, respectievelijk een te hoge decadegemiddelde zoutconcentratie.

10. 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.

#### 5.3.4 Peilproblemen in peilbeheerst gebied

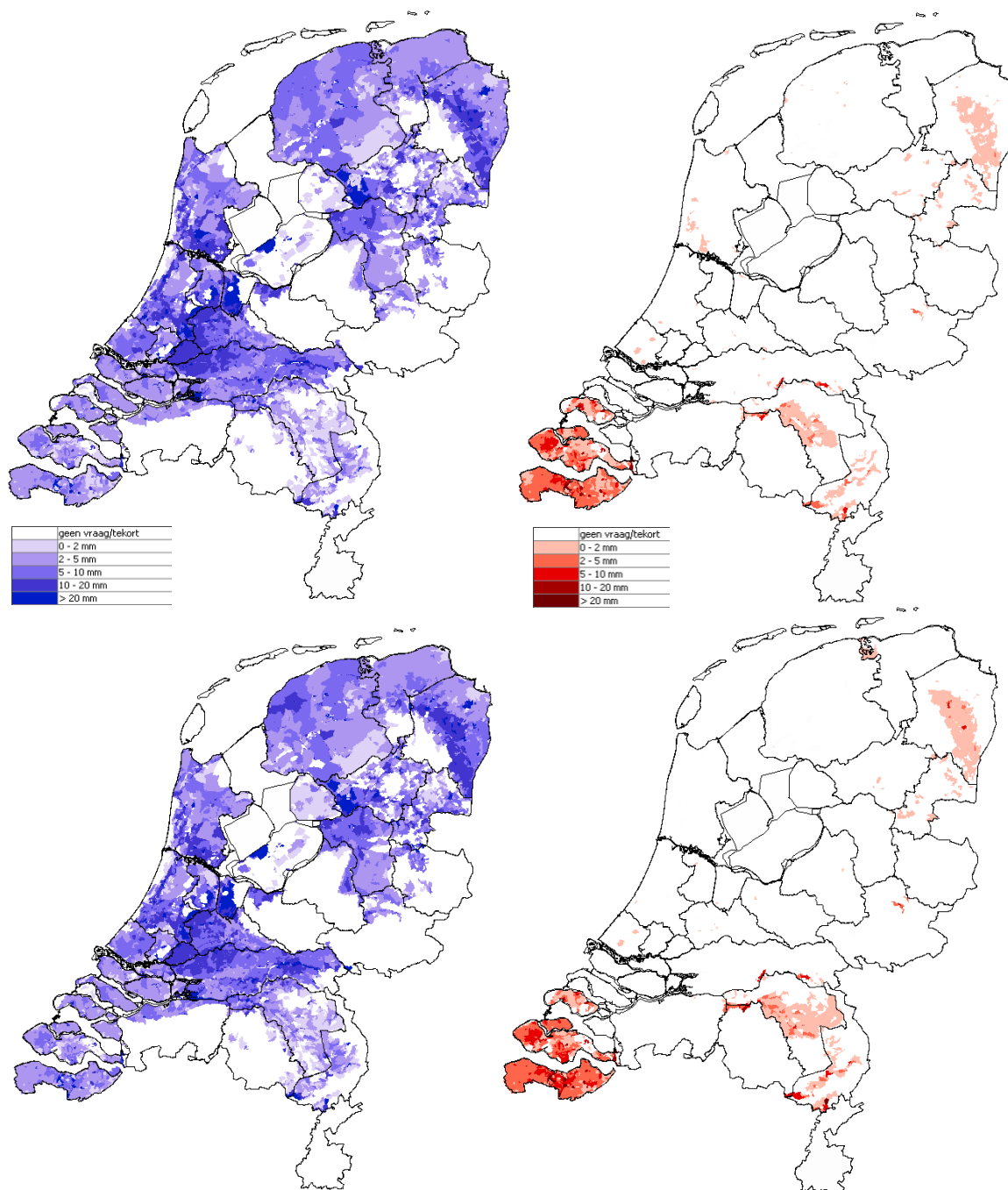
De derde grote regionale watervraag is die voor het peilbeheer. Te lage slootpeilen kunnen lage grondwaterstanden betekenen en instabiliteit van oevers en waterkeringen veroorzaken. De watervraag voor peilbeheer is in de meeste regio's de grootste en belangrijkste watervraag aan het hoofdsysteem, zoals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

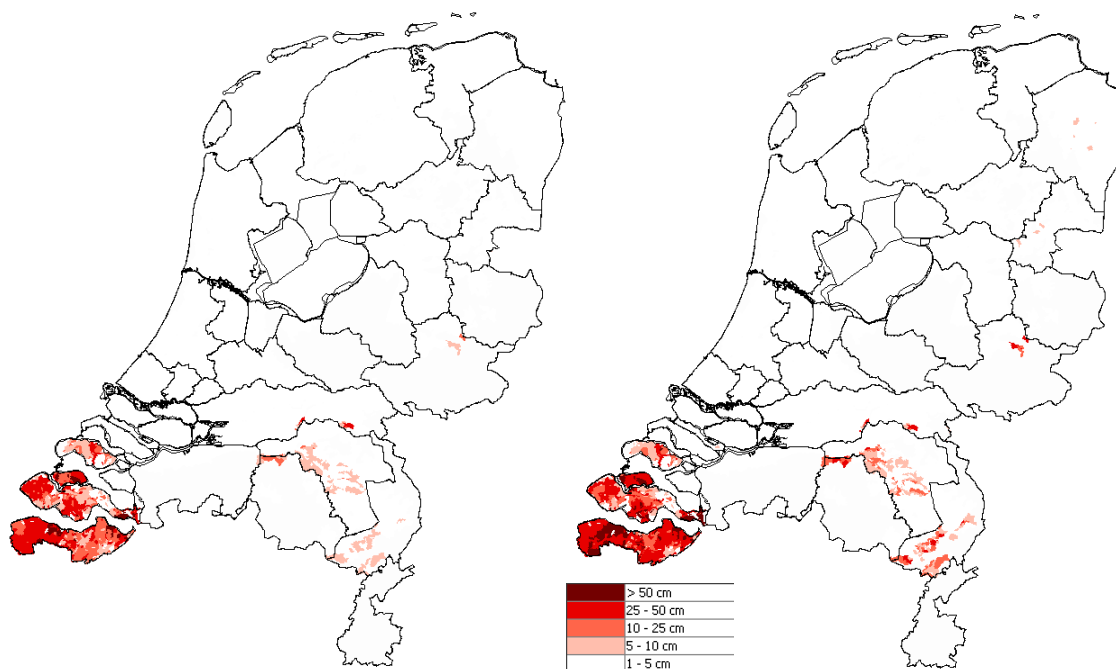
Figuur 5.6 geeft aan de linkerzijde de maximale watervraag voor peilbeheer in de huidige situatie en in 2050 voor scenario W+/RC. Deze vraag is door NHI berekend op basis van neerslag en verdamping, gegeven het landgebruik en de gewassen, en kent dus niet het artefact dat voortvloeit uit 'opgave door 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.

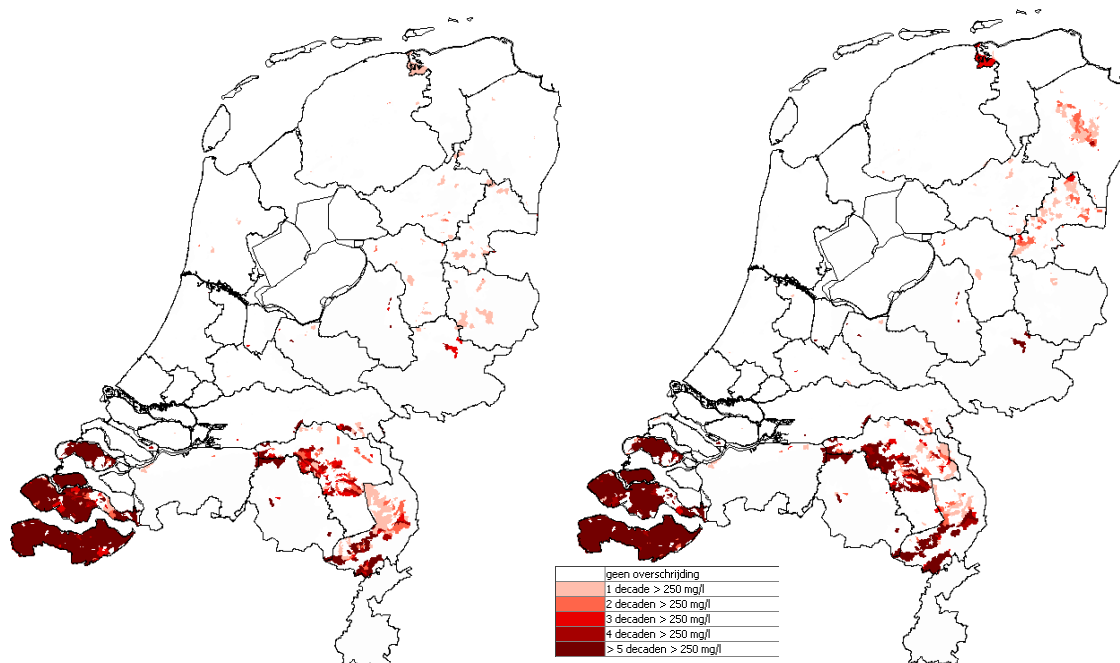
Waar in de vraag naar water voor peilbeheer niet volledig kan worden voorzien, zal de grondwaterstand in het zomerhalfjaar dalen (Figuur 5.7 en Figuur 5.8). Het slootpeil zakt verder uit en de duur dat het streefpeil wordt onderschreden neemt toe. Dat betekent dat grotere schade kan optreden in gebieden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



**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



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)



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

### 5.3.5 De knelpunten in de regionale watervoorziening: een overzicht

Alvorens dieper op de mogelijke oorzaken van regionale watertekorten in te gaan, geven we een overzicht van waar welke problemen een doorslaggevende rol spelen. Hiervoor hebben we de problemen aangeduid als berekeningstekorten, zoutproblemen/doorspoelproblemen of peilproblemen. Hier gaan we in op de oorzaak van deze problemen, waarbij deze oorzaak is afgeleid uit de berekeningen met NHI versie 2.2; dat wil zeggen dat het vaak/meestal de echte oorzaak is, maar dat niet valt uit te sluiten dat het gaat om een artefact: namelijk de wijze waarop een en ander in het model is gerepresenteerd.

Juist door de oorzaken op kaart weer te geven kunnen we inzicht krijgen in de vraag waar een nadere analyse van de precieze oorzaak nodig is; en van de vraag of we wel met de juiste gegevens aan het rekenen zijn.

Voor het beantwoorden van deze vraag zijn de volgende drie hoofdoorzaken onderscheiden, waarvan er per NHI-district één of meer worden geïdentificeerd als zijnde van toepassing::

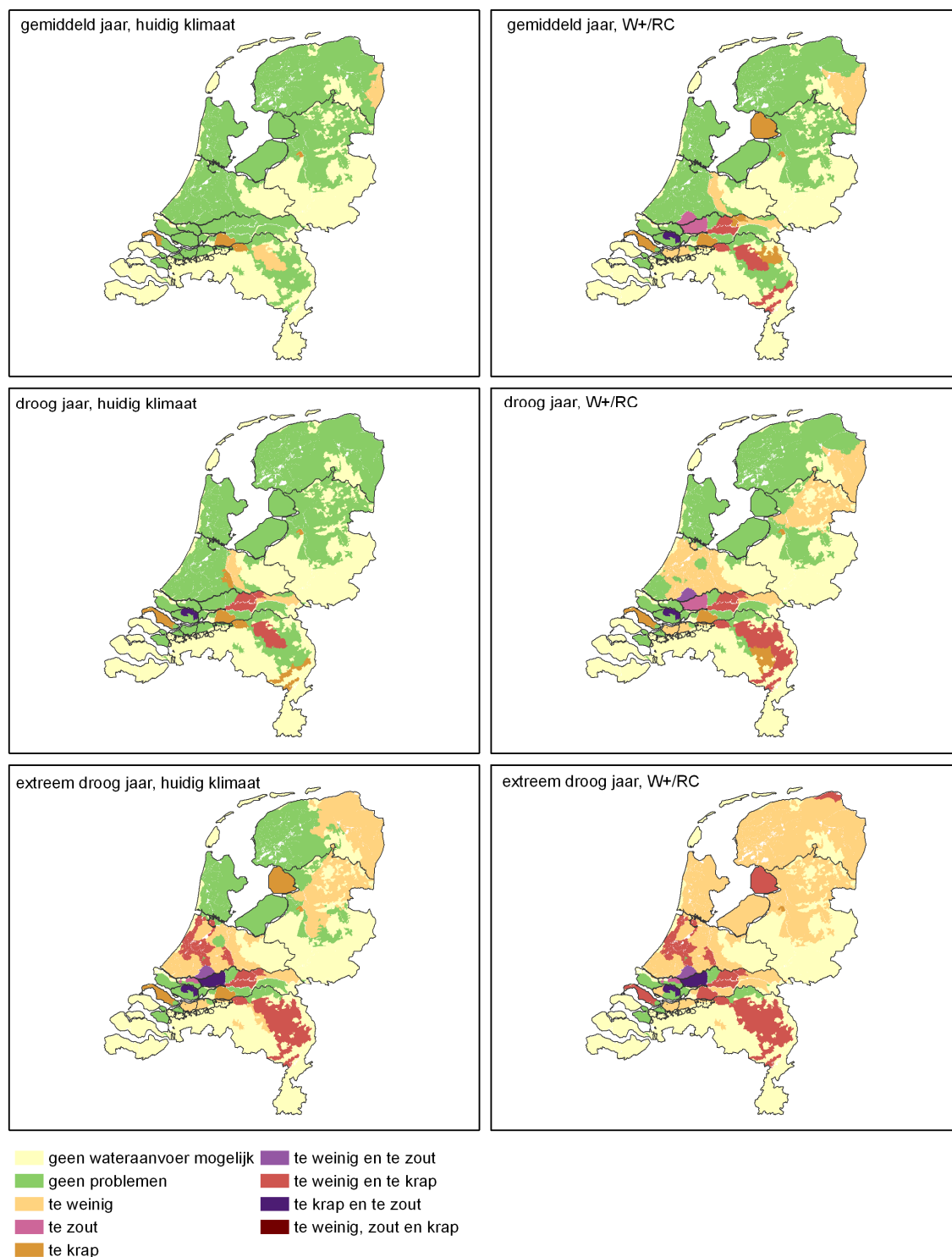
- onvoldoende beschikbaarheid van water in het hoofdsysteem: **'te weinig'**
- onvoldoende kwaliteit van het water in het hoofdsysteem: **'te zout'**
- onvoldoende capaciteit van het inlaatwerk of het regionale 'leidingennetwerk' (open leidingen, zoals boezemkanalen, vaarten, tochten, sloten, etc.): **'te krap'**

In Figuur 5.9 zijn deze oorzaken van de watertekorten op kaarten weergegeven, voor de drie karakteristieke jaren en voor de huidige situatie en scenario W+/RC in 2050. De kaarten laten weer duidelijk een verschuiving zien als gevolg van het W+-scenario. In 2050 lijkt een gemiddeld jaar op een droog jaar nu, en een droog jaar lijkt dan op een extreem droog jaar nu.

De kaarten leiden tot de volgende gebiedspecifieke observaties:

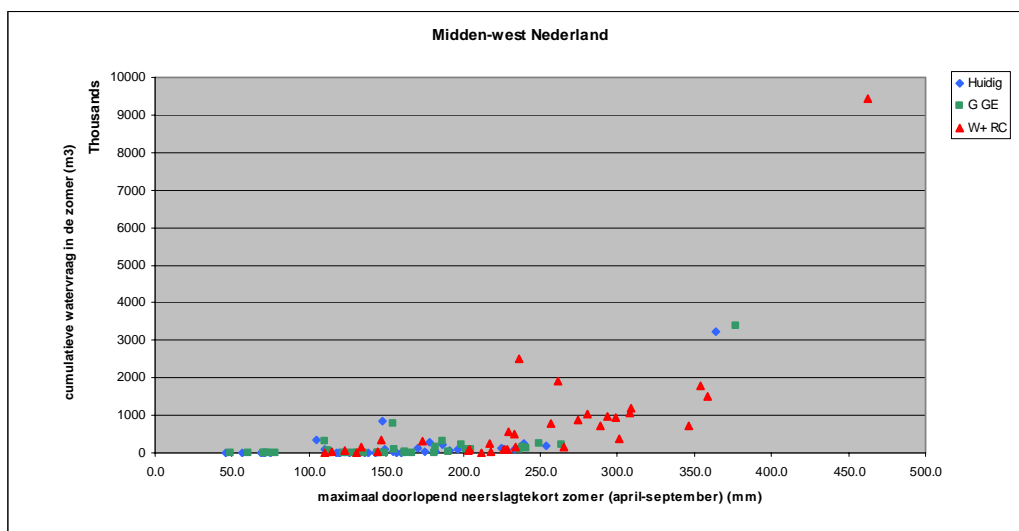
- De tekorten in het Fries-Gronings kustgebied, het Oostelijk zandgebied en op het Drents Plateau treden vooral op doordat er niet voldoende water beschikbaar is vanuit het hoofdsysteem (te weinig). Daarbij wordt opgemerkt dat de Friese Boezem tot het hoofdsysteem wordt gerekend; men zou ook kunnen stellen dat de capaciteit hiervan onvoldoende is om het water tot aan het eind te kunnen transporteren (te krap).
- In de IJsselmeerpolders treden tekorten op als gevolg van een te geringe capaciteit (Noordoostpolder: te krap) en in drogere jaren door onvoldoende beschikbaarheid (Flevoland): te weinig.
- Noord- Holland kenmerkt zich als een gebied waar pas bij extreme droogte tekorten optreden; dan als gevolg van onvoldoende beschikbaarheid van water uit het hoofdsysteem.
- In Midden- West Nederland zijn de tekorten een gevolg van alle drie de oorzaken. Ver van de inlaten gaat het om een te geringe capaciteit (te krap) en in het algemeen om te weinig. Maar de geringe beschikbaarheid wordt in extreem droge jaren weer deels veroorzaakt door de inlaatbeperking bij Gouda, die het gevolg is van te hoge zoutgehalten in de Hollandsche IJssel en dus beter als 'te zout' zou kunnen worden aangeduid.
- In (delen van) de Krimpenerwaard, Alblasserwaard, Hoekse Waard en IJsselmonde zijn tekorten het gevolg van de kwaliteit van het inlaatwater ('te zout').
- In de zuidwestelijke Delta is maar voor een deel van het gebied wateraanvoer vanuit het hoofdsysteem mogelijk.





Figuur 5.9 Hoofdoorzaken van beperkingen in de aanvoer van water vanuit het hoofdsysteem aan het regionale watersysteem voor verschillende karakteristieke jaren in het huidige klimaat en in scenario W+/ RC (WARM)

Niet ieder gebied zal vanaf dezelfde vraag hetzelfde tekort ervaren. Wanneer er in een gebied een tekort wordt ervaren is immers sterk afhankelijk van de eigenschappen van het gebied, maar ook van de timing van de vraag (voorgeschiedenis en het moment in het groeiseizoen). Daarom is ieder jaar anders, maar is er toch een gebiedsspecifieke relatie tussen tekort en meteorologische droogte. In Figuur 5.10 is dat geïllustreerd voor Midden-West Nederland, waar tekorten beginnen op te treden vanaf 150 mm potentieel neerslagtekort in de zomer. Grotere tekorten treden pas op vanaf circa 250 mm maximaal doorlopend neerslagtekort.



Figuur 5.10 Het cumulatieve tekort voor peilbeheer als functie van het maximaal doorlopend neerslagtekort voor het gebied Midden-West Nederland

Tabel 5.1 Maximaal doorlopend neerslagtekort waarbij significante tekorten beginnen op te treden voor berekening uit oppervlaktewater en voor peilbeheer, per waterhuishoudkundige regio

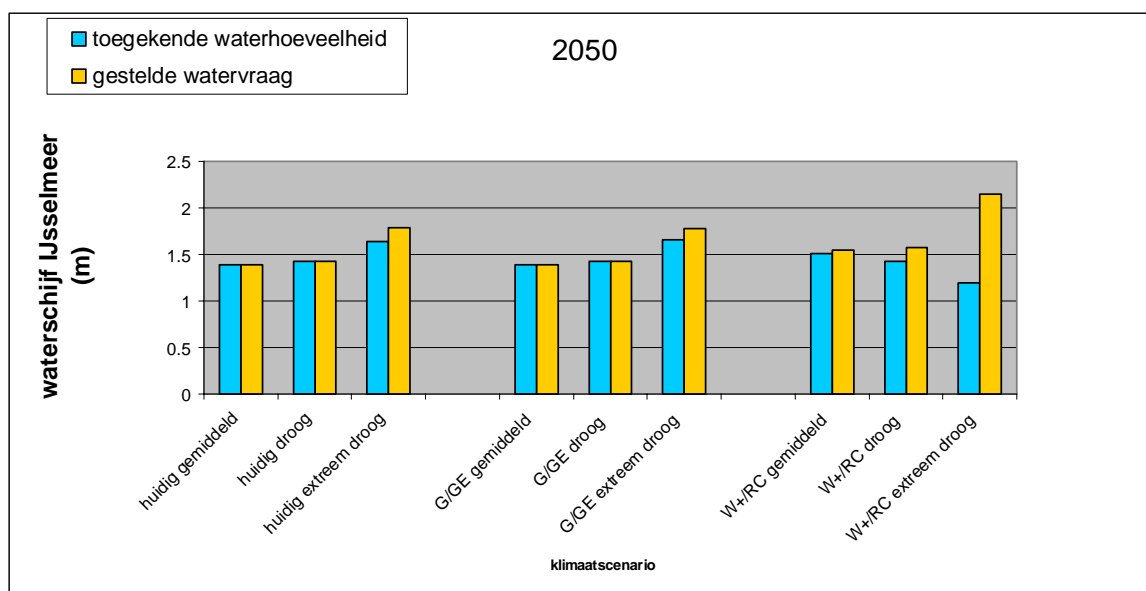
	Tekort voor berekening vanaf (mm/zomerhalfjaar)	Tekort voor peilbeheer vanaf (mm/zomerhalfjaar)
Zuidelijke zandgebied	100	200
Centrale hoge zandgronden	50	400
Oostelijk zandgebied	50	400
Rivierengebied	175	200
Fries- Gronings kustgebied	400	400
Noord-Holland	400	400
Midden- West Nederland	225	250
Zuidwestelijk estuariumgebied	50	150
IJsselmeerpolders	125	400

Door deze analyse voor alle waterhuishoudkundige regio's uit te voeren kan globaal worden vastgesteld bij welke neerslagtekorten significante tekorten voor peilbeheer of beregening ontstaan. Dit is weergegeven in Tabel 5.1, waarin we zien dat dit eerder het geval is voor beregening (eerder in de verdringingsreeks) dan voor peilbeheer, en dat sommige gebieden pas veel later–bij grotere neerslagtekorten – in de problemen komen dan andere.

### 5.3.6 Tekorten in de oppervlaktewatervorraden: 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 aangescherpte knelpuntenanalyse is de gestelde watervraag aan het IJsselmeer afgezet tegen de toegekende hoeveelheid water (uitgedrukt in equivalente waterschijf van het IJsselmeer; Figuur 5.11). Daartoe zijn nieuwe berekeningen gemaakt.* Zowel de geleverde waterschijf als de gevraagde waterschijf zijn afhankelijk van het weer (karakteristiek jaar) en het scenario.

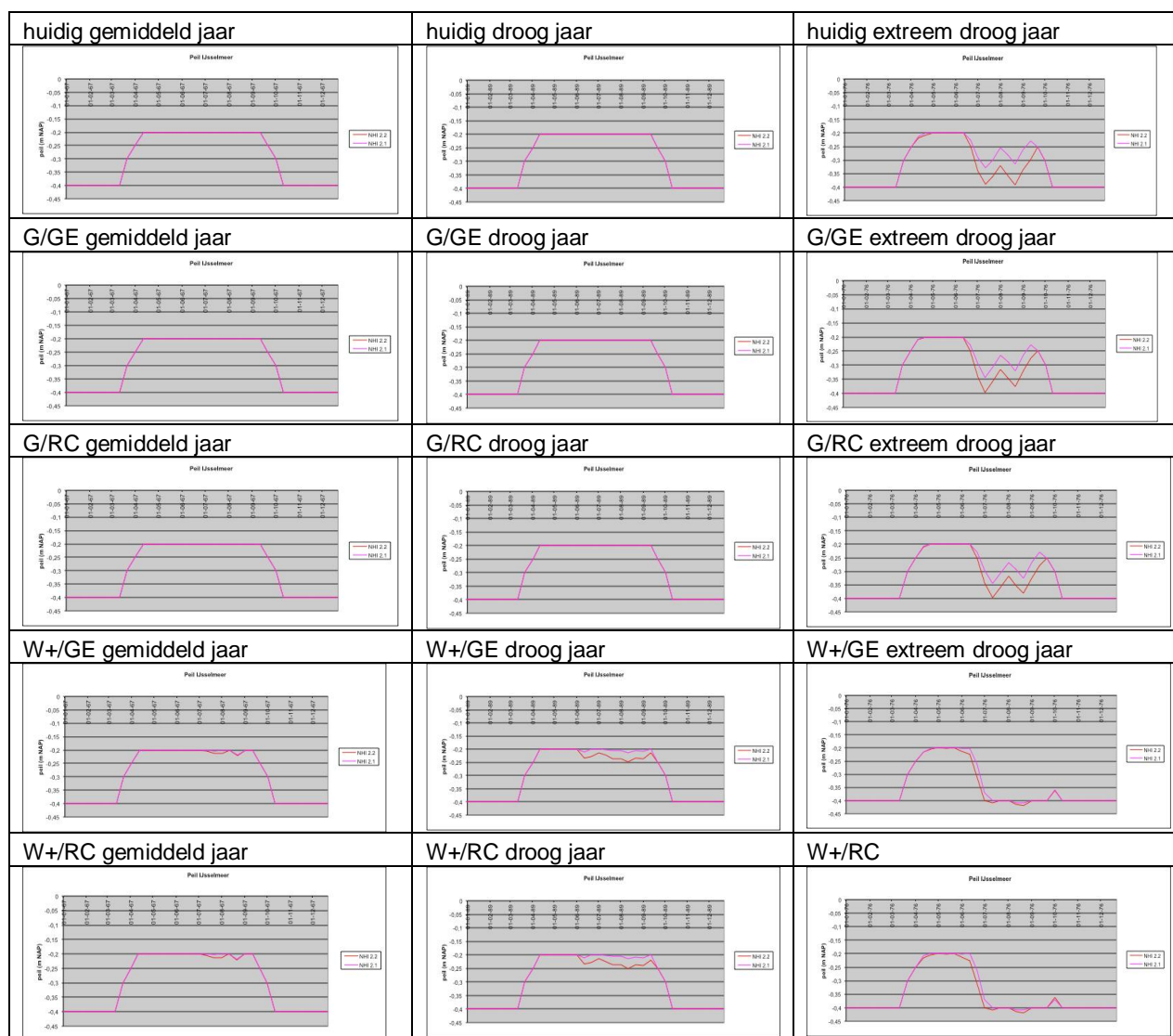
We zien dat in een extreem droog jaar zowel in de huidige situatie als bij de klimaatscenario's onvoldoende water in het IJsselmeer aanwezig is om aan de watervraag te voldoen en het streefpeil te handhaven. Voor scenario W+ geldt dit ook voor een gemiddeld en een droog jaar, zij het in zeer geringe mate. In alle andere gevallen is er voldoende water beschikbaar om aan de watervraag te voldoen). Bij deze resultaten moet de kanttekening worden geplaatst, dat nog geen rekening is gehouden met een toename van het beregeningsareaal in de toekomst. Verderop in dit hoofdstuk wordt daar op ingegaan.



Figuur 5.11 Aan het IJsselmeer gestelde watervraag en vanuit het IJsselmeer toegekende waterhoeveelheid (in meters equivalent IJsselmeerpeil) in het zomerhalfjaar voor verschillende scenario's en verschillende jaren in 2050

De beschikbaarheid en vraag variëren natuurlijk 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 5.12 is ditmaal voor de drie karakteristieke jaren voor alle deltascenario's (G/GE, G/RC, W+/GE, W+/RC) het verloop van het IJsselmeerpeil in het zomerhalfjaar uitgezet, zoals berekend met NHI versie 2.2. Dit peil wordt bepaald door een variërende instroom, uitstroom en waterleverantie aan 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. Onder het laagst toelaatbare peil wordt de inlaat naar de regio gestopt.



Figuur 5.12 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 (DRUK), G/RC (RUST), W+/GE (STOOM) en W+/RC (WARM)

We zien dat in een gemiddeld jaar en een droog jaar (twee linker kolommen) het peil in 2050 in de scenario's G/ GE (DRUK) en G/ RC (RUST) niet onder streefpeil daalt en net zo verloopt als in het huidige klimaat. In scenario W+/ RC (WARM) en W+/ GE (STOOM) daalt het peil in de nazomer soms 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's G/ GE en G/ RC is die daling marginaal meer, en in W+/ RC en W+/ GE 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, die overeenstemmen met die uit de eerste knelpuntanalyse:

- 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.
- In de andere scenario's is er nog een waterschijf beschikbaar en wordt het laagst toegestane peil op het IJsselmeer niet of net 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?***

***De hoeveelheid water die in de toekomst van het IJsselmeer – en elders – gevraagd zou kunnen worden is voor deze aangescherpte knelpuntanalyse opnieuw – en op een geheel andere wijze – bepaald, namelijk uitgaande van gewassen en rationele keuzes van individuele agrariërs om die al dan niet te beregenen.***

De landbouwteellingen 2010 leveren ons de volgende inzichten over *berekening in de huidige situatie*:

- Hoogwaardige teelten (fruitbomen, groente, bloembollen en sierteelt) worden voor 75 % of meer beregend;
- Aardappelen worden voor bijna 50% beregend;
- Suikerbieten en snijmaïs worden zeer beperkt beregend (respectievelijk 6% en 11%);
- Gras wordt gemiddeld voor 20% beregend, maar er zijn grote landelijke verschillen;
- Granen worden nooit beregend.

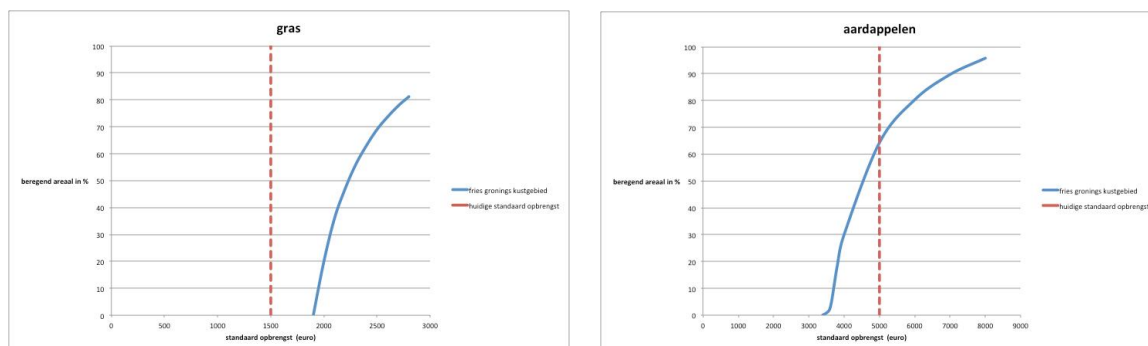
Om te komen tot een realistische schatting van *een minimale en maximale mogelijke beregeningsvraag in 2050*, zijn circa 10 verschillende gewastypen onderscheiden, namelijk gras, snijmaïs, granen, suikerbieten, aardappelen, groenteteelt (vollegronds laagwaardig, respectievelijk hoogwaardig), bollenteelt, fruit en sierteelt (bomen). Aan de vaststelling van de minimale en een maximale beregeningsvraag ligt een eenvoudige kosten-batenafweging per

gewas ten grondslag, zoals die door individuele agrariërs zou kunnen worden gemaakt. Daarin wordt op basis van de opbrengst van het gewas, de kosten voor beregening en de te verwachten schade besloten tot eventuele aanschaf/ inzet van beregening.

Deze 'hypothetische kosten-batenanalyse' leverde de volgende noties op:

- Het beregenen van gras, granen en snijmaïs is niet kosteneffectief
- Suikerbieten zullen zeer beperkt beregend worden (ongeveer 4%)
- Groente (laagwaardig) wordt voor 47% beregend
- Aardappelen worden voor 65% beregend
- De overige (hoogwaardige) gewassen worden voor 100% beregend.

Ter illustratie van de procedure om tot die uitspraken te komen is in Figuur 5.13 weergegeven bij welke opbrengst van gras en aardappelen welk percentage beregening kosteneffectief is in het Fries- Gronings kustgebied. Men dient te beseffen dat de relatie verschilt per gebied, en daarom moet deze ook per gebied worden afgeleid.



Figuur 5.13 Berekende beregeningspercentages in 2050 scenario W+/ RC als functie van de standaardopbrengst voor gras (links) en aardappelen (rechts) Zie tekst voor uitleg.

De huidige standaardopbrengst van gras is ongeveer 1500 €/ha, voor aardappelen is dat 5000 €/ha. Deze getallen zijn gebaseerd op informatie van het LandbouwEconomisch Instituut (LEI). Voor gras is de opbrengst gelijk aan de waarde van vervangend ruwvoer voor de melkveehouderij.

De blauwe lijn geeft aan bij welke 'standaardopbrengst' welk percentage beregening kostenefficiënt is. Op basis van deze analyse is het op rationeel- economische gronden weinig waarschijnlijk dat een landbouwer, zelfs in scenario W+/ RC, voor gras tot beregening zal overgaan. Maar daar hoort meteen de kanttekening bij dat de gebruikte methode nogal theoretisch is en dus uitsluitend indicatief.

En er kunnen natuurlijk andere redenen zijn voor een landbouwer om een beregeningsinstallatie aan te schaffen, of deze te gebruiken omdat ie al voor een ander gewas in eigendom is. Zo wijzen de landbouwellingen uit dat in de huidige situatie al ongeveer 7,2 % van het grasareaal in het Fries- Gronings kustgebied wordt beregend. En voor aardappelen is dit 53,6 %.

Los van deze kanttekeningen is het verschil tussen de huidige standaardopbrengst en de standaardopbrengst van gras waarbij beregening kostenefficiënt is, zo groot, dat niet verwacht mag worden dat in 2050 grasland op grote schaal beregend zal worden, ook niet in

het W+/ RC scenario. Daarmee lijkt de bovenschatting uit de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) – van een factor 8 *meer* beregening – niet erg realistisch.

