

**Analyse van de 100-jarige  
reeks ten behoeve van de  
Knelpuntenanalyse Zoetwater  
2017**





**Analyse van de 100-jarige reeks ten  
behoefte van de Knelpuntenanalyse  
Zoetwater 2017**

Marjolein Mens  
Geert Prinsen  
Joachim Hunink  
Daniel Bachmann  
Edwin Snippen  
Joost Delsman

11202240-000



**Titel**

Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
WVL	11202240-000	11202240-000-ZWS-0001	56

**Trefwoorden**

Deltaprogramma Zoetwater, Knelpuntenanalyse, 100-jarige reeks

**Samenvatting**

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de eerste 100-jarige berekening met het Nationaal Water Model (NWM) met het oog op de Knelpuntenanalyse Zoetwater voor het Deltaprogramma Zoetwater. In 2016 is de invoer van de meteorologie en rivierafvoeren van het NWM verlengd tot een '100-jarige reeks', voor de periode 1911 tot 2014. Hiervoor is gebruik gemaakt van historische metingen. Daarnaast is een vertaling gemaakt naar de verschillende Deltascenario's. Het Deltascenario Warm2050 is doorgerekend met het NWM en wordt ook in dit rapport beschouwd.

Deze rapportage heeft een vijftal doelen:

- 1 Vergelijken van resultaten van de 100-jarige reeks met de eerder voor de 'basisprognoses' gebruikte 26-jarige reeks: 1981 - 2006. De resultaten van deze basisprognoses zijn in 2016 voor de Knelpuntenanalyse Zoetwater getoetst en geschikt bevonden voor verdere analyse. De vergelijking heeft tot doel vast te stellen of de berekeningen van de 100-jarige reeks geschikt zijn voor gebruik binnen de Knelpuntenanalyse Zoetwater;
- 2 Eerste verkenning van knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid op basis van de 100-jarige reeks. Naast deze verkenning worden specifieke verwachte knelpunten nader onderzocht in het kader van de 'hotspotanalyse' (aparte rapportage);
- 3 Het maken van risicokaarten op basis van watertekort en landbouwschade, voor herhalingstijden van 10, 20 en 100 jaar.
- 4 Bepalen van het effect van een aantal maatregelen zoals deze zijn vastgesteld in fase 1 van het Deltaprogramma;
- 5 Onderzoeken van de meerwaarde van een berekening met een 100-jarige reeks ten opzichte van een kortere reeks.

Uit de vergelijking met de 26-jarige reeks ('basisprognoses') is gebleken dat uitkomsten grotendeels overeenkomen. Verschillen in watervraag, -tekort en veranderingen van grondwaterkarakteristieken zijn verwaarloosbaar en te verklaren door verschillen in begincondities. Er is wel aan het licht gekomen dat de berekening van de watervraag en -tekort voor peilbeheer in de basisprognoses enigszins afwijkt van wat gebruikelijk was in fase 1 van het Deltaprogramma. Afwijkingen zijn in de orde van 10%.

De analyse van hydrologische knelpunten in de zoetwatervoorziening geeft het volgende beeld:

- In het Warm 2050 scenario neemt de watervraag ten opzichte van de referentie in de droogtejaren met zo'n 10% toe. Dat leidt tot een vergroting van de tekorten.
- In de Hoge Zandgronden en Zuidwestelijke Delta (zonder aanvoer) nemen tekorten toe met de vraag, ook met zo'n 10%.

**Titel**

Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017

<b>Opdrachtgever</b> WVL	<b>Project</b> 11202240-000	<b>Kenmerk</b> 11202240-000-ZWS-0001	<b>Pagina's</b> 56
-----------------------------	--------------------------------	---	-----------------------

- Voor de gebieden met wateraanvoer nemen de tekorten echter veel meer toe dan de vraag, doordat ook het wateraanbod afneemt: voor Rivierengebied verdubbelt het tekort gemiddeld over deze jaren, voor Benedenrivierengebied verdrievoudigt het tekort, en in IJsselmeergebied vernegenvoudigt het tekort zelfs.

Met de droogterisicokaarten zijn watertekorten en landbouwschades ruimtelijk in beeld gebracht. Hiermee worden ruimtelijke verschillen benadrukt. Het laat bijvoorbeeld de verschillen zien tussen het verloop van het droogterisico: meer geleidelijk in de zandgebieden, en abrupter in de wateraanvoergebieden. Op eenzelfde manier kunnen ook effecten van maatregel(pakket)en ruimtelijk inzichtelijk worden gemaakt.

Het effect van de DPZW fase 1 maatregelen *Flexibel peil IJsselmeer, KWA+ en Inlaat Roode Vaart* op watertekorten en droogteschade landbouw is geanalyseerd voor de huidige situatie en Warm 2050. In referentie 2015 zijn alleen in een extreem droog jaar effecten zichtbaar, in Warm 2050 is dit vanaf een 1:10 droogtejaar. De verwachtingswaarde van het effect op droogteschade is volgens de berekeningen 400 k€/jaar in Warm 2050.

Door de grote invloed van extreme jaren op de berekende verwachtingswaarde blijkt een lange reeks noodzakelijk om de verwachtingswaarde van tekorten en schade robuust te kunnen bepalen. De 100-jarige reeks heeft daarmee een duidelijke meerwaarde boven kortere reeksen, of het werken met representatieve jaren. De 26-jarige reeks van de basisprognoses blijkt niet representatief en onderschat het verwachte tekort. Voor het grondwatersysteem geldt daarnaast dat in de trage systemen (de hoge zandgronden) effecten van begincondities van het model lang kunnen doorwerken. Effecten op grondwaterstanden kunnen daarom alleen met een 100-jarige reeks voldoende nauwkeurig worden gesimuleerd.

**Referenties**

--

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mei 2018	Marjolein Mens		Wim de Lange		Gerard Blom	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017	1
1.2	Regio-indeling	2
1.3	Definitie van watervraag, wateraanbod en watertekort	3
1.4	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>Achtergrond berekeningen 100-jarige reeks NWM</b>	<b>7</b>
2.1	Het Nationaal Water Model	7
2.2	Deltascenario's	8
2.3	Invoergegevens 100-jarige reeks	9
2.3.1	Klimaat	9
2.3.2	Socio-economische ontwikkelingen	11
2.4	Uitgevoerde berekeningen	11
<b>3</b>	<b>Vergelijking resultaten met de Basisprognoses</b>	<b>13</b>
3.1	Inleiding	13
3.2	Wateraanbod en –tekort voor droog jaar 1989	13
3.3	Neerslagtekort en afvoertekort	15
3.4	Kansverdeling van watertekorten en het effect van reekslengte	15
3.5	Grondwaterstandsveranderingen	18
<b>4</b>	<b>Optredende knelpunten in de 100-jarige reeks</b>	<b>23</b>
4.1	Aanpak	23
4.2	Kritische droogtejaren	23
4.2.1	Top-10 jaren	23
4.2.2	Kritische jaren per gebied	26
4.3	Analyse van wateraanvoer en -tekort	27
4.3.1	Wateraanvoer en –tekort in Nederland	27
4.3.2	Overschrijdingskans tekorten regio's	28
4.3.3	Uitzakken IJsselmeerpeil	30
4.3.4	Kritische droogtejaren in de huidige situatie	31
4.3.5	Kritische droogtejaren in Warm 2050	33
<b>5</b>	<b>Droogte risicokaarten</b>	<b>37</b>
5.1	Aanpak droogte risicokaarten	37
5.2	Risicokaarten watertekort en landbouwschade	38
<b>6</b>	<b>Effect maatregelen DP Zoetwater fase 1</b>	<b>41</b>
6.1	Aanpak en toelichting maatregelen	41
6.2	Heel Nederland	42
6.2.1	Watervraag en –tekort	42
6.2.2	Landbouwschade	43
6.3	Flexibel peilbeheer IJsselmeergebied	44
6.3.1	Effect op watertekorten	44
6.3.2	Doorwerking op landbouwschade	46
6.4	KWA+	47
6.4.1	Inzet KWA	47

6.4.2	Effect van KWA+ op watertekorten	49
6.4.3	Doorwerking op landbouwschade	50
6.5	Roode Vaart	51
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>53</b>
7.1	Conclusies	53
7.2	Aanbevelingen	54
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>55</b>



## 1 Inleiding

### 1.1 Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017

Toewerkend naar de volgende Deltabeslissing Zoetwater in 2021, heeft het project 'Knelpuntenanalyse' de volgende doelen: verkennen van nut en noodzaak van additionele zoetwatermaatregelen, herijken van de zoetwaterstrategie, en een bijdrage leveren aan de onderbouwing van de afspraken over de waterbeschikbaarheid. Voor het proces van Deltaprogramma Zoetwater is een Routekaart opgesteld met de belangrijkste bestuurlijke mijlpalen, zie *Figuur 1.1*.

#### Deltaplan Zoetwater - Routekaart naar fase 2 | producten en mijlpalen



Figuur 1.1 Routekaart fase 2 Deltaprogramma Zoetwater

Binnen het Deltaprogramma Zoetwater wordt gebruik gemaakt van het Nationaal Water Model (NWM), de opvolger van het Deltamodel, voor kwantitatieve onderbouwing van beleidskeuzen. In 2016 is de invoer van de meteorologie en rivierafvoeren van het NWM verlengd tot een '100-jarige reeks', voor de periode 1911 tot 2014. Hiervoor is gebruik gemaakt van historische metingen (Kroon et al., 2015). Voor deze tijdsperiode is daarnaast een vertaling gemaakt naar de verschillende Deltascenario's (Wesselius et al., 2017). Kramer (2018) beschrijft de in deze 100-jarige reeks aanwezige trends in het klimaat (de 'invoer') en de watervraag en -aanbod (de 'uitvoer').

Deze rapportage beschrijft de voor de Knelpuntenanalyse 2017 relevante resultaten van NWM berekeningen van deze 100-jarige reeks.

Deze rapportage heeft een vijftal doelen:

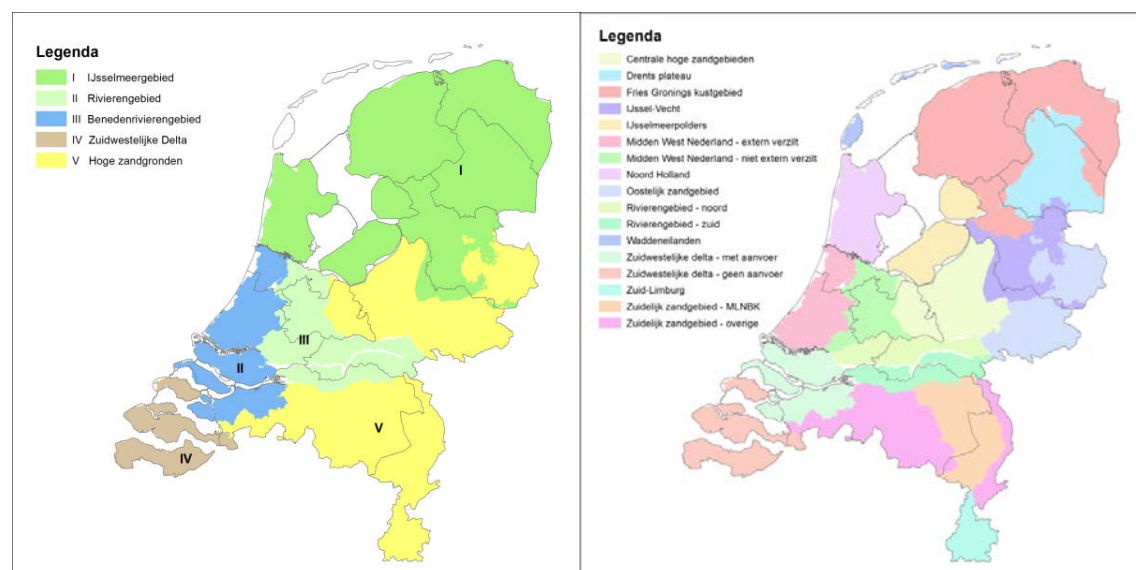
- 1 Vergelijken van resultaten van de 100-jarige reeks met de eerder voor de 'basisprognoses' gebruikte 26-jarige reeks, 1981 - 2006. Voor deze basisprognoses zijn de resultaten van het NWM voor de Knelpuntenanalyse Zoetwater getoetst en voldoende bevonden (Snippen et al., 2016b). De vergelijking heeft tot doel vast te stellen of de berekeningen van de 100-jarige reeks geschikt zijn voor gebruik binnen de Knelpuntenanalyse Zoetwater.
- 2 Eerste verkenning van knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid op basis van de 100-jarige reeks. Naast deze verkenning worden specifieke verwachte knelpunten nader onderzocht in het kader van de 'hotspotanalyse' (Mens et al., 2018).
- 3 Het maken van risicokaarten op basis van watertekort en landbouwschade, voor herhalingsjaren van 10, 20 en 100 jaar.
- 4 Bepalen van het effect van de maatregelen zoals deze zijn vastgesteld in fase 1 van het Deltaprogramma.
- 5 Onderzoeken van de meerwaarde van een berekening met een 100-jarige reeks ten opzichte van een kortere reeks.

## 1.2 Regio-indeling

Om knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid te duiden wordt binnen de Knelpuntenanalyse Zoetwater gebruik gemaakt van een regio-indeling van 5 hoofdregio's of 17 regio's. De regio-indeling is overgenomen uit de vorige fase van het DPZW (Ter Maat e.a., 2014).

