

**Geactualiseerde
knelpuntenanalyse voor het
Deltaprogramma Zoetwater
fase II**



Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II

Marjolein Mens
Joachim Hunink
Joost Delsman
Janneke Pouwels
Femke Schasfoort

Titel

Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Deltaprogramma Zoetwater	11203734-003	11203734-003-ZWS-0003	100

Trefwoorden

Deltaprogramma zoetwater, droogte, knelpuntenanalyse, grondwater, oppervlaktewater, watertekort, berekening, peilbeheer, doorspoeling, waterkwaliteit, NWM

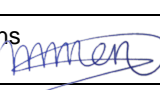


Samenvatting

Dit rapport brengt in beeld wat de huidige en mogelijk toekomstige knelpunten in de zoetwatervoorziening in Nederland zijn op basis van de meest recente berekeningen met het Nationaal Water Model ("Basisprognoses2018"). Hierbij is voor 5 regio's geanalyseerd hoe watervraag en -tekort zich in de toekomst kunnen ontwikkelen onder invloed van klimaatveranderingen en sociaaleconomische ontwikkelingen. Naast oppervlaktewatertekorten voor berekening, doorspoeling en peilbeheer, is ook gekeken naar berekening uit grondwater, grondwaterstanden, verdampingstekorten, rivierafvoer en waterkwaliteit.

Deze knelpuntenanalyse dient als gemeenschappelijke informatiebasis voor de maatregelverkenning van het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Een actualisatie van voorgaande knelpuntenanalyses was nodig vanwege de actualisatie van de Deltascenario's in 2017, waarin onder andere rekening is gehouden met autonome adaptatie van de landbouwsector wat zich vertaalt in een verandering van het potentieel berekend areaal. Daarnaast is het modelinstrumentarium geüpdatet met de meest recente kennis en data over de werking van het watersysteem én maatregelen waartoe besloten is in Deltaprogramma Zoetwater fase I.

Referenties

Mens, M.J.P., J. Hunink, J. Delsman, J. Pouwels, F. Schasfoort (2020) Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Deltares rapport 11203734-003-ZWS-0002, Delft.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	mei 2019	Marjolein Mens		Frans Klijn		Gerard Blom	
0.2	december 2020	Marjolein Mens		Frans Klijn		Gerard Blom	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Deltaprogramma zoetwater	1
1.2	Focus van dit rapport	2
1.3	Voorgaande en volgende rapportages	2
1.4	Doelgroep	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Aanpak van de knelpuntenanalyse	5
2.1	Knelpunten zoetwater: waar kijken we naar?	5
2.2	Regio-indeling	5
2.3	Definitie watervraag en – tekort	8
2.4	Wat komt er op ons af: Deltascenario's	8
2.4.1	Actualisatie van de Deltascenario's	8
2.4.2	Klimaatverandering	9
2.4.3	Neerslagtekort en afvoertekort	11
2.4.4	Sociaaleconomische ontwikkelingen	13
2.4.5	Autonome adaptatie landbouw	14
2.4.6	Interne verzilting	15
2.5	Nationaal Water Model	16
2.6	De 100-jarige reeks	16
2.7	Overige uitgangspunten	18
3	Landelijk beeld	21
3.1	Grondwatersysteem	21
3.2	Wortelzone	26
3.3	Regionaal oppervlaktewatersysteem	29
3.4	Hoofdwatersysteem	31
3.4.1	Afvoer in de grote rivieren	31
3.4.2	Oppervlaktewaterkwaliteit: drinkwater	35
3.4.3	Oppervlaktewaterkwaliteit: industrie	39
3.5	Knelpunten	40
4	Voorzieningsgebied IJsselmeer	43
4.1	Systeembeschrijving	43
4.2	De vraag naar zoet water	44
4.2.1	Peilbeheer	45
4.2.2	Berekening	45
4.3	De beschikbaarheid van zoet water	47
4.3.1	De buffervoorraad van het IJsselmeer en het Markermeer	47
4.3.2	Oppervlaktewatertekort	48
4.3.3	Verdampingstekort	50
4.4	Knelpunten	51
5	Voorzieningsgebied Benedenrivieren	53
5.1	Systeembeschrijving	53
5.2	De vraag naar zoet water	53
5.3	De beschikbaarheid van zoet water	55

5.3.1	Klimaatbestendige Wateraanvoer	55
5.3.2	Volkerak-Zoommeer en Brielse Meer	57
5.4	Knelpunten	58
6	Voorzieningsgebied Bovenrivieren	61
6.1	Systeembeschrijving	61
6.2	De vraag naar zoet water	61
6.3	De beschikbaarheid van water	64
6.3.1	Oppervlaktewatertekort	64
6.3.2	Verdampingstekort	67
6.3.3	Grondwater en polderafvoer	68
6.4	Knelpunten	69
7	Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer	71
7.1	Systeembeschrijving	71
7.2	De vraag naar zoet water	72
7.2.1	Landbouw	72
7.2.2	Drinkwater	73
7.3	De beschikbaarheid van zoet water	73
7.3.1	Verdampingstekort	73
7.3.2	Afvoer polders	74
7.3.3	Regenwaterlenzen	75
7.3.4	Zoetwatervoorraden in kreekruggen	76
7.4	Knelpunten	77
8	Hoge Zandgronden	79
8.1	Systeembeschrijving	79
8.2	Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden	80
8.2.1	De vraag naar zoet water	80
8.2.2	De beschikbaarheid van water	82
8.3	Zuidelijke Hoge Zandgronden	85
8.3.1	De vraag naar water	86
8.3.2	De beschikbaarheid van water	88
8.4	Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen	91
8.4.1	Watertekorten peilbeheer en beregening	92
8.4.2	Grensmaas	93
8.5	Knelpunten	94
9	Conclusie	95
10	Referenties	97

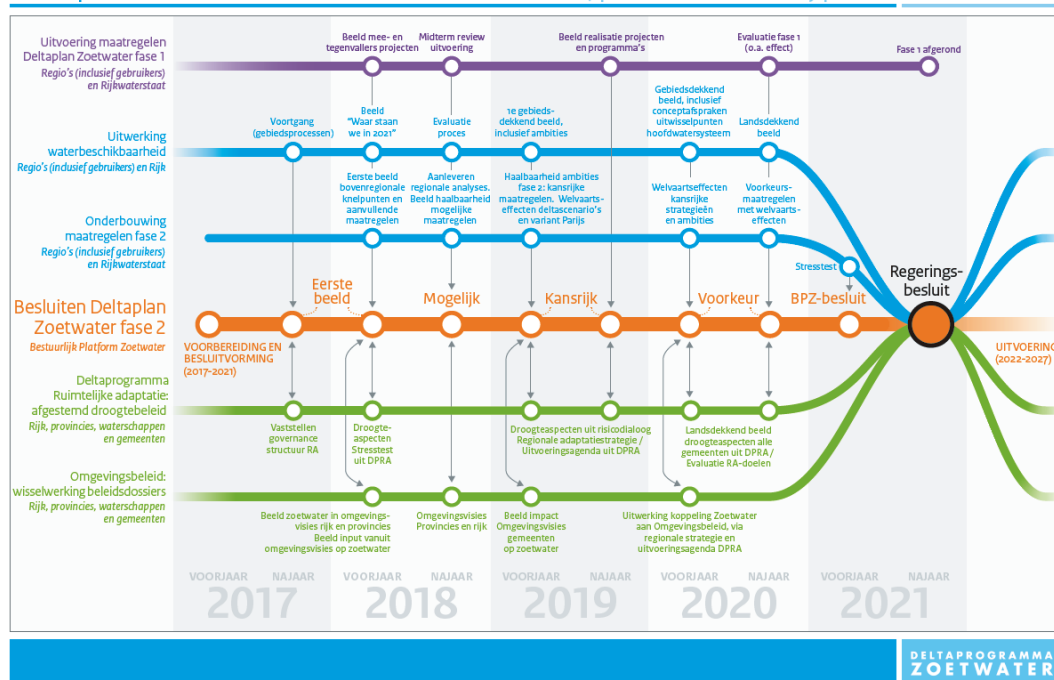
1 Inleiding

1.1 Deltaprogramma zoetwater

In het Deltaprogramma Zoetwater fase II wordt toegewerkt naar een regeringsbesluit in 2021. Dit loopt via een iteratief proces van het maken van een eerste beeld (2017/2018), naar het selecteren van mogelijke (2018) en kansrijke (2019) maatregelen en adaptatiepaden, en een voorkeursbesluit in 2020. Tegelijkertijd vindt een herijking van de Deltabeslissingen en de voorkeurstrategieën uit Deltaprogramma fase I plaats. In 2021 neemt de regering een besluit over de herijkte Deltabeslissingen, voorkeurstrategieën en het uitvoeringsprogramma voor de periode 2022-2028.

Het Deltaprogramma Zoetwater zit nu in de fase om tot kansrijke maatregelen te komen (zie routekaart in Figuur 1.1). Als onderdeel van dit proces is behoefte aan een landelijke knelpuntenanalyse die dient als gemeenschappelijke informatiebasis voor de maatregelverkenning. Een actualisatie van voorgaande knelpuntenanalyses (Klijn et al., 2012; Ter Maat et al., 2014) was nodig vanwege de actualisatie van de Deltascenario's in 2017. Ten opzichte van Deltaprogramma fase I is nu bijvoorbeeld rekening gehouden met autonome adaptatie van de landbouwsector dat zich vertaalt in een verandering van het potentieel beregend areaal. Dit heeft een direct effect op de watervraag voor berekening. De tweede reden voor actualisatie van de knelpuntenanalyse is een nieuwe referentie (peiljaar 2017): het modelinstrumentarium is geüpdatet met de meest recente kennis en data over de werking van het watersysteem én maatregelen waartoe besloten is in Deltaprogramma Zoetwater fase I (onder andere peilbesluit IJsselmeer/Markermeer) zijn verwerkt. Dit wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 2.

Deltaplan Zoetwater - Routekaart naar fase 2 | producten en mijlpalen



Figuur 1.1 De routekaart van het Deltaprogramma Zoetwater fase 2

1.2 Focus van dit rapport

Dit rapport gaat in op de landelijke knelpunten in de zoetwatervoorziening van Nederland, nu en in de toekomst. De centrale vraag is:

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

Om deze vraag te beantwoorden wordt gebruik gemaakt van de berekeningen die eind 2018 met het Nationaal Water Model zijn uitgevoerd (ook wel bekend als: *Basisprognoses 2018*), op te vragen via de Helpdesk Water.

De hydrologische knelpuntenanalyse vormt tevens de basis voor het kwantificeren van het zogenaamde *nulalternatief* in de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) voor het Deltaprogramma Zoetwater. Het nulalternatief houdt in dat huidig beleid wordt voortgezet met daarbij autonome adaptatie van sectoren. Het droogterisico in het nulalternatief brengt in beeld wat het de maatschappij mogelijk kost om, zonder aanvullende maatregelen, nu en in de toekomst met droogte om te gaan. Voor het doorvertalen van hydrologische knelpunten naar droogterisico zijn in de afgelopen jaren economische effectmodules ontwikkeld voor de sectoren landbouw, scheepvaart, industrie, drinkwater en natuur (Schasfoort et al., 2019). Gelijktijdig met het schrijven van dit rapport is door Stratelligence en Witteveen+Bos de economische analyse voor het nulalternatief uitgevoerd en gerapporteerd.

1.3 Voorgaande en volgende rapportages

In 2017 en 2018 is ook gerapporteerd over knelpunten in de zoetwatervoorziening op basis van de toen beschikbare kennis en modelberekeningen. In de vorige fase van het Deltaprogramma is gewerkt met karakteristieke jaren. Op advies van onder andere de wetenschappelijke commissie van het traject 'waterbeschikbaarheid' is sindsdien gewerkt aan een 100-jarige reeks van neerslag, verdamping en rivierafvoeren, waarmee het Nationaal Water Model gevoed kon worden. In Mens et al. (2018a) is voor het eerst gerapporteerd over de resultaten van de 100-jarige reeks die met Nationaal Water Model was doorgerekend, voor de huidige situatie en het oude Deltascenario Warm2050. De focus lag hierbij op inhoudelijke controle van de resultaten en de meerwaarde van werken met de 100-jarige reeks in vergelijking met het werken met karakteristieke jaren. Daarnaast is in 2017/2018 gewerkt aan zogenaamde hotspotanalyses (Mens et al., 2018b), waar de belangrijkste knelpunten in zoetwatervoorziening voor een aantal specifieke locaties ('hotspots') verder zijn uitgediept met het oog op bovenregionale afwegingen.

Dit rapport moet gezien worden als vervanging van deze eerdere rapportages, waar het ging over knelpunten in de zoetwatervoorziening met een focus op klimaatverandering.

Met dit rapport geven we een zo compleet en gedetailleerd mogelijk beeld op basis van de geactualiseerde Deltascenario's en de meest recente kennis en modelinformatie met betrekking tot het watersysteem. Tabel 1.1 geeft een overzicht van relevante rapporten in deze fase van het Deltaprogramma Zoetwater¹.

Tabel 1.1 Overzicht van relevante rapporten in deze fase van het Deltaprogramma Zoetwater

Jaar	titel	toelichting	Nationaal Water Model run	Klimaat-scenario	Sociaal-economisch scenario
2017	Deltascenario's voor de 21e eeuw - actualisering 2017	Actualisering van de Deltascenario's met WLO'15	nvt	KNMI'14	WLO'15
2018	Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017	Knelpunten landelijke beeld; voor het eerst met 100-jarige reeks geanalyseerd	2017	KNMI'14	WLO'06
2018	Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater	Knelpunten toegespitst op hotspotsgebieden	2017	KNMI'14	WLO'06
2018	Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater	Grove verkenning maatregelen hoofdwatersysteem en bovenregionale maatregelen	2017	KNMI'14	WLO'06
2018	Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model	Technisch rapport over inbouwen van geactualiseerde Deltascenario's in NWM	nvt	KNMI'14	WLO'15
2019	Uitgangspunten variant Parijs en zichtjaar 2100	Uitgangspunten voor het met Nationaal Water Model voor het doorrekenen van de variant Parijs (2050) en zichtjaar 2100 voor de 4 Deltascenario's	nvt	KNMI'14	WLO'15
2018	Regioscan Zoetwatermaatregelen - Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave	Rapportage totstandkoming Regioscan Zoetwatermaatregelen fase 1 en uitvoering pilots	nvt	KNMI'14	nvt

1.4 Doelgroep

Dit rapport is bedoeld ter ondersteuning van het Deltaprogramma Zoetwater en gericht op alle betrokkenen bij het Deltaprogramma Zoetwater. Door deze resultaten algemeen ter beschikking te stellen is het mogelijk om te komen tot gedeelde kennis en interpretaties op basis van dezelfde 'feiten'. Hierbij wordt aangetekend dat het in veel gevallen gaat om de resultaten van modellering. Een model is per definitie een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid en moet daarom gebruikt worden als hulpmiddel bij het begrijpen van de werking van het systeem en de mogelijke gevolgen van klimaatverandering.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt gestructureerd. In Hoofdstuk 2 wordt de aanpak beschreven, met onder andere een overzicht van de variabelen die in de analyse beschouwd zijn. Daarnaast wordt uitleg gegeven over de betekenis van watertekort en over hoe is omgegaan met frequenties en herhalingstijden.

De analyseresultaten zijn eerst gegroepeerd tot een landelijk beeld van het effect van droogte op het grondwatersysteem, de wortelzone, oppervlaktewatersysteem en afvoeren en waterkwaliteit van het hoofdwatersysteem (Hoofdstuk 3), en daarna naar regio (volgens de welbekende indeling in 5 zoetwaterregio's):

- | | | |
|---|-----------------------|--------------|
| 1 | IJsselmeergebied | Hoofdstuk 4; |
| 2 | Rivierengebied | Hoofdstuk 5; |
| 3 | Benedenrivierengebied | Hoofdstuk 6; |
| 4 | Zuidwestelijke Delta | Hoofdstuk 7; |
| 5 | Hoge Zandgronden | Hoofdstuk 8. |

Hoofdstuk 9 vat de knelpunten samen.

¹ De rapporten zijn te downloaden vanaf de website van het Deltaprogramma:
<https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/gebieden-en-generieke-themas/zoetwater/onderzoeken>

2 Aanpak van de knelpuntenanalyse

2.1 Knelpunten zoetwater: waar kijken we naar?

Het doel van de landelijke knelpuntenanalyse zoetwater is om te verkennen waar, hoe vaak en in sommige gevallen hoe lang de watervraag groter is dan de waterbeschikbaarheid, en wat de oorzaak daarvan is. Een knelpunt kan ontstaan doordat een buffer niet toereikend is (denk aan: buffer IJsselmeer), capaciteit van inlaten of regionale boezems/kanalen te klein is, (grond)waterstanden te laag zijn, of de waterkwaliteit te slecht is.

Dit vertaalt zich in de volgende variabelen die in de analyse zijn beschouwd:

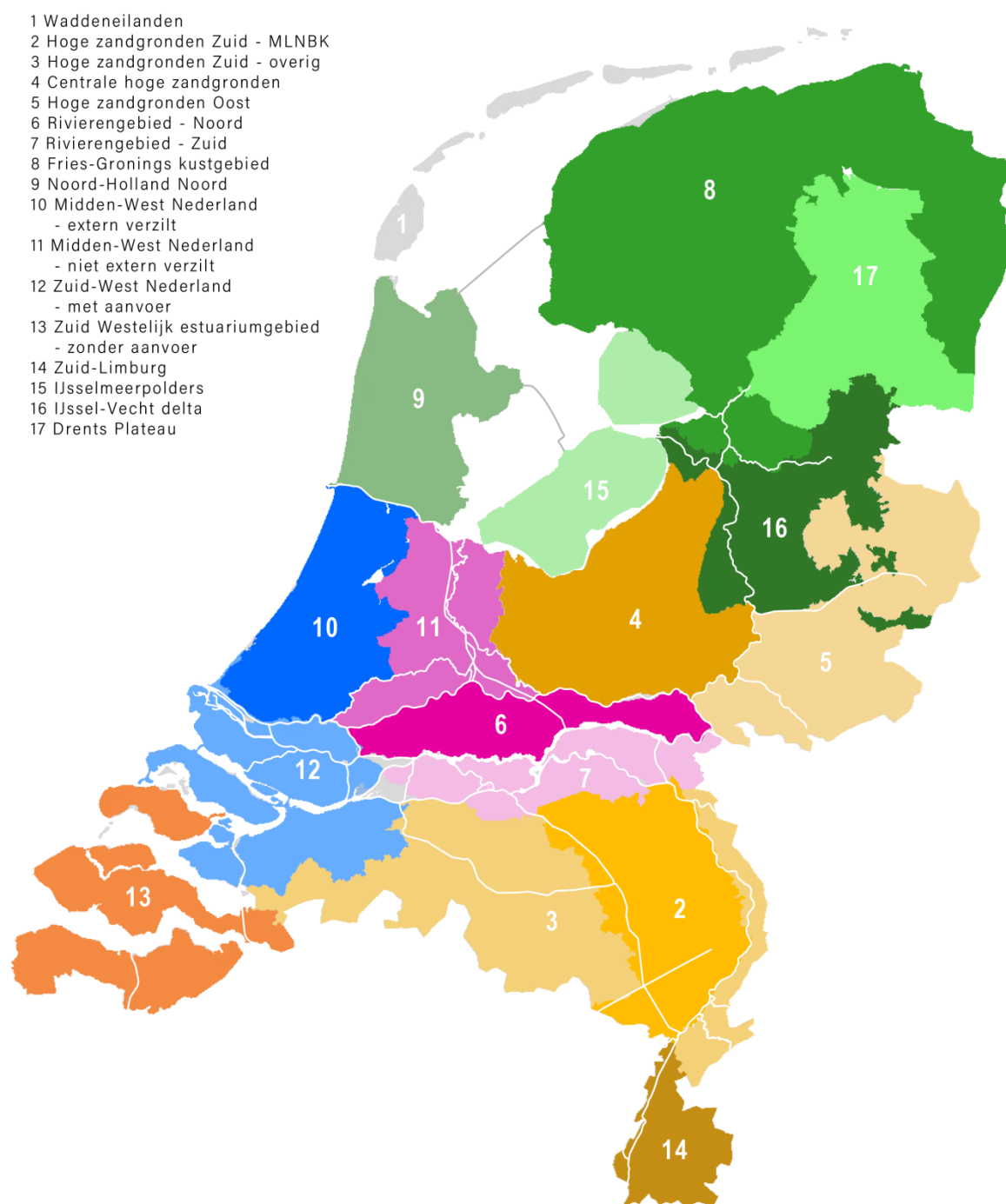
Grondwatersysteem	
GHG (m + NAP)	De gemiddeld hoogste grondwaterstand berekend over periode 1929 – 2011
GLG (m + NAP)	De gemiddeld laagste grondwaterstand berekend over periode 1929 – 2011
Stijghoogte	Waterdruk (mm) in het diepere watervoerende pakket
Wortelzone	
Verdampingstekort (mm)	Tekort aan water in de wortelzone voor verdamping via planten en gewassen. We berekenen het gemiddelde verdampingstekort (Tpot-Tact) in mm over periode 1929 - 2011.
Oppervlaktewatersysteem (kwantiteit)	
Regionaal watertekort (m ³)	Frequentie en mate van het watertekort per regio (in % van de vraag) voor de drie gebruikerscategorieën peilbeheer, doorspoeling en beregening, berekend over het zomerhalfjaar
Buffergebruik IJsselmeer/Markermeer (m)	Maximale uitzakking van het peil IJsselmeer/Markermeer ten opzichte van het streefpeil, als maat voor buffergebruik in het zomerhalfjaar.
Afvoeren Maas, Waal en IJssel (m ³ /s)	Frequentieverdeling van de overschrijdingsduur van lage afvoeren op de Waal en de IJssel. Dit is een maat voor problemen voor de scheepvaart.
Oppervlaktewatersysteem (kwaliteit)	
Chlorideconcentratie (mg/l)	Frequentieverdeling van de overschrijdingsduur van kritische grenswaarden van chlorideconcentraties bij diverse inlaatpunten voor industrie- en drinkwater Overschrijdingsfrequentie van jaargemiddelde chlorideconcentraties op de Lek
Concentratie Carbamazepine (mg/l)	Frequentieverdeling van de overschrijdingsduur van de concentratie Carbamazepine bij diverse inlaatpunten voor industrie- en drinkwater.

2.2 Regio-indeling

Om knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid te duiden wordt gebruik gemaakt van een de regio-indeling van 5 hoofdregio's of 17 deelregio's die ook in de vorige fase van DPZW is gebruikt (Ter Maat et al, 2014).

De hoofdregio's zijn ingedeeld naar voorzieningsgebied (Figuur 1.2):

- I. Voorzieningsgebied IJsselmeer (Noord-Holland Noord, Flevoland, Friesland, Groningen, Drenthe, en delen van Gelderland en Overijssel die voorzien worden vanuit de IJssel en Twentekanalen),
- II. Voorzieningsgebied Benedenrivieren (onder meer: Rijnland, Delfland, Schieland, West-Brabant, Tholen),
- III. Voorzieningsgebied Bovenrivieren (onder meer: Rivierengebied, Stichtse Rijnlanden en Amstelland),
- IV. Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (grootste deel van Zeeland),
- V. Hoge Zandgronden (grote delen van Utrecht, Gelderland, Twente, Brabant, Limburg).



Figuur 2.1 Indeling in regio's op basis van watersysteemkenmerken ten behoeve van de knelpuntenanalyse

2.3 Definitie watervraag en – tekort

In deze rapportage worden watervragen en watertekorten gepresenteerd zoals die worden berekend met het Nationaal Water Model. Alle watertekorten hebben betrekking op **oppervlaktewater**. De watervraag is de totale vraag aan het oppervlaktewatersysteem in een regio, na neerslag, kwel en interne uitwisseling van oppervlaktewater binnen een district. De vraag betreft het water dat nodig is voor beregening, doorspoeling en peilbeheer. Watervraag uit grondwater wordt apart beschouwd. In het model worden vragen aan grondwater (voor beregening, drinkwaterbereiding, etc.) altijd geleverd. Een tekort vertaalt zich op deze manier in een dalende grondwaterstand.

De oppervlaktewatervragen en –tekorten worden uitgesplitst in drie categorieën: peilbeheer, doorspoeling en beregening. Bij **peilbeheer** gaat het om water dat nodig is om het streefpeil in watergangen te handhaven. Deze vraag wordt alleen berekend in peilgestuurde gebieden. Deze vraag is een resultante van de neerslag, verdamping, drainage en infiltratie in een gebied. **Doorspoeling** van polderwateren en boezemwateren is bedoeld om de zoutconcentratie te verlagen die oploopt als gevolg van interne verzilting (voornamelijk zoute kwel in diepe polders) of externe verzilting (zoutindringing via sluizen). Dit is gemodelleerd als een vast debiet. De watervraag voor **beregening** is de hoeveelheid beregeningswater ten behoeve van de landbouw die potentieel uit het oppervlaktewater onttrokken wordt (gevraagd wordt). In het model is aangegeven welke landbouwpercelen beschikking hebben over een beregeningsinstallatie, en of dit grondwaterberegening of oppervlaktewaterberegening betreft. Afhankelijk van de vochtsituatie in de bodem worden gewassen vervolgens beregend. De watervraag voor beregening betreft alleen de percelen met een beregeningsinstallatie uit oppervlaktewater. Percelen zonder beregeningsinstallatie kunnen dus wel waterbehoefte hebben maar dit vertaalt zich in het model niet in een watervraag voor beregening.

Drink- en industriewatervraag is in de modellering wel meegenomen, maar mogelijke tekorten in kwantiteit worden niet apart gerapporteerd. Wel gaan we in op mogelijke problemen met ten gevolge van veranderende waterkwaliteit (onder andere verzilting). Nutriënten en watertemperatuur worden buiten beschouwing gelaten.

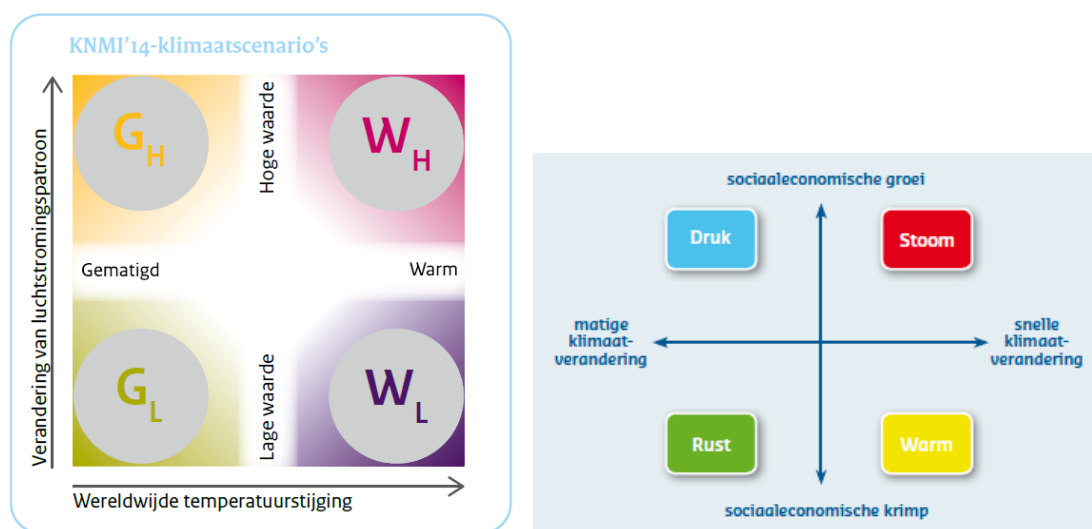
2.4 Wat komt er op ons af: Deltascenario's

2.4.1 Actualisatie van de Deltascenario's

Voor het verkennen van de toekomst wordt in het Deltaprogramma gewerkt met Deltascenario's. Elk Deltascenario is een combinatie van een klimaatscenario (KNMI'14) en een sociaaleconomisch scenario (onder meer: landgebruik, bodemdaling, doorspoeling, onttrekkingen). Deze twee ontwikkelingen, klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkeling, zijn te beschouwen als autonoom: ze zijn sterk afhankelijk van externe krachten waarop Nederland weinig invloed heeft. De snelheid van deze ontwikkelingen is zeer onzeker, hoewel de richting (zeker voor klimaatverandering) wel bekend is. De Deltascenario's beschrijven zo goed mogelijk de plausibele bandbreedte in deze ontwikkelingen, in hun onderlinge samenhang en met hun mogelijke consequenties voor ruimtegebruik en watervraag. Hiermee spannen we de bandbreedte van de mogelijke toekomstige zoetwaterproblematiek op.

De KNMI'14 scenario's omvatten vier scenario's voor de toekomstige klimaatverandering: G_L , G_H , W_L en W_H (zie Figuur 2.2, links). In de Deltascenario's wordt het scenario's G_L als ondergrens (matige klimaatverandering) en het scenario W_H (sterke klimaatverandering) als bovengrens gebruikt (Figuur 2.2, rechts).

In 2017 zijn de Deltascenario's geactualiseerd met de meest recente sociaaleconomische scenario's (WLO'15: CPB & PBL, 2015; Wolters et al., 2018). Deze betreffen verhaallijnen per sector en aangepaste landgebruikskaarten, ontwikkeld door PBL en de Vrije Universiteit Amsterdam (Claassens et al., 2017). Vervolgens zijn deze verhaallijnen en kaarten door Deltares vertaald naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model, ten behoeve van de knelpuntenanalyse zoetwater (Hunink et al., 2018).



Figuur 2.2 Links: KNMI '14 scenario's (KNMI, 2015), rechts: Deltascenario's (Wolters et al., 2018)

Beleidsvariant Parijs

Naast de gebruikelijke Deltascenario's Druk, Rust, Warm en Stoom is een 'beleidsvariant Parijs' uitgewerkt. In deze variant zijn de gevolgen van het klimaatakkoord van Parijs voor het waterbeheer uitgewerkt. Omdat de aannames in de Parijs-variant uitgaan van actieve beleidssturing om de gestelde doelen te halen, wordt het nadrukkelijk **geen** scenario genoemd.

Het uitgangspunt van variant Parijs is: doen wat nodig is om te komen tot 80 tot 95% reductie van broeikasgasemissie, conform het akkoord van Parijs, wat zou moeten leiden tot een maximale temperatuurstijging van 1.5 à 2 °C. De verhaallijn hiervan start vanuit DRUK en is verder als volgt doorvertaald naar peilbeheer en waterafhankelijke functies:

- Vernatting van het veenweidegebied om de CO₂-uitstoot te verlagen;
- invoering van landbouwpraktijken die zijn gericht op het verhogen van het koolstofgehalte van de bodem; en
- aanplanten van 100.000 ha bos.

De vertaling van deze uitgangspunten naar modelschematisatie voor het NWM is beschreven in Hunink et al. (2018). De gemodelleerde gevolgen van deze beleidsvariant op de zoetwaterknelpunten zijn beschreven in Hunink et al. (2019).

2.4.2 Klimaatverandering

De KNMI'14 scenario's maken onderscheid tussen een gematigde klimaatverandering (G scenario's) en een warme variant (W scenario's) op basis van de wereldwijde temperatuurstijging.

Daarnaast is ook de verandering van het luchtstromingspatroon van belang. Hier wordt een lage (L scenario's) en een hoge (H scenario's) verandering onderscheiden. De hoge scenario's hebben een nattere winter en een drogere zomer dan de lage scenario's.

De Deltascenario's Warm en Stoom zijn gebaseerd op het KNMI'14 scenario W_H . Deltascenario's Druk en Rust zijn gebaseerd op KNMI'14 scenario G_L . Tabel 2.1 geeft een overzicht van de veranderingen in een aantal meteorologische parameters.

Tabel 2.1 Verandering neerslag, potentiële verdamping, gemiddelde temperatuur bij de KNMI'14 scenario's G_L , G_H , W_L en W_H (op basis van KNMI, 2015), ten opzichte van de referentieperiode, voor het zichtjaar 2050)

		G_L	G_H	W_L	W_H
Winter	Neerslag	+3.0%	+8.0%	+8.0%	+17.0%
	Gemiddelde temperatuur	+1.1	+1.6	+2.1	+2.7
Zomer	Gemiddelde neerslag	+1.2%	-8.0%	+1.4%	-13.0%
	Potentiële verdamping	+4.0%	+7.0%	+4.0%	+11.0%
	Gemiddelde temperatuur (graden Celsius)	+1.0	+1.4	+1.7	+2.3

Extra Whdry scenario voor Rijnafvoer en Maasafvoer

Het KNMI'14 W_H scenario bevat ook projecties voor neerslag en verdamping in het Rijn- en Maasstroomgebied. In 2015 heeft het KNMI nader onderzoek gedaan naar de bandbreedte in de scenario's voor het Rijn- en Maasstroomgebied (Lenderink en Beersma, 2015). Daaruit bleek dat de potentiële afname van zomerneerslag voor het buitenland met de toegepaste regionale klimaatmodellen minder extreem uitpakt dan voor Nederland, terwijl mondiale klimaatmodellen anders suggereren. Hierdoor zou met het W_H scenario de bandbreedte van de afvoerscenario's te laag uitvallen. KNMI heeft daarom speciaal voor analyses ten behoeve van lage Rijnafvoeren en Maasafvoeren een droger scenario afgeleid: $W_{H,dry}$. In de analyse wordt dit scenario gecombineerd met het W_H scenario voor Nederland in de Deltascenario's Stoom en Warm.

De betekenis van de nieuwe KNMI'14 klimaatscenario's voor het afvoerregime van de Rijn en de Maas is verkend door Deltares & KNMI (Klijn et al., 2015). Hiertoe zijn meteorologische gegevens (onder andere: neerslag, verdamping en straling) met modellen vertaald naar afvoerrekeningen voor de Rijn bij Lobith en voor de Maas bij Monsin. In deze afvoerscenario's is geen rekening gehouden met bovenstroomse sociaaleconomische ontwikkelingen, zoals landgebruiksveranderingen en veranderingen in onttrekkingen uit de rivieren.

Grofweg veranderen de afvoerregimes van de Rijn en Maas als volgt (Klijn et al., 2015):

- Door de klimaatverandering verandert de jaargemiddelde Rijnafvoer niet heel sterk, maar worden de verschillen tussen zomer en winter wel duidelijk pregnanter, vooral in het $W_{H,dry}$ -scenario in 2085;
- De maandgemiddelde laagwaterafvoeren in de nazomer bij Lobith veranderen met -20% ($W_{H,dry}$) tot +10% (G_L); en in 2085 van -30% ($W_{H,dry}$) tot 0% (G_L);
- De lage afvoeren in nazomer en herfst nemen in de Maas af in de meeste, maar niet in alle scenario's. In scenario G_L neemt de gemiddelde laagwaterafvoer in het geheel niet af. In scenario $W_{H,dry}$ gaat het in 2050 echter om circa 45% en in 2085 om 60% afname van de gemiddelde laagwaterafvoer.

Zeespiegelstijging

De KNMI'14 scenario's beschrijven per scenario een bandbreedte in de zeespiegelstijging in plaats van een vaste waarde. Voor de inpassing van de klimaatscenario's in het modelinstrumentarium is uitgegaan van vergelijkbare principes als in de vorige fase van het Deltaprogramma. Voor de G_L scenario's wordt gebruik gemaakt van de onderkant van de bandbreedte; voor de W_H scenario's wordt gebruikt gemaakt van de bovenkant van de bandbreedte (Tabel 2.2).

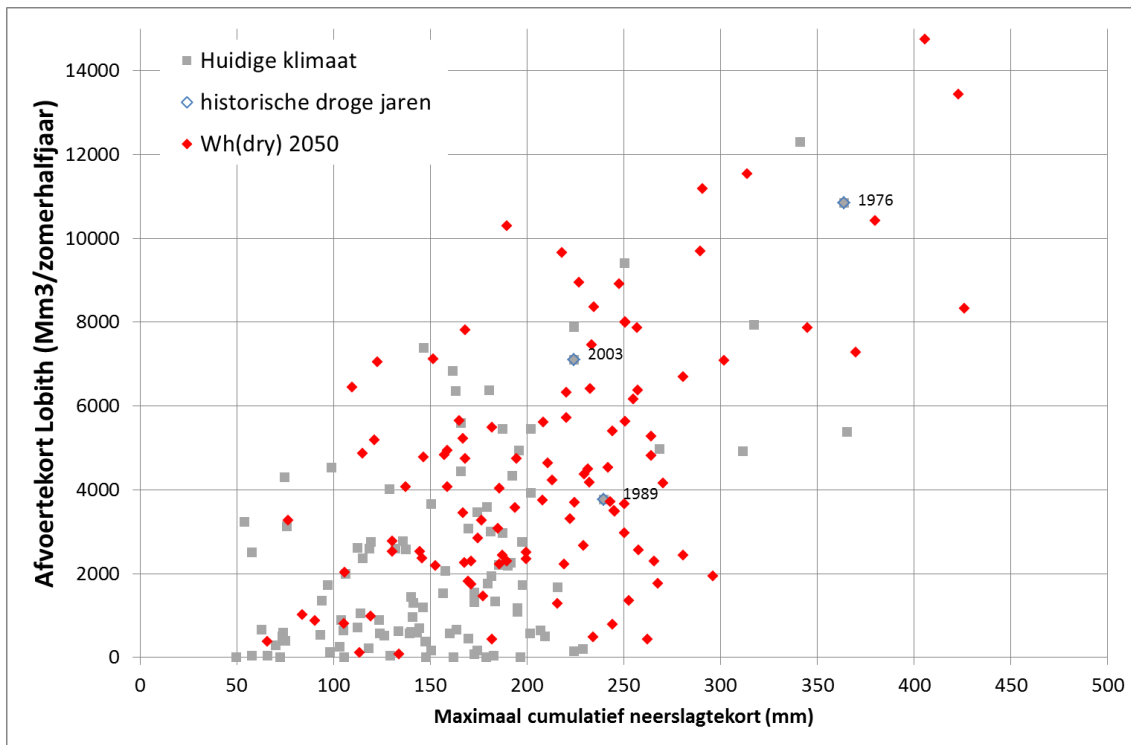
Tabel 2.2 Zeespiegelstijging in de KNMI'14 scenario's G_L en W_H (KNMI, 2014)

Scenario	Zeespiegelniveau (m + NAP)	Stijging (cm) t.o.v. 1995
Basisperiode (1995)	0,03	n.v.t.
Referentie (2017)	0,07	+4 cm
2050 G_L	0,18	+ 15 cm
2085 G_L	0,28	+ 25 cm
2050 W_H	0,43	+ 40 cm
2085 W_H	0,83	+ 80 cm

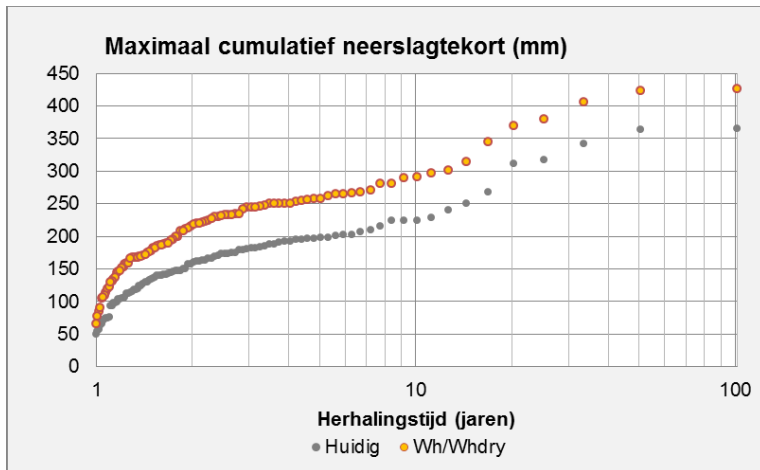
2.4.3 Neerslagtekort en afvoertekort

In veel gebieden treedt watertekort op zodra er tegelijkertijd sprake is van een neerslagtekort en een afvoertekort. Neerslagtekort is een maat voor meteorologische droogte en wordt berekend als het maximum van het cumulatieve verschil tussen neerslag en verdamping over het zomerhalfjaar (Beersma en Buishand, 2004). Afvoertekort is een maat voor langdurig lage rivierafvoeren en wordt standaard berekend als het volumetekort van de Rijnafvoer bij Lobith onder een grenswaarde van 1800 m³/s. Figuur 2.3 toont voor elk jaar in de 100-jarige reeks de combinatie van neerslagtekort en afvoertekort en hoe dit verandert in KNMI'14 scenario $W_H/W_{H,dry}$. Hieruit volgt dat met sterke klimaatverandering omstandigheden vergelijkbaar met het droge jaar 2003 en het zeer droge jaar 1976 vaker gaan optreden.

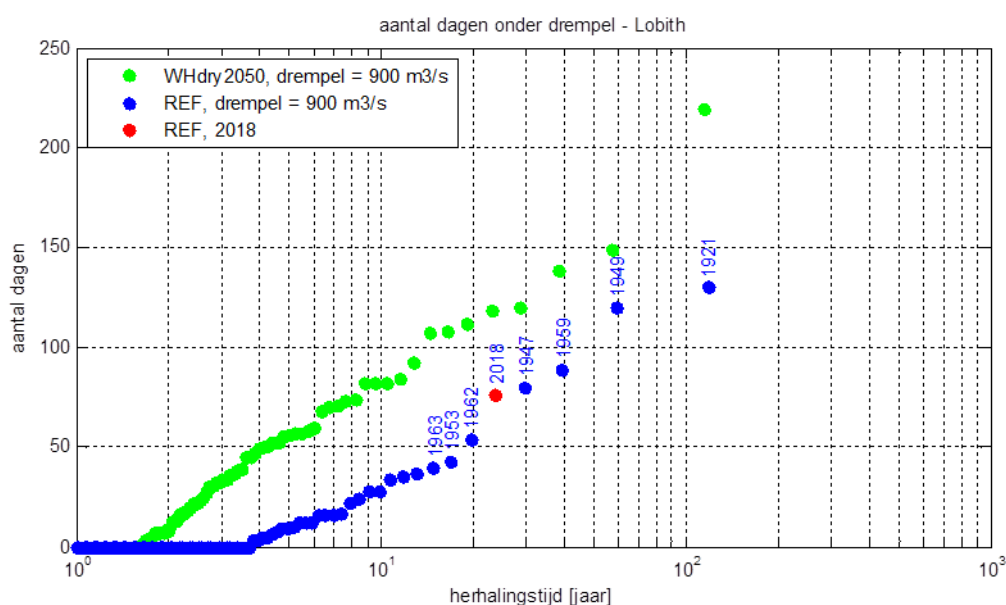
Het neerslagtekort (bij een herhalingsstijd van 10 jaar) neemt in het meest extreme scenario toe van 224 naar 290 mm (Figuur 2.4). Ter vergelijking: het landelijk gemiddelde (maximale) neerslagtekort van het jaar 2018 bedroeg 310 mm (KNMI, 2018). De duur van Rijnafvoeren lager dan 900 m³/s bij Lobith neemt in het meest extreme scenario toe van 1 maand naar bijna 3 maanden (Figuur 2.5). Ter vergelijking: in 2018 waren de Rijnafvoeren gedurende 75 dagen onder deze drempelwaarde.