Op grond van de analyse per gebied is de volgende *minimale variant* gedefinieerd voor beregening uit oppervlaktewater in 2050:

- De hoogwaardige gewassen (groente, fruit, bollen en sierteelt) worden voor 100% beregend.
- Voor de andere gewassen gelden huidige percentages.

En als (realistische) *maximale variant* wordt voor beregening uit oppervlaktewater uitgegaan van het volgende:

- De hoogwaardige gewassen (groente, fruit, bollen en sierteelt) worden overal 100% beregend.
- Voor gewassen waarvan beregening niet kosteneffectief is (gras, suikerbieten en snijmaïs) worden de huidige beregeningspercentages uit de landbouwtellingen verdubbeld.
- Voor groente laagwaardig wordt uitgegaan van een beregeningspercentage van 50%.
- Voor aardappelen wordt overal uitgegaan van een beregeningspercentage van 80% .
- Granen worden niet beregend.

Hoewel dit onzes inziens een realistisch maximum oplevert, is een kanttekening op z'n plaats: verdere onderbouwing door landbouweconomen is gewenst.

Tabel 5.2 Maximale beregeningsvraag uit oppervlaktewater voor de droogste decade in een extreem droog jaar in de huidige situatie en in 2050 in scenario W+/RC (in m<sup>3</sup>/s)

Gebied	Huidig	2050 W+/RC	
	uit NHI	min. variant	max. variant
Zuidelijk zandgebied	10	10	21
Centrale hoge zandgronden	1	1	2
Oostelijk zandgebied en Drents Plateau	10	10	25
Rivierengebied	10	11	18
Fries Gronings kustgebied	12	12	22
Noord-Holland	15	17	24
Midden West Nederland / Rijnland	4	4	8
Midden West Nederland / Rest	5	5	8
ZW estuariumgebied - met watervoorz.	13	13	20
ZW estuariumgebied - zonder watervoorz.	3	3	3
IJsselmeerpolders	11	11	11
IJssel	1	1	2

Hoe deze minimale en maximale beregeningsvarianten uitpakken voor de aan het oppervlaktewater gestelde beregeningsvraag is voor een aantal verschillende gebieden geïllustreerd in Tabel 5.2, en wel voor scenario W+/ RC in een extreem droog jaar. Dat is dus een soort ernstigste geval. De tabel toont de beregeningsvraag – in m<sup>3</sup>/s voor de droogste decade – die aan de NHI berekeningen is ontleend, de beregeningsvraag van de minimale variant en die van de maximale variant; alles zonder glastuinbouw (waarvan is aangenomen dat die is ontkoppeld).

Met deze cijfers is met een balansmodel berekend welke waterschijf in het IJsselmeer nodig is voor de minimale en maximale beregening, bij aan NHI ontleende watervraag voor doorspoeling en peilbeheer. Deze benodigde waterschijf is de hoeveelheid water (uitgedrukt als 'dikte' van de schijf op het IJsselmeer in het zomerhalfjaar) die nodig is om aan de vragen van alle gebruikers volledig te voldoen. De benodigde waterschijf is berekend voor verschillende scenario's en droogtejaren ten opzichte van zomerstreefpeil (Tabel 5.3).

Beregeningsvariant	Soort jaar	Gemiddeld (1/2)	Droog (1/10)	Extreem droog (1/100)
Minimum 2050		0,05	0,18	0,91
Maximum 2050		0,15	0,32	1,12

Tabel 5.3 Benodigde waterschijf IJsselmeer in m beneden zomerstreefpeil (-0,2 m NAP) om te voldoen aan de volledige watervraag in een gemiddeld, droog en extreem droog jaar in 2050 in scenario W+/ RC.

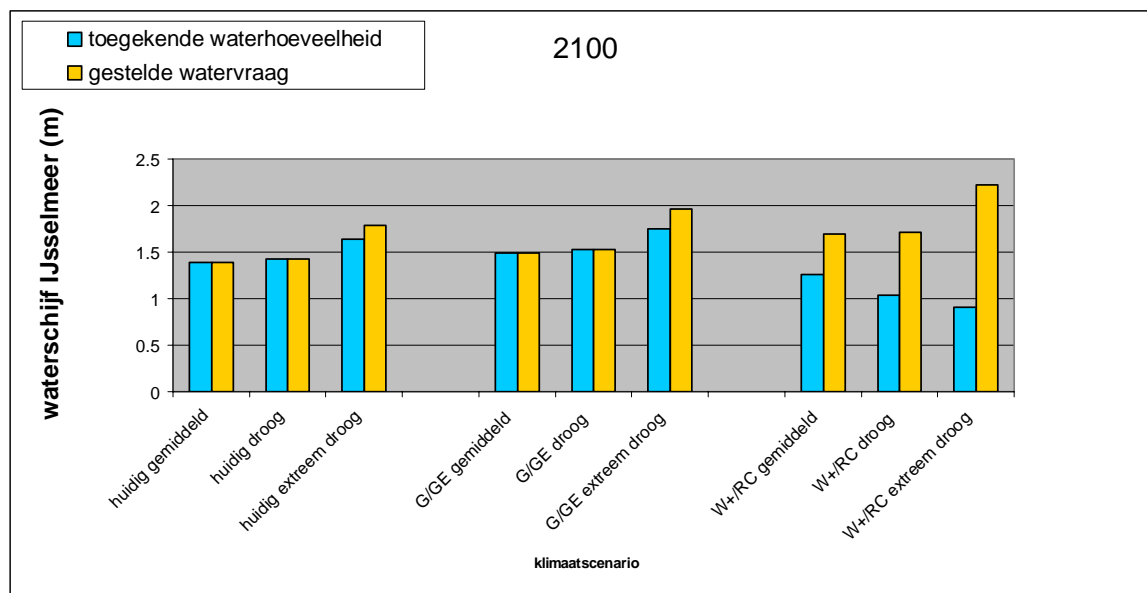
De tabel leert ons dat in 2050 bij het ergste scenario (W+/ RC) de benodigde waterschijf in een gemiddeld jaar kleiner is dan het verschil tussen streefpeil en toelaatbaar peil. In een droog jaar is het weliswaar groter, maar is er vrijwel steeds tijdige en voldoende aanvulling uit de IJssel (Figuur 5.12). En alleen in een extreem droog jaar wordt meer gevraagd dan beschikbaar komt.

Ten opzichte van de getallen die in het syntheserapport van DP-Zoetwater waren opgenomen (Anonymus, 2011) is door deze aangescherpte analyse de benodigde waterschijf iets kleiner geworden: voor een droog jaar 0,32 m – tegen toen 0,36 – en voor een extreem droog jaar 1,12 m – tegen toen 1,65 m. De verklaring voor dit verschil ligt dus in de andere wijze van schatten van de beregeningsvraag: nu realistisch versus vorig jaar een bovenschatting.

### **En wat na 2050? Doorkijkje 2100**

Net als voor 2050 is ook voor 2100 de watervraag aan het IJsselmeer uitgezet tegen de geleverde hoeveelheid water (Figuur 5.14). Uit deze figuur kunnen dezelfde conclusies worden getrokken als voor de situatie in 2050, alleen zijn de verschillen tussen de gestelde watervraag en de toegekende watervraag geprononceerder. En ook voor deze figuur geldt dat de gestelde watervraag nog is gebaseerd op de huidige berekening. Dat is reden om ook voor 2100 de benodigde waterschijf nog wat nader te kwantificeren, voor toegenomen berekening.





Figuur 5.14 Aan het IJsselmeer gestelde watervraag en toegekende waterhoeveelheid (in meters equivalent IJsselmeerpeil) in het zomerhalfjaar voor verschillend klimaat en verschillende jaren in 2100.

Omdat het voor 2100 niet meer mogelijk is enigszins realistische schattingen van landgebruik en berekening te maken – daarvoor ligt dat jaar te ver in de toekomst – hebben we verondersteld dat in 2100 ten opzichte van de minimale en maximale variant in 2050 *nog eens 20% meer* berekend wordt. Op basis van die aanname is weer berekend welke waterschijf door het IJsselmeer geleverd moet worden om dan volledig aan de vraag te kunnen voldoen (Tabel 5.4). Dat leidt tot fors hogere waarden, waarbij echter nogmaals wordt aangetekend dat de benadering erg hypothetisch is en betrekking heeft op het meest ingrijpende klimaatveranderingsscenario.

Tabel 5.4 Benodigde waterschijf IJsselmeer in m beneden zomerstreefpeil (-0,2 m NAP) om te voldoen aan de volledige watervraag in een gemiddeld, droog en extreem droog jaar in 2100 in scenario W+/RC.

Soort jaar	Gemiddeld (1/2)	Droog (1/10)	Extreem droog (1/100)
<b>Beregeningsvariant</b>			
Minimum 2100	0,54	0,88	1,58
Maximum 2100	0,70	1,10	1,86

**En het Volkerak-Zoommeer: hoe zit het daar eigenlijk mee?**

In de huidige situatie is de gemiddelde zoetwatervraag van het Volkerak-Zoommeer (VZM) in de zomer 17,5 m<sup>3</sup>/s, met uitschieters tot 30 m<sup>3</sup>/s en een maximale piekvraag van 50 m<sup>3</sup>/s. Dit is vastgesteld in de 'robustheidstoets' voor het VZM (De Vries, 2012). Dit water wordt ingelaten vanuit het Hollandsch Diep via de Volkeraksluizen en is bedoeld voor de bestrijding van het zoutlek van de Krammersluizen.

Uit het Volkerak wordt maximaal 5 m<sup>3</sup>/s ingenomen door de (polder)gebieden rondom het VZM. Met dit water worden Oostflakkee, Tholen, St. Philipsland, de Brabantse polders aan de Eendracht, de Reigersbergse polder en sommige polders langs de Mark-Vlietboezem van water voorzien. Het water dient voor peilbeheer en doorspoeling opdat het slotwater zoet genoeg is om te kunnen beregenen. Voor beregening wordt naar schatting maximaal 0,5 m<sup>3</sup>/s gebruikt.

De huidige situatie is dus samen te vatten met drie getallen: 50, 5 en 0,5. Een piekinlaat naar het VZM van 50 m<sup>3</sup>/s vanuit het Hollandsch Diep, waarvan maximaal 5 m<sup>3</sup>/s uit het VZM wordt ingelaten in de polders, waarvan maximaal 0,5 m<sup>3</sup>/s werkelijk voor beregening wordt gebruikt.

Het overgrote deel van de piekvraag van het VZM is dus voorwaardenscheppend: nodig om het meer door doorspoelen voldoende zoet te houden. Maar het water is van matige kwaliteit door blauwwieroverlast, en aan de chloridenorm van 450 mg/l kan niet altijd worden voldaan. Juist als het water nodig is, bij droogte, moet het inlaten bijna jaarlijks worden gestopt wegens blauwwieroverlast. En in het voorjaar van 2011 kon door de lage rivierafvoer onvoldoende water vanuit het Hollandsch Diep worden ingelaten, waardoor het zoutgehalte in het VZM steeg tot boven de chloridenorm van 450 mg/l. De leveringszekerheid laat dus nogal te wensen over.

Ook de zoetwatervoorraadfunctie van het VZM is gering. Een voorraadschijf van 0,25 m (dit is de gewenste peilfluctuatie volgens het peilbesluit 1996) is bij de piekvraag van 5 m<sup>3</sup>/s in 3 dagen uitgeput. De functie van het VZM is daarmee beperkt tot op z'n best lokale/ regionale watervoorziening.

Er wordt momenteel overwogen het VZM eventueel weer zout te maken met een alternatieve zoetwateraanvoer voor de polders die nu inlaten. In dat verband is de 'robustheidstoets' uitgevoerd, waarin onder meer is onderzocht of de watervraag van een zoete en een zoute toekomst veel verschilt. Er is vastgesteld dat de zoetwatervraag aan het hoofdwatersysteem – *in casu* het Hollandsch Diep – in de toekomst vergelijkbaar is met de huidige piekvraag, namelijk ongeveer 50 m<sup>3</sup>/s; of het VZM nu zoet gehouden of zout gemaakt wordt. In beide gevallen is het overgrote deel van de piekvraag voorwaardenscheppend, namelijk noodzakelijk voor zoutlekbestrijding – hetzij bij de Krammersluizen voor het VZM, hetzij bij de Volkeraksluizen voor het Hollands Diep en Haringvliet. Alleen herstel van de oorspronkelijke zoet-zoutscheiding van de Krammersluizen kan de maximale watervraag van een zoet VZM iets reduceren, namelijk naar ongeveer 30 m<sup>3</sup>/s.

Op basis van de robuustheidstoets kan er van worden uitgegaan dat de piekvraag van het VZM in de toekomst bij alle deltascenario's 50 m<sup>3</sup>/s bedraagt in de droogste decaden van de drie karakteristieke droogtejaren. Deze piekvraag valt momenteel in categorie 4 van de landelijke verdringingsreeks, want het gaat om akkerbouw en veeteelt. Dit betekent dat bij lage rivierafvoeren de inlaat naar het VZM al vrij snel zal worden beperkt, omdat de inlaten Gouda en Bernisse voorrang hebben. Dat betekent dat de piekvraag dus niet altijd zal kunnen worden geleverd en het VZM te brak wordt voor gebruik: de genoemde gebieden kunnen dan geen water meer inlaten.

### 5.3.7 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 innamelocatie 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 1000 m<sup>3</sup>/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.

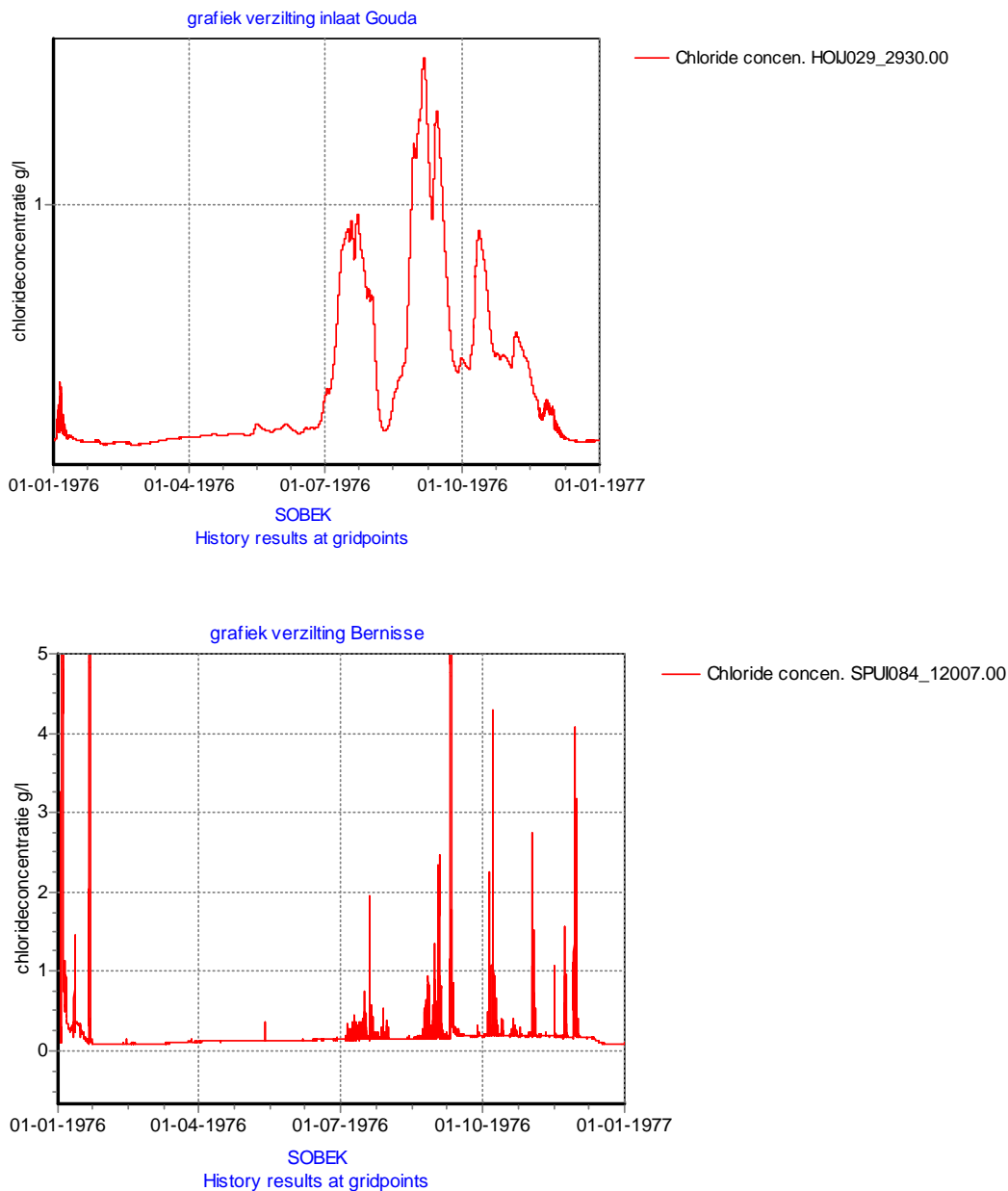
Als een inlaatbeperking optreedt bij Gouda wordt een terugvaloptie in werking gesteld, de zogenaamde Kleinschalige WaterAanvoer (KWA), om problemen in de beheersgebieden van de hoogheemraadschappen van Delfland, Rijnland en Schieland te voorkomen. In 2003 is aanvullend op de KWA een tweede alternatieve 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 innamelocaties zijn voor deze aangescherpte knelpuntenanalyse opnieuw berekend met het model SOBEK, voor een 35-jarige reeks en na een gedegen analyse van de historische meetreeks van deze locaties. Dat heeft de inzichten over de opgetreden en te verwachten knelpunten op deze locaties fors vergroot: de resultaten wijken significant af van die in de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011).*

Er zijn essentiële verschillen tussen de verzilting bij Bernisse en de verzilting bij Gouda. **Bernisse** ligt langs het Spui, waar het getij voor een eb- en vloedbeweging zorgt. De over de getijperiode gemiddelde stroming is gericht van het Haringvliet naar de Oude Maas. Deze vormt de tegendruk voor zoutindringing via het Spui. De grens tussen het zoute en zoete water is scherp en beweegt met het getij heen en weer. Meestal bereikt deze grens Bernisse niet en ligt er zoet water voor het inlaatpunt. Bij storm op zee is het echter mogelijk dat de zout-zoetgrens Bernisse bereikt en bij hele extreme omstandigheden bereikt deze zelfs het Haringvliet. Omdat de zout-zoetgrens scherp is zal bij Bernisse dan een plotselinge sterke verhoging van het zoutgehalte optreden, meestal van kort voor hoogwater tot even erna (Figuur 5.15., onder). Alleen onder zeer extreme omstandigheden, als het zoute water ook het Haringvliet bereikt kan het chloridegehalte bij Bernisse verscheidene dagen achtereen verhoogd blijven. De *doorslaggevende* factor voor verzilting bij Bernisse is dus *stormopzet* op zee, alhoewel bij lage rivierafvoeren de tegendruk in het Spui wat afneemt, zodat de zout-zoetgrens Bernisse dan makkelijker kan bereiken.

**Gouda** daarentegen ligt 'praktisch aan het eind' van de Hollandse IJssel. De Hollandse IJssel verzilt als brak water van de Nieuwe Maas de monding van de Hollandse IJssel kan bereiken. Door de getijbeweging en onttrekkingen uit de Hollandse IJssel kan het verzilte water als 'propstroom' verder de Hollandse IJssel op worden getransporteerd en Gouda bereiken. Bij

lage rivierafvoeren wordt het zoute en zoete water op de Nieuwe Maas relatief goed gemengd. Zo ontstaat een heel *geleidelijke* overgang van zoet naar zout water die bij lage afvoeren voor de monding van de Hollandse IJssel heen en weer beweegt. Op de Hollandse IJssel wordt het bij vloed zoutere en bij eb zoetere water verder tot een brak mengsel gemengd, waardoor de Hollandse IJssel vele dagen aaneengesloten verzilt kan blijven; maar de waargenomen hoogste zoutgehalten zijn veel lager dan die bij Bernisse. Vergelijk in Figuur 5.15 de bovenste met de onderste, en merk op dat de verticale schaal verschilt.



Figuur 5.15 Berekend verloop van het zoutgehalte bij inlaat Gouda (boven) en Bernisse (onder): langdurig verhoogd (gemengd) versus korte maar heel hoge pieken.

### Analyse inlaatbeperking Bernisse in de huidige situatie

Voor zowel Bernisse als Gouda is het aantal dagen dat een inlaatnorm voor het chloridegehalte wordt overschreden relevant. Deze inlaatnormen zijn respectievelijk 150 en 250 mg/l Cl<sup>-</sup>.

Allereerst zijn de meetresultaten voor beide locaties geanalyseerd, om een beter beeld te krijgen van de frequentie van optreden van inlaatproblemen, en om de oorzaak daarvan beter te kunnen identificeren. Tabel 5.5 is gebaseerd op de gemeten chloridegehalten bij Bernisse. Opvallend is dat in de periode tussen 1990 en 2000 het aantal dagen met hoge chlorideconcentraties aanzienlijk groter is dan in de laatste 10 jaar. *Dit is het gevolg van de toen nog hogere achtergrondconcentraties van het rivierwater in die periode. De achtergrondconcentratie was in die periode soms ruim 3 maal zo hoog zijn als tegenwoordig, met als gevolg dat de achtergrondconcentratie bij lage afvoeren al snel hoger was dan de grensconcentratie van 150 mg/l.*

Tabel 5.5 Gemeten overschrijding van verschillende chlorideconcentraties (aantal dagen) te Bernisse in aaneengesloten periodes van 24 uur of langer voor een historische meetreeks van 20 afgelopen jaren

Grensconcentratie (mg/l)	150	160	170	180	190	200	250	300
Jaar								
1990	166	156	129	86	64	54	4	3
1991	209	178	140	106	64	57	26	2
1992	79	50	34	23	8	4	0	0
1993	148	110	59	28	3	3	2	1
1994	17	0	0	0	0	0	0	0
1995	46	42	28	14	6	6	6	0
1996	117	89	38	5	0	0	0	0
1997	146	121	103	87	71	56	0	0
1998	107	57	31	11	0	0	0	0
1999	22	6	2	1	1	1	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	13	5	3	2	2	1	1	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	36	36	35	33	31	30	19	16
2006	17	2	2	1	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0

*Om vast te kunnen stellen wat de huidige situatie qua inlaatbeperking zou zijn als voor deze veranderde achtergrondconcentraties zou worden gecorrigeerd, zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd voor een langjarige reeks. Daarbij is gebruik gemaakt van een door KWR (2012) bepaalde relatie tussen achtergrondconcentratie en rivierafvoer voor zowel Lobith (Rijn) als Keizersveer (Maas). Met deze zogenaamde C-Q relatie is de meteorologische reeks van 35 jaar (1961-1994) doorgerekend. In Tabel 5.6 zijn de resultaten*

van die berekening gegeven; ook weer uitgedrukt in aantal dagen met overschrijding langer dan 24 uur.

Uit deze berekening blijkt ten eerste dat het aantal dagen met overschrijding van de normconcentratie veel kleiner wordt bij de huidige –veel lagere – achtergrondconcentratie van het rivierwater.

Tabel 5.6 *Berekende overschrijding van de normconcentratie voor chloride bij Bernisse (aantal dagen met > 24 uur overschrijding) voor 35 historische jaren, met een aan de huidige situatie aangepaste achtergrondconcentratie in het rivierwater. Links voor het hele jaar, rechts voor de zomer.*

	hele jaar	zomer
Grensconcentratie	150 mg/l	150 mg/l
Jaar		
1961	1	0
1962	8	0
1963	0	0
1964	3	0
1965	0	0
1966	0	0
1967	0	0
1968	0	0
1969	2	1
1970	3	0
1971	43	0
1972	8	0
1973	1	1
1974	0	0
1975	0	0
1976	14	0
1977	6	0
1978	0	0
1979	0	0
1980	0	0
1981	0	0
1982	0	0
1983	1	0
1984	0	0
1985	35	0
1986	1	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	0	0
1990	15	0
1991	27	0
1992	0	0
1993	1	0
1994	0	0

Ten tweede is opvallend dat in de zomer (april t/m september) nauwelijks dagen voorkomen waarin de grensconcentratie voor chloride wordt overschreden, wat ook weer logisch is omdat stormopzet in de zomerperiode niet zo vaak voorkomt, terwijl lage afvoeren er voor deze locatie dus niet zoveel toe doen. Voor het hele jaar laten de berekeningen wel een flink aantal dagen zien waarop het chloridegehalte van 150 mg/l langdurig wordt overschreden.

*Voor de jaren met de grootste overschrijdingen is vervolgens ook nog gekeken naar de invloed van de normconcentratie op de inlaatbeperking, door eveneens te berekenen hoeveel dagen respectievelijk de grens van 200, 250 en 300 mg/l wordt overschreden.* Dit is weergegeven in Tabel 5.7. Wat dan opvalt is dat het aantal dagen met inlaatbeperking veel kleiner is als de grensconcentratie iets hoger wordt gelegd. Dit zagen we ook bij de metingen. Verder blijken november en december de maanden te zijn waarin de meeste overschrijdingen plaatsvinden. Dat zijn maanden waarin het effect van klimaatverandering op de rivierafvoeren niet erg groot is, en waarin ook het neerslagtekort vaak niet erg groot is.

Tabel 5.7 *Berekende overschrijding van verschillende normconcentraties voor chloride bij Bernisse (aantal dagen met > 24 uur overschrijding) voor enkele historische jaren waarin door de weersomstandigheden langdurig innamebeperkingen zouden optreden, berekend voor een aan de huidige situatie aangepaste achtergrondconcentratie in het rivierwater.*

Jaar	Grensconcentratie (mg/l)				Periode overschrijdingen
	150	200	250	300	
1971	43	28	19	6	eind nov.-dec.
1976	14	6	3	3	januari
1985	35	7	6	3	half nov.-half dec.
1990	15	5	3	3	eind dec.
1991	30	6	5	3	half okt.-half nov.

### Analyse inlaatbeperking Gouda in de huidige situatie

De inlaatbeperking bij Gouda wordt veroorzaakt door te hoge zoutgehalten bij Krimpen a/d IJssel. Voor deze locatie zijn, op dezelfde wijze als bij Bernisse, de beschikbare metingen geanalyseerd, om vast te stellen hoeveel dagen verschillende grensconcentraties worden overschreden, in respectievelijk de zomer en het hele jaar (Tabel 5.8).

Ook hier dient bij interpretatie van de tabel rekening te worden gehouden met het gegeven dat de achtergrondconcentratie in het rivierwater in de periode 1982– 2000 veel hoger was dan in het laatste decennium. Ook bij Krimpen is te zien dat de meeste overschrijdingsdagen niet in de zomer voorkomen, maar blijkbaar in het winterhalfjaar, al is het verschil niet zo groot als bij Bernisse. Bij Krimpen a/d IJssel is – anders dan bij Bernisse – de rivierafvoer veel belangrijker voor de mate van verzilting. Storm op zee kan tot enige dagen verzilting leiden, maar voor de langdurige periodes met hoge zoutgehalten bij Krimpen a/d IJssel is de lage afvoer de bepalende factor. Dat de meeste overschrijdingsdagen toch in de winter voorkomen komt doordat ook lage afvoeren meestal in de maanden oktober/november optreden.

Tabel 5.8 Gemeten overschrijding van verschillende chlorideconcentraties (aantal dagen) te Krimpen aan de Lek in aaneengesloten periodes van 24 uur of langer voor de periode van 1982 tot en met 2010

Grens concentratie (mg/l)	Hele jaar								Zomerhalfjaar							
	250	260	270	280	290	300	350	450	250	260	270	280	290	300	350	450
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	28	27	22	19	18	18	15	9	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	13	12	11	7	1	0	0	0	5	5	5	2	0	0	0	0
1985	32	28	26	22	19	18	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	14	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	13	11	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	18	14	8	7	5	5	2	0	10	7	3	3	3	3	2	0
1991	49	33	29	25	21	16	7	0	0	20	20	18	15	11	4	0
1992	8	6	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	11	11	9	6	2	0	0	0	11	11	9	6	2	0	0	0
1996	7	3	3	3	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2	1	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	2	1	1	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	25	23	23	22	19	17	10	2	13	11	11	15	14	14	6	2
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	4	4	4	4	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Net als voor Bernisse is ook voor zowel Krimpen a/d Lek als Gouda zelf met SOBEK uitgerekend hoe vaak de inlaat zou zijn belemmerd door te hoge zoutconcentratie (> 250 mg/l) in een reeks van 35 jaren in het huidige klimaat, waarbij is gerekend met de huidige achtergrondconcentratie chloride in het rivierwater. Dat heeft de resultaten opgeleverd die zijn weergegeven in Tabel 5.9. Daarin zien we dat de inlaatbeperking in de zomer soms veel minder dagen duurt dan in het jaar als geheel, maar dat in zeer droge jaren (1976) dit verschil niet zo groot is. Ook is te zien dat in een zeer droog jaar de berekende inlaatbeperking bij



Gouda langer duurt dan bij Krimpen, omdat de Hollandse IJssel met brak water gevuld is geraakt; dat moet eerst worden weggespoeld.

Tabel 5.9 Met een aan de huidige situatie aangepaste achtergrondconcentratie in het rivierwater berekende overschrijding van de normconcentratie voor chloride (aantal dagen met > 24 uur overschrijding) bij Krimpen a/d IJssel (links) en Gouda (rechts) voor 35 historische jaren.

	hele jaar	zomerhalfjaar		hele jaar	zomerhalfjaar
Grenskoncentratie	250 mg/l	250 mg/l	Grenskoncentratie	250 mg/l	250 mg/l
Jaar			Jaar		
1961	3	0	1961	0	0
1962	28	0	1962	8	0
1963	14	2	1963	15	0
1964	36	23	1964	27	24
1965	3	0	1965	2	0
1966	0	0	1966	0	0
1967	1	0	1967	0	0
1968	0	0	1968	0	0
1969	14	0	1969	12	0
1970	1	0	1970	0	0
1971	32	0	1971	32	0
1972	13	0	1972	9	2
1973	6	3	1973	0	0
1974	0	0	1974	0	0
1975	3	0	1975	0	0
1976	34	24	1976	42	42
1977	2	0	1977	0	0
1978	0	0	1978	0	0
1979	0	0	1979	0	0
1980	0	0	1980	0	0
1981	0	0	1981	0	0
1982	0	0	1982	0	0
1983	5	0	1983	0	0
1984	0	0	1984	0	0
1985	9	0	1985	2	0
1986	5	0	1986	1	0
1987	0	0	1987	0	0
1988	0	0	1988	0	0
1989	6	0	1989	0	0
1990	12	6	1990	1	1
1991	34	17	1991	37	0
1992	0	0	1992	0	0
1993	1	0	1993	0	0
1994	0	0	1994	0	0

Met behulp van een neurale netwerk is vervolgens een relatie gelegd tussen de verwachte getijgemiddelde chlorideconcentratie bij Krimpen a/d IJssel en de rivierafvoersituatie (Van den Boogaart, 2012). Met de meetgegevens van de Rijnafvoer bij Lobith van de afgelopen

110 jaar kan daar een goede indicatie van de herhalingstijden uit worden afgeleid. Deze is weergegeven in Tabel 5.10. We zien daar dat de verziltingssituatie bij Krimpen a/d Lek in een extreem droog jaar zoals 1976 een herhalingstijd heeft van circa eens per 25 jaar, en niet eens per 100 jaar.

Tabel 5.10 Herhalingstijd van aantal overschrijdingsdagen in de zomerperiode, afgeleid uit met een neuraal netwerk vastgestelde relatie tussen inlaatbeperking en Rijnafvoer

Jaar	Herhalingstijd (jaar) in het zomerhalfjaar	Volgens neuraal netwerk verwacht aantal overschrijdingsdagen (zomerperiode)	Met SOBEK berekend aantal overschrijdingsdagen (zomerperiode) (ter vergelijking)
1964	20	25	24
1973	7	2	3
1976	25	30	24
1990	8	4	6
1991	18	22	17
2003	18	24	
2009	8	3	

## Verandering inlaatbeperking in 2050 bij verschillende scenario's

Met behulp van het SOBEK-model voor het Noordelijk Deltabekken (SOBEK-NDB) zijn de karakteristieke jaren doorgerekend voor de klimaatscenario's van het KNMI voor 2050. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven. Het gaat om het aantal dagen dat het grenschloridegehalte is overschreden in aaneengesloten periodes van resp. 7, 24 en 48 uur.

Tabel 5.11 Duur (dagen) dat 'zoutgrenzen' voor een drietal locaties langer worden overschreden dan 7, 24 of 48 uur in respectievelijk het huidig klimaat en in 2050 bij scenario G en W+. Voor Krimpen a/d Lek en Gouda gaat het om het zomerhalfjaar en voor Bernisse om het hele jaar. Achter de locatie staat tussen haakjes het grenschloridegehalte gespecificeerd.

Locatie (normconcentratie)	Overschrijding Soort jaar	huidig			G (2050)			W+ (2050)		
		7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur
Bernisse (150 mg/l, hele jaar)	Gemiddeld	1	0	0	1	0	0	4	0	0
	Droog	1	0	0	1	0	0	2	0	0
	Extreem droog	17	14	14	16	13	11	20	18	14
Krimpen a/d IJssel (250 mg/l, zomer)	Gemiddeld	2	1	0	0	0	0	12	8	5
	Droog	0	0	0	0	0	0	24	18	13
	Extreem droog	32	24	19	34	27	22	86	79	77
Gouda (250 mg/l, zomer)	Gemiddeld	0	0	0	0	0	0	9	9	9
	Droog	0	0	0	0	0	0	24	24	24
	Extreem droog	42	42	42	46	46	46	87	87	87

Voor **Krimpen a/d IJssel** en **Gouda** zijn de effecten van met name scenario W+ erg groot. Voor een extreem droog jaar (1976, herhalingstijd verzilting 25 jaar) is het aantal dagen met overschrijding van de normconcentratie voor inlaat ruim verdubbeld. Gedurende de helft van de zomer is het chloridegehalte hoger dan 250 mg/l. In een gemiddeld jaar (1967) is het aantal dagen overschrijding met aaneengesloten 24 uur te hoge concentraties al opgelopen tot bijna tien dagen. Zoals verwacht wijkt het G- scenario nauwelijks af van de huidige situatie.