De 5 onderscheiden hoofdregio's zijn (Figuur 1.2, links):

- I. IJsselmeergebied (Noord-Holland, Flevoland, Friesland, Groningen, Drenthe, en delen van Gelderland en Overijssel voorzien vanuit de IJssel en Twentekanalen),
- II. Benedenrivierengebied (inclusief Rijnland, Delfland, Schieland, West-Brabant, Tholen),
- III. Rivierengebied (inclusief HDSR en Amstelland),
- IV. Zuidwestelijke Delta (Zeeland),
- V. Hoge zandgronden (Gelderland, Twente, Brabant, Limburg).



Figuur 1.2 Indeling van Nederland in 5 hoofdregio's (links) en 17 regio's (rechts) (Ter Maat et al, 2014)

### 1.3 Definitie van watervraag, wateraanbod en watertekort

In deze rapportage worden watervragen en watertekorten gepresenteerd die worden berekend met het Nationaal Water Model. Al deze watervragen en –tekorten hebben betrekking op oppervlaktewater, zie ook Kader. Vragen aan grondwater (voor beregening, drinkwaterbereiding, etc.) worden in het model altijd geleverd en zijn daarom niet in de overzichten opgenomen.

De watervragen en –tekorten worden uitgesplitst in drie categorieën: peilbeheer, doorspoeling en beregening.

#### *Watervraag peilbeheer*

Het gaat hier om de watervraag die nodig is om het streefpeil te handhaven. Deze vraag wordt alleen berekend in peil beheerste gebieden. Deze vraag is een resultante van de neerslag, verdamping, drainage en infiltratie in een gebied. Daarnaast kan er een peilbeheer vraag optreden omdat het peil aan het begin van een rekentijdstap al niet gelijk is aan het streefpeil. Dit kan komen doordat in eerdere tijdstappen niet aan de vraag kon worden voldaan (tekort), of bij opzet van het peil bijvoorbeeld op de overgang van winter- naar zomerpeil.

#### *Watervraag doorspoeling*

In het NWM is in de polderwateren een vast gedefinieerd doorspoeldebiet opgenomen. Dit debiet zorgt voor een vaste doorspoelvraag van dezelfde omvang. Deze vraag wordt alleen opgelegd in peil beheerste gebieden. De doorspoelvraag van boezemwateren wordt in deze rapportage niet beschouwd<sup>1</sup>.

#### *Watervraag beregening*

De watervraag beregening is de hoeveelheid beregeningswater ten behoeve van de landbouw die uit het oppervlaktewater onttrokken wordt (gevraagd wordt). Landbouwpercelen hebben wel of niet de beschikking over een beregeningsinstallatie, en betrekken hun beregeningswater uit het oppervlaktewater dan wel uit het grondwater. Afhankelijk van de vochtsituatie in de bodem worden gewassen vervolgens beregend. De watervraag beregening betreft daarmee alleen de percelen met een beregeningsinstallatie uit oppervlaktewater.

In deze rapportage worden alleen watervragen aan het regionale oppervlaktewater weergegeven (d.w.z. vragen die berekend worden door deelmodel Mozart). De grotere boezems die wel tot het regionale systeem gerekend moeten worden (maar gemodelleerd zijn in deelmodel DM) zijn hier om praktische redenen buiten beschouwing gelaten. In vervolganalyses binnen de Knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater zullen deze wel worden beschouwd.

---

<sup>1</sup> In modeltermen: alleen Mozart watervragen worden beschouwd. DM simuleert doorspoeling in boezemwateren, door een 'gewenst debiet' op te leggen, en peilbeheer door een 'gewenst peil' op te leggen.

## Kader: Betekenis van watervraag, -aanvoer en -tekort

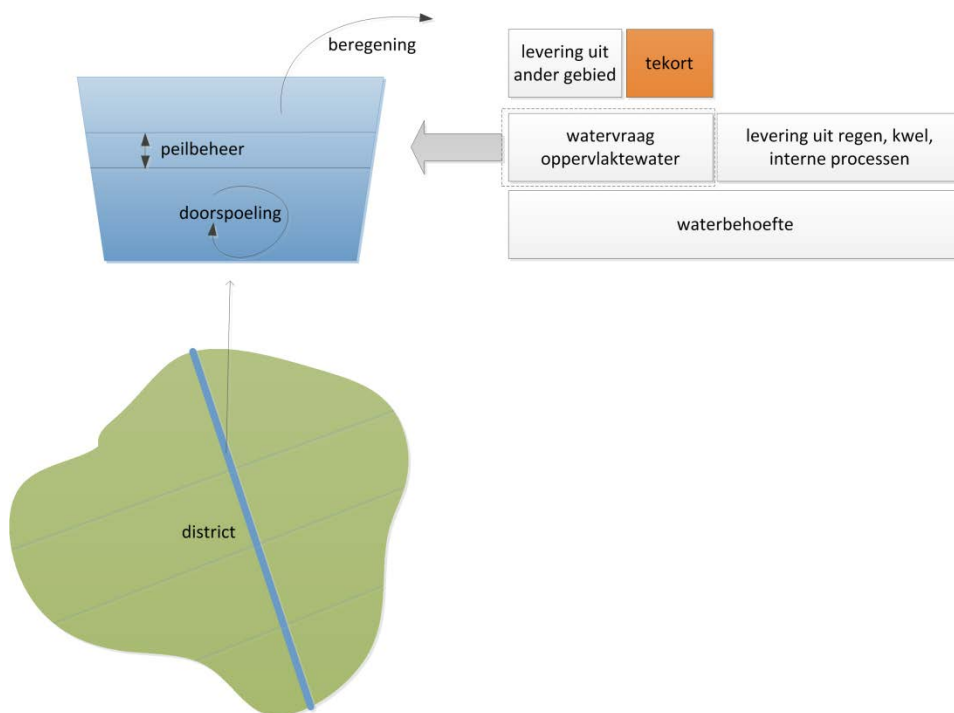
Watervraag is de totale vraag van het oppervlaktewatersysteem in een regio, na levering vanuit neerslag, kwel, interne uitwisseling van oppervlaktewater binnen een district. De vraag betreft het water dat nodig is voor beregening, doorspoeling en peilbeheer.

Watervragen worden alleen gesteld als deze vraag is vastgelegd in waterbeheer (bijvoorbeeld een bepaald streefpeil, of een doorspoeldebiet), en/of er de fysieke infrastructuur aanwezig is om een vraag te stellen (bijvoorbeeld een beregeningsinstallatie). We merken op dat de *waterbehoefte* van een regio veel groter is dan de watervraag aan het oppervlaktewatersysteem.

Tekorten ontstaan wanneer er niet voldoende wateraanbod is om deze watervragen van water te voorzien. Dit wateraanbod kan komen uit bovenstrooms gelegen gebieden, of uiteindelijk worden aangevoerd vanuit het hoofdwatersysteem. Het NWM berekent geen tekorten voor watervragen aan het grondwater, deze worden altijd voorzien (ook al worden er in werkelijkheid beregeningsverboden afgekondigd).

In de in dit rapport gepresenteerde watervragen en –tekorten bevatten niet:

- Watervraag landbouw in gebieden zonder beregening of met grondwaterberegening;
- Directe watervragen aan het hoofdwatersysteem (bijvoorbeeld drinkwater- en industrieonttrekkingen);
- Watervraag van drinkwater en industrie in de regio; dit is een zeer kleine hoeveelheid vergeleken met de andere gebruikers.



#### **1.4 Leeswijzer**

Deze rapportage geeft eerst een overzicht van het gebruikte instrumentarium en de uitgangspunten van de uitgevoerde berekeningen (H2). Om vast te stellen dat de berekeningen goed zijn verlopen, en tevens de meerwaarde van de 100-jarige reeks te onderzoeken, worden de uitkomsten van de 100-jarige reeks vergeleken met de resultaten van de basisprognoses (H3). Op basis van de 100-jarige reeks worden vervolgens de knelpunten in de zoetwatervoorziening onderzocht (H4). Op basis van de 100-jarige reeks is ruimtelijk het risico op knelpunten in beeld gebracht in 'droogte risicokaarten', dit wordt beschreven in H5. H6 onderzoekt het effect van de verschillende maatregelen waartoe in fase 1 van het Deltaprogramma is besloten: de KWA+, flexibel peil op het IJsselmeer, en aanvoer via de Roode Vaart.

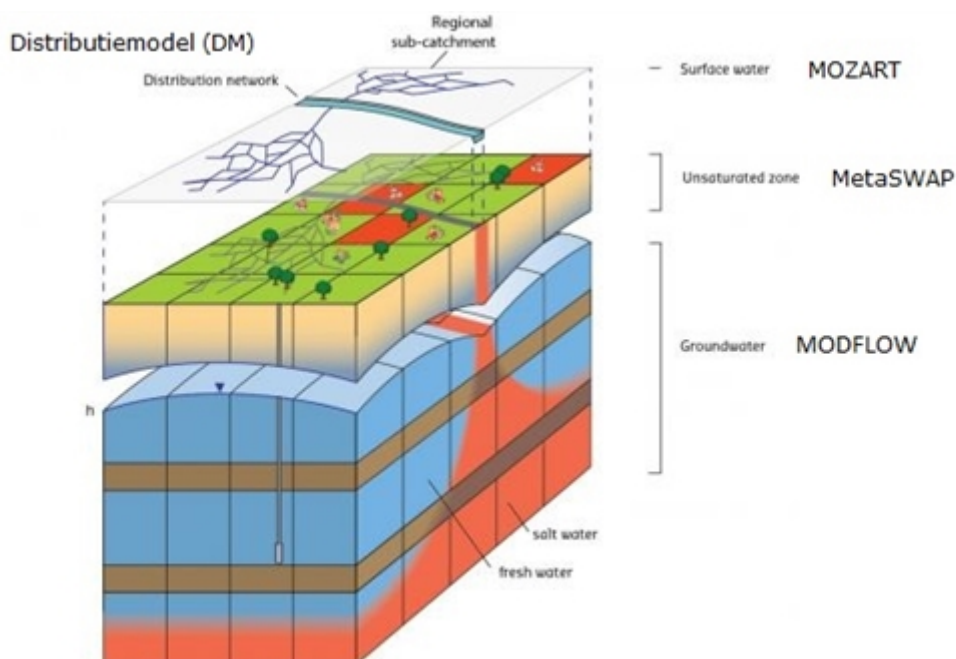


## 2 Achtergrond berekeningen 100-jarige reeks NWM

### 2.1 Het Nationaal Water Model

Het Nationaal Water Model bestaat uit een modellentrein voor Veiligheid, Zoetwater en Waterkwaliteit (in voorbereiding). Het deel Zoetwater richt zich op het faciliteren van de landelijke analyses van de watervraag, waterverdeling en waterbeschikbaarheid, bij verandering van het klimaat en socio-economische omstandigheden. Het modelinstrumentarium voor zoetwater is een modellentrein van afzonderlijke deelmodellen. De volgende deelmodellen worden gebruikt:

- Landelijk Hydrologisch model (LHM). Het LHM model berekent de watervraag en verdeling van oppervlaktewater in Nederland. Dit model wordt hieronder uitgebreider toegelicht.
- SOBEK-Noordelijk Delta Bekken model (NDB). Dit wordt ingezet voor de berekening van de zoutindringing via de Noordzee in het Noordelijk Delta Bekken.
- Landelijk Sobek model (LSM light/LSM). Het LSM wordt binnen het Nationaal Water Model vooral ingezet om het oppervlaktewater in meer detail door te rekenen.
- Landelijk Temperatuur model (LTM). Het LTM is een module waarmee de (rivier)watertemperatuur kan worden gemodelleerd.



Figuur 2.1 Modelonderdelen van het LHM (De Lange et al., 2013)

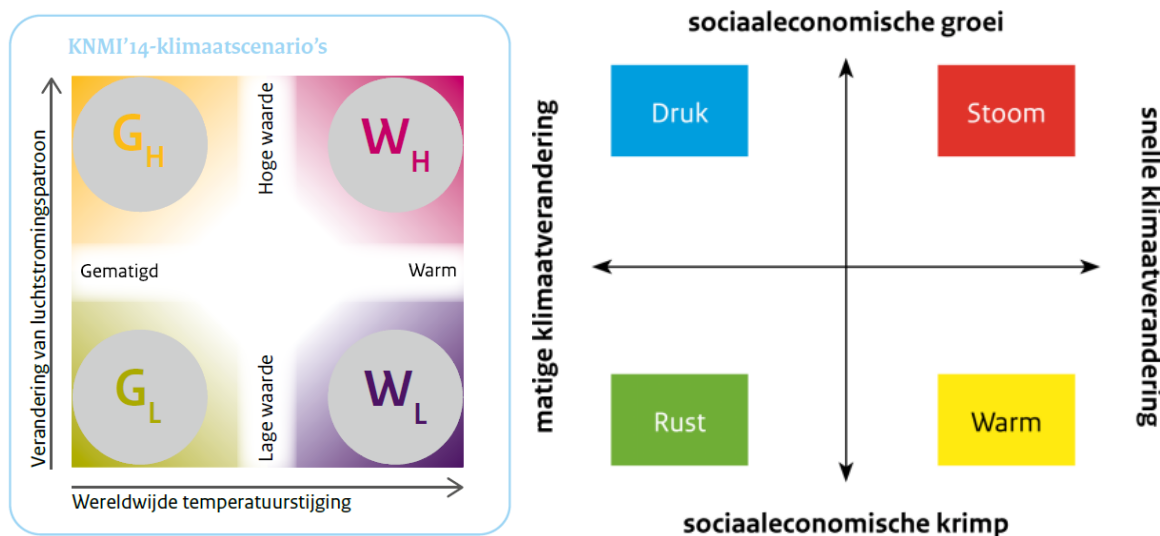
Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) is het grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland (De Lange et al., 2013). Het bestaat uit 4 geïntegreerde modellen voor verschillende hydrologische subdomeinen (Figuur 2.1). Het verzadigd grondwatermodel MODFLOW is gekoppeld aan het onverzadigde zonemodel MetaSWAP.