Figuur 2.3 Scatterplot van neerslagtekort (mm) en afvoertekort Lobith (Mm^3) van de 100-jarige reeks in huidige klimaat (Ref2017) en KNMI'14 scenario $W_H/W_{H,dry}$. Elk puntje representeert een jaar. Neerslagtekort en afvoertekort in klimaatscenario G_L komt grofweg overeen met dat in het huidige klimaat en wordt daarom niet apart getoond.



Figuur 2.4 Herhalingstijden van het maximaal cumulatief neerslagtekort (mm) voor huidig en klimaatscenario $W_H/W_{H,dry}$



Figuur 2.5 Herhalingsstijd van het jaarlijks aantal dagen lage afvoer op de Rijn bij Lobith voor huidig en klimaatscenario $W_H/W_{H,dry}$ (drempelwaarde = $900 \text{ m}^3/\text{s}$). Ter vergelijking is het jaar 2018 toegevoegd.

2.4.4 Sociaaleconomische ontwikkelingen

De sociaaleconomische ontwikkelingen zijn aangepast conform de WLO-scenario's van 2015. Daarbij is het referentiejaar verschoven van 2010 naar 2017. De hoofdpunten van de ontwikkelingen worden weergegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kentallen van de sociaaleconomische ontwikkelingen in de geactualiseerde Deltascenario's (Wolters et al., 2018)

scenario		REF'17	DRUK	STOOM	RUST	WARM	Parijs
onderliggend WLO-scenario			WLO-H	WLO-H	WLO-L	WLO-L	WLO-H
aantal inwoners	miljoen	17	19	19	16	16	19
omvang BBP	miljard €	600	1320	1320	940	940	1320
economische groei	%/j		2	2	1	1	2
stedelijk gebied	% opp	18	20	21	18	18	20
natuur en recreatie	% opp	23	26	25	24	24	27
landbouw	% opp	60	54	54	58	57	53

De grondwateronttrekkingen voor drinkwater zijn in het model geschematiseerd als vaste waarde en gebaseerd op een inventarisatie voor het jaar 2010. In aanvulling daarop zijn in overleg met Brabant Water drie stations verwijderd die inmiddels zijn gesloten.

De veranderingsfactoren voor de drinkwatersector en industriese sector zijn bepaald in Wolters et al. (2018) en weergegeven in Figuur 2.4, Tabel 2.4 en Tabel 2.5.

Tabel 2.4 Veranderingsfactoren voor de drinkwateronttrekkingen uit oppervlaktewater en grondwater ten opzichte van Ref2017.

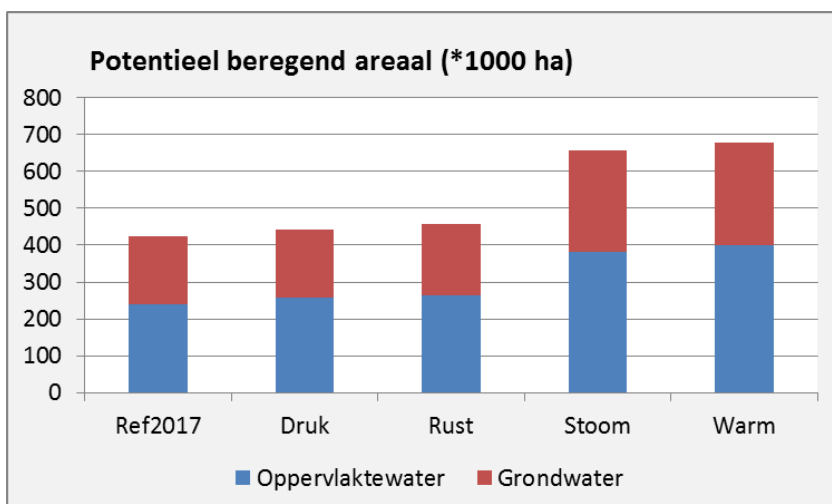
Scenario	Verandering drinkwateronttrekkingen
Rust 2050	-10%
Druk 2050	+10%
Druk Parijs 2050	+10%
Warm 2050	0%
Stoom 2050	+35%

Tabel 2.5 Veranderingsfactoren voor de onttrekkingen ten behoeve van de industrie uit oppervlaktewater en grondwater ten opzichte van Ref2017

Scenario	Verandering industriële onttrekkingen
Rust 2050	-40%
Druk 2050	-30%
Druk Parijs 2050	-30%
Warm 2050	-10%
Stoom 2050	+15%

2.4.5 Autonome adaptatie landbouw

In de Deltascenario's is een autonome adaptatie van de landbouw aan klimaatverandering verondersteld die zich manifesteert in een toename van het beregeningsareaal. Het beregeningsareaal wordt verondersteld toe te nemen in de Deltascenario's Warm en Stoom, in reactie op de toenemende frequentie van potentiële gewasopbrengstderving als gevolg van droogte (Figuur 2.6, Tabel 2.6 en Tabel 2.7). Hierbij is geen rekening gehouden met vigerend beleid om beregening te reguleren. De onderliggende aannames zijn in meer detail beschreven in Hunink et al. (2018).



Figuur 2.6 Potentieel beregend areaal in de verschillende scenario's

Tabel 2.6 Potentieel beregend areaal in de verschillende scenario's, uitgesplitst naar arealen waarin beregend wordt uit grondwater en arealen waarin beregend wordt uit oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie	183	241	424
Rust	195 (+6%)	263 (+9%)	458 (+8%)
Druk	184 (+0%)	257 (+7%)	441 (+4%)
Warm	278 (+51%)	399 (+66%)	677 (+60%)
Stoom	277 (+51%)	380 (+58%)	657 (+60%)

Tabel 2.7 Potentieel beregend areaal in de verschillende scenario's, uitgesplitst naar zoetwaterregio. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

	IJsselmeer- gebied [*1000 ha]	Beneden- rivierengebied [*1000 ha]	Rivierengebied [*1000 ha]	Zuid Westelijke Delta [*1000 ha]	Hoge zandgronden [*1000 ha]
Referentie	166	60	47	14	135
Rust	184 (+11%)	62 (+4%)	53 (+14%)	17 (+16%)	140 (+3%)
Druk	185 (+11%)	60 (+0%)	52 (+10%)	17 (+16%)	127 (-6%)
Warm	301 (+81%)	79 (+32%)	79 (+68%)	31 (+115%)	185 (+37%)
Stoom	300 (+81%)	70 (+18%)	73 (+55%)	31 (+114%)	181 (+34%)

2.4.6 Interne verzilting

Grondwater stroomt erg langzaam. Het grondwatersysteem in West-Nederland is daarom nog altijd in verandering, in respons op de grootschalige veranderingen die hebben plaatsgevonden in het landschap (ontwatering, droogmakerijen). Oud zeewater, dat meer dan duizend jaar geleden in de bodem is geïnfiltreerd, stroomt nog altijd naar boven in verschillende droogmakerijen. Er is daarom sprake van 'autonome verzilting': de zoutlast vanuit het grondwater neemt de komende tientallen jaren verder toe, waardoor kwel steeds zouter wordt. Stijging van de zeespiegel draagt bij aan de toename van de verzilting, maar alleen dichtbij de kustlijn (tot ongeveer 10 km). De toename van verzilting vertaalt zich niet automatisch in een toename van de polderdoorspoeling in de scenario's (Tabel 2.8), omdat ook rekening wordt gehouden met de veranderende sociaaleconomische omstandigheden. Zo gaat scenario Druk uit van de implementatie van efficiëntere doorspoelsystemen en aanpassing van de gewaskeuze aan brakke omstandigheden. In Stoom staat hoge landbouwproductie voorop met hoge eisen aan de waterkwaliteit. In Warm en Rust wordt er (langzame) adaptatie aan ziltere omstandigheden verondersteld, waardoor grondgebonden landbouw minder afhankelijk wordt van zoet oppervlaktewater.

Tabel 2.8 Verandering van de polderdoorspoeling ten opzichte van Ref2017 in de Deltascenario's (Hunink et al., 2018)

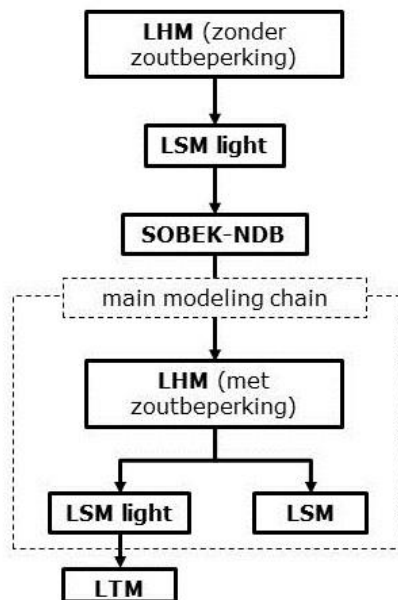
Scenario	Verandering polderdoorspoeling
Rust 2050	- 10%
Druk 2050	- 25%
Warm 2050	+ 20%
Stoom 2050	+ 100%

2.5 Nationaal Water Model

Het Nationaal Water Model is bij uitstek geschikt voor het doorrekenen van scenario's en maatregelen op het gebied van waterverdeling en waterbeschikbaarheid ter ondersteuning van lange-termijn beleidsvorming op landelijk niveau. Het model berekent onder andere de regionale hydrologie (grondwater, oppervlaktewater), en afvoeren en waterstanden en watertemperatuur in het hoofdwatersysteem. Het modelinstrumentarium bestaat uit een modellentrein van meerdere gekoppelde modellen die itererend rekenen.

De volgende deelmodellen zijn in deze knelpuntenanalyse gebruikt (Figuur 2.7): Landelijk Hydrologisch Model (LHM) voor grondwater en hydrologie, Sobek-model van het Noordelijk Deltabekken (SOBEK-NDB) voor externe verzilting in West-Nederland, Landelijk Sobek- model (LSM-light) voor hydrodynamica van het hoofdwatersysteem. De eerste stappen tot en met SOBEK-NDB levert de benodigde randvoorwaarden voor de LHM berekening, die op zijn beurt de randvoorwaarden levert voor LSM-light. Tot slot levert de LSM-light de invoer voor het Landelijk temperatuurmodel (LTM).

Voor een beschrijving van de verschillende modellen verwijzen we naar de informatie op de website van de Helpdesk water (<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water/>).



Figuur 2.7 Overzicht samenhang deelmodellen voor het onderdeel Zoetwater in het Nationaal Water Model.

2.6 De 100-jarige reeks

De resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op berekeningen met NWM voor de modelperiode 1911-2011, voor de referentie (Ref2017) en 4 Deltascenario's voor zichtjaar 2050. Deze berekeningen zijn bekend onder de naam 'Basisprognoses 2018'. Hoe de Deltascenario's zijn vertaald naar modelinvoer voor het NWM is beschreven in Hunink *et al.* (2018).

Om de 100-jarige berekening met het NWM mogelijk te maken is in 2016 de benodigde modelinvoer afgeleid door de historische meetreeks waar nodig te verlengen voor de periode 1911 tot 2011 (Kroon et al., 2015). Het gaat in hoofdzaak om: neerslag, verdamping, Rijnaafvoer, Maasafvoer en zeewaterstand. Daarna is de 100-jarige invoerreeks getransformeerd naar zichtjaar 2050 en 2100 conform de KNMI'14 scenario's. Dit is beschreven door Wesselijs et al. (2017) en Kramer en Mens (2016).

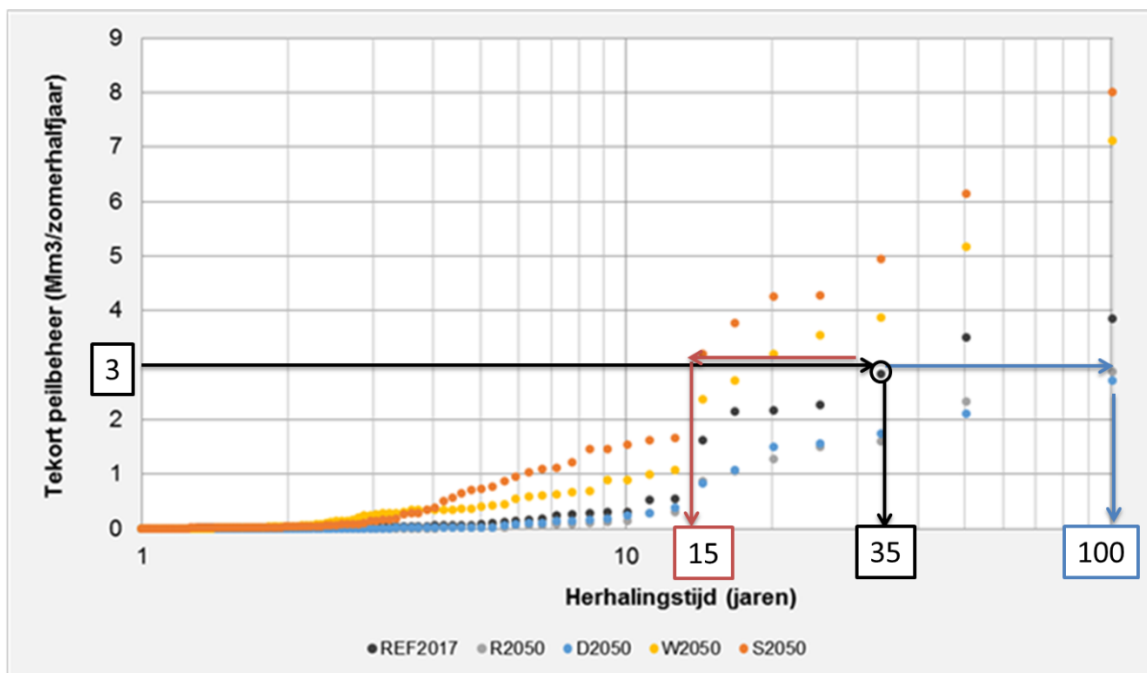
Hoewel deze reeks gebaseerd is op metingen, moet het gezien worden als een representatie van de variabiliteit van het weer in het huidige klimaat en is met het model vertaald naar de gevolgen hiervan op het huidige hydrologische systeem (onder andere grondwaterstanden en rivierafvoeren). Het werken met een 100-jarige (uitvoer)reeks heeft de volgende voordelen (zie ook Mens et al., 2018a):

- 1 Droogte is een langzaam fenomeen dat zich in de loop van de tijd opbouwt. Doordat meerdere droogtes worden beschouwd die verschillen in karakter, geeft een lange reeks een completer beeld van de oorzaken en gevolgen van droogte.
- 2 Het geeft een beter beeld van hoe vaak watertekorten optreden, en daarmee (in vervolgstudie) een betere schatting van het economisch risico van droogte.

In veel figuren die resultaten van de analyses weergeven in dit rapport zijn de uitkomsten voor de 100-jarige reeks vertaald in een frequentiecurve (zie voorbeeld in Figuur 2.8). Een herhalingstijd T wil zeggen dat gemiddeld eens in T jaar de betreffende waarde wordt overschreden. Anders gezegd: de waarde (bv. watertekort) heeft jaarlijks een kans van optreden van 1: T jaar. Met een reekslengte van 100 jaar neemt de betrouwbaarheid van de geschatte herhalingstijden sterk af voor herhalingstijden groter dan 30 jaar, simpelweg omdat de schatting gebaseerd is op weinig punten. Deze grote herhalingstijden moeten dus met een slag om de arm gelezen worden.

De figuur kan als volgt worden afgelezen:

- een tekort van 3 miljoen m³ heeft in het huidige klimaat een herhalingstijd van circa 35 jaar en wordt dus *gemiddeld* eens in de 35 jaar overschreden [zwarte lijn];
- Bij matige klimaatverandering (scenario Druk2050) neemt de herhalingstijd van dit tekort toe naar 100 jaar, dus een kleinere kans van voorkomen van 1:100 jaar [blauwe lijn];
- Bij sterke klimaatverandering (scenario Stoom2050) treedt hetzelfde tekort van 3 miljoen m³ eens in de 15 jaar op (herhalingstijd van 15 jaar) [rode lijn].



Figuur 2.8 Voorbeeld van een frequentiecurve, waarin watertekort peilbeheer is uitgezet tegen de herhalingstijd in jaren

2.7 Overige uitgangspunten

De referentie (Ref2017) wijkt in een aantal opzichten af van het werkelijke huidige watersysteem. De referentie heeft als 'peiljaar' 2017, maar representeert de situatie in 2021. Er is aangenomen dat maatregelen en aanpassingen in het watersysteem, waarvoor voor december 2017 een definitief besluit is genomen en waarvoor de financiering is geregeld, zullen zijn geïmplementeerd voor 2021. Dit is dus inclusief de Deltaprogramma Fase I maatregelen. De reden om het toch 'Ref2017' te noemen is om recht te doen aan het feit dat sociaaleconomische veranderingen (zoals landgebruik en economische groei) na 2017 *niet* zijn meegenomen.

Relevante aanpassingen in het watersysteem zijn (zie ook Hunink et al., 2018):

1. Verhoogde capaciteit gemalen en doorvoeren:

- Noordervaart;
- Verschillende inlaten Waterschap Rivierenland;
- Extra pomp- en spuicapaciteit Afsluitdijk;
- 2^e sluis Eefde (Twentekanal).

2. Maatregelen Deltaprogramma Fase 1

Uitbreiding KWA capaciteit (KWA+)

Met de Klimaatbestendige WaterAanvoer (KWA) wordt water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal aangevoerd naar Rijnland, Delfland en Schieland en de Krimpenerwaard, wanneer de reguliere aanvoer uit de Hollandse IJssel is verzilt. De KWA+ behelst het vergroten van de capaciteit van deze aanvoerroute. De KWA capaciteit is uitgebreid tot 15 m³/s, waarvan circa 11 m³/s via Bodegraven en circa 4 m³/s via de Waaiersluis bij Gouda naar West-Nederland (Rijnland/Delfland/Schieland) kan worden doorgevoerd.

Inlaat Roode Vaart

Via de Roode Vaart wordt een extra wateraanvoerroute gecreëerd naar West Brabant. De Roode Vaart heeft een capaciteit van 3,5 m³/s.

Flexibel peil IJsselmeer/Markermeer

Met flexibel peilbeheer is het mogelijk de zoetwaterbuffer in het IJsselmeer/Markermeer stapsgewijs te vergroten door het peil in droge tijden tijdelijk te verhogen. Hierdoor is een extra waterschijf van maximaal 10 cm beschikbaar in droge zomers.

3 Doorspoelvraag

Een andere belangrijke wijziging in de Referentie 2017, ten opzichte van de vorige fase van het Deltaprogramma Zoetwater, is de geactualiseerde doorspoelvraag voor polders. De doorspoelvraag in het model was in 2012 nog gebaseerd op inventarisaties bij betreffende waterbeheerders. Wanneer een waterbeheerder precieze hoeveelheden bijvoorbeeld niet paraat had ten tijde van de inventarisatie, is in het model geen doorspoeling opgenomen. Deze gegevens zijn mede daarom niet (langer) volledig en/of accuraat. Omdat de polder-doorspoelhoeveelheden te veel afwaken van de huidige bekende praktijk, is in 2018 besloten de polder-doorspoelhoeveelheden te herzien voor de referentiesituatie (Hunink et al., 2018). De doorspoeling is een constante hoeveelheid en varieert niet over de jaren.

3 Landelijk beeld

3.1 Grondwatersysteem

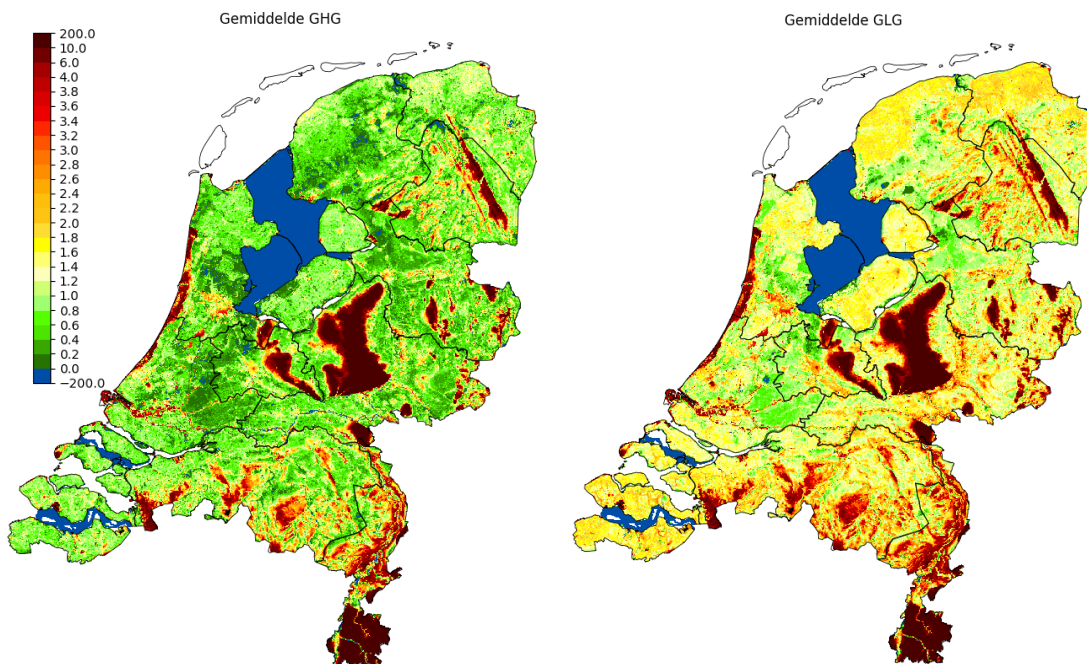
Het watersysteem van Nederland kan grofweg in twee typen worden onderscheiden: poldersystemen met peilgestuurde watersystemen met (deels) wateraanvoer en vrijafwaterende systemen waar geen wateraanvoer mogelijk is. Wel kan in de vrijafwaterende gebieden het peil beheerste worden door middel van het vasthouden van water achter stuwen. De peilgestuurde gebieden liggen over het algemeen in de lagere delen van Nederland, terwijl de vrij-afwaterende gebieden vaak op de hogere delen aanwezig zijn zoals Veluwe, Oost-Nederland, Brabant en Limburg.

In perioden met neerslagoverschot stroomt water de bodem in naar het grondwater, dit wordt grondwateraanvulling genoemd. Een groot deel van deze grondwateraanvulling stroomt via de ondiepe ondergrond naar greppels, beken en sloten. Het ondiepe grondwater wordt ook wel het freatische grondwater genoemd. Vanuit het ondiepe grondwater kan in perioden van neerslagtekort capillaire opstijging naar de wortelzone optreden. Bij diepe grondwaterstanden kan ook capillaire opstijging optreden, maar deze zal de wortelzone niet bereiken.

Een klein deel van de grondwateraanvulling stroomt door de ondergrond naar verschillende watervoerende pakketten. Deze watervoerende pakketten worden vaak aan de onderkant en de bovenkant begrensd door een slechter doorlatende kleilaag. Het grootste deel van de aanvulling van het diepe grondwatersysteem is afkomstig van hoger gelegen infiltratiegebieden. Het water stroomt vervolgens via het grondwatersysteem naar omliggende gebieden waar grondwater als kwel aan het oppervlak kan komen.

Grondwater stroomt traag in vergelijking met oppervlaktewater. De stroomsnelheid is globaal 2-3 ordes (factor 100- 1000) langzamer dan die van oppervlaktewater. Daardoor reageert het diepe grondwaterpakket veel langzamer op seizoensfluctuaties en variaties in het weer en zelfs op klimaatverandering.

De freatische grondwaterstanden worden vaak gemiddeld over een periode en weergegeven in een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). De GHG en de GLG in de referentiesituatie zijn weergegeven in Figuur 3.1. In laag Nederland zijn de grondwaterstanden ondiep, in de veenweidegebieden vrijwel altijd minder dan 1m onder maaiveld terwijl in de hoger gelegen zandgebieden de grondwaterstanden plaatselijk tot enkele meters onder maaiveld kunnen liggen. In de peilgestuurde gebieden met wateraanvoer zakken de grondwaterstanden minder ver uit dan in de vrij afwaterende gebieden.



Figuur 3.1 Berekende GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) voor de Referentie 2017 (periode 1929-2011).

Als gevolg van veranderingen in het klimaat of onttrekkingen aan het grondwatersysteem, kan de grondwaterstand veranderen. In Figuur 3.2 en Figuur 3.3 is de verandering van de GHG en de GLG voor de verschillende scenario's weergegeven.

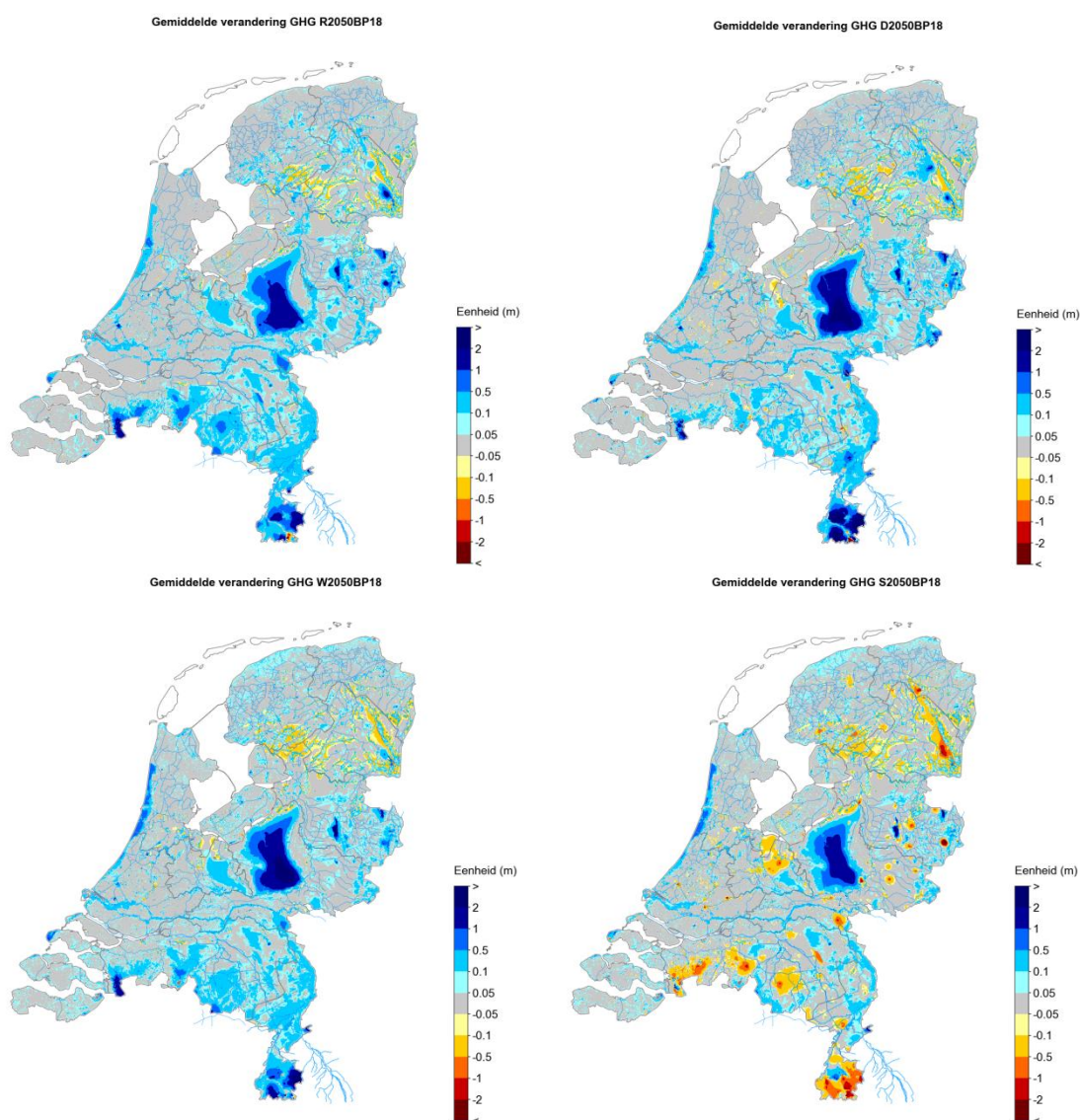
In de scenario's Druk en Rust wordt een vergelijkbare verandering van de grondwaterstanden verwacht. In de infiltratiegebieden stijgen de GHG's en de GLG's als gevolg van een hogere gemiddelde neerslag in het matige klimaatscenario. De grootse stijging is zichtbaar op de Veluwe. Een belangrijke kanttekening is dat de grondwaterstanden in dit gebied erg diep zijn waardoor een stijging geen tot nauwelijks effect heeft op de wortelzone. In West Nederland en op het Drents plateau wordt een daling van de grondwaterstanden berekend. Dit wordt veroorzaakt doordat de bodemhoogtes en peilen in de beekdalen mee dalen met de bodemdaling waardoor de het drainageniveau wordt verlaagd. Deze waterlopen zorgen voor een sterkere drainage die regionaal een daling van de grondwaterstand tot gevolg heeft. In het beekdal zelf kan wel een verhoging van de grondwaterstanden optreden.

In het scenario Warm worden voor de hoge zandgronden hogere GHG's en lagere GLG's berekend. De hogere GHG's in de infiltratiegebieden worden veroorzaakt door een groter neerslagoverschot in de winter. In sommige gebieden, zoals op de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, veroorzaakt dit grotere neerslagoverschot ook hogere grondwaterstanden in de zomer omdat het grondwater te diep zit om te verdampen in de zomer. Net als bij de scenario's Druk en Rust kunnen in West Nederland en rond de beekdalen in het Drents plateau de grondwaterstanden in de winter dalen als gevolg van de bodemdaling.

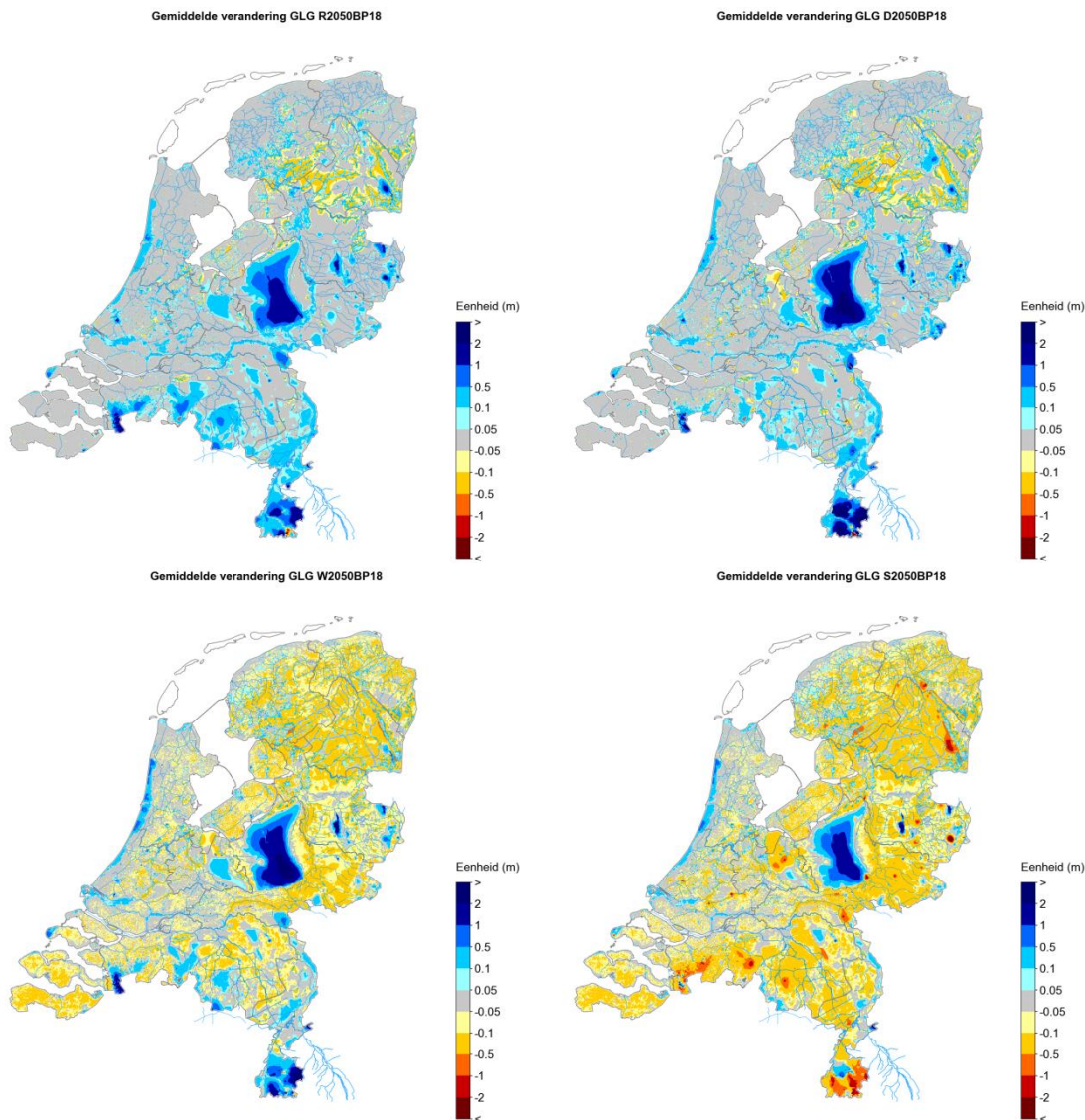
In scenario Warm worden de GLG's lager. Deze daling wordt veroorzaakt door een aantal oorzaken: (1) bodemdaling in West Nederland en het Drents plateau, (2) toename van de potentiële verdamping en (3) toename van onttrekkingen uit het grondwater voor beregening. De verlaging van de GLG's is het sterkst in de zandgebieden waar ook de effecten van extra onttrekkingen voor drinkwater, industrie en beregening het sterkst doorwerken.

In het scenario Stoom dalen de GHG's in de meeste infiltratiegebieden, behalve in de grote infiltratiegebieden met zeer diepe grondwaterstanden, zoals de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, waar nog een stijging van de GLG's mogelijk is. Voor de GLG's laat het scenario Stoom de sterkste daling zien. De extra verlaging van de GLG ten opzichte van het scenario Warm wordt veroorzaakt grotere onttrekkingen uit het grondwater ten behoeve van drinkwatervoorziening.

De dalende grondwaterstanden in de vrij afwaterende gebieden hebben grote invloed op de afvoeren van de verschillende bekensystemen. Dit wordt verder besproken in Hoofdstuk 8.



Figuur 3.2 Verandering van de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden) voor de scenario's Rust (links boven), Druk (rechts boven), Warm (links onder) en Stoom (rechts onder).

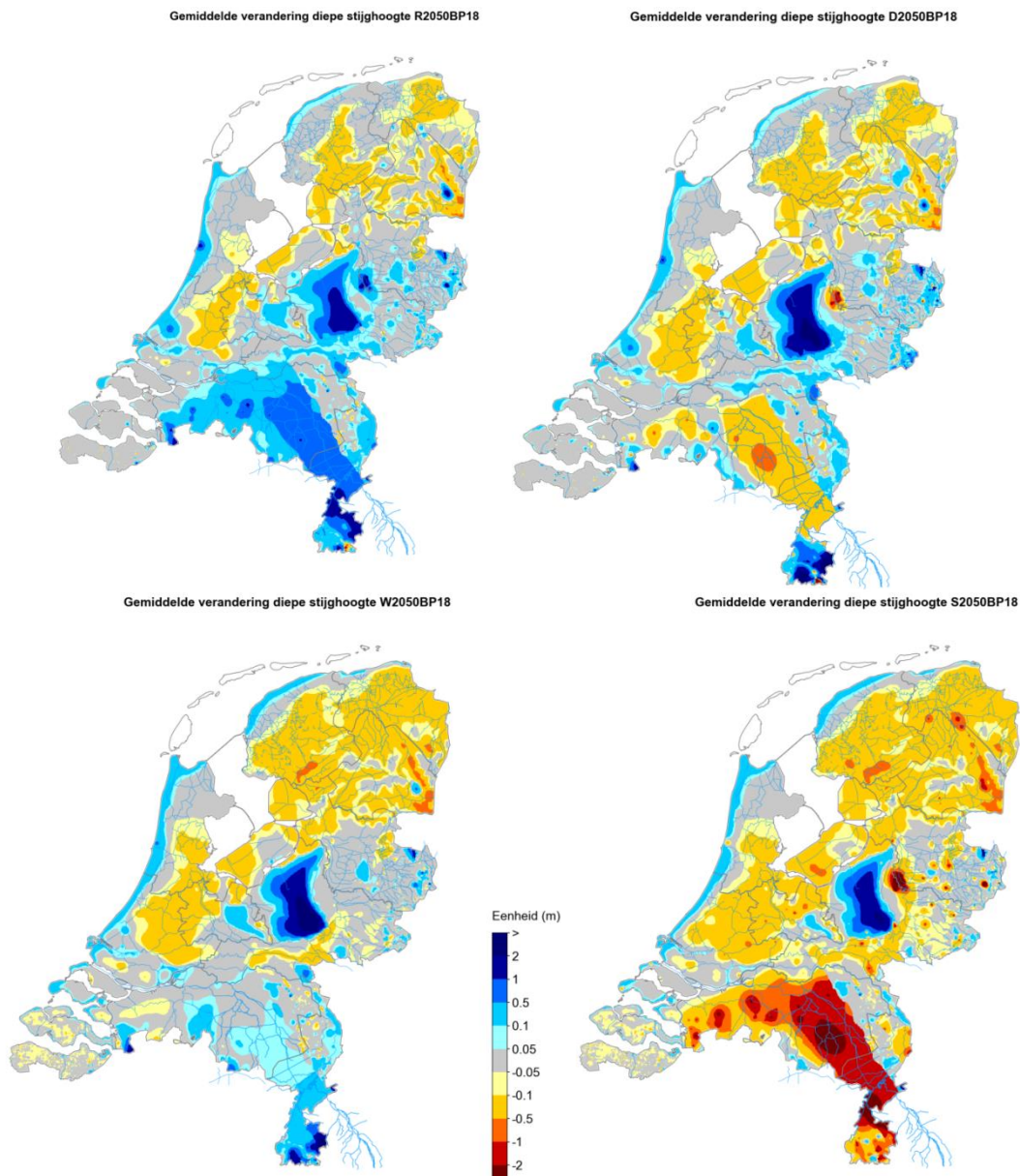


Figuur 3.3 Verandering van de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstanden) voor de scenario's Rust (links boven), Druk (rechts boven), Warm (links onder) en Stoom (rechts onder).

De verandering van de freatische grondwaterstanden en veranderingen in de grondwateronttrekkingen voor drinkwater, industrie en landbouw zorgen ook voor een verandering van de stijghoogte van de watervoerende pakketten. Een lagere freatische grondwaterstand zorgt over het algemeen voor minder grondwateraanvulling naar het diepere grondwatersysteem en lagere stijghoogten in de (diepere) watervoerende pakketten. Extra onttrekkingen uit de watervoerende pakketten zullen ook een afname van de stijghoogte tot gevolg hebben. De landbouw onttrekt in veel gebieden uit het freatisch pakket, maar in enkele gebieden wordt uit het eerste watervoerende pakket onttrokken. De verandering van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket voor de verschillende scenario's is weergegeven in Figuur 3.4.

Als gevolg van de Deltascenario's kunnen de volgende veranderingen optreden in de stijghoogte:

- De stijghoogte onder peilgestuurde gebieden daalt als gevolg van lagere freatische grondwaterstanden in alle scenario's. Als gevolg van de bodemdaling en meedalende drainagebases wordt meer water afgevoerd.
- Omdat er geen scheidende lagen aanwezig zijn tussen het freatische en het diepe grondwatersysteem in de Veluwe, is het effect op de stijghoogte in het diepe grondwater gelijk aan het freatische effect: het grondwaterpeil stijgt.
- Als gevolg van een toename van de onttrekkingen voor drinkwater en industrie treedt er een daling op van de stijghoogte van het diepe grondwater. Dit is zichtbaar in de scenario's Druk en Stoom waar o.a. in de Centrale Slenk in Noord-Brabant een sterke daling van de stijghoogte wordt berekend.
- De daling van de stijghoogte is het grootst in het scenario Stoom. Dit wordt veroorzaakt door daling van de freatische grondwaterstanden en door onttrekkingen voor landbouw, drinkwater en industrie uit de diepere watervoerende pakketten.
- Het verschil in de stijghoogteverandering tussen de scenario's Stoom en Warm wordt veroorzaakt door een verschil in de onttrekkingen voor drinkwater en industrie. Het scenario Warm gaat uit van minder onttrekkingen uit grondwater dan in de referentie, waarbij in het scenario Stoom juist meer grondwater wordt onttrokken voor industrie en drinkwater.



Figuur 3.4 Verandering stijghoogte voor de scenario's Rust (links boven), Druk (rechts boven), Warm (links onder) en Stoom (rechts onder).