Voor **Bernisse** laten de klimaatscenario's geen grote verandering zien ten opzichte van de huidige situatie. In de meest kritische periode voor Bernisse, de maanden november en december, zijn de hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor inlaat slechts marginaal verschillend van die in de huidige situatie. De beperkte zeespiegelstijging (respectievelijk 0,15 m in scenario G en 0,35 m in scenario W+) zijn nog onvoldoende om de verziltingssituatie sterk te verergeren. In de zomer zouden er wat meer dagen met overschrijding van de inlaatnorm kunnen voorkomen, maar dat zal zeer beperkt zijn, omdat het in die periode zelden stormt.

Voor scenario W+ is voor Gouda en Bernisse ook een langjarige reeks (van 34 jaren) geanalyseerd. Tabel 5.12 geeft de procentuele verdeling van het aantal doorgerekende jaren dat een bepaalde chlorideoverschrijding kent. In de huidige situatie kent Gouda in de zomer van 82% van de jaren geen overschrijding van de 250 mg/l chloridegrens langer dan 24 uur en dus geen inlaatbeperking. In scenario W+ is dat in 2050 teruggelopen tot 44% van de jaren. Voor Bernisse zijn de cijfers 94% nu en 82% in 2050 bij W+. Deze uitkomsten bevestigen aldus de conclusies op basis van de doorrekening van de karakteristieke jaren.

Tabel 5.12 De frequentie van overschrijding van bepaalde chloridenormen (in dagen inlaatbeperking) in procenten van het aantal doorgerekende jaren van de 34 jarige reeks.

aantal dagen boven 'norm'		0	1-20	21-40	41-60	61-80	>80
<b>Gouda (Cl &gt;250 mg/l gedurende 24 uur of langer)</b>							
zomerperiode	huidig	82%	12%	3%	3%	0	0
zomerperiode	W+ 2050	44%	32%	12%	6%	0	6%
winterperiode	huidig	71%	26%	3%	0	0	0
winterperiode	W+ 2050	29%	29%	21%	18%	3%	0
<b>Bernisse (Cl &gt;150 mg/l gedurende 24 uur of langer)</b>							
zomerperiode	huidig	94%	6%	0	0	0	0
zomerperiode	W+ 2050	82%	18%	0	0	0	0
winterperiode	huidig	56%	35%	6%	3%	0	0
winterperiode	W+ 2050	44%	41%	3%	12%	0	0

Voor met name Gouda – waar het goed gemengde water slechts brak wordt en niet heel zout – is nog interessant in hoeverre het aantal overschrijdingsdagen verschilt als zou worden uitgegaan van andere normconcentraties voor chloride. Voor de volledigheid is dat ook berekend voor Bernisse en Krimpen a/d IJssel. Het is berekend voor het huidig klimaat – waar scenario G niet erg van afwijkt – en het scenario W+ in 2050.

In Tabel 5.13 is te zien dat bij een 'soepeler' norm het aantal overschrijdingsdagen voor Gouda in het huidige klimaat naar 0 gaat. Met andere woorden: het Gouda-probleem is deels een probleem van de strenge inlaatnorm. Daar staat tegenover dat het effect in het W+-scenario in 2050 veel minder groot is; voor een normconcentratie van 600 mg/l loopt het aantal overschrijdingsdagen terug van 87 naar nog altijd 54.

Tabel 5.13 Overschrijding (in dagen) van verschillende normconcentraties in een extreem droog jaar (1976, voor externe verzilting eens per 25 jaar) op 3 locaties gedurende 7, 24 of 48 uur

Normconcentratie	Locatie	150 mg/l hele jaar			150 mg/l zomer			250 mg/l zomer			600 mg/l zomer		
		7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur
Bernisse	huidig	17	14	14	0,8	0	0	0,7	0	0	0,6	0	0
	W+ 2050	20	18	14	2,1	1,9	0	1,2	0	0	0,8	0	0
Krimpen a/d IJssel	huidig	88	76	62	57	52	48	32	24	19	1,5	1,1	0
	W+ 2050	188	177	172	115	106	102	86	79	77	50	43	39
Gouda	huidig	92	91	91	66	66	66	42	42	42	0	0	0
	W+ 2050	186	185	185	120	119	119	87	87	87	54	54	54

Voor Bernisse blijkt niet zozeer de normconcentratie bepalend, maar vooral het moment van optreden; we hadden al vastgesteld dat inlaatproblemen hoofdzakelijk optreden in de winter, als gevolg van stormopzet. Dat blijft zo, ook in scenario W+.

*Al met al kan worden vastgesteld dat in 2050 in het W+-scenario de inlaatcriteria voor zout bij Gouda en Krimpen in het zomerhalfjaar veel vaker zullen worden overschreden dan in het huidig klimaat of scenario G; dat wil zeggen in een klimatologisch extreem droog jaar, met een frequentie van optreden van ongeveer eens per 25 jaar.*

*Voor Bernisse kan worden geconcludeerd dat de klimaatverandering van W+ in 2050 nauwelijks effect heeft op de ernst van de inlaatproblemen. De inlaatbeperkingen doen zich vooral voor in het winterhalfjaar, door stormopzet.*

## Doorkijkje naar 2100

Voor 2100 zijn ook nieuwe berekeningen uitgevoerd. In deze rapportage vervangen die de resultaten van de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011). We geven hier allen de uitkomsten van de berekeningen weer voor overschrijding van de nu geldende normconcentraties gedurende 24 uur. Die zijn 150 mg/l voor Bernisse en 250 mg/l voor Gouda (Tabel 5.14).

Voor 2100 geven de berekeningen voor scenario W+ een sterke toename van de verzilting te zien, zowel in Gouda als in Bernisse. Zelfs voor een gemiddeld jaar wordt voor inlaatpunt Gouda een overschrijding van 59 dagen in het zomerhalfjaar berekend waarop een chlorideconcentratie van 250 mg/l gedurende 24 uur of langer overschreden wordt.

Noch voor Bernisse, noch voor Gouda blijkt de zeespiegelstijging er veel toe te doen, althans niet in scenario G. In W+ is de zeespiegelstijging veel groter (85 cm in plaats van 35) en tevens de rivierafvoer soms lager. Overigens worden in het zomerhalfjaar in 2100 bij Bernisse nog steeds nauwelijks overschrijdingsdagen genoteerd (niet in de tabel aangegeven).

Tabel 5.14 Overschrijding zoutinlaatcriterium bij Bernisse en Gouda gedurende respectievelijk het hele jaar en het zomerhalfjaar voor drie droogtejaren in huidig klimaat en in scenario's G en W+ in 2050 en 2100

	G			W+		
	Gemiddeld	Droog	Extreem droog	Gemiddeld	Droog	Extreem droog
<b>Bernisse (150 mg/l, hele jaar)</b>						
<b>huidig</b>	0	0	14	0	0	14
<b>2050</b>	0	0	13	0	0	18
<b>2100</b>	0	0	15	3	64	110
<b>Gouda (250 mg/l, zomer)</b>						
<b>huidig</b>	0	0	42	0	0	42
<b>2050</b>	0	0	46	16	24	87
<b>2100</b>	0	0	44	59	93	125

### 5.3.8 Tekort aan water voor peilhandhaving van de rivieren?

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 m<sup>3</sup>/s over de IJssel kan stromen en er altijd 25 m<sup>3</sup>/s voor de Neder-Rijn overblijft. Die 25 m<sup>3</sup>/s zijn nodig voor de waterverdeling meer stroomafwaarts via Amsterdam-Rijnkanaal en Lek. Zolang de afvoer bij Lobith hoger is dan 1300 m<sup>3</sup>/s kan hieraan voldaan worden. Bij lagere afvoeren blijft de 25 m<sup>3</sup>/s voor de Neder-Rijn gereserveerd, maar kan het debiet over de IJssel van 285 m<sup>3</sup>/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. Omdat de sluisdeuren daar niet op zijn berekend en dan open gaan, daalt de waterstand, hetgeen een knelpunt veroorzaakt voor inlaatpunt Kromme Rijn.

### 5.3.9 Tekort aan water voor waterinlaat naar de regio vanuit de Rijntakken?

Lage afvoeren in Rijn en Maas kunnen tot zulke lage waterstanden leiden dat de waterinname voor regionaal waterbeheer beperkt wordt. Dit betreft vooral locaties waar het

water onder vrij verval het gebied wordt ingelaten. In de knelpuntenanalyse 2011 van de regio rivieren (Witteveen & Bos, 2011) is de onderstaande tabel opgenomen van mogelijke knelpunten bij de inlaat van water door lage rivierwaterstanden.

**Tabel 3.6. Overzicht inlaten met beperking door lage rivierwaterstanden**

nr.	inlaat	deelstroomgebied	hoofdsysteem	scenario en jaar
1	Genderen	Land v Heusden Altena	Maas	alle scenario's en jaren
2	Blauwe Sluis	Quarles van Ufford	Maas (stuwpannd Lith)	alle scenario's en jaren
3	Teersesluispol-der	Bloemers	Maas Waal Kanaal (stuwpannd Grave)	alle scenario's en jaren
4	Landweijer	Bloemers	Maas Waal Kanaal (stuwpannd Grave)	Ref en G in '89 en '76; W+ alle
5	Weurt	Bloemers	Maas Waal Kanaal (stuwpannd Grave)	alle scenario's en jaren
6	De Pannerling	-	Pannerdens Kanaal	W+ in 1976
7	Drielandenpunt	Neder-Betuwe t.b.v. Beneden Linge	Amsterdam-Rijnkanaal	alle scenario's en jaren

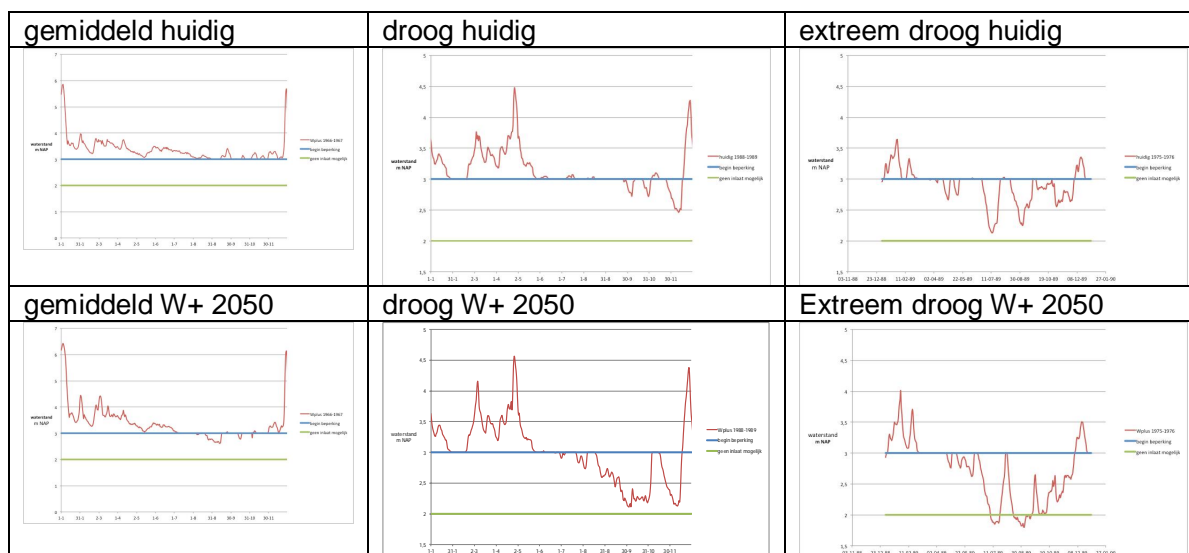
In het Betuwepand van het Amsterdam Rijnkanaal en het gekanaliseerde deel van de Nederrijn-Lek is volgens een recent onderzoek (Hydrologic, 2012) voldoende water beschikbaar om aan de huidige en toekomstige watervragen te voldoen. Bij een lage Rijnaafvoer speelt het openen van de Prins Bernhardsluizen hierin een cruciale rol, omdat zo substantiële hoeveelheden water vanuit de Waal naar het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en de Lek kunnen stromen. Een uitzondering hierop vormt de inlaat naar de Kromme Rijn vanuit stuwpannd Hagestein. Dit wordt beperkt door te lage waterstanden, zodat dit innamepunt kan worden toegevoegd aan bovenstaande lijst (als nr. 8) (Hydrologic, 2012).

Verder wordt opgemerkt dat bij een waterstand op de IJssel lager dan NAP +1,30m het gemaal Ankersmit (waterschap Groot Salland) geen water meer kan aanzuigen. In dat geval zal noodbemaling worden geplaatst om water in te nemen.

Voor deze aangescherpte knelpuntenanalyse is nagegaan of de genoemde 8 knelpunten nog steeds bestaan. Van deze 8 locaties liggen er 5 aan de gestuwde trajecten van de Rijn (Nederrijn/Lek) en Maas (gestuwde Maas) en twee aan vrij afstromende rivieren (Pannerdensch Kanaal, Maas). In de stuwpannden is een minimaal debiet nodig om schutverliezen en wateronttrekkingen te compenseren. De waterinlaat Drielandenpunt blijkt voorzien van een vijzelgemaal, zodat het niet uitsluitend op vrij verval is aangewezen. Daarom wordt het Drielandenpunt hier niet langer als knelpunt opgevat.

### **Inname water via de Kromme Rijn (8)**

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. Omdat de sluisdeuren van de Bernhardsluizen geen water vanuit het kanaal kunnen keren, zullen – als de Waal lager staat dan het Amsterdam Rijnkanaal – de sluisdeuren worden geopend. De Waal staat dan in open verbinding met het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en het stuwpannd Hagestein. De waterstanden in dat stuwpannd zakken dan mee met de waterstand op de Waal bij Tiel.



Figuur 5.16 Beperking waterinlaat Kromme Rijn bij verschillende droogtejaren in het huidige klimaat en bij scenario W+/RC (WARM).

Bij lage waterstanden staat de waterinname via de Kromme Rijn daardoor onder druk. Voor verschillende droogtejaren en klimaatscenario's is de waterstand op de Kromme Rijn berekend en is aangegeven of het inlaten van water beperkt wordt door deze waterstand (Figuur 5.16). Met de horizontale blauwe lijn is het begin van de beperking bij de waterinlaat onder vrij verval aangegeven; als de waterstand onder de groene lijn zakt is er onder vrij verval geen wateraanvoer naar de Stichtse Rijnlanden meer mogelijk. De figuur laat zien dat in het W+- scenario in een droog en een extreem droog jaar de wateraanvoer via de Kromme Rijn veelvuldig beperkt tot onmogelijk zal zijn.

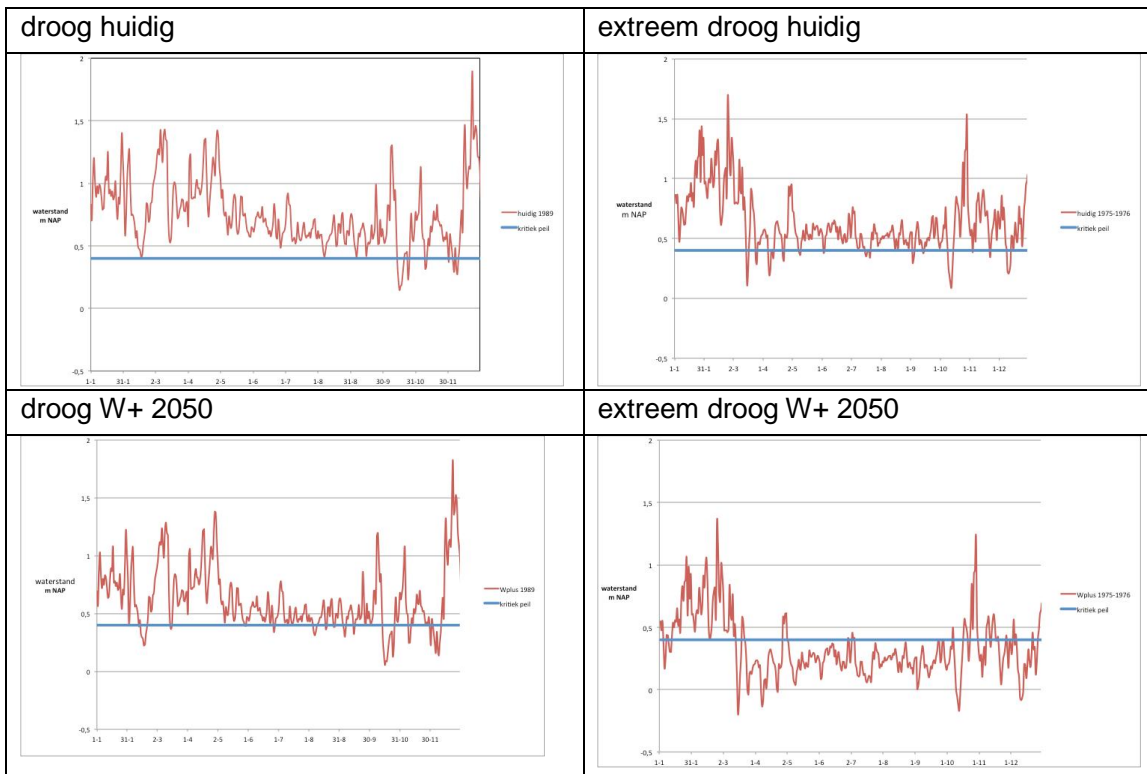
### Innamepunt Genderen (1)

Een soortgelijke situatie geldt voor Genderen langs de Maas. De blauwe lijn stelt de kritieke waterstand voor, waaronder inlaten van water niet meer mogelijk is.

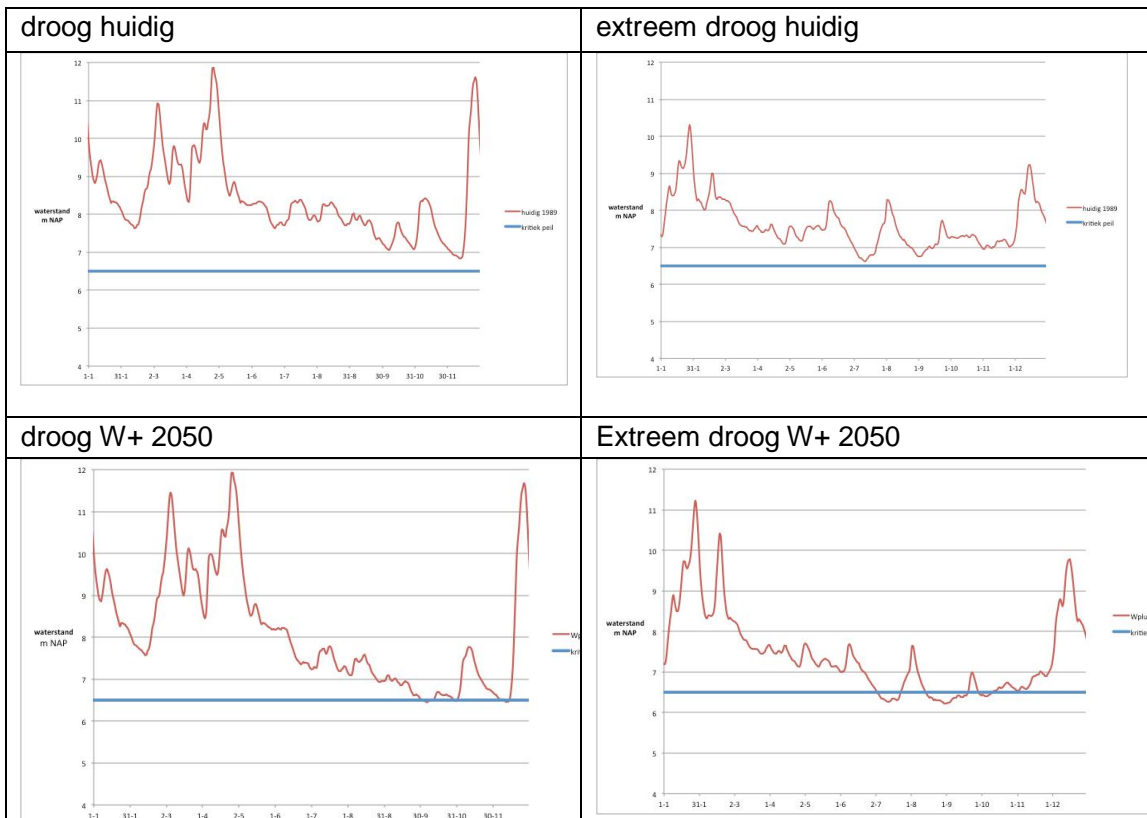
De waterinlaat bij Genderen staat in 2050 in een droog jaar, maar vooral in een extreem droog jaar onder grote druk.

### Innamepunt de Pannerling (6)

De waterstand op het Pannerdensch kanaal ontwikkelt zich dusdanig dat de waterstand de kritieke grens nadert (droog jaar) of net overschrijdt (extreem droog jaar).



Figuur 5.17 Beperking waterinlaat Genderen bij verschillende droogtejaren en het huidig en W+ scenario.



Figuur 5.18 Beperking waterinlaat de Pannerling bij verschillende droogtejaren en het huidig en W+ scenario.

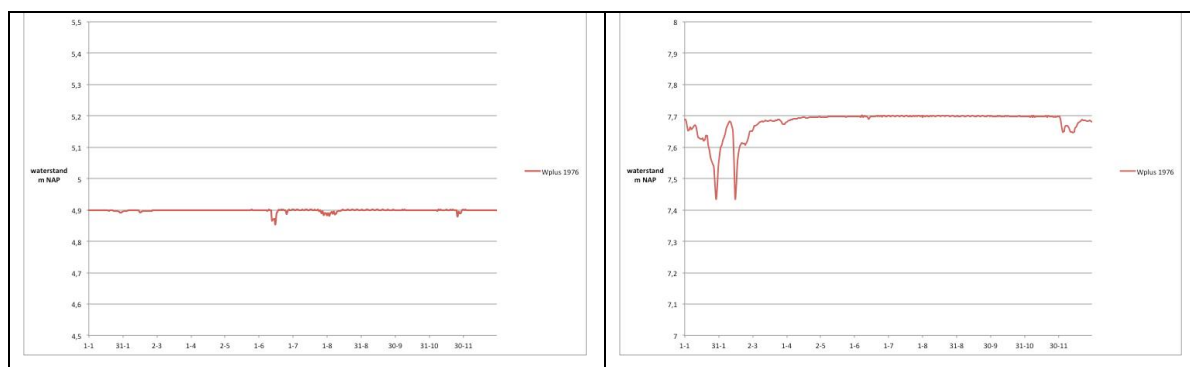


### Inname uit de Maas uit stuwpanden Grave en Lith (2, 3, 4, 5)

Belangrijke waterinlaten voor het rivierengebied bevinden zich in de stuwpanden van Lith en Grave. In onderstaande figuur is het berekende waterpeil van stuwpand Grave en stuwpand Lith weergegeven voor een extreem droog jaar bij scenario W+/RC in 2050.

Er is berekend dat – ondanks de onttrekkingen – onder extreem droge omstandigheden in 2050 het streefpeil in beide stuwpanden nog kan worden gehandhaafd. De afvoer via de Grensmaas in combinatie met afvoer van de Roer, Swalm en Niers lijken voldoende om dit te bewerkstelligen. Het verdient aanbeveling de waterbalans van deze stuwpanden nog eens goed te toetsen aan de regionale kennis van waterbeheerders. Bij de berekende waterstanden in de stuwpanden staan de waterinlaten hier niet onder druk.

Na analyse van de resultaten van 2010/2011 bleek de Sobek- schematisatie een 'lek' in het Maas- Waalkanaal te bevatten. Hierdoor stroomde bij lage afvoeren water van het stuwpand Grave via het Maas- Waalkanaal naar de Waal en kon het streefpeil in de stuwpanden Lith en Grave niet gehandhaafd worden. De aangescherpte berekeningen laten geen knelpunt meer zien.



Figuur 5.19 Waterstanden stuwpanden Lith (links) en stuwpand Grave (rechts) in een extreem droog jaar in scenario W+/RC.

#### 5.3.10 Tekort aan water voor peilhandhaving Brabantse en Limburgse 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 (als 'environmental flow').

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.

Voor de gebieden die afhankelijk zijn van wateraanvoer via de Brabantse en Limburgse kanalen geldt dat de afvoer van de Maas vaak zo gering is dat onvoldoende water via de Zuid- Willemsvaart kan worden aangeleverd om in de watervraag van die gebieden te voorzien.

In Figuur 5.9 is te zien dat een gemiddeld jaar in het W+/RC scenario al een probleem aan het ontstaan is. Het probleem is al groot in een droog jaar (1/10) en is vanzelfsprekend nog groter in een extreem droog jaar. In de figuur is ook te zien dat voor de huidige situatie de eerst problemen ontstaan in een droog jaar en dat het probleem in een extreem droog jaar omvangrijk is.

## 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

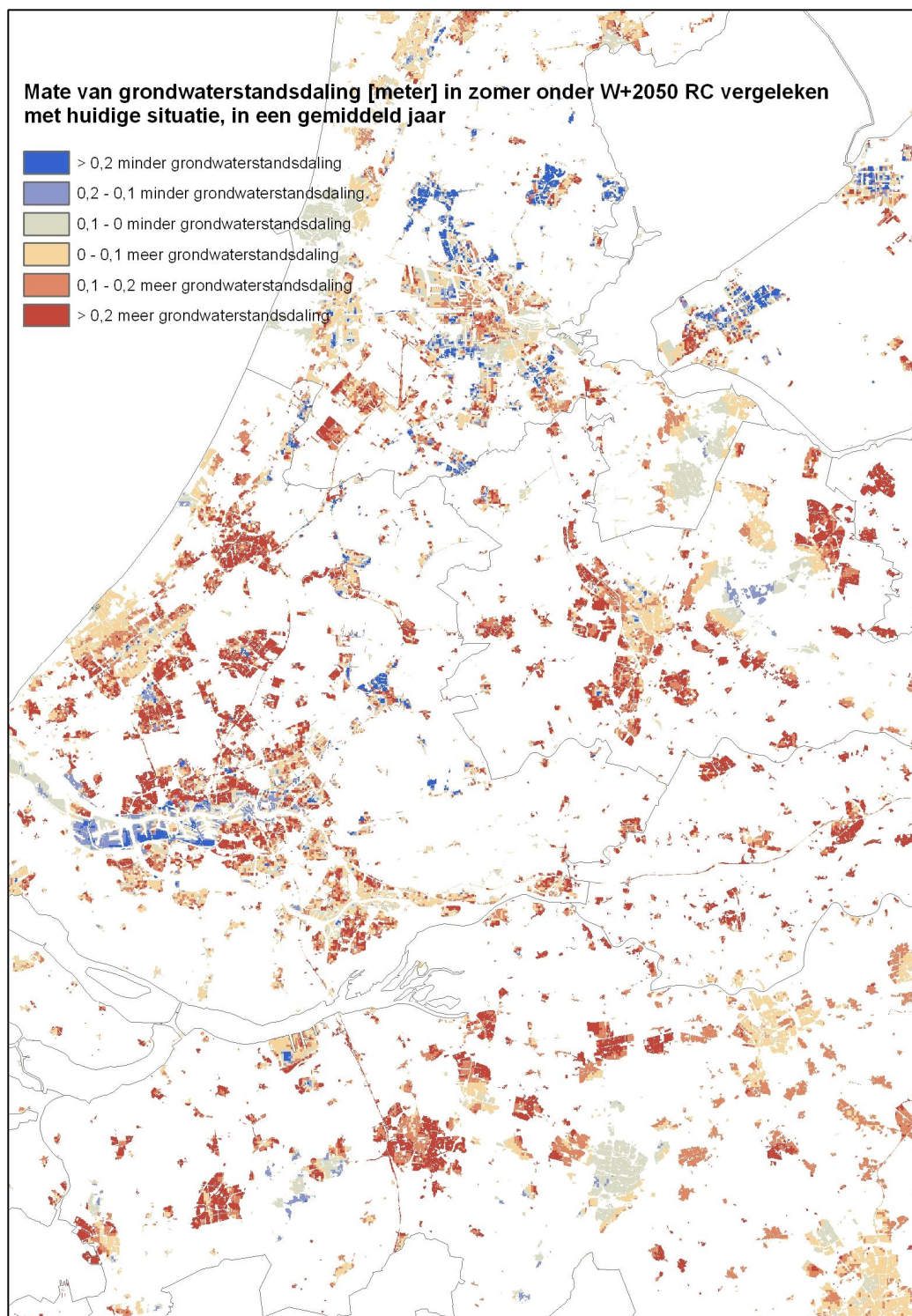
Voor het stedelijk gebied zijn geen specifieke modelberekeningen uitgevoerd met het NHI. Wel is een analyse gemaakt van de NHI uitkomsten voor de stedelijke gebieden: de trends die in de steden zichtbaar zijn, zijn vergelijkbaar met die in het omliggende landelijke gebied.

Figuur 5.20 toont de extra grondwaterstandsfluctuatie (het verschil tussen de hoogste en de laagste stand) die in de zomerperiode (1 april tot 1 oktober) kan worden verwacht in een gemiddeld jaar in 2050 bij een W+/RC scenario. De kaart laat zien dat de grondwaterstand over het algemeen meer zal fluctueren dan in het huidig klimaat. Dat betekent dat deze dieper zal wegzakken als gevolg van het grotere verdampingoverschot. Dit is met name het geval op de zandgronden, maar ook in Laag-Nederland zal het verschil tussen de hoogste en laagste zomergrondwaterstand toenemen, soms met meer dan 20 centimeter.

Voor een aantal plaatsen in Laag-Nederland (bijv. de veengebieden rond Gouda en rondom Amsterdam, bij Almere, en in het buitendijks havengebied van Rotterdam) neemt de fluctuatie overigens af, als gevolg van een andere balans tussen verdamping en drainage enerzijds en neerslag, kwel en infiltratie uit oppervlaktewater anderzijds.

Omdat de watervraag van het stedelijk gebied slecht bekend is, kunnen alleen enkele kwalitatieve uitspraken worden gedaan over de ontwikkeling van knelpunten. Naar verwachting zal in de droge klimaatscenario's (G+ en W+) sprake zijn van een toename van de watervraag van de stad, wat zich vertaalt in verergering van de in paragraaf 3.2 beschreven knelpunten, te weten:

- 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.



*Figuur 5.20* Verschil in grondwaterstandfluctuatie in de loop van het zomerhalfjaar (1 april tot 1 oktober) in scenario W+/RC (WARM) in 2050 ten opzichte van het huidige klimaat, voor een gemiddeld jaar. Alleen de stedelijke gebieden in en rondom de Randstad zijn weergegeven.

- 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. Als er onvoldoende water of water van onvoldoende kwaliteit beschikbaar is, kan de schade groot zijn. In het deelprogramma Nieuwbouw & Herstructurering wordt gewerkt aan het kwantificeren van deze schades.

#### 5.4.2 Infrastructuur

Voor de aangescherpte knelpuntanalyse is nader onderzocht welke effecten droogte als gevolg van klimaatverandering heeft voor de volgende lijnvormige infrastructuur:

- Waterkeringen (dijken en kades)
- Wegen en spoorwegen
- Kabels en leidingen (inclusief riolering)

Daarbij is aandacht besteed aan de standzekerheid van de constructies en aan de beoogde functie vervulling. De analyse is gebaseerd op globale schattingen en aannamen, en maakt gebruik van kentallen, landsdekkende gegevensbestanden en eenvoudige rekenprocedures. Er is in het bijzonder gekeken naar de onderhoudsfrequentie en afschrijvingsduur van de beschouwde objecten in relatie tot de tijdshorizon van klimaatverandering (2050 of 2100), omdat die bepalend is voor de vraag of en wanneer groot onderhoud dan wel reconstructie sowieso aan de orde is.

In het algemeen geldt dat de grootste schade aan lijninfrastructuur is te verwachten in zettingsgevoelige gebieden (Figuur 3.1). Deze gebieden zijn sowieso zettingsgevoelig, ook zonder klimaatverandering, dus de vraag wordt in hoeverre klimaatverandering de bodemdaling en zettingsverschillen verergert, en of dat tot extra schade leidt of niet. Figuur 2.7 geeft de meest recente bodemdalingsprognoses. Deze laten zien dat klimaatverandering de daling in met name de veengebieden sneller doet verlopen, maar dat het globale beeld niet wezenlijk verschilt. Daar komt bij dat de kaarten de 'areale' bodemdaling laten zien, terwijl voor infrastructuur vooral verschillen van plek tot plek belangrijk zijn. Die veroorzaken immers scheurvorming, kuilen, en verzakkingen.

Bij het interpreteren van de bodemdalingskaarten moet ook rekening worden gehouden met het feit dat bij de aanleg van lijnvormige infrastructuur al rekening wordt gehouden met gevoeligheid voor (verschil)zetting. Veel van de beschouwde objecten worden gefundeerd of er worden andere voorzorgsmaatregelen genomen, zoals voorbelasting, zandcunetten, etc. De zetting ter plekke van de infrastructuur is dan ook als regel aanzienlijk minder dan de omgevingsbodemdaling zoals die in Figuur 2.7 is weergegeven.

Uitzondering daarop vormt relatief oude infrastructuur, die geen volledige reconstructie heeft gekend. Daarbij *kan* men denken aan oude (B-)wegen die op de plaats van oude paden zijn aangelegd en qua loop dateren van voor de grote ruilverkavelingen en landinrichtingen in de 20e eeuw, maar *moet* men denken aan flinke lengtes regionale kades en dijken.

### **Waterkeringen**

De meeste waterkeringen in Nederland dateren van eeuwen her. Dat geldt voor de regionale waterkeringen (boezemkades, oude regionale waterkeringen die op het moment geen water keren maar dat vroeger wel deden en nog een compartimenterende rol kunnen spelen, en c-keringen conform de Waterwet). Maar het geldt ook voor vele primaire waterkeringen die buitenwater keren, bijvoorbeeld de oude Zuiderzeedijken van Noord-Holland en Utrecht, Gelderland en Overijssel en de meeste dijken in het rivierengebied. Een hoge leeftijd hoeft geen enkel probleem te zijn – geeft juist vaak extra vertrouwen door ‘bewezen sterkte’ –, maar de aard van de ondergrond behoeft terdege aandacht.

Zo zijn de dijken langs de Lek vele eeuwen oud en deels gelegen op een zeer dik veenpakket met meer of minder klei-insluitingen. Dergelijke dijken worden eigenlijk nooit volledig gereconstrueerd, in tegenstelling tot provinciale wegen en rijkswegen. Bij reguliere controles (tot voor kort iedere 6 jaar) en onderhoud wordt hier altijd met zetting rekening gehouden, maar dat neemt niet weg dat van de Lekdijken langs de Alblasserwaard en Krimpenerwaard weleens wordt gezegd dat een meter ophoging hier binnen 10 jaar weer is verdwenen.