Deze worden gevoed met neerslag, temperatuur en verdampingsgegevens. MODFLOW-MetaSWAP wisselt informatie uit met MOZART, dat de verdeling van oppervlaktewater in het regionale watersysteem beschrijft. Tenslotte berekent het Distributiemodel (DM) de verdeling van het beschikbare water in het hoofdwatersysteem.

Voor de 100-jarige reeks is gebruik gemaakt van NWM versie 1.3.0.0, juni 2016. Onderdeel van deze versie van het NWM is het LHM, modelversie 3.02. Het LHM wordt in een continu proces verbeterd. Sinds de oplevering van LHM versie 3.02 hebben er verschillende verbeteringen plaatsgevonden in latere versies (Hoogewoud et al., 2015; Burgering et al., 2016; Kroon et al., 2017). In de laatste oplevering van het NWM (2.1.0.0, april 2018) is LHM versie 3.3 opgenomen. De berekeningen met deze nieuwe versie, ten behoeve van de Basisprognoses Zoetwater 2018 en Deltaprogramma Zoetwater, komen naar verwachting in najaar 2018 beschikbaar.

## 2.2 Deltascenario's

In het Deltaprogramma wordt gewerkt met Deltascenario's. Hierbij worden de klimaatscenario's van het KNMI gecombineerd met socio-economische scenario's (o.a. landgebruik, bodemdaling, onttrekkingen, etc.). De KNMI'14 scenario's bevatten vier scenario's voor de toekomstige klimaatverandering. In KNMI'14 zijn dit de scenario's  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$  (zie Figuur 2.2, links). In de Deltascenario's worden het  $G_L$  (ondergrens van de bandbreedte) en het  $W_H$  (bovengrens van de bandbreedte) gebruikt als respectievelijk matige en snelle klimaatverandering (Figuur 2.2, rechts) in de Deltascenario's.



Figuur 2.2 Links: KNMI '14 scenario's (KNMI, 2015), rechts: Deltascenario's (Bruggeman & Dammers, 2013)

Recent is een herziening van de Deltascenario's gereed gekomen (Wolters et al., 2018). Deze herziening kwam niet op tijd om in de berekening van de 100-jarige reeks te worden meegenomen. In plaats daarvan zijn de oorspronkelijke Deltascenario's (Bruggeman & Dammers, 2013) toegepast. Hierbij zijn wel de KNMI '14 klimaatscenario's gebruikt, in plaats van de KNMI '06 scenario's zoals in de oorspronkelijke Deltascenario's.



## 2.3 Invoergegevens 100-jarige reeks

Invoergegevens voor de 100-jarige reeks zijn opgesteld voor zowel de huidige situatie, als het Deltascenario WARM 2050 (Bruggeman & Dammers, 2013). Per jaar variërende invoergegevens betreffen alleen het weer (neerslag, verdamping, temperaturen), en de rivierafvoeren (afvoer, peil, zoutindringing). Voor de overige invoer (bijvoorbeeld landgebruik, watersysteeminformatie) wordt uitgegaan van de huidige situatie (of voor de Deltascenario's de verwachte toekomstige situatie). De 100-jarige reeks geeft daarmee nadrukkelijk niet de historische situatie weer over de afgelopen honderd jaar. De 100-jarige reeks is uitsluitend bedoeld om de effecten van de weersvariatie op het huidige (of toekomstige) watersysteem in beeld te brengen.

De invoergegevens ten behoeve van de 100-jarige reeks zijn in verschillende rapporten beschreven. Hier worden de invoergegevens samengevat en wordt verwezen naar deze onderliggende rapporten.

### 2.3.1 Klimaat

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de klimaat-gerelateerde invoergegevens die voor de 100-jarige berekening zijn opgesteld.

Tabel 2.1 Overzicht van de klimaat-gerelateerde invoergegevens ten behoeve van de 100-jarige berekening

	Referentiesituatie 2015	Deltascenario Warm2050	Bron	Referentie
Neerslag <sup>1</sup>	RDH_REF_oper_v0002_1910_2015	RDH_50WH_oper_v0002_1910_2015	KNMI	Kroon, 2015
Verdamping <sup>1</sup>	EVH_REF_oper_v0002_1910_2015	EVH_50WH_oper_v0002_1910_2015	KNMI	Kroon, 2015
Zeespiegelstijging	+ 0 cm	+ 40 cm	KNMI	Hunink & Hegnauer, 2016
Rivierafvoeren	Historische reeks aangevuld met behulp van regressie voor Lobith (1901-2014) en Monsin (1911-2014)	Afvoerreeks verkregen door transformatie o.b.v. HBV simulaties huidig en toekomstig klimaat en toegepast op gemeten reeksen Lobith en Monsin	RWS	Kroon, 2015 Wesselijs, 2017
Afvoer zijrivieren	Gemeten waarden aangevuld met regressierelatie voor ontbrekende waarden	Afgeleid o.b.v. regressierelatie met Maas/Rijn toegepast op reeks Wh2050 afvoeren	Deltares	Kroon, 2015 Wesselijs, 2017
Interne verzilting	Grensvlak op basis van metingen en landelijk en regionale modellen	Berekeningen NHI-zz met KNMI06 2050 W	modelberekening o.b.v. NHI (submodel Zoet-zout)	Oude Essink & Verkaik, 2010
Externe verzilting	Chloride concentraties o.b.v. SOBEK-RE NDB berekening referentie	Chloride concentraties o.b.v. SOBEK-RE NDB berekening WH2050	NWM (berekend)	Buschman, 2016

Peilen hoofdwatersysteem	Gebaseerd op basis van QH-correlatie (o.b.v. 30 jarige reeks) met afvoeren Lobith en Monsin	Gebaseerd op basis van QH-correlatie (o.b.v. 30 jarige reeks) met afvoeren Lobith en Monsin	relatie afgeleid door Deltares	
Watertemperatuur	de meetlocaties Lobith en Eijsden ponton deels aangevuld met MWTL-data	Afgeleid door transformatie op referentiedata o.b.v. regressierelatie variabelen TG en Q	RWS	Wesselius, 2017
Luchttemperatuur (TG)	TGH_REF_v0001	TGH_50WH_v0001	KNMI	Wesselius, 2017
Relatieve luchtvochtigheid (UG)	UGH_REF_v0001	transformatie o.b.v. veranderingsvector en brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016
Straling (Q)	QH_REF_v0001	QH_50WH_v0001	KNMI	Wesselius, 2017
Bewolgingsgraad (NG)	scalaire tijdreeksen voor de beschikbare KNMI stations. aangevuld met default waardes voor ontbrekende waarden	transformatie o.b.v. veranderingsvector en brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016
Windsnelheid (FG)	scalaire tijdreeksen voor de beschikbare KNMI stations. aangevuld met default waardes voor ontbrekende waarden	transformatie o.b.v. veranderingsvector en brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016

<sup>1</sup> Voor alle griddata geldt dat deze beschikbaar zijn op de volgende opendap-locatie: <http://opendap-dm<sup>2</sup>.knmi.nl:8080/thredds/deltamodel-aggregations.html>

### 2.3.2 Socio-economische ontwikkelingen

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de invoergegevens gerelateerd aan socio-economische ontwikkelingen die voor de 100-jarige berekening zijn opgesteld.

Tabel 2.2 Invoergegevens gerelateerd aan socio-economische ontwikkelingen

	Referentiesituatie 2015	Deltascenario Warm2050	Bron	Referentie
Landgebruik en verhardingskaart	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. LHM release 3.0.2	Landgebruik en verhardingskaarten o.b.v. W+2050	Delta scenario 2013	Hunink, 2013
Bodemdaling	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. LHM release 3.0.2	Bodemdaling o.b.v. W+2050	Delta scenario 2013	Hunink, 2013
Onttrekkingen oppervlaktewater	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. LHM release 3.0.2	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. W+2050	Delta scenario 2013	Hunink, 2013
Onttrekkingen grondwater	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. LHM release 3.0.2	Onttrekkingen grondwater o.b.v. W+2050	Delta scenario 2013	Hunink, 2013
Warmtelozingen	constructie historische reeks van warmtelozingen voor de periode 1911-2015 o.b.v. E-productie NL	geen wijzigingen	CBS	Hunink, 2016

### 2.4 Uitgevoerde berekeningen

De volgende vier berekeningen zijn uitgevoerd:

	Referentiesituatie 2015	Deltascenario Warm2050
Geen maatregelen	REF2015-S1	Warm 2050-S1
Maatregelen DPZW fase 1	REF2015-S2	Warm 2050-S2

De DPZW fase 1 maatregelen zijn als volgt geïmplementeerd in NWM (voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar Snippen et al. (2016a)):

#### Uitbreiding KWA capaciteit (KWA+)

Hierin is de KWA capaciteit uitgebreid tot 15 m<sup>3</sup>/s, waarvan 10.5 m<sup>3</sup>/s via Bodegraven en 4 m<sup>3</sup>/s via de Waaiersluis bij Gouda naar West-Nederland (Rijnland / Delfland / Schieland) kan worden doorgevoerd.

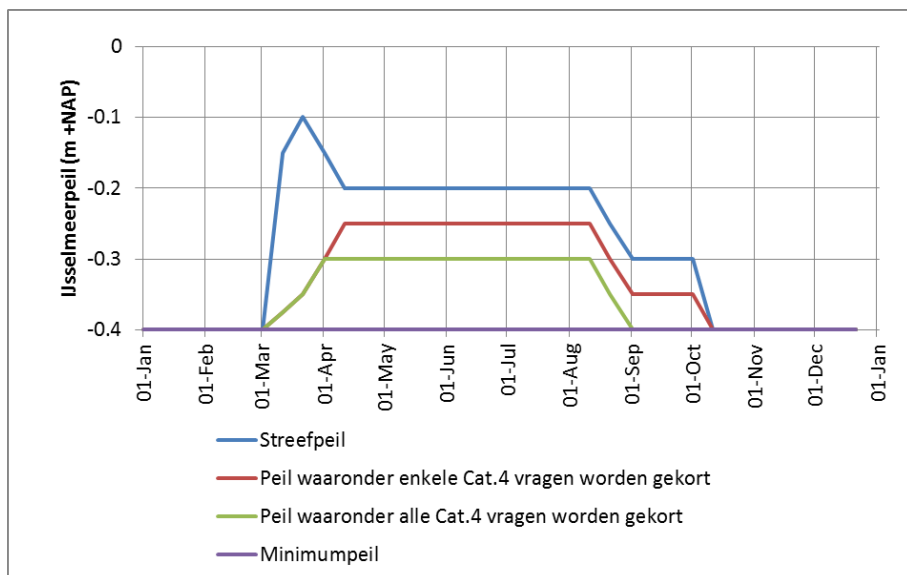
#### Roode Vaart

De inlaat Roode Vaart is geactiveerd met capaciteit van 3.5 m<sup>3</sup>/s.

#### Flexibel peil IJsselmeer

Het flexibel peil is geïmplementeerd als een tijdelijke verhoging van het streefpeil van IJsselmeer en Markermeer in het voorjaar (tot -0.10 m NAP eind maart), en daarna weer laten zakken van tot het nu gebruikelijke streefpeil van -0.20 m NAP, en eerder toestaan van verlaging van het peil gedurende de maand augustus (van -0.20 naar -0.30 m NAP). Een tijdelijke opzet gedurende het zomerseizoen vooruitlopend op een aankomende droogte is niet mogelijk in DM, omdat het een waterbalansmodel is zonder voorspelmodus.

De implementatie van flexibel peilbeheer is recent in de Hotspotanalyse (Mens et al., 2018) verkend met de *Quick Water Allocation Scan Tool* (QWAST). Dit model heeft een RTCtools rekenkern en kan daarom wel rekening houden met aankomende droogte.



Figuur 2.3 LHM modelinvoer flexibel peil IJsselmeer / Markermeer (Snippen et al., 2016a)

### 3 Vergelijking resultaten met de Basisprognoses

#### 3.1 Inleiding

In 2016 zijn de Basisprognoses Zoetwater (Snippen et al., 2016b) verschenen, die een eerste beeld geven van de verdeling en beschikbaarheid van Zoetwater in Nederland in de huidige situatie en op de middellange termijn (2050/2085). De Basisprognoses zijn berekend met het NWM, op basis van een 26-jarige reeks (1981 – 2006). De Basisprognoses hadden een tweeledig doel: 1) Controle van de berekeningen met het Nationaal Water Model, en 2) Analyse wat de KNMI'14 scenario's betekenen voor de zoetwatervoorziening van Nederland.

In de Basisprognoses is vastgesteld dat resultaten van het NWM goed vergelijkbaar zijn met het Deltamodel, het modelinstrumentarium dat is toegepast in Deltaprogramma fase 1 (zie ook volgende paragraaf). In dit hoofdstuk vergelijken we de resultaten van de 100-jarige reeks met de resultaten van de basisprognoses om de berekeningsresultaten van de 100-jarige reeks te verifiëren. In Hunink et al. (2016) is eerder al gekeken naar de plausibiliteit van de uitkomsten van de 100-jarige reeks. Dit betrof echter slechts de doorrekening van het LHM op de NHI-server, en niet het NWM op de rekenfaciliteit.