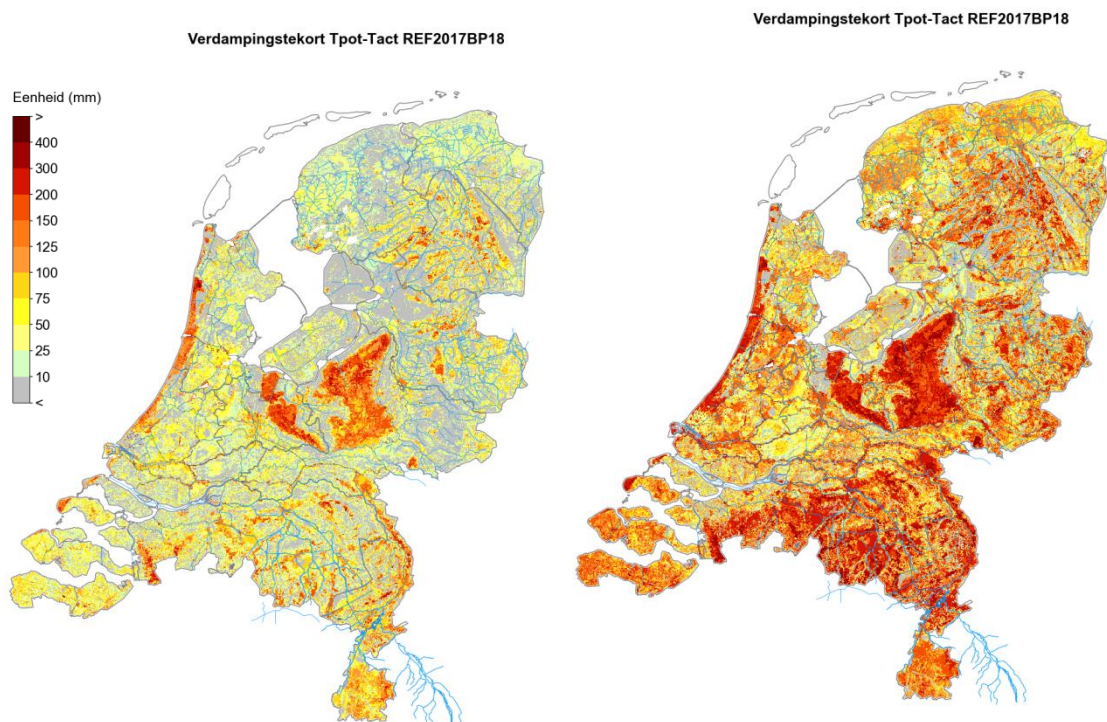
3.2 Wortelzone

Als de wortelzone niet voldoende water beschikbaar heeft om in de vraag van een plant te voorzien kan er een verdampingstekort optreden. Als gevolg van een verdampingstekort kan er droogteschade optreden aan een gewas omdat het gewas zich niet optimaal kan ontwikkelen. Het verdampingstekort kan daarom gezien worden als hydrologische indicator voor landbouwschade en wordt berekend als het verschil tussen de potentiële transpiratie en de actuele transpiratie.

In Figuur 3.5 is het verdampingstekort weergegeven voor twee voorbeeldjaren (2003 en 1976) voor de referentiesituatie. Hier is duidelijk te zien dat de verdampingstekorten sterk variëren tussen de jaren.

In het droge jaar 2003 treden er overal verdampingstekorten op maar gemiddeld over het land zijn de tekorten klein. De tekorten die optreden zijn vooral zichtbaar op de hogere zandgronden waar diepere grondwaterstanden het bodemvocht niet kunnen bijvullen door capillaire nalevering.

In een extreem droog jaar (1976) zijn de berekende verdampingstekorten in alle gebieden groot. De grootste tekorten treden nog steeds op in de hogere zandgronden, maar ook op de minder hoog gelegen zandgronden ontstaan dan grote verdampingstekorten. Daarnaast ontstaan ook significante verdampingstekorten in de peilgestuurde gebieden omdat de waterbehoefte van de plant groter is dan de capillaire nalevering. Voor de percelen die berekend kunnen worden wordt een lager verdampingstekort berekend. Ook in de beregende percelen is echter nog wel een verdampingstekort mogelijk, omdat bij een beregeningsvraag in de berekeningen een vaste gift per periode is aangenomen. Wanneer er sprake is van een groot neerslagtekort is het mogelijk dat de aangenomen beregeningsgift kleiner is dan de waterbehoefte van de plant.

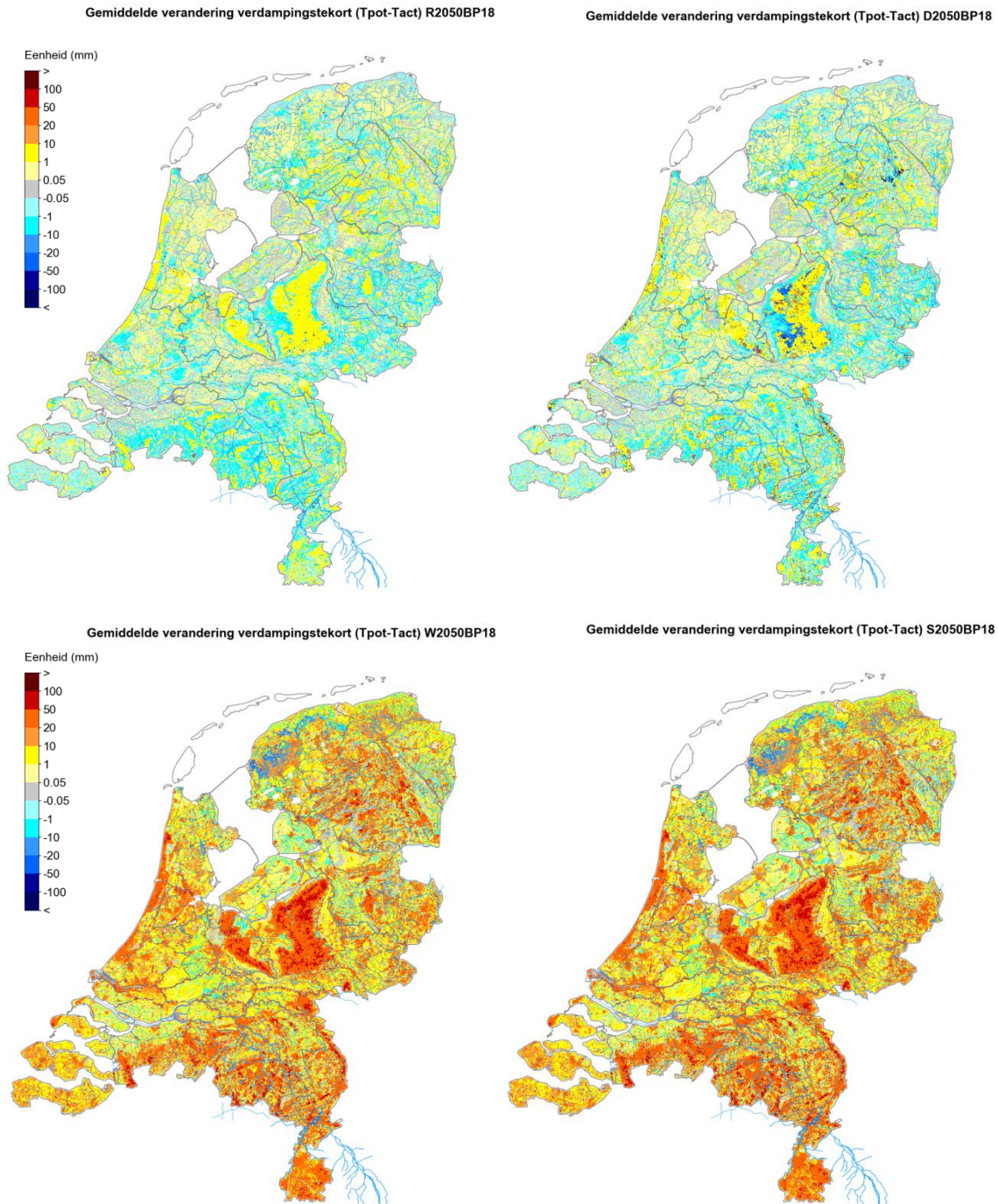


Figuur 3.5 Verdampingstekort in de referentiesituatie voor twee voorbeeldjaren: een droog jaar (2003) links en een extreem droog jaar (1976) rechts.

Als gevolg van de klimaatverandering, veranderingen in het landgebruik of het waterbeheer kan het verdampingstekort veranderen. In Figuur 3.6 is de verandering van het gemiddelde verdampingstekort weergegeven voor de 4 Deltascenario's. Hierin is zichtbaar dat het klimaatscenario de grootste invloed heeft op het verdampingstekort. Voor de scenario's Warm en Stoom, met sterke klimaatverandering, wordt een toename van het verdampingstekort van meer dan 50 mm (over het hele jaar) berekend als gevolg van de toename in verdamping, voor zowel beregend als niet-beregend areaal. Voor de scenario's Rust en Druk met gematigde klimaatverandering wordt een beperkte verandering van het verdampingstekort berekend.

Op enkele locaties is sprake van een afname van het verdampingstekort als gevolg van landgebruiksverandering of verandering van niet-beregend naar beregend. Een voorbeeld

hiervan is het gebied rond de Hierdense Beek op de Veluwe. In het scenario Druk verandert het landgebruik hier van naaldbos naar heide, waardoor het verdampingstekort afneemt. Ook in het Friese kustgebied neemt het verdampingstekort af, hier als gevolg van het uitbreiden van beregend areaal in scenario's Warm en Stoom.



Figuur 3.6 Verandering van de gemiddelde verdampingstekorten (Tpot-Tact) in mm voor de scenario's Rust (links boven), Druk (rechts boven), Warm (links onder) en Stoom (rechts onder).

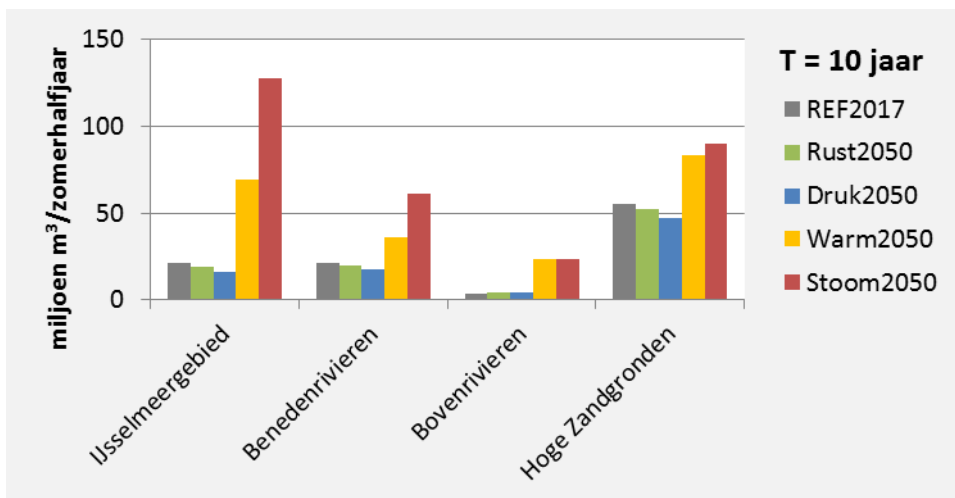
3.3 Regionaal oppervlaktewatersysteem

Figuur 3.7 en Figuur 3.8 geven het landelijke beeld van de berekende regionale oppervlaktewatertekorten (totaal voor beregening, peilbeheer en doorspoeling) in de referentie en in de vier Deltascenario's. Regio Zuidwestelijke Delta (zonder aanvoer) wordt buiten beschouwing gelaten, omdat hier door het model watertekorten voor peilbeheer worden berekend die in de praktijk niet optreden. Figuur 3.7 toont de situatie die in de betreffende regio gemiddeld eens in de 10 jaar voorkomt. Figuur 3.8 toont de volledige frequentiecurve voor Ref2017 en het voor zoetwatervoorziening meest extreme scenario Stoom2050. Omdat de regio's niet even groot zijn, is het watertekorten uitgedrukt in mm (m^3 gedeeld door de oppervlakte in $m^2 * 1000$) en verder uitgesplitst naar deelregio in Figuur 3.9.

Een aantal zaken valt op:

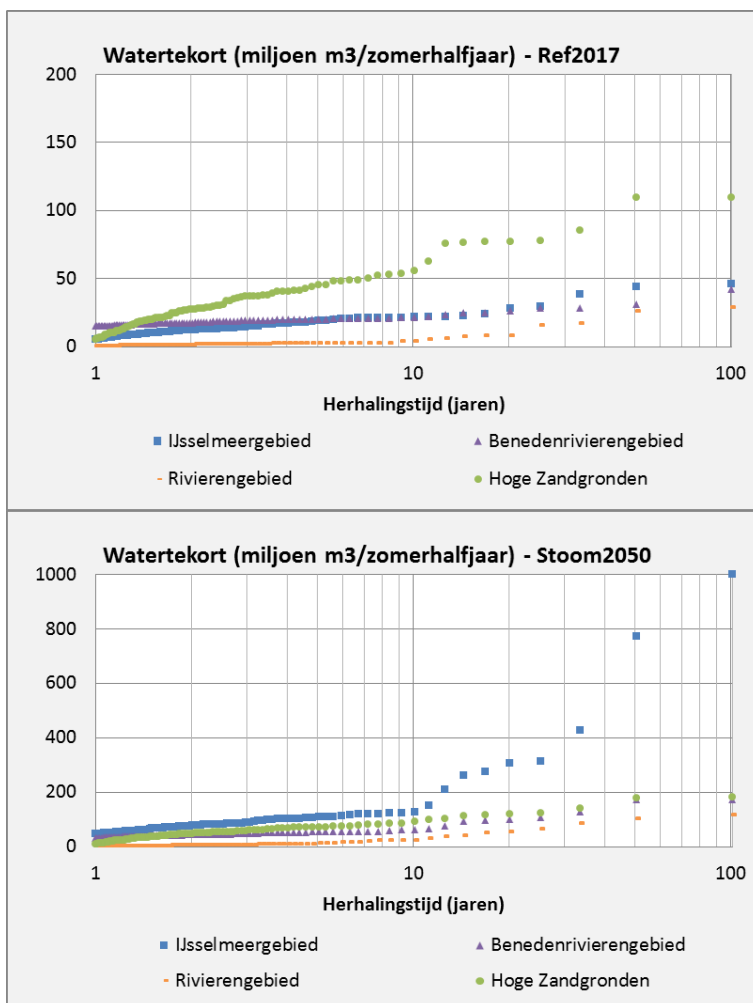
- Watertekorten zijn het grootst in de regio Hoge Zandgronden. Het gaat hier om het oostelijke deel van Noord-Brabant die via de Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen voorzien worden van water uit de Maas, en peilgestuurde gebieden in Noord-Brabant zonder wateraanvoermogelijkheid;
- De tekorten nemen in alle regio's met aanvoer het meeste toe in scenario Stoom;
- Het verschil tussen Stoom en Warm is het grootst in het IJsselmeergebied en het Benedenrivierengebied; dit wordt veroorzaakt door het grote aandeel doorspoeling en beregening in deze gebieden, welke in Stoom sterk toenemen;
- In het voorzieningsgebied van de IJsselmeer neemt het watertekort relatief gezien het sterkst toe (factor 6 in Stoom) en lijkt dus het meest gevoelig voor klimaatverandering en sociaaleconomische verandering;
- Binnen het voorzieningsgebied IJsselmeer heeft de deelregio Fries-Gronings kustgebied de grootste tekorten, ook in verhouding tot de grootte van de regio.
- Binnen het voorzieningsgebied Benedenrivieren heeft Zuid-West Nederland met aanvoer relatief gezien de grootste tekorten, met verhoudingsgewijs de grootste toename in het scenario Stoom.

In de hierna volgende hoofdstukken wordt verder ingegaan op de watertekorten per regio en de mogelijke oorzaken van de knelpunten.

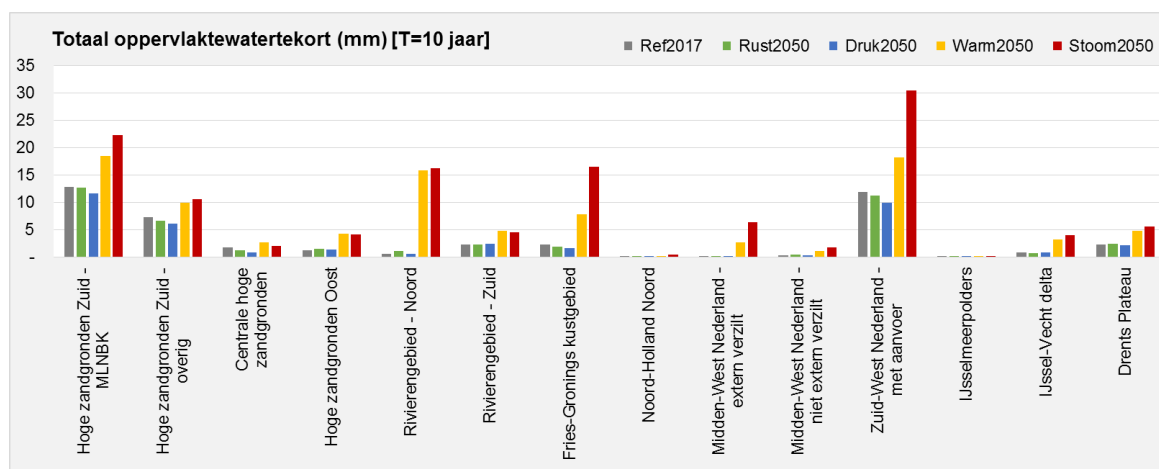


Figuur 3.7 Oppervlaktewatertekorten naar regio voor de referentie en de vier Deltascenario's met een gemiddelde herhalingsijd van 10 jaar

NB. Regio Zuidwestelijke Delta wordt buiten beschouwing gelaten, omdat hier door het model watertekorten voor peilbeheer worden berekend die in de praktijk niet optreden.



Figuur 3.8 Frequentieverdeling van oppervlaktewatertekorten naar regio voor referentie (boven) en Deltascenario Stoom (onder)



Figuur 3.9 Oppervlaktewatertekorten per m^2 (uitgedrukt in mm) naar regio voor de referentie en de vier Deltascenario's met een gemiddelde herhalingsstijd van 10 jaar. NB. deelregio Zuidwestelijke Delta en Zuid-Limburg worden buiten beschouwing gelaten.

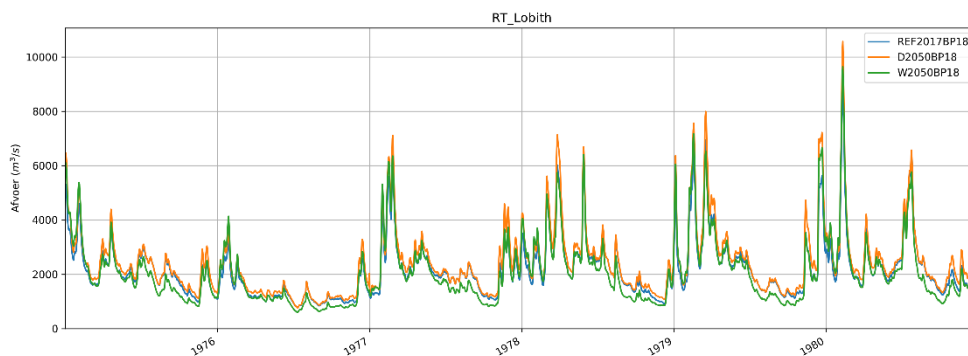
3.4 Hoofdwatersysteem

Het hoofdwatersysteem speelt niet alleen een rol als aanvoerroute voor de regionale watervoorziening, maar zorgt ook voor 'waterbeschikbaarheid' in de vorm van waterdiepte voor de scheepvaart (vaardiepte), en als abiotische randvoorwaarde voor aquatische natuur en natuur in uiterwaarden. Het afvoerregime is daarnaast mede bepalend voor de waterkwaliteit voor drinkwater- en industrie-innamepunten. In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd hoe de afvoer en waterkwaliteit in de grote rivieren kan veranderen onder invloed van klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkeling. Als indicator voor de waterkwaliteit wordt ingezoomd op zoutconcentraties en concentraties carbamazepine. Voor de analyse van veranderingen in abiotische factoren en daaraan gerelateerde aquatische ecologie in de grote rivieren wordt verwezen naar Van Geest et al. (2019).

3.4.1 Afvoer in de grote rivieren

De afvoer van de grote rivieren wordt bepaald door de aanvoer vanuit het buitenland en zijdelingse aanvoer of onttrekkingen. In de Deltascenario's is de aanvoer uit het buitenland alleen afhankelijk verondersteld van klimaatverandering en niet van sociaaleconomische ontwikkelingen. Er zijn dus slechts twee scenario's relevant bij Lobith (Rijn) en Eijsden (Maas): die met matige klimaatverandering (KNMI' 14 G_L - verwerkt in Druk en Rust), en die met sterke klimaatverandering ($W_{H,dry}$, verwerkt in Warm en Stoom).

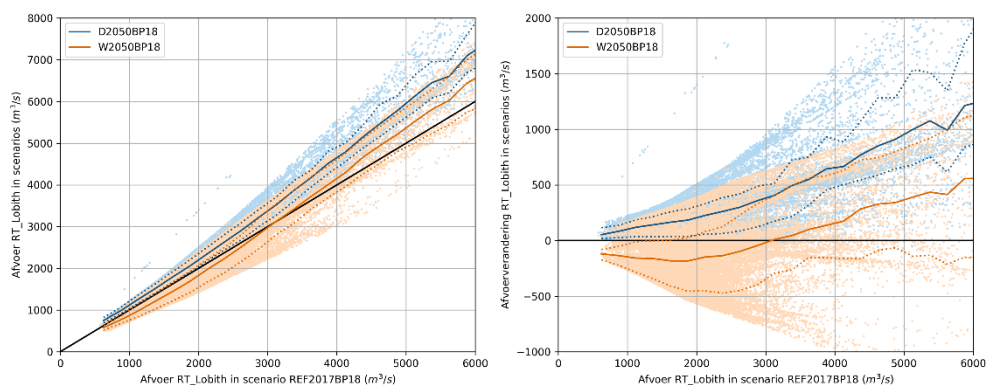
In Figuur 3.10 is een deel van de reeks voor de Rijn bij Lobith (op basis van de jaren 1975 t/m 1980) weergegeven voor de verschillende scenario's. De verandering door klimaatverandering is duidelijk zichtbaar: hogere pieken en diepere dalen dan in de referentie.



Figuur 3.10 Afvoerreken 1975 – 1980 bij Lobith in twee verschillende scenario's: Druk [D2050BP18] en Warm [W2050BP18]

Om de verschillen met de huidige situatie goed te kunnen zien zijn in Figuur 3.11 de afvoeren en afvoerveranderingen in de scenario's uitgezet tegen de afvoer in de referentie. Hieruit blijkt dat bij matige klimaatverandering (Druk en Rust) de afvoeren uitsluitend zullen toenemen bij zowel lage als bij hoge afvoer, hetzij gunstig is voor de scheepvaart.

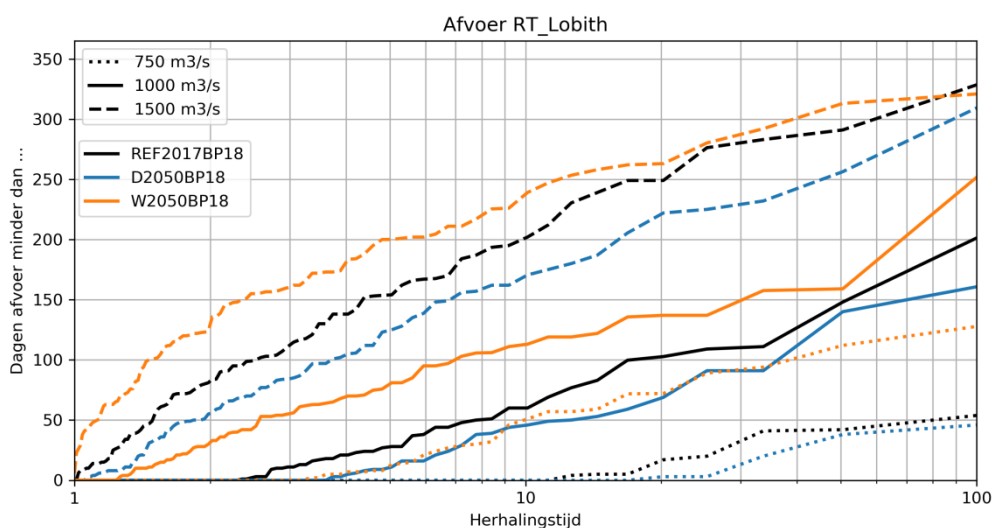
Bij sterke klimaatverandering is er bij lagere afvoeren echter een tegengestelde trend zichtbaar: de afvoer neemt af. Vanaf het omslagpunt bij 3000 m³/s zien we de gemiddelde verandering oplopen tot maximaal -200 m³/s. Dit heeft grote invloed op de beschikbare vaardiepte voor de scheepvaart. Ook de weergegeven 20% en 80% kwantiel vallen negatief uit: bij (huidige) mediane afvoer (2000 m³/s) is een spreiding te zien tussen -500 en 0 m³/s.



Figuur 3.11 Afvoer door klimaatverandering ten opzichte van de afvoer in het huidige scenario. De stippellijnen geven het 20% en 80% kwantiel aan. Links: absolute dagafvoeren, rechts: verschil met de referentie.

Voor de scheepvaart kan een korte periode van lage afvoer meestal goed opgevangen worden door de vaart uit te stellen. Lange perioden van aaneengesloten droogte zijn problematischer omdat de vracht dan toch vervoerd zal moeten worden meestal door te varen met lagere beladingsgraad. Als maat hiervoor wordt gekeken naar het aantal dagen dat een afvoer wordt onderschreden bij Lobith. In Figuur 3.12 is dit voor de referentie en klimaatscenario's weergegeven met een frequentiecurve. Ook in deze figuur valt op dat de consequenties van matige klimaatverandering voor de scheepvaart waarschijnlijk beperkt zijn, maar dat bij sterke klimaatverandering periodes van lage afvoeren vaker zullen optreden en langer zullen duren.

- Bij alle beschouwde afvoeren is het scenario met matige klimaatverandering gunstig voor de scheepvaart. Het aantal dagen afvoeroverschrijding van de lage afvoerniveaus neemt af.
- Extreme omstandigheden waarbij de afvoer van 750 m³/s wordt onderschreden komen in het huidige klimaat gemiddeld eens in de 10 jaar voor en met sterke klimaatverandering rond 2050 elke 3 jaar. De duur van lage afvoeren (T=10 jaar) neemt met sterke klimaatverandering toe van 0 naar 51 dagen.
- Vergelijkbare conclusies zijn ook van toepassing op afvoeren van 1000 en 1500 m³/s. Deze afvoeren komen in het huidige klimaat al bijna jaarlijks voor. Een afvoeroverschrijding van 1000 m³/s zal bij sterke klimaatverandering van 0 naar 33 dagen per jaar gaan, en voor 1500 m³/s van 84 naar 136 dagen per jaar.



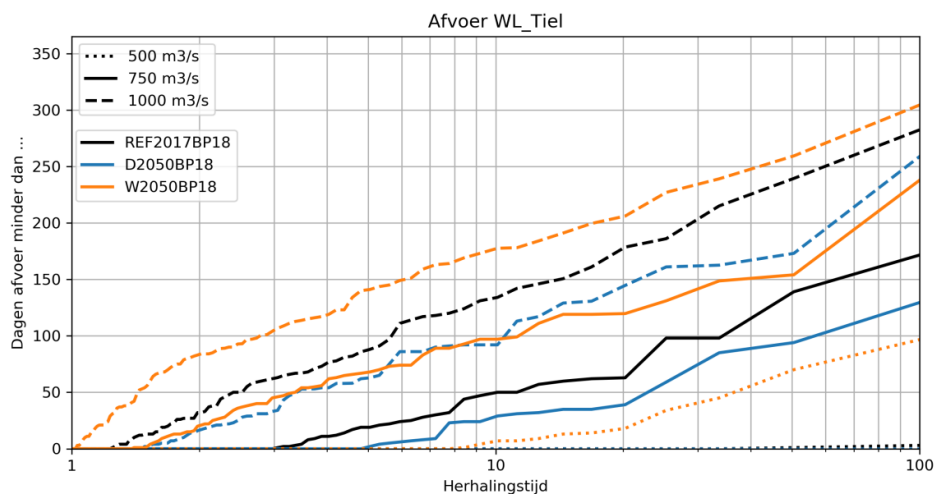
Figuur 3.12 Aantal dagen dat de afvoer bij Lobith wordt onderschreden in het huidige hydrologische scenario (REF2017BP18), matige klimaatverandering (D2050BP18) en sterke klimaatverandering (W2050BP18)

Een vergelijkbare analyse als voor de Rijn bij Lobith is uitgevoerd voor de volgende locaties: Tiel (Waal), Driel (Nederrijn), Olst (IJssel), Eijsden (Maas), Lith (Bedijkte Maas). De kritische afvoerniveaus zijn aangepast om aan te sluiten bij de locatie.

Waal bij Tiel

De afvoer bij Tiel (benedenstrooms van het Amsterdam-Rijnkanaal) vertoont logischerwijs grote overeenkomsten met de figuur bij Lobith. De weergegeven niveaus komen ongeveer overeen met een 2/3 afvoerverdeling naar de Waal. Aanvullend op de analyse van Lobith kunnen de volgende conclusie getrokken worden:

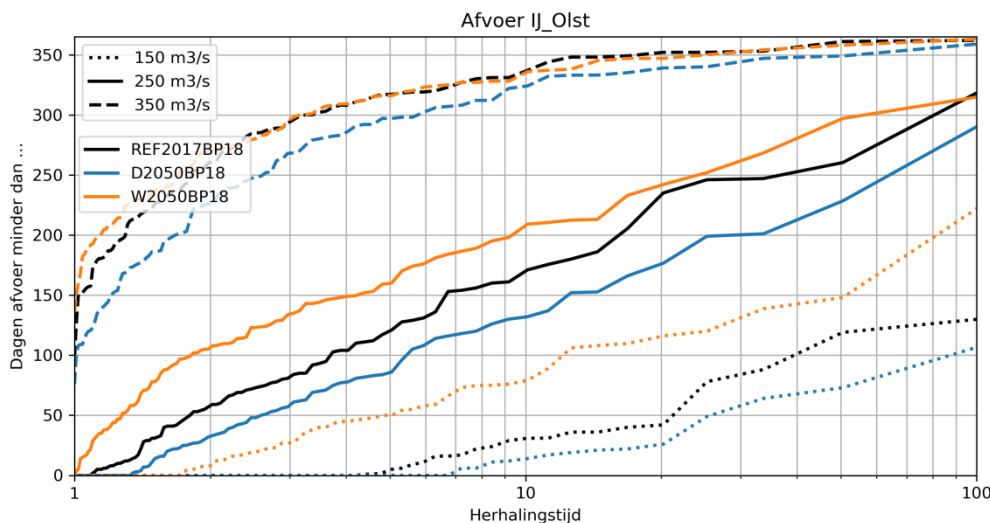
- Vrijwel ieder jaar zijn er perioden dat de afvoer lager is dan 1000 m³/s
- De situatie dat de afvoer bij Tiel lager wordt dan 500 m³/s is nu nog nooit voorgekomen, maar zal in de toekomst een elke 10 jaar gebeuren. Eens per 100 jaar zal deze lage afvoer 100 dagen aanhouden.



Figuur 3.13 Herhalingstijd van afvoeronderschrijdingen Waal bij Tiel voor klimaatscenario's

IJssel bij Olst

Op de IJssel bij Olst is eenzelfde analyse weergegeven in Figuur 3.14. Bij sterke klimaatverandering zal een afvoer van 150 m³/s elke 10 jaar een onderschrijding hebben van 79 dagen (huidig klimaat: 31 dagen).



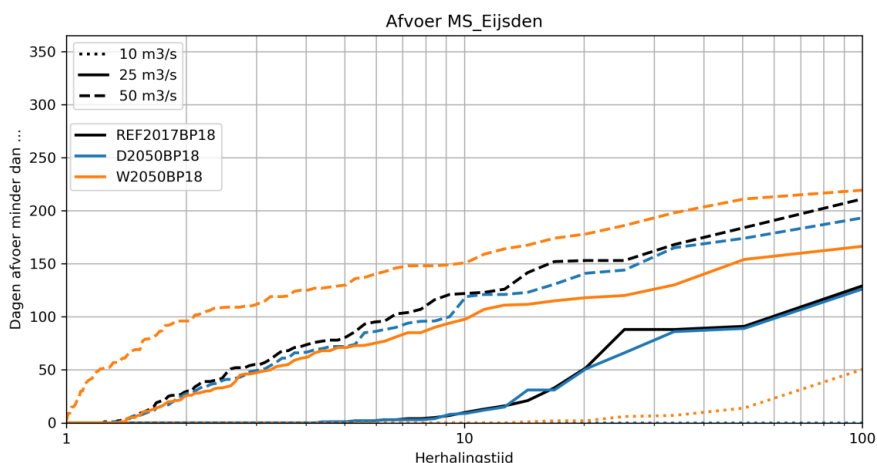
Figuur 3.14 Herhalingstijd van afvoeronderschrijdingen IJssel bij Olst voor klimaatscenario's

Maas bij Eijsden

De Maas is grotendeels een gestuwde rivier, waardoor beperkingen voor de scheepvaart alleen optreden als er onvoldoende afvoer ter beschikking is voor schutten. Dit wordt veelal gecompenseerd door zuiniger schutten (meer schepen per schutting) of door water terug te pompen, met grotere wachttijden tot gevolg. Voor de Grensmaas is vanuit ecologisch perspectief een minimum afvoer van 10 m³/s gewenst. De afvoer naar de Grensmaas is vastgelegd in het Maasafvoeroverdrag tussen NL en Vlaanderen. Het verdrag garandeert een evenwichtige verdeling van het Maaswater bij lage afvoeren tussen de ecologische doeleinden op de Grensmaas én de economische belangen van NL (onder andere de scheepvaart op het

Julianakanaal) en Vlaanderen (onder andere waterbeschikbaarheid van en vaardiepte op het Albertkanaal).

Uit de modelresultaten van de afvoer bij Eijsden (Figuur 3.15) blijkt dat bij sterke klimaatverandering elke 10 jaar een afvoer van 10 m³/s wordt onderschreden.



Figuur 3.15 Herhalingstijd van afvoeronderschrijdingen Maas bij Eijsden voor klimaatscenario's

3.4.2 Oppervlaktewaterkwaliteit: drinkwater

Drinkwaterbedrijven kunnen in de toekomst te maken krijgen met hogere concentraties van stoffen bij innamepunten waardoor tijdelijk minder water ingelaten kan worden. De duur van de overschrijding van een maatgevende stof kan leiden tot een toename van de benodigde investeringen om aan de leveringsplicht te kunnen voldoen (KWR, 2017; Ecorys, 2018). Tabel 3.2 presenteert voor welk innamepunten de waterkwaliteit is berekend, inclusief de gebruikte maatgevende stof, drempelwaarde, bron van oppervlaktewater en gebruikt model.

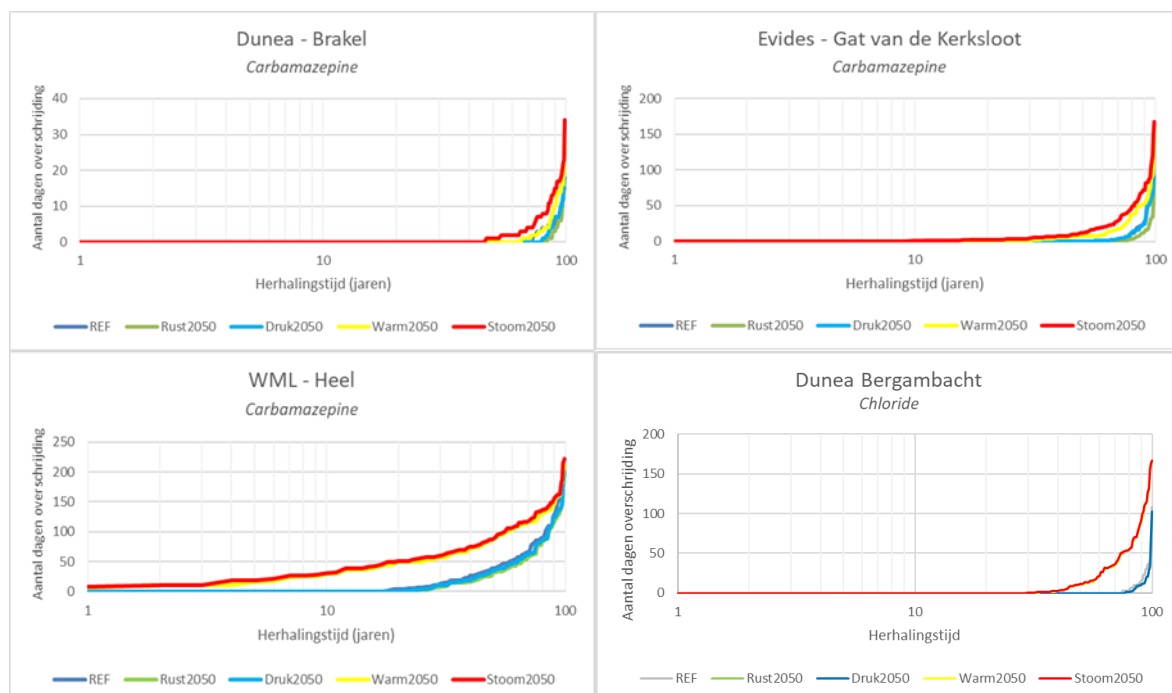
Voor een aantal drinkwaterinnamepunten worden geen resultaten gepresenteerd. Dit kan verschillende redenen hebben: (1) er worden geen problemen verwacht (Vitens-De Punt, viertal grondwaterinfiltratie locaties van Oasen langs de Lek) (2) de fysieke processen worden onvoldoende begrepen (PWN-Andijk), of (3) er is geen of weinig handelingsperspectief (Vitens-Vechterweerd).

Tabel 3.2 Overzicht van innamepunten meegenomen in de analyse, gebruikte maatgevende indicator, jaarlijkse inname en gebruikte drempelwaarden.

Waterbedrijf	Innamepunt	Jaarlijkse inname (Mm3)	Bron water	Model	Maatgevende indicator	Type drinkwaterpunt	Drempelwaarde
Evides	Gat van de Kersloot	127	Rijn & Maas	Delwaq	Carbamazepine	Oppervlaktewater	> 0.1 µg/liter
Waternet	Nieuwegein	65	Lekkanaal (Rijn)	Delwaq	Chloride	Oppervlaktewater	> 200 mg/l
Dunea	Bergambacht	75	Lek (Rijn)	Delwaq	Chloride	Oppervlaktewater	> 150 mg/l
Dunea	Brakel	75	Afgedamde Maas (Maas)	Delwaq	Carbamazepine	Oppervlaktewater	> 0.1 µg/liter
PWN	Nieuwegein	16	Lekkanaal (Rijn)	Delwaq	Chloride		> 200 mg/l
Oasen	Schuwacht, Krimpen aan de Lek	3	Lek (Rijn)	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie	> 150 mg/l
Oasen	Rodenhuis, Bergambacht	13	Lek (Rijn)	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie	> 150 mg/l
Oasen	Reijerwaard, Ridderkerk	3	Nieuwe Maas en Noord	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie	> 150 mg/l
WML	Heel	20	Lateraalkanaal (Maas)	Delwaq	Carbamazepine	Oppervlaktewaterwinning en oevergrondwaterwinning	> 0.1 µg/liter
Vitens	Engelse Werk	12	IJssel	NWM	Debiet	Oppervlaktewater	

Voor de drinkwaterinnamepunten met Carbamazepine als maatgevende stof wordt in de referentiesituatie de drempelwaarde al een groot aantal dagen overschreden (Figuur 3.16). Onder het Warm en Stoom scenario wordt het aantal dagen overschrijding groter voor alle drinkwaterinnamepunten. Vooral overschrijdingen met herhalingstijden van 10 jaar en meer nemen toe. Voor innamepunt Heel geldt dat in scenario's Warm en Stoom er elk jaar overschrijdingen plaatsvinden.

Voor de innamepunten van PWN en Waternet bij Nieuwegein wordt geen overschrijding van de drempelwaarde voor chloride berekend voor noch de huidige situatie noch de Deltascenario's. Het innamepunt van Dunea bij Bergambacht laat zowel in de referentie als in scenario Warm/Stoom overschrijdingen zien van de chlorideconcentratie. Het aantal dagen overschrijding is substantieel groter in scenario Warm dan in de referentie, en de kans op overschrijdingen neemt sterk toe.



Figuur 3.16 Overzicht van de herhalingsstijd van het aantal dagen overschrijding van de drempelwaarde voor respectievelijk carbamazepine en chloride voor de vier oppervlaktewater-innamepunten waar effecten optreden.

Het verschil in maximum aantal dagen overschrijding per jaar tussen de referentie en de scenario's geeft een indicatie van de verslechtering van de waterkwaliteit. Tabel 3.3 geeft het maximaal aantal dagen overschrijding in een jaar en de benodigde buffercapaciteit voor de verschillende innamepunten. Voor Evides neemt alleen in scenario Stoom het aantal dagen overschrijding beperkt toe. Voor Dunea en WML geldt dit voor de scenario's Warm en Stoom. In de meeste gevallen is de toename in dagen beperkt (1-11 dagen). De benodigde toename van de buffer ligt tussen <math><1</math> en 2 Mm³ per innamepunt. Een uitzondering hierop is het innamepunt van Dunea bij Bergambacht dat net is veranderd van een reserve innamepunt tot een regulier innamepunt. Hier neemt het aantal dagen overschrijding met 58 tot 59 dagen toe in een Warm en Stoom scenario. De benodigde extra buffercapaciteit ligt op 12 Mm³, wanneer wordt aangenomen dat de capaciteit van innamepunt Brakel gelijk is aan dat voor Bergambacht.

Het grote aantal dagen overschrijding van de drempelwaarde van Carbamazepine is opvallend, omdat in de huidige situatie er geen langdurige sluiting is van innamepunten door deze stof. De verklaring hiervoor kan worden gevonden in de gebruikte drempelwaarde. In de praktijk wordt deze gebruikt als een signaalwaarde. Innamepunten zullen dus niet altijd sluiten als deze waarde wordt bereikt.