Is dit nu een knelpunt voor het deltaprogramma zoetwater? Gezien het feit dat het alles te maken heeft met funderingsproblemen op slappe grond, maar nauwelijks iets met tekorten aan water of klimaatverandering – en er ook door ‘betere’ watervoorziening niets aan gedaan kan worden – moet het antwoord ‘nee’ zijn. Dit is een probleem van de waterkeringbeheerder, dat niet significant wordt verergerd door klimaatverandering. De zetting wordt ook in hoofdzaak veroorzaakt door het eigen gewicht van de waterkering zelf, zelfs na eeuwen ‘voorbelaasting’.

Enigszins anders ligt het bij veenkades. In hoofdstuk 3 is daarover al vastgesteld dat die bij uitdroging hun waterkerend vermogen kunnen verliezen en een ‘bijzondere vorm’ van waterkering zijn: namelijk ‘een met water gevulde’. Door ze goed nat te houden kunnen ze stabiel worden gehouden. Dat vraagt enig water en veel aandacht. Een alternatief is reconstructie met kleiiger materiaal of andere vormen van verbetering. Veendijken zijn een lokaal fenomeen, ze zijn nu al gevoelig voor droogte (droge jaren) en ze vragen nu al aandacht. Als droge jaren vaker voorkomen, zal die aandacht vaker nodig zijn. Ook dit kan dus worden aangemerkt als primair een probleem van de waterkeringbeheerder, maar in dit geval wordt het wel significant verergerd door klimaatverandering.

### **Wegen**

Bij weginfrastructuur gaat het om wegen, vaste en beweegbare bruggen, verzorgingsplaatsen, tunnels en eco-passages. Het onderzoek is beperkt tot de wegen en daarbinnen vooral op de onderbouw gericht. Het wegdek wordt immers zo frequent onderhouden als reactie op slijtage door het wegverkeer, dat veranderingen in de waterhuishouding geen rol van betekenis meer spelen.

Voor wegen zijn scheurvorming en drempelvorming bij overgangen of stootplaten tussen verschillend gefundeerde wegconstructiedelen (van funderingsbed naar viaducten, bruggen, duikers) als gevolg van ongelijkmatige zetting van klei- en veenlagen het meest relevant. Belangrijke vraag daarbij is of de gevolgen van droogte niet al worden ondervangen door het reguliere onderhoud. De vraag is dus hoe eventuele extra zetting door klimaatverandering zich verhoudt tot autonome zetting en of het tot meerkosten voor onderhoud leidt.

Getracht is om deze vraag langs twee wegen te beantwoorden: (1) door navraag bij specialisten van de Dienst Infrastructuur en de Dienst Verkeer en Scheepvaart, en (2) door analyse van gegevens over de meerkosten van wegbeheer op slappe grond (Cebeon, 2005).

De onderbouw van een weg bestaat in het algemeen uit een zandlichaam, dat kan zijn uitgevoerd als ophoging of zijn ingegraven als cunet, waarop de werkelijke fundering van de bovenbouw is gelegd. Tot de onderbouw horen ook een wegberm en een hemelwaterafvoersysteem (goten, putten en buizen). Voor een goede onderbouw worden eisen gesteld aan maximale zettingen en zettingsverschillen, die weer leiden tot eisen aan een minimaal benodigde drooglegging en onderbouwmaterialen. In plaats van dat wordt gevraagd om een grondwaterstand 'niet lager dan ...', wordt dus juist gevraagd om een grondwaterstand 'niet hoger dan ...'.

De dimensionering van de onderbouw berust op de verwachte zetting en zettingsverschillen, maar er wordt tevens ontworpen op een bepaalde levensduur (meestal 60 jaar) en binnen die duur acceptabele restzettingen en restzettingsverschillen.

Voor verschillende wegtypen (rijkswegen, provinciale wegen, gemeentelijke wegen) blijkt de onderhoudsfrequentie weinig te verschillen. In het algemeen kan worden uitgegaan van:

- klein onderhoud: 1 jaar
- groot onderhoud: ca. 15 jaar
- reconstructies en rehabilitaties: ca. 60 jaar

Op slappe grond kunnen de onderhoudscycli korter zijn en de kosten hoger. Voor wegen in woongebied gaat de CROW-onderhoudssystematiek uit van een wegingsfactor van 1,6 voor veen ten opzichte van zand bij het berekenen van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten. Dat reflecteert dat hetzij vaker onderhoud wordt gepleegd, hetzij ingrijpender en dus duurder onderhoud.

Kentallen die gebruikt worden bij de vaststelling van de algemene uitkering uit het Gemeentefonds (Cebeon, 2005) wijzen uit dat gemeenten op slechte grond per inwoner jaarlijks 44 euro meer ontvangen voor het wegbeheer dan gemeenten op goede grond (zand), en gemeenten op matig slechte grond 20 euro meer. Alle gemeenten op matige of slechte grond samen ontvangen in de huidige situatie jaarlijks 171 M€ extra uit het Gemeentefonds. Dat betreft dus de extra kosten voor gemeentelijk wegonderhoud van gemeenten op slappe grond. Deze zijn in feite al verdisconteerd in de paragraaf over stedelijk gebied (paragraaf 5.4.1), maar ze vormen voor deze paragraaf het enig bruikbare kengetal.

Uit de bodemdalingskaarten (Figuur 2.7) kan – als wordt aangenomen dat de uitgaven voor het wegbeheer lineair gecorreleerd zijn aan de mate van bodemdaling – worden afgeleid dat dit bedrag in scenario W+ in 2050 toeneemt met maximaal 100 miljoen euro. In de praktijk zullen de extra kosten door klimaatverandering (deels) kunnen worden meegenomen bij het reguliere onderhoud. Daarom worden de werkelijke extra kosten door klimaatverandering geschat op enkele tientallen miljoenen per jaar in 2050 bij scenario W+.

*Samengevat* geldt voor wegen dat door mogelijk langere drogere perioden bij klimaatverandering, weliswaar verdere zettingsverschillen kunnen worden verwacht, maar dat deze in het reguliere onderhoud kunnen worden meegenomen. Het onderhoud zal hierdoor naar verwachting niet significant toenemen. Tenslotte kan ook bij wegen de vraag worden gesteld dit nu een knelpunt is dat met een betere watervoorziening kan worden gelenigd, of dat het vooral een funderingsprobleem betreft dat eigen is aan slappe grond, maar nauwelijks iets met tekorten aan water of klimaatverandering te maken heeft. Ook hier geldt dat het minder kwetsbaar maken van – in dit geval – de weginfrastructuur de enig mogelijke oplossing lijkt: klimaatadaptatie van de sector dus.

### **Spoorwegen**

Over spoorwegen is (nog) minder specifieke kennis beschikbaar dan over wegen. Aan het gedrag van overgangsconstructies in spoorwegen is wel enig onderzoek verricht (Deltares, 2010). Uit een analyse van beschikbare onderhoudsgegevens is gebleken dat de wissels en overgangen relatief veel onderhoud vragen. Ongeveer een kwart van de totale kosten voor liggingonderhoud gaat naar wissels en overgangen, terwijl deze slechts enkele procenten van het totale spoorwegennet uitmaken. Blijkbaar zijn de dwarskrachten die door de treinen worden uitgeoefend hier bepalend.

Er wordt in dit verband door ProRail gemeld dat voor nieuw te bouwen baanlichamen het beperken van de zakking door de ondergrond reeds bestaand beleid is en dat het verminderen van de zakking van de ondergrond bij bestaande wissels en overgangen geen reële optie wordt gevonden.

Op grond van het bovenstaande en raadpleging van deskundigen van ProRail wordt geconcludeerd dat, net als bij het wegbeheer, verdroging door klimaatverandering geen significante extra onderhoudsinspanning vergt bovenop de reguliere die vooral door gebruik en veranderende eisen wordt afgedwongen.

### **Kabels en leidingen**

In 2009 is geconcludeerd dat schade vooral te verwachten is waar leidingen in dalingsgevoelige grond (veen en in mindere mate klei) aansluiten aan op palen gefundeerde constructies, dus bij bijvoorbeeld huisaansluitingen of bij overgangen van vrijliggende leidingen naar verdeelstations. De meeste tegenwoordig gebruikte leidingen zijn flexibel genoeg om zettingen op te vangen, maar de vroeger veelvuldige gebruikte gietijzeren of gresleidingen kunnen problemen opleveren. Dit betreft vooral oude gasleidingen en rioleringen.

Recentelijk zijn enkele ernstige incidenten met explosies opgetreden als gevolg van door verzakkingen lek geraakte **gasleidingen**. Naar aanleiding daarvan zijn 75.000 huisaansluitingen in gebieden met slappe grond in de provincies Utrecht en Zuid-Holland vervangen door kunststof leidingen (Eneco, 2007). Dat kostte 18 miljoen euro, maar is natuurlijk een eenmalige investering. Er wordt niet verwacht dat klimaatverandering tot een significante toename van de kosten van onderhoud leidt, of vervanging veel eerder noodzakelijk maakt.

Voor **rioleringen** kan een redenering worden gevolgd die analoog is aan die voor het wegbeheer is gebruikt. Kentallen voor de vaststelling van de algemene uitkering uit het Gemeentefonds (Cebeon, 2005) wijzen uit dat gemeenten op slechte grond jaarlijks 28 € per inwoner extra ontvangen voor rioleringsbeheer ten opzichte van gemeenten op goede grond (zand). Voor gemeenten op matig slechte grond is dit 5 € per inwoner per jaar. Alle gemeenten op matige of slechte grond ontvangen momenteel samen jaarlijks 80 miljoen € extra uit het Gemeentefonds.

Uit de bodemdalingsprognoses (Figuur 2.7) kan weer – aannemende dat er een lineair verband is tussen de kosten van het rioleringsbeheer en de bodemdaling – worden berekend dat de kosten in scenario W+ in 2050 maximaal 50 miljoen € hoger kunnen uitvallen. Omdat ook nu geldt dat de meeste schade kan worden voorkomen door bij het regulier onderhoud alvast op extra droogte te anticiperen, zullen de werkelijke meerkosten door klimaatverandering naar verwachting substantieel lager kunnen liggen. Met de nodige slagen om de arm worden deze geschat op hooguit enkele tientallen miljoenen per jaar in 2050 in het meest ingrijpende klimaatscenario (W+). Relevant hierbij is dat de komende decennia

veel rioolverbeteringen zullen plaatsvinden in het kader van het Nationaal Bestuursakkoord Water. Ook relevant is dat rioleringen – in afwijking van wegen – vrijwel alle vrijwel uitsluitend in beheer zijn bij gemeenten. Daarmee hebben we het grootste deel van de potentiële schade dus te pakken.

### **De conclusies samengevat**

Voor infrastructuur geldt dat het heel lastig is de meerkosten van extra onderhoud door klimaatverandering te begroten ten opzichte van de kosten van regulier onderhoud. Regulier onderhoud is vaak noodzakelijk door heel andere vormen van achteruitgang dan die door zetting en zettingsverschillen; met die laatste wordt namelijk bij het ontwerp en reconstructies al terdege rekening gehouden.

Voor alle infrastructuur samen wordt verwacht dat de extra kosten voor onderhoud als gevolg van extra droogte door klimaatverandering niet meer dan enkele tientallen miljoenen euro's per jaar bedragen. Daarbij wordt wel aangetekend dat zetting en zettingsverschillen wel tot fors hogere kosten voor onderhoud en vervanging zorgt op slappe gronden, maar dat dit nu ook al geldt. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Waterkeringen: waterkeringen op slappe ondergrond hebben veel te lijden van zakkings, vooral door hun eigen gewicht. Klimaatverandering verergert dit probleem niet significant, noch kan beter waterbeheer dit probleem oplossen. Het is primair een funderingsprobleem. Voor veenkades kan wel gelden dat 'goed nathouden' de waterkerende functie kan garanderen. Dat vraagt vooral een alerte waterkeringsbeheerder, maar slechts een verhoudingsgewijs geringe hoeveelheid water.
- Wegen: op basis van beschikbare cijfers voor meerkosten van wegbeheer op slechte gronden is geschat dat de onderhoudskosten door klimaatverandering (W+) kunnen toenemen met naar schatting enkele tientallen miljoenen € per jaar in 2050. (Rijks)wegbeheerders, daarnaar gevraagd, verwachten nauwelijks meerkosten ten opzichte van regulier onderhoud/ reconstructie.
- Spoorwegen: op basis van navraag bij spoorwegbeheerders worden nauwelijks extra onderhoudskosten verwacht door klimaatverandering/ droogte.
- Kabels en leidingen: het ziet ernaar uit dat het merendeel van de (potentiële) schade aan gasleidingen kan worden voorkomen door vervanging van kwetsbare oude leidingen door veel minder tot niet kwetsbare kunststofleidingen. Voor rioleringen is geschat – op basis van beschikbare cijfers voor meerkosten van rioleringsbeheer op slechte gronden – dat de onderhoudskosten door klimaatverandering/ droogte (W+) kunnen toenemen met naar schatting hooguit enkele tientallen miljoenen euro per jaar in 2050.

### 5.4.3 Landbouw

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

- het vochtgehalte 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, bevloeiing of infiltratie.

### **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.

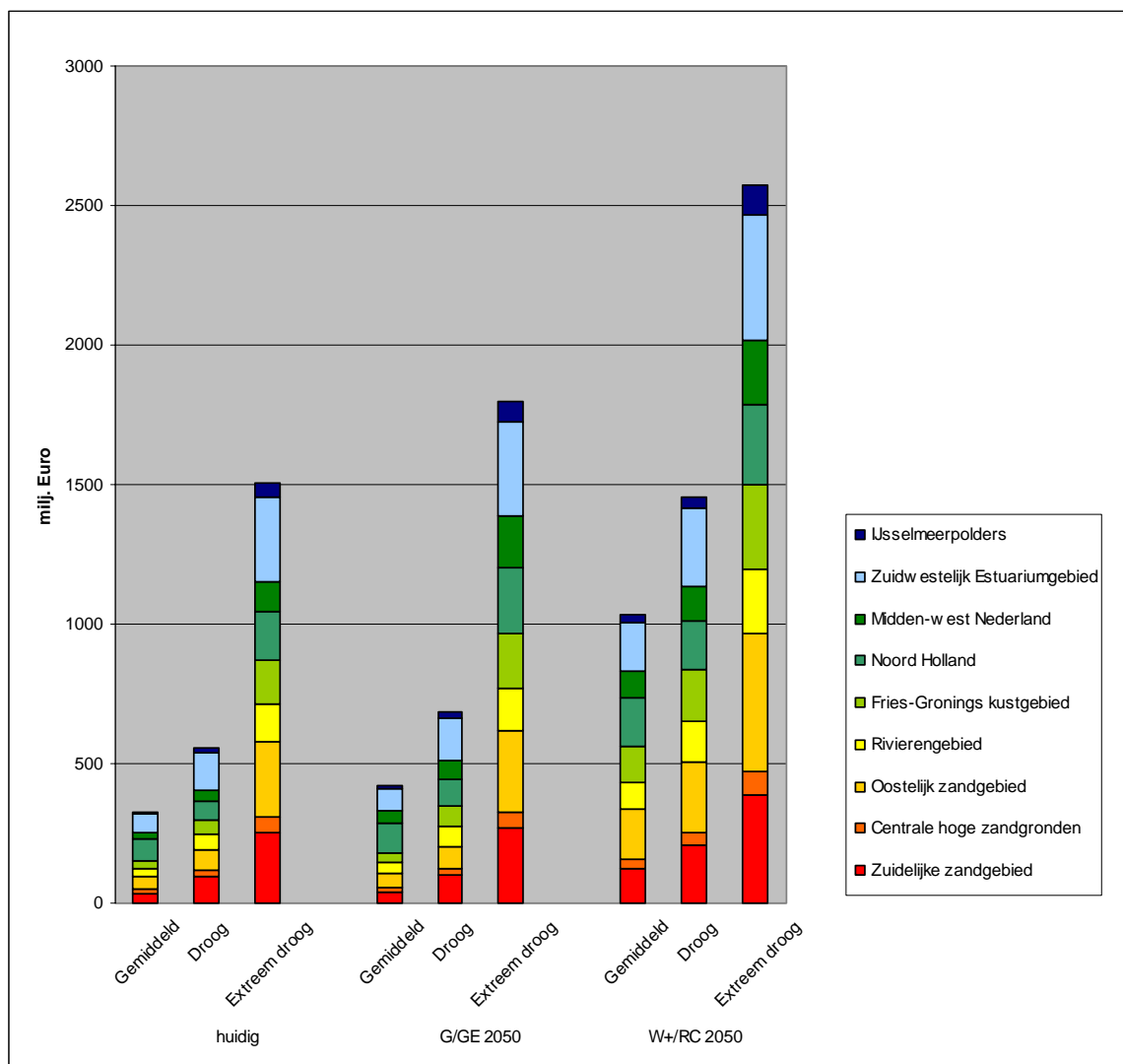
*Voor een droog jaar (10% droog) zijn per waterhuishoudkundige regio de beregeningsbehoefte en het gewasverdampingstekort voor deze aangescherpte knelpuntanalyse opnieuw berekend voor het huidige klimaat en het klimaat in 2050 bij scenario's G/RC en W+/RC. De belangrijkste reden daarvoor was dat in versie 2.2. van NHI veel meer beregeningsinstallaties zijn opgenomen (zie Figuur 3.4).*

Tabel 5.15 De hoeveelheid beregening uit oppervlaktewater en de gewasverdampingsreductie in een droog jaar per waterhuishoudkundige regio in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario W+/ RC (WARM)

	Huidig klimaat				W+/ RC 2050			
	beregening uit oppervlaktewater		gewasverdampingsreductie		beregening uit oppervlaktewater		gewasverdampingsreductie	
	(mm)	(Mm <sup>3</sup> )	(mm)	(Mm <sup>3</sup> )	(mm)	(Mm <sup>3</sup> )	(mm)	(Mm <sup>3</sup> )
Zuidelijk zandgebied	7	44	52	315	11	67	104	627
Centrale hoge zandgronden	2	5	67	172	3	7	143	368
Oostelijk zandgebied	3	26	24	188	6	49	74	589
Rivierengebied	27	54	42	85	40	81	100	202
Fries-Gronings kustgebied	7	35	25	127	12	61	83	416
Noord-Holland	27	42	24	37	48	75	79	125
Midden West Nederland	21	59	40	113	30	83	103	291
Zuidwestelijk estuariumgebied	19	56	26	78	30	88	83	246
IJsselmeerpolders	18	26	13	18	33	48	47	69
<b>Totaal</b>		<b>347</b>		<b>1134</b>		<b>559</b>		<b>2934</b>

Omdat klimaatscenario G voor de landbouw weinig gevolgen heeft zijn hier alleen de resultaten voor scenario W+/ RC gegeven, en wel in Tabel 5.15. 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. *Deze verschillen zijn vrijwel gelijk aan die in de eerste knelpuntanalyse waren berekend.*

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 nu een toename van de beregening op van 60% als gevolg van vrijwel *alleen klimaatverandering.*



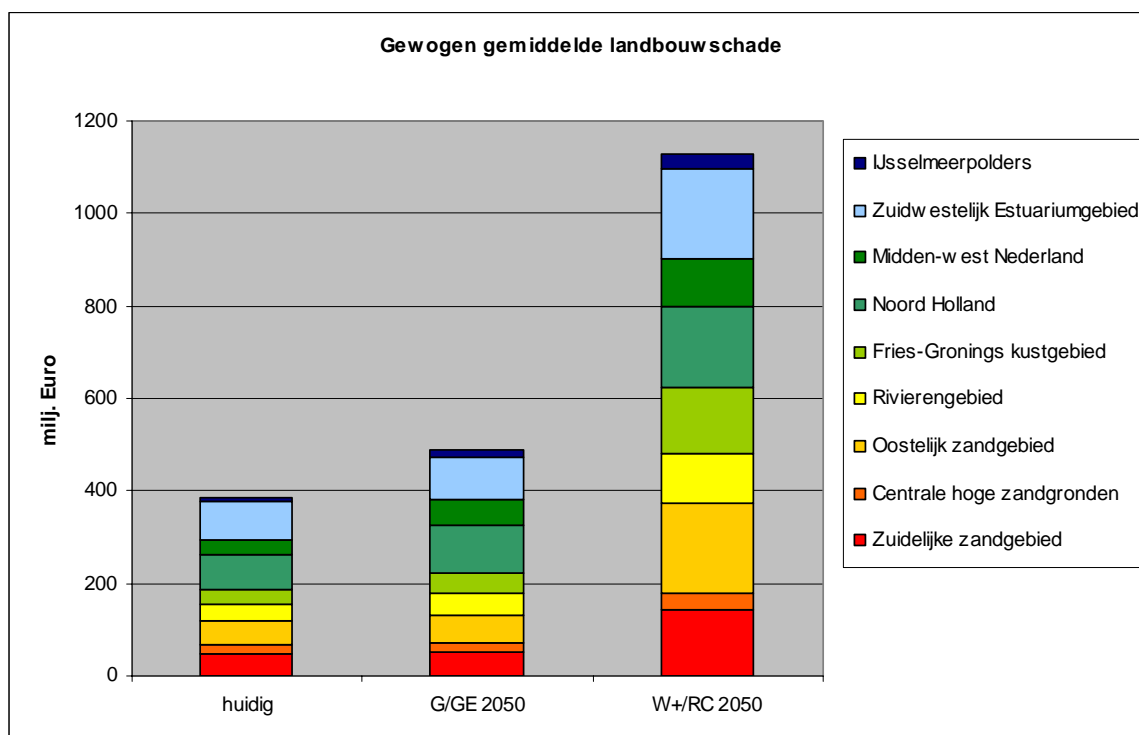
Figuur 5.21 Berekende schade aan landbouwopbrengsten door droogte in verschillende jaren in het huidig klimaat en bij scenario's G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM) in 2050, voor verschillende waterhuishoudkundige regio's. Getallen in miljoenen euro's, naar huidig prijspeil, zonder prijselasticiteit.

### Opbrengstreductie in de landbouw

Vochttekort in het groeiseizoen veroorzaakt een reductie van de gewasverdamping en leidt tot verminderde gewasopbrengsten. *Met behulp van AGRICOM zijn met de nieuwe uitkomsten van NHI (versie 2.2) opnieuw de droogteschades in de landbouw berekend, voor een gemiddeld, droog en extreem droog jaar, voor het huidig klimaat en voor scenario's G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM) in 2050. Daarbij is uitgegaan van het huidig prijspeil, en is geen rekening gehouden met prijselasticiteit; dat wil zeggen dat de prijzen gelijk blijven, ook als de oogst van een bepaald gewas gering is. De zo gevonden opbrengstverliezen kunnen dus afwijken van de werkelijk geleden schade. Ze moeten dan ook als indicatie worden beschouwd van de theoretisch potentiële schade, die voor de vergelijkbaarheid is uitgedrukt in euro's. De absolute getallen moeten met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.*

Figuur 5.21 geeft de resultaten per waterhuishoudkundige regio geordend. Daaruit blijkt ten eerste dat de *variatie* tussen verschillende jaren erg groot is. Ten tweede is te zien dat de deltasenario's tot een toename leiden van de landbouwschade in alle karakteristieke jaren; G/GE (DRUK) leidt tot een toename van de schade met zo'n 20 (extreem droog jaar) tot 30 % (gemiddeld jaar) in 2050; W+/RC (WARM) leidt tot een toename van de schade met een factor 1,7 (extreem droog jaar) tot 3 (gemiddeld jaar).

Omdat niet alle jaren een gelijke kans van voorkomen hebben is ook een soort 'verwachtingswaarde' berekend (hier heel simpel berekend als gewogen gemiddelde), die de vergelijking van de scenario's vergemakkelijkt. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Figuur 5.22.



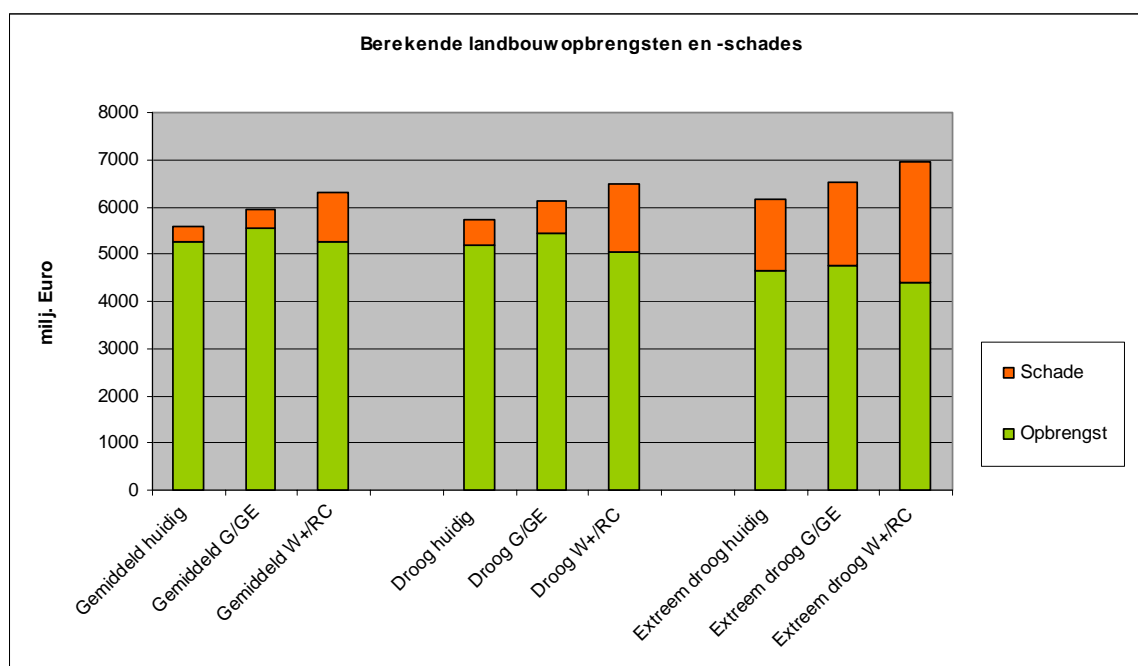
Figuur 5.22 Berekende gewogen gemiddelde derving aan landbouwopbrengsten door droogte in het huidig klimaat en bij scenario's G/GE (DRUK) en W+/RC (WARM) in 2050, voor verschillende waterhuishoudkundige regio's. Getallen in miljoenen euro's, naar huidig prijspeil, zonder prijselasticiteit.

Uit deze figuur blijkt heel duidelijk dat klimaatverandering tot grote veranderingen in de opbrengsten zal leiden in alle regio's, maar het meest op de zuidelijke en oostelijke zandgronden en in het zuidwestelijk estuariumgebied waar geen wateraanvoer mogelijk is. Ook het Fries- Groningse kustgebied kan de invloed van vochttekorten goed gaan merken. Noord-Holland en Midden- West Nederland ondervinden vooral problemen als de wateraanvoer wordt beperkt, in extreem droge jaren (zie Figuur 5.21).

Omdat aan de absolute getallen in euro's niet al teveel waarde mag worden gehecht is ook berekend hoe de schade zich verhoudt tot de potentiële opbrengsten; zo verkrijgt men procentuele schades, en dat is een robuustere indicator. De procentuele schade geeft inzicht in de relatieve belangrijkheid van het probleem van droogte voor de landbouw. *In Tabel 5.16 is voor heel Nederland weergegeven hoe groot de droogteschade in verschillende droogtejaren is het huidige klimaat in procenten is en hoe groot deze is in scenario's G/ GE en W+ RC. Deze getallen berusten op nieuwe berekeningen, maar zijn vrijwel gelijk aan die in de eerste knelpuntanalyse (Klijn et al., 2011).*

Tabel 5.16 De berekende totale droogteschade (in %) voor geheel Nederland in verschillende karakteristieke jaren in het huidig klimaat en scenario's G/GE en W+/RC in 2050

	Huidig	G/GE	W+ RC
gemiddeld jaar	6	7	16
droog jaar	10	11	22
extreem droog jaar	24	27	37



Figuur 5.23 Met AGRICOM berekende opbrengsten en schades in de landbouw (oogst) in verschillende jaren in het huidige klimaat, scenario's G?Ge en W+ RC in 2050. Dit illustreert dat ook de theoretisch maximale opbrengsten (de optelsom van actuele opbrengst en schade) per jaar variëren, niet alleen de schades.

*In Figuur 5.23 zijn de schades nog eens gerelateerd aan de opbrengsten, omdat die ook niet in ieder jaar gelijk zijn (alle getallen bij huidig prijspeil en zonder prijselasticiteit). De berekende opbrengsten zijn vergeleken met monitoringsgegevens van het LEI. Ze blijken van dezelfde orde van grootte (ca 5 miljard euro opbrengst per jaar, zonder de 1,25 miljard euro van de boomsiereteelt die niet in AGRICOM wordt meegerekend), hetgeen vertrouwen geeft in de uitkomsten op landelijk niveau.*

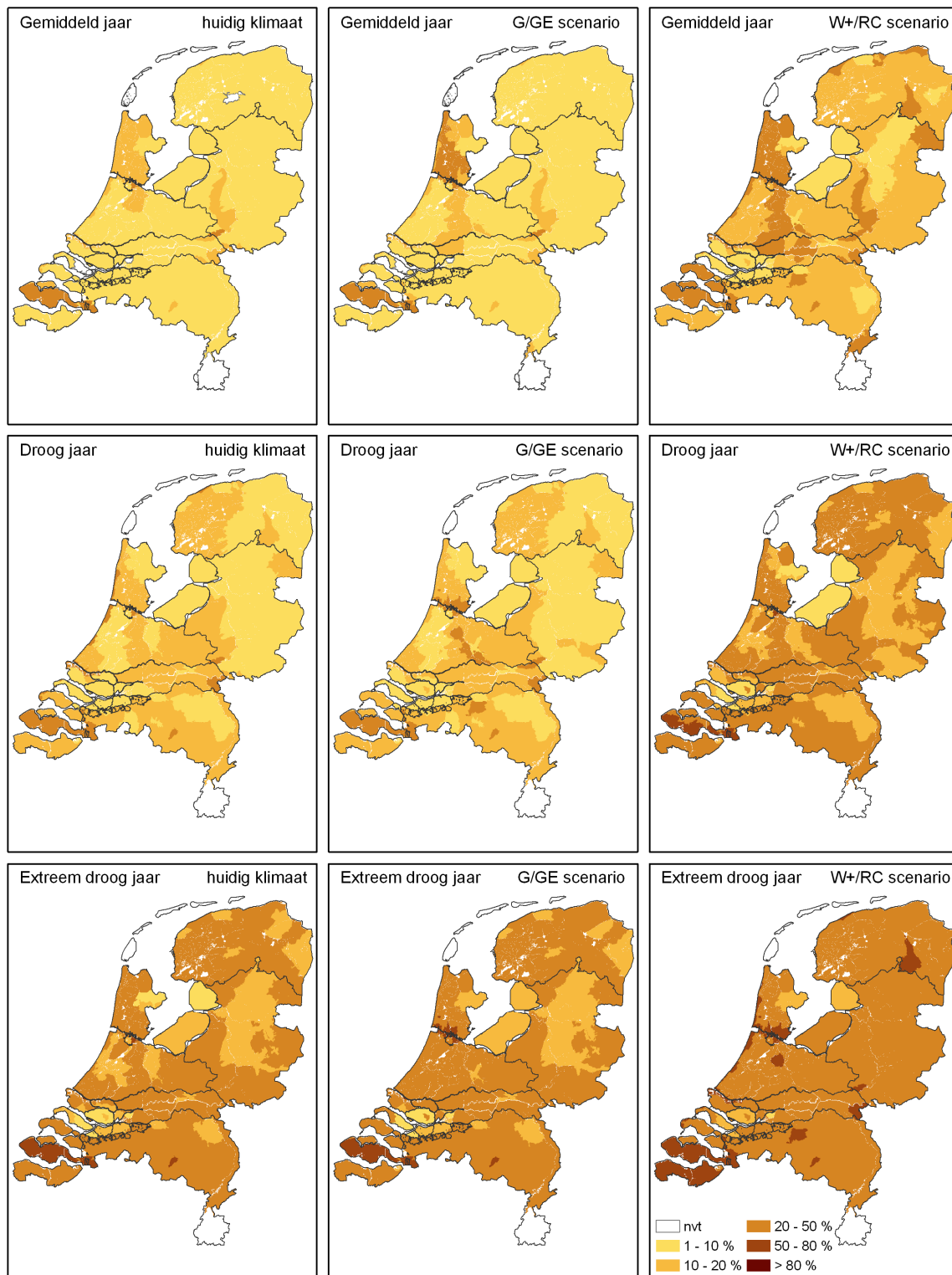
*Om een beeld te kunnen krijgen van waar de droogteschade vooral optreedt, zijn nieuwe, meer gedetailleerde kaarten gemaakt van de berekende opbrengstreducties in procenten (Figuur 5.24). De kaarten laten zien dat er in Walcheren en Zuid-Beveland nu al relatief forse opbrengstreducties zijn ten opzichte van een theoretisch optimum; dit is een locatie met goede gronden in een 'droge' provincie zonder wateraanvoer. Vergelijking van de kaarten van boven naar beneden toont dat in alle delen van het land de schadepercentages toenemen in droge en extreem droge jaren, zowel in Hoog- als Laag- Nederland; vergelijking van de kaarten van links naar rechts laat het effect van klimaatverandering zien. Ook dat manifesteert zich overal als toename van de opbrengstreductie. Dat de toename van de berekende droogteschade op de hogere zandgronden niet veel groter is dan die in Laag-Nederland is een gevolg van het feit dat in het model (NHI) geen beregeningsverbod voor grondwaterberegening is geïmplementeerd; in werkelijkheid zal daarvan sprake kunnen zijn als het erg droog is en de grondwaterstanden te ver dreigen te dalen.*

De nieuwe berekeningsresultaten wijken nauwelijks af van die in de eerdere knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011). Ten opzichte van eerder onderzoek door Van Beek (2008), waar Klijn et al. (2010) ook mee heeft gerekend, wordt wel een veel pregnanter effect berekend van klimaatverandering. Waar dat eerdere onderzoek een verandering van circa 350 M€/jaar in het huidige klimaat naar 650 M€/jaar voor scenario W+ berekende, vinden we nu als resultaten circa 390 en ruim 1,1 miljard euro per jaar voor scenario W+ in 2050. Dat kan deels worden toegeschreven aan een aangepast prijspeil, maar het berekende klimaateffect is ook veel groter. Waar eerder een toename van de totale verwachte schade met 80% werd gevonden, vinden we nu een toename met grofweg factor 3. En dat komt overeen met een verwacht jaarlijks verlies ten opzichte van de theoretisch maximale opbrengst van 20%. Daarbij wordt – misschien ten overvloede – nogmaals aangetekend dat scenario W+ de grootste verandering kent van alle scenario's, veel groter dan die in de andere klimaatscenario's.