In Snippen et al. (2016b) zijn de resultaten van het NWM getoetst voor de basisprognose-runs. Hierin is het volgende geconcludeerd (overgenomen uit Snippen et al. (2016b)):

*“De uitgevoerde analyses geven aan dat de koppelingen in het NWM-instrumentarium, tussen deelmodellen, en tussen invoer en deelmodellen, goed zijn gelegd. De resultaten kunnen gebruikt worden in vervolgprojecten, met uitzondering van de resultaten voor Rust2050 waarbij in de invoer vanuit de socio-economische scenario's het landgebruik niet correct is. Het is belangrijk om de verschillen in modelconcepten bij interpretatie van de resultaten in beeld te houden.*

*De resultaten voor het jaar 1989 zijn vergeleken met de vorige Deltascenario's KNMI'06 op afvoertekorten, neerslagtekorten, grondwaterstanden, en wateraanbod en –tekort per knelpuntgebied. Deze resultaten kwamen voor het huidige klimaat overeen. De scenario's Warm/Stoom en Druk/Rust geven vergelijkbare trends in watervraag, -aanbod en –tekort. Absoluut gezien zijn de trends wel kleiner dan in de Deltascenario's KNMI'06. Deze verschillen kunnen verklaard worden door de verandering in neerslagtekort en afvoertekort als gevolg van de nieuwe KNMI scenario's.”*

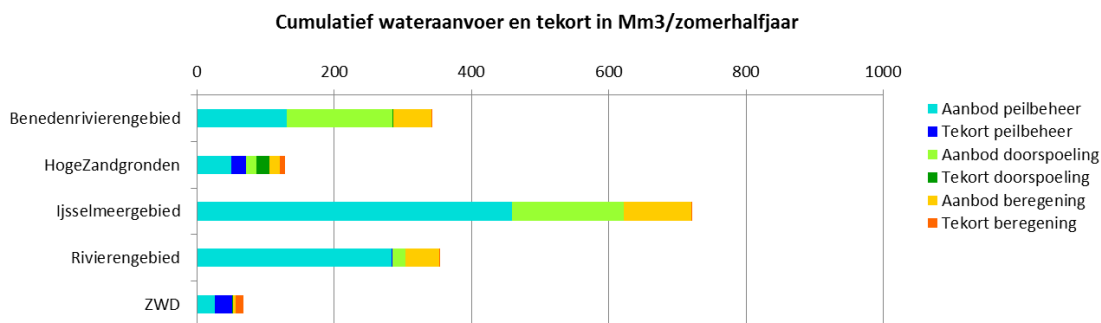
In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de 100-jarige reeks vergeleken met de resultaten van de Basisprognoses 2016, voor het jaar 1989. Tevens wordt de meerwaarde van de 100-jarige reeks in beeld gebracht.

#### 3.2 Wateraanbod en –tekort voor droog jaar 1989

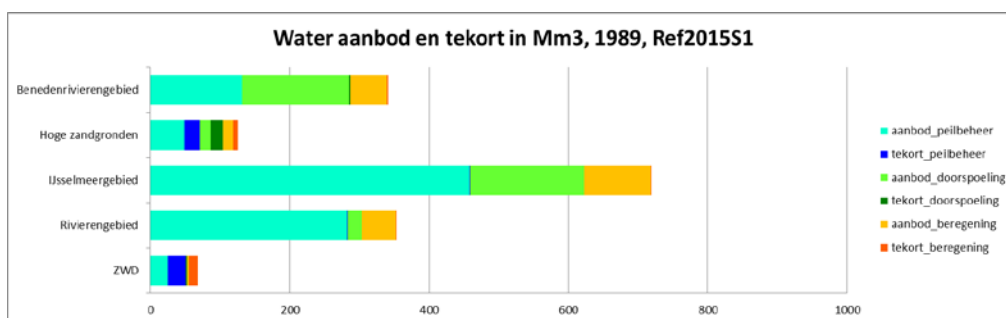
Voor de referentiesituatie geven Snippen et al. (2016b) per hoofdregio het berekende wateraanbod en –tekort verdeeld over de 'watervragers' peilbeheer, doorspoeling en beregening (Figuur 3.1). Deze figuur is alleen beschikbaar voor het 1:10 droge jaar 1989. Dezelfde figuur, volgens dezelfde rekenwijze, is gemaakt op basis van de 100-jarige reeks (Figuur 3.2). De figuren laten zien dat het berekende wateraanbod en –tekort nagenoeg gelijk is gebleven. Daarnaast zijn de absolute berekende watervragen en –tekorten voor de gehele periode 1981-2006 uit de 100-jarige reeks vergeleken met die van de 26-jarige reeks. Hieruit is gebleken dat de verschillen gering zijn: maximaal 3 procent.

Deze verschillen worden verklaard door verschillen in initiële condities en verschillen in de gebruikte meteorologische en chloride randvoorwaarden. De verschillende initiële condities kunnen vooral op de hoge zandgronden enkele jaren doorwerken.

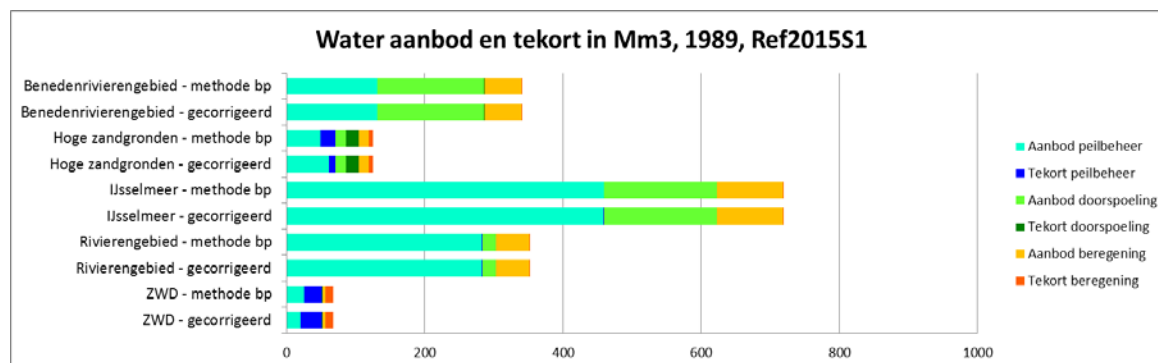
Na gereedkomen van de basisprognoses is gebleken dat daarin het wateraanbod en –tekort op een iets andere manier zijn berekend dan in fase 1 van het Deltaprogramma. In de berekening in de basisprognoses werd geen rekening gehouden met water dat eventueel bovenstrooms in een district beschikbaar was om in de vraag te voorzien. Verschillen zijn beperkt, en treden met name op in de tekorten voor Hoge zandgronden en de Zuidwestelijke Delta (Figuur 3.3). Totale tekorten (Heel NL) zijn daarom in de gecorrigeerde, dus rekening houdend met bovenstroomse aanvoer, berekeningen zo'n 10% lager. Voor deze rapportage is dit hersteld, en wordt verder de gecorrigeerde rekenmethode toegepast.



Figuur 3.1 Wateraanbod en –tekort in 1989, basisprognoses (Snippen et al., 2016b)



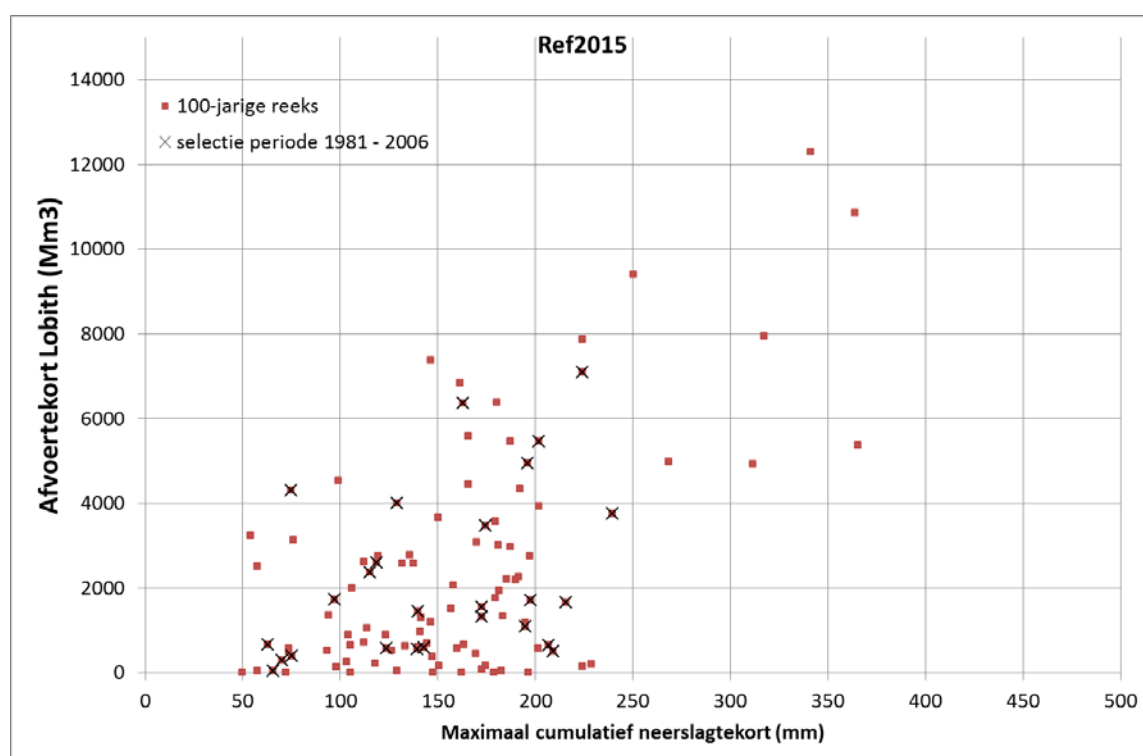
Figuur 3.2 Wateraanbod en –tekort in 1989, 100-jarige reeks, volgens rekenmethode basisprognoses



Figuur 3.3 Verschillen in wateraanbod en –tekort tussen rekenwijze basisprognoses en gecorrigeerd

### 3.3 Neerslagtekort en afvoertekort

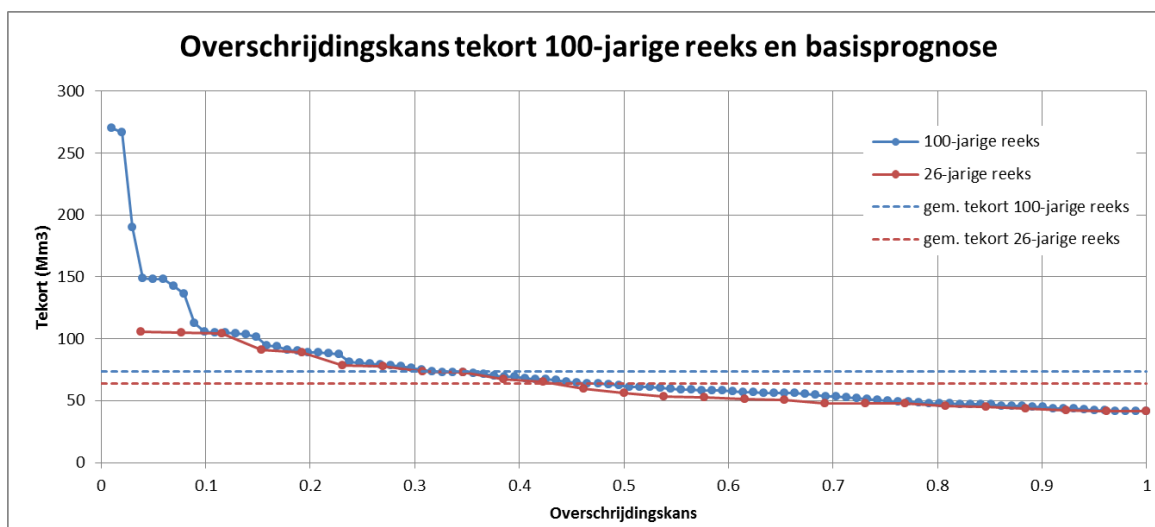
In veel gebieden treedt watertekort op zodra er tegelijkertijd sprake is van neerslagtekort (maat voor meteorologische droogte; berekend als het maximum van het cumulatieve verschil tussen neerslag en verdamping over het zomerhalfjaar) en afvoertekort (maat voor langdurig lage afvoeren; berekend als het volumetekort van afvoer bij Lobith onder een grenswaarde van 1800 m<sup>3</sup>). Figuur 3.4 toont middels een scatterplot voor elk jaar in de 100-jarige reeks de combinatie van neerslagtekort en afvoertekort. Voor de vergelijking met de basisprognoses is ook de periode 1981-2006 hierin aangemerkt. Hieruit blijkt dat deze periode niet de meest extreme jaren bevat. De gevolgen voor watertekort is uit dit figuur niet af te lezen, omdat dit mede afhankelijk is van de timing van neerslagtekort/afvoertekort in de tijd en sturingsregels in het waterbeheer.



Figuur 3.4 Scatterplot van neerslagtekort (mm) en afvoertekort Lobith (Mm<sup>3</sup>) van de 100-jarige reeks Ref2015, en van de periode 1981 - 2006

### 3.4 Kansverdeling van watertekorten en het effect van reekslengte

Figuur 3.5 geeft de kansverdeling voor het totaal berekende tekort per jaar, in zowel de 100-jarige reeks als de Basisprognoses (voor de vergelijkbaarheid is het tekort berekend volgens de methode van de basisprognoses). In de 26-jarige reeks missen de extreem droge jaren die in de 100-jarige reeks wel vertegenwoordigd zijn. De lagere herhalingstijden (vanaf 1/10 jaar) komen redelijk overeen. Doordat de extreem droge jaren in de reeks missen, is de verwachtingswaarde van het tekort (= het gemiddelde tekort berekend over de hele tijdreeks) in de Basisprognoses beduidend lager: 63.8 Mm<sup>3</sup> (basisprognoses) om 73.6 Mm<sup>3</sup> (100-jarige reeks).