De gepresenteerde resultaten voor Carbamazepine zijn dus een zeer conservatieve schatting van de problemen bij de desbetreffende drinkwaterinnamepunten².

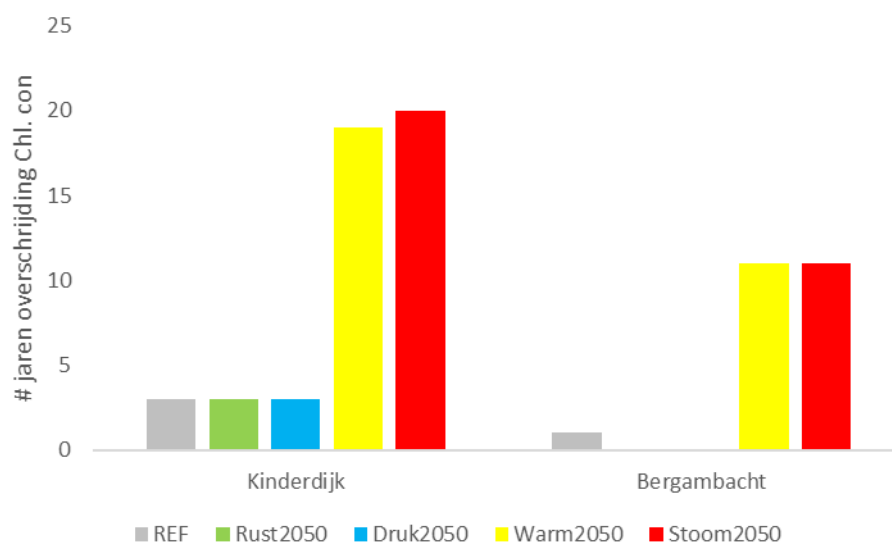
Tabel 3.3 Overzicht van het maximum aantal dagen overschrijding van innamecriterium in een jaar bij verschillende innamepunten.

Scenario	Indicator	Evides – Biesbosch	Dunea - Brakel	WML - Heel	PWN - Nieuwegein	Waternet - Nieuwegein	Dunea - Bergambacht
REF	Max # dagen overschrijding	163	26	211	0	0	108
	Benodigde buffer (Mm3)	57	5	12	0	0	22
Rust2050	Max # dagen overschrijding	91	15	200	0	0	101
	Benodigde buffer (Mm3)	32	3	11	0	0	21
Druk2050	Max # dagen overschrijding	140	18	202	0	0	102
	Benodigde buffer (Mm3)	49	4	11	0	0	21
Warm2050	Max # dagen overschrijding	161	28	212	0	0	166
	Benodigde buffer (Mm3)	56	6	12	0	0	34
Stoom2050	Max # dagen overschrijding	167	34	222	0	0	167
	Benodigde buffer (Mm3)	58	7	12	0	0	34

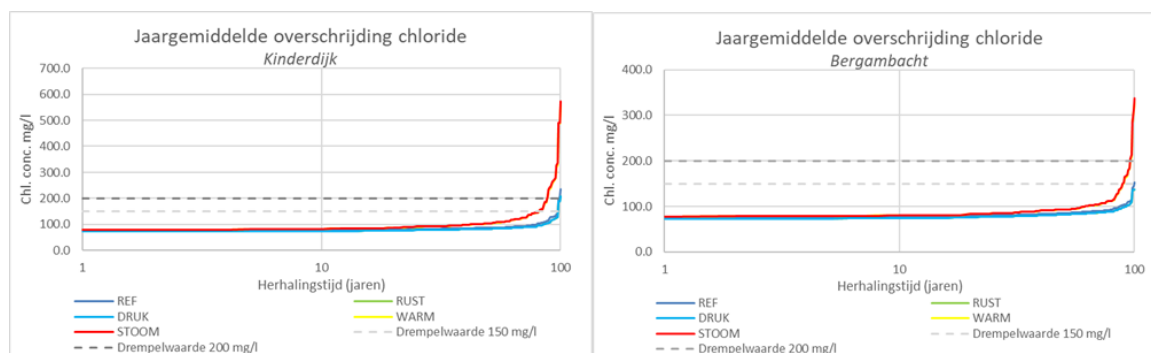
De oeverinfiltratiepunten langs de Lek zijn vooral gevoelig voor verhoogde chlorideconcentraties. De jaargemiddelde chlorideconcentratie is bepalend, omdat er menging optreedt in de oever. Wanneer de gemiddelde concentratie in een bepaald jaar hoger wordt dan 150 mg/l kunnen er problemen optreden. Voor de punten langs de Lek zijn twee locaties representatief verondersteld: Kinderdijk nabij de monding van de Lek en Bergambacht verder stroomopwaarts. Voor deze twee locaties is de jaargemiddelde chlorideconcentratie bepaald voor de referentie en de vier deltascenario's. Vooral in scenario's Stoom en Warm treedt regelmatig een jaargemiddelde concentratie groter dan 150 mg/l op (Figuur 3.17).

De maximale concentratie binnen een jaar kan in Kinderdijk oplopen tot 573 mg/l bij Kinderdijk en 337 mg/l bij Bergambacht. Voor de oeverinfiltratie bij Schuwacht, waarvoor Kinderdijk representatief is verondersteld, wordt behalve oppervlaktewater ook polderwater bijgemengd. Deze menging zorgt ervoor dat de grens van 150 mg/l voor dit punt minder strikt hoeft te worden gehanteerd. De kans dat een jaargemiddelde concentratie van 150 mg/l bij Kinderdijk wordt overschreden loopt in de Deltascenario's op van eens in de 33 jaar in de referentie tot eens in de 5 jaar in scenario Stoom. Bij Bergambacht kan de overschrijdingskans oplopen van eens in de 100 jaar tot eens in de 9 jaar (Figuur 3.18).

² Om de gevoeligheid voor de signaalwaarde te kunnen duiden is de analyse ook uitgevoerd met een drempelwaarde van 0.2 µg/liter. Deze drempelwaarde zorgt bij de drinkwaterinnamepunten van Evides en Dunea voor een sterke afname van de overschrijdingsduur (tot max 6-8 dagen). Bij Heel blijven de overschrijdingen hoog, maar ze nemen wel ongeveer met de helft af.



Figuur 3.17 Aantal jaren in de 100-jarige reeks dat de gemiddelde chlorideconcentratie groter is dan 150 mg/l voor de innamepunten nabij Kinderdijk en Bergambacht.



Figuur 3.18 Herhalingstijd van de gemiddelde jaarlijkse chlorideconcentratie bij Kinderdijk en Bergambacht. Deze punten worden representatief verondersteld voor de innamepunten Bergambacht, Krimpen aan de Lek, Langerak en Reijerwaard.

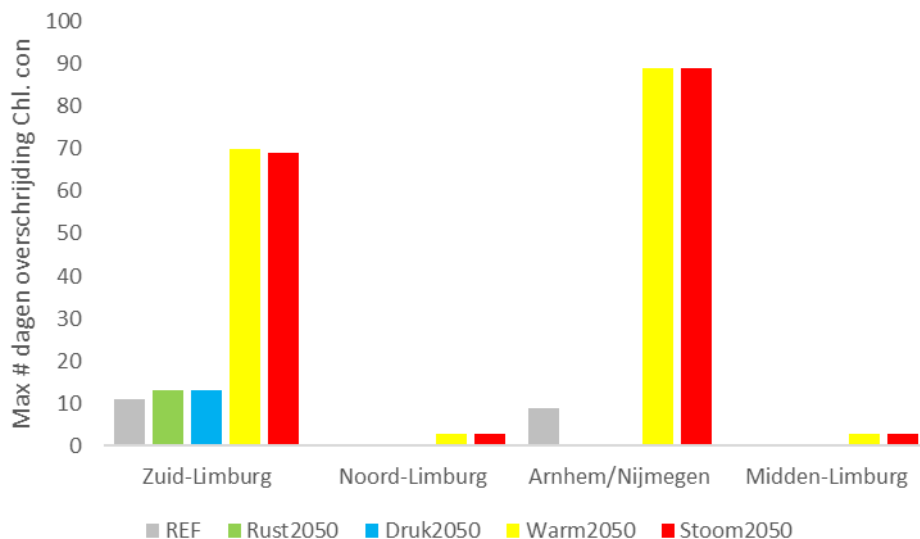
3.4.3 Oppervlaktewaterkwaliteit: industrie

Het effect van een veranderende waterkwaliteit op industriële innamepunten is als volgt bepaald. Per COROP-regio is bekend hoeveel proceswater door de industrie wordt gebruikt. De volgende COROP-regio's gebruiken het meeste proceswater (van groot naar klein):

- Groot-Rijnmond;
- Oost-Groningen;
- Zuid-Limburg;
- West-Noord-Brabant;
- Arnhem-Nijmegen;
- Zuidoost-Zuid-Holland;
- Noord-Limburg;
- Noord-Friesland;
- Midden-Limburg.

Op basis hiervan zijn per COROP-regio innamepunten in het Delwaq-model geschematiseerd. Deze punten worden representatief verondersteld voor de industrie in die regio. De drempelwaarde is voor alle COROP-regio's gezet op 150 mg/l. In de modellering is geen interne of externe verzilting meegenomen. De chlorideconcentratie is daarom alleen representatief voor locaties waar de achtergrondconcentratie bepalend is. De locaties Groot-Rijnmond, Zuidoost-Zuid-Holland en West-Noord-Brabant (gevoelig voor externe verzilting), en Oost-Groningen en Noord-Friesland (gevoelig voor interne verzilting) kunnen op basis van deze methode dus niet goed worden meegenomen. Voor de grootste watergebruiker 'Groot-Rijnmond' wordt aanvullend een kwalitatieve expertbeoordeling gedaan.

Voor de COROP-regio's met de meeste proceswater gebruikende industrie is berekend wat het maximaal aantal dagen overschrijding is in de referentie en in de vier deltasenario's. Figuur 3.19 laat voor de geanalyseerde regio's het maximaal aantal dagen overschrijding zien. Vooral in de COROP-regio's Zuid-Limburg en Arnhem/Nijmegen is in scenario's Warm en Stoom een grote toename te verwachten.



Figuur 3.19 Maximaal aantal dagen per jaar overschrijding van de chlorideconcentratie (150 mg/l) in de verschillende COROP-regio's op basis van 100 jaar modeluitvoer

3.5 Knelpunten

Als gevolg van veranderingen in het klimaat in combinatie met andere ontwikkelingen, zoals grotere wateronttrekkingen en bodemdaling, kan de grondwaterstand veranderen.

In infiltratiegebieden met diepe grondwaterstanden, zoals de Veluwe, heeft de toename van de jaarneerslag in alle scenario's een groter effect dan de toename van de zomerverdamping: de grondwaterstanden gaan in deze gebieden veelal omhoog. In de Deltascenario's Druk en Rust is de stijging het grootst. Dit is echter niet terug te zien in het verdampingstekort van de wortelzone, omdat de grondwaterstand zich in deze gebieden ver beneden maaiveld bevindt. In poldergebieden in West-Nederland en langs beekdalen (onder andere in het Drents Plateau) volgt de grondwaterstand de bodemdaling. De grootste daling van grondwaterstanden wordt berekend voor scenario Stoom in de Zuidelijke Hoge Zandgronden, waar behalve klimaat effecten extra onttrekkingen voor drinkwater, industrie en beregening het sterkst doorwerken.

Niet alleen freatische grondwaterstanden zijn berekend, maar ook de stijghoogte van diepe watervoerende pakketten. Uit de analyse blijkt dat de stijghoogte in de diepe watervoerende

pakketten in scenario Stoom in Noord-Brabant significant (1 tot 2 meter) lager worden. In Warm is deze afname niet zichtbaar, wat er op duidt dat het effect in Stoom wordt veroorzaakt door grotere drinkwater- en industriewateronttrekkingen in dit gebied. Dit leidt in mindere mate in scenario Druk ook tot een afname van de stijghoogtes.

Regionale watertekorten nemen in alle regio's met aanvoer het sterkst toe in scenario Stoom. Het verschil tussen Stoom en Warm is het grootst in de regio's IJsselmeergebied en Benedenrivierengebied, door het grote aandeel doorspoeling en beregening in deze gebieden, welke in Stoom sterk toenemen.

In scenario Stoom en Warm kan de oppervlaktewaterkwaliteit verslechteren door lagere afvoeren en meer verdamping. Dit kan op sommige plekken knelpunten opleveren voor drink- en industriewater. De toename van overschrijdingsdagen is het grootst voor innamepunten langs de Lek in scenario Warm/Stoom, als gevolg van externe verzilting.

Drinkwater:

- Scenario Warm en Stoom laten een toename van de overschrijding van de drempelwaarde voor carbamazepine en chloride zien van 1 tot 11 dagen bij de innamepunten: Gat van de Kerksloot, Brakel en Heel. De toename is groter voor innamepunt Bergambacht met 59 additionele overschrijdingsdagen in scenario Stoom. Het aantal dagen overschrijding van Carbamazepine en chloride in de scenario's Druk en Rust is gelijk aan of iets kleiner dan in de referentie.
- De benodigde extra buffercapaciteit varieert van rond de 1 Mm³ voor innamepunten Heel, Gat van de Kerksloot en Brakel tot max 12 Mm³ voor innamepunt Bergambacht.
- Bij het innamepunt Nieuwegein worden in geen enkel scenario overschrijdingen verwacht van chloride, aangenomen dat er altijd voldoende rivierwater beschikbaar is om zoutindringing vanuit het Noordzeekanaal tegen te gaan.
- De verwachting is dat de chlorideconcentraties bij de oeverinfiltraties langs de Lek in het scenario Stoom en Warm stijgen tot boven een jaargemiddelde concentratie van 150 mg/l in. Bij Kinderdijk kan de herhalingstijd oplopen tot 5 jaar en bij Bergambacht tot 11 jaar.

Industrie:

- De industrie in Zuid-Limburg en rondom Arnhem/Nijmegen kan in de toekomst vaker te maken krijgen met achtergrondconcentraties chloride van boven de 150 mg/l. In scenario Warm en Stoom ligt het maximaal aantal dagen overschrijding van de chlorideconcentraties op rond de 70 dagen voor Zuid-Limburg en rond de 90 dagen voor Arnhem/Nijmegen.
- De industrie in Noord en Midden-Limburg zal naar verwachting te maken krijgen met maximaal 5 dagen overschrijding in scenario Warm en Stoom. In Rust en Druk zijn er geen overschrijdingen te verwachten.
- De regio Groot-Rijnmond kan problemen gaan ondervinden door (additionele) verzilting van het Brielse Meer. De duur en frequentie van de verzilting kunnen gaan toenemen als gevolg van achterwaartse verzilting met nalevering in het Spui. Dit wordt in een aparte studie in meer detail onderzocht.

4 Voorzieningsgebied IJsselmeer

4.1 Systeembeschrijving

Het voorzieningsgebied van het IJsselmeer (kortweg IJsselmeergebied) omvat de volgende deelgebieden, die alle voor de oppervlaktewaterlevering afhankelijk zijn van het IJsselmeer en Markermeer (Ter Maat et al, 2014):

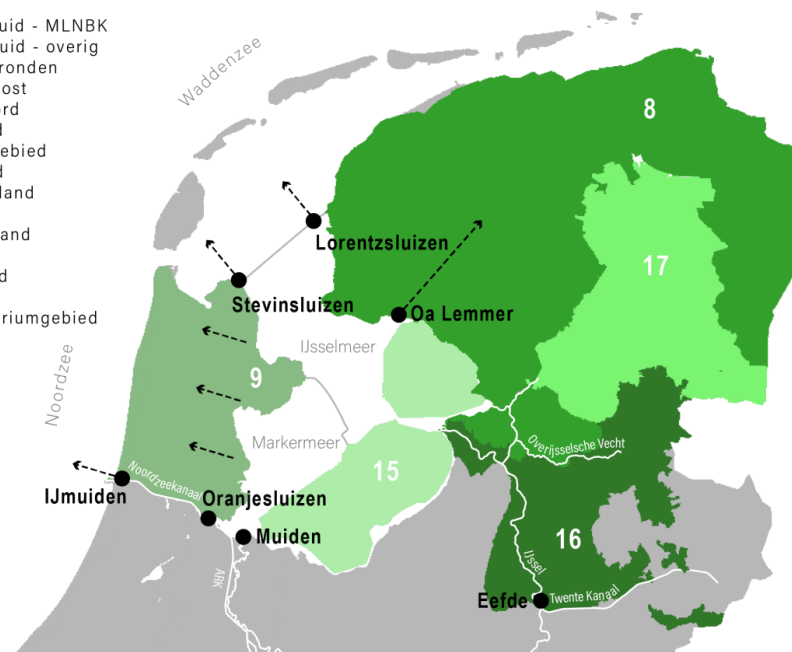
- Fries-Gronings kustgebied: De grootste watervrager in dit gebied is peilbeheer, daarna doorspoeling.
- Noord-Holland Noord: Doorspoeling is de grootste watervrager, daarna volgt peilbeheer.
- IJsselmeerpolders: De belangrijkste watervrager is beregening. Omdat er veel kwelwater is, is de watervraag voor peilbeheer relatief gering.
- IJssel-Vechtgebied: Dit gebied is voor oppervlaktewaterlevering voornamelijk afhankelijk van de IJssel en de Vecht. De watervraag voor peilbeheer is het grootst.
- Drents Plateau: De watervraag voor peilbeheer is het grootst.

Het IJsselmeer, het Markermeer en de randmeren vormen een belangrijke buffer voor de waterbehoefte rond het IJsselmeergebied. Figuur 4.1 laat zien hoe dit water naar de regio getransporteerd kan worden. De waterbuffer wordt gebruikt voor (Ter Maat et al, 2014):

- Het op peil houden van meren, kanalen, boezems en kleine regionale wateren;
- Doorspoeling ten behoeve van waterkwaliteitsbeheer en het tegengaan van zoutindringing;
- Beregening vanuit oppervlaktewater;
- Onttrekkingen voor drinkwater- en industriewatervoorziening.

IJsselmeergebied

- 1 Waddeneilanden
- 2 Hoge zandgronden Zuid - MLNBK
- 3 Hoge zandgronden Zuid - overig
- 4 Centrale hoge zandgronden
- 5 Hoge zandgronden Oost
- 6 Rivierengebied - Noord
- 7 Rivierengebied - Zuid
- 8 Fries-Gronings kustgebied
- 9 Noord-Holland Noord
- 10 Midden-West Nederland
- extern verzilt
- 11 Midden-West Nederland
- niet extern verzilt
- 12 Zuid-West Nederland
- met aanvoer
- 13 Zuid Westelijk estuariumgebied
- zonder aanvoer
- 14 Zuid-Limburg
- 15 IJsselmeerpolders
- 16 IJssel-Vecht delta
- 17 Drents Plateau



Figuur 4.1 Gebiedsschematisatie voorzieningsgebied IJsselmeer met belangrijkste aanvoerroutes

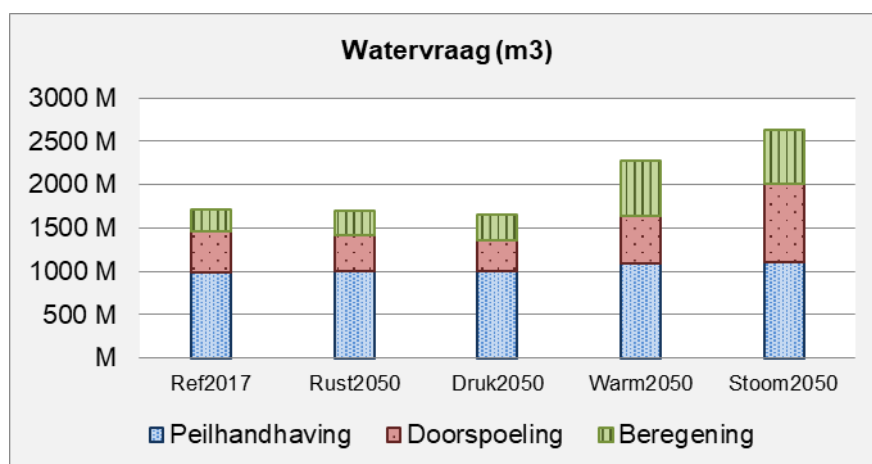
Het streefpeil van het IJsselmeer en Markermeer is in de winter 40 cm beneden NAP en in de zomer 20 cm beneden NAP. Zodoende worden de waterstanden in de winter laag gehouden, zodat het IJsselmeer een grote bergingscapaciteit heeft voor overtollig water uit de regio. In de zomer worden de waterstanden hoog gehouden om als buffer te dienen voor wateraanvoer naar de regio. Met het vorige peilbesluit bestond de mogelijkheid het peil uit te laten zakken van -0,20 m NAP naar -0,30 m NAP. In 2018 is een nieuw peilbesluit vastgesteld door Rijkswaterstaat, waardoor een flexibeler peilbeheer mogelijk is. Het streefpeil is nog steeds -0,20 m NAP, maar bij dreigend zoetwatertekort gedurende het zomerhalfjaar mag het peil tijdelijk opgezet worden tot -0,10 m NAP. Mits het peil tijdig kan worden opgezet, is de potentiële bufferschijf hiermee vergroot naar 20 cm. Door de grotere marges kan beter worden ingespeeld op droge omstandigheden (Rijkswaterstaat, 2017; Pouwels, 2018). Verder uitzakken onder -0,30 m NAP vergt een beslissing van de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW) en wordt daarom niet gerekend tot 'direct beschikbare buffer'.

Wanneer IJsselmeerpeilen toch onder het afgesproken minimumpeil zakken ('s zomers -0,30 m +NAP), treedt de verdringingsreeks in werking om verdere uitzakking zoveel mogelijk te voorkomen. Hierbij ontstaan tekorten voor de watervragers. Gevolgen zijn bijvoorbeeld landbouwopbrengstderving of verslechterde waterkwaliteit als gevolg van verminderde doorspoeling. Daarnaast kunnen bij lage meerpeilen, ook boven het minimumpeil, al beperkingen optreden voor inlaten onder vrij verval (bijvoorbeeld inlaat richting Friesland). In het model is dit vertaald naar een afnemende inlaatcapaciteit bij lager wordend meerpeil.

4.2 De vraag naar zoet water

Figuur 4.2 toont de regionale watervraag voor verschillende scenario's, uitgesplitst naar de watervragers peilbeheer, doorspoeling en beregening vanuit oppervlaktewater. De watervraag is weergegeven voor het jaar 1976; voor deze regio is dit een situatie die gemiddeld eens in de 50 jaar voorkomt.

Uit de figuur blijkt dat peilbeheer veruit de grootste watervrager is. Bij gematigde klimaatverandering (scenario's Rust en Druk) blijft de watervraag ongeveer gelijk. Bij sterke klimaatverandering (scenario's Warm en Stoom) neemt de watervraag in 2050 met 30% tot 50% toe, afhankelijk van het sociaaleconomische scenario. De watervragen voor doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater nemen het sterkst toe, veroorzaakt door interne verzilting, verdamping van het oppervlaktewater en een daling van het bodemvochtgehalte in het groeiseizoen.

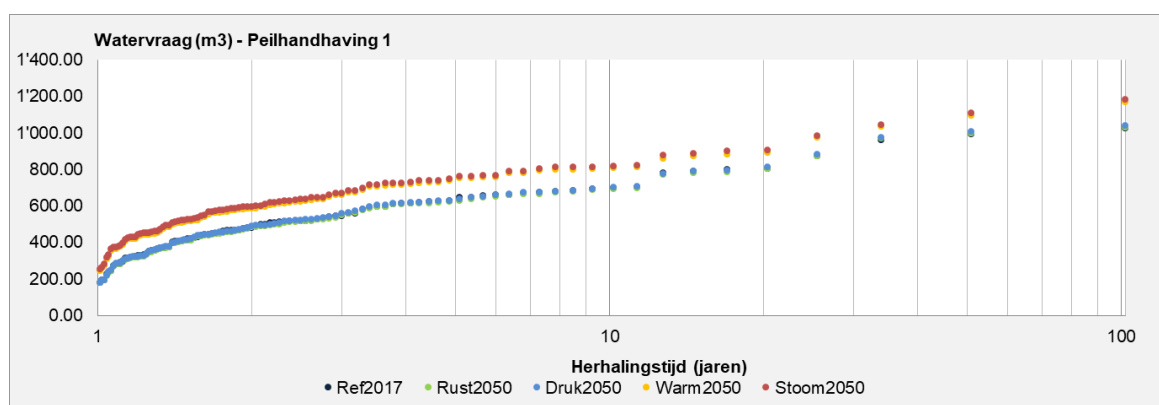


Figuur 4.2 Watervraag IJsselmeergebied in miljoen m³ in het zomerhalfjaar voor peilbeheer, doorspoeling en beregning uit het oppervlaktewater. Deze watervragen zijn weergegeven voor een T=50 jaar (1976) voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

In de volgende paragrafen worden de watervragen voor peilbeheer en voor beregning in de landbouw behandeld. De watervraag voor doorspoeling is per scenario gemodelleerd als een vast debiet en deze watervraag varieert daardoor niet in de modeluitvoer. Daarom wordt doorspoeling niet apart behandeld in dit hoofdstuk.

4.2.1 Peilbeheer

Peilbeheer is met name in het Fries-Gronings kustgebied een grote watervrager. In de IJsselmeerpolders is deze watervraag juist gering, doordat in die polders veel kwel voorkomt. Figuur 4.3 toont voor het gehele IJsselmeergebied de relatie tussen herhalingsstijden en de watervraag voor peilbeheer. De watervraag voor peilbeheer is bij matige klimaatverandering ongeveer gelijk aan die in het huidige klimaat. Bij sterke klimaatverandering neemt de watervraag wel significant toe: gemiddeld met ongeveer 120 miljoen m³.



Figuur 4.3 Herhalingsstijd watervraag voor peilbeheer in het zomerhalfjaar. De herhalingsstijden zijn weergegeven voor de regio IJsselmeer gebied voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het jaar 2050. Het scenario Rust is niet zichtbaar in de grafiek omdat deze zich geheel achter het scenario Druk bevindt.

4.2.2 Beregning

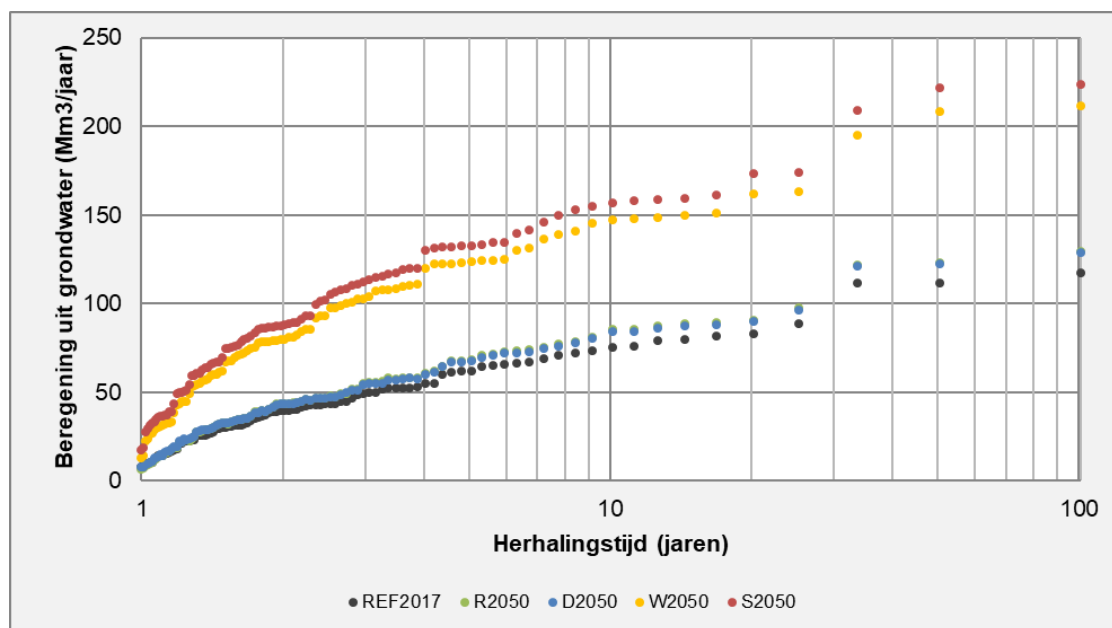
In het voorzieningsgebied van het IJsselmeergebied vindt beregning vooral uit het oppervlaktewater plaats en in mindere mate uit het grondwater (Tabel 4.1). Het grootste deel

van de grondwaterberekening vindt plaats in de deelregio's IJssel-Vechtdelta en Drents Plateau. De watervraag voor berekening neemt in 2050 iets toe voor de scenario's met matige klimaatverandering. Bij sterke klimaatverandering is er een flinke toename in de watervraag, met name voor berekening vanuit oppervlaktewater. In Figuur 4.4 zijn de herhalingstijden van de vraag voor grondwaterberekening weergegeven en Figuur 4.5 toont de herhalingstijden voor beregeningsvraag uit oppervlaktewater.

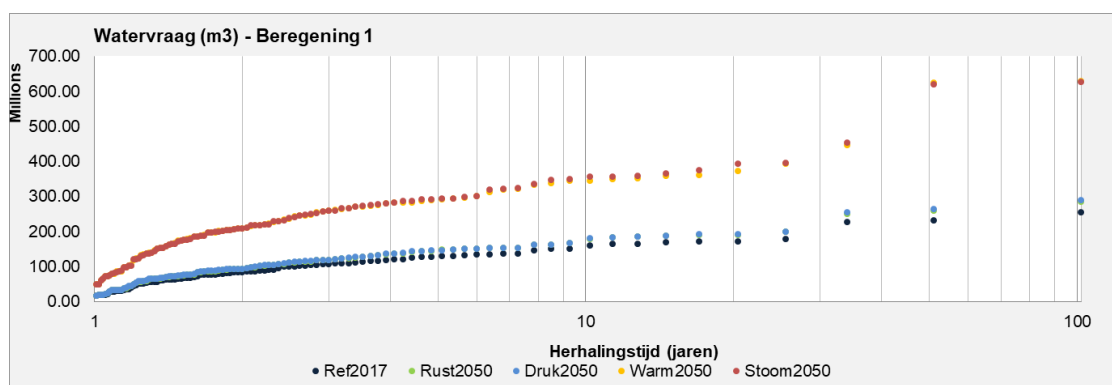
Bij een herhalingstijd van 10 jaar stijgt de totale watervraag voor berekening bij geringe klimaatverandering met 12%. Bij sterke klimaatverandering wordt de totale vraag in deze regio zelfs meer dan twee keer zo groot. Ook bij een herhalingstijd van 50 jaar neemt de watervraag voor berekening bij geringe klimaatverandering toe met 12%. Bij sterke klimaatverandering is de watervraag bijna 2,5 keer zo groot.

Tabel 4.1 De beregeningsarealen in het IJsselmeergebied bij de verschillende scenario's. De beregeningsarealen zijn opgesplitst in arealen waarin beregend wordt uit grondwater en arealen waarin beregend wordt uit oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie	54	112	166
Rust	59 (+11%)	125 (+13%)	184 (+11%)
Druk	58 (+9%)	127 (+11%)	185 (+11%)
Warm	92 (+71%)	209 (+86%)	301 (+81%)
Stoom	95 (+77%)	205 (+82%)	300 (+81%)



Figuur 4.4 Herhalingstijd watervraag voor berekening uit grondwater in miljoen m³ in het zomerhalfjaar. De herhalingstijden zijn weergegeven voor de regio IJsselmeergebied voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het jaar 2050.



Figuur 4.5 Herhalingstijd watervraag voor berekening uit oppervlaktewater in miljoen m³ in het zomerhalfjaar. De herhalingstijden zijn weergegeven voor de regio IJsselmeergebied voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het jaar 2050. Het scenario Rust bevindt zich geheel achter het scenario Druk.

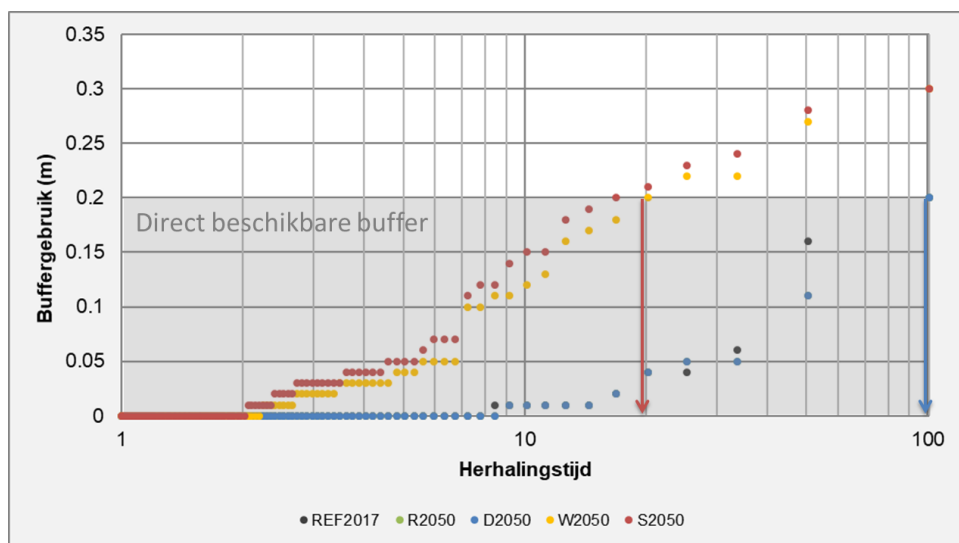
4.3 De beschikbaarheid van zoet water

4.3.1 De buffervoorraad van het IJsselmeer en het Markermeer

In de berekeningen is het nieuwe peilbesluit van het IJsselmeer met het flexibel peilbeheer opgenomen. Deze is vertaald naar een peilbeheer IJsselmeer en Markermeer, beschreven in Hunink *et al.* (2018). Omdat het model geen voorspelmodus heeft, kan het niet inspelen op een eventuele droge periode en indien nodig het peil verder opzetten. In het model is er daarom voor gekozen om het 'streefpeil' in te stellen op -0,10 m NAP. De consequentie hiervan is dat het peil ook in een normaal jaar opgezet wordt, terwijl dat in de praktijk niet zal gebeuren. Omdat we voor de analyses alleen geïnteresseerd zijn in de droge jaren, is deze aanname verantwoord.

Daarnaast gaat deze aanpak er impliciet vanuit dat er voldoende water beschikbaar is om het peil tijdig op te zetten. Het model houdt verder rekening met een tijdelijke opzet bij de start van het zomerseizoen, en iets eerder uitzakken naar winterstreefpeil conform het nieuwe (flexibele) peilbesluit.

In Figuur 4.6 is de herhalingstijd van de benutting van de bufferschijf van het IJsselmeer voor het zomerhalfjaar weergegeven. Dit buffergebruik is hier gedefinieerd als het maximale verschil tussen het streefpeil en het berekende peil over het zomerhalfjaar. Onder buffergebruik wordt dus niet alleen het gebruik van de volledige buffer verstaan, maar ook het gebruik van slechts enkele centimeters. In de figuur is te zien dat bij huidig klimaat in circa 10% van de jaren de buffer wordt aangesproken en dat de buffer in alle doorgerekende omstandigheden toereikend is om in de watervraag te voorzien. De scenario's Rust en Druk met matige klimaatverandering geven een vergelijkbaar beeld. In de scenario's met sterke klimaatverandering (Warm en Stoom) wordt in ongeveer 50% van de jaren de buffer aangesproken en is deze bij een herhalingstijd van 20 jaar niet meer voldoende voor alle watervragen.



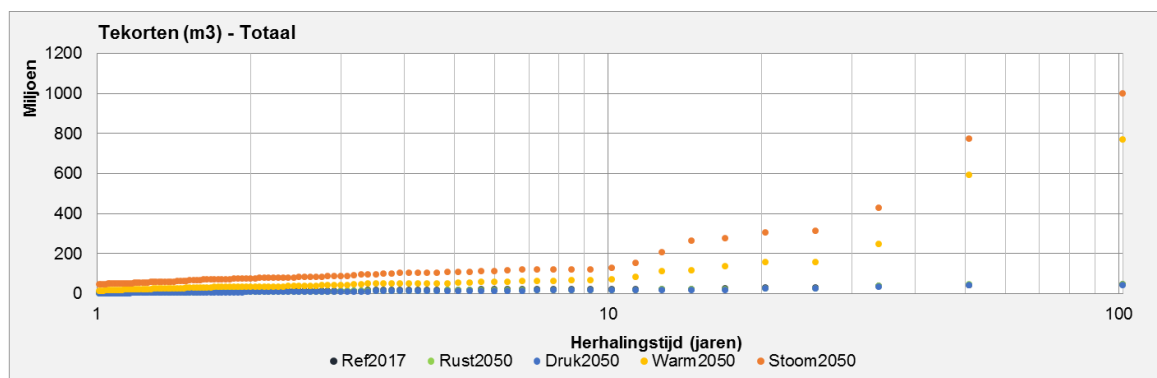
Figuur 4.6 Herhalingstijd buffergebruik voor het zomerhalfjaar IJsselmeer voor de Referentie 2017 (donkerblauw) en de scenario's Rust (groen), Druk (blauw), Warm (geel) en Stoom (rood) 2050. Het scenario Rust heeft hetzelfde buffergebruik als Referentie 2017 en is daardoor niet zichtbaar in deze figuur.

4.3.2 Oppervlaktewatertekort

Figuur 4.7 toont de frequentie van optreden van watertekorten. Tekorten treden al op als de IJsselmeerbuffer nog niet volledig is gebruikt. Dit duidt op beperkingen in de regionale inlaat- of doorvoercapaciteit. Bij een herhalingstijd van 20 jaar treden bij huidig klimaat tekorten op van 28 miljoen m³ per jaar. Bij geringe klimaatverandering worden deze tekorten iets kleiner; 24 tot 27 miljoen m³ per jaar. Bij sterke klimaatverandering stijgen de tekorten naar 160 miljoen m³ per jaar bij socio-economische krimp (scenario Warm) en 300 miljoen m³ per jaar bij socio-economische groei (scenario Stoom).

Bij een herhalingstijd van 50 jaar liggen de tekorten in het huidige klimaat en bij geringe klimaatverandering tussen de 41 en 45 miljoen m³ per jaar.

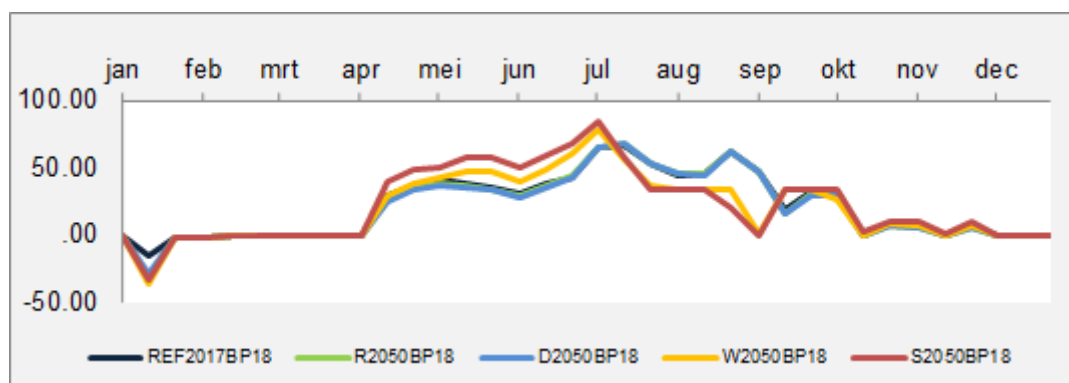
Bij sterke klimaatverandering zijn de tekorten dan 590 – 720 miljoen m³, afhankelijk van het socio-economische scenario. Deze groei in tekorten uit zich voornamelijk in tekorten voor beregening vanuit oppervlaktewater.



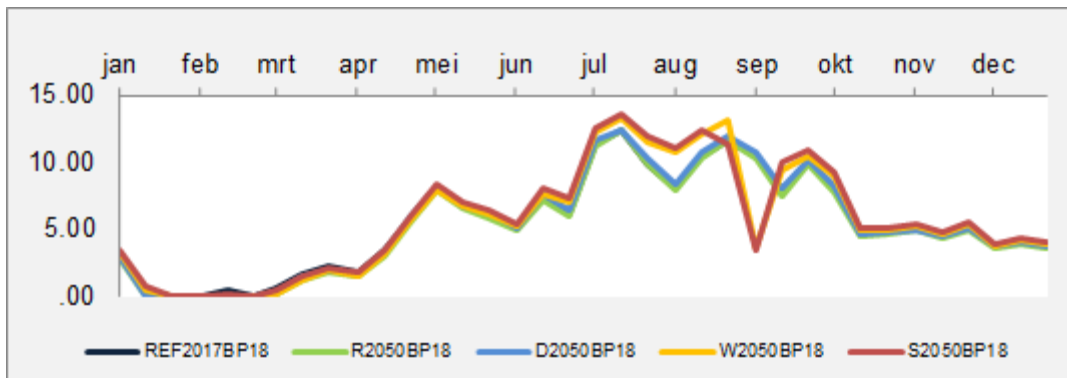
Figuur 4.7 Herhalingstijd totale oppervlaktewatertekort IJsselmeergebied voor de Referentie 2017 (donkerblauw) en de scenario's Rust (groen), Druk (blauw), Warm (geel) en Stoom (rood) 2050. Het scenario Rust heeft hetzelfde watertekort als Referentie 2017 en is daardoor niet zichtbaar in deze figuur.