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:

- 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 schadepercentages zijn discutabel.



Figuur 5.24 Droogteschade (in % per NHI- district) in een droog jaar in het huidige klimaat (links) en in 2050 in scenario G/GE (midden) of W+/ RC (rechts)

#### 5.4.4 Terrestrische natuur en natuur in de kleine wateren

In de eerste knelpuntenanalyse zijn – met het model DEMNAT – effecten berekend voor de floristische kwaliteit van de vegetatie voor zover veroorzaakt door een verandering in de waterhuishouding. *Voor deze aangescherpte analyse zijn deze berekeningen opnieuw gedaan, met als invoer de geactualiseerde en verbeterde resultaten van NHI versie 2.2. Dit leidt tot iets andere uitkomsten, maar dezelfde conclusies. Tevens is additioneel een literatuurstudie gedaan naar wat anderen hebben gevonden over de gevolgen van klimaatverandering voor natuur. Daar wordt hier eerst op ingegaan.*

In de afgelopen tijd zijn er diverse studies gepubliceerd die ingaan op knelpunten tussen natuur en waterhuishouding, inclusief een toekomstverwachting ten aanzien van de klimaateffecten. Zo beschrijven Bodegom et al. (2011) drie onafhankelijke onderzoeken (Witte et al., 2009; Bartholomeus, et al., 2010; Vos et al., 2010) die tot een vergelijkbare conclusie komen, namelijk dat natte, voedselarme ecosystemen als vochtige graslanden, natte heide en vennen in Nederland het meeste risico lijken te lopen als gevolg van klimaatverandering.

Witte et al. (2009) hebben de berekeningsresultaten van een landelijk hydrologisch modelinstrumentarium vergeleken met hydrologische randvoorwaarden van natuurdoeltypen zoals vastgelegd in Waterlood (Runhaar & Hennekes, 2006) om hiermee een indicatie te krijgen welke verschuivingen zijn te verwachten. Zij vonden dat in klimaatscenario W+ vooral grondwaterafhankelijke vegetaties te maken krijgen met grote vochttekorten, wat mogelijk tot een meer open vegetatie zal leiden. Natte, door regenwater gevoede systemen zoals hoogvenen, vennen en natte heiden krijgen het moeilijker. Onzeker is wat er met de kwel gebeurt, wat erg relevant is voor kwelafhankelijke vegetaties. De grotere droogte zal naar verwachting leiden tot een toename in de inlaat van systeemvreemd water waarvan negatieve effecten worden verwacht. Voor het veenweidegebied wordt een versnelde veenafbraak verwacht door hogere temperaturen en meer wisselende grondwaterstanden.

Met procesgerichte hydrologische modellen is door Bartholomeus et al. (2008) zuurstofstress en vochtstress berekend. 'Natte' vegetaties hebben hoofdzakelijk met zuurstofstress te maken en 'droge' vegetaties met vochtstress. Daar zijn deze vegetaties ook op aangepast. Vochtige ecosystemen hebben met beide te maken. Uit de berekeningen blijken vooral Rode Lijst soorten af te nemen door de verwachte toename in zuurstofstress en vochtstress, terwijl algemene soorten hier nauwelijks last van hebben. Het effect speelt vooral in vochtige vegetaties en is het sterkst in een W+ scenario.

In de KlimaatResponsDatabase zijn soorten ingedeeld naar uitbreidende, terugtrekkende en centrale soorten. Vastgesteld is dat de meeste soorten zich naar het noorden uitbreiden en, minder duidelijk, dat verspreidingsgebieden aan hun zuidgrens krimpen. Uit een analyse voor Nederland bleek dat veel soorten van vochtige schraallanden, vochtige heiden, en voedselarme venen zich terugtrekken, en dat die van droge schraallanden en voedselrijke graslanden en akkers uitbreiden (Vos et al., 2010).

Naar aanleiding van de bevindingen van Witte et al. (2009) is een aanvullende studie verricht specifiek gericht op hoogvenen en klimaatverandering (Bijlsma et al., 2011). Dit ecosysteemtype kwam als bijzonder kwetsbaar naar voren bij een W+ scenario. Bijlsma et al. concluderen dat levende hoogvenen bij een W+-scenario waarschijnlijk nog steeds kunnen voortbestaan, mits sprake is van een optimale waterhuishouding. Hiervoor zijn maatregelen nodig zoals de aanleg van natte bufferzones.

Door Besse-Lototskaya et al. (2011) is ook een uitgebreid overzicht gemaakt van verwachte effecten van klimaatverandering op natuurdoelen, waarbij meer aandacht is besteed aan

verschillende typen oppervlaktewateren. Op basis van kennis over landschapsecologische processen is geconcludeerd dat aquatische natuur vooral negatieve gevolgen ondervindt, terwijl terrestrische natuur incidenteel ook positieve gevolgen laat zien. Kleine aquatische ecosystemen, zoals bronnen en beekbovenlopen, zijn het meest kwetsbaar. Maar ook voedselarme of matig voedselrijke kleine wateren behoren tot de kwetsbaarste zoals kleine duinwateren en voedselarme tot matig voedselrijke poelen. Op de hogere zandgronden speelt een verhoogd risico op droogval van waterlopen.

Tabel 5.17 De 18 ecotoopgroepen die in DEMNAT-3.0 worden onderscheiden

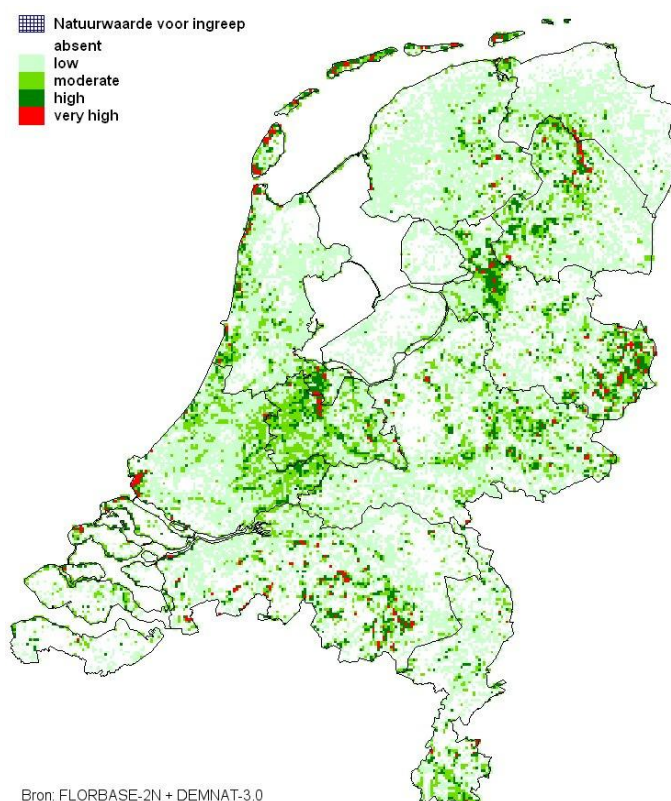
code	omschrijving (landschapstype)
A12	Verlandings- en zoetwatervegetaties van voedselarme, zwak zure wateren ( <i>vennen, duinmeren</i> )
A17	Verlandings- en zoetwatervegetaties van matig voedselrijke wateren ( <i>sloten en plassen in laagveengebieden en nattere zandstreken</i> )
A18	Verlandings- en 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>rivierbossen, 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> )



*Behalve deze additionele verkenning van literatuur is ook een nieuwe berekening uitgevoerd met het landelijke eco-hydrologische voorspellingsmodel DEMNAT 3.0, waarmee de gevolgen voor de vegetatie door daling van grondwaterstanden, het opdrogen van geïsoleerde waterpartijen, het wegvallen van kwelstromen, etc. kunnen worden berekend.. Het gaat om een herhaling van de berekeningen uit de eerste knelpuntenanalyse, maar dan met invoer die is gegenereerd door versie 2.2 van het NHI. Tevens is de berekeningswijze voor het herstel van drie brakke ecotoopgroepen (bA10, bK20, bK40) en een zoete ecotoopgroep (A17) in DEMNAT aangepast voor 'inlaat systeemvreemd water'.*

DEMNAT berekent de toe- of afname van de (botanische) volledigheid van achttien ecosysteemttypen: 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.

In figuur 5.4.1 is de ruimtelijke verspreiding weergegeven van (botanische) natuurwaarden van natte en vochtige ecosysteemttypen 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 5.25 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.

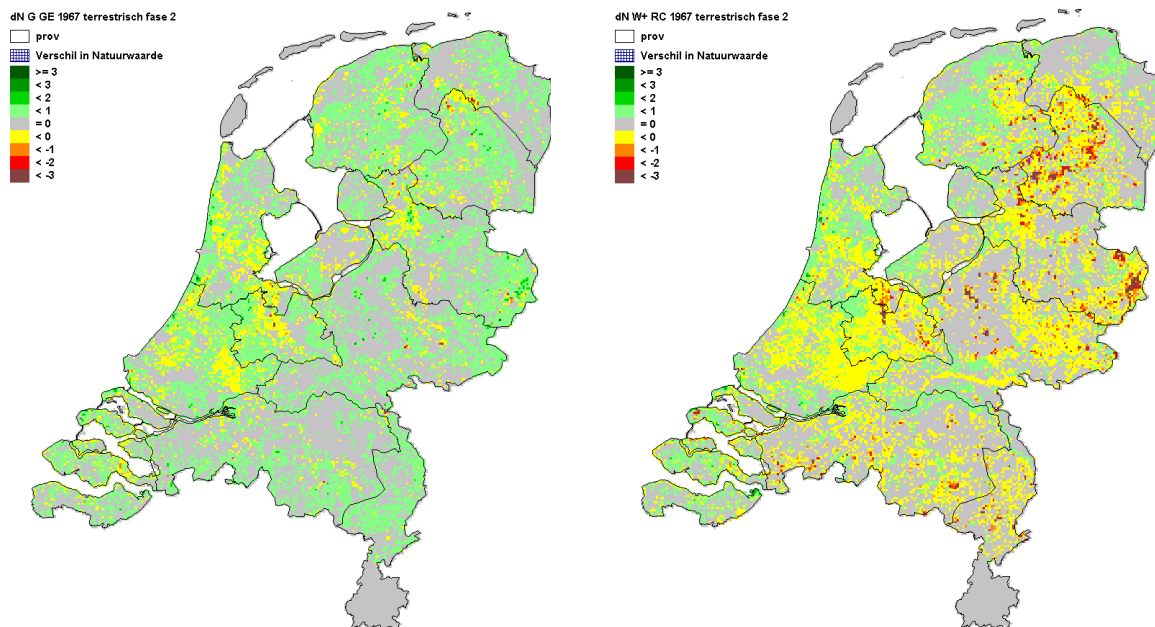
Over de relevante standplaatsfactoren is het volgende vastgesteld:

- 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;
- Er is een toename van kwel die groter is dan indertijd met PAWN berekend, maar qua patroon vergelijkbaar;
- Het percentage gebiedsvreemd water in gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, wordt substantieel groter (en is groter dan indertijd berekend met PAWN);
- De chlorideconcentraties in de zomer 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.

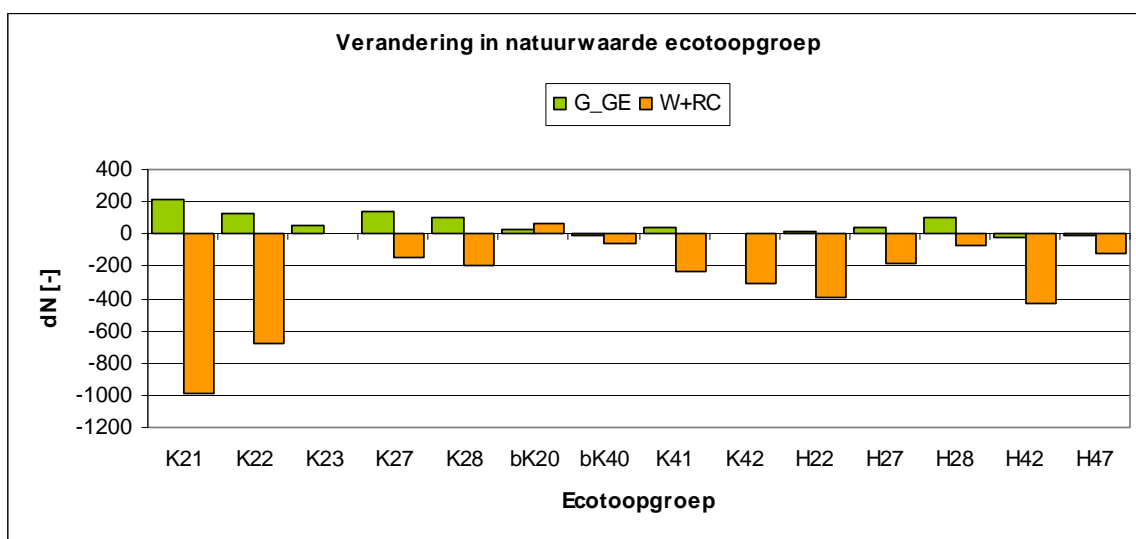
De natuurwaardeverandering die hiervan in 2050 het gevolg is voor het G en W+ scenario (beide met GE en voor een gemiddeld jaar) is voor de terrestrische ecotootypen ruimtelijk weergegeven in Figuur 5.26. In Figuur 5.27 zijn de veranderingen ook nog in natuurwaardepunten weergegeven voor de 14 terrestrische ecotoopgroepen afzonderlijk.

*De effecten zijn wat minder groot dan berekend in de eerste knelpuntenanalyse, maar de conclusies zijn op hoofdlijnen vrijwel onveranderd gebleven. Opvallend is dat de ecotoopgroep K21 (natte heide en hoogveen) nu het sterkst reageert (sterker dan K22), omdat het ruimtelijke patroon van grondwaterstandsดาลingen met het nieuwe NHI iets anders wordt berekend.*

*Bij W+ is sprake van 27% achteruitgang in soortenrijkdom voor K21. Overigens is een sterke schaderespons van K21 bij een W+ scenario consistent met resultaten uit de literatuurverkenning. Dat geldt ook voor het lichte herstel voor K23 (natte duinvalleien). Daarnaast reageren de natte en vochtige voedselarme ecosysteem typen (K22, H22, K42, H42) relatief sterk op W+, hetgeen ook is genoemd in de literatuur.*



Figuur 5.26 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 5.27 De verandering in natuurwaarde (N) van de terrestrische ecotoopgroepen in 2050 voor twee deltasceario's (DRUK en WARM) berekend met NHI, versie 2.2

Figuur 5.26 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).

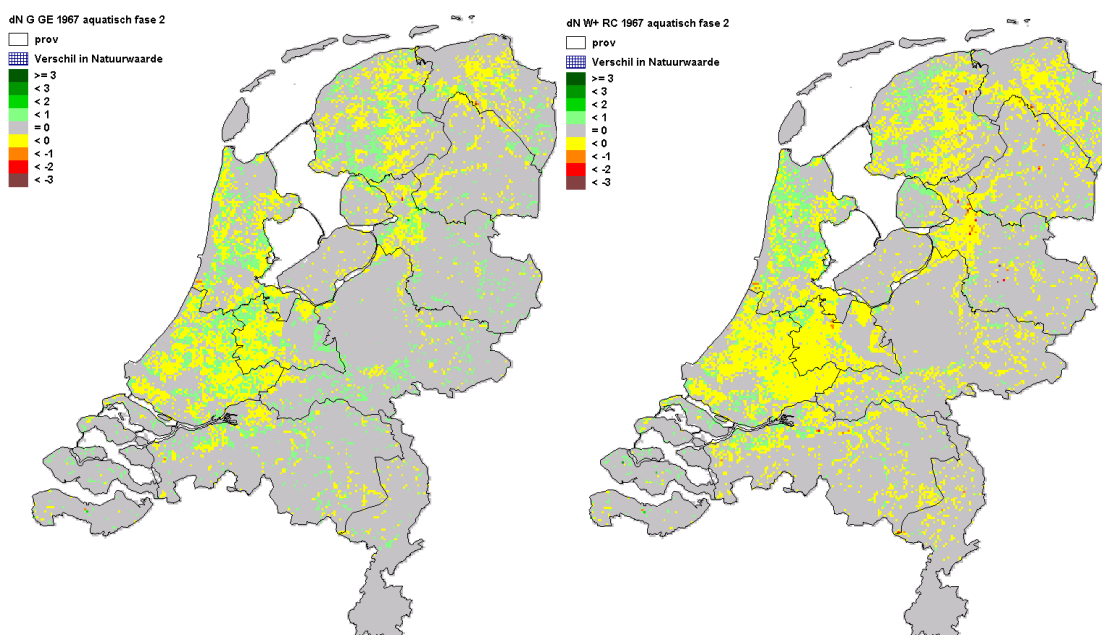
Figuur 5.27 geeft de verandering in natuurwaardepunten per ecotoopgroep. De grootste achteruitgang is te zien bij scenario W+/RC bij K21 en K22 (Kruidige vegetaties van natte, voedselarme standplaatsen). De -850 tot -900 natuurlinies komen voor deze typen overeen met zo'n 25% achteruitgang. **De totale achteruitgang in natuurwaarde van scenario W+/RC is 7%. 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 5.28. In Figuur 5.29 is de verandering per ecotoopgroep weergegeven voor de ecotoopgroepen afzonderlijk.

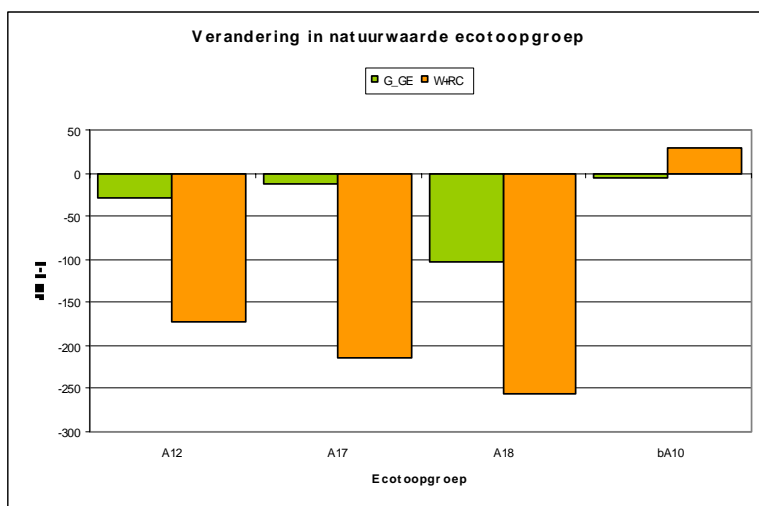
Voor de aquatische ecotoopgroepen zien we vooral effecten in Laag-Nederland, in beide scenario's. Er is enige toename van de brakke ecotoopgroep bA10, vooral in Zeeland, en sterker in W+ dan in G. Een lichte toename in het chloridegehalte door de verspreiding van gebiedsvreemd water zorgt voor enige 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 5.29). **Deze achteruitgang bedraagt 4%, respectievelijk 1% voor de aquatische groepen.**

Wat DEMNAT nog slechts beperkt in beeld brengt is de schade op de hogere zandgronden. De reden hiervoor is dat hier aanmerkelijk minder aquatische natuur voorkomt (er zijn minder waterlopen dan in laag Nederland). De nadelige effecten van versterkte droogval in de bovenlopen van beken zou beter in beeld gebracht moeten worden. De terrestrische ecotoopgroep H22 is wel indicatief voor bronbossen (en laat forse schade zien onder W+), maar wat in de beekloop gebeurt wordt nu eigenlijk niet gekwantificeerd.



Figuur 5.28 Ruimtelijk beeld van de totale natuurwaardeverandering (in natuurwaardepunten per gridcel) voor het G (links) en W+ scenario (rechts) voor de 4 aquatische ecotoopgroepen.



Figuur 5.29 De verandering in natuurwaarde van de aquatische ecotoopgroepen in 2050 voor twee deltasenario's (DRUK en WARM) berekend met NHI

**Samengevat heeft de aangescherpte knelpuntenanalyse voor terrestrische natuur en natuur van kleine wateren bevestigd dat de gevolgen van de deltasenario's voor de natuurwaarde in Nederland als geheel beperkt zijn. Lokaal of regionaal zijn de effecten soms niet mis. Scenario W+/RC (WARM) leidt tot een achteruitgang in de natuurwaarde ('biodiversiteit') in terrestrische ecosystemen van 7% in 2050, G/GE (DRUK) tot een**

*vooruitgang met 2%. Deze effecten doen zich vooral voor in de voedselarme ecosystemen die van grondwater afhankelijk zijn op de zandgronden van Hoog-Nederland. Ze zijn grotendeels te wijten aan lagere grondwaterstanden en afnemende kwelstromen, die weer het gevolg zijn van geringere neerslagoverschotten en groter grondwateronttrekkingen (onder andere voor beregening). Aquatische ecosystemen vertonen in 2050 een achteruitgang van natuurwaarde ('biodiversiteit') van 4% in scenario W+/RC (WARM) en een vooruitgang van 1% in G/GE (DRUK). Deze effecten doen zich vooral voor in de sloten en plassen van de laagveengebieden (Laag-Nederland). De oorzaak is gelegen in de grotere aanvoer van 'gebiedsvreemd' water.*

*Doordat de oorzaken (groten)deels gelegen zijn in het handelen van de mens als reactie op klimaatverandering – extra grondwateronttrekking, respectievelijk verspreiding van gebiedsvreemd water – kunnen ook aangrijpingspunten voor gericht beleid worden geïdentificeerd. Deze liggen in lijn met het eerder geformuleerde anti—verdrogingsbeleid<sup>11</sup>, en juist niet in vergroting van de wateraanvoer uit het hoofdsysteem.*

#### 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.

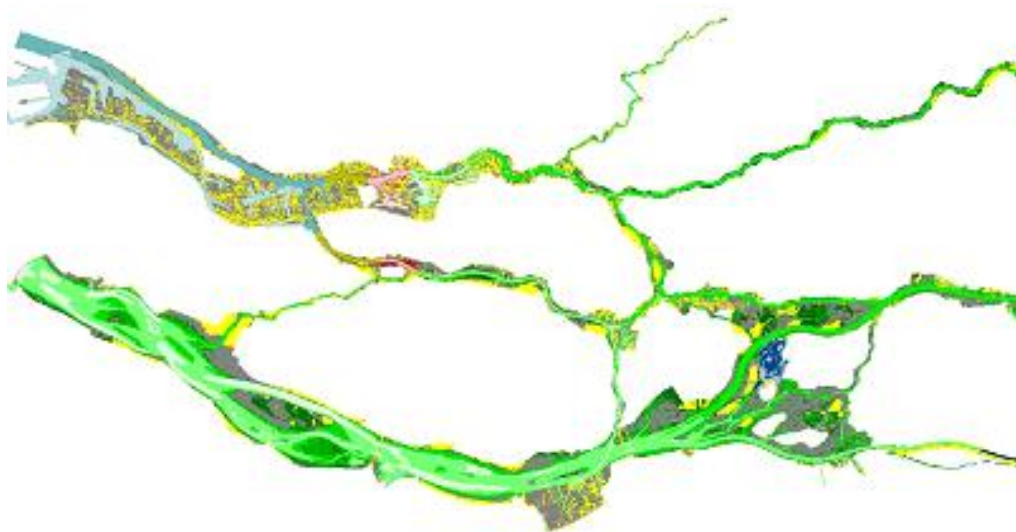
De bodemhoogte is afgeleid uit kaarten en GIS-bestanden. De waterstanden, zoutconcentraties en stroomsnelheden zijn berekend met SOBEK. Als uitgangspunt is een

---

11. Een beleid dat overigens nauwelijks geëffectueerd is.

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 5.30) 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.

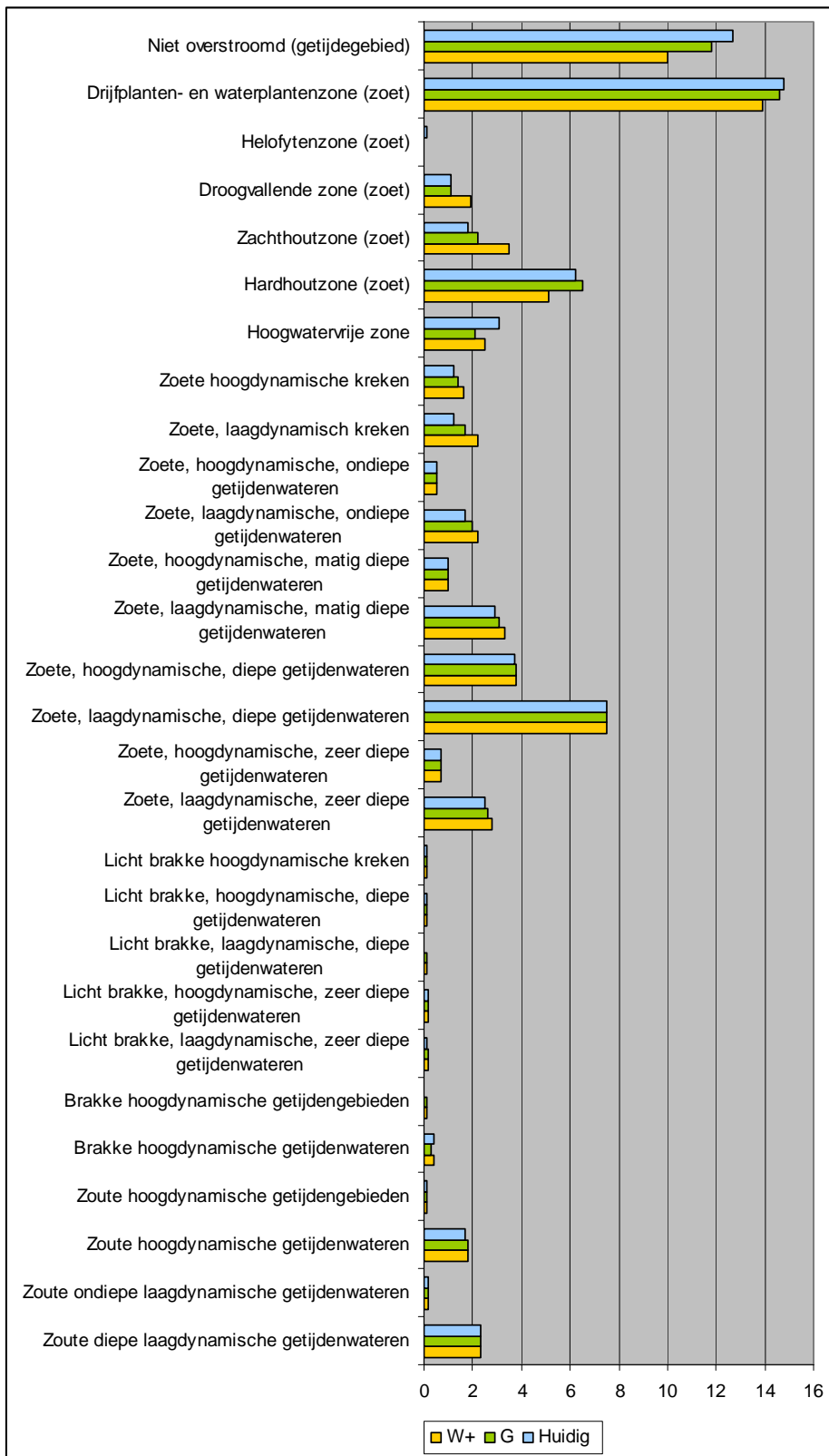


*Figuur 5.30 Ruimtelijke verdeling van ecoseries in het benedenrivierengebied, zoals bepaald met HABITAT op basis van bodemhoogte en hydrologische parameters. Voorbeeld: huidige situatie.*

HABITAT is achtereenvolgens toegepast voor de huidige situatie, en de scenario's W+ en G in 2050 (Figuur 5.31 en Figuur 5.32). 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 5.31). Dit betekent minder mogelijkheden voor soorten om tijdens een hoogwater te overleven. Dit kan leiden tot vaker tijdelijk uitsterven van buitendijkse populaties.



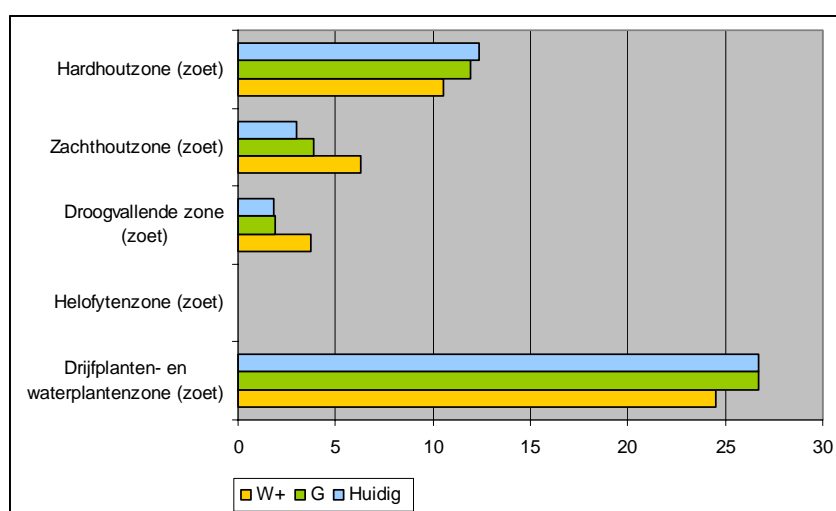
Figuur 5.31 Percentage per natuurlijk ecoserietype (%) van het buitendijks benedenrivierengebied bij verschillende klimaatscenario's in 2050 in vergelijking met huidige situatie.



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.

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 5.32 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 ontpollering 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 Binnenvisserij

Uit het onderzoek van Paalvast & Noordhuis (2012) blijkt dat de binnenvisserij als economische sector momenteel vooral knelpunten ondervindt van een afnemende visstand

en daarmee samenhangende visverboden. Daardoor kunnen ze als sector slecht concurreren met import van buitenlandse kweekvis. Het gaat bij de binnenvisserij dus om knelpunten die schijnbaar niet direct met zoetwatervoorziening te maken hebben, maar indirect mogelijk wel.

De vissers menen haast unaniem dat de aalscholvers de grootste boosdoeners zijn van de lage visstand, maar verder vinden ze het water te helder, te voedselarm en bijgevolg te weinig productief<sup>12</sup>. De hinder die vissen tijdens migratie ondervinden door sluizen en gemalen wordt ook als een knelpunt gezien, dat in dit geval vooral met de inrichting van het waterbeheer in Nederland samenhangt. Ook het beschadigen van paling door de binnenvaart bij lage rivierwaterstand leidt tot aanzienlijke opbrengstverliezen, die bij toenemende laagwaters groter kunnen worden.

Voor de toekomst verwachten de beroepsvissers van een stijging van de watertemperatuur vooral een voordeel, namelijk in de vorm van een snellere groei van de paling. Verzilting van binnenwateren wordt door geen van de beroepsvissers als een probleem beschouwd. Maar langdurig lage rivierafvoeren met risico van beschadiging van aal door de binnenvaart wordt wel als mogelijk toenemend knelpunt onderkend.

Ook de sportvisserij verwacht geen grote knelpunten door klimaatverandering: waarschijnlijk geen significante effecten voor de totale productie aan vis, maar wel een verschuiving van de soortensamenstelling van visbestanden door temperatuurstijging. De karpers zal zich wellicht beter gaan voortplanten, wat voor de karpervisser interessant is, maar voor de helderheid van het water juist weer nadelig. De meerval zal profiteren van een sterkere plantengroei, in aantal toenemen en beter groeien. Wanneer de uiterwaarden 's winters meer overstromen is dat positief voor visstand en visser. Vissoorten die slecht tegen hoge watertemperaturen kunnen, zoals de kwabaal en beekforel, zullen – indien ze niet naar koeler water kunnen migreren – in de problemen komen.

In het algemeen worden de veranderingen in habitatgeschiktheid door inrichtingsmaatregelen en huidige waterbeheersmaatregelen echter als veel ingrijpender beoordeeld dan de klimaatverandering, evenals afnemende bereikbaarheid van goede visstekken (door kribverlaging, natuurvriendelijke oevers, e.d.).

Relevante knelpunten in het hoofdwatersysteem met *consequenties voor de visstand* zijn volgens Paalvast & Noordhuis (2012) onder meer te verwachten ten aanzien van:

- de migratiemogelijkheden van vis via de Haringvlietsluizen onder het Kier-beheerprogramma;
- de migratiemogelijkheden van vis door de sluizen in de Afsluitdijk bij een veranderende IJsselafvoer;
- de paai- en opgroeimogelijkheden in nevengeulen, strangen en plassen bij lagere rivierwaterstanden.

In scenario W+ zullen in zomer en nazomer langdurig perioden met lage rivierafvoeren kunnen optreden. Dan zullen de Haringvlietsluizen vaker en langduriger gesloten blijven, met consequenties voor de vismigratiemogelijkheden. Voor beheer conform het Kierbesluit zijn die in Figuur 5.33 weergegeven.

---

<sup>12</sup> Volgens visbiologen is dat een misvatting, gezien de gemeten kwaliteit van het oppervlaktewater.



Figuur 5.33 Effect van klimaatscenario W+ (vergeleken met huidig klimaat) op de intrek- en uittrekmogelijkheden van de meest voorkomende vissoorten in het Haringvliet en de Voordelta bij beheer van de Haringvlietssluisen volgens 'de Kier' (uit = uittrek, in = intrek; gekleurde blokken zonder tekst betreffen intrekperiodes). (Paalvast & Noordhuis, 2012).

In de periode december tot en met juni treedt er in scenario W+ een lichte verbetering op voor intrekende soorten als zalm en zeeforel. In de zomer zullen ze echter veel vaker door de sluisen worden tegengehouden. Passief intrekende glasaal en juveniele bot gaan erop vooruit, evenals juveniele schol, haring en sprot, waarvoor de estuaria een opgroehabitat vormen. Soorten die in de zomer en nazomer stroomopwaarts trekken, zoals grote marene en houting – maar ook rivierprik –, zullen vaker voor gesloten deuren komen te liggen. Jonge schol die is opgegroeid in de brakke zone achter de sluisen, maar ook jonge haring en spiering, zullen in het najaar vaker problemen ondervinden bij hun trek naar zee.

Door het kunstmatige peil op het IJsselmeer en de vraag naar water vanuit de omliggende landbouwgebieden zijn de spuisluisen in de Afsluitdijk al vanaf april zodanig gesloten dat de visintrek naar het IJsselmeer vrijwel onmogelijk is. Als geen wijziging plaatsvindt van het peil besluit over de streefpeilen op het IJsselmeer zal door de lagere IJsselafvoer in de zomer en nazomer minder worden gespuid, en zal de visintrek in de maanden augustus en september verslechteren. Zeespiegelstijging daarentegen zorgt bij gelijkblijvend peilbeheer voor een vermindering van het spuival ter hoogte van de Afsluitdijk. Dat is juist gunstig voor de visintrek door de lagere stroomsnelheden tijdens spuien.