Figuur 3.5 Overschrijdingskans totaal tekort (Heel NL) volgens 100-jarige reeks en basisprognoses, Ref2015

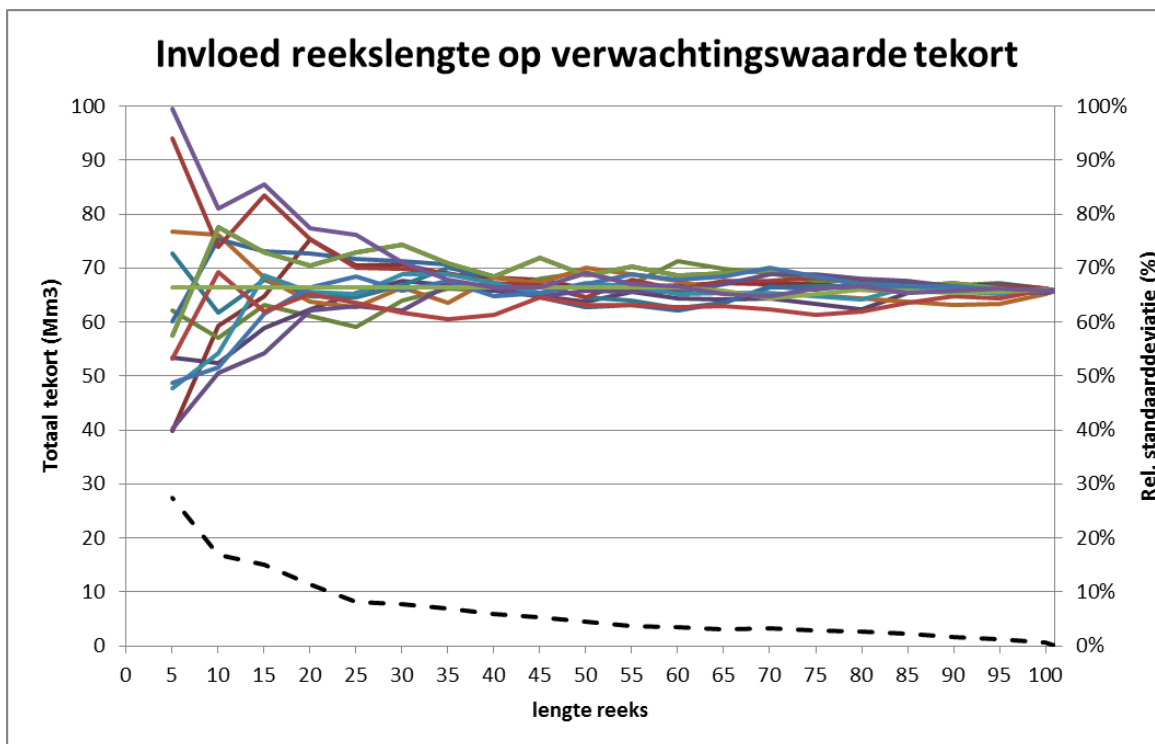
Tabel 3.1 geeft voor verschillende perioden in de 100-jarige reeks de berekende verwachtingswaarde van het watertekort in Nederland. De gekozen periode heeft duidelijk zijn weerslag op de verwachtingswaarde van het watertekort. De afname van het gemiddelde tekort per periode van 25 jaar weerspiegelt de algemene trend in het neerslagtekort over de 100-jarige reeks (Kramer, 2018), en het feit dat de meeste extreem droge jaren in de eerste helft van de 100-jarige reeks hebben plaatsgevonden.

Tabel 3.1 Verwachtingswaarde watertekort (heel NL, Ref2015-S1) voor verschillende 25-jarige perioden in de 100-jarige reeks, de periode van de basisprognoses, en de gehele 100-jarige periode. Tekorten zowel volgens de methode van de basisprognoses, als de gecorrigeerde methode zoals beschreven in Paragraaf 3.2.1.

periode	Verwachtingswaarde tekort (Mm3)	
	volgens methode basisprognoses	gecorrigeerd
1911 - 1935	84.7	76.4
1936 - 1960	81.2	74.9
1961 - 1985	65.2	57.0
1986 - 2010	63.8	55.8
1981 – 2006 (periode basisprognoses)	63.8	56.1
<b>1911 – 2011 (100-jarige reeks)</b>	<b>73.6</b>	<b>65.8</b>

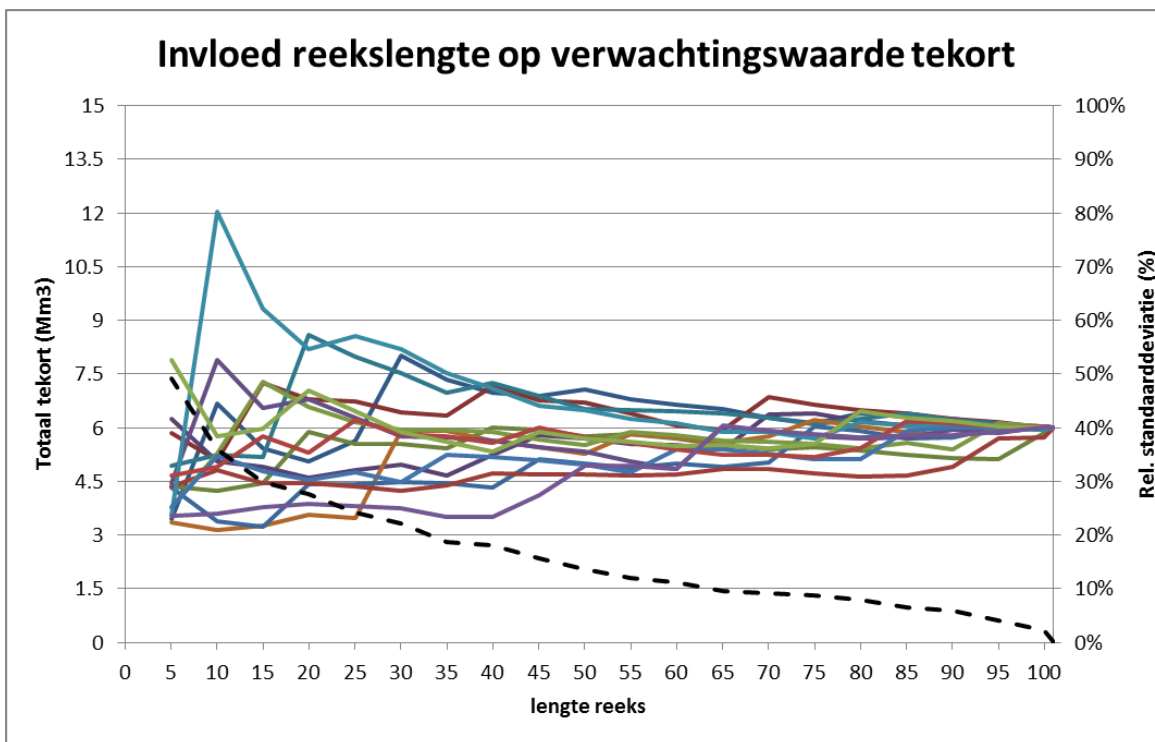
In Figuur 3.6 is onderzocht hoe lang een reeks zou moeten zijn om onafhankelijk van de gekozen periode een goede verwachtingswaarde van het totale watertekort in Nederland op te leveren. Hiervoor is 40 keer een willekeurige reeks van jaren uit de 100-jarige reeks gekozen (zonder substitutie, een jaar kan dus maar één keer voorkomen), van verschillende reekslengten. Met korte reekslengten is dan uiteraard een grote spreiding te zien, die afneemt naarmate de reeks langer wordt. Na een eerste snelle afname blijft er lang een zekere mate van spreiding aanwezig. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de relatief grote invloed die een enkel voorkomen van een extreem droog jaar in de reeks kan hebben. Pas bij zo'n 50 jaar is de spreiding (de standaarddeviatie) onder de 5% van het tekort gezakt. Merk op dat in deze analyse geen rekening wordt gehouden met een eventueel aanwezige trend in de optredende tekorten over de 100-jarige reeks.





Figuur 3.6 Invloed reekslengte op verwachtingswaarde tekort (totaal tekort, heel NL, Ref2015 S1). De gekleurde lijnen geven verschillende realisaties van het berekende totaal tekort bij verschillende reekslengten, de onderbroken lijn geeft de relatieve standaarddeviatie.

In gebieden met wateraanvoermogelijkheden treden tekorten op alleen nadat de vraag het aanbod overstijgt. Tekorten blijven daarmee beperkt, totdat in extreme jaren een soort knikpunt wordt bereikt en tekorten snel toenemen. Naar verwachting is de invloed van extreme jaren, en daarmee van de keuze van de periode, dan ook groter in de 'wateraanvoer-regio's. In Figuur 3.7 is de invloed van de reekslengte op de verwachtingswaarde van het tekort onderzocht voor de regio's IJsselmeergebied, Rivierengebied en Benedenrivierengebied. Uit deze analyse blijkt inderdaad dat het tekort in deze regio's gevoeliger is voor de reekslengte, en er zeer lange reeksen (> 90 jaar) nodig zijn om een robuuste verwachtingswaarde van het tekort te kunnen bepalen.



Figuur 3.7 Invloed reekslengte op verwachtingswaarde tekort voor de regio's IJsselmeergebied, Rivierengebied en Benedenrivierengebied (totaal tekort, Ref2015 S1). De gekleurde lijnen geven verschillende realisaties van het berekende totaal tekort bij verschillende reekslengten, de onderbrokene lijn geeft de relatieve standaarddeviatie.

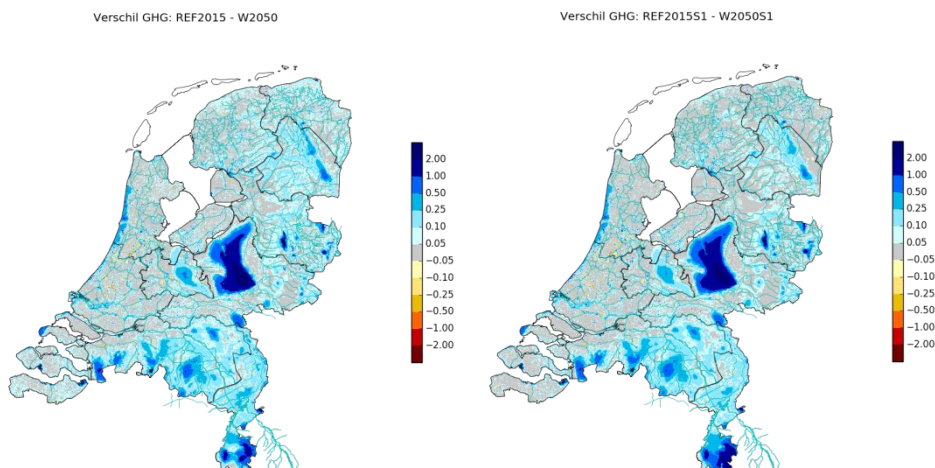
### 3.5 Grondwaterstandsveranderingen

De 100-jarige reeks geeft de mogelijkheid om de verandering van de grondwaterstanden over een langere periode te bekijken. Grondwater is in delen van Nederland een traag systeem, en wordt dus beïnvloed door de voorafgaande jaren. In eerdere fases is altijd gekeken naar de grondwaterstanden over een langere periode: gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Deze waarden worden naar verwachting in een 100-jarige reeks minder beïnvloed door extreme jaren zoals bijvoorbeeld 1976.

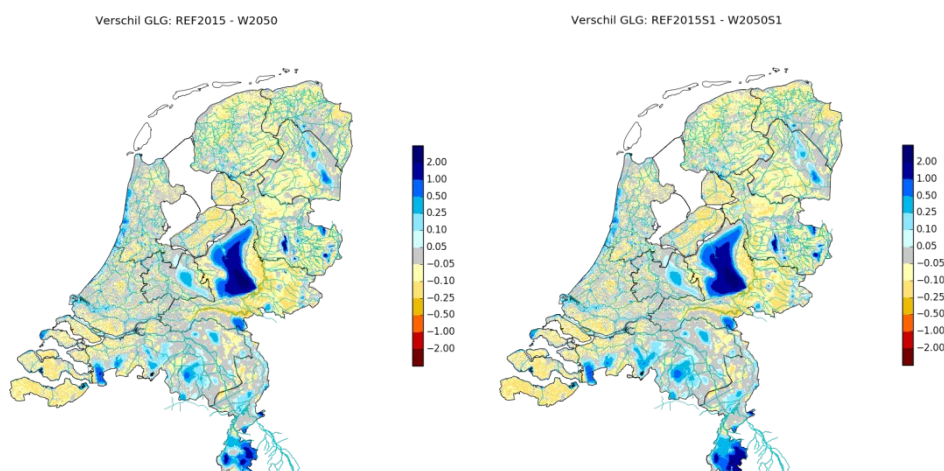
Figuur 3.8 geeft de verandering van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) in Warm 2050 ten opzichte van de referentiesituatie voor de basisprognoses berekeningen en voor de 100-jarige reeks. In de berekeningen van de basisprognoses treedt er een stijging van de GHG's op als gevolg van het Warm 2050 scenario. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de gemiddelde neerslag. De toename van de gemiddelde neerslag wordt veroorzaakt door een sterke toename van de neerslag in de winter. Een nagenoeg gelijk beeld is zichtbaar in de resultaten van de 100-jarige reeks.