Figuur 4.8 en Figuur 4.9 tonen de debieten bij de inlaat naar Friesland en de inlaat bij Eefde voor een T=50 situatie (jaar 1976). Via meerdere inlaten (Hoogland, Lemmer, Teroelsterkolk, Tacozijl) wordt IJsselmeerwater ingelaten naar de Friese boezem, dat daarna verder wordt getransporteerd richting het Gronings kustgebied en het oosten van Groningen. Figuur 4.8 laat zien dat de hoeveelheid inlaatwater in een droog jaar bij geringe klimaatverandering ongeveer gelijk blijft. Bij sterke klimaatverandering is de inlaathoeveelheid in het begin van de zomer groter door een vergrote watervraag. In de maanden juli en augustus treden er tekorten op doordat het IJsselmeerpeil daalt, waardoor het debiet naar Friesland afneemt door afnemende inlaatcapaciteit en omdat sommige watervragers gekort worden bij te lage meerpeilen. Ook in normale tot droge jaren treden tekorten op, vermoedelijk veroorzaakt door zowel beperkingen in regionale inlaten als beperkingen in doorvoercapaciteit (o.a. gemaal Gaarkeuken in het Prinses Margrietkanaal). Het vraagt nader onderzoek om te achterhalen waar het grootste knelpunt zit.

Figuur 4.9 toont een vergelijkbaar beeld voor de inlaat bij Eefde, de inlaat voor de Twentekanaalen. Bij geringe klimaatverandering blijft het debiet gelijk, bij sterke klimaatverandering stijgt het debiet in juni en augustus. In zeer droge jaren kan het gebeuren dat de inlaat via Twentekanaalen afneemt als gevolg van te lage IJsselafvoeren, waardoor de inlaat droog komt te staan. In het model is de inlaat Eefde gekoppeld aan het IJsselmeerpeil: als dit peil uitzakt onder -0,30 m +NAP dan worden gebruikers (inclusief de gebruikers die voorzien worden via Eefde) gekort en neemt de inlaat via Eefde af. In de scenario's Warm en Stoom komt dit gemiddeld eens in de 10 à 15 jaar voor.



Figuur 4.8 Het debiet (m^3/s) van de inlaat Friesland in 1976 voor de Referentie 2017 (REF2017BP18) en de scenario's Rust (R2050BP18), Druk (D2050BP18), Warm (W2050BP18) en Stoom 2050 (S2050BP18).

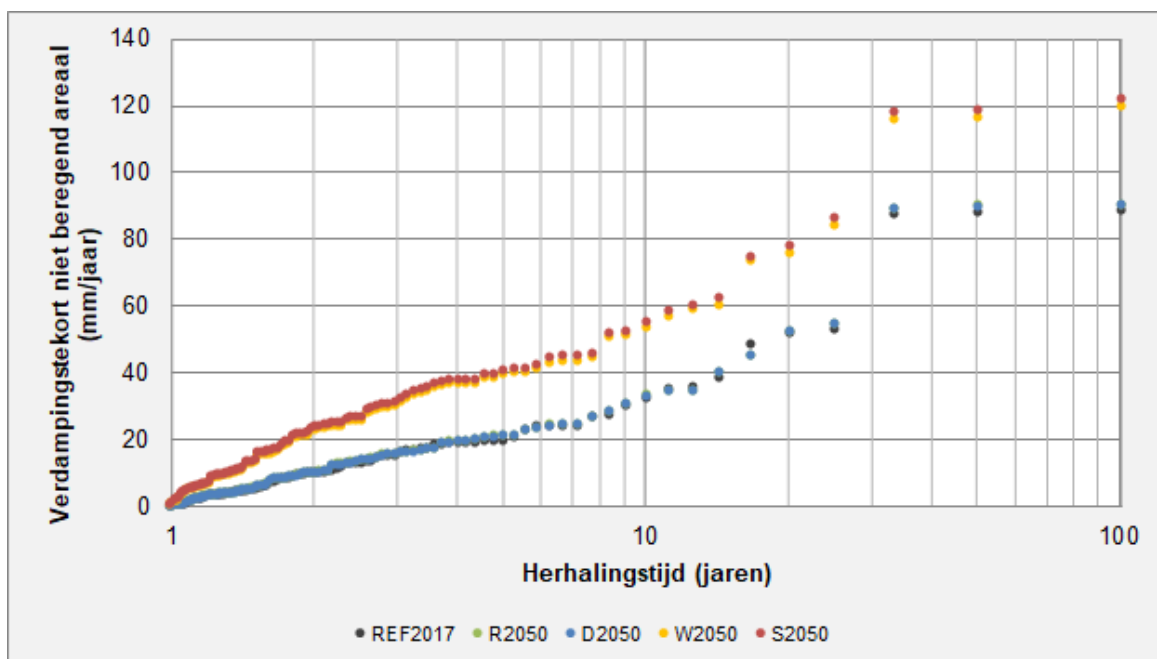


Figuur 4.9 Het debiet (m^3/s) van de inlaat bij Eefde in 1976 voor de Referentie 2017 (REF2017BP18) en de scenario's Rust (R2050BP18), Druk (D2050BP18), Warm (W2050BP18) en Stoom 2050 (S2050BP18).

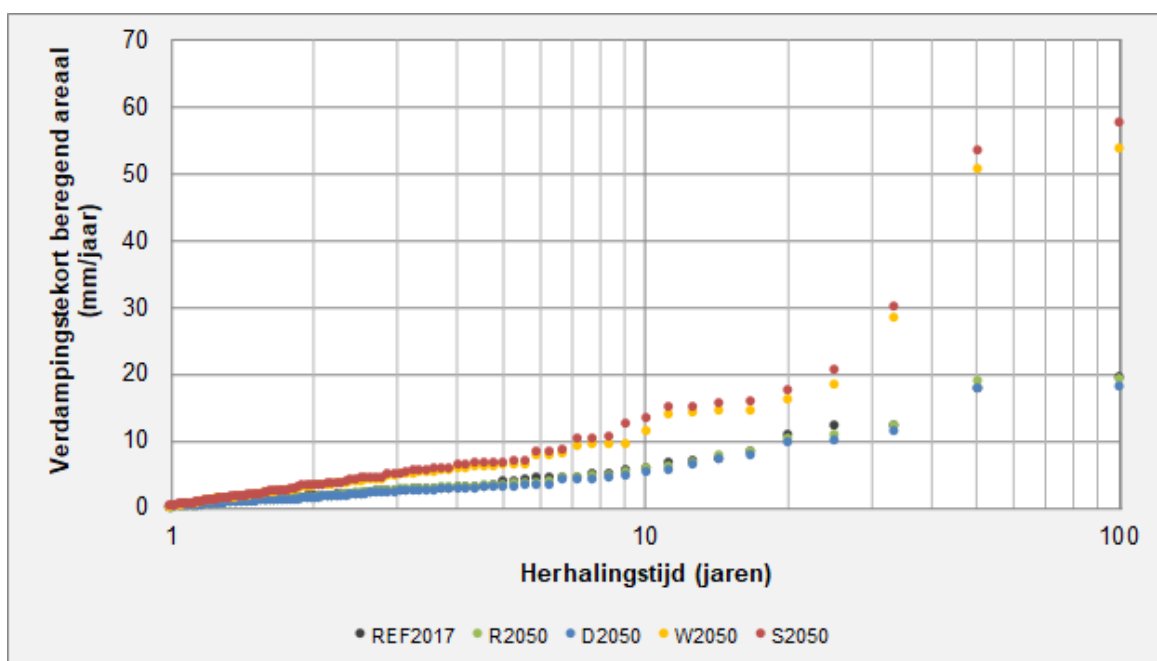
4.3.3 Verdampingstekort

Het verdampingstekort is een maat voor landbouwschade veroorzaakt door droogte. In Figuur 4.10 en Figuur 4.11 is de overschrijdingsfrequentie van het verdampingstekort weergegeven, uitgesplitst naar beregend- en niet beregend areaal. Hierin is zichtbaar dat bij gematigde klimaatverandering geen significante verandering van het verdampingstekort plaats zal vinden. De scenario's met sterke klimaatverandering (Warm en Stoom) geven wel een toename van het verdampingstekort. Hieruit valt op te maken dat gewasschades door droogte bij gematigde klimaatverandering niet zullen toenemen, maar bij sterke klimaatverandering wel groter zullen worden.

Bij een herhalingsijd van 10 jaar stijgt het verdampingstekort van niet-beregende arealen met 22 mm en van beregende arealen met ongeveer 7 mm. Bij een herhalingsijd van 50 jaar groeit het verdampingstekort bij sterke klimaatverandering in niet-beregend areaal met ongeveer 30 mm en in beregend areaal met ongeveer 33 mm. 30 mm komt overeen met 6% van de totale jaarlijkse verdamping in een gemiddeld jaar.



Figuur 4.10 Herhalingstijd verdampingstekort ($T_{pot}-T_{act}$) bij niet beregend areaal in mm/jaar voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom 2050.



Figuur 4.11 Herhalingstijd verdampingstekort ($T_{pot}-T_{act}$) bij beregend areaal in mm/jaar voor de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom 2050.

4.4 Knelpunten

Het voorzieningsgebied van het IJsselmeer is voor de watervoorziening in de zomerperiode voornamelijk afhankelijk van de waterbuffer in het IJsselmeer, het Markermeer en de randmeren. Bij het huidige klimaat wordt deze buffer gemiddeld eens in de negen jaar aangesproken en wordt de totale buffervoorraad van 20 cm waterschijf niet benut.

Bij matige klimaatverandering in het zichtjaar 2050 blijft dit zo. Bij sterke klimaatverandering wordt de bufferschijf eens in de twee jaar aangebroken en wordt de beschikbare buffer van 20 cm gemiddeld eens in de 20 jaar volledig benut.

In zeer droge jaren neemt de inlaat vanuit de IJssel naar de Twentekanalen af als gevolg van te lage IJsselafvoeren in combinatie met een laag IJsselmeerpeil (lager dan -0,30 m +NAP). In het huidige klimaat en in de scenario's Druk en Rust komt dit slechts een keer in de 100 jaar voor; in de scenario's Warm en Stoom komt dit gemiddeld eens in de 10 à 15 jaar voor.

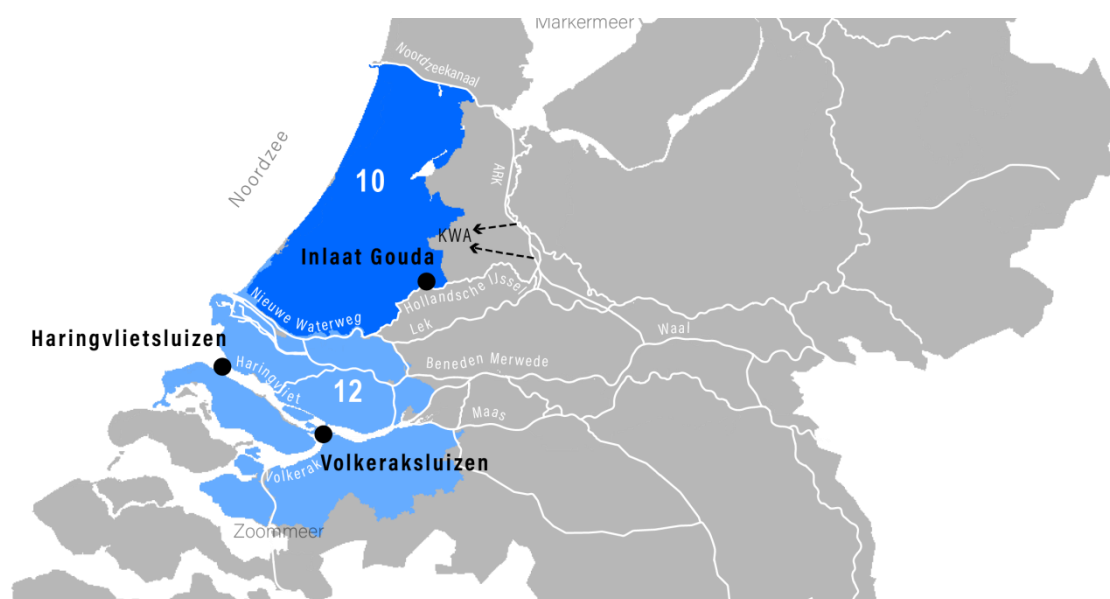
Bij sterke klimaatverandering nemen de watervragen aan het IJsselmeer significant toe, terwijl niet volledig aan die vragen tegemoet kan worden gekomen. Voornamelijk op doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater moet worden gekort. Daarnaast daalt bij sterke klimaatverandering de GLG met 10 tot 50 cm in grote delen van Friesland, Groningen en Drenthe. Hierdoor zullen de landbouwschades door droogte toenemen. Bij matige klimaatverandering nemen de oppervlaktewatertekorten en verdampingstekorten niet tot nauwelijks toe.

5 Voorzieningsgebied Benedenrivieren

5.1 Systeembeschrijving

Het voorzieningsgebied van de benedenrivieren (kortweg: Benedenriviereengebied) omvat de volgende deelgebieden, die afhankelijk zijn van aanvoer van zoet water vanuit de Rijntakken en de Maas, en die te maken kunnen krijgen met externe verzilting (zie Figuur 5.1):

- Midden-West Nederland – extern verzilt. Dit omvat het West-Nederlands droogmakerijengebied van Rijnland, Delfland en Schieland. Dit gebied is voor de oppervlaktewateraanvoer grotendeels afhankelijk van rivierwater, in het bijzonder de Nederrijn/Lek en de Waal. De belangrijkste watervragers zijn peilbeheer en doorspoeling.
- Zuid-West Nederland (Zuid-Hollandse eilanden, West-Brabant, Tholen). Dit gebied is voor de oppervlaktewatervoorziening grotendeels afhankelijk van het Hollandsch Diep, het Volkerak-Zoommeer en het Brielse Meer. Doorspoeling is de belangrijkste regionale watervraag in dit gebied, gevolgd door beregening en peilbeheer. Daarnaast speelt het Brielse Meer een belangrijke rol voor de industriewatervoorziening in Rijnmond.



Figuur 5.1 De twee deelgebieden van het voorzieningsgebied Benedenrivieren: Midden-West Nederland - extern verzilt (10), Zuid-West Nederland – met aanvoer (12)

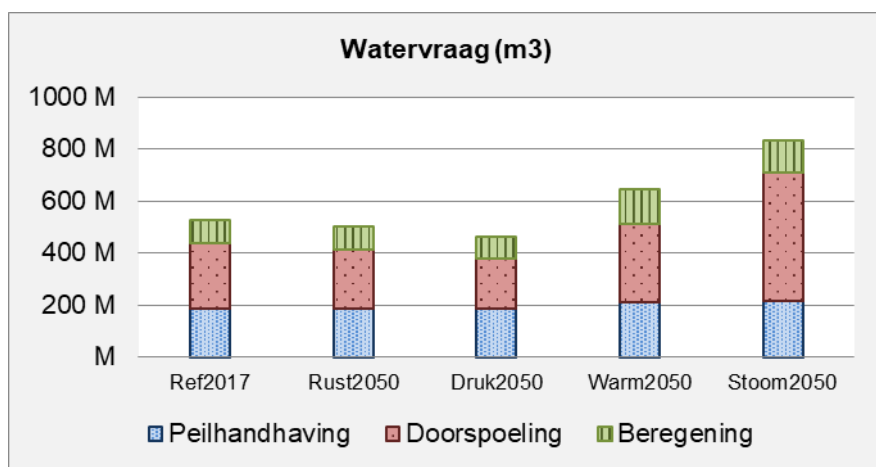
5.2 De vraag naar zoet water

In de huidige situatie is peilbeheer de grootste regionale watervrager. Dit blijft zo naar de toekomst toe, behalve onder Stoom2050 (zie ook Figuur 5.2). In dit scenario is een toename van doorspoeling met 100% aangenomen, waardoor doorspoeling de grootste regionale watervrager wordt.

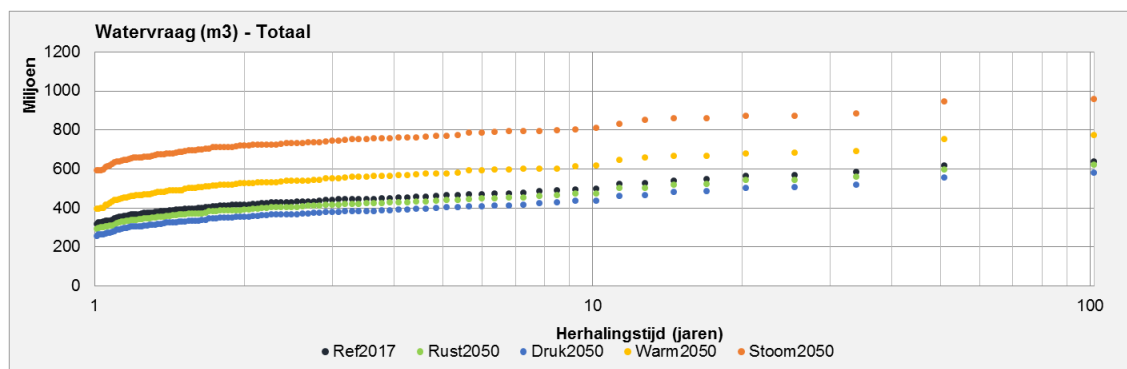
Bij gematigde klimaatverandering neemt het beregeningsareaal in deze regio zo'n 4% toe; bij sterke klimaatverandering neemt het beregend areaal in 2050 naar verwachting toe met 18% (Stoom) tot 32% (Warm) (Tabel 5.1).

Daarnaast verandert op beregende percelen ook de beregeningsfrequentie. Immers, bij drogere omstandigheden is vaker een beregeningsgift nodig om bodemvochttekorten te compenseren.

Dit vertaalt zich in een toename van de vraag naar *grondwater*beregening van ongeveer 25% in Stoom en Warm en een lichte afname in Druk en Rust bij een herhalingsstijd van 20 jaar (Figuur 5.4). In het model wordt uit grondwater gevraagde beregening altijd geleverd. De watervraag voor *oppervlaktewater*beregening verdubbelt in een droog jaar in zowel Stoom2050 als Warm2050 (Figuur 5.5).



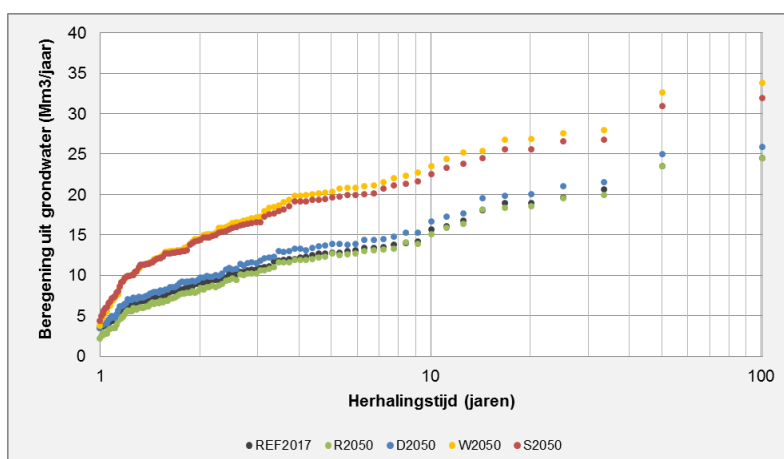
Figuur 5.2 Verdeling oppervlaktewatervraag over de drie gebruikers van het voorzieningsgebied Benedenrivieren in een T=20 jaar



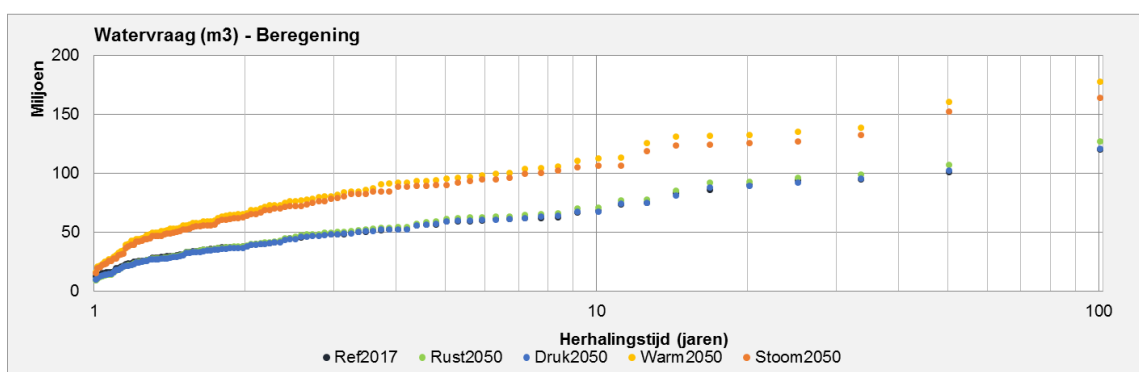
Figuur 5.3 Herhalingsstijd totale oppervlaktewatervraag in het voorzieningsgebied Benedenrivieren in miljoen m³ in het zomerhalfjaar in de Referentie 2017 en de scenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het jaar 2050.

Tabel 5.1 De beregeningsarealen in het benedenrivierengebied bij de verschillende scenario's. De beregeningsarealen zijn opgesplitst in arealen waarin beregend wordt uit grondwater en arealen waarin beregend wordt uit oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	uit	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	uit	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie		9		51	60
Rust		9 (+5%)		52 (+4%)	62 (+4%)
Druk		9 (+5%)		50 (-1%)	60 (+0%)
Warm		12 (+39%)		66 (+31%)	79 (+32%)
Stoom		11 (+25%)		59 (+17%)	70 (+18%)



Figuur 5.4 Herhalingstijd van berekende beregening uit het grondwater in het voorzieningsgebied Benedenrivieren (in miljoen m³) in de verschillende scenario's.



Figuur 5.5 Herhalingstijd van berekende beregening uit het oppervlaktewater in het voorzieningsgebied Benedenrivieren (in miljoen m³) in de verschillende scenario's.

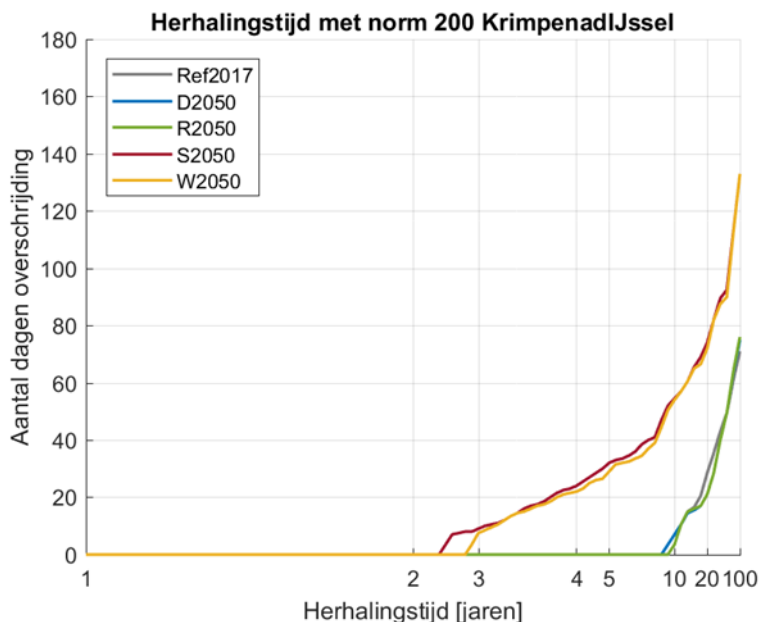
5.3 De beschikbaarheid van zoet water

5.3.1 Klimaatbestendige Wateraanvoer

De watervoorziening van Rijnland, Delfland en Schieland vindt plaats vanuit de Hollandsche IJssel. De Hollandsche IJssel kan verzilten als de monding permanent verzilt is (dat wil zeggen dat zowel bij eb als bij vloed verhoogde chlorideconcentraties optreden), waarna het zoute water langzaam optrekt richting Gouda (dispersief transport).

De Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) is een alternatieve aanvoerroute om periodes van verzilting te overbruggen, waarbij water verder bovenstrooms wordt afgetapt uit de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal.

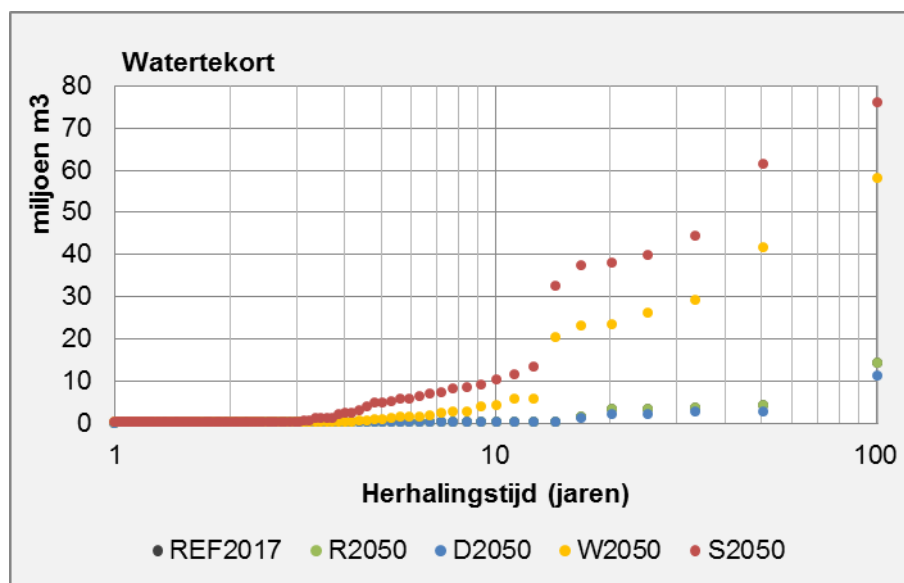
Als gevolg van sterke klimaatverandering (scenario's Warm en Stoom) zal er vaker sprake zijn van langdurig lage afvoer, waardoor de monding van de Hollandsche IJssel en de monding van de Lek vaker kunnen verzilten. Bij Krimpen aan den IJssel treedt er in het huidige klimaat eens in ongeveer 10 jaar langdurige verzilting op in het zomerhalfjaar (minimaal 7 dagen aaneengesloten >200 mg Cl/l), waarbij de KWA moet worden ingezet. In scenario's Warm2050 en Stoom2050 wordt dit gemiddeld eens in de 2 jaar (Figuur 5.6). De duur van verziltingsgebeurtenissen met een herhalingsstijd van 10 jaar neemt onder deze scenario's toe; denk aan maanden verzilting in plaats van enkele weken. Onder Druk en Rust verandert het beeld nauwelijks ten opzichte van de referentie.



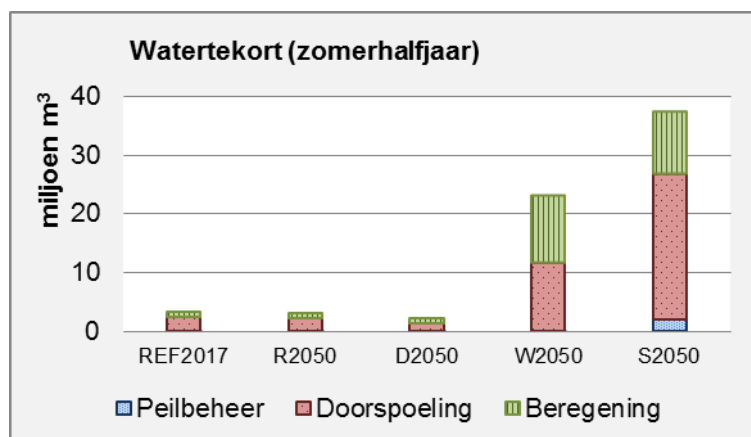
Figuur 5.6 Herhalingsstijden van overschrijdingsduren van zoutconcentraties bij Krimpen aan den IJssel voor referentie en scenario's, berekend over het zomerhalfjaar voor een drempelwaarde van 200 mg/l en aaneengesloten overschrijdingsduur van minimaal 7 dagen.

Bij verzilting van de monding van de Hollandsche IJssel wordt de klimaatbestendige wateraanvoer (KWA) ingezet, waarbij maximaal 15 m³/s via meerdere watergangen kan worden doorgevoerd naar West-Nederland (Rijnland / Delfland / Schieland). De KWA-capaciteit is als maatregel in Deltaprogramma Zoetwater fase 1 uitgebreid naar 15 m³/s (doorvoer richting Rijnland). Het gaat om vergrote capaciteit Doorslagsluis (vanuit Amsterdam-Rijnkanaal) van 7 naar 9,6 m³/s, vergrote capaciteit gemaal Koekoek (vanuit de Lek): van 4,9 naar 8,5 m³/s en inzet Waaiersluis (gekanaliseerde Hollandsche IJssel) met een capaciteit van 4,0 m³/s.

Ondanks de uitbreiding van de KWA-capaciteit treden in deelregio 'Midden-West Nederland-extern verzilt' in Warm2050 en Stoom2050 grote regionale oppervlaktewatertekorten op. Gemiddeld eens in de 15 jaar gaat het om een tekort van meer dan 5% van de vraag (Figuur 5.7). In Druk2050 en Rust2050 verandert het beeld nauwelijks ten opzichte van de referentie.



Figuur 5.7 Frequentieverdeling van het watertekort in deelregio Midden-West Nederland –extern verzilt, berekend over het zomerhalfjaar



Figuur 5.8 Verdeling van watertekort (miljoen m³) over de gebruikers in een T=20 jaar

5.3.2 Volkerak-Zoommeer en Brielse Meer

De watervoorziening van Zuidwest-Nederland vindt voornamelijk plaats uit Hollandsch Diep (inlaat Roode Vaart), Volkerak-Zoommeer en Brielse Meer. Beperkingen in de wateraanvoer kunnen optreden als gevolg van externe verzilting bij lage rivierafvoeren en/of stormopzet op zee, waardoor de inlaatpunten van Brielse Meer en/of Volkerak-Zoommeer tijdelijk kunnen verzilten. Roode Vaart blijft naar verwachting altijd zoet.

Het drie-dimensionale proces van verzilting kan niet goed gemodelleerd worden met het (1-dimensionale) Nationaal Water Model. Een analyse van watertekorten voor deze regio was daarom niet zinnig. Als maat voor mogelijke problemen met de zoetwateraanvoer is in plaats daarvan gekeken naar de frequentie van een doorspoelstop Volkerak-Zoommeer aan de hand van lage Rijnafvoeren.

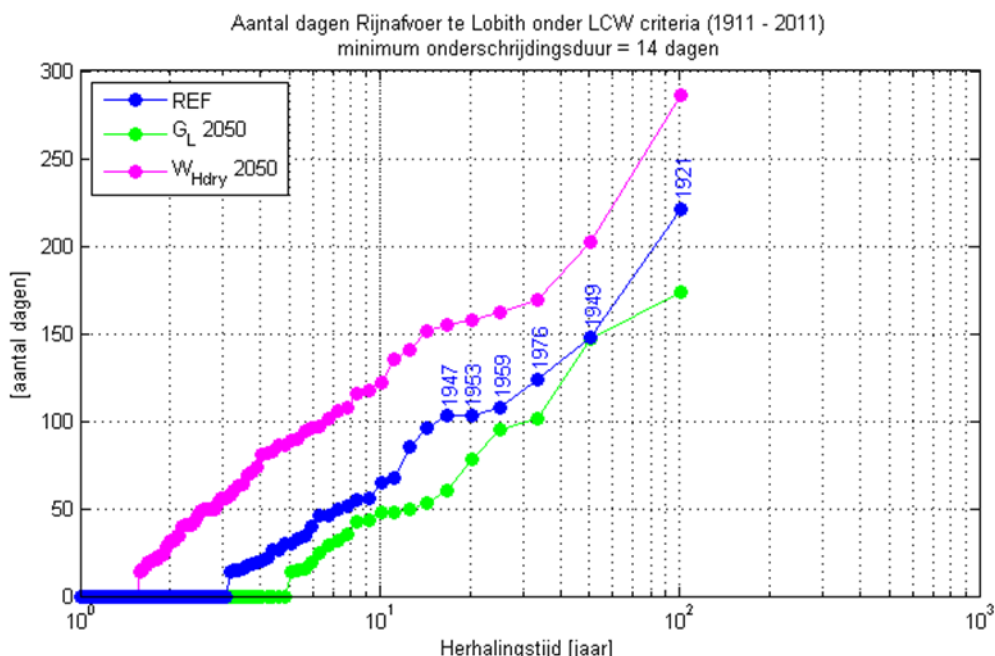
Bij een lage Rijnafvoer bestaat er gevaar voor verzilting van de Hollandsche IJssel. De LCW kan in deze situatie besluiten tot stopzetting van de doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer.

Daarnaast wordt bij dreigende verzilting van de Rijn-Maasmonding in onderling overleg tussen de verschillende waterbeheerders ook zonder tussenkomst van de LCW de doorspoeling van het Volkerak soms gestaakt (mondelinge communicatie RWS Kust & Zee). Bij een Rijnafvoer van minder dan 800 m³/s wordt het doorspoelen sowieso gestaakt (Handboek LCW). De aanname in de analyse is dat doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer gestopt wordt wanneer het LCW-criterium (Tabel 5.2) minimaal twee weken aaneengesloten wordt onderschreden.

De herhalingstijd van de onderschrijdingsduur van het LCW-criterium is weergegeven in Figuur 5.9 voor het referentiescenario en de KNMI'14 scenario's G_L en W_{Hdry} voor zichtjaar 2050. Hieruit blijkt dat een doorspoelstop van meer dan 2 weken onder sterke klimaatverandering vaker voor kan komen: van eens in 3 jaar (Ref2017) naar jaarlijks (Warm en Stoom). Bij matige klimaatverandering neemt de herhalingstijd toe naar 5 jaar.

Tabel 5.2 LCW-criteria voor de Rijnafvoer bij Lobith

Maand	LCW criterium: Rijnafvoer Lobith (m ³ /s)
Januari t/m april	1000
Mei	1400
Juni	1300
Juli	1200
Augustus	1100
September t/m December	1000



Figuur 5.9 Aantal dagen aaneengesloten onderschrijding van het LCW-criterium uitgezet tegen de herhalingstijd voor referentie en KNMI'14 scenario's G_L en W_{Hdry} in zichtjaar 2050

5.4 Knelpunten

De grootste watervragers in het Benedenrivierengebied zijn doorspoeling en beregening. In scenario Stoom neemt de doorspoelvraag verhoudingsgewijs het sterkst toe. In dit scenario is als gevolg van sterke klimaatverandering vaker sprake van lage afvoeren, waardoor de kans op externe verzilting toeneemt. In de scenario's Warm2050 en Stoom2050 zal de

Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA), als gevolg van externe verzilting, vaker moeten worden ingezet: van eens in de 10 naar eens in de 2 jaar. De duur van verziltingsgebeurtenissen met een herhalingsstijd van 10 jaar neemt in deze scenario's toe van weken naar maanden. De capaciteit van de KWA is in 2050 grofweg eens in de 15 jaar niet toereikend voor de grotere watervraag in Warm en Stoom. De grootste watertekorten treden op in scenario Stoom, als gevolg van de grootste toename van de vraag naar doorspoeling. Het tekort dat in het huidige klimaat in een extreem droog jaar optreedt wordt in de toekomst met sterke klimaatverandering eens in de 10 jaar (Stoom) of eens in de 15 jaar (Warm) overschreden.

6 Voorzieningsgebied Bovenrivieren

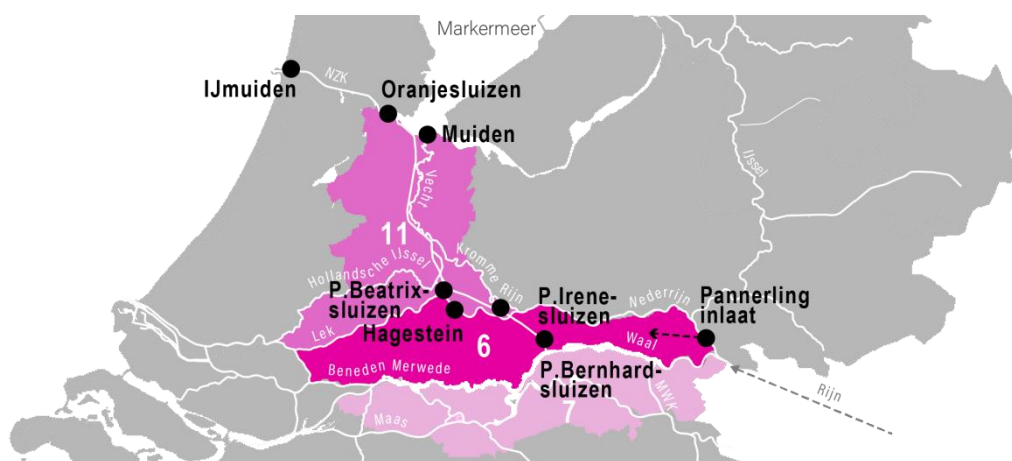
6.1 Systeembeschrijving

Het voorzieningsgebied Bovenrivieren (kortweg: Rivierengebied) (Figuur 6.1) is het peilgestuurde gebied rond de Maas en de Nederrijn-Lek, en het deel van West Nederland dat zoet water vanuit de Hollandsche IJssel en Lek aanvoert.

Deze regio kan worden onderverdeeld in 3 delen:

- Rivierengebied-Zuid. Het zuidelijk deel van het gebied dat voor de wateraanvoer vooral afhankelijk is van de Maas.
- Rivierengebied-Noord. Het noordelijk deel van het gebied dat voor de wateraanvoer vooral afhankelijk is van de Nederrijn/Lek en Pannerdensch kanaal (via inlaat Pannerling).
- Midden West-Nederland. Dat deel van Holland en Utrecht dat niet wordt gevoed met water dat via Gouda wordt ingelaten en dus invloed ondervindt van de externe verzilting van de Rijn-Maasmonding.

Het Rivierengebied-Zuid en Rivierengebied-Noord bevat veel fruitteelt met een grote beregeningsvraag in het voorjaar bij (nacht)vorst. Aan de watervraag voor beregening wordt zowel uit het oppervlaktewater als uit grondwater voorzien. De verdeling tussen grond- en oppervlaktewater is ongeveer 50/50. Het regionale watersysteem wordt niet doorgespoeld. Midden West-Nederland bestaat vooral uit veenweidegebied. De veengronden zijn gevoelig voor bodemdaling. Het landgebruik is grasland, fruitteelt en mais. In het boezem systeem vindt doorspoeling plaats, in de peilgebieden niet.



Figuur 6.1 Voorzieningsgebied Bovenrivieren met onderscheid in de drie deelregio's: Midden-West Nederland – niet extern verzilt (11), Rivierengebied Noord (6) en Rivierengebied Zuid (7).

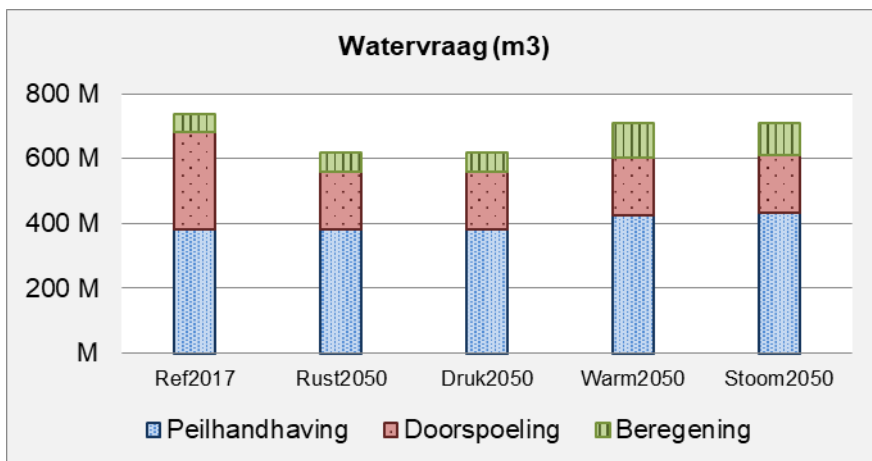
6.2 De vraag naar zoet water

De watervraag van de regio Rivierengebied kan als gevolg van de scenario's sterk toenemen. Voor alle deelgebieden geldt dat de watervraag voor de scenario's Rust en Druk beperkt verandert. De watervraag voor peilbeheer verandert nauwelijks en de watervraag voor beregening stijgt met enkele procenten. Als autonome ontwikkeling is in de Deltascenario's meegenomen dat de vraag voor doorspoeling in deze twee scenario's daalt. In de scenario's Warm en Stoom wordt een grote toename van de watervraag voor peilbeheer en beregening verwacht.

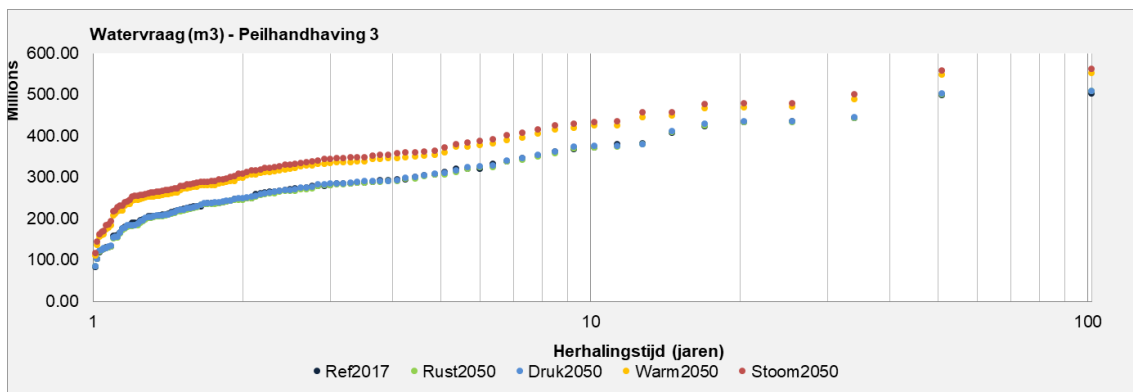
De toename van de watervraag voor peilbeheer wordt veroorzaakt door de grotere verdamping en geringere neerslag terwijl de toename van de watervraag voor beregening mede wordt veroorzaakt door autonome uitbreiding van het potentieel beregend areaal. Dit leidt tot een verdubbeling van de beregeningsvraag uit oppervlaktewater en een toename met factor 1,5 van de beregening uit grondwater. Als autonome ontwikkeling is in de Deltascenario's Warm en Stoom meegenomen dat de vraag voor doorspoeling stijgt met respectievelijk 20 en 100% voor de scenario's Warm en Stoom. Deze toename is echter niet terug te zien in de totale tekorten, omdat de doorspoelvraag voor koelwater voor de centrale Utrecht (ARK) afneemt.