Lage rivierwaterstanden leiden vooral in aangetakte strangen en uiterwaardplassen en in meestromende nevengeulen tot waterstandverlaging. Volledige droogval wordt nauwelijks verwacht, maar wel een aanzienlijke verhoging van de watertemperatuur in deze habitats.

## 5.4.7 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

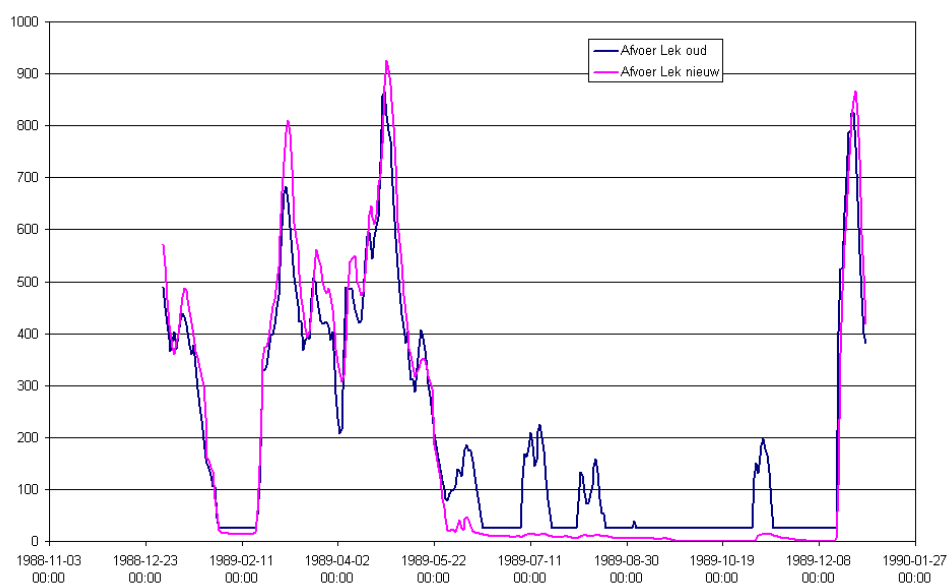
Maatgevend is het aantal overschrijdingen van de drinkwaternorm voor zout (150 mg/l chloride) bij puntinnames (Lekkanaal, Oude Maas, Haringvliet) en de jaargemiddelde chlorideconcentratie bij oeverinfiltratie (Lek, Noord). Het zoutgehalte van het innamewater kan in de toekomst stijgen door de stijging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

Tabel 5.18 Aantal overschrijdingen (dagen/jaar) van de 150 mg/l norm voor chloride op drinkwaterinnamepunten langs de Lek, de Noord, de Oude Maas, het Haringvliet en de Maas bij verschillende klimaatscenario's en karakteristieke jaren (overschrijding oranje, indien meer dan 50 dagen: donkeroranje)

locatie	Huidig klimaat			G 2050			W+ 2050		
	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog
Nieuwegein	0	0	0	0	0	0	0	13	42
Lexmond	0	0	0	0	0	0	0	31	99
Schoonhoven	0	0	0	0	0	0	0	50	131
Bergambacht (Rh)	0	0	0	0	0	0	0	54	130
Nieuw-Lekkerland	1	3	13	1	4	16	3	45	96
Lekkerkerk	1	6	23	1	6	30	8	45	96
Ridderkerk (Rw)	3	20	58	3	22	60	16	24	83
Beerenplaat (Spui)	0	0	12	0	0	11	0	0	28
Scheelhoek	0	0	16	0	0	14	0	0	15
Gat v/d Kerksloot	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Afgedamde Maas	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*De ontwikkeling van het chloridegehalte in de Rijn- Maasmonding en het benedenrivierengebied is opnieuw verkend met het waterkwaliteitsmodel SOBEK-NDB, waarbij met betere – en aan metingen gevalideerde – rivierafvoergegevens is gewerkt. Dit leidt voor sommige locaties tot soms significant andere berekeningsresultaten, die echter goed overeenstemmen met waarnemingen en metingen in het verleden (bijv. in het droge jaar 2003). Voor het IJsselmeer was het zoutgehalte bij Andijk al gemodelleerd door KWR, met een eenvoudig bakjesmodel. Die resultaten zijn niet gewijzigd ten opzichte van de eerste knelpuntanalyse (Klijn et al., 2011). Tabel 5.18 geeft de overschrijding (in dagen) van de drinkwaternorm voor **een groter aantal** locaties in het benedenrivierengebied dan in de eerste knelpuntanalyse.*

*De uitkomsten wijken op een aantal punten sterk af van die in de eerste knelpuntanalyse (Klijn et al., 2011). Zo worden in scenario W+ nu ook in een droog jaar een groot aantal overschrijdingsdagen gevonden op de Lek en de Noord. Dit kan als volgt worden verklaard: in de vorige knelpuntanalyse is een minimumafvoer van 25 m<sup>3</sup>/s over de Lek verondersteld (debiet over de stuw Hagestein). Dat levert op de Lek geen zoutnormoverschrijdingsdagen van betekenis op. In de onderhavige knelpuntanalyse is het debiet over de stuw Hagestein opnieuw berekend met het landelijk SOBEK- model, maar nu gebruik makend van de vastgestelde beheer- en waterverdeelregels. Volgens die regels – en volgens waarnemingen – wordt ook in een droog jaar (zoals '1989') in perioden met lage rivierafvoeren soms langdurig nauwelijks of geen water meer via de stuw Hagestein afgevoerd. Dat is weergegeven in Figuur 5.34.*



*Figuur 5.34 Verschil in debiet 1989 over de Lek (Hagestein) zoals verondersteld in de eerste knelpuntanalyse (oud) en in deze aangescherpte knelpuntanalyse (nieuw)*

Uit Tabel 5.18 blijkt dat sommige innamepunten het gevaar lopen te verzilten, met name in het W+ scenario in een extreem droog jaar. Dat is bijvoorbeeld het geval voor de noodinlaat van Evides in de Oude Maas (Beerenplaat). Ook vindt een overschrijding van de

drinkwaternorm plaats in het *Lekkanaal* (inname Waternet en PWN), bij soms zeer lage rivierafvoer en dus beperkte verdunning van de zoutvracht van de Rijn. De drinkwaternorm wordt daar 42 keer overschreden in een extreem droog jaar ('1976') bij scenario W+ in 2050. De maximale concentratie in die periode is 170 mg/l, dus de grens waarboven het water volgens het Infiltratiebesluit niet meer in de duinen mag worden geïnfiltreerd wordt dan niet overschreden (maximaal 199 mg/l).

Bij Scheelhoek wordt bij alle scenario's gedurende 14 à 15 dagen de chloridegrenswaarde van 150 mg/l overschreden. Deze overschrijding is het gevolg van een forse stormopzet in de maand januari van 1976.

In de eerste knelpuntenanalyse werd in het W+- scenario voor Scheelhoek een veel groter aantal overschrijdingsdagen gevonden dan in deze aangescherpte knelpuntenanalyse (103 toen versus 15 nu). Dit verschil is veroorzaakt door een onnauwkeurige besturing van de Haringvlietsluizen bij de eerste analyse, waardoor tijdens vloed korte tijd zout water het Haringvliet in kon stromen. In de nieuwe berekeningen is die onnauwkeurigheid verholpen.

Van innamelocaties langs de Maas zien we bij het Gat van de Kerksloot (inname Evides in de Biesbosch) in het W+- scenario voor een extreem droog jaar gedurende 29 dagen een overschrijding van de 150 mg/l. Dit komt niet door externe verzilting vanuit zee, maar door het hoge achtergrondzoutgehalte van het Maaswater. De gebruikte relatie bij Keizersveer (volgens KWR, 2012) blijkt bij Maasafvoeren kleiner dan ongeveer 17 m<sup>3</sup>/s achtergrondgehalten op te leveren die hoger zijn dan 150 mg/l. In dit geval blijkt dat gedurende 29 dagen het gehalte rond de 160 mg/l zweeft. Dit soort hoge achtergrondconcentraties achten we voor de Maas niet erg waarschijnlijk, maar veeleer terug te voeren tot het gebruik van de relatie buiten het geldigheidsbereik.

De meeste van de in Tabel 5.18 opgenomen locaties zijn plekken waar oeverinfiltratie plaatsvindt. Voor zulke locaties is het langjarig gemiddelde van het chloridegehalte relevanter dan de duur van overschrijdingen van een normconcentratie. Daarom zijn voor een aantal locaties waar oeverwinning plaatsvindt ook de gemiddelde jaarconcentraties berekend (Tabel 5.19). Uit de tabel kan geconcludeerd worden dat met name de locaties bij de mond van de Lek en de locaties langs de Noord onder druk kunnen komen te staan in scenario W+, maar ook dan alleen in droge en extreem droge jaren. Bovenstrooms van Lekkerkerk komen de jaargemiddelde concentraties nooit boven de normconcentratie van 150 mg/l.

Tabel 5.19 Gemiddelde jaarconcentraties (mg/l Cl) op locaties met oeverwaterwinning, in verschillende klimaatscenario's en voor verschillende karakteristieke jaren

locatie	Huidig klimaat			G 2050			W+ 2050		
	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog	gemiddeld	droog	extreem droog
Lekkanaal/ Nieuwegein	80	94	109	80	94	106	87	102	110
Lexmond	80	93	108	80	93	106	87	105	125
Schoonhoven	80	92	109	80	92	109	86	113	143
Bergambacht (Rh)	80	93	109	80	93	107	86	115	145
Lekkerkerk	82	98	129	82	98	127	99	161	219
Ridderkerk	80	110	150	80	110	150	120	140	310

**Voor het IJsselmeer bij Andijk is de knelpuntenanalyse niet aangescherpt.** Door KWR waren al 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: de oeverwaterwinningen van Ridderkerk en Lekkerkerk/Nieuw Lekkerland staan onder druk in het W+ scenario. Van de innameplaatsen voor oppervlaktewater zijn de problemen beperkt tot kleine overschrijdingen als gevolg van de hoge achtergrondconcentraties in het rivierwater. Of die hoge achtergrondconcentraties reëel zijn is moeilijk te zeggen. Verder wordt de drinkwaterfunctie van het IJsselmeer serieus bedreigd in droge jaren.**

### **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.

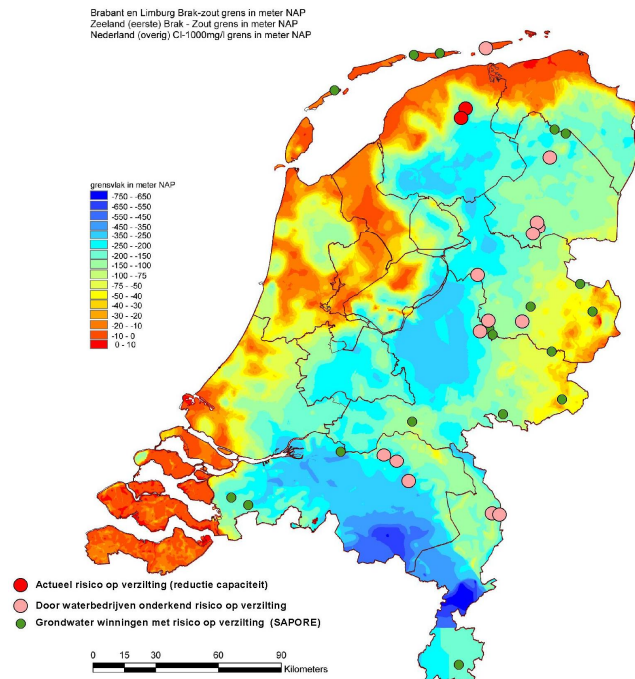
Hoge watertemperaturen worden doorgaans afgevlakt door menging in de voorraadbekken en door bodempassage. Hierdoor zal de watertemperatuur van het geleverde drinkwater minder hoog zijn dan de temperatuur van het innamewater tijdens droge en warme zomers. De grootste knelpunten zullen zich dan ook kunnen 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. 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). En in Figuur 4.14 is al getoond wat een toename van de grondwateronttrekking met 30% kan betekenen voor de grondwaterstanden en de stijghoogte van het grondwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket.

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 5.35). 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 5.35 Risico op verzilting door opkegeling van brak grondwater voor de huidige grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening.

#### 5.4.8 Inlaatpunten industrie

Op diverse plaatsen in Nederland wordt industriewater ingenomen. Dit water wordt hetzij direct (bijv. Brielse Meer), hetzij na voorbehandeling (bijv. Lekkanaal, Biesbosch) geleverd aan de afnemers. 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 kunnen problemen ontstaan met ionenwisselaars (productie van gedemineraliseerd water), neemt corrosie toe, etc.

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).

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 5.3.7. Tabel 5.6 laat zien dat er voor de huidige situatie al redelijk wat jaren zijn waarin bij Bernisse niet aan het inlaatcriterium (150mg/l) wordt voldaan, maar dat is meestal in de winter, Is er nog voorraad in het Brielse Meer aanwezig is. In Tabel 5.11 zijn de consequenties van klimaatverandering voor Bernisse gegeven in overschrijdingsdagen. Op basis daarvan is geconcludeerd dat klimaatverandering van W+ relatief weinig extra effect heeft op de inlaatbeperkingen. De inlaatbeperkingen doen zich vooral voor in het



winterhalfjaar, door stormopzet. Voor het jaar 2100 verandert dit beeld fors (Tabel 5.14). Zowel in een droog jaar als een extreem droog jaar neemt in scenario W+ het aantal dagen dat niet aan het inlaatcriterium kan worden voldaan sterk toe.

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 het kassengebied van Delfland. Omdat in het Brielse Meer enige voorraad kan worden aangehouden en de inlaat meestal slechts gedurende enkele uren of maximaal dagen belemmerd is, zijn de knelpunten tot nu toe gering. Tot 2050 lijkt klimaatverandering daar niet al te veel verandering in te brengen. Na 2050 verandert de situatie drastisch en in 2100 wordt de inlaat via Bernisse wel ernstig bedreigd.

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.

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 kunnen worden overschreden, evenals de 200 mg/l grens. Maar of dat zal gebeuren hangt vooral af van de achtergrondconcentratie in het rivierwater: als deze (verder) daalt, zal het knelpunt zich minder vaak voordoen.

De levering van industriewater aan de industrie in de *Eemshaven* loopt gevaar als het zoutgehalte van het IJsselmeer te hoog wordt. Het water in de Groningse boezem is de bron voor deze industriewatervoorziening en tekorten alhier worden aangevuld uit het IJsselmeer. Het zoutgehalte van het IJsselmeer is dan ook medebepalend voor het zoutgehalte in het boezemwater en dus belangrijk voor de industrie.

#### 5.4.9 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 5.20; de hoogste fase telt dus.

Tabel 5.20 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

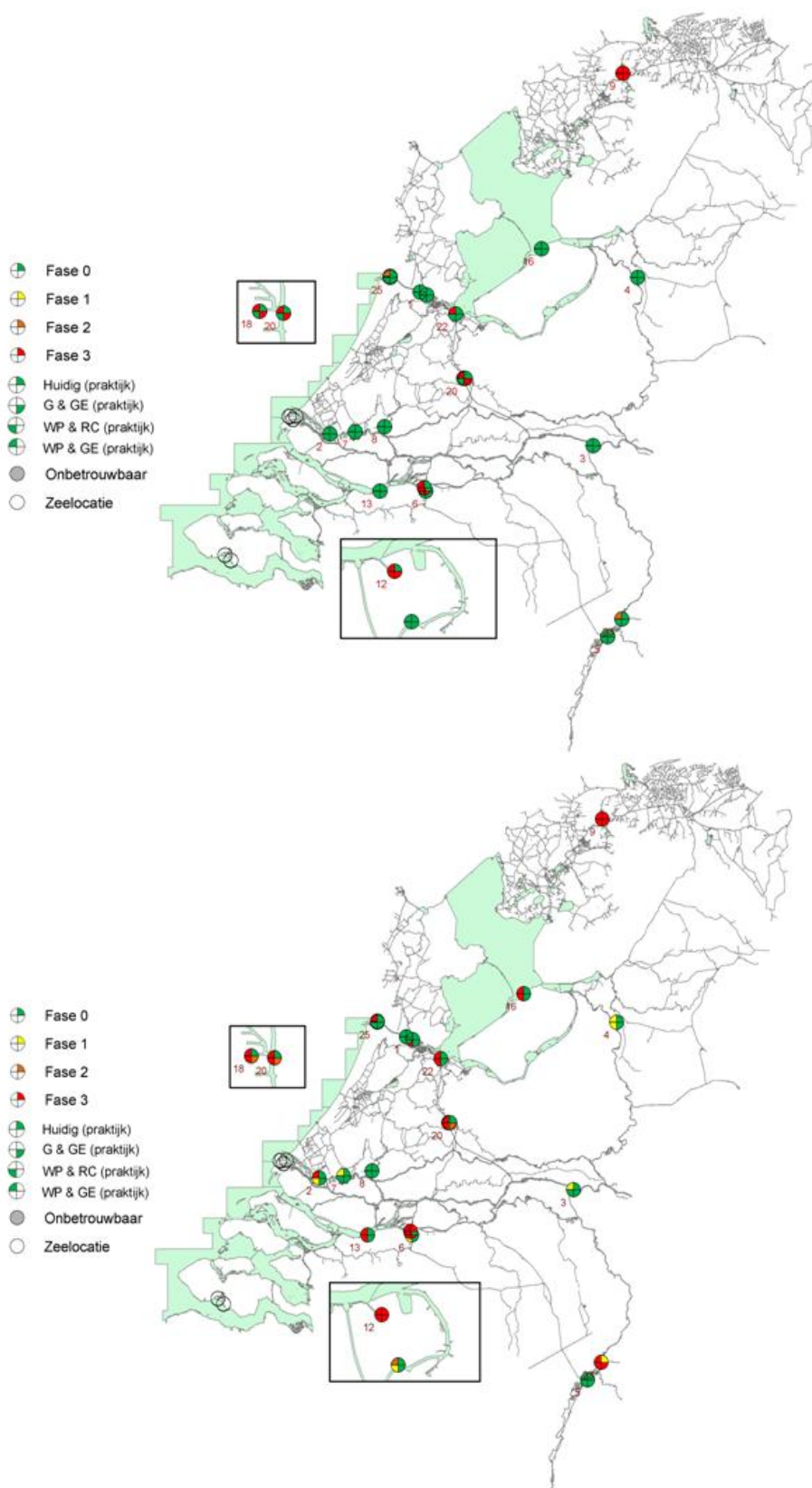
### **Elektriciteitsproductie**

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 5.36, 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 3.5.

Niet elk vraagpunt zoals opgenomen in Tabel 3.5 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/Dongel);
- 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 5.36 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 5.36, 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 probleefase 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

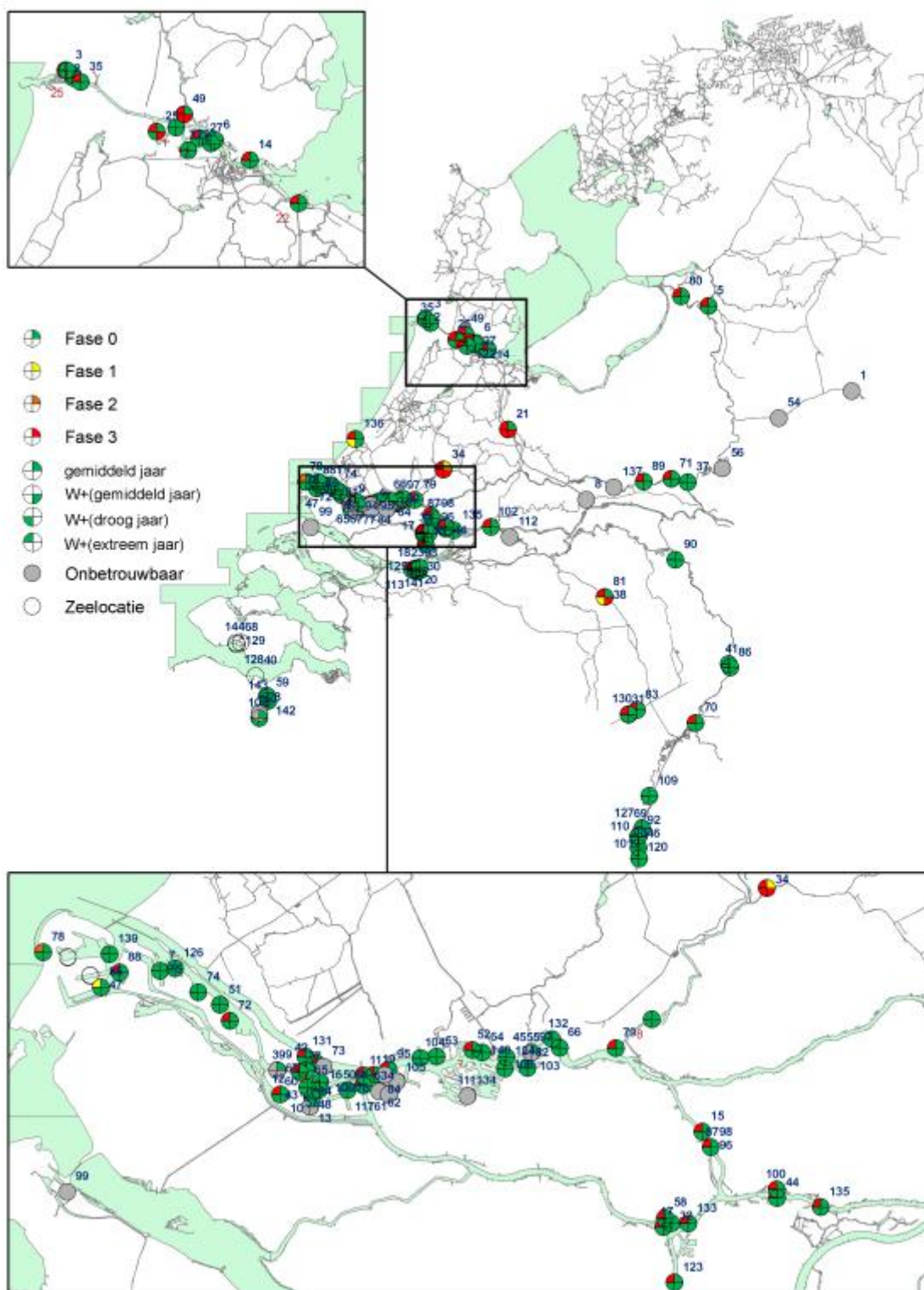
Voor een extreem droog jaar (Figuur 5.36, onder) is het volgende gevonden. In de huidige situatie treden al problemen op bij de centrales Amer/Donge (12) en Buggenum (23). In scenario G/GE nemen de problemen toe (ernstiger bij Buggenum, nieuwe problemen bij Lage Weide (18) en de Merwedecentrale (20)). 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 5.37.

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 5.37 Knelpunten warmtelozing 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.

Klimaatscenario 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 klimaatscenario 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.

#### 5.4.10 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. *Met BIVAS zijn de veranderingen in de kosten voor de scheepvaartsector geanalyseerd. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen werkelijk uitgevoerde reizen (die BIVAS standaard berekent) en noodzakelijke scheepsreizen op grond van het aanbod aan vracht. Dit onderscheid is gemaakt omdat in het BIVAS- model wordt aangenomen dat lading die op een bepaalde dag met een bepaald scheepstype niet vervoerd kan worden – ook niet door minder diep te beladen en/of via een omweg – deze gewoon blijft staan. Terwijl deze in de praktijk vaak later of met andere schepen wordt vervoerd.*

Voor de grootste schepen op de Rijnvaart (duwbotten met volle bakken) geldt een maximale aflaaddiepte van 4 m; met een veiligheidsmarge van 0,3 m is het eerste dieptecriterium dan 4,3 m ('criterium 0'; er is geen beperking). 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 ('criterium 1') is als er sprake is van een *substantiële* beperking in de aflaadtepte. Die is voor de grootste schepen gesteld op 3,3 m (opnieuw inclusief 0,3 m marge).

De scheepvaartsector heeft zelf aangegeven dat ze kan blijven varen tot een minimale waterdiepte van 1,8 m; dan moeten wel veel meer reizen gemaakt worden en worden kleinere schepen ingezet, maar er kan nog steeds worden gevaren met een aflaadtepte tot 1,5 m. Zelfs duwboten kunnen tot 2 m waterdiepte nog varen.

Omdat verschillende scheepvaartcorridors door verschillende scheepvaartklassen worden gebruikt, is in Tabel 5.21 per corridor aangegeven bij welke diepte een eerste respectievelijk tweede criterium wordt onderschreden.

Tabel 5.21 Overzicht dieptecriteria waarbij van een knelpunt wordt gesproken per scheepsklasse

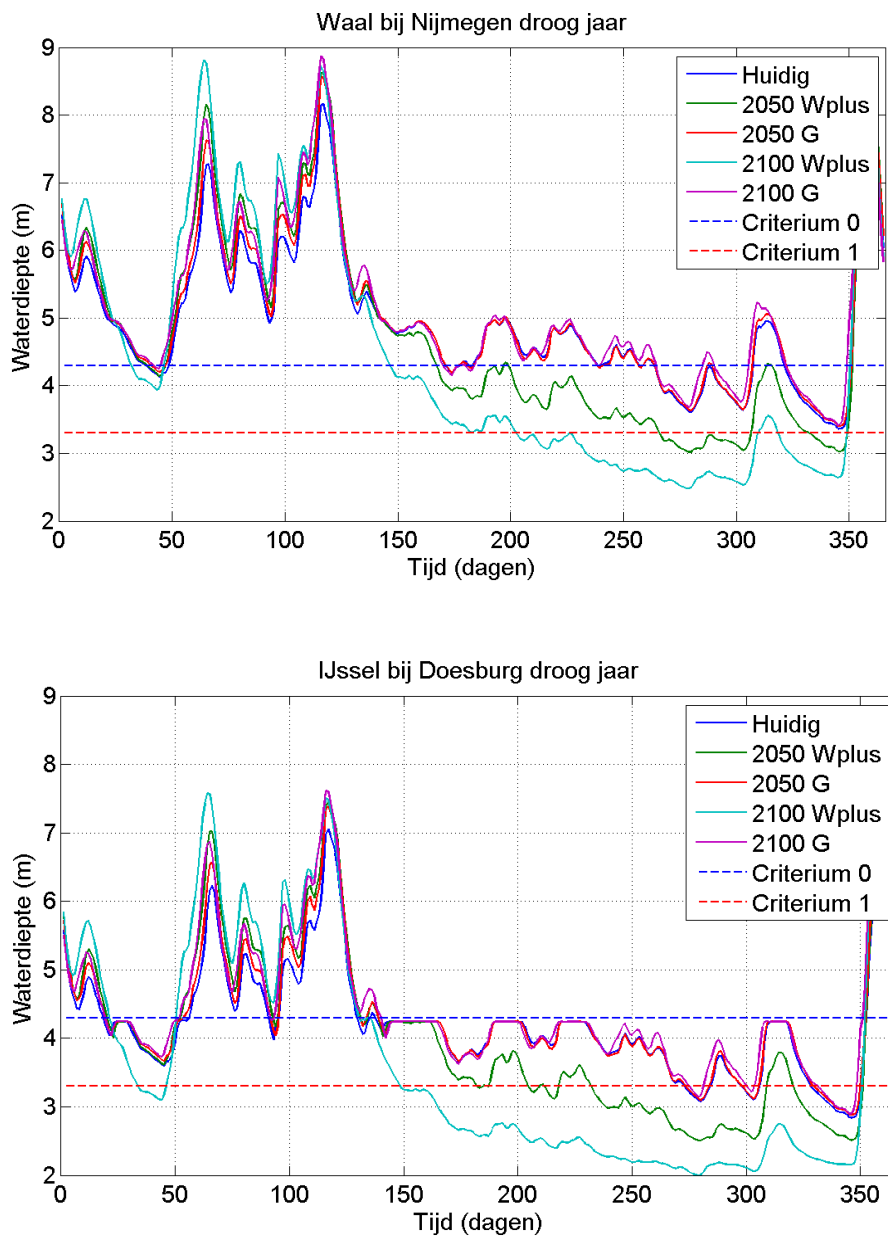
Corridor	Naam rivier / kanaal	Criterium 0	Criterium 1
1	Waal + Merwede + Oude Maas	4.3	3.3
1	Hartel+Calandkanaal	4.3	3.3
1	Nieuwe Waterweg	4.3	3.3
1	Nieuwe Maas	4.3	3.3
1	Noord	4.3	3.3
2	Noordzeekanaal	4.3	3.3
2	Amsterdam-Rijnkanaal	4.3	3.3
2	Lekkanaal	2.8	1.8
2	Nederrijn-Lek	4.3	3.3
6	IJssel + Pannerdensch 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

## Vaardiepte

Allereerst is hiermee vastgesteld wanneer en hoelang de criteria worden onderschreden, in het huidige klimaat en in 2050 en 2100 bij klimaatscenario G en W+. De aandacht gaat daarbij vooral uit naar het rivierengebied, waar vooral in de vrij-afstromende rivieren vaardieptebeperkingen kunnen worden verwacht. Bij wijze van voorbeeld zijn de resultaten voor een 'droog jaar' (referentiejaar 1989)<sup>13</sup> voor twee locaties – de Waal bij Nijmegen en de IJssel bij Doesburg – gegeven in Figuur 5.38.

Hierin is te zien dat klimaatscenario G (rode en paarse lijn) niet sterk verschilt van het huidige klimaat (blauwe lijn). Klimaatscenario W+ leidt wel tot langduriger en ernstiger dieptebeperking; toenemend tussen 2050 (groene lijn) en 2100 (lichtblauwe lijn).

13. Het optreden van lage rivierafvoeren valt niet altijd – vaak niet – samen met het optreden van meteorologisch droge jaren. Daarom is de aanduiding 10% en 1% droog jaar voor de karakteristieke jaren 1989 respectievelijk 1976 niet verantwoord. We noemen ze desalniettemin 'droog' en 'extreem droog', omwille van de consistentie in deze tekst.



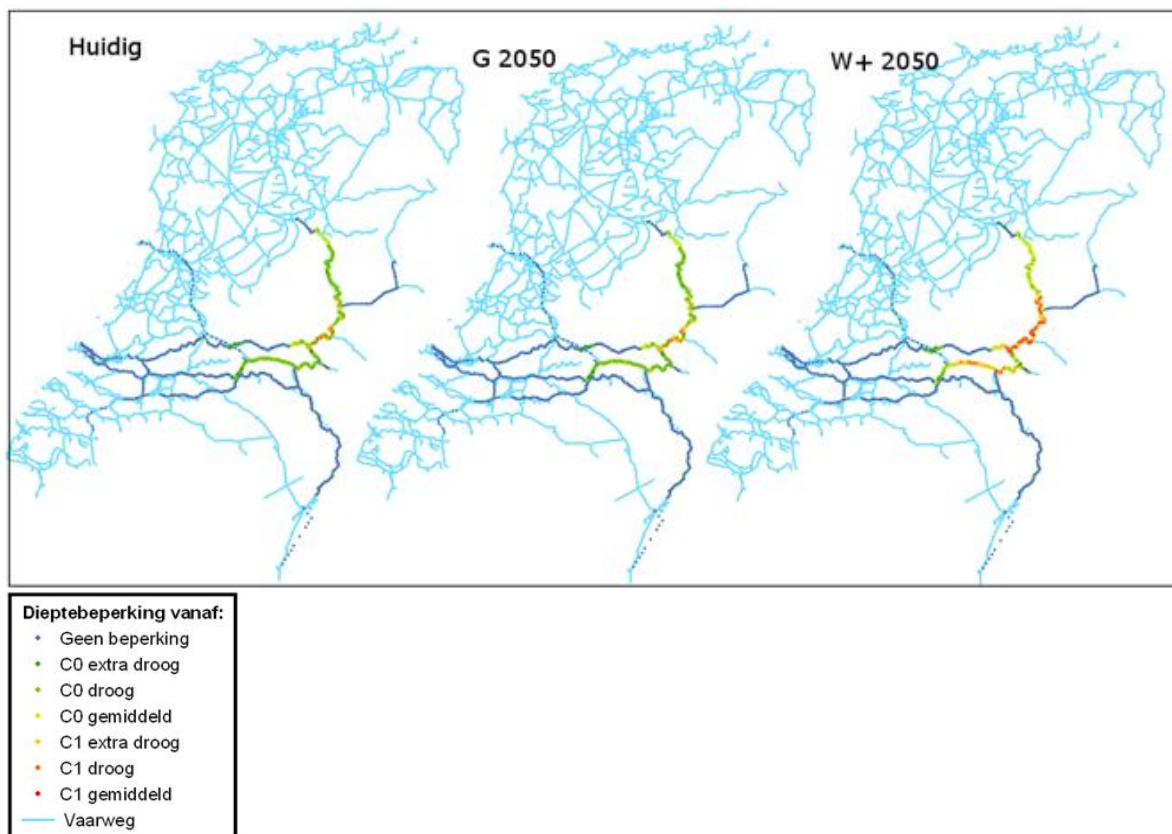
Figuur 5.38 Onderschrijding van de twee waterdieptecriteria (met horizontale stippellijnen aangegeven) in de Waal bij Nijmegen (boven) en in de IJssel bij Doesburg (onder) in en droog jaar bij huidig klimaat, en in 2050 en 2100 bij klimaatscenario's G en W+

### Waar zien we vaardieptebeperkingen?

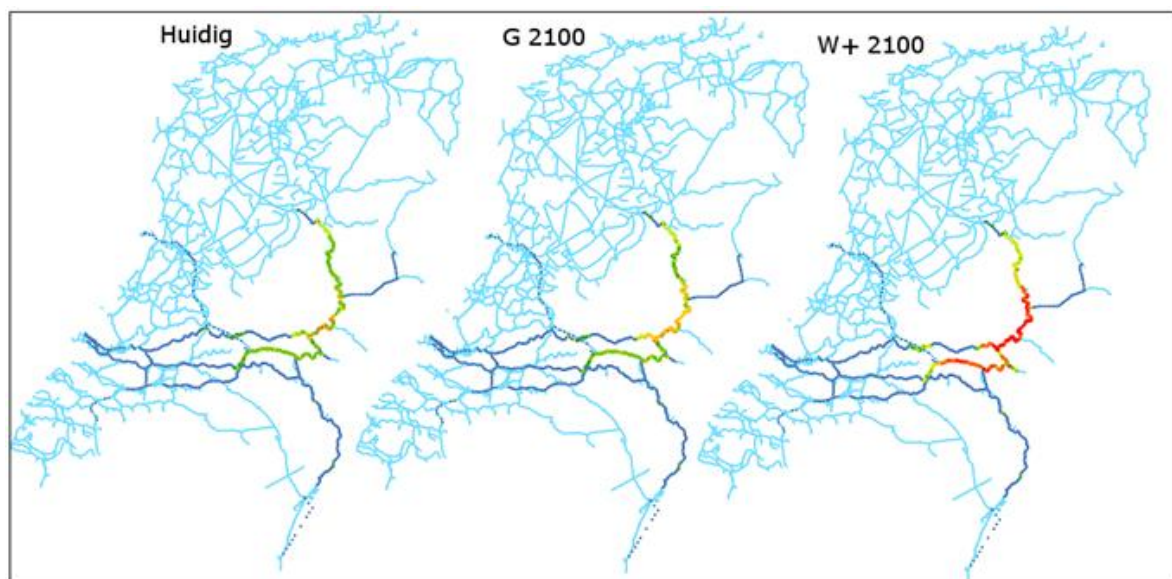
Door deze analyse voor gehele riviertakken uit te voeren kunnen de knelpunten in kaart worden gebracht. Dat is gedaan voor de drie karakteristieke jaren in de twee scenario's G en W+ voor de twee zichtjaren 2050 en 2100. De resultaten worden getoond in Figuur 5.39 voor 2050 (boven) en 2100 (onder) naast die voor de huidige situatie.