De berekeningen van de basisprognoses laten afhankelijk van de locatie zowel een verlaging als een verhoging van de GLG's zien, wanneer Warm 2050 wordt vergeleken met de referentiesituatie (Figuur 3.9). De verhoging van de GLG's komen voor in de gebieden met diepe grondwaterstanden waar als gevolg van de toename van de gemiddelde neerslag de grondwatervoorraad toeneemt. GLG's dalen in gebieden met relatief hoge grondwaterstanden, veroorzaakt door een toename van de verdamping in de zomerperiode. Op enkele plekken wordt de toename van de GLG veroorzaakt door een afname van de onttrekking van grondwater in het Warm 2050 scenario.

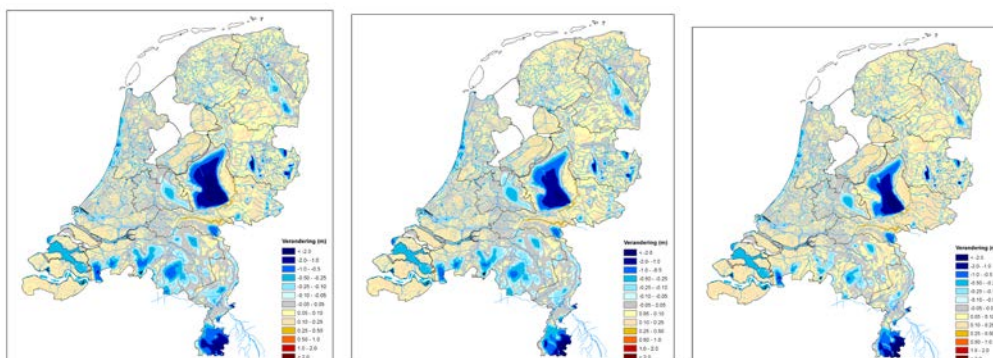
Het patroon van de veranderingen over Nederland verschilt weinig tussen de berekeningen van de basisprognoses en de 100-jarige reeks. Lokaal kunnen verschillen wel significant zijn, met name in de hoge zandgronden. Conclusies aangaande de verandering van de GHG en GLG over Nederland blijven bij het gebruik van de 100-jarige reeks gelijk.



*Figuur 3.8* Verandering GHG op basis van de basisprognoses 2016 (1981-2006) (links) en op basis van de 100-jarige reeks 1911-2012 (rechts).



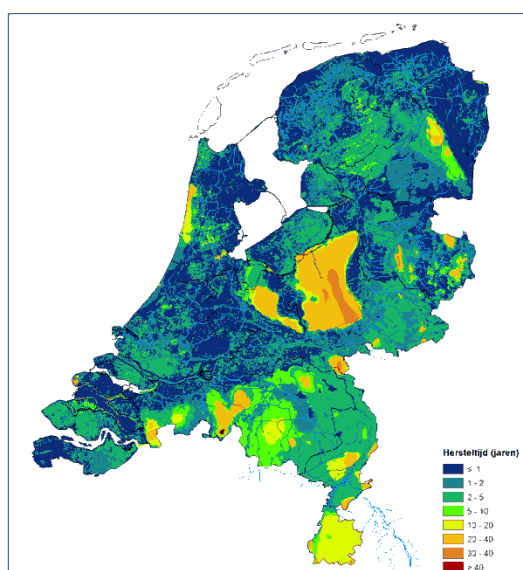
*Figuur 3.9* Verandering GLG op basis van de basisprognoses 2016 (1981-2006) (links) en op basis van de 100-jarige reeks 1911-2012 (rechts).



*Figuur 3.10* Verandering GLG voor de periode 1941-1950, 1971-1980 en 2001-2010

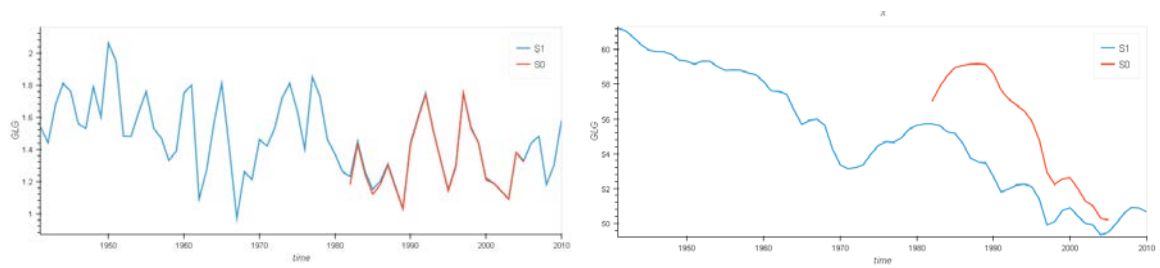
Figuur 3.10 geeft de verandering in GLG tussen Warm 2050 en de referentiesituatie voor drie verschillende perioden. Het patroon over Nederland is vergelijkbaar, maar tussen de verschillende perioden zijn met name op de zandgronden verschillen zichtbaar. Deze kunnen oplopen tot tientallen centimeters. Hieruit blijkt dat de gekozen periode zeker uitmaakt voor de effectbepaling van klimaatverandering, door zowel de niet-lineaire transformatie van de meteorologie, en de niet-lineariteit en het geheugen van het grondwatersysteem (natte periodes worden snel afgevoerd en werken korter door dan droge periodes).

Wanneer gekeken wordt naar de berekende absolute grondwaterstanden treden er duidelijke verschillen op voor hetzelfde jaar tussen de twee reeksen. Dit wordt veroorzaakt door de verschillen in inspeelperiode. De verschillen treden dus vooral op in de gebieden met grote inspeelperiodes, met name de hoge zandgronden met weinig oppervlaktewater en drainage. Om een gevoel te krijgen welke inspeeltijd het grondwatersysteem heeft is gekeken naar de hersteltijd van het grondwatersysteem. De hersteltijd kan op verschillende manieren in beeld worden gebracht en de gekozen methode bepaalt de berekende hersteltijd. Hier wordt de hersteltijd gedefinieerd, gelijk aan de 'Hotspot Grondwater' (Mens et al., 2018), als de tijd die het systeem nodig heeft om van de laagste GLG omhoog te komen naar een gemiddelde GVG in Ref2015. Deze definitie kijkt expliciet naar de duur van herstel van grondwaterverlagingen, en niet naar de duur van verhogingen boven de GVG. De berekende hersteltijd is weergegeven in Figuur 3.11.



Figuur 3.11 Hersteltijd na droogte in jaren op basis van de referentiesituatie.

Voor alle gebieden levert de 100-jarige reeks extra datapunten op voor tijdreeksanalyse. Voor de gebieden met een lange hersteltijd (groter dan 10 jaar) levert de 100-jarige reeks betere berekende grondwaterstanden op omdat de startconditie hier minder invloed heeft op de berekende grondwaterstanden. Dit is te zien in Figuur 3.12. De linker figuur is een voorbeeld van een tijdreeks op een plek met ondiepe grondwaterstanden met een korte inspeelperiode, rechts een locatie met een lange hersteltijd. Bij een lange hersteltijd heeft de beginconditie een grote invloed op de berekende grondwaterstanden, en leidt de 100-jarige reeks tot beter berekende grondwaterstanden.



Figuur 3.12 Twee voorbeelden van de doorwerking van inspeelcondities voor een korte (links, peilgestuurd West Nederland ) en lange (rechts, Veluwe) hersteltijd op de berekende LG3 (gemiddelde van 3 laagste grondwaterstanden in een jaar, m-mv) op basis van de 26-jarige reeks (S0) en de 100-jarige reeks (S1).



## 4 Optredende knelpunten in de 100-jarige reeks

### 4.1 Aanpak

Dit hoofdstuk gaat in op de voor Deltaprogramma Zoetwater relevante resultaten van de 100-jarige NWM-reeks (1911-2011). Daarbij wordt specifiek ingegaan op inzichten die door de 100-jarige reeks zijn opgedaan (ten opzichte van de 26-jarige reeks van de basisprognoses). De resultaten van de 100-jarige reeks zijn geanalyseerd op basis van de watertekorten in MOZART voor 5 regio's. Eerst is per regio en voor heel Nederland een rangschikking gemaakt van de jaren op basis van de watervragen en -tekorten. Hierbij zijn karakteristieke droogtejaren met kleuren aangegeven. Dit betreft de jaren:

- 2003 (recent matig droog jaar, met inzet KWA in augustus/september)
- 2011 (recent jaar met droog voorjaar en inzet KWA in mei/juni, daarna vrij nat)
- 1976 (bekent extreem droog jaar, gebruikt als 1:100 droog jaar in DPZW (Klijn et al.,2012))
- 1989 (matig droog jaar, gebruikt als 1:10 droog jaar in DPZW)
- 1967 (gemiddeld droog jaar, gebruikt als 1:2 jaar in DPZW)
- 1921, 1947, 1949, 1959 als bekende historische droge jaren

Vervolgens is de variabiliteit van watertekorten in de verschillende regio's in beeld gebracht en afgezet tegen neerslagtekort en afvoertekort. Naast watertekorten is tevens gekeken naar hoe vaak en hoe ver het IJsselmeerpeil uitzakt, en hoe vaak de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA) is ingezet.

De totale vraag (c.q. tekort) van de regio is bepaald als de som van de watervragen (c.q. tekorten) in het zomerhalfjaar van de 'gebruikers' peilbeheer, doorspoeling en beregening<sup>2</sup>. De rangschikking van de jaren is op basis van twee variabelen gedaan: absoluut tekort (Mm<sup>3</sup>) en percentage tekort ten opzichte van de vraag. De totalen voor Nederland zijn bepaald door watervragen en -tekorten voor de 5 regio's te sommeren.

### 4.2 Kritische droogtejaren

#### 4.2.1 Top-10 jaren

In Tabel 4.1 tot en met Tabel 4.4 zijn de jaren uit de 100-jarige reeks gesorteerd op basis van de absolute tekorten (Mm<sup>3</sup>) over het zomerhalfjaar. Dit is gedaan per regio en voor heel Nederland, voor zowel de referentiesituatie 2015 als het scenario Warm 2050. In de tabellen wordt eerst de volgorde van de kritische jaren aangegeven, en daarna het bijbehorende tekort per regio. Merk op dat voor heel Nederland de optelling van de regionale tekorten is gebruikt voor het aangegeven jaar. Voor heel Nederland was in de referentiesituatie 2015 het hydrologische jaar 1976 het meest kritisch met in totaal 252 Mm<sup>3</sup> watertekort over het zomerhalfjaar. Dit tekort is kleiner dan de som van de maximale tekorten van het meest kritische jaar per regio, omdat voor twee regio's niet 1976 maar 1921 het jaar met de grootste tekorten was.

Uit de tabellen blijkt dat kritische jaren vaak voor het hele systeem kritisch zijn, al is de volgorde van de jaren per regio wel verschillend. Maar 1976, 1921, 1949, 1947, 1959, 1934,

<sup>2</sup> Het betreft hier uitsluitend beregening uit oppervlaktewater, beregening uit grondwater kan in het model altijd plaatsvinden en wordt niet gekort.

1929 en 1911 staan voor vrijwel alle regio's in de top-10 van jaren met meeste tekorten (Ref2015). Voor de referentiesituatie 2015 staat het jaar 2003 voor de regio's Rivierengebied en Benedenrivierengebied in de top-10 van meest kritische jaren, maar voor de andere regio's valt dit jaar buiten de 10 meest kritische jaren. Op basis van de oppervlaktewater-tekorten voor heel Nederland komt 2003 voor de Ref2015 situatie op de 12e plaats.

Het KWA-jaar 2011, gekarakteriseerd door een hoog afvoertekort en vrij klein neerslagtekort, staat niet in de top-25 jaren qua tekorten. Dat komt omdat de KWA situatie vroeg in het zomerhalfjaar viel (mei-juni), terwijl de rest van het zomerhalfjaar redelijk nat was. De regionale watervragen en -tekorten in 2011 zijn duidelijk lager dan de regionale watervragen in de meest kritische jaren zoals ook later in paragraaf 4.3.4 blijkt uit de vergelijking van Figuur 4.12 met Figuur 4.6 tot en met Figuur 4.11.

Voor het scenario Warm2050 is de volgorde van kritische jaren niet per definitie hetzelfde als voor de referentiesituatie (tabel 4.1 versus tabel 4.3). Dit heeft te maken met de transformatiemethodes die gebruikt zijn om meteorologische en hydrologische modelinvoer voor de Deltascenario's af te leiden. Het 1:10 maatgevende jaar voor Ref2015 is dus niet per definitie ook het 1:10 maatgevende jaar in het scenario Warm2050. Dat blijkt ook hier, omdat 2003 in het scenario Warm2050 veel hoger op de lijst komt dan voor de referentiesituatie Ref2015.

Tabel 4.1 Kritische jaren per regio en heel Nederland, referentiesituatie 2015.

Ranking (frequentie)	IJsselmeer	Rivieren- gebied	Beneden- rivieren- gebied	Hoge zand- gronden	ZW-Delta	Heel NL
1 (1:100 jaar)	1976	1976	1976	1921	1921	1976
2 (1:50 jaar)	1921	1949	1921	1976	1976	1921
3 (1:33 jaar)	1959	1921	1949	1949	1949	1949
4 (1:25 jaar)	1911	1947	1959	1934	1959	1959
5 (1:20 jaar)	1929	2003	1911	1929	1947	1947
6 (1:17 jaar)	1949	1911	1947	1922	1911	1929
7 (1:14 jaar)	1934	1959	1934	1959	1929	1911
8 (1:12.5 jaar)	1917	1991	1929	1947	1934	1934
9 (1:11 jaar)	1973	1964	2003	1911	2003	1996
10 (1:10 jaar)	1947	1934	1938	1996	1955	1944



Tabel 4.2 Tekorten in Mm<sup>3</sup> en (mm) per regio voor de in Tabel 4.1 aangegeven zomerhalfjaren, referentiesituatie 2015.