Tabel 6.1 De beregeningsarealen in de het Rivierengebied bij de verschillende scenario's. De beregeningsarealen zijn opgesplitst in arealen waarin beregend wordt uit grondwater en arealen waarin beregend wordt uit oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

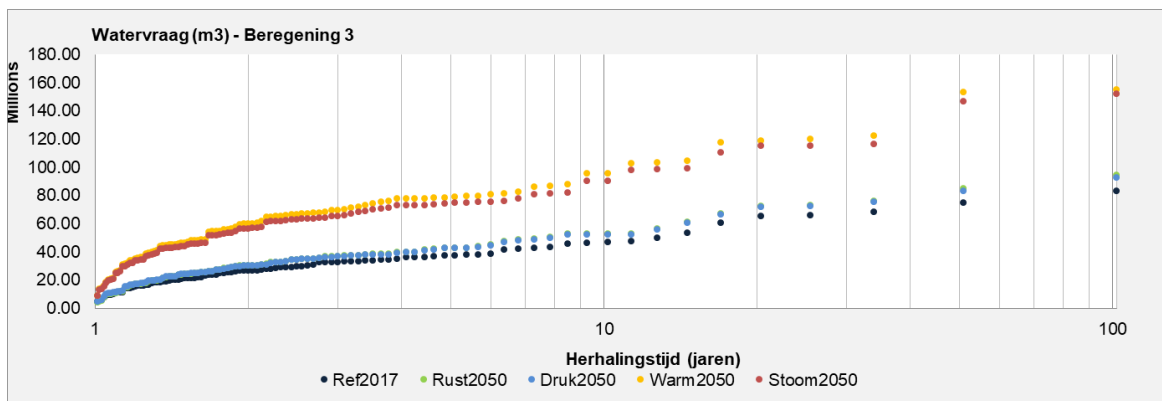
	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie	13	34	47
Rust	14 (+8%)	39 (+16%)	53 (+14%)
Druk	13 (+4%)	38 (+13%)	52 (+10%)
Warm	19 (+53%)	59 (+74%)	79 (+68%)
Stoom	18 (+40%)	55 (+61%)	73 (+55%)



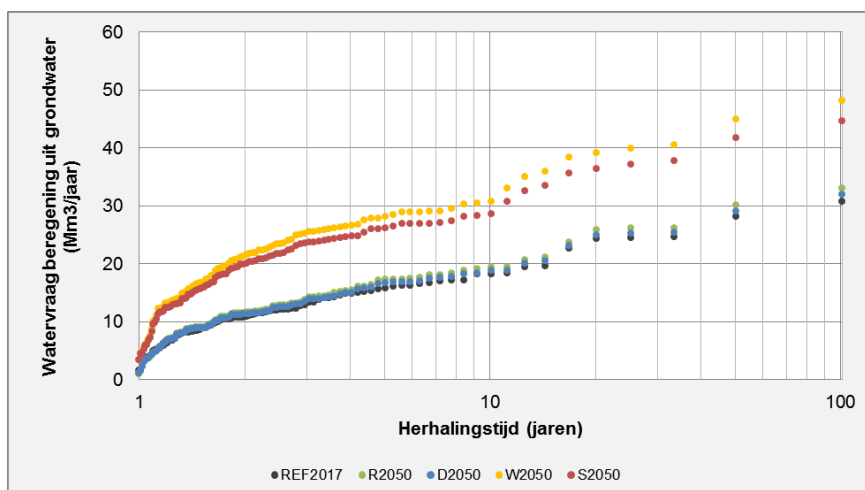
Figuur 6.2 Watervraag aan het oppervlaktewater voor Peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom.



Figuur 6.3 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag peilbeheer voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



Figuur 6.4 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag berekening uit het oppervlaktewater voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



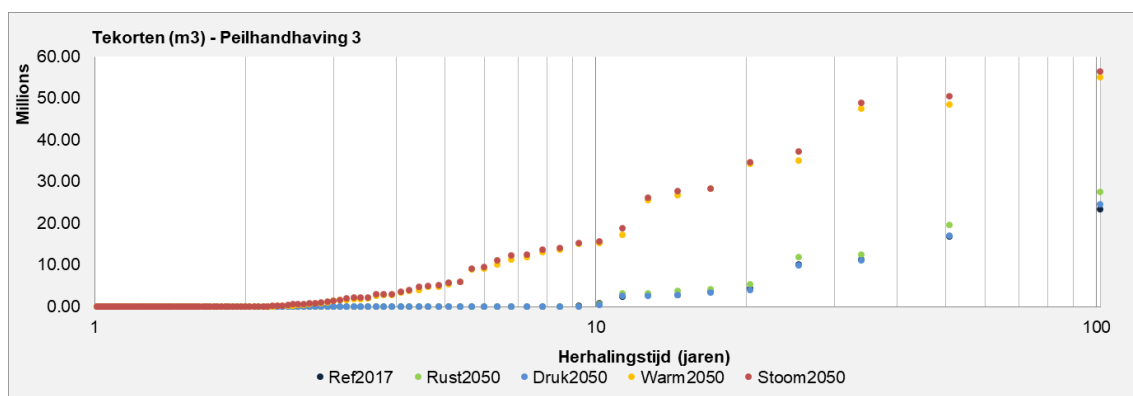
Figuur 6.5 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag berekening uit het grondwater voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

6.3 De beschikbaarheid van water

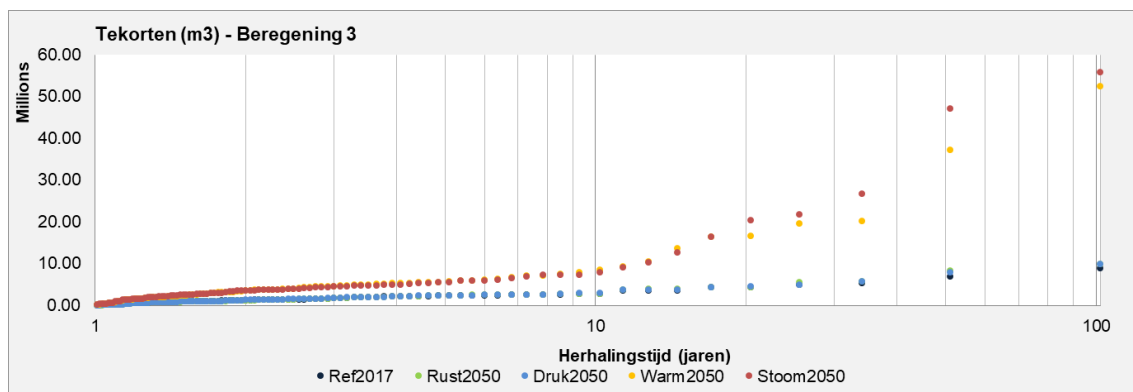
6.3.1 Oppervlaktewatertekort

De verschillende deelgebieden zijn afhankelijk van wateraanvoer vanuit verschillende wateren. Als gevolg van lagere afvoeren in het hoofdwatersysteem en beperkingen in de regionale doorvoercapaciteiten kunnen er tekorten ontstaan. Significante tekorten voor peilbeheer komen met sterke klimaatverandering (Warm en Stoom) voor met een herhalingsstijd van 10 jaar. De totale tekorten bestaan vooral uit een tekort voor peilbeheer in het Noordelijk Rivierengebied en een tekort voor beregening, doorspoeling en peilbeheer in Midden-West Nederland.

Het tekort voor peilbeheer en beregening wordt weergegeven in Figuur 6.6 en Figuur 6.7. De tekorten voor doorspoeling zijn voor de referentie en de scenario's zeer beperkt. Uit de figuren blijkt dat in de huidige situatie en in scenario's Druk en Rust tot een herhalingsstijd van 10 jaar geen tekorten voor peilbeheer bestaan. In de scenario's Warm en Stoom nemen de tekorten toe tot totaal circa 15 Mm³/zomerhalfjaar voor peilbeheer en 8 Mm³/zomerhalfjaar voor beregening uit het oppervlaktewater bij een herhalingsstijd van 10 jaar. Dit is respectievelijk circa 10 en 30% van de totale watervraag in zulke jaren.



Figuur 6.6 Herhalingsstijd (jaren) van het tekort voor peilbeheer voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

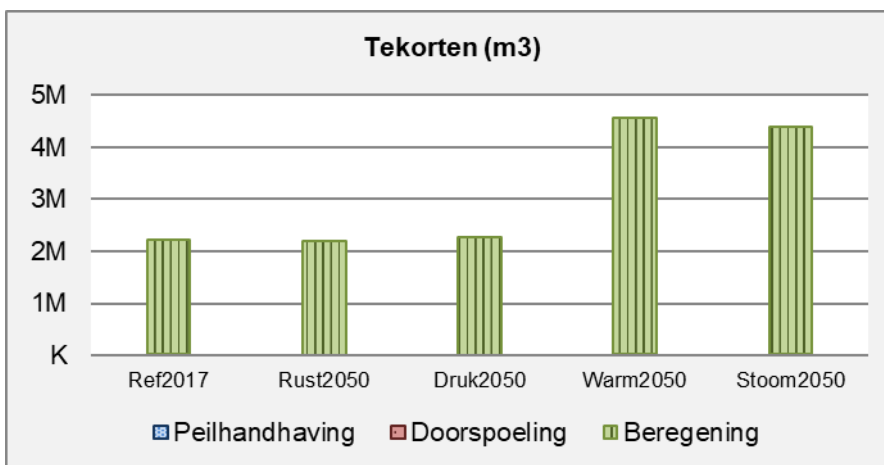


Figuur 6.7 Herhalingsstijd (jaren) van het tekort voor beregening uit het oppervlaktewater voor het Rivierengebied voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

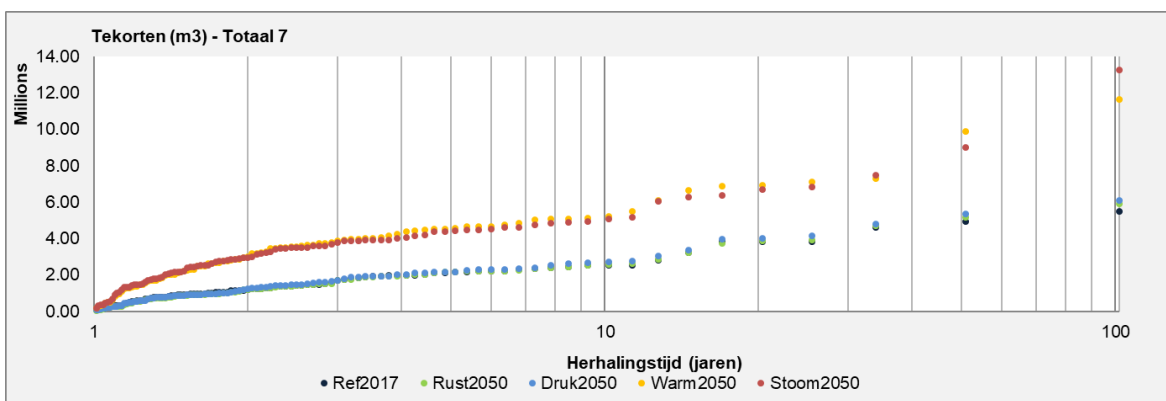
In Rivierengebied-Zuid treden in de huidige situatie zo nu en dan kleine tekorten op voor beregening uit het oppervlaktewater. Deze nemen in de scenario's Warm en Stoom toe met ongeveer een factor 2. Aan de vraag voor peilbeheer kan bijna altijd worden voldaan.

Alleen in extreem droge jaren met een herhalingsjijd groter dan 20 jaar treden er relatief kleine tekorten voor peilbeheer op. Voor de scenario's Druk en Rust wordt geen verandering verwacht.

In de huidige situatie worden de tekorten veroorzaakt door een beperkte inlaatcapaciteit en een beperkte waterbeschikbaarheid in de Maas in het peilgestuurde gebied ten zuiden van de Maas. Als gevolg van de verhoogde watervraag in de scenario's Warm en Stoom kunnen er ook tekorten ontstaan ten noorden van de Maas, zoals in de Bommelerwaard en het Land van Heusden en Altena.



Figuur 6.8 Tekorten voor Rivierengebied-Zuid voor T=10 situatie voor de Referentiesituatie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom.

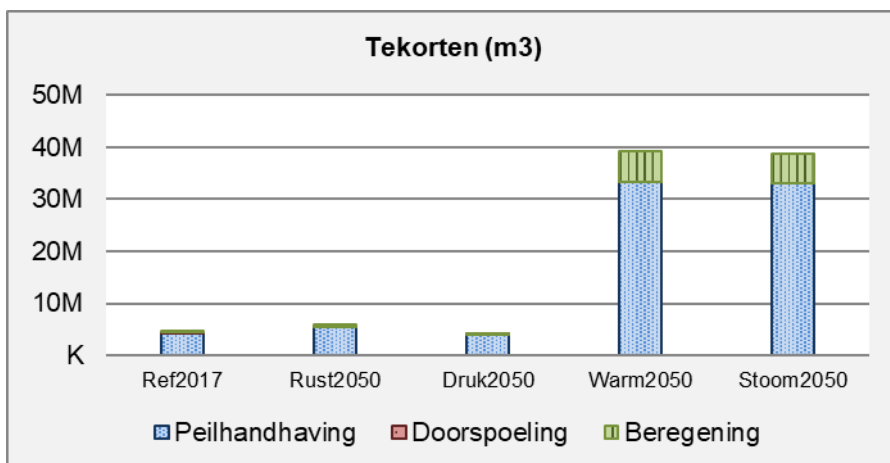


Figuur 6.9 Herhalingsjijd (jaren) van totaal oppervlaktewatertekort in Rivierengebied Zuid.

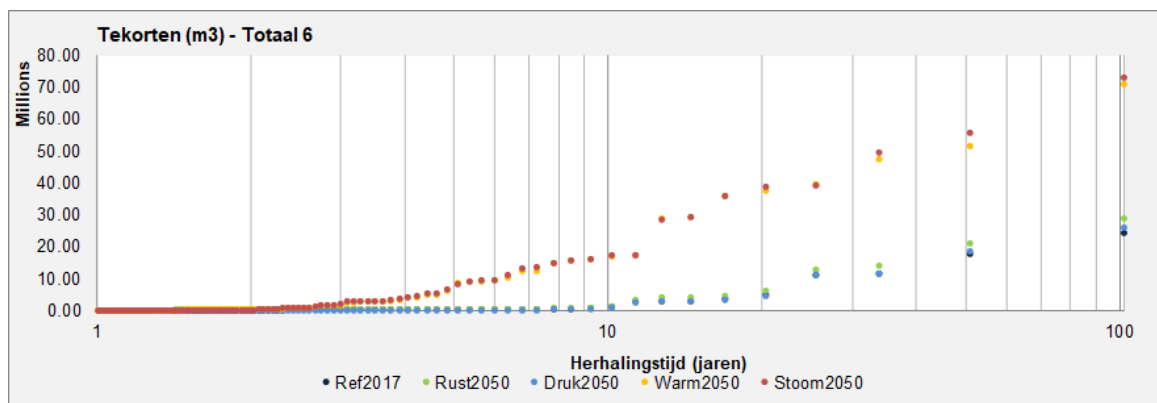
In het Rivierengebied-Noord treden volgens de modelberekeningen ook in de referentiesituatie al tekorten op voor peilbeheer. Deze worden in het model veroorzaakt door een beperking van de inlaat van de Alblasserwaard bij Kinderdijk als gevolg van hoge zoutconcentraties bij de inlaat. Er zal nader onderzoek moeten plaatsvinden of dit een gevolg is van een modelartefact of dat dit in de werkelijkheid ook optreedt. De capaciteit van de overige inlaten zoals Pannerling is voldoende om in de watervraag te kunnen voorzien.

De tekorten in het Rivierengebied-Noord veranderen in de scenario's Rust en Druk nauwelijks. Voor de scenario's Warm en Stoom wordt wel een toename van de tekorten berekend.

In de referentiesituatie traden er geen tekorten op tot een herhalingsstijd van 10 jaar. Voor de scenario's Warm en Stoom worden tekorten berekend vanaf een herhalingsstijd van circa 3 jaar. Deze toename van de tekorten worden veroorzaakt door een beperkte inlaat als gevolg van een te lage waterbeschikbaarheid in de Nederrijn/Lek. De inlaatcapaciteiten zelf veroorzaken geen beperkingen.



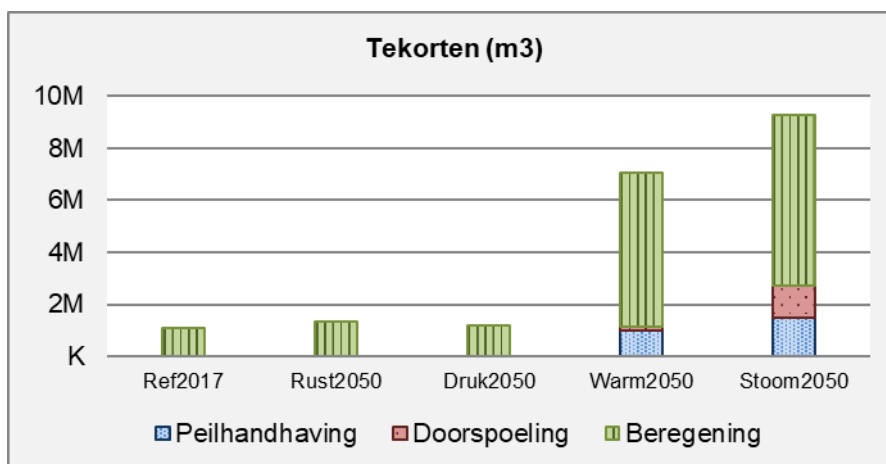
Figuur 6.10 Oppervlaktewatertekort in Rivierengebied-Noord een T=20 jaar situatie voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom.



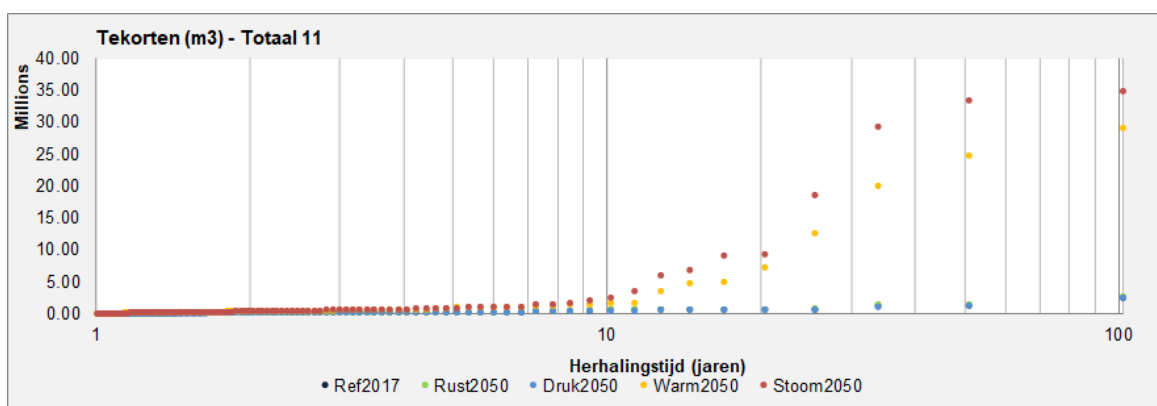
Figuur 6.11 Herhalingstijd (jaren) voor totaal tekort oppervlaktewater voor Rivierengebied Noord (niet extern verzilt).

In het gebied Midden West Nederland kan in de referentiesituatie bijna altijd voorzien worden in de watervraag voor peilbeheer, beregening en doorspoeling. Wel kan er in de Krimpenerwaard een inlaatbeperking optreden vanwege hoge zoutconcentraties in de Lek en kunnen er tekorten ontstaan in het district Leidse Rijn als gevolg van te kleine inlaatcapaciteiten.

In de scenario's Warm en Stoom ontstaan er door de toenemende vraag tekorten in bijna het hele gebied. De tekorten zijn een gevolg van beperkte inlaatcapaciteiten aan de Leidsche Rijn en het ARK, te weinig water in de Lek en het ARK en te hoge zoutconcentraties in de Lek (bv. Krimpenerwaard). Deze tekorten treffen als eerste beregening uit het oppervlaktewater.



Figuur 6.12 Tekorten voor Midden-West Nederland (niet extern verzilt) voor een $T=10$ situatie voor de Referentie situatie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom.

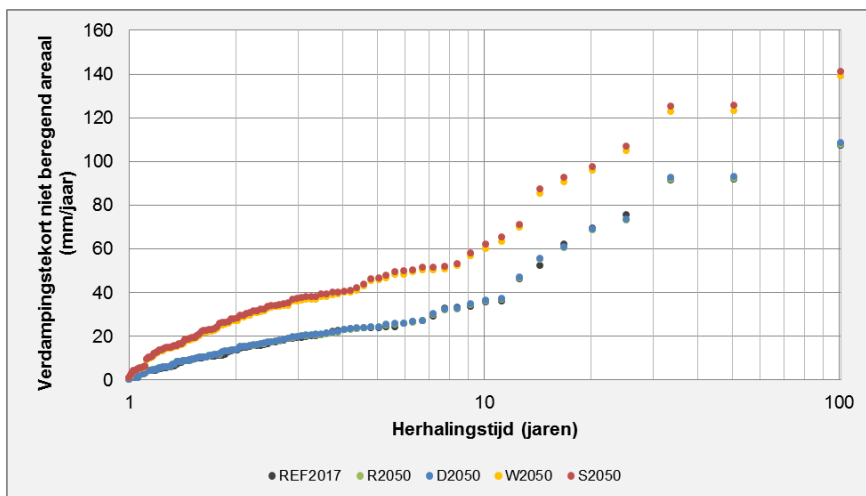


Figuur 6.13 Herhalingstijd (jaren) van totaal tekort oppervlaktewater voor Midden-West Nederland (niet extern verzilt).

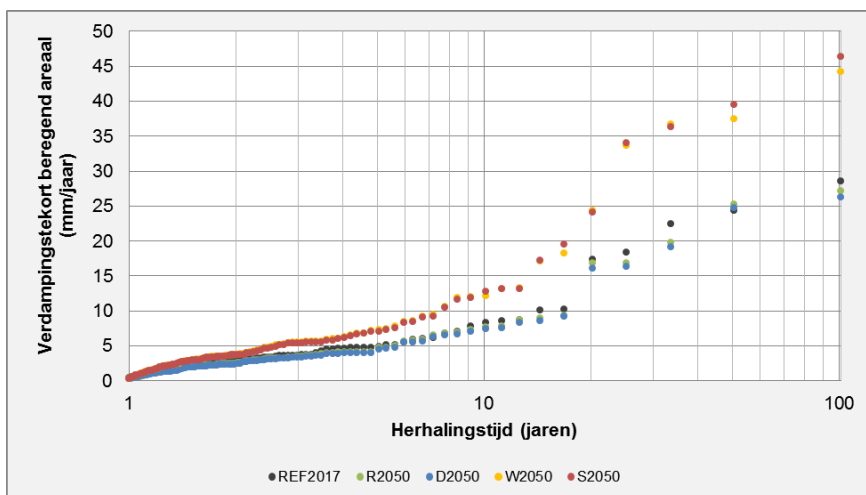
Bij de analyse van de regionale watertekorten is nog geen rekening gehouden met de invloed van te lage rivierstanden op de inlaatcapaciteit. Hierdoor kunnen de berekende tekorten hoger uitvallen.

6.3.2 Verdampingstekort

In Figuur 6.14 is de herhalingstijd van het verdampingstekort weergegeven. Voor de scenario's Druk en Rust wordt geen grote verandering van het verdampingstekort verwacht. Dit komt overeen met de verschillen tussen het klimaat in de referentiesituatie en het klimaat in de scenario's. Het verdampingstekort neemt in de scenario's Warm en Stoom toe. Bij een herhalingstijd van 10 jaar neemt het verdampingstekort toe met circa 60%. Bij een herhalingstijd van 20 en 50 jaar neemt het verdampingstekort toe met 30%. Een toename van het verdampingstekort betekent dat de droogteschade in de landbouw kan toenemen.



Figuur 6.14 Herhalingsjiden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor de niet-beregende percelen regio Rivierengebied.



Figuur 6.15 Herhalingsjiden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor de potentieel beregende percelen regio Rivierengebied.

6.3.3 Grondwater en polderafvoer

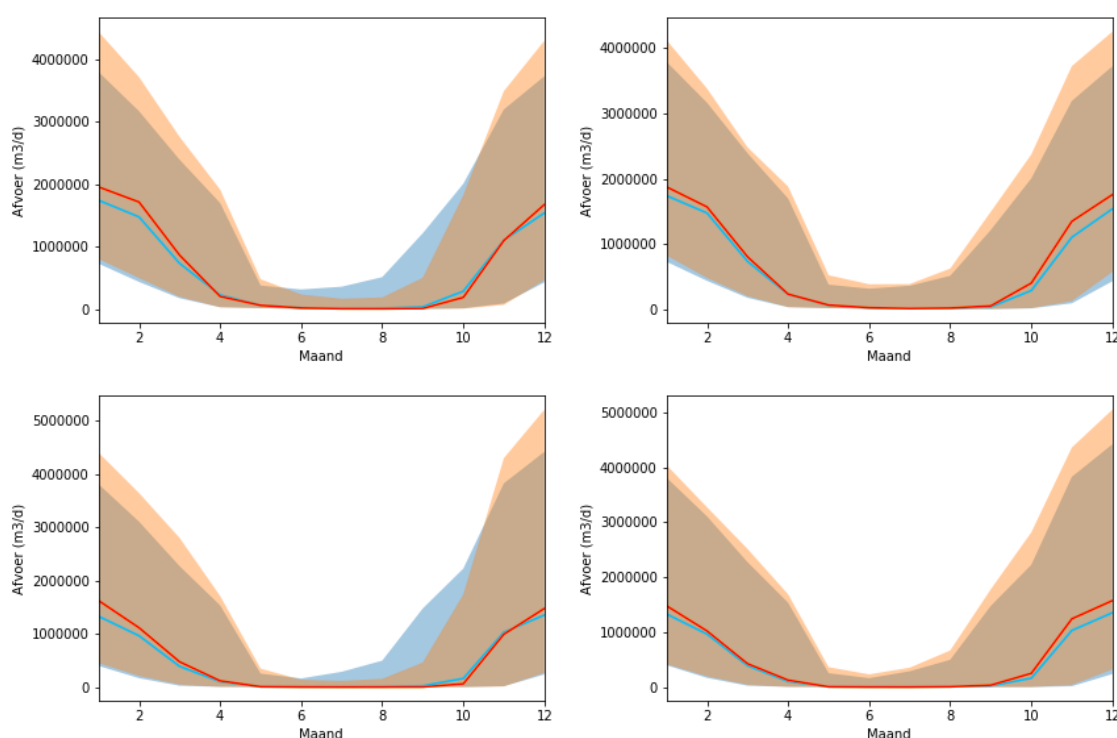
Het landelijke beeld van grondwaterveranderingen is besproken in Hoofdstuk 3. Rond de grote rivieren Nederrijn, Lek, Waal en de Maas is een stijging van de GHG's en GLG's rond de grote rivieren mogelijk als gevolg van hogere rivierwaterstanden in de winter. Deze stijging zorgt ook voor grotere kwelfluxen in de binnendijkse gebied. Verder worden geen grote veranderingen in de grondwaterstanden verwacht.

In de scenario's Warm en Stoom is ook een stijging van de GHG rond de grote rivieren te verwachten. De GLG kan in deze scenario's echter dalen, met de grootste daling nabij de grote rivieren. Ook in de peilgestuurde gebieden kan een daling van de GLG's optreden.

De polderwateren in Midden-West Nederland draineren het grondwater en vangen het kwelwater af. Dit water kan vervolgens gebruikt worden voor de verschillende gebruiksfuncties en wordt in de winter afgevoerd naar de grote rivieren. Het effect de Deltascenario's Stoom en

Rust op lokale polderafvoer van Vijfheerenlanden en de Krimpenerwaard is weergegeven in Figuur 6.16.

De scenario's met gematigde klimaatverandering (Druk, Rust) wijken in de zomer weinig af van de huidige situatie, en laten iets hogere winterafvoeren zien. Ook is de variabiliteit in afvoeren in de winter hoger. De scenario's met sterke klimaatverandering (Warm, Stoom) laten 's winters eenzelfde beeld zien, waarbij zowel de afvoer als de variabiliteit groter zijn dan bij de gematigde scenario's. In de zomer is daarbij sprake van een afname van de afvoer. De mediane afvoer blijft hierbij min of meer gelijk (immers, die is ook in de referentiesituatie al nul), maar de spreiding is sterk afgenomen: er komen minder jaren voor waarbij zomers de sloten niet droogvallen.



Figuur 6.16 Links: de mediane lokale afvoer (lijnen) in Deltascenario Stoom (rood) en huidig (blauw) uit de Vijfheerenlanden (boven) en de Krimpenerwaard (onder). Het gearceerde gebied geeft de gehele bandbreedte van afvoeren weer voor huidig (lichtblauw) en Stoom (oranje), grijs waar beide gebieden overlappen. Rechts: idem, waarbij in rood Deltascenario Rust is weergegeven.

6.4 Knelpunten

In het Rivierengebied spelen de volgende knelpunten met betrekking tot zoetwatervoorziening:

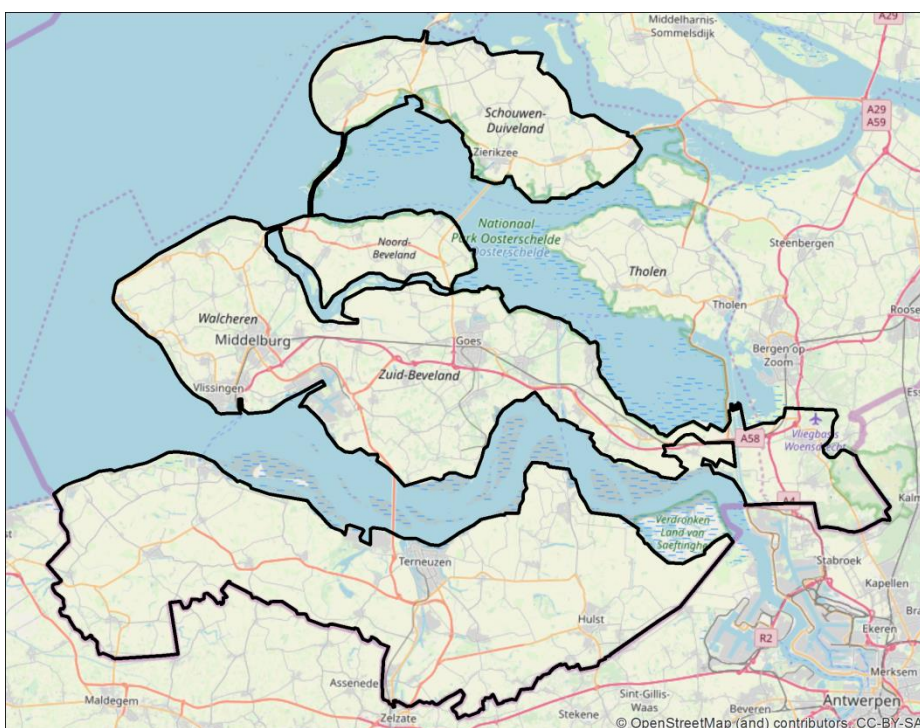
1. Als gevolg van klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen neemt de watervraag van de regio Rivierengebied aan het hoofdwatersysteem toe. Hierdoor wordt er in de scenario's Warm en Stoom meer water vanuit het hoofdwatersysteem ingelaten dan in de referentie.
2. Door de grotere watervraag en beperkingen in de regionale doorvoercapaciteiten kunnen de tekorten in de regio toenemen. De scenario's Rust en Druk geven wat betreft watervraag en tekorten een vergelijkbaar beeld als de referentie. In de scenario's Warm en Stoom ontstaan voor de deelgebieden Rivierengebied-Zuid en Noord wel grotere tekorten.

3. In de referentie worden de grootste tekorten berekend voor deelgebied Rivierengebied-Noord. Dit tekort wordt in het model veroorzaakt door inlaatbeperkingen in de Alblasserwaard als gevolg van hoge zoutconcentraties in de Lek. Als gevolg van de scenario's Warm en Stoom wordt dit knelpunt groter waardoor de tekorten met een factor 2 toenemen. In de praktijk wordt dit inlaatpunt vermoedelijk verplaatst, waardoor dit knelpunten niet meer optreedt.
4. In het deelgebied Midden-West Nederland nemen in de scenario's Warm en Stoom de tekorten toe. In de referentiesituatie zijn er zeer beperkte tekorten, maar in de scenario's Warm en Stoom treden vanaf een herhalingstijd van 10 jaar significante tekorten op. Deze tekorten worden waarschijnlijk veroorzaakt door beperkte capaciteit van regionale inlaten.
5. De klimaatveranderingen en de extra onttrekkingen uit het grondwater ten behoeve van drinkwater, industrie en landbouw zorgen voor een verlaging van de (na)zomergrondwaterstanden (GLG) in de scenario's Warm en Stoom. Deze daling geeft een extra risico op bodemdaling.
6. De Lek en de daarlangs gelegen drinkwaterinnamepunten zullen in de scenario's Warm en Stoom vaker verder verzilten door de geringere rivierafvoeren in de zomer. Dit wordt verder besproken in Hoofdstuk 9.

7 Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer

7.1 Systeembeschrijving

Het gebied 'Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer' beslaat het grootste gedeelte van de Provincie Zeeland, uitgezonderd de gebieden waar oppervlaktewater kan worden aangevoerd (Tholen, St. Philipsland, Reigersbergsche polder), evenals een klein stukje van de provincie Noord-Brabant, rondom Hoogerheide (Figuur 7.1).



Figuur 7.1 Deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer

Het gebied is grotendeels agrarisch in gebruik (70% akkerbouw, 5% fruitteelt, 25% overig). Op de meer zandige gronden, de kreekruigen, vindt veelal groente- en fruitteelt plaats, de kleiige gronden kennen meer akkerbouw en veeteelt.

De Zeeuwse (schier)eilanden worden omgeven door zout danwel brak oppervlaktewater. Mogelijkheden om direct zoet oppervlaktewater in te laten zijn er in het gebied niet. Sinds 1992 voorziet Evides via de 'landbouwwaterleiding' met name fruitteelters in Zuid-Beveland van zoet water dat wordt aangevoerd vanuit de Biesbosch. Vanuit Vlaanderen is wel sprake van enige aanvoer van zoet water naar Zeeuws-Vlaanderen. Ook het grondwater is op geringe diepte al veelal zout (Van Baaren et al., 2018). In de kleigronden is vaak maar een dunne regenwaterlens van een à twee meter aanwezig boven het zoute grondwater (De Louw et al., 2013). In de zandige kreekruigen hebben zich zoetwatervoorraden gevormd van zo'n tien tot enkele tientallen meters diep (Van Baaren et al., 2018). Alleen uit de diepere zoetwatervoorraden onder kreekruigen mag grondwater worden onttrokken voor beregening.

In het rekeninstrumentarium vragen de specifieke kenmerken van de Zeeuwse eilanden voor een maatwerk aanpak.

De Zeeuwse eilanden worden door hun hydrologische kenmerken als polders gemodelleerd, waarbij tekorten worden berekend als een theoretisch streefpeil niet kan worden gehaald.

Dit is niet realistisch. Ook de wateraanvoer via de landbouwwaterleiding is niet in het rekeninstrumentarium opgenomen. Dit uit zich in berekende tekorten voor beregeningswater en potentiële schade aan gewassen die in werkelijkheid niet optreden. In plaats van een analyse van oppervlaktewatertekorten is voor dit gebied daarom de waterbalans en zoutbalans in de wortelzone geanalyseerd.

7.2 De vraag naar zoet water

7.2.1 Landbouw

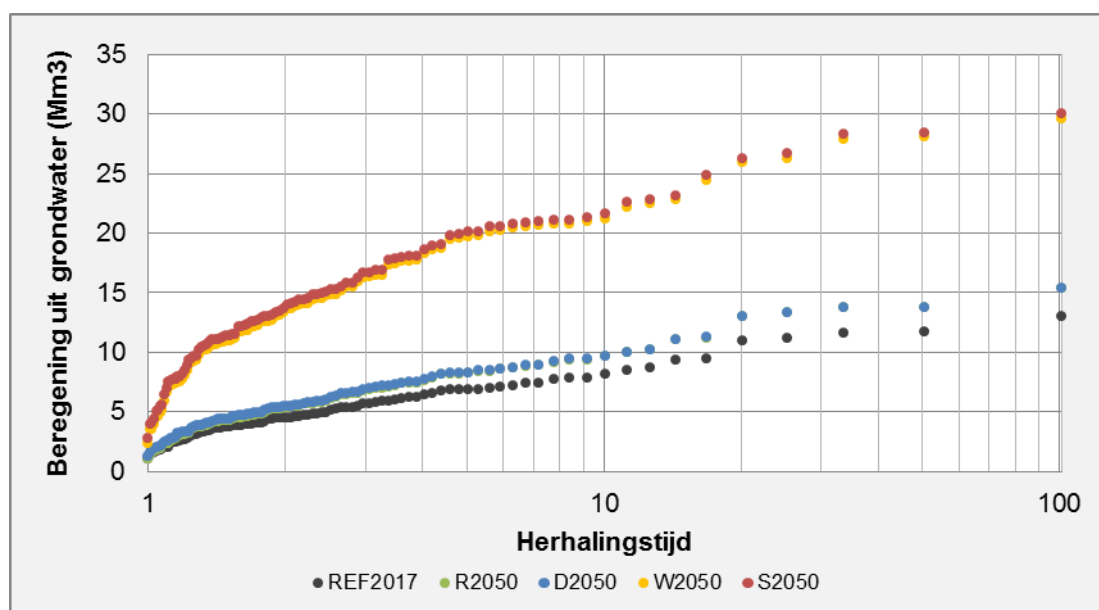
Het landbouwareaal in de 'Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer' neemt in Deltascenario's Druk en Stoom iets af (respectievelijk 2% en 4%), in de andere scenario's blijft het landbouwareaal gelijk. Ook de verdeling over verschillende landbouwgewassen blijft min of meer gelijk in de scenario's.

In de Deltascenario's is voor heel Nederland een veronderstelde autonome toename van het beregeningsareaal opgenomen. Het beregeningsareaal wordt verondersteld toe te nemen in reactie op veranderingen in landgebruik en de potentieel grotere gewasderving als gevolg van droogte. Hierbij is geen rekening gehouden met vigerend beleid om beregening te reguleren. Bij gematigde klimaatverandering wordt verondersteld dat het beregeningsareaal in de Zuidwestelijke Delta zo'n 15% toeneemt, bij sterke klimaatverandering dat het beregeningsareaal ruim verdubbelt. Daarnaast verandert op beregende percelen ook de beregeningsfrequentie. Immers, bij drogere omstandigheden is vaker beregening nodig om bodemvochttekorten te compenseren.

Dit vertaalt zich in een gemiddeld bijna verdriedubbeling van de watervraag voor beregening in de scenario's met sterke klimaatverandering, en een toename van 20% in Rust en Druk. Opvallend is wel dat de 1 op 100 jaar watervraag voor beregening 'slechts' verdubbelt in Warm en Stoom. Dit komt omdat in de meest extreme situatie in het huidige klimaat al maximaal beregend wordt; alleen de toename in beregeningsareaal in de scenario's draagt dan bij aan de grotere watervraag. Voor oppervlaktewaterberegening zal een soortgelijke vraagontwikkeling gelden.

Tabel 7.1 De beregeningsarealen in de Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer bij de verschillende scenario's. De beregeningsarealen zijn opgesplitst in arealen waarin beregend wordt uit grondwater en arealen waarin beregend wordt uit oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de percentuele wijzigingen in beregeningsarealen weergegeven ten opzichte van huidig klimaat.

	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie	5	10	14
Rust	5 (+18%)	11 (+15%)	17 (+16%)
Druk	5 (+17%)	11 (+15%)	17 (+16%)
Warm	10 (+128%)	20 (+109%)	31 (+115%)
Stoom	10 (+127%)	20 (+108%)	31 (+115%)



Figuur 7.2 Herhalingstijd van berekende beregning uit het grondwater (in Mm³) voor de verschillende scenario's.

7.2.2 Drinkwater

In de duinen bij Schouwen wordt drinkwater gewonnen door Evides. Hiertoe wordt Haringvlietwater in de duinen geïnfiltreerd en na minimaal 30 dagen weer onttrokken. Deze watervraag heeft daarmee geen invloed op de grondwatersituatie in het gebied³. De watervraag aan het Haringvliet valt buiten de analyse voor dit deelgebied.