De huidige situatie laat geringe dieptebeperkingen zien in de Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn boven stuw Driel, en in de IJssel. Op de Boven- IJssel treden in een droog jaar ook substantiële dieptebeperkingen op.





Figuur 5.39 Dieptebeperking voor het huidig klimaat (links), en in 2050 in scenario G (midden) en W+ (rechts). De kleuren geven aan vanaf welk criterium en vanaf welk karakteristiek jaar het knelpunt optreedt. C0 is een normale beperking en C1 geeft een substantiële dieptebeperking aan.



Figuur 5.40 Dieptebeperking voor het huidig klimaat (links) en in 2100 in scenario G (midden) en W+ (rechts). Zie legenda bij Figuur 5.39.

In klimaatscenario G worden er voor 2050 slechts geringe veranderingen in de dieptebeperking verwacht. Het beeld lijkt sterk op het huidige. In scenario W+ wordt er wel een toename van de dieptebeperking verwacht, en wel voornamelijk daar waar in de huidige situatie ook al een knelpunt kan optreden. Ook ontstaat er een extra knelpunt op de Boven-Rijn in een 'extreem droog' jaar. De vaardieptebeperkingen voor de binnenvaart worden in scenario W+ dus ernstiger en frequenter/ langduriger.

De doorkijk naar 2100 laat een toename in de ernst van de knelpunten zien. In scenario G is er een geringe toename van de vaardieptebeperking op de IJssel en de Neder-Rijn (bovenstrooms van Driel). In het W+- scenario wordt een substantiële vaardieptebeperking verwacht in de IJssel, de Neder-Rijn (boven Driel) en in de Waal bovenstrooms van Tiel. Deze substantiële vaardieptebeperkingen zullen zich in het W+ scenario al in een gemiddeld jaar voordoen. Het knelpunt op de Boven-Rijn, dat zich in het W+ scenario in 2050 in een 'extreem droog' jaar voordeed, treedt in 2100 al op in een 'droog' jaar; dus circa 10 keer zo vaak.

### Duur van vaardieptebeperking

Voor de betrouwbaarheid van vervoer over water is de frequentie en duur van vaardieptebeperkingen relevant. Als vaardieptebeperkingen vaak optreden en lang duren, kan dat voor verladers een reden zijn om naar alternatieve transportwijzen om te zien. Daarom is voor 4 belangrijke – en kritische – trajecten het aantal dagen overschrijding van de vaardieptecriteria berekend voor de huidige situatie en de scenario's G en W+ in 2050 en 2100.

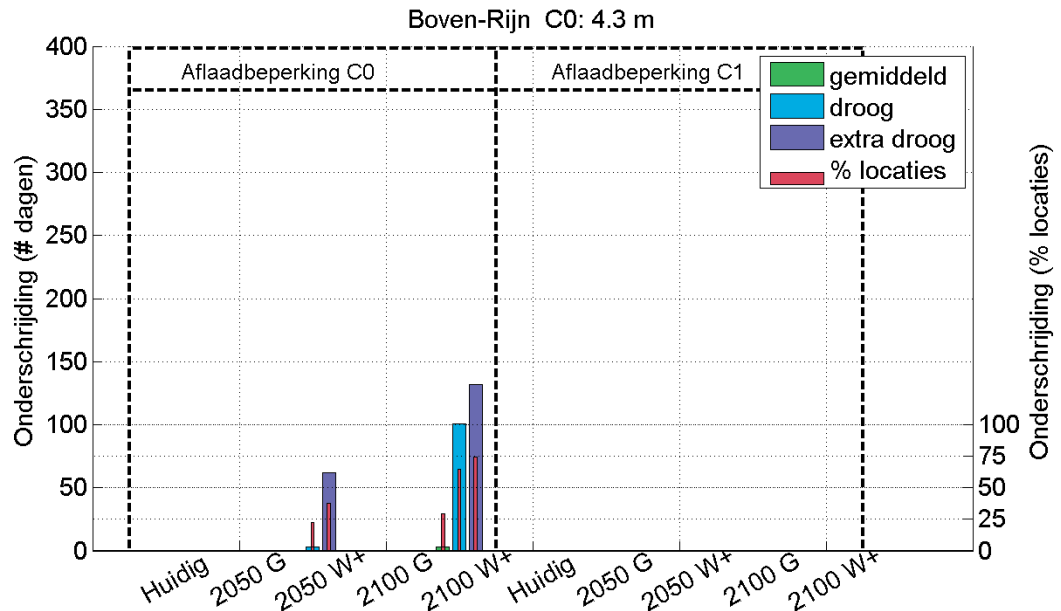
Figuur 5.41 laat het ontstaan en de verwachte groei van het knelpunt in de Boven-Rijn zien. Daar blijkt substantiële beperking (C1) ook in de toekomst nooit op te treden.

De dieptebeperkingen op de Waal (Figuur 5.42) nemen alleen toe in scenario W+. In een gemiddeld jaar is er in 2050 al enige beperking (C0 overschreden) gedurende ongeveer honderd dagen, en in 2100 neemt dat toe tot 130 dagen. Ook het aantal locaties waar de dieptebeperking optreedt, neemt toe. Een substantiële dieptebeperking bestaat op de Waal in het W+- scenario rond 2050 gedurende circa twee maanden in een 'droog' jaar; dat wordt rond 2100 zo'n twee maanden in een 'gemiddeld' jaar. In een 'extreem droog' jaar rond 2050 is er op de Waal gedurende circa drie maanden een significante vaardieptebeperking.

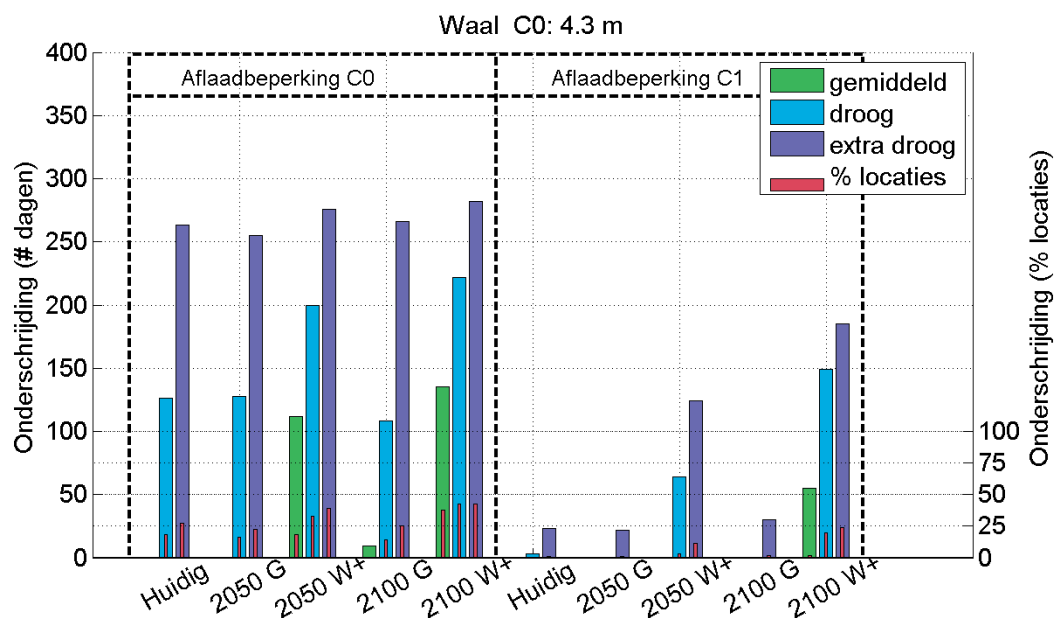
In het Pannerdensch Kanaal wordt er in scenario G geen extra vaardieptebeperking verwacht (Figuur 5.43). In het W+ scenario is hier rond 2050 in een gemiddeld jaar gedurende drie maanden enige vaardieptebeperking (C0); in een 'droog' jaar gedurende twee maanden een substantiële; en in een 'extreem droog' jaar loopt die op tot vier maanden. Rond 2100 wordt de vaardieptebeperking in scenario W+ erger: een substantiële dieptebeperking (C1) van een maand in een gemiddeld jaar en van een half jaar in een extreem droog jaar.

Ook de Boven-IJssel (Figuur 5.44) vertoont een gelijk beeld: alleen in het W+-scenario een toename van de knelpunten, al merkbaar in 2050. In een gemiddeld jaar zal substantiële vaardieptebeperking dan een maand duren, waar dit in de huidige situatie alleen in een droog jaar het geval is. In een 'extreem droog' jaar kent de IJssel in 2050 bij W+ een substantiële vaardieptebeperking gedurende een half jaar, waar dit nu slechts 3 maanden het geval is. In 2100 neemt de dieptebeperking fors toe; in een 'extreem droog' jaar is er dan zelfs in het G-scenario een langdurige substantiële dieptebeperking.

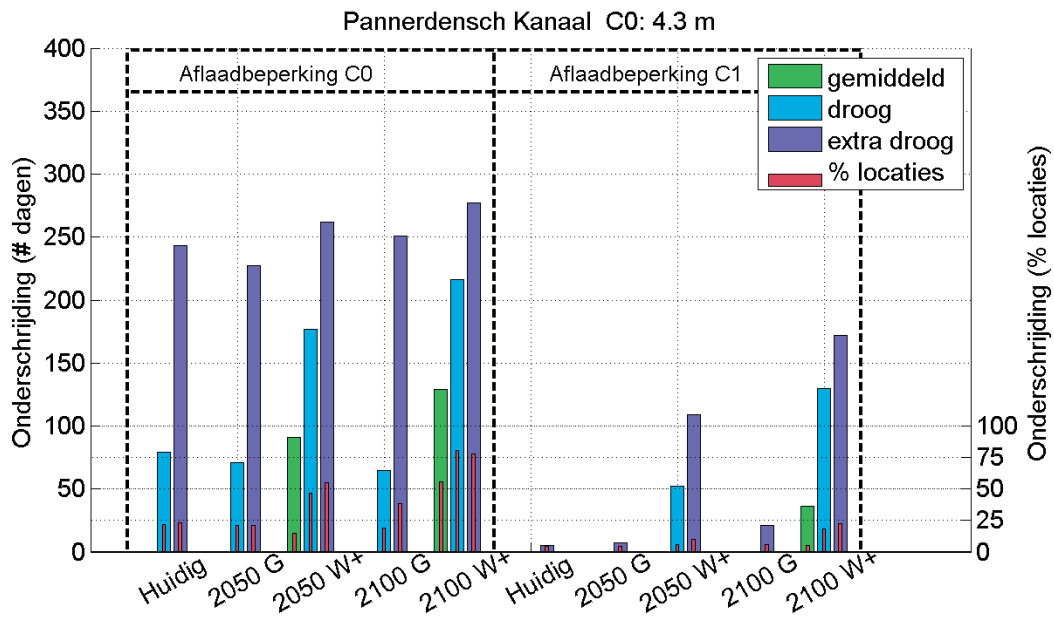
Hierbij wordt overigens opgemerkt dat er voor geen van deze locaties en scenario's een vaardiepte kleiner dan 1,8 m is berekend; er kan dus nog steeds gevaren worden, tenzij er veranderingen in de vaargeul optreden (zie tekstkader).



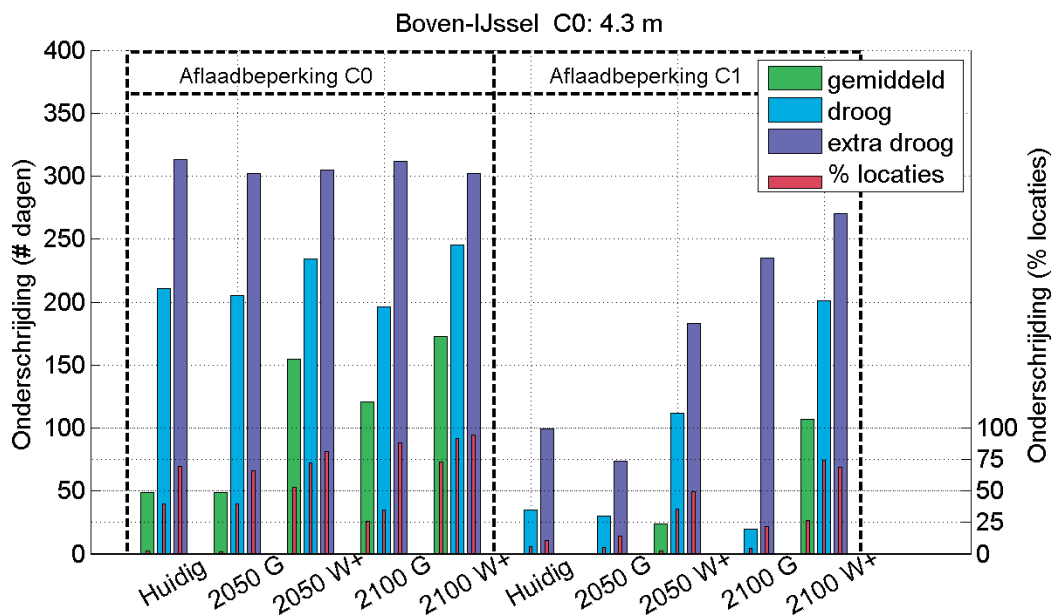
Figuur 5.41 Dagen overschrijding van de twee dieptecriteria voor de Boven-Rijn voor de verschillende karakteristieke jaren (in groen, blauw en paars). In de dunne rode balken staat het percentage SOBEK-punten op de rivier dat het criterium niet haalt.



Figuur 5.42 Dagen overschrijding van de twee dieptecriteria voor de Waal voor de verschillende karakteristieke jaren (in groen, blauw en paars). In de dunne rode balken staat het percentage SOBEK-punten op de rivier dat het criterium niet haalt.



Figuur 5.43 Dagen overschrijding van de twee dieptecriteria voor het Pannerdensch Kanaal voor de verschillende karakteristieke jaren (in groen, blauw en paars). In de dunne rode balken staat het percentage SOBEK-punten dat het criterium niet haalt.



Figuur 5.44 Dagen overschrijding van de twee dieptecriteria voor de Boven-IJssel voor de verschillende karakteristieke jaren (in groen, blauw en paars). In de dunne rode balk staat het percentage SOBEK-punten dat het criterium niet haalt.

**‘Autonome bodemdaling’ groter probleem voor bevaarbaarheid rivieren dan klimaatverandering**

In de knelpuntenanalyse is onderzocht wat lagere rivierafvoeren door klimaatverandering kunnen betekenen voor de bevaarbaarheid van de rivieren. Daarbij is verondersteld dat de ligging van de rivierbodem niet verandert.

Omdat het onderzoek zo'n veertig jaar vooruitkijkt, met een doorkijk naar 2100, kan de 'autonome bodemdaling' van de Rijntakken echter niet worden genegeerd. Deze 'bodemdaling' van het zomerbed – eigenlijk uitschuring – leidt tot lagere laagwaterstanden. De oorzaak van de uitschuring ligt onder andere in een gebrek aan sedimentaanvoer door kanalisatie in Duitsland, baggerwerkzaamheden in het verleden, en een vertraagde reactie van de rivier op achtereenvolgende normalisaties. De relatieve bijdrage van de verschillende oorzaken is nog onbekend. Maar er is in ieder geval weinig 'autonooms' aan.

Kunstwerken en vaste lagen in de rivier dalen niet mee met de dalende rivierbodem en worden bij lage waterstanden dus obstakels voor de scheepvaart. Drempels in de rivier vormen nu soms al een hindernis voor de scheepvaart, bijvoorbeeld in de Waal bij Nijmegen. In de toekomst zullen ze vaker een belemmering vormen. Ook sluizen dreigen ontoegankelijk te worden en brugpijlers kunnen worden ondergraven.

Naar verwachting zullen de effecten van de 'autonome bodemdaling' voor de bevaarbaarheid van de rivieren beduidend groter zijn dan de effecten van klimaatverandering. Daarom wordt aanbevolen om de effecten van de uitschuring in de riviertakken in het deltaprogramma terdege aandacht te geven.

**Economische schade voor de scheepvaartsector**

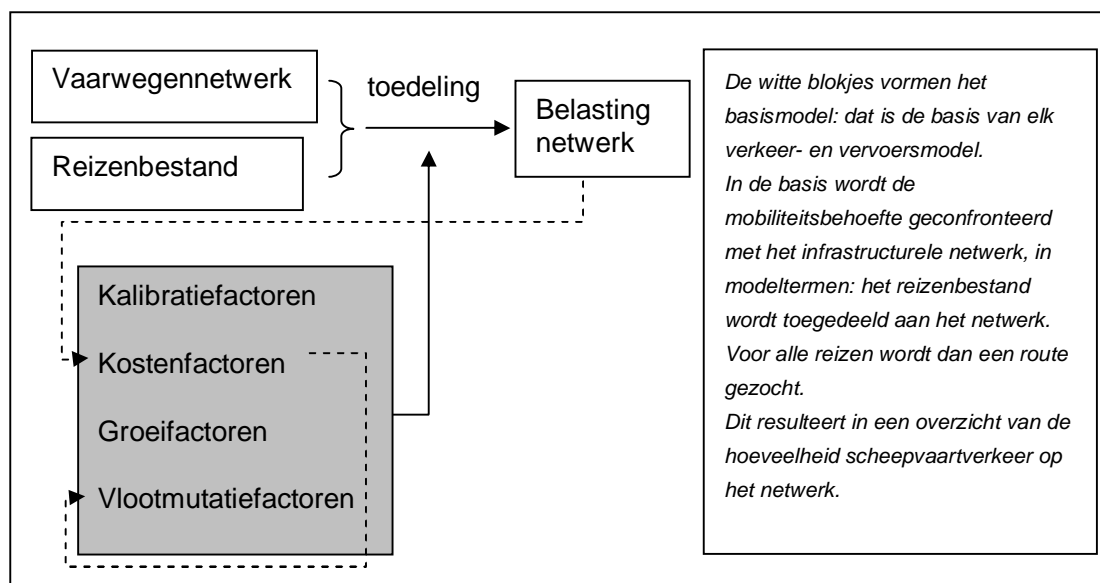
Met het effectmodel BIVAS (BinnenVaartAnalyseSysteem) kan worden bepaald welke consequenties de hierboven beschreven vaardieptebeperkingen hebben voor de scheepvaart(sector) en de transportsector.

BIVAS rekent op dagbasis en is in eerste instantie bedoeld voor het berekenen van de belasting van het vaarwegennet en voor het doen van scheepvaartprognoses (Figuur 5.45). Het vaarwegennetwerk waar BIVAS gebruik van maakt is gebaseerd op het Rijksvaarwegennet. Daarnaast bevat BIVAS een zogenaamd reizenbestand (van basisjaar 2008), waaruit ook de vlootkarakteristieken zijn afgeleid. In totaal bevat het vaarwegennetwerk veertigduizend mogelijke routes tussen havens. Er worden op het moment in een jaar grofweg 450.000 reizen uitgevoerd waarvan circa 130.000 reizen Lobith passeren (ca. 25%). BIVAS gaat in de praktijk uit van een haast onbeperkte capaciteit van de vloot.

Het model kan ook worden gebruikt om effecten van gewijzigde condities (economische en/of klimaatscenario's) te berekenen, bijvoorbeeld voor de karakteristieke jaren die in deze knelpuntenanalyse zijn gekozen in de huidige situatie en in 2050 in de verschillende deltasenario's. In dat geval wordt dus niet gerekend met de standaardwaarden voor waterdiepte e.d. zoals die in BIVAS zijn opgenomen, maar wordt gerekend met de hierboven besproken uitvoer van SOBEK ten aanzien van waterstanden, -diepten en stroomsnelheden.

BIVAS berekent dan op basis van de minste waterdiepten per route de volgende zaken:

- de veranderende aflaaddiepte gegeven de vlootkarakteristieken en waterdiepten;
- of in een bepaalde periode geplande reizen überhaupt kunnen worden uitgevoerd;
- welke vertraging optreedt door eventueel omvaren;
- hoeveel ton nog wordt getransporteerd gegeven de laaddieptebeperking;
- de resulterende gemiddelde transportkosten per ton.



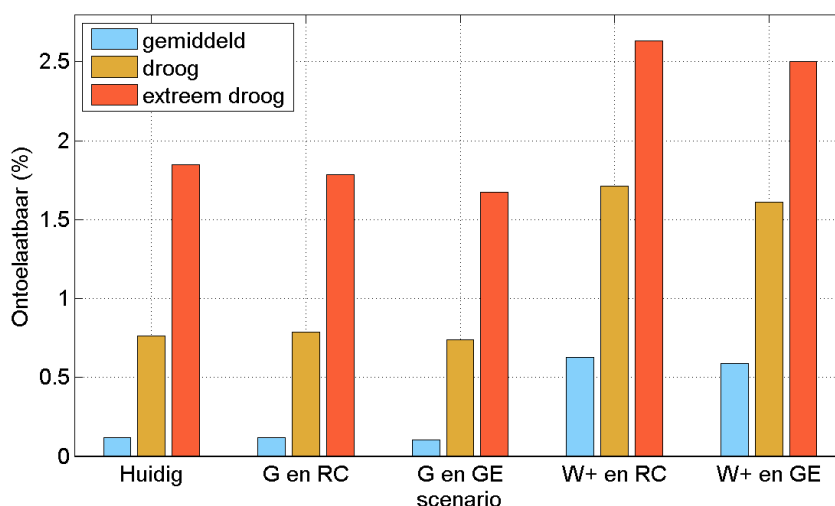
Figuur 5.45 Structuur van BIVAS

Voor deze knelpuntenanalyse zijn berekeningen uitgevoerd met BIVAS versie 2.5.1. Alvorens BIVAS toe te passen zijn waar nodig correcties uitgevoerd op de SOBEK- uitvoer. En voor de vrij afwaterende grote rivieren is de SOBEK-uitvoer geschikt gemaakt voor BIVAS door er een fictieve 'bak' in te passen die de vaargeul representeert<sup>14</sup>. Omdat de deltasenario's onvoldoende specifiek waren voor gebruik in BIVAS, is gebruik gemaakt van specificaties die door de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) zijn gemaakt in aansluiting op de WLO-scenario's die ook de basis vormen van de deltasenario's. Van de vier scenario's zijn dezelfde twee uitersten genomen, die consequent in deze knelpuntenanalyse zijn gebruikt, namelijk GE en RC. Deze sociaal- economische scenario's beïnvloeden de vraag naar transport op regionaal niveau. Grofweg wordt er in scenario GE een groei van factor 1 à 3 verwacht en in scenario RC een groei van factor 0,5 à 1,5.

Bij lage rivierwaterstanden kan een route tijdelijk onbruikbaar zijn voor een gepland transport. Door BIVAS wordt er in dat geval eerst gezocht naar een alternatieve routing. Als die niet gevonden kan worden, bijvoorbeeld door lengte- of breedtebeperkingen, dan wordt er bekeken of de reis wel kan plaatsvinden met een verminderde belading. Als dat kan, dan wordt de vracht verdeeld over meerdere schepen/ reizen. Als dat ook niet kan, neemt BIVAS aan dat de reis in het geheel niet plaatsvindt, want BIVAS 'staat niet toe' reizen (deels) op een andere dag te laten plaatsvinden. Figuur 5.46 geeft aan welk percentage van de reizen volgens berekeningen 'niet plaatsvindt' in een gemiddeld, droog en extreem droog jaar in het huidige klimaat en bij verschillende scenario's rond 2050. In deze figuur is te zien dat bij klimaatscenario G de belemmeringen door te lage waterstanden niet toenemen. In scenario W+ is dat wel het geval, namelijk met een factor 5 in een gemiddeld jaar, 2,5 in een droog jaar en minder dan 2 in een extreem droog jaar. In alle gevallen is het percentage reizen dat geen doorgang kan vinden echter klein. De verwachtingswaarde (benaderd door het 'gewogen gemiddelde') blijft ook in het W+-scenario onder de 1% van alle reizen. Bedenk

14. Daarbij moet nog worden opgemerkt dat dieptebeperkingen op de Duitse Rijn bij Kaub niet zijn meegenomen, alhoewel bekend is dat vaardieptebeperkingen aldaar van invloed zijn op de afluaddiepte die wordt aangehouden voor een deel van de vaart op het Nederlandse deel van de Rijn: beperkingen op het Duitse deel zijn eerder maatgevend.

hierbij wel dat slechts circa een kwart van alle BIVAS- reizen grensoverschrijdende Rijnvaart betreft, en juist die worden getroffen. In een extreem droog jaar in W+ gaat het dan dus om meer dan 10.000 reizen via Rijn en IJssel die volgens BIVAS niet op de gewenste dag met het beoogde schip kunnen worden uitgevoerd.



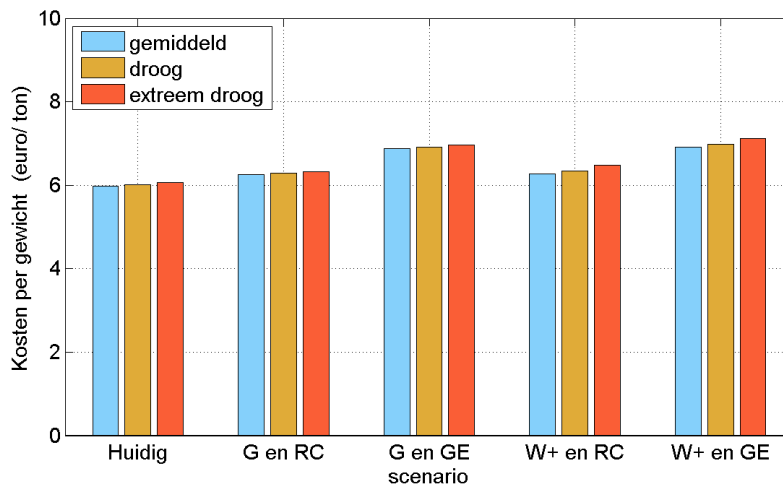
Figuur 5.46 Het percentage volgens BIVAS 'ontoeelaatbare' reizen in de huidige situatie en rond 2050 in de deltasenario's.

In de BIVAS- analyse is ook een doorkijk naar 2100 uitgevoerd. Omdat voor 2100 de vraag naar transport niet bekend is, is de doorkijk beperkt tot een gemiddeld hydrologisch jaar met de transportvraag van 2050 maar met het klimaat van 2100. Het aantal niet-uitgevoerde reizen verdubbelt in zowel het G als het W+ scenario.

Van de wel uitgevoerde reizen neemt de kostprijs voor het transport toe, omdat hetzij moet worden omgevaren, hetzij met minder belading wordt gevaren. In Figuur 5.47 is de door BIVAS berekende kostprijs per ton<sup>15</sup> weergegeven. Als wordt *aangenomen* – net als bij landbouw – dat er geen prijselasticiteit is, dan betekent de hogere kostprijs schade voor de schippers/ scheepvaartsector<sup>16</sup>. In deze figuur zien we dat de *gemiddelde* kostprijs per ton vervoerde vracht *op jaarbasis* slechts marginaal wordt beïnvloed door het optreden van laagwaters. Het verschil tussen een 'gemiddeld' en een 'extreem droog' jaar is nu minder dan 10 cent op een prijs van circa 6 euro/ton en in W+/GE nog geen kwartje op een prijs van 7 euro. Ook daarbij wordt weer gewezen op het feit dat laagwaters natuurlijk maar in een beperkt deel van het jaar en alleen op de vrij afstromende rivieren een rol spelen.

15. Deze geldt voor een standaard-reisafstand.

16. In werkelijkheid zal de hogere kostprijs waarschijnlijk tot uitdrukking worden gebracht in een hoger tarief voor transport en worden doorberekend aan de klant.



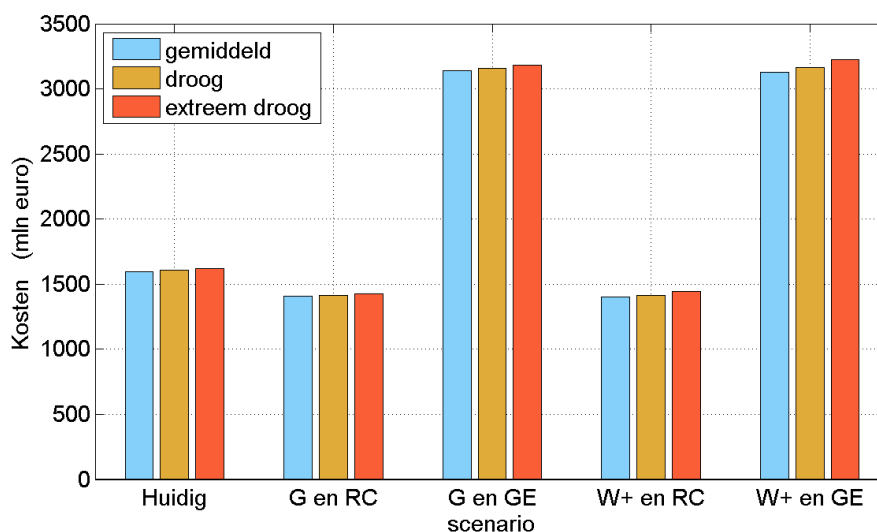
Figuur 5.47 De gemiddelde kostprijs per ton vervoerd gewicht in de huidige situatie en rond 2050 bij de verschillende scenario's.

We zien in deze figuur ook dat de kostprijs per ton gevoeliger is voor het sociaal- economisch scenario – de vraag naar transport – dan voor de bevaarbaarheid van de vaarwegen als gevolg van klimaatverandering. Bij scenario RC is de kostprijs per ton vrijwel gelijk aan de huidige, bij GE is deze een euro duurder. Wel zien we dat de verschillen tussen jaren bij W+ van iets grotere invloed wordt op de kostprijs.

Uit de kostprijs per ton kunnen – buiten BIVAS om – de totale kosten van het transport over water worden berekend door de jaarlijkse vraag naar transport (in tonnen) te vermenigvuldigen met de gemiddelde kostprijs per ton. Zo krijgen we Figuur 5.48, waarin voor de scenario's in 2050 de totale kosten zijn weergegeven in vergelijking met de huidige situatie. De totale transportkosten verschillen vooral tussen de sociaal- economische scenario's – die immers enorm verschillen qua vraag – en nauwelijks tussen de klimaatscenario's: vergelijk blok 2 met 4 of 3 met 5. En er is ook haast geen verschil tussen de karakteristieke jaren (daar wordt hieronder nog op ingezoomd: zie daar). Dit resultaat is op z'n minst opmerkelijk. De kleine verschillen die hier met BIVAS zijn berekend kunnen deels worden verklaard door enkele eerder genoemde oorzaken: slechts ruim een kwart van het vervoer is grensoverschrijdend via de Rijn, het verschil in gemiddelde kostprijs per ton tussen de klimaatscenario's is minder dan 20% en tussen extreem droge en gemiddeld jaren minder dan 5%.

Maar het blijft opmerkelijk, omdat studies waarin is begroot hoeveel schade is geleden in het droge jaar 2003 aanzienlijk hogere schadebedragen laten zien, waarbij we aantekenen dat 2003 erg droog was (en ergens tussen een 10% en 1% droog jaar zou moeten 'scoren'). Zo heeft Jonkeren (2009) geschat dat de schade voor de Rijnvaart in het 2003 91 miljoen € bedroeg. Maar die hield dus rekening met een dieptebeperving in Duitsland bij Kaub, die voor een groot deel van de Rijnvaart maatgevend is. En zo rapporteert het ministerie voor Verkeer & Waterstaat et al. (2005) een schade van 111 miljoen € als gevolg van het laagwater in 2003. Tegen deze achtergrond wordt aanbevolen wordt om na te gaan in hoeverre aannames en uitgangspunten van BIVAS afwijken van deze andere – en mogelijk nog recentere – studies op dit gebied, teneinde een beter begrip te krijgen van de plausibiliteit en betekenis van de met BIVAS berekende schadebedragen.



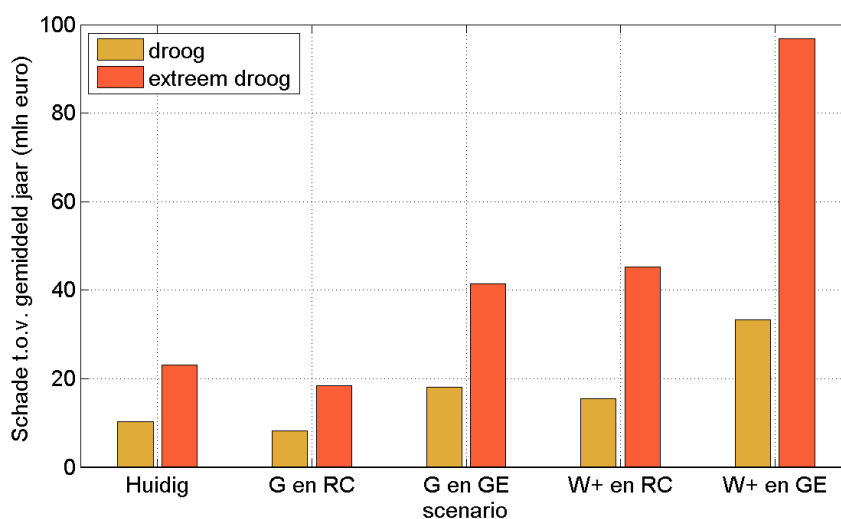


Figuur 5.48 De kosten van alle scheepsreizen in de huidige situatie en rond 2050 bij de verschillende scenario's.