Ranking (frequentie)	IJsselmeer	Rivieren-gebied	Beneden-rivieren-gebied	Hoge zand-gronden	ZW-Delta	Heel NL
1 (1:100-jaar)	35.1 (2.5)	25.7 (7.2)	20.6 (6.1)	93.8 (8.4)	106.2 (61.0)	251.6 (7.4)
2 (1:50 jaar)	6.8 (0.5)	23.5 (6.5)	9.8 (2.9)	80.5 (7.2)	89.7 (51.5)	233.7 (6.9)
3 (1:33 jaar)	4.8 (0.3)	17.2 (4.8)	8.1 (2.4)	68.9 (6.2)	77.2 (44.3)	180.0 (5.3)
4 (1:25 jaar)	2.7 (0.2)	12.2 (3.4)	5.9 (1.7)	66.6 (6.0)	73.5 (42.2)	148.8 (4.4)
5 (1:20 jaar)	2.5 (0.2)	6.5 (1.8)	5.9 (1.7)	65.1 (5.8)	69.3 (39.8)	146.8 (4.3)
6 (1:17 jaar)	2.4 (0.2)	6.4 (1.8)	5.8 (1.7)	62.3 (5.6)	66.7 (38.3)	137.1 (4.0)
7 (1:14 jaar)	2.4 (0.2)	5.6 (1.6)	5.5 (1.6)	59.0 (5.3)	61.7 (35.4)	134.4 (3.9)
8 (1:12.5 jaar)	2.2 (0.2)	5.1 (1.4)	4.8 (1.4)	57.5 (5.2)	55.0 (31.6)	133.6 (3.9)
9 (1:11 jaar)	2.1 (0.1)	4.7 (1.3)	4.7 (1.4)	52.7 (4.7)	51.9 (29.8)	106.0 (3.1)
10 (1:10 jaar)	2.0 (0.1)	4.1 (1.1)	4.4 (1.3)	48.0 (4.3)	51.1 (29.3)	104.7 (3.1)

Tabel 4.3 Kritische jaren per regio en heel Nederland, scenario Warm 2050

Ranking (frequentie)	IJsselmeer	Rivieren-gebied	Beneden-rivieren-gebied	Hoge zand-gronden	ZW-Delta	Heel NL
1 (1:100 jaar)	1976	1976	1976	1921	1921	1976
2 (1:50 jaar)	1921	1921	1921	1976	1976	1921
3 (1:33 jaar)	1949	1949	1934	1934	1949	1949
4 (1:25 jaar)	1947	2003	1949	1949	1959	1947
5 (1:20 jaar)	2003	1947	1947	1929	1947	1934
6 (1:17 jaar)	1959	1934	2003	1959	1911	1959
7 (1:14 jaar)	1911	1911	1911	1947	1929	1911
8 (1:12.5 jaar)	1934	1964	1959	1922	1934	2003
9 (1:11 jaar)	1982	1959	1929	1911	1944	1929
10 (1:10 jaar)	1973	1929	1990	1944	1955	1944

Tabel 4.4 Tekorten in  $Mm^3$  en (mm) per regio voor de in Tabel 4.3 aangegeven zomerhalfjaren, scenario Warm2050.

Ranking (frequentie)	IJsselmeer	Rivieren- gebied	Beneden- rivieren- gebied	Hoge zand- gronden	ZW-Delta	Heel NL
1 (1:100-jaar)	174.1 (12.2)	65.4 (18.2)	54.3 (16.1)	103.2 (9.3)	113.9 (65.4)	491.4 (14.4)
2 (1:50 jaar)	117.9 (8.3)	60.9 (16.9)	28.7 (8.5)	101.4 (9.1)	96.3 (55.3)	424.5 (12.4)
3 (1:33 jaar)	49.6 (3.5)	46.3 (12.9)	18.2 (5.4)	80.1 (7.2)	88.2 (50.6)	277.3 (8.1)
4 (1:25 jaar)	26.8 (1.9)	37.1 (10.3)	17.2 (5.1)	76.1 (6.8)	83.0 (47.7)	223.1 (6.5)
5 (1:20 jaar)	23.2 (1.6)	35.1 (9.8)	15.7 (4.6)	72.4 (6.5)	81.6 (46.9)	203.4 (6.0)
6 (1:17 jaar)	15.2 (1.1)	30.7 (8.5)	15.6 (4.6)	66.6 (6.0)	73.5 (42.2)	194.7 (5.7)
7 (1:14 jaar)	10.0 (0.7)	29.4 (8.2)	12.9 (3.8)	63.9 (5.7)	72.6 (41.7)	185.5 (5.4)
8 (1:12.5 jaar)	5.8 (0.4)	29.0 (8.1)	10.1 (3.0)	63.1 (5.7)	68.6 (39.4)	175.7 (5.2)
9 (1:11 jaar)	5.7 (0.4)	19.9 (5.5)	7.1 (2.1)	59.7 (5.4)	67.5 (38.7)	173.9 (5.1)
10 (1:10 jaar)	5.6 (0.4)	17.1 (4.7)	7.0 (2.1)	54.3 (4.9)	64.6 (37.1)	136.9 (4.0)

#### 4.2.2 Kritische jaren per gebied IJsselmeergebied

In de 100-jarige reeks zijn 1976 en 1921 de meest kritische jaren voor het IJsselmeergebied, zowel voor de referentiesituatie als de Warm2050 situatie. Deze jaren zijn geen onderdeel van de 26-jarige reeks. Ook de in de Droogtestudie (RIZA, 2004) gebruikte droge jaren als 1949, 1947, en 1959 hebben grotere tekorten dan de jaren uit de 26-jarige reeks. De jaren met de grootste tekorten uit de 26-jarige reeks (1996, 2003 en 1989) staan in de 100-jarige reeks Ref2015 niet bij in de top-10. In Warm2050 staat 2003 op plek 5.

#### Benedenrivieren gebied

Voor het benedenrivierengebied (inclusief Rijnland, Delfland, Schieland, Brabantse Delta) is het meest kritische jaar in de 26-jarige reeks het jaar 2003. In de 100-jarige reeks staat 2003 nog net in de top-10 van kritische jaren, maar de jaren met grote afvoertekorten bij Lobith zoals 1976, 1921 voeren ook hier de lijst aan. In vergelijking met het IJsselmeergebied staat 2003 wel hoger, omdat de tekorten in het zomerhalfjaar in dit gebied vooral gerelateerd zijn aan zoutindringing en dus aan afvoertekorten. Voor het scenario Warm2050-S1 komen dezelfde jaren boven aan de lijst, als is de volgorde na de top-2 iets anders.

#### Rivierengebied

Voor het rivierengebied zijn de meest kritische jaren in de 26-jarige reeks de jaren 2003 en 1996. In de 100-jarige reeks zijn 1976 en 1921 het meest kritisch, en staat het jaar 2003 net in de top-10 van meest kritische jaren. Voor het scenario Warm2050 staat het jaar 2003 nog iets hoger; zoals eerder vermeld is in de scenario's de volgorde van de jaren mogelijk anders.

#### Zuidwestelijke Delta

In de 26-jarige reeks Ref2015 zijn 1990, 2003, 1996 en 1989 de meest kritische jaren. In de 100-jarige reeks zijn 1921 en 1976 weer de meest kritische jaren. Het jaar 2003 staat in de top-10 van meest kritische jaren en 1990 staat daar net buiten.

#### Hoge Zandgronden

### Hoge Zandgronden

Ook voor Hoge Zandgronden blijkt dat 1921 en 1976 de meest kritische jaren zijn. In de 26-jarige reeks staat 2003 op de 4<sup>e</sup> plaats, en in de 100-jarige reeks Ref2015 valt 2003 zelfs buiten de top-20. Ook in het scenario Warm 2050 zijn 1921 en 1976 het meest kritisch, en staat het recente droge jaar 2003 vrij laag.

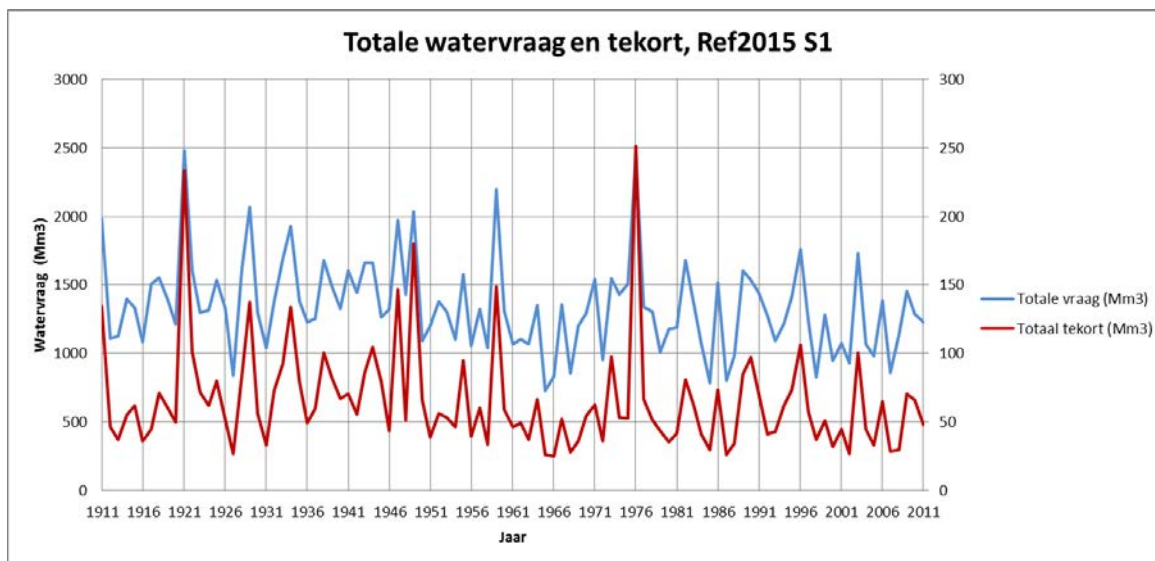
## 4.3 Analyse van wateraanvoer en -tekort

### 4.3.1 Wateraanvoer en –tekort in Nederland

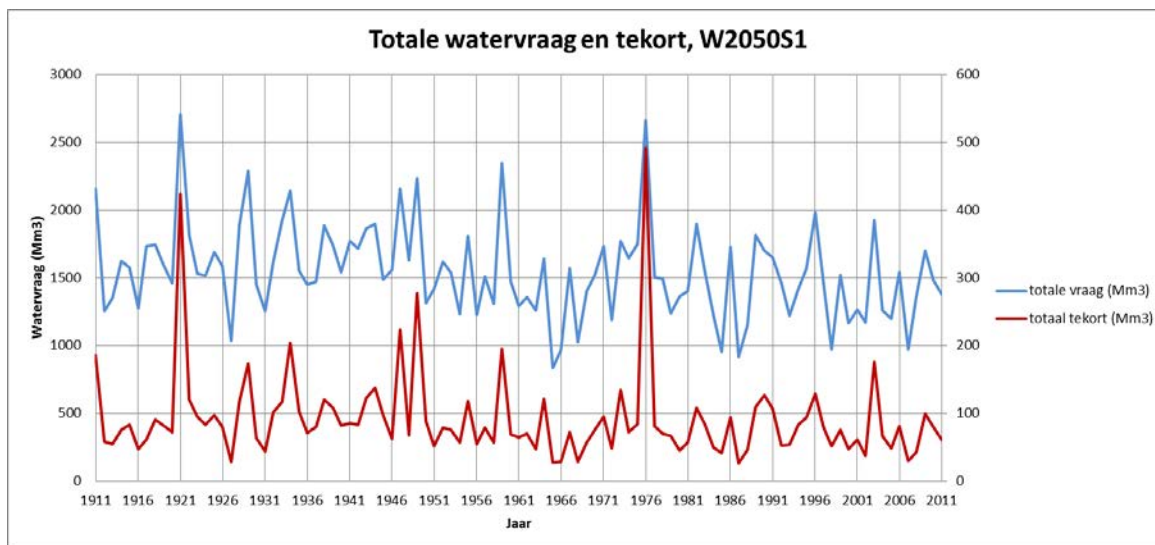
Figuur 4.1 toont dat de totale Mozart oppervlaktewater vraag voor heel Nederland in het zomerhalfjaar rond de 1400 Mm<sup>3</sup> schommelt, met pieken van ~2500 Mm<sup>3</sup> in 1921 en 1976 (blauwe lijn, linker as). Het piektekort voor heel Nederland is ~250 Mm<sup>3</sup> in diezelfde jaren (rode lijn, rechter as). De tekorten variëren tussen 30 en 200 Mm<sup>3</sup>. Figuur 4.2 geeft een vergelijkbaar beeld voor het scenario Warm2050. De verandering in de watervraag is beperkt (linker as), maar de tekorten nemen duidelijk toe (rechter as). De zomerhalfjaar tekorten variëren tussen de 50 en 500 Mm<sup>3</sup>.

Uit Figuur 4.1 en Figuur 4.2 blijkt opnieuw dat de periode 1981-2006 (26-jarige reeks) veel minder extreme jaren bevat dan de 100-jarige reeks 1911-2011. Acht jaren (1911, 1921, 1929, 1934, 1947, 1949, 1959, 1976) hebben een groter tekort dan het meest extreme jaar uit de 1981-2006 periode. Het meest kritische jaar uit de 26-jarige reeks per regio komt ook vaak maar net in de top-10 van meest kritische jaren in de 100-jarige reeks (zie resultaten per deelgebied verderop). De 26-jarige reeks 1981-2006 lijkt toevallig een periode te zijn geweest met weinig pieken in watervraag/-tekort. Andere 26-jarige reeksen (zie tabel 3.1) uit de 100-jarige reeks, bijvoorbeeld de periode 1926-1951, bevatten hogere pieken.