7.3 De beschikbaarheid van zoet water

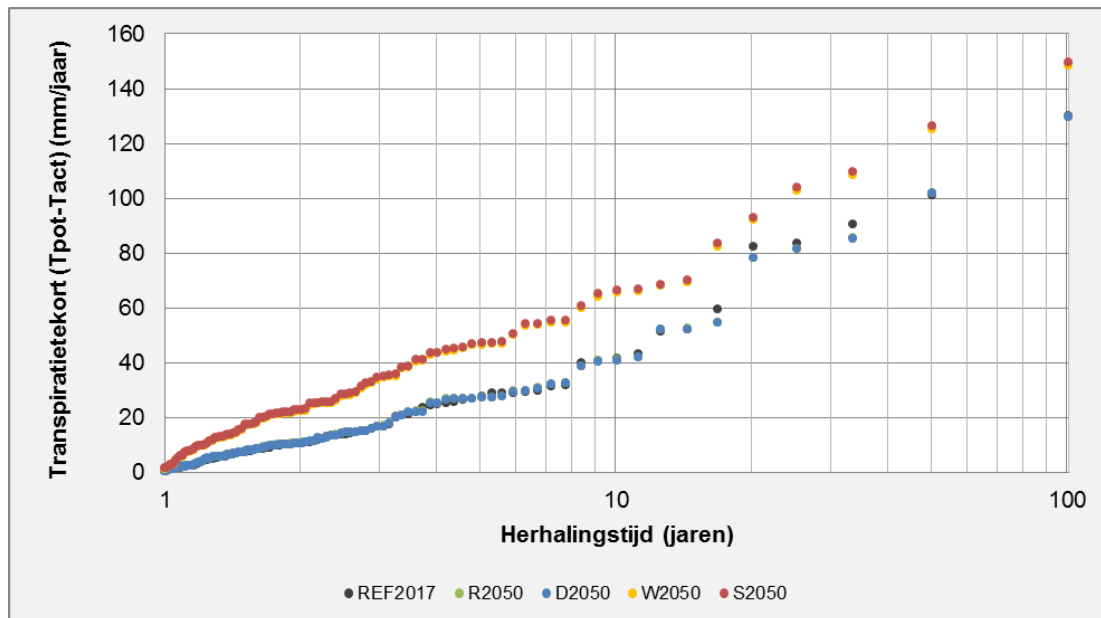
7.3.1 Verdampingstekort

In de Zuidwestelijke Delta zonder aanvoermogelijkheden is de voornaamste bron van water de lokale neerslag. Voor dit gebied geldt dat het neerslagtekort – door de ligging aan zee – gemiddeld groter is dan het landelijk gemiddelde. Zo is het jaarlijks neerslagoverschot in Vlissingen zo'n 150 mm kleiner dan in De Bilt (www.klimaatatlas.nl).

Het gewasverdampingstekort is de mate waarin gewassen minder verdampen door een tekort aan vocht, of door een teveel aan zout in de wortelzone. Het gewasverdampingstekort is een maat voor de potentiële droogte- en zoutschade aan gewassen. Figuur 7.3 geeft de berekende herhalingstijden van dit tekort voor de verschillende scenario's. Hierbij is het verdampingstekort gemiddeld over het hele deelgebied, en komt bijvoorbeeld uitbreiding van beregning impliciet tot uiting als een kleiner berekend tekort. Uit Figuur 7.3 blijkt het verschil tussen gematigde en sterke klimaatverandering, waarbij de Deltascenario's met gematigde klimaatverandering (Rust, Druk) weinig veranderingen laten zien ten opzichte van de referentie (Ref2017). In de scenario's met sterke klimaatverandering (Warm, Stoom) daarentegen neemt het gewasverdampingstekort sterk toe. In de nattere jaren verdubbelt het gewasverdampingstekort grofweg, voor de drogere jaren lijkt er sprake van een absolute toename van zo'n 25 à 30 mm ten opzichte van de referentie.

³ In de NWM-berekeningen is de drinkwaterwinning uitgebreid in Deltascenario Stoom, zonder rekening te houden met gelijk toenemende infiltratie. Resultaten laten daarom – foutief – een dalende grondwaterstand zien.

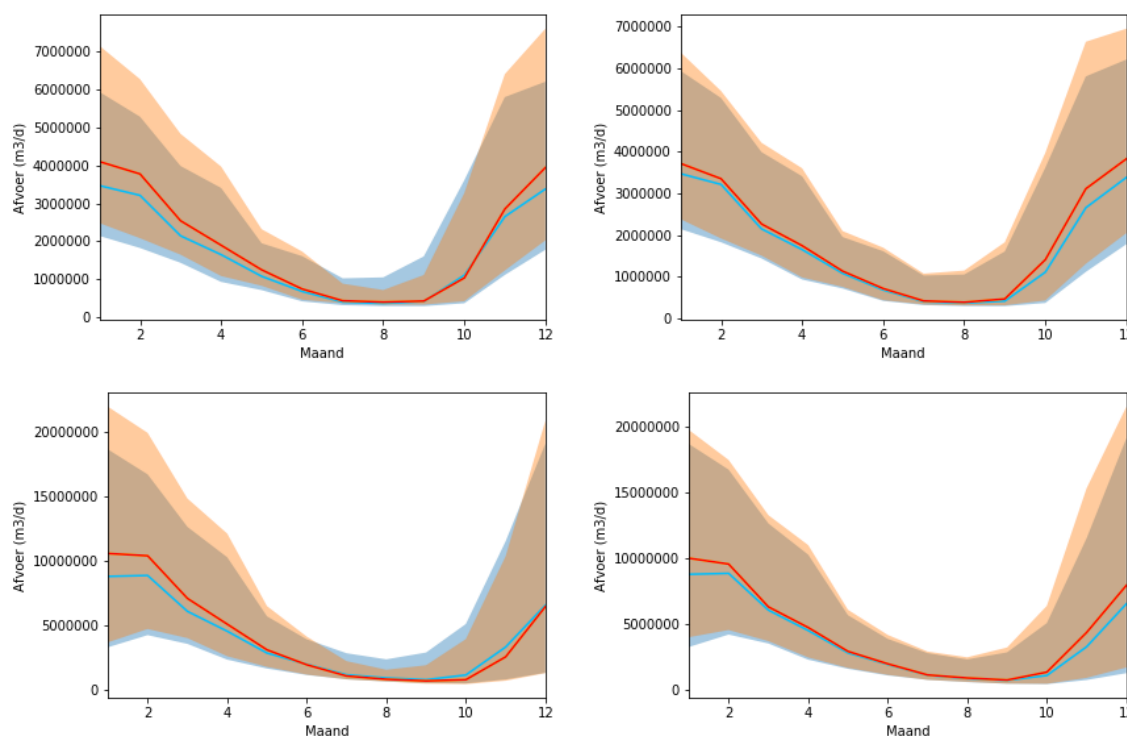
De situatie die nu gemiddeld eens in de 10 jaar optreedt, wordt in de scenario's Warm en Stoom bijna een gemiddelde situatie (vaker dan 1 op 4 jaar).



Figuur 7.3 Cumulatief jaarlijks gewasverdampingstekort (mm/jaar) voor de referentie (Ref2017) en de verschillende Deltascenario's, gemiddeld over het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder wateraanvoer.

7.3.2 Afvoer polders

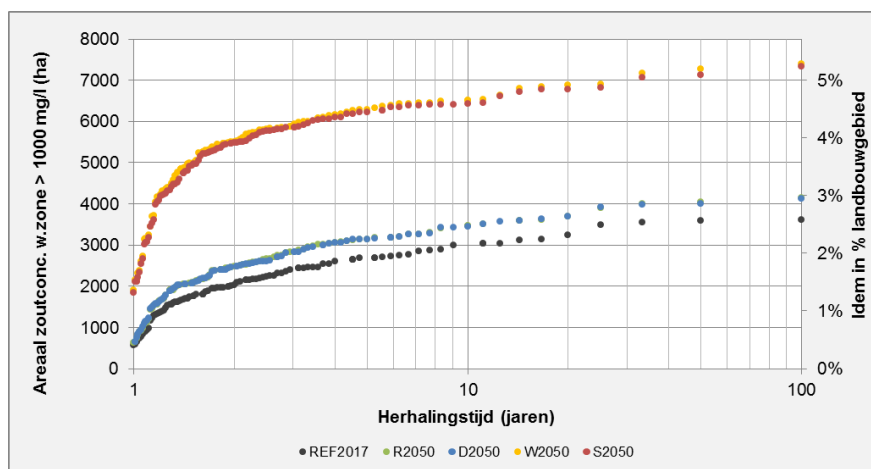
Naar de polders in dit deelgebied kan 's zomers geen water worden aangevoerd. In veel zomers neemt de afvoer uit de polders dan ook sterk af of stopt geheel. Veel van de sloten vallen dan droog. In de huidige situatie (Ref2017) is dit al vaak het geval: de mediane afvoer in Ref2017 is in augustus en september nul (Figuur 7.4). In de Deltascenario's laten de verschillende klimaatscenario's een wisselend beeld zien. De scenario's met gematigde klimaatverandering (Druk, Rust) wijken in de zomer weinig af van de huidige situatie, en laten iets hogere winterafvoeren zien. Ook is de variabiliteit in afvoeren in de winter hoger. De scenario's met sterke klimaatverandering (Warm, Stoom) laten 's winters eenzelfde beeld zien, waarbij zowel de afvoer als de variabiliteit hoger zijn dan bij de gematigde scenario's. In de zomer is daarbij sprake van een geringere afvoer. De mediane afvoer blijft hierbij min of meer gelijk (immers, die is ook in de referentiesituatie al nul), maar de spreiding is sterk afgenomen: er komen meer jaren voor waarbij 's zomers de sloten droogvallen.



Figuur 7.4 Links: de mediane afvoer (lijnen) in Deltascenario Stoom (rood) en huidig (blauw) voor Schouwen (boven) en Zeeuws-Vlaanderen. Het gearceerde gebied geeft de gehele verdeling van afvoeren weer voor huidig (lichtblauw) en Stoom (oranje), grijs waar beide gebieden overlappen. Rechts: idem, waarbij in rood Deltascenario Rust is weergegeven.

7.3.3 Regenwaterlenzen

In de kleigebieden van de Zuidwestelijke delta zonder aanvoer is de landbouw afhankelijk van dunne regenwaterlenzen. In droge jaren wordt deze natuurlijke waterbuffer aangesproken en kan deze worden uitgeput. Het onderliggende zoute grondwater komt dan in de wortelzone en er kan zoutschade optreden aan de gewassen. Als maat hiervoor hanteren we in Figuur 7.5 het areaal waar in de wortelzone - gedurende het zomerhalfjaar - een zoutconcentratie optreedt die hoger is dan 1000 mg/l. Ter referentie is dit areaal ook uitgezet als percentage van het totale landbouwareaal in Zeeland, dat is zo'n 140.000 ha. In de referentie treedt deze overschrijding eens in de tien jaar voor zo'n 3000 ha op, met een herhalingsstijd van 100 jaar is dit zo'n 3600 ha, of 2.5 % van het landbouwareaal. Afhankelijk van het klimaatscenario (de twee sociaaleconomisch varianten ontlopen elkaar weinig) neemt dit areaal met zo'n 15 % toe (Druk en Rust), of het wordt ruim verdubbeld (Warm, Stoom). Op zo'n 500 ha (referentie, Druk, Rust) tot 2000 ha (Warm, Stoom) is bijna ieder jaar sprake van zout in de wortelzone; deze percelen zijn daarmee niet geschikt voor gangbare - zoetwaterafhankelijke - landbouw. Verschillen tussen de gematigde scenario's (Rust, Druk) en de referentie (Ref2017) treden vooral op langs de oevers van de zeearmen, waar de zoute kwel toeneemt als gevolg van zeespiegelstijging.

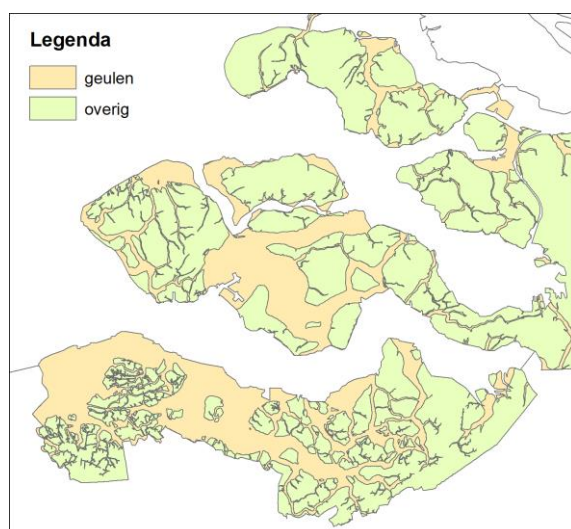


Figuur 7.5 Herhalingstijd van het areaal (links in hectares, rechts in %) waarin in de wortelzone een zoutconcentratie van 1000 mg/l wordt overschreden.

7.3.4 Zoetwatervoorraden in kreekruggen

Door de beperkingen in het rekeninstrumentarium is uit de rekenresultaten niet direct af te leiden of zoetwatervoorraden onder de kreekruggen onder druk staan. Er is daarom gekeken naar de verandering van de langjarig gemiddelde grondwaterstanden, gemiddeld over de kreekruggen. Er is een verband tussen de opbolling van de grondwaterstand en de dikte van de onderliggende zoetwaterlens, afhankelijk van het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water. Volgens deze relatie is de dikte van de zoetwaterlens ongeveer 40 keer de opbolling van de grondwaterstand (met sterke lokale variatie, onder meer door de aanwezigheid van storende kleilagen). Zoetwaterlenzen reageren slechts langzaam op veranderingen (De Louw et al., 2013), daarom kijken we hier naar de langjarig gemiddelde grondwaterstand. Voor de verschillende Deltascenario's is de gemiddelde grondwaterstandsverandering over een periode van 100 jaar berekend ter plaatse van de kreekruggen (Figuur 7.6). De scenario's Druk en Rust laten een stijging zien van de grondwaterstand met ongeveer 15 mm (mediane waarde), wat in theorie een mediane toename van de zoetwaterlens met 60 cm betekent. In de scenario's Warm en Stoom is juist sprake van een daling van de langjarig mediane grondwaterstand van zo'n 3,5 mm, met potentieel een mediane afname van de zoetwaterlens van ongeveer 1,4 m tot gevolg (Tabel 7.2).

Grondwaterstandsveranderingen in deze kreekruggen reageren anders dan de grondwaterstandsveranderingen in de duingebieden van Zeeland. Hier gaat de gemiddelde grondwaterstand in alle scenario's omhoog, doordat het toegenomen winterse neerslagoverschot in de duinen wordt vastgehouden. Door de ontwatering van de kreekruggen (sloten, buisdrainage) wordt het winterse neerslagoverschot hier echter afgevoerd, zodat het niet bijdraagt aan een stijging van de grondwaterstand.



Figuur 7.6 Ligging kreekkruggen in Zeeland, aangeduid als 'geulen' (overgenomen uit Van Baaren et al. 2016)

Tabel 7.2 Mediane stijging van de grondwaterstand voor alle 'geulen' in Figuur 7.6 en corresponderende mogelijke verandering in de dikte van de zoetwaterlens, voor de verschillende Deltascenario's ten opzichte van het referentiescenario.

scenario	mediane stijging grondwaterstand (m)	verandering dikte zoetwaterlens (m)
D2050	0.015	0.59
R2050	0.014	0.57
S2050	-0.036	-1.44
W2050	-0.035	-1.38

7.4 Knelpunten

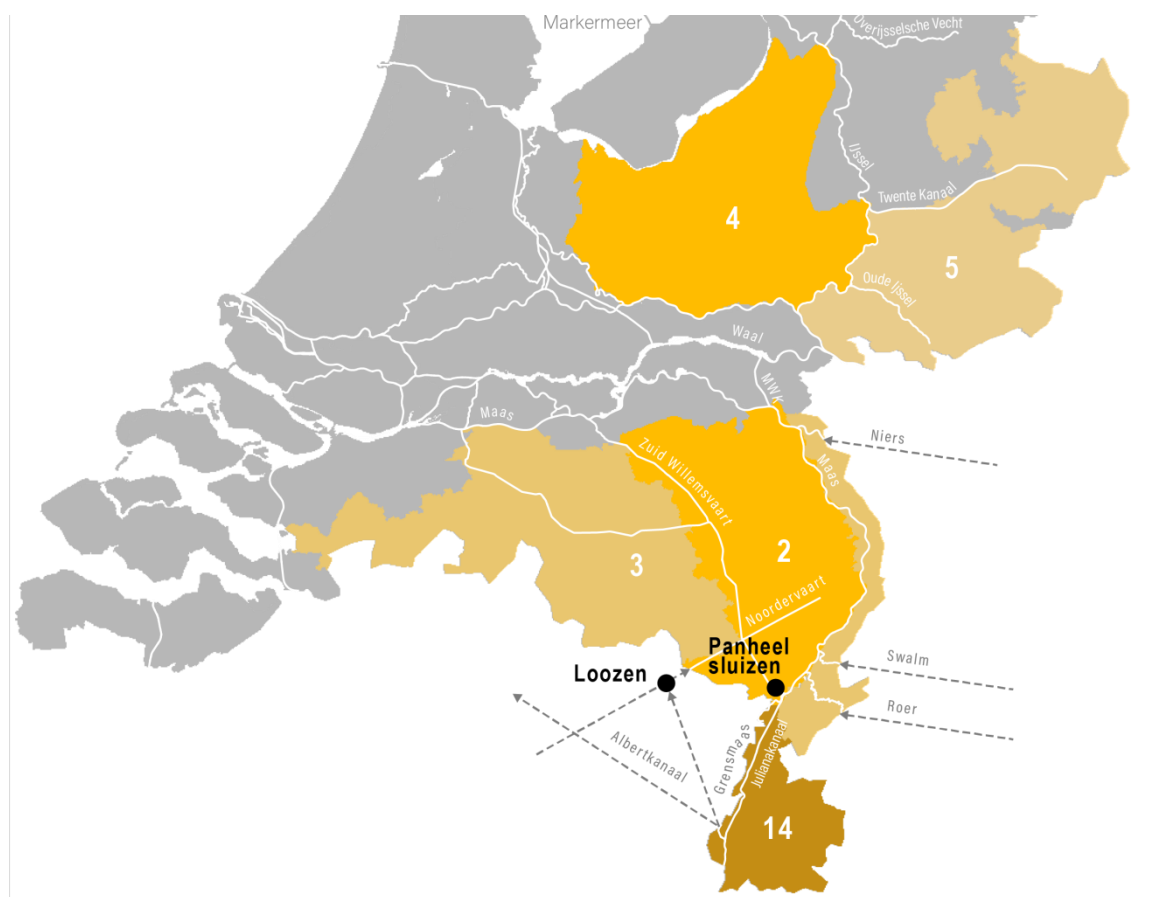
In de regio Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer kan geen zoet water uit het hoofdwatersysteem worden ingenomen, behalve via de landbouwwaterleiding voor tuinders in Zuid-Beveland. De zoetwaterbeschikbaarheid in dit deelgebied wordt daarmee bepaald door de lokale (verticale) waterbalans: is er genoeg lokaal water om in de vraag te voorzien? Reeds in de huidige situatie is dit in dit deelgebied niet het geval en doen zich knelpunten voor. Sloten vallen 's zomers droog en beregening is beperkt tot gebruik van grondwater uit zoetwaterlenzen onder kreekkruggen of de landbouwwaterleiding. De meeste landbouw is daarmee afhankelijk van de aanwezigheid van dunne regenwaterlenzen, waaronder zich ondiep zout grondwater bevindt.

De verschillende Deltascenario's laten een wisselend beeld zien in hoe de zoetwaterbeschikbaarheid verandert. In de scenario's met sterke klimaatverandering (Warm, Stoom) is het neerslagtekort groot, vallen sloten vaker droog, is er een duidelijke toename van indringing van zout grondwater tot in de wortelzone, en nemen zoetwatervoorraden onder kreekkruggen af. De huidige knelpunten verergeren. In de gematigde scenario's (Druk, Rust) verandert het neerslagtekort weinig, verandert de mate waarin sloten droogvallen weinig, en lijken zoetwaterlenzen onder de kreekkruggen zelfs iets te groeien. Wel neemt de indringing van zout grondwater in de wortelzone door zeespiegelstijging toe, al is dit beduidend minder sterk dan in de scenario's Warm en Stoom.

8 Hoge Zandgronden

8.1 Systeembeschrijving

De zoetwaterregio Hoge Zandgronden is in de analyse onderverdeeld in de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden (Utrechtse Heuvelrug, Veluwe en Oost Nederland) en de Zuidelijke Hoge Zandgronden (Noord-Brabant). De Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug zijn vrijwel geheel vrij-afwaterend en bestaan voor een groot deel uit natuur. Het overige gebied kenmerkt zich door een afwisseling van landbouw- en natuurgebieden en bebouwd gebied. De grootste bron van zoet water in dit gebied is het grondwater. In het model is aangenomen dat beregening uit grondwater altijd geleverd kan worden, zodat het effect hiervan op grondwaterstanden, stijghoogte, kwelfluxen en beekafvoeren zichtbaar wordt. In Noord-Brabant wordt deels beregend uit oppervlaktewater dat wordt aangevoerd vanuit de Maas. In Oost-Nederland is plaatselijk wateraanvoer mogelijk via de Twentekanalen (zie Hoofdstuk 4). Sommige delen van de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden (zoals Gelderse Vallei) kunnen water aanvoeren vanaf hoger gelegen delen of via regionale inlaten uit de Veluwerandmeren.



Figuur 8.1 Regio Hoge Zandgronden met deelregio's: Hoge zandgronden Zuid –MLNBK (2), Hoge zandgronden Zuid – overig (3), Centrale hoge zandgronden (4), Zandgronden Oost (5) en Zuid-Limburg (14)

8.2 Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden

8.2.1 De vraag naar zoet water

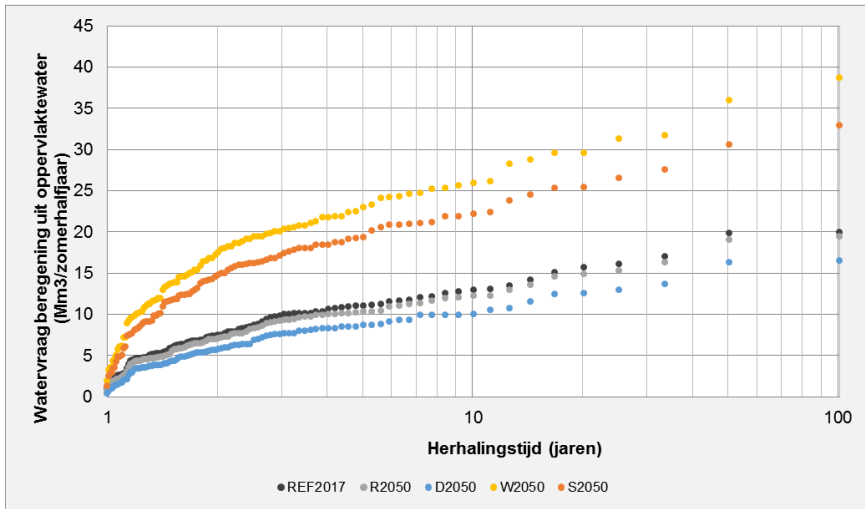
De landbouw is de grootste watervrager in dit gebied. Circa 75% van het potentieel beregende areaal betreft beregening uit grondwater. De watervraag voor peilbeheer is relatief klein. In de vrij afwaterende delen vind door stuwen wel peilbeheer plaats maar beschikken niet over aanvoermogelijkheden vanuit het hoofdwatersysteem.

Het potentieel beregend areaal verandert weinig in de scenario's Druk en Rust en neemt met zo'n 30-40% toe in de scenario's Warm en Stoom (Tabel 8.1). In Figuur 8.2 en Figuur 8.3 is de watervraag voor beregening uit het oppervlaktewater en het grondwater weergegeven. In de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden neemt in de scenario's Warm en Stoom de watervraag voor beregening uit grondwater bij een herhalingsstijd van 10 jaar toe met een factor 2 en bij een herhalingsstijd van 50 jaar met een factor 1,5. De toename van de beregeningsvraag uit het oppervlaktewater voor de scenario's Warm en Stoom is iets kleiner waarbij ook een verschil optreedt tussen Warm en Stoom. Dit verschil wordt veroorzaakt door verschillen in de ontwikkeling van het landbouwareaal tussen deze twee scenario's.

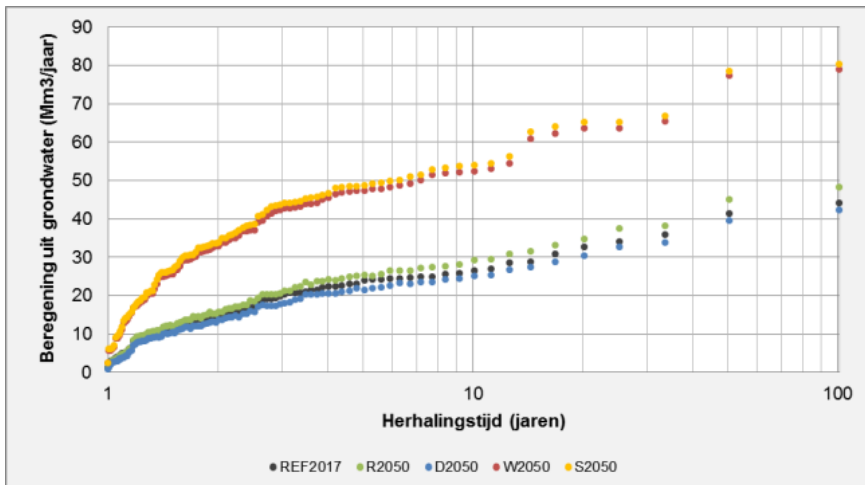
De vraag naar water voor peilbeheer in de peilgestuurde gebieden, zoals de Gelderse Vallei, neemt in de scenario's Warm en Stoom toe. Bij een herhalingsstijd van 20 en 50 jaar neemt de watervraag toe met een factor van circa 1,5. Dit water kan worden aangevoerd vanuit de Veluwerandmeren.

Tabel 8.1 De beregeningsarealen in de Hoge Zandgronden Midden en Oost bij de verschillende scenario's, uit respectievelijk grondwater en oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de procentuele verschillen ten opzichte van huidig klimaat.

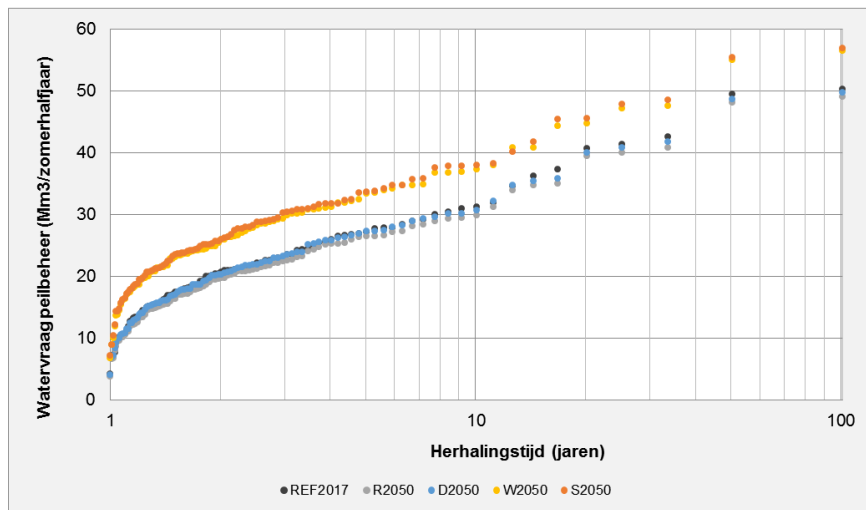
	Beregeningsareaal grondwater [*1000 ha]	uit	Beregeningsareaal oppervlaktewater [*1000 ha]	uit	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie		23		7	30
Rust	25 (+10%)		7 (+3%)		32 (+8%)
Druk	22 (-5%)		5 (-23%)		27 (-9%)
Warm	40 (+74%)		13 (+77%)		52 (+75%)
Stoom	40 (+76%)		10 (+46%)		51 (+69%)



Figuur 8.2 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag beregning uit het oppervlaktewater voor de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



Figuur 8.3 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag beregning uit het grondwater voor de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



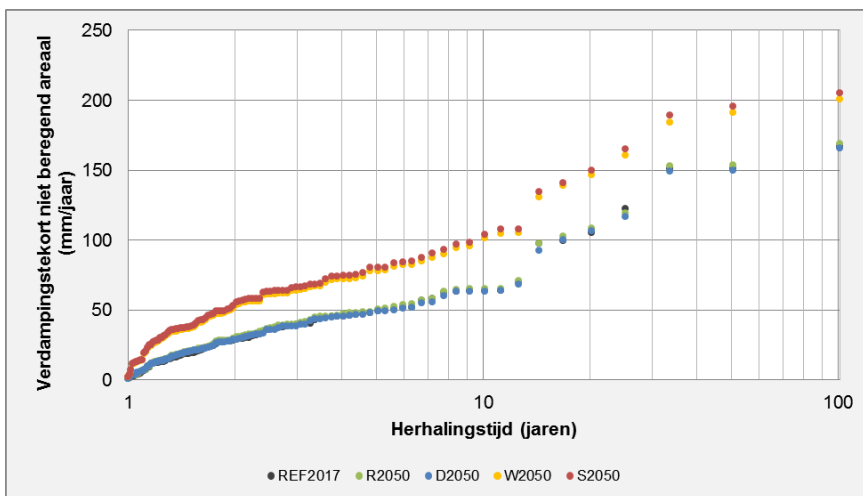
Figuur 8.4 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag peilbeheer in de Gelderse Vallei voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

8.2.2 De beschikbaarheid van water

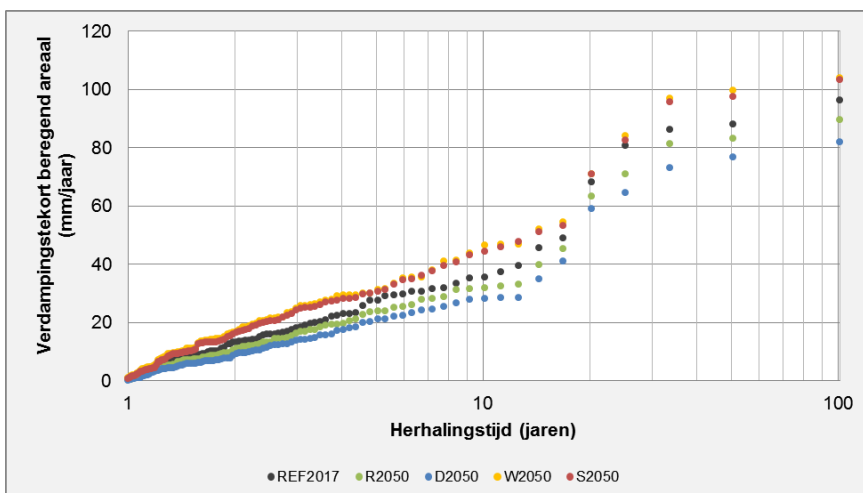
8.2.2.1 Verdampingstekort

De Hoge zandgronden zijn door de beperkte wateraanvoermogelijkheden grotendeels afhankelijk van het neerslagoverschot en het grondwater. In de klimaatscenario's kan het neerslagoverschot sterk veranderen en kan er een verandering in de verdampingstekorten optreden. Verdampingstekort is een maat voor een reductie in de landbouwopbrengst. In beregende percelen leidt een verdampingstekort tot een vraag naar beregening uit grondwater of oppervlaktewater.

In Figuur 8.5 en Figuur 8.6 zijn de herhalingstijden van verdampingstekorten in de verschillende scenario's weergegeven voor niet en potentieel wel beregende percelen. Hier is duidelijk te zien dat het verdampingstekort door beregening flink afneemt, maar ondanks de beregening nog wel optreedt. De scenario's Rust en Druk geven nauwelijks andere verdampingstekorten dan de referentie, terwijl voor scenario's Warm en Stoom een toename van de verdampingstekorten wordt berekend. Deze toename is het sterkst voor de niet beregende arealen. Daar neemt het verdampingstekort in scenario's Stoom en Warm in een jaar met een herhalingstijd van 20 jaar toe met een factor van 1.5 en bij een herhalingstijd van 50 jaar met een factor 1.3.



Figuur 8.5 Herhalingstijden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor niet beregende percelen op de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden.



Figuur 8.6 Herhalingstijden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor de potentieel beregende percelen Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden.

8.2.2.2 Grondwater en stijghoogte

In de scenario's Rust en Druk kunnen de grondwaterstanden stijgen als gevolg van een groter neerslagoverschot. De stijging van de GHG en de GLG's vindt vooral plaats in de infiltratiegebieden met diepe grondwaterstanden zoals de Veluwe, de Sallandse Heuvelrug en de Utrechtse Heuvelrug.

In de scenario's Warm en Stoom dalen, behalve in de grote infiltratiegebieden, alle grondwaterstanden. In de infiltratiegebieden kunnen als gevolg van meer winterneerslag en diepe grondwaterstanden de grondwaterstanden lokaal nog stijgen. In de overige gebieden dalen de grondwaterstanden door toename van de verdamping, toename van de grondwateronttrekkingen voor beregening en verlaging van de drainagebasis als reactie op bodemdaling in de beekdalen.

Het scenario Stoom kent een grotere onttrekking uit het grondwater voor drinkwater en industrie in vergelijking met scenario Warm.

Deze extra onttrekking zorgt voor een sterkere daling van de freatische grondwaterstanden. Hierdoor wordt een deel van de stijging van de grondwaterstanden in de infiltratiegebieden teniet gedaan.

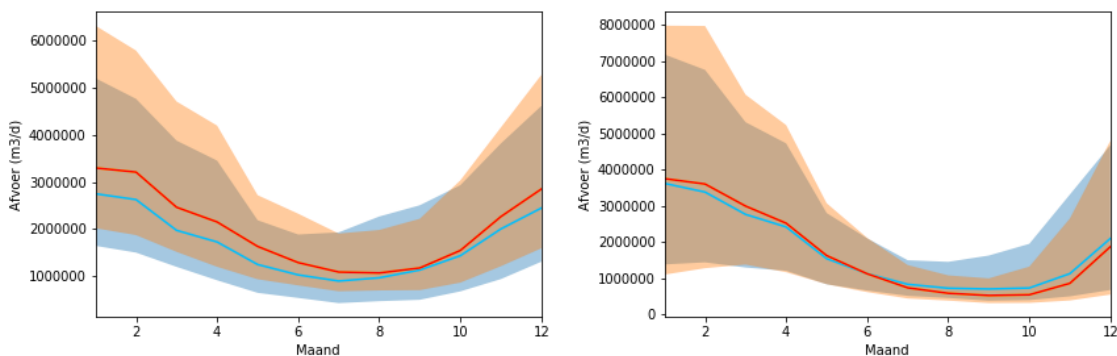
Het grondwatersysteem in de Achterhoek en Twente bestaat uit een dun watervoerend pakket met weinig afsluitende kleilagen waardoor veranderingen in het diepere systeem effect hebben in de directe omgeving. Dit is duidelijk zichtbaar in Figuur 3.4 waarin het effect van de extra winningen op de verandering van de stijghoogte voor scenario Stoom vooral zichtbaar is rond de winningen zelf.

8.2.2.3 Regionale afvoer

De waterbalans van het grondwatersysteem is de resultante van grondwateraanvulling, onttrekkingen en afvoer van grondwater via het oppervlaktewater (sloten, beken etc.). Een verandering in de grondwaterstand heeft dus altijd gevolgen voor de afvoer van de waterlopen. Lagere stijghoogtes zorgen o.a. voor minder kwel in de lagere delen zoals de beekdalen. Vermindering of het wegvallen van de kwel heeft effect op de kwelafhankelijke natuur in deze beekdalen. Tevens leiden minder kwel en lagere grondwaterstanden ook tot een kleinere basisafvoer van de beken, waardoor de totale beekafvoer afneemt en droogval van de beken vaker voor kan komen.

In scenario's Rust en Druk zijn de veranderingen van de grondwaterstand en stijghoogte beperkt zodat ook de afvoer van grondwater door oppervlaktewateren weinig verandert. Wel kan de afvoer mogelijk iets toenemen door meer neerslag in zowel de winter als de zomer in deze twee scenario's.

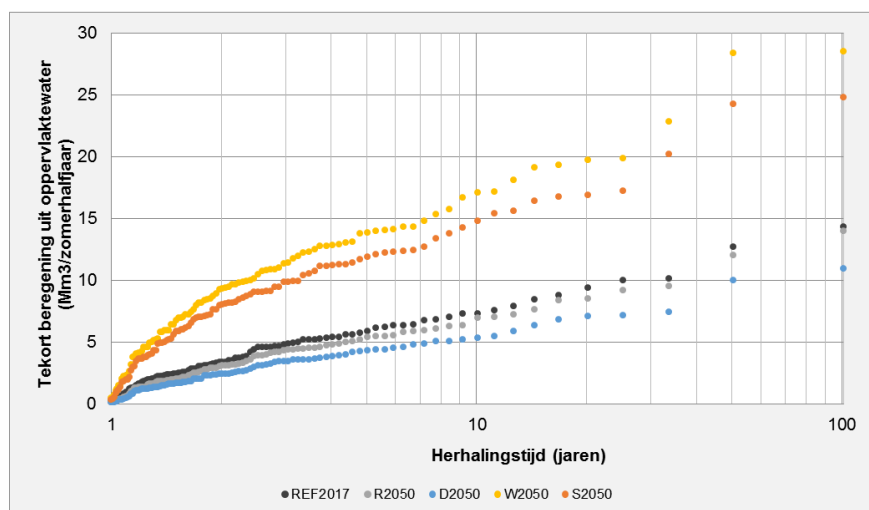
In de scenario's Stoom en Warm neemt de afvoer van grondwater door oppervlaktewater voor de meeste gebieden flink af. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 8.7 voor het gebied van de Berkel/Slinge. Hierin is te zien dat de winterafvoeren toenemen als gevolg van meer neerslag in de winter, en de zomerafvoeren juist sterk afnemen. De afname van de afvoeren treedt op in de maanden juni tot en met november. Deze afname zorgt voor een kleinere afvoer in beken en tot extra droogval. De afvoeren in de winter- en zomerperiode op de Noordwest-Veluwe nemen echter toe door de stijging van de grondwaterstanden in dit gebied in alle scenario's. Grotere beekafvoeren in de scenario's Stoom en Warm zijn alleen te zien rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug.



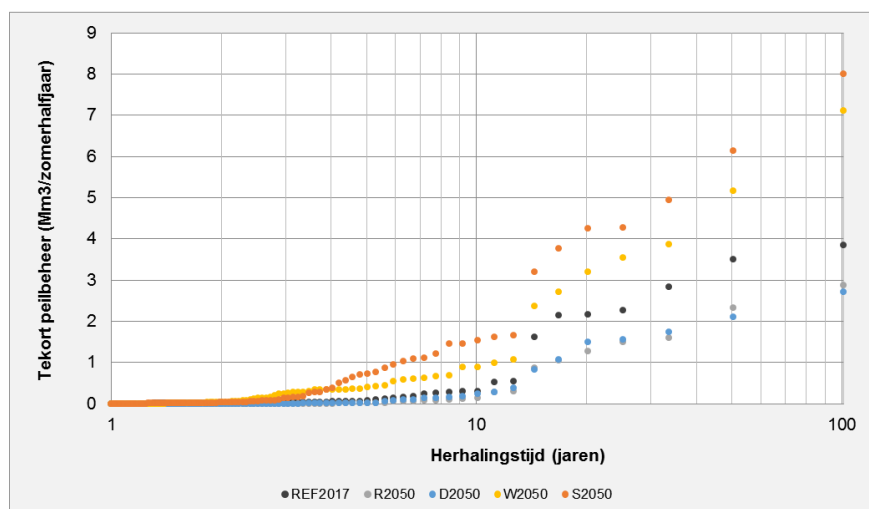
Figuur 8.7 Verandering maandelijkse afvoer van grondwater door oppervlaktewateren op de Noordwest-Veluwe (links) en uit het stroomgebied van Berkel/Slinge (rechts). Het gearceerde gebied geeft de gehele verdeling van afvoeren weer voor huidig (lichtblauw) en Stoom (oranje), grijs waar beide gebieden overlappen.

8.2.2.4 Watertekorten peilbeheer en beregening uit oppervlaktewater

Sommige delen van de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden kennen wateraanvoer vanaf hoger gelegen delen of via regionale inlaten. In de scenario's Stoom en Warm kan deze aanvoer verminderen. Zo kunnen bijvoorbeeld inlaatbeperkingen vanuit de Randmeren naar de Gelderse Vallei optreden als gevolg van watertekorten in IJsselmeer en Markermeer. Hierdoor nemen de tekorten voor peilbeheer en beregening uit oppervlaktewater toe in de scenario's Warm en Stoom.



Figuur 8.8 Herhalingstijden tekort voor beregening uit het oppervlaktewater in de Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden.



Figuur 8.9 Herhalingstijden tekort voor peilbeheer regio Centrale en Oostelijke Hoge Zandgronden.

8.3 Zuidelijke Hoge Zandgronden

Het grondwatersysteem in Hoge Zandgronden Zuid bestaat grofweg uit vier systemen:

- 1 West Brabant wat getypeerd wordt door een dun freatisch watervoerend pakket met daaronder een afsluitende kleilaag en een dik watervoerend pakket,

- 2 De Centrale Slenk. Dit gebied heeft een dun freatisch pakket, met daaronder twee watervoerende pakketten die worden gescheiden door respectievelijk een dunne en een dikke slechtdoorlatende laag.
- 3 De Peelhorst en Venloslenk met een dunner watervoerend pakket met weinig scheidende lagen.
- 4 Zuid-Limburgs kalksteengebied.

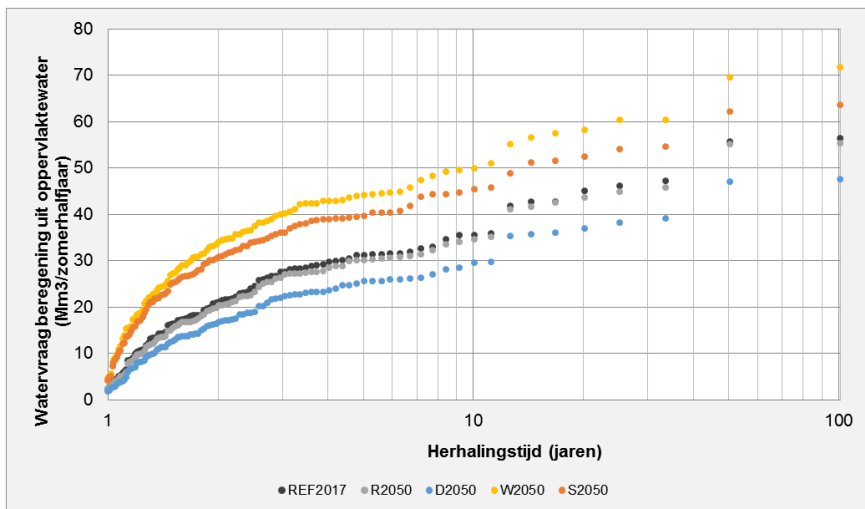
8.3.1 De vraag naar water

De grootste watervrager in dit gebied is de landbouw. Ongeveer 80% van het water voor de landbouw wordt onttrokken uit het grondwater. De watervraag voor peilbeheer is relatief klein. In de vrij afwaterende delen vind door stuwen wel peilbeheer plaats maar beschikken niet over aanvoermogelijkheden vanuit het hoofdwatersysteem.