Op basis van deze Figuur 5.48 en de achterliggende gegevens kan de schade als gevolg van droogte in verschillende jaren worden berekend ten opzichte van die in een gemiddeld jaar in hetzelfde klimaat (Figuur 5.49). Deze is bij de verschillende scenario's ten opzichte van een gemiddeld jaar als volgt:

- droog jaar: 10 à 30 miljoen Euro
- extreem droog jaar voor huidig klimaat en G- scenario: 20 à 40 miljoen Euro
- extreem droog jaar voor W+- scenario: 40 à 100 miljoen Euro

Ten opzichte van een gemiddeld jaar is de extra schade voor de scheepvaartsector in een droog of extreem droog jaar dan minder dan 3%, zelfs in het W+ scenario.



Figuur 5.49 Extra schade voor de scheepvaart (hogere transportkosten) als gevolg van laagwaters in verschillende karakteristieke jaren ten opzichte van die in een gemiddeld jaar in het corresponderende scenario.

Tot slot wordt nogmaals opgemerkt dat hier de schade voor de scheepvaartsector is berekend, en niet die voor de verladers of de maatschappij. Het is denkbaar dat het geringe berekende effect te maken heeft met de bestaande overcapaciteit aan schepen, en/of met de door BIVAS aangenomen 'onbeperkte capaciteit' aan schepen. Die maakt dat de prijs per vervoerde ton niet erg toeneemt, waar dat in werkelijkheid wel het geval zou kunnen zijn. Dat zou kunnen betekenen dat de prijs van transport voor de verladers – en dus de maatschappij – sterker toeneemt dan de hier gepresenteerde getallen suggereren.

Tevens betreft het schade voor de scheepvaartsector op nationaal niveau. Dat wil zeggen dat het probleem vanuit landelijk perspectief procentueel en absoluut wel 'betrekkelijk' kan zijn, maar dat er voor een bepaalde scheepvaartcorridor van een significant knelpunt gesproken kan worden. De dieptebeperkingen treden immers op in de belangrijke corridor naar het Duitse achterland en op de IJssel, waar de vaart naar het Twentekanaal van afhankelijk is.

#### 5.4.11 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 recreatiervaart 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 Basistoevervaartnet.

Voor de mogelijke effecten op de recreatietoevervaart 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 Basistoevervaartnet herbergen (resp. 709, 525 en 467 km, hetgeen in totaal overeenkomt met bijna 40% van het Basistoevervaartnet). En als alleen gekeken wordt naar de kleinere wateren binnen het toevervaartnet is dit aandeel naar verwachting nog groter. Mede gezien de gevoeligheid van dit deel van het toevervaartnet voor een afname van de vaardiepte (onder normale omstandigheden is slechts een minimumvaardiepte van 1,10 m gegarandeerd) moet een significant effect op de recreatietoevervaart 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).

Verschillende 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 lokale 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 recreatietoevervaart 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 gehele landelijke knelpuntenanalyse. Dat komt neer op een *herhaling* van de conclusies van de eerste fase (Klijn et al., 2011), voor zover die niet zijn gewijzigd, alsmede *wijzigingen en toevoegingen* naar aanleiding van de aanscherping.

*Voor de aanscherping zijn onder meer langjarige reeksen doorgerekend met een verbeterde versie van het NHI (versie 2.2) en sommige onderwerpen zijn diepgaander geanalyseerd. Dat heeft geleid tot een veel betere onderbouwing van de keuze van karakteristieke jaren. Het heeft ook geleid tot een toegenomen vertrouwen in het model en de uitkomsten in de vorm van kaarten over de huidige en mogelijke toekomstige situaties. Ten aanzien van sectoren is veel dieper gestudeerd op stedelijk gebied, infrastructuur, landbouw en scheepvaart; en aan visserij is voor het eerst aandacht besteed. Tenslotte zijn de oorzaken van sommige knelpunten veel scherper in beeld gebracht, zoals de verziltingproblemen bij Bernisse en Gouda (Krimpen), de toekomstige vraag naar water en de ontwikkeling van de watervoorraad in het IJsselmeer, en de watertekorten op de rivieren en (Brabantse) kanalen.*

*In het algemeen kan worden gesteld dat de hoofdconclusies niet heel anders zijn dan in de eerste knelpuntenanalyse, maar in veel gevallen wel beter onderbouwd en soms verder uitgewerkt. Die uitwerkingen zijn soms ook in termen van maatschappelijke kosten (economische schade), bijvoorbeeld landbouwschade en scheepvaartschade. De gepresenteerde tabellen en grafieken zijn vaak nauwkeuriger en veel van de landsdekkende kaarten zijn aangepast en vervangen. Ze worden als een stuk vertrouwenwekkender beoordeeld.*

De conclusies 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 **landelijke** knelpuntenanalyse gaat, gebaseerd op onderzoek met het **deltamodel** instrumentarium (meer specifiek NHI). Ook nu weer geeft het rapport nadrukkelijk de **stand van zaken weer op het moment van schrijven**; haast maandelijks ontstaan nieuwe inzichten, die onderdelen van de knelpuntenanalyse toch weer in een (iets) ander daglicht stellen.

### 6.2 Over de vraagontwikkeling

- Er zijn, conform de deltasenario's, twee uitersten van sociaal-economische ontwikkeling beschouwd. Deze zijn aangeduid met de afkortingen van de WLO-scenario's: GE (hoge ruimtedruk in deltasenario's DRUK en STOOM) en RC (lage ruimtedruk 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. *In NHI is voor de meeste analyses van deltasenario DRUK (G/GE) gewerkt met provinciespecifieke groeicijfers (Tabel 3.4). Aanvullend is een gevoeligheidsonderzoek gedaan naar wat een vraagtoename voor drink- en industriewater van 30% in 2050 zou kunnen betekenen voor grondwatervoorraden (Figuur 4.14). Dit is substantieel.*
- 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 NHI voor de meeste analyses van deltasenario WARM (W+/RC) weer uitgegaan van provinciespecifieke groeicijfers (Tabel 3.4). Aanvullend is een gevoeligheidsonderzoek gedaan naar wat een vraagafname voor drink- en industriewater van 15% in 2050 zou kunnen betekenen (Figuur 4.13).*
- 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.
- *De mogelijk toekomstige ontwikkeling van de beregeningsvraag is in de aanscherping op een beter verantwoorde wijze geschat. Tabel 5.2 in paragraaf 5.3.6 vat de beregeningsvraag uit oppervlaktewater per waterhuishoudkundige regio samen. Ten opzichte van de eerste knelpuntanalyse is in NHI 2.2 gerekend met een huidige beregeningsvraag die al meer dan 2 maal zo groot is als in de vorige versie (2.1). In scenario W+/RC (WARM) kan deze in 2050 in veel regio's nog eens verdubbelen. Dat betekent dat de beregeningsvraag in 2050 factor 4 a 5 groter kan zijn dan waar in de eerste knelpuntanalyse mee werd gerekend (dat is overigens nog veel minder dan de factor 9 die in de eerste knelpuntanalyse als bovengrens was beredeneerd).*

## 6.3 Over de ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid

- Er zijn conform de deltasenario's ook twee uitersten van klimaatontwikkeling beschouwd: G (gematigd, voor RUST en DRUK) en W+ (warm met veranderde luchtstroming, 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 DRUK) 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).
  - Er kunnen nog wel nieuwe knelpunten ontstaan 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. Na de aanvullende berekeningen aan langjarige reeksen worden deze bevindingen nu voldoende betrouwbaar geacht.*
  - 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 Zeeland, in de diepe droogmakerijen van Holland, in de kuststrook van Noord-Holland en Friesland-Groningen, en in de Flevopolders. *De zoutgehalten zijn opnieuw met NHI versie 2.2 berekend en de resultaten worden als plausibel beoordeeld. Het effect van klimaatscenario W+/RC op de*

*zoutgehalten in de sloten blijkt gering, mede doordat op veel plaatsen intensiever wordt doorgespoeld.*

- Op verscheidene plaatsen is interne verzilting vooral 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 in scenario W+/RC versnelde bodemdaling verergert de verzilting nog enigszins.*
- *In enkele gebiedscasussen is vastgesteld dat waar met veel zoetwater wordt doorgespoeld, de zoutgehalten in de sloten laag blijven; soms in droge zomers zelfs veel lager zijn dan in de winter (Figuur 4.11). De theoretische doorspoelbehoefte kan daardoor met circa 20% toenemen (Figuur 3.14).*
- 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 m<sup>3</sup>/s in de droogste maand naar 1300 m<sup>3</sup>/s in 2050 tot minder dan 1000 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s nu naar minder dan 50 m<sup>3</sup>/s in 2050 en nog eens de helft minder in 2100.
- *Schattingen van de watervraag in het buitenland, bovenstrooms van Lobith en Maastricht, lopen sterk uiteen. De kwaliteit van deze schattingen is nog zeer onzeker en er zijn geen harde conclusies mogelijk.*
- *In het Rijnstroomgebied zou – volgens het Europese SCENES- onderzoek – het verbruik kunnen toenemen of afnemen met circa 60 %, afhankelijk van het scenario (GE respectievelijk RC). In het Maasstroomgebied is een stijging van het verbruik mogelijk met circa 80 % maar ook een daling met 60 %.*
- *Voor de Rijn geldt dat de mogelijke toename van het waterverbruik bovenstrooms beperkt lijkt, maar dat deze bij lage afvoeren (<1000 m<sup>3</sup>/s) toch makkelijk 10% van de afvoer kan gaan bedragen. Dat is significant. Voor de Maas – met z'n geringe zomerafvoer – geldt dat alle water bovenstrooms zou kunnen worden opgesoupeerd.*
- 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 à 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 verdringingsreeks 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 de IJsselmeerpolders, 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 (DRUK) nemen de **tekorten** voor watervoorziening van regio's die nu al tekorten kennen in 2050 in een droog jaar (10%) *niet* toe; in W+/RC (WARM) ontstaan in de meeste regio's juist substantiële tekorten, behalve in de IJsselmeerpolders, Noord-Holland en Friesland- Groningen.
- In 2100 ontstaan bij W+/RC (WARM) in een droog jaar in alle regio's aanzienlijke tekorten, ook voor peilbeheer. *Op dat laatste zijn volgens de laatste berekeningen alleen de IJsselmeerpolders (kwel) nog een uitzondering.*
- 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 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 (WARM). 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 (WARM) ernstiger worden en langer duren.
- De al in de eerste knelpuntenanalyse (Klijn et al., 2011) vastgestelde 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).

- *In de aanscherping is op kaarten per NHI- district aangegeven welke van deze oorzaken tot het optreden van regionale tekorten leiden in verschillende karakteristieke jaren in het huidige klimaat en in 2050 bij scenario W+/RC (WARM): Figuur 5.9. Hieruit blijkt dat 'geen wateraanvoer' het eerst problemen veroorzaakt, dan 'te weinig' of 'te krap'. 'Te zout' is maar in een paar gebieden de hoofdoorzaak.*
- *Maar ook is vastgesteld dat de verzilting van de Lek – in extreem droge jaren en in de toekomst vaker – tot verder stroomopwaarts reikt dan eerder was vastgesteld. Dit vormt een oorzaak voor inlaatbeperkingen voor de Alblasserwaard, de Hoekse Waard en de Krimpenerwaard (Figuur 5.9).*
- *Langs de rivieren komt de inlaat van water naar de regio's onder druk te staan waar dit – uitsluitend – onder vrij verval geschiedt. Dat betreft slechts enkele inlaatpunten, waaronder Kromme Rijn en Genderen.*
- Hydrologische knelpunten in het **netwerk** worden bij huidig beheer verwacht op de Nederrijn- Lek (peil ARK- kruising) en op de Maas en Brabantse kanalen (beperking aanvoer). *Deze knelpunten zijn nader geanalyseerd.*
- *Voor de Nederrijn- Lek geldt dat er bij huidig beheer onvoldoende water over de meest benedenstroomse stuw wordt gelaten om tegendruk te bieden aan de externe verzilting via de Nieuwe Waterweg. De afvoer over de stuw is vaak nihil, omdat alle water stroomopwaarts al is afgetapt. Daardoor verzilt de Lek. Ook kan het peil in het laatste stuwpand zover dalen dat inlaat naar de Kromme Rijn moeilijk tot onmogelijk wordt. Aanvoer vanaf de Waal via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal kan hier misschien verlichting brengen: uit te zoeken in het kader van maatregelen-/ strategieonderzoek.*
- *Voor de Maas geldt dat het peil in de stuwpanden ook in 2050 waarschijnlijk nog goed gehandhaafd kan worden, omdat (1) de zijrivieren Roer, Salm en Niers water blijven aanvoeren, (2) de Brabantse kanalen al snel geen water meer krijgen, en (3) bij schutsluizen kan worden teruggepompt.*
- *Er ontstaan wel snel tekorten voor handhaving van het waterpeil op de Brabantse kanalen, ondanks dat dan al veel eerder een verbod op beregening uit oppervlaktewater is uitgevaardigd. Dat kan de bevaarbaarheid beperken.*
- 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 (WARM).
- *Dit geldt zolang het areaal beregende landbouwgrond niet toeneemt. Als meer beregeningsinstallaties worden aangeschaft – conform de nieuw opgestelde 'maximale variant' voor beregening (Tabel 5.2) die een toename geeft van bijna factor 2 voor het Fries- Groningse kustgebied en Noord-Holland – kan de vraag naar water voor beregening in W+/RC (WARM) groeien met een equivalente waterschijf op het IJsselmeer van circa 0,2 m. Dan is er in 2050 ook in een 10%-droog jaar al circa 0,1 m waterschijf op het IJsselmeer tekort (Tabel 5.3). Deze getalswaarden zijn kleiner dan in de eerste knelpuntanalyse, doordat van minder extra beregening wordt uitgegaan.*

- *De plausibiliteit van de nu aangenomen toename van berekening hangt af van de vraag of grasland in de toekomst berekend zal gaan worden, Volgens een kosten-batenafweging kan dat nooit uit als beregeningsinstallaties daar voor moeten worden aangeschaft, maar als de installaties al voor ander gewassen zijn aangeschaft is gebruik – ook voor gras – natuurlijk niet uit te sluiten.*
- *In 2100 kan er in scenario W+/RC (WARM) 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 (via Krimpen)** en **Bernisse** zijn belangrijk voor de watervoorziening van Midden-West Nederland (inclusief het Westland), respectievelijk ook voor industriewatervoorziening in het Rijnmondgebied. *Aan deze locaties is in de aangescherpte analyse extra aandacht besteed, door onder andere meetgegevens te verzamelen en gericht nieuwe modelberekeningen uit te voeren. Er zijn modelberekeningen gedaan voor een 35-jarige reeks historische jaren en voor karakteristieke jaren.**
- *Uit de nadere analyse blijkt dat het karakter van het knelpunt op deze – dicht bij elkaar gelegen – locaties wezenlijk verschilt. Enigszins gesimplificeerd: Gouda (Krimpen) is een zomers knelpunt voor de landbouwwatervoorziening, veroorzaakt door lage rivierafvoeren; Bernisse is een winters knelpunt voor de industriewatervoorziening, veroorzaakt door storm(vloed) op zee. Het verschil komt door de verschillende invloed van het getij: propstroom met menging versus een passerende heen-en-weer gaande zoutgrens.*
- *In de droge zomer van 2003 was er bij Krimpen a/d Lek sprake van te hoge zoutgehalten (> 250 mg/l) gedurende 13 dagen (gemeten waarden).*
- *In 2003 was er bij Bernisse sprake van een te hoog zoutgehalte (> 150 mg/l) gedurende 13 dagen in het hele jaar, maar kwam het zoutgehalte maar 1 dag boven de 250 mg/l.*
- *Op beide locaties neemt het aantal dagen met te hoge zoutgehalten in de loop der jaren af doordat het achtergrondgehalte van het rivierwater lager wordt.*
- *Met de nieuwe berekeningen is vastgesteld dat de zoutgehalten bij **Krimpen** a/d Lek en **Gouda** gedurende ruim een maand te hoog zijn (> 250 mg/l) in een extreem droog jaar (1% overschrijdingskans) in het huidige klimaat en in 2050 in scenario G.*
- *Voor scenario W+ is berekend dat in 2050 de zoutgrens bij Krimpen en Gouda door externe verzilting in het zomerhalfjaar veel vaker wordt overschreden dan in het huidige klimaat of in scenario G. Dat geldt vooral voor een extreem droog jaar (1% overschrijdingskans), waarin het zoutgehalte in 2050 bijna de helft van het zomerhalfjaar te hoog is, terwijl dat in een droog jaar van vrijwel nooit naar meer dan 3 weken toeneemt. Met deze resultaten kan worden gesteld dat scenario W+ voor Gouda een echt knelpunt is (Tabel 5.11).*
- *Soepeler omgang met de zoutgrens, die nu 250 mg/l is, levert bij Gouda niet heel veel verlichting op (Tabel 5.13).*
- *Een doorkijkje naar 2100 wijst uit dat scenario G voor de locaties Krimpen en Gouda niet veel uitmaakt ten opzichte van het huidige klimaat. In klimaatscenario W+ wordt het knelpunt nog veel ernstiger dan in 2050 (Tabel 5.14).*
- *Voor ‘Bernisse’ is het knelpunt (namelijk een innamebeperking) kleiner: maximaal 20 dagen in een extreem droog jaar, en vrijwel nooit in een gemiddeld of droog jaar.*

- *Ook volgens de nieuwste berekeningen wordt dit knelpunt in 2050 nauwelijks groter, ook niet in scenario W+.*
- *In 2100 leidt scenario W+ ook voor Bernisse echter tot een sterke toename van het aantal dagen met – volgens de huidige inlaatnormen – onacceptabele zoutgehaltes. Het aantal dagen met een inlaatbeperking stijgt in het W+-scenario in 2100 van bijna 20 naar meer dan 100 dagen in een extreem droog jaar, van 0 dagen naar ruim 2 maanden in een droog jaar, en ook in een gemiddeld jaar treedt al 3 dagen verzilting op.*
- *Dit betekent dat bij een zoet Haringvliet (met tijdig te sluiten kier volgens het vigerend besluit) bij inlaatpunt Bernisse na 2050, maar ruim voor 2100 een ‘omslagpunt’ (Passchier et al., 2010) wordt bereikt. Omdat het vooral om een winters knelpunt gaat, treft het vooral de industrie en minder de landbouw.*

## 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 (WARM) 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 (WARM) 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 dan 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 is nader onderzocht, maar er kan geen definitief uitsluitsel over worden gegeven.

- 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.*
- *Wel is een bovengrens berekend voor het maximale totaalschadebedrag voor heel Nederland als gevolg van 'grondwateronderlast': 40 miljard euro. Dat theoretisch maximum berust op herstelkosten voor de funderingen (vanwege rottende houten palen of ongelijke zetting) van 750.000 woningen (van monumentaal tot 'in originele staat'). Over 50 – 100 jaar uitgesmeerd zou dat neerkomen op grofweg 0,5 tot 1 miljard/jaar. Meekoppeling in herstructureringsplannen kan veel lagere kosten betekenen.*
- *Voor infrastructuur (dijken en kades, wegen en spoorlijnen, en kabels en leidingen) kunnen (grond)waterstandsverlaging en uitdroging leiden tot meerkosten voor extra onderhoud. Deze meerkosten zijn lastig te begroten ten opzichte van de kosten van regulier onderhoud, omdat bij het ontwerp en reconstructies al terdege rekening wordt gehouden met zetting en zettingsverschillen.*
- *Zetting en zettingsverschillen leiden tot fors hogere kosten voor onderhoud en vervanging op slappe gronden, maar dit geldt ook nu al.*
- *Primaire waterkeringen op slappe ondergrond hebben veel te lijden van zakking, vooral door hun eigen gewicht. Klimaatverandering verergert dit probleem niet significant, noch kan beter waterbeheer dit probleem oplossen. Het is primair een funderingsprobleem.*
- *Voor wegen is op basis van beschikbare cijfers voor meerkosten van wegbeheer op slechte gronden geschat dat de onderhoudskosten door klimaatverandering (W+) kunnen toenemen met naar schatting enkele tientallen miljoenen € per jaar in 2050. (Rijks)wegbeheerders, daarnaar gevraagd, verwachten nauwelijks meerkosten ten opzichte van regulier onderhoud/ reconstructie.*
- *Voor spoorwegen worden evenmin nauwelijks extra onderhoudskosten verwacht door klimaatverandering/ droogte.*
- *Voor rioleringen is geschat dat de onderhoudskosten door klimaatverandering/ droogte (W+) kunnen toenemen met naar schatting hooguit enkele tientallen miljoenen euro per jaar in 2050.*
- Voor de **landbouw** geldt dat de vochtvoorziening van de planten doorslaggevend is.
- De gewasverdampingsreductie neemt in scenario W+/RC (WARM) in 2050 overal fors toe met een factor 2 tot meer dan 3 (Tabel 5.15). Dat leidt tot toenemende droogteschade aan landbouwgewassen.
- *In 2050 zal de droogteschade bij W+/RC (WARM) ruim 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 ruime verdubbeling in een droog jaar (Tabel 5.16).*

- *De verschillen tussen verschillende karakteristieke jaren zijn – in alle scenario's – veel groter dan de verschillen tussen de scenario's (Figuur 5.21).*
- *De verwachtingswaarde (gewogen gemiddelde) voor de landbouwschade is begroot op bijna 400 miljoen €/jaar in het huidig klimaat, bijna 500 miljoen in scenario G/GE (DRUK) en meer dan 1100 miljoen €/jr in scenario W+/RC (WARM; Figuur 5.22). Dat betekent toenames met respectievelijk 100 miljoen en 700 miljoen €/jaar voor die twee scenario's. Alles uitgaande van huidig prijspeil en zonder prijselasticiteit, en zonder uitbreiding van de berekening.*
- *Deze berekende schadebedragen zijn groter dan die eerder waren berekend door Van Beek et al. (2008) en hergebruikt door Klijn et al. (2010). Vooral het berekende effect van het klimaatscenario is nu veel pregnanter: toen 300 miljoen €/jr meer, nu 700 miljoen €/jr. Dat komt door de verbeteringen in het modelinstrumentarium (NHI en AGRICOM).*
- *Omdat de totale landbouwopbrengst in verschillende jaren ook verschilt, is het goed de schadebedragen ook te vergelijken met de potentiële en gerealiseerde opbrengsten in verschillende jaren. De gerealiseerde opbrengsten liggen in alle scenario's rond de 5 miljard €/jr: in het huidig klimaat in alle jaren er net boven (5,2 – 5,6), in W+/RC er net onder (4,3- 4,8) (Figuur 5.23).*
- *Als de berekening wordt uitgebreid waar dat – voor de individuele agrariër – kosteneffectief is, zal circa tweemaal zoveel worden berekend en kan het schadebedrag in 2050 in de praktijk kleiner uitvallen.*
- 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: -4 tot -7 %. Dat is iets minder sterk dan in de eerste knelpuntanalyse was berekend, als gevolg van verbeteringen aan de hydrologische modellering met NHI.*
- 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 intergetijdegebied verdrinkt, maar er ontstaat ook nieuw intergetijdegebied en milieuzones schuiven op.
- De **binnenvisserij** verwacht eerder positieve dan negatieve gevolgen van klimaatverandering. *Verzilting wordt niet als probleem ervaren: de binnenvisserij is dan ook geen echte zoetwatervrager (in zout water wordt ook gevist).*
- *De gevolgen van watertekorten vallen in het niet tegen de gevolgen van andere factoren die de visstand beïnvloeden, zoals habitatverlies. Wel worden negatieve gevolgen verwacht van maatregelen die worden genomen in het kader van het zoetwaterbeheer; het gaat dan om de neveneffecten van langer gesloten Haringvlietsluizen ("kier") en gesloten spuisluisen op de Afsluitdijk voor de intrek van trekvis.*
- Voor de **drinkwatersector** is vastgesteld dat sommige inlaatpunten van oppervlaktewater serieus worden bedreigd door verzilting. Het gaat om inlaatlocaties die ook nu soms al last hebben van te hoge zoutgehalten: *Bernisse, inlaatpunten langs de Lek en het Lekkanaal, en Andijk.*
- Het gaat vaak om geringe overschrijdingen van de norm (150 mg/l Cl<sup>-</sup>).

- De problemen zullen zich vooral voordoen in droge tot extreem droge jaren.
- *Voor de Lek geldt dat de problemen in de praktijk gering zijn, omdat het daar vaak om oeverinfiltratie gaat, waarvoor piekgehalten niet relevant zijn, maar het gemiddelde wel. Dat gemiddelde blijft onder de 150 mg/l.*
- 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 bij een open Nieuwe waterweg (inlaat Brielse Meer, voorziet Rijnmond-Maasvlakte van industriewater), hetzij te laag peil op het IJsselmeer (watertekort voor Eemshaven via 'open leidingen' door Friesland-Groningen).
- *De inlaat van het Brielse Meer is die bij Bernisse, waarover hiervoor al is geconcludeerd dat deze tot 2050 nog niet zo'n groot knelpunt vormt, maar waar in 2100 een groot knelpunt ontstaat.*
- 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, vooral op de Waal, IJssel, het Pannerdensch Kanaal en de Boven-Rijn. 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.
- Uit berekeningen met BIVAS blijkt dat de gemiddelde kostprijs per ton voor transport over water in 2050 in scenario W+ in droge jaren minder dan een kwartje hoger zal uitvallen dan in een gemiddeld jaar, op een totale kostprijs van circa 7 euro. Maar ook blijkt uit de berekeningen dat de kostprijs per ton veel gevoeliger is voor het sociaal-economisch scenario – de vraag naar transport – dan voor de bevaarbaarheid van de vaarwegen als gevolg van klimaatverandering.
- *De schade voor de hele Nederlandse scheepvaartsector als gevolg van lage rivierafvoeren is voor een droog jaar begroot op ca 10-30 miljoen € in het huidige klimaat en in 2050 in scenario G, en op 20-40 miljoen in een extreem droog jaar.*
- *De extra schade in een extreem droog jaar in 2050 in scenario W+ kan zo'n 20- 60 miljoen € meer zijn dan in het huidige klimaat, bij totale kosten die – afhankelijk van het economische scenario (RC respectievelijk GE) – 1,4 tot 3,1 miljard euro bedragen.*

- *Ten opzichte van een gemiddeld jaar is de extra schade voor de scheepvaartsector in een droog of extreem droog jaar in 2050 minder dan 3%, zelfs in het W+ scenario.*
- *Waar het knelpunt voor de scheepvaartsector vanuit landelijk perspectief dus 'betrekkelijk' is, kan toch van een significant knelpunt gesproken worden, omdat de dieptebeperkingen optreden op de scheepvaartcorridor naar het Duitse achterland en op de IJssel, waar de vaart naar het Twentekanaal van afhankelijk is.*
- 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*. Rapport 2008.035, Rijkswaterstaat Waterdienst/ Dienst Zuid-Holland.
- Berkhout, P.H.G., N.M. Brouwer, F.A. Felsö, 2003. *Revisie SEO Waterrecreatiemodel*. SEO-rapport nr. 668, Amsterdam.
- Besse-Lototskaya, A.A., W. Geertsema, A. Griffioen, M. van der Veen & P.F.M. Verdonschot, 2011. *Natuurdoelen en klimaatverandering: State-of-the-Art*, Alterra-rapport 2135, Alterra, Wageningen. ISSN 1566-7197.
- Beumer, V., Vernimmen, H., Holzhauser, H., 2009. *Effecten natuurwaarden benedenrivierengebied als gevolg van klimaatmaatregelen*. Deltares-rapport i.o.v. Rijkswaterstaat, Delft.
- Bijlsma, R.J., A.J.M. Jansen, J. Limpens, M.F. Wallis de Vries & J.P.M. Witte, 2011. *Hoogveen en klimaatverandering in Nederland*. Alterra-rapport 2225, Wageningen.
- 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. *Opbrengstdervingspercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten*. Rapport 493. Alterra.

- Brouwer, R., J. de Boer, R. van Ek & 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.
- Cebeon, 2005. *Meerkosten gemeenten met een slechte bodemgesteldheid, nadere verfijning maatstaven slappe bodem in gemeentefonds*. November 2005.
- 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 Graaf, M., 2010. Recreatieve visserij onder de loep. *Visionair* 18: 22-25
- De Graaf, M., 2010a. Recreatieve Visserij Programma Nederland 2010. IMARES-rapport C150/10, Wageningen.
- 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.
- De Lange. G. & J. Gunnink, 2011. *Bodemdalingskaarten*. Conceptrapport Deltares/ TNO, Utrecht.
- De Vries, I., J. ter Maat & E. van Velzen, 2012. *Toekomstbestendigheid besluit Volkerak-Zoommeer: een robuuste beslissing?* Deltares-rapport 1205142, Delft.
- 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.
- Deltares, 2010. *Evaluatierapport DC onderzoek naar overgangsconstructies*. Deltares-rapport 1001069-GEO-0001, Delft.
- 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.
- De Wit, M., 2008. *Van Regen tot Maas. Grensoverschrijdend waterbeheer in droge en natte tijden*. ISBN-9789085712305. Veen Magazines, Diemen.
- 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*.
- Eneco, 2007. *Jaarverslag*.
- 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

- Fiselier, J., P. Siermans & M. Nijenhuis, 2004. *Onderbouwd bouwen in het veen*. RIZA-werkdocument 2004.142X, Lelystad.
- Foekema, H. & L. van Thiel (2011), *Watergebruik thuis 2010*, TNS NIPO, C7455
- 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 – verkenningennota, Duurzame Vaardiepte Rijndelta*. HKV rapport PR-1151.10.
- Hoogvliet, M., F. van de Ven, N. van Oostrom, R. Broolsma, T. Filatova, J. Verhagen & P. Bosch, 2012. *Schades door watertekorten en –overschotten in stedelijk gebied*, Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. Deltares-rapport 1205463, Utrecht.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61
- Hydrologic, 2012. *Onderzoek watervraag en waterbeschikbaarheid*. Rijkswaterstaat Dienst Utrecht
- 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,
- IPO & LNV, 2010. *ILG in uitvoering. Midterm review Investeringsbudget Landelijk Gebied*. Interprovinciaal Overleg en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- 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.
- Jonkeren, O., 2009. *Adaptation to climate change in inland waterway transport*. PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- 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 knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem*. Deltares-rapport T2447, Delft

Kwadijk J.C.J., M. Haasnoot, J. Mulder, M. Hoogvliet, A. Jeuken, R. van de Krogt, N. van Oostrom, H. Schelfhout, E. van Velzen, H. van Waveren & M. de Wit, 2010. *Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands*. WIREs Clim Change 2010 1 000–000 DOI: 10.1002/wcc.64

Kwakernaak, C., F. Klijn, J.L. Fiselier & H. Duel, 1991. *Alternatieven voor wateraanvoer; een aanzet tot gebiedsgericht beleid tegen de toenemende invloed van gebiedsvreemd water*. Landschap 8(1991)/ 2: 93-107

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.

Landelijk Steunpunt Verdroging, 2010. *Verdrogingsbestrijding in Nederland. Voortgangsrapportage 2009*.

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 Verkeer & Waterstaat (RWS-RIZA), Arcadis, HKV, KIWA, 2005. *Droogtestudie Nederland: Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

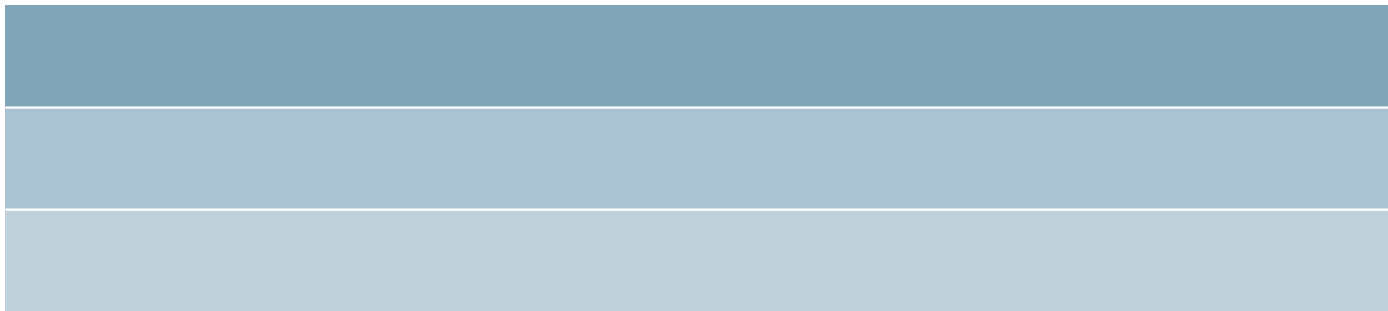
Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2009. *Handreiking watertekorten. Scenario's watertekorten Versie 2.1*. Rijkswaterstaat-WD, Lelystad.

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.
- Paalvast, P. & R. Noordhuis, 2012. *Gevolgen van klimaatverandering voor beroepsbinnenvisserij en sportvisserij in Nederland. Knelpuntanalyse Deltaprogramma Zoetwater*. Ecoconsult, Vlaardingen & Deltares, Utrecht.
- Passchier, R., F. Klijn & H. Holzhauser (2009). *Beleidsomslagpunten in het zuidwestelijk estuariumgebied? Verkenning van klimaatveranderingsbestendigheid*. Deltares-rapport 1200163-006, Delft.
- PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2009. *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*. PBL-publicatie 500078001, Den Haag/ Bilthoven, april 2009.
- PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2011. *Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland*. PBL-publicatie 50019301, ISBN 978-90-78645-72-6
- PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2011a. *Herijking van de Ecologische Hoofdstructuur: Quick Scan van varianten*. PBL 500414007, ISBN 978-90-78645-58-0
- 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.
- RIVM, 2010. *Climate change and recreational water-related infectious diseases*. RIVM report 330400002/2010.
- 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, J. & S. Hennekens, 2006. *Hydrologische Randvoorwaarden Natuur Versie 2.2, Gebruikershandleiding*. Alterra rapport.
- 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 Bodegom, P, J. Verboom, F. Witte, C. Vos, R. Bartholomeus, A. Cormont, W. Geertsema & M. van der Veen, 2011. Vochtige ecosystemen kwetsbaar: klimaateffecten in Nederland. *Landschap* 28(2) 93-103.
- 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.
- Ven, G.P. van de (red.), 2004. *Man-made lowlands*. Utrecht: uitgeverij Matrijs.
- 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
- Vos, C.C., D.C.J. van der Hoek & M. Vonk, 2010. Spatial planning of climate adaptation zone for wetland ecosystems. *Landscape Ecology* 25: 1465-1477.
- 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.



**Deltares**