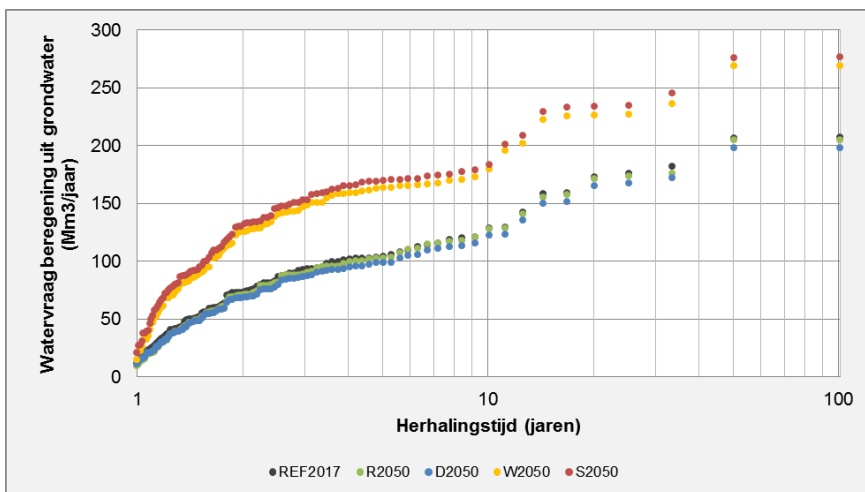
Het potentieel beregend areaal verandert weinig in de scenario's Druk en Rust en neemt met zo'n 30-40% toe in de scenario's Warm en Stoom (Tabel 8.2). In Figuur 8.10 en Figuur 8.11 is de watervraag voor beregening uit het oppervlaktewater en het grondwater weergegeven. In vergelijking met Hoge Zandgronden Oost vindt in Zuid veel meer beregening plaats. De watervraag voor beregening uit het grondwater verandert weinig in de scenario's Druk en Rust en neemt sterk toe in de scenario's Warm en Stoom. In de Zuidelijke Hoge Zandgronden neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater bij een herhalingstijd van 20 jaar toe met een factor 1.3 en met een factor 1.5 bij een herhalingstijd van 50 jaar. De toename beregening uit het grondwater is iets groter. De watervraag voor peilbeheer neemt toe in de scenario's Warm en Stoom.

Tabel 8.2 De beregeningsarealen in de Hoge Zandgronden Zuid bij de verschillende scenario's, uit respectievelijk grondwater en oppervlaktewater. Tussen haakjes zijn de procentuele verschillen ten opzichte van huidig klimaat.

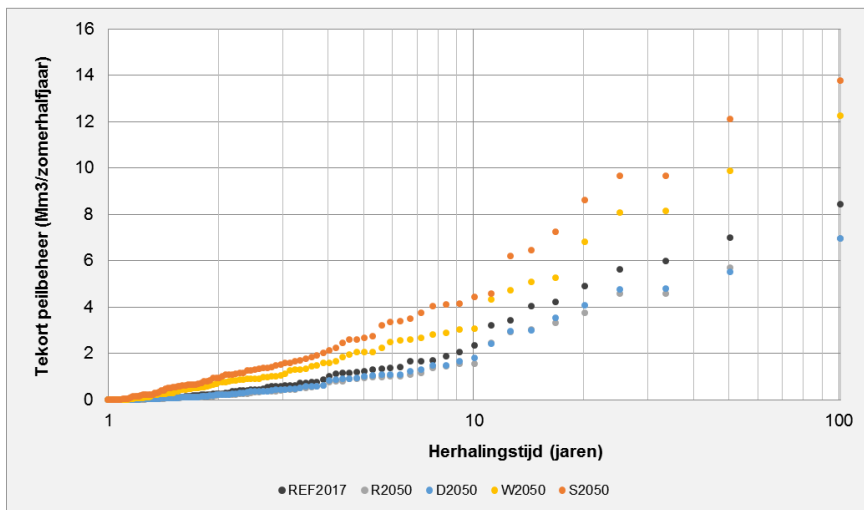
	Beregeningsareaal uit grondwater [*1000 ha]	Beregeningsareaal uit oppervlaktewater [*1000 ha]	Beregeningsareaal totaal [*1000 ha]
Referentie	81	25	106
Rust	82 (+2%)	25 (+2%)	107 (+2%)
Druk	76 (-6%)	24 (-5%)	100 (-5%)
Warm	104 (+29%)	29 (+17%)	133 (+26%)
Stoom	103 (+27%)	28 (+13%)	131 (+24%)



Figuur 8.10 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag berekening uit het oppervlaktewater voor de Zuidelijke Hoge Zandgronden voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



Figuur 8.11 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag berekening uit het grondwater voor de Zuidelijke Hoge Zandgronden voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



Figuur 8.12 Herhalingstijd (jaren) voor de watervraag peilbeheer voor de Zuidelijke Hoge Zandgronden voor de Referentie en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

8.3.2 De beschikbaarheid van water

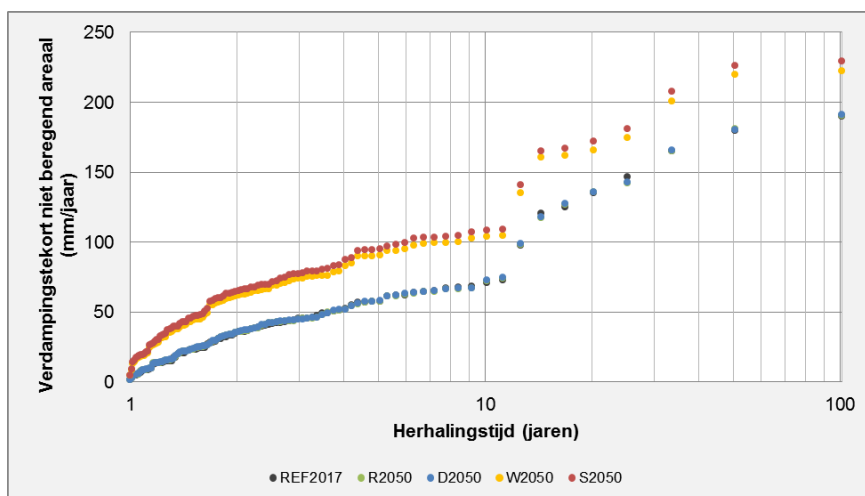
8.3.2.1 Verdampingstekort

De Hoge zandgronden zijn door de beperkte wateraanvoermogelijkheden grotendeels afhankelijk van het neerslagoverschot en het grondwater. In de klimaatscenario's kan het neerslagoverschot sterk veranderen en kan er een verandering in de verdampingstekorten optreden. Verdampingstekort is een maat voor een reductie in de landbouwopbrengst. In beregende percelen kan een verdampingstekort leiden tot een vraag naar beregening uit grondwater of oppervlaktewater.

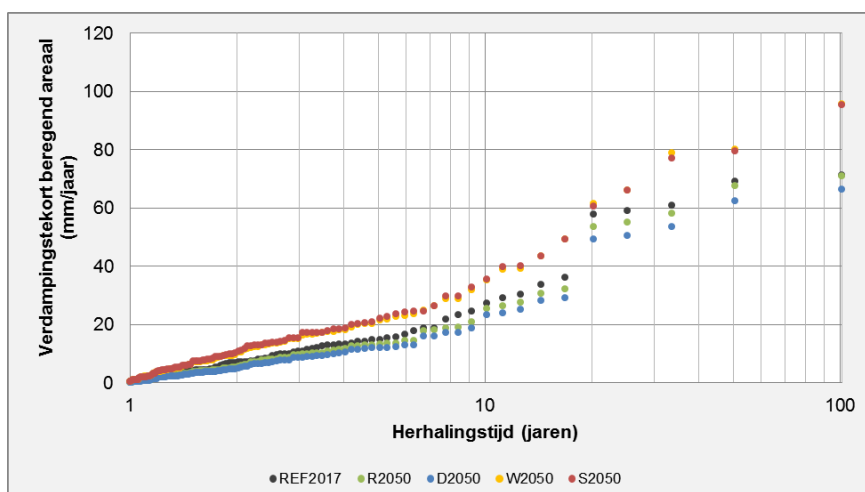
In Figuur 8.13 en Figuur 8.14 zijn de herhalingstijden van verdampingstekorten in de verschillende scenario's weergegeven.

Hier is duidelijk te zien dat het verdampingstekort door beregening flink afneemt, maar ondanks de beregening nog wel optreedt. De scenario's Rust en Druk geven nauwelijks andere verdampingstekorten dan de referentie terwijl in scenario's Warm en Stoom een toename van de verdampingstekorten wordt berekend.

Deze toename is het sterkst voor de niet beregende arealen. Daar neemt het verdampingstekort in het scenario Stoom en Warm in een jaar met een herhalingstijd van 20 jaar toe met een factor van 1.5 en bij een herhalingstijd van 50 jaar met een factor 1.3.



Figuur 8.13 Herhalingstijden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor de niet-beregende percelen op de Zuidelijke Hoge Zandgronden.



Figuur 8.14 Herhalingstijden gemiddelde verdampingstekorten (mm/jaar) voor de beregende percelen op de Zuidelijke Hoge Zandgronden.

8.3.2.2 Grondwater en stijghoogte

In de scenario's Rust en Druk kunnen de grondwaterstanden stijgen als gevolg van een groter neerslagoverschot in het klimaatscenario. De stijging van de GHG en de GLG's vinden vooral plaats in de infiltratiegebieden in het zuiden van Brabant.

In de scenario's Warm en Stoom dalen, behalve in de grote infiltratiegebieden, alle grondwaterstanden.

In de infiltratiegebieden kunnen als gevolg van meer winterneerslag en diepe grondwaterstanden de grondwaterstanden lokaal nog stijgen. In de overige gebieden dalen de grondwaterstanden door toename van de verdamping en toename van de grondwateronttrekkingen voor beregening.

Het scenario Stoom kent een grotere onttrekking uit het grondwater voor drinkwater en industrie in vergelijking met scenario Warm. Deze extra onttrekking zorgt voor een sterkere daling van

de freatische grondwaterstanden. Hierdoor wordt een deel van de stijging van de grondwaterstanden in de infiltratiegebieden teniet gedaan.

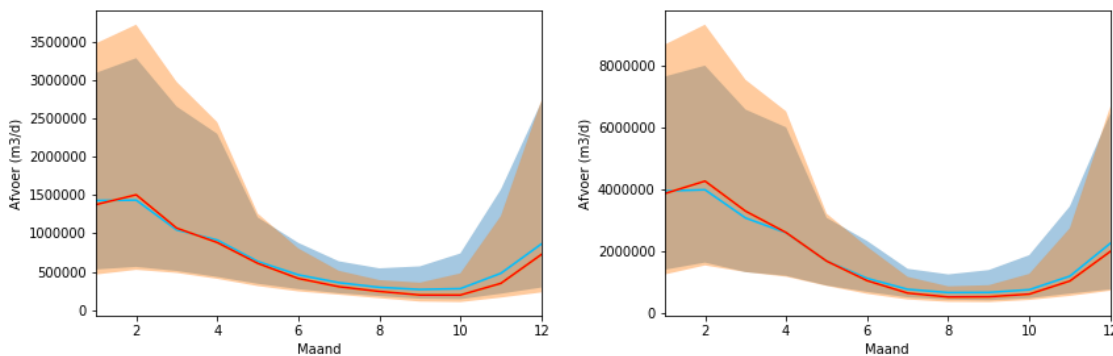
De verandering van de stijghoogtes worden voornamelijk bepaald door de diepere grondwateronttrekkingen. In de scenario's Druk en Stoom treedt er een daling van de stijghoogtes op als gevolg van extra onttrekking van grondwater voor drinkwater. Hier is te zien dat de effecten in West Brabant meer lokaal zijn dan het gebied van de Centrale Slenk (Oostelijk deel Brabant en midden Limburg). Aangezien het watervoerende pakket waaruit onttrokken wordt in de Centrale Slenk wordt afgesloten door dikke scheidende lagen kan het effect van de onttrekking zich verspreiden over een groot oppervlak. Omdat West-Brabant een andere opbouw heeft van de watervoerende pakketten met een dunnere kleilagen tussen boven watervoerende pakketten waaruit onttrokken wordt, is het effect van extra onttrekkingen daar meer lokaal. De daling van de grondwaterstand kan hierdoor wel groter zijn dan in de gebieden met dikkere scheidende lagen boven de onttrekking.

8.3.2.3 Regionale afvoer

De waterbalans van het grondwatersysteem is de resultante van grondwateraanvulling, onttrekkingen en afvoer van grondwater via het oppervlaktewater (sloten, beken etc.). Een verandering in de grondwaterstand heeft dus altijd gevolgen voor de afvoer van de waterlopen. Lagere stijghoogtes zorgen o.a. voor minder kwel in de lagere delen zoals de beekdalen. Vermindering of het wegvallen van de kwel heeft effect op de kwelafhankelijke natuur in deze beekdalen. Tevens leiden minder kwel en lagere grondwaterstanden ook tot een kleinere basisafvoer van de beken, waardoor de totale beekafvoer afneemt en droogval van de beken vaker voor kan komen.

In scenario's Rust en Druk zijn de veranderingen van de grondwaterstand en stijghoogte beperkt zodat ook de afvoer van grondwater door oppervlaktewateren weinig verandert. Wel kan de afvoer mogelijk iets toenemen door meer neerslag in zowel de winter als de zomer in deze twee scenario's.

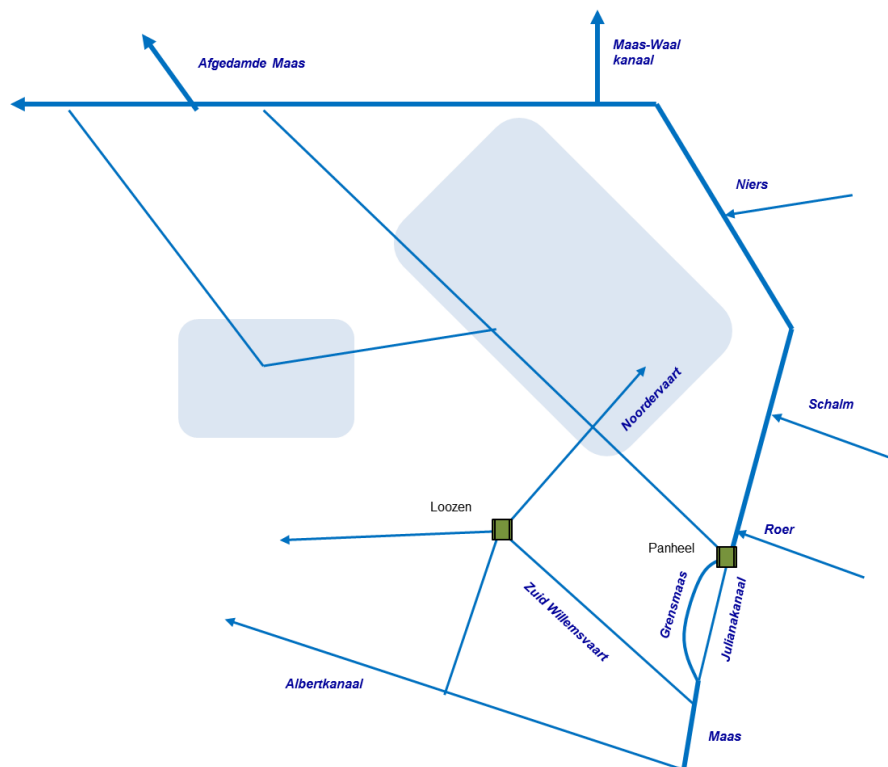
In de scenario's Stoom en Warm neemt de afvoer van grondwater door oppervlaktewater voor de meeste gebieden flink af. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 8.7 voor het gebied van de Bovenmark en de Aa. Hierin is zichtbaar dat de hoge winterafvoeren toe nemen als gevolg van meer neerslag in de winter, en de zomer afvoeren sterk afnemen. De afname van de afvoeren treed op in de maanden juni tot en met november. Deze afname zorgt voor een lagere afvoer in beken en tot extra droogval.



Figuur 8.15 Verandering maandelijkse totale afvoer van grondwater door het oppervlaktewater voor het district 126, De Bovenmark (West Brabant) (links) en district 63, de Aa (rechts). Het gearceerde gebied geeft de gehele verdeling van afvoeren weer voor huidig (lichtblauw) en Stoom (oranje), grijs waar beide gebieden overlappen.

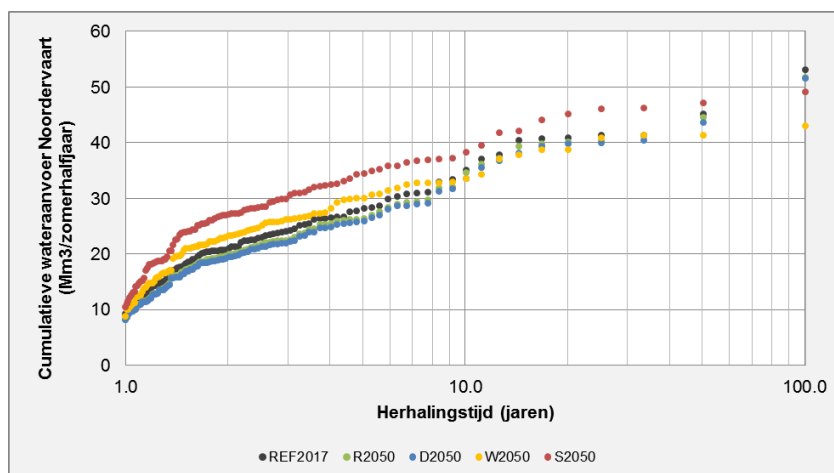
8.4 Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen

Een schematische weergave van het wateraanvoer- en -verdelingssysteem in de Zuidelijke Hoge Zandgronden is weergegeven in Figuur 8.16. Via het Albertkanaal in België, de Zuid-Willemsvaart en kanaal Wessem-Nederweert (inlaat Panheel) kan water worden aangevoerd vanuit de Maas. Dit water wordt vervolgens verder Noord-Brabant ingeleid via de Noordervaart en de Zuid-Willemsvaart (ten noorden van Nederweert). De Noordervaart dient als aanvoerroute naar het beheersgebied van de waterschappen Aa en Maas en Limburg, waar het onder andere de buffer rond de natuurgebieden van de Peel van water voorziet. Het debiet van de Noordervaart wordt in het model berekend op basis van de watervraag die in het achterliggende gebied wordt berekend. De gemodelleerde debieten in de Noordervaart zijn over het algemeen lager dan de gemeten debieten, omdat in de praktijk meer wordt ingelaten dan binnen het gebied wordt gebruikt. Dit overschot wordt verder stroomafwaarts weer teruggeleid naar de Maas. In extreem droge situaties waarbij wel al het ingelaten water wordt gebruikt, komen de berekende debieten redelijk goed overeen met de gemeten debieten.

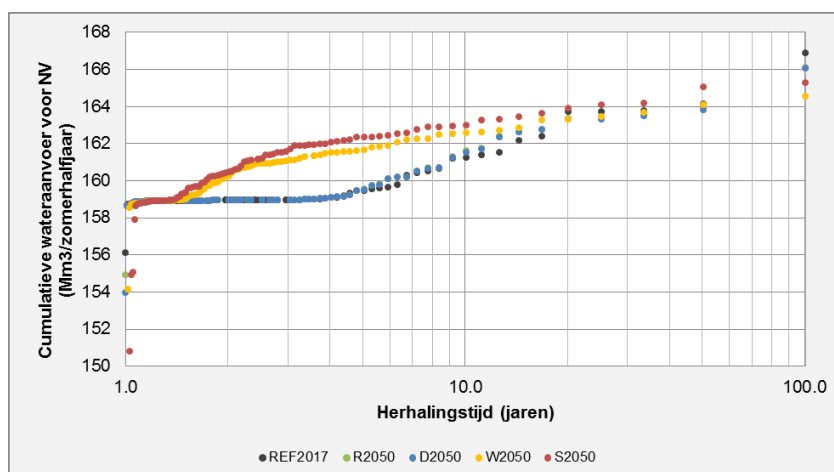


Figuur 8.16 Schematische weergave van het waterverdelingssysteem Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen.

De oppervlaktewatervraag in dit gebied neemt toe in scenario's Warm en Stoom, waardoor de aanvoer via Noordervaart toeneemt (Figuur 8.17). De extra aanvoer via Noordervaart leidt tot een toename van onttrekking uit de Maas voor de jaren met een herhalingsstijd van 20 jaar (Figuur 8.18). In de extreme jaren gaat de aanvoer omlaag ten opzicht van de referentie als gevolg van beperkte waterbeschikbaarheid in de Maas. In de jaren met een herhalingsstijd van meer dan 20 jaar is er onvoldoende water beschikbaar in de Maas om te voorzien in de watervraag. Hierdoor neemt de aanvoer nauwelijks toe en nemen de tekorten voor peilbeheer en beregening uit het oppervlaktewater in het wateraanvoergebied toe.



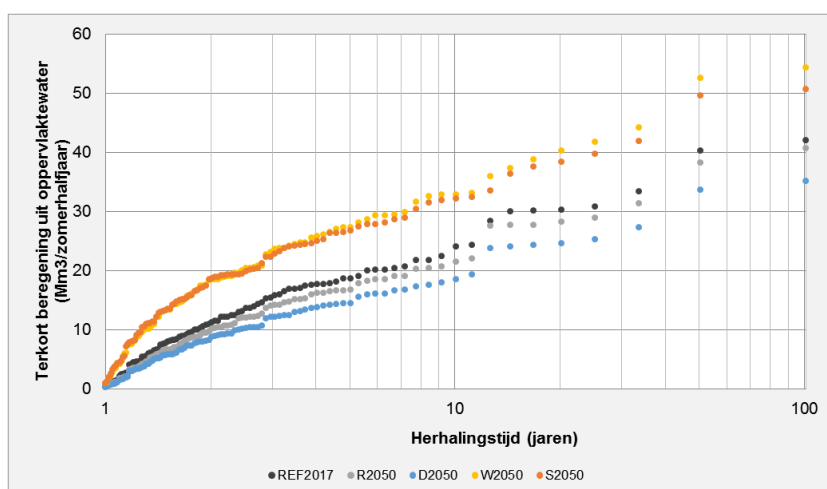
Figuur 8.17 Herhalingstijden van cumulatieve doorvoer over het zomerhalfjaar (Mm^3 /zomerhalfjaar) over de Noordervaart per zomerhalfjaar voor de Referentie en de Deltascenario's.



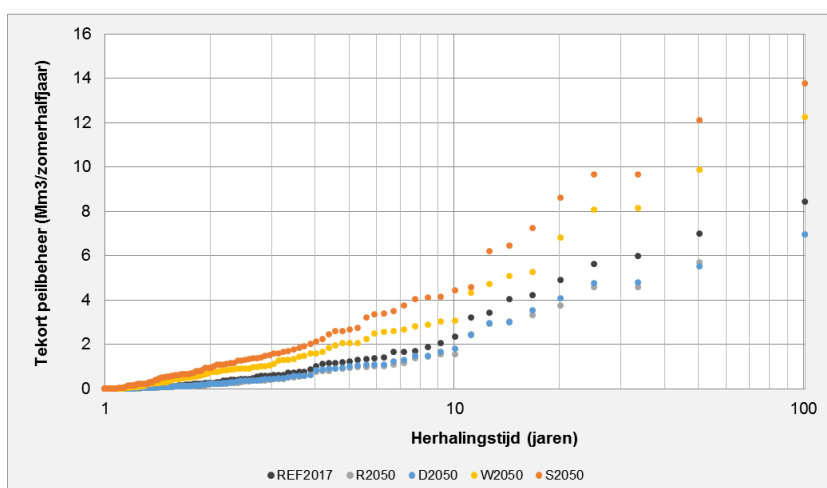
Figuur 8.18 Herhalingstijden van cumulatieve aanvoer naar de MLNB-kanalen over het zomerhalfjaar (Mm^3 /zomerhalfjaar) via de Zuid-Willemsvaart bij Loozen en via Panheel voor de Referentie en het Deltascenario's.

8.4.1 Watertekorten peilbeheer en beregning

In de referentie treden er al tekorten op voor beregning uit het oppervlaktewater en peilbeheer. De tekorten voor peilbeheer treden vooral op in droge jaren. De tekorten in het model worden veroorzaakt door een beperkte capaciteiten en te lage beschikbaarheid. Voor het gebied de Aa binnen het waterschap Aa en Maas treden voor bijna alle jaren kleine tekorten op. Dit vraagt nader onderzoek. De scenario's Rust en Druk geven een lichte afname van de tekorten voor peilbeheer en beregning. De scenario's Warm en Stoom geven een beperkte toename van de tekorten voor peilbeheer, maar de tekorten voor beregning uit het oppervlaktewater nemen flink toe: voor een 1:20 jaar neemt het tekort toe met 30% en in een 1:50 jaar met 25%. De tekorten voor peilbeheer en beregning uit het oppervlaktewater worden veroorzaakt door zowel te weinig water in de Maas als door beperkingen in de regionale aanvoercapaciteit. Doordat een deel van de tekorten ook wordt veroorzaakt door de regionale capaciteiten nemen ook de tekorten toe in de jaren met een kleinere herhalingstijd.



Figuur 8.19 Herhalingstijd (jaren) van de berekeningstekorten uit het oppervlaktewater voor de Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen in de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.



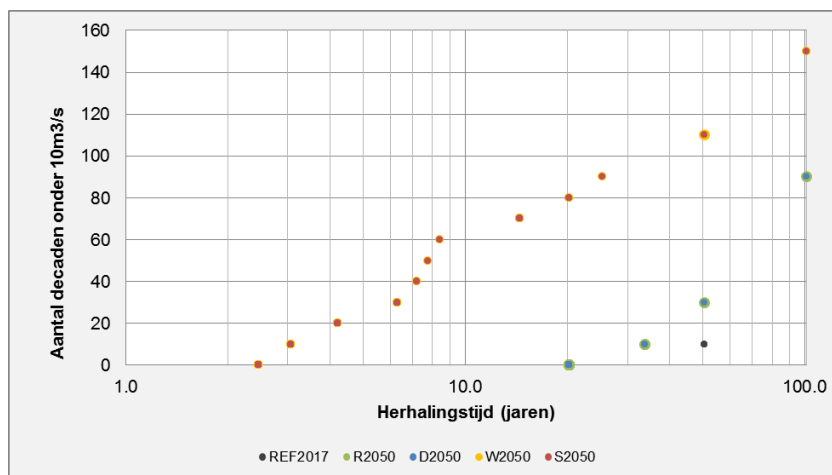
Figuur 8.20 Herhalingstijd (jaren) voor de tekorten peilbeheer voor de Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen voor de Referentie 2017 en de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom voor het zichtjaar 2050.

8.4.2 Grensmaas

De Grensmaas is het onbevaarbare deel van de Maas tussen Maastricht en Maasbracht, parallel aan het Julianakanaal. De Grensmaas heeft een ecologische functie waarvoor een natuurlijk rivierafvoerregime een belangrijke randvoorwaarde vormt. De afvoer van de Maas wordt verdeeld over de Grensmaas en het Julianakanaal, waarbij voor het Julianakanaal een gewenst debiet geldt van 15 m³/s.

De afvoer van de Maas wordt beïnvloed door klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen in het stroomgebied. In de Deltascenario's is alleen rekening gehouden met klimaatverandering. Door veranderingen in het afvoerregime van de Maas kan ook het debiet door de Grensmaas veranderen. Hierom is gekeken naar het aantal dagen overschrijding van een minimale afvoer van 10 m³/s in de Grensmaas (Figuur 8.21). In de referentie treedt een overschrijding op van deze grenswaarde van 10 dagen op met een herhalingstijd van 35 jaar. Dit verandert niet als gevolg van de scenario's Rust en Druk. Voor de scenario's Warm en Stoom wordt een overschrijding van de grenswaarde berekend vanaf herhalingstijden groter

dan 2 jaar. De onderschrijdingsduur bij een herhalingsstijd van 50 jaar kan oplopen tot ruim 100 dagen per jaar. In deze lage-afvoerperioden wordt ook het gewenste debiet van 15 m³/s in het Julianakanaal niet gehaald.



Figuur 8.21 Herhalingsstijden van het aantal dagen onderschrijding van de minimale afvoer van 10 m³/s door de Grensmaas.

8.5 Knelpunten

De Hoge Zandgronden zijn voor het grootste deel afhankelijk van neerslag en grondwater. Als gevolg van de scenario's Rust en Druk treden er slechts kleine veranderingen op in het watersysteem van de Hoge Zandgronden, en ook verandert de watervraag van de verschillende functies nauwelijks. Wel kan als gevolg van extra drinkwateronttrekkingen in het scenario Druk een verlaging van de stijghoogte optreden in de diepere watervoerende pakketten. Omdat het neerslagoverschot in dit scenario groter is dan in de referentie leidt dit niet tot lagere grondwaterstanden of verminderde beekafvoeren. Wel kan de kwel plaatselijk afnemen.

Als gevolg van klimaatverandering en uitbreiding van het potentieel beregend areaal neemt de watervraag voor beregening sterk toe. Deze toename is in de Zuidelijke zandgronden groter dan in de Central en Oostelijke omdat in de referentie de onttrekkingen uit het grondwater voor beregening in Zuid al een factor 6 groter zijn. Bovendien wordt in het scenario Stoom ook een grotere grondwatervraag voor industrie en drinkwater verwacht. Deze extra watervraag, in combinatie met een groter neerslagtekort in de zomer levert een extra vraag aan het grondwatersysteem. Hierdoor kan de kwel afnemen, neemt de basisafvoer af en neemt het risico op droogval van beken toe. Het grotere neerslagtekort in de zomer zorgt ook voor een groter verdampingstekort in de beregende en niet beregende percelen. Hierdoor zal extra droogteschade voor de landbouw op kunnen treden.

In de gebieden met wateraanvoer vanuit de Maas neemt de vraag naar oppervlaktewater toe. In perioden met voldoende afvoer in de Maas kan dit worden aangevoerd. Door lagere afvoeren in de scenario's Stoom en Warm kan de extra watervraag niet altijd geleverd worden waardoor oppervlaktewatertekorten voor peilbeheer en beregening toenemen.

Door een grotere regionale watervraag en lagere afvoeren in de Maas vanuit België krijgt de Grensmaas vaker en voor langere periode niet voldoende water. In de scenario's Warm en Stoom wordt eens in de 2 jaar een onderschrijding van de grenswaarde verwacht. De onderschrijdingsduur bij een herhalingsstijd van 50 jaar kan in Stoom en Warm oplopen tot 110 dagen per jaar.

9 Conclusie

Dit rapport analyseert de huidige en mogelijk toekomstige knelpunten in de zoetwatervoorziening in Nederland op basis van de meest recente berekeningen met het Nationaal Water Model ("Basisprognoses2018"). Hierbij is voor 5 regio's in beeld gebracht hoe watervraag en -tekort zich in de toekomst kunnen ontwikkelen onder invloed van klimaatveranderingen en sociaaleconomische ontwikkelingen. Naast oppervlaktewatertekorten voor beregening, doorspoeling en peilbeheer, is ook gekeken naar beregening uit grondwater, grondwaterstanden, verdampingstekorten, rivierafvoer en waterkwaliteit.

Kans op droogte neemt toe

Klimaatscenario's geven aan dat de kans op droogte in 2050 gaat toenemen bij sterke klimaatverandering en ongeveer gelijk blijft bij matige klimaatverandering. Het maximaal cumulatief neerslagtekort dat in het huidige klimaat eens in de 10 jaar optreedt, treedt met sterke klimaatverandering in 2050 bijna jaarlijks op. Een neerslagtekort van circa 300 mm (zoals in 2018) komt met sterke klimaatverandering eens in de 10 jaar voor. De duur van lage Rijnafvoeren (bij Lobith; T=10 jaar) neemt met sterke klimaatverandering toe van grofweg 1 maand naar bijna 3 maanden.

Grondwaterstanden

Als gevolg van veranderingen in het klimaat in combinatie met andere ontwikkelingen, zoals grotere wateronttrekkingen en bodemdaling, kan de grondwaterstand veranderen. In infiltratiegebieden met diepe grondwaterstanden, zoals de Veluwe, heeft de toename van de jaarneerslag in alle scenario's een groter effect dan de toename van de zomerverdamping: de grondwaterstanden gaan in deze gebieden veelal omhoog. In de Deltascenario's Druk en Rust is de stijging het grootst. Dit is echter niet terug te zien in het verdampingstekort van de wortelzone, omdat de grondwaterstand zich in deze gebieden ver beneden maaiveld bevindt. In poldergebieden in West-Nederland en langs beekdalen (onder andere in het Drents Plateau) volgt de grondwaterstand de bodemdaling. De grootste daling van grondwaterstanden wordt berekend voor scenario Stoom in de Zuidelijke Hoge Zandgronden, waar behalve klimaateffecten extra onttrekkingen voor drinkwater, industrie en beregening het sterkst doorwerken.

Stijghoogte

Uit de analyse blijkt dat de stijghoogte in de diepe watervoerende pakketten in scenario Stoom in Noord-Brabant significant (1 tot 2 meter) lager worden. In Warm is deze afname niet zichtbaar, wat er op duidt dat het effect in Stoom wordt veroorzaakt door grotere drinkwater- en industriewateronttrekkingen in dit gebied. Dit leidt in mindere mate in scenario Druk ook tot een afname van de stijghoogtes.

Oppervlaktewatertekort

Uit de analyse van oppervlaktewatertekorten blijkt het volgende:

- Watertekorten zijn het grootst in de regio Hoge Zandgronden gevolgd door het IJsselmeergebied;
- De tekorten nemen het sterkst toe in scenario Stoom en nemen licht af in scenario Druk;
- Tekorten in het IJsselmeergebied en het Benedenrivierengebied nemen in Stoom sterker toe dan in Warm, door het grote aandeel en de grote toename van de doorspoelvraag om de watergangen in kustgebieden zoet te houden.

- Binnen het voorzieningsgebied IJsselmeer heeft de deelregio Fries-Gronings kustgebied de grootste tekorten, ook in verhouding tot de grootte van de regio. Deze tekorten worden in droge jaren veroorzaakt door beperkte inlaat- en doorvoercapaciteit en in extreem droge jaren door uitputting van de IJsselmeerbuffer.
- Bij sterke klimaatverandering wordt de direct beschikbare bufferschijf van 20 cm gemiddeld eens in de 20 jaar volledig ingezet. In het huidige klimaat en bij matige klimaatverandering is beschikbare buffer in alle jaren toereikend.
- Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) wordt in de toekomst (2050) gemiddeld eens in de 10 jaar (Druk/Rust) tot bijna jaarlijks (Warm/Stoom) ingezet. De capaciteit is daarbij grofweg eens in de 10 jaar (Stoom) à 15 jaar (Warm) niet toereikend voor de toenemende watervraag in deze scenario's.
- Door een grotere regionale watervraag en geringere aanvoer door de Maas vanuit België neemt het debiet van de Grensmaas af. In de scenario's Warm en Stoom wordt eens in de 2 jaar een onderschrijding van 10 m³/s verwacht. Eens in de 10 jaar duurt de onderschrijding 2 maanden of langer.

Zout in de wortelzone

In de Zuidwestelijke Delta is de landbouw grotendeels afhankelijk van een zoete regenwaterlens of zoet grondwater in de kreekruigen. In het huidige klimaat treden hierdoor al regelmatig beregeningstekorten op. In de scenario's met sterke klimaatverandering (Warm, Stoom) is het neerslagtekort groter, vallen sloten vaker droog, is er een duidelijke toename van indringing van zout grondwater tot in de wortelzone, en nemen zoetwatervoorraden onder kreekruigen af. De huidige knelpunten verergeren. In de gematigde scenario's (Druk, Rust) verandert het neerslagtekort weinig, verandert de mate waarin sloten droogvallen weinig, en lijken zoetwaterlenzen onder de kreekruigen zelfs iets te groeien. Wel neemt de indringing van zout grondwater in de wortelzone door zeespiegelstijging toe, al is dit beduidend minder dan in de Warm en Stoom scenario's.

Waterkwaliteit

Voor een aantal drinkwater en industrie-innamepunten is geanalyseerd hoe de waterkwaliteit kan veranderen in de vier Deltascenario's. Voor oppervlaktewater innamepunten zijn twee indicatorstoffen gebruikt: chloride en carbamazepine met door de sector aangedragen signaalwaarden. Bij vier van de zes onderzochte drinkwaterinnamepunten worden er vaker overschrijdingen berekend van de carbamazepine en chlorideconcentraties in de scenario's Warm en Stoom. De toename is echter beperkt voor de meeste locaties (1-11 dagen in het meest extreme scenario). Een uitzondering hierop is het innamepunt Bergambacht aan de Lek, waar een toename van circa 60 dagen overschrijding van chlorideconcentraties als gevolg van externe verzilting is berekend.

Drinkwaterinnamepunten die gebruik maken van oeverinfiltratie langs de Lek kunnen in de scenario's Warm en Stoom ongeveer 10 keer vaker dan nu te maken krijgen met jaargemiddelde chlorideconcentraties hoger dan 150 mg/l en 200 mg/l.

Dit kan leiden tot knelpunten bij de oeverinfiltraties op de locaties Rodenhuis bij Bergambacht en mogelijk de locaties Schuwacht en Reijerwaard waarvoor de locatie Kinderdijk representatief is verondersteld. In de deltasenario's Rust en Druk treden er nergens knelpunten op.

10 Referenties

Beersma, J. J., and T. A. Buishand (2004) Joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands, *Water Resour. Res.*, 40, W12508, doi:10.1029/2004WR003265.

Claassens, J., E. Koomen en B. Rijken (2017) Actualisering landgebruiksimulatie Deltascenario's: Achtergronddocument bij Ruimtescanner inzet. VU Amsterdam / PBL

CPB en PBL (2015) Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's. Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau, Den Haag, PBL-publicatienummer: 1689

Schasfoort, F., Jong, J. de, & Meijers, E. (2019). Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater. Deltares rapport 11203734-010.

De Louw, P. G. B., Eeman, S., Oude Essink, G. H. P., Vermue, E., & Post, V. E. A. (2013). Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. *Journal of Hydrology*, 501, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.026>

Hunink, J., J. Delsman, G. Prinsen, L. Bos – Burgering, N. Mulder, M. Visser (2018) Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model. Deltares rapport 11202240-009-ZWS.

Hunink, J., P. Pouwels en M.J.P. Mens (2019) Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater: Effecten van Parijs-maatregelen en doorkijk naar zichtjaar 2100. Deltares memo 11203734-003-ZWS-0003. Delft, juli 2019.

Klijn, F., Hegnauer, M., Beersma, J. en Sperna Weiland, F. (2015) Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Deltares rapport 1220042-004, Deltares en KNMI.

Klijn, F., Ter Maat, J. en Hunink, J. (2012). Zoetwatervoorziening in Nederland – aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21e eeuw. Deltares rapport 1205970-000, 2e (gecorrigeerde) druk

KNMI (2015) KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp

KNMI (2018) <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort>, geraadpleegd april 2019.

Kroon, T., G. Prinsen, J. Hunink, M. Visser en H. van den Boogaard, 2015. 100-jarige reeks LHM en LSM: beschrijving van de invoer. Deltares rapport 1220108-000.

Kramer, N. en M. Mens (2016) Methode voor afleiden van een 100-jarige toekomstige afvoerreeks voor Lobith en Monsin. Deltares memo 1230078-000-BGS-0001.

Lenderink, G. & Beersma, J., 2015. The KNMI'14 WH,dry scenario for the Rhine and Meuse basins. KNMI Scientific Report WR 2015-02

Louw, P.G.B. de; Eeman, S.; Oude Essink, G.H.P.; Vermue, E.; Post, V.E.A. (2013). Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. *Journal of Hydrology* 501 (2013). - ISSN 0022-1694 - p. 133 - 145.

Mens, M., Prinsen, G., Hunink, J., Bachmann, D., Snippen, E. en Delsman, J. (2018a) Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017. Deltares rapport 11202240-000B.

Mens, M., R. van der Wijk, N. Kramer, J. Hunink, J. de Jong, B. Becker, P. Gijsbers, C. ten Velden, 2018b. Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater. Inhoudelijke rapportage. Deltares rapport 11202240-004-ZWS. Delft, mei 2018.

Pouwels, J.R., 2018. Open-watervedamping in het Landelijk Hydrologisch Model.

Rijkswaterstaat, 2017. Nieuw peilbesluit IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat, Lelystad.

Ter Maat, J., Van Der Vat, M., Hunink, J., Haasnoot, M., Prinsen, G., Visser, M., Boderie, P., Van Elk, R., Maarse, M., Van Der Sligte, R., Verheij, H. en Wesselius, C. 2014. Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Deltares rapport 1209141-001.

Van Baaren, E.S., Oude Essink, G.H.P., Janssen, G.M.C.M., de Louw, P.G.B.B., Heerdink, R., Goes, B.J.M., (2016). Verzoeting en verzilting freatisch grondwater in de Provincie Zeeland, Deltares rapport 1220185-000.

Van Baaren, E. S., Delsman, J. R., Karaoulis, M., Pauw, P. S., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P., Oude Essink, G., Dabekaussen, W., Gunnink, J., Dubelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A. Meyer, U. (2018). FRESHEM Zeeland - FREsh Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland. In Deltares report 1209220. Utrecht, Netherlands.

Van Geest, G., W. Altena, O. de Keizer, (2019). Natuureffectmodule voor de grote rivieren: Eerste analyse van de effecten van lage afvoeren op natuur in Maas, Waal, Neder-Rijn/Lek en IJssel. Deltares memo 11203734-010-ZWS-0004.

Wesselius, CM., Boderie, P., Kramer, N., (2017). Deltascenario's, de randvoorwaarden voor de 100-jarige reeks. Deltares rapport 11200554-000-ZWS-0011.

Wolters, H.A., G.J. van den Born, E. Dammers, S. Reinhard, (2018). Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017. Rapport 11202240-010. Deltares, PBL en WUR.