Ondanks dat de 26-jarige reeks 1981-2006 weliswaar (per definitie: het KNMI berekent om de 10 jaar langjarige gemiddelden ('normalen') voor een groot aantal KNMI-stations om het 'huidig klimaat' te karakteriseren. De huidige normalen zijn gebaseerd op de periode 1981 – 2010 ([www.klimaatatlas.nl](http://www.klimaatatlas.nl))) het huidig klimaat beter representeert, geeft de 100-jarige reeks 1911-2011 meer inzicht in de variabiliteit van wateraanvoer en -tekort in het huidige klimaat. Anders gezegd: de droogtestatistiek op basis van de periode 1981-2006 is minder representatief dan de droogtestatistiek op basis van 100-jarige 1911-2011. Bijvoorbeeld, in de 100-jarige reeks is 1947 het jaar met de op 3 na grootste tekorten, dus het 4<sup>e</sup> tekortjaar met een herhalingstijd van 25 jaar (tekort van 150 Mm<sup>3</sup> op een vraag van 1970 Mm<sup>3</sup>). In de 26-jarige reeks heeft het jaar 1996 de grootste tekorten in die periode, maar zijn de tekorten (105 Mm<sup>3</sup> op een watervraag van 1761 Mm<sup>3</sup>) duidelijk lager dan die van 1947.



Figuur 4.1 Totale watervraag en tekort zomerhalfjaar, referentie 2015



Figuur 4.2 Totale watervraag en tekort zomerhalfjaar, Deltascenario Warm 2050

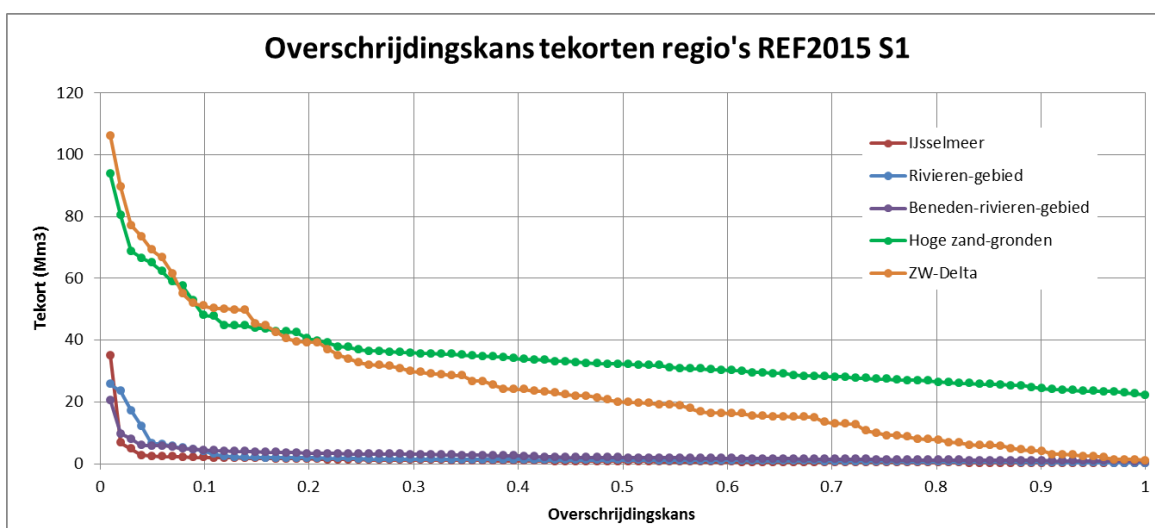
4.3.2 Overschrijdingskans tekorten regio's

In Figuur 4.3 en Figuur 4.4 zijn per regio de overschrijdingskans van het totaal tekort geplote per hoofdregio, voor respectievelijk de referentiesituatie 2015 en Warm 2050, zonder maatregelen DPZW fase 1 (S1). De overschrijdingscurves van Hoge Zandgronden vertonen in beide grafieken een opvallend verloop, waarbij zelfs in het natste jaar nog altijd een flink tekort wordt berekend. Nadere analyse wijst uit dat het hier gaat om een min of meer vast doorspoeltekort van 18 Mm3 per zomerhalfjaar (~ 1.2 m<sup>3</sup>/s). Dit tekort ontstaat doordat een deel van de doorspoelbehoefte van de grachten van Amersfoort structureel niet kan worden geleverd. Het betreft hier een modelartefact, dat in toekomstige versies van het LHM zal worden opgelost.

De hoge tekorten in de Zuidwestelijke Delta in zowel referentie 2015 als Warm 2050 worden veroorzaakt doordat in grote delen van de Zuidwestelijke Delta geen water kan worden aangevoerd. Het model berekent de tekorten die ontstaan door peiluitzakking ten opzichte van gewenst peil (ideale situatie).

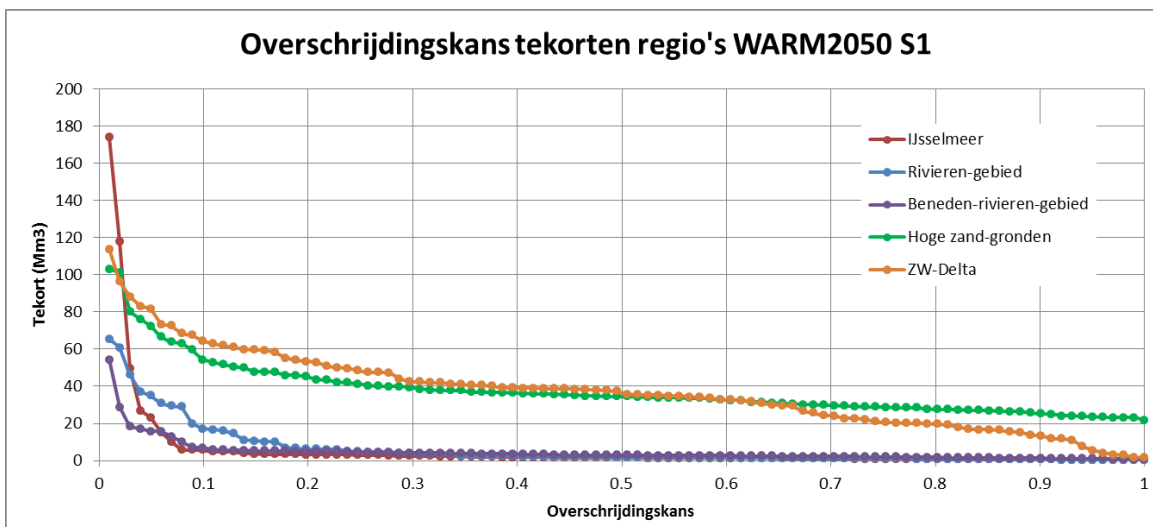
In deze regio wordt peiluitzakking meer geaccepteerd en zijn economische gevolgen hiervan waarschijnlijk kleiner dan in bijvoorbeeld west-Nederland, omdat hier de problematiek met bodemdaling en veenkades hier niet speelt. De berekende tekorten geven wel een indicatie van het watertekort dat in theorie met (externe) wateraanvoer gereduceerd zou kunnen worden. Of dat kosten-baten technisch uit kan is een ander verhaal.

Het verloop van tekorten in de regio's met zeer beperkt wateraanvoer (Zuidwestelijke Delta en Hoge Zandgronden), is duidelijk gelijkmatiger dan dat in de andere regio's: toename van tekorten hangt met name samen met toename van de vraag, in plaats van met een eindig wateraanbod. De van externe wateraanvoer afhankelijke regio's laten een veel abrupter verloop zien: hier treden tekorten pas op als de vraag het aanbod overstijgt, na een duidelijk knippunt dus.



Figuur 4.3 Overschrijdingskans totaal tekort (Mm3) per hoofdregio, Referentie 2015 S1.

De toename van de tekorten bij lage frequentie in Warm 2050 is voor de van wateraanvoer afhankelijke regio's beduidend groter dan voor Hoge zandgronden en Zuidwestelijke Delta. Dit komt doordat in Warm 2050 niet alleen de vraag toeneemt, maar ook het aanbod afneemt door een verminderde afvoer van de grote rivieren. De frequentie van het optreden van tekorten in deze regio's neemt ook toe.



Figuur 4.4 Overschrijdingskans totaal tekort (Mm3) per hoofdregio, Warm 2050 S1.

De verwachtingswaarde van het tekort in Referentie 2015 en Warm 2050 is weergegeven in Tabel 4.5. Waar de vraag stelselmatig zo'n 10% toeneemt, nemen de tekorten met name in de gebieden met wateraanvoer (IJsselmeergebied, Rivierengebied en Benedenrivierengebied) veel sterker toe.

Dit komt doordat in Warm 2050 niet alleen de vraag toeneemt, maar ook het aanbod afneemt. In Hoge Zandgronden is de ontwikkeling van het tekort wel heel direct gerelateerd aan de ontwikkeling van de watervraag.

Tabel 4.5 Verwachtingswaarde tekort voor de regio's voor scenario's Referentie 2015 en Warm 2050

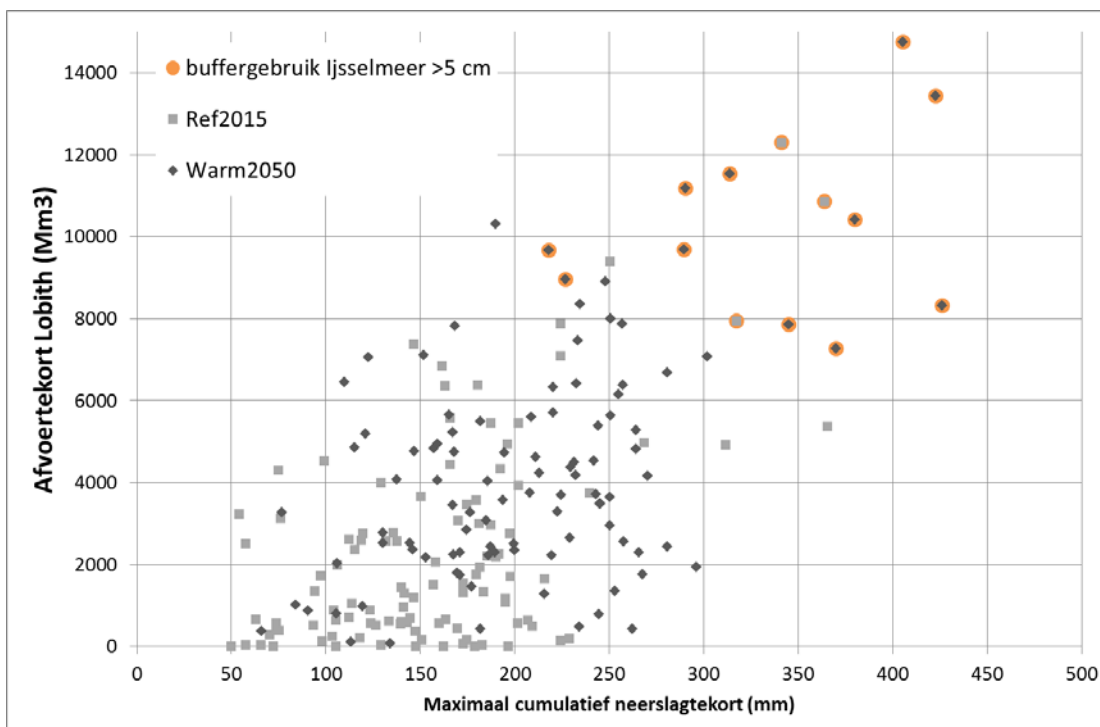
	Ref 2015	Wam 2050	Relatieve toename tekort
IJsselmeer	1.3	5.7	339%
Rivierengebied	2.1	6.2	199%
Benedenrivierengebied	2.6	4.5	71%
Hoge zandgronden	35.0	37.9	8%
ZW-Delta	24.8	37.3	50%
<b>Heel NL</b>	<b>65.8</b>	<b>91.6</b>	<b>39%</b>

### 4.3.3 Uitzakken IJsselmeerpeil

Voor het IJsselmeergebied is gekeken in welke jaren het peil uitzakt beneden het zomerstreefpeil van -0.20 m NAP. Dat is een indicatie dat er tekorten kunnen gaan optreden. Dit is weergegeven in een scatterplot van neerslagtekort en afvoertekort in Figuur 4.5. Jaren waarin het peil met 5 cm of meer is uitgezakt zijn gemarkeerd. Hieruit blijkt dat het aantal jaren met peiluitzakking > 5 cm in het scenario Warm2050 ten opzichte van Ref2015 flink toeneemt (van 3 naar 11 in de 100-jarige reeks). In de meest extreme jaren (1921, 1949, 1976) in het scenario Warm2050 zakt het peil (bij ongewijzigd peilbeheer) zelfs tot het minimum peil van -0.40 m NAP. De selectie op basis van het uitzakken van het IJsselmeerpeil geeft dezelfde kritische jaren als de selectie op basis van tekorten.

Uit het scatterplot blijkt verder dat watertekorten in de regio IJsselmeergebied een combinatie zijn van een groot neerslagtekort en een groot afvoertekort. Er zijn echter ook jaren waarbij deze combinatie niet leidt tot het uitzakken van het IJsselmeerpeil. De timing van de grootste

watervraag (afhankelijk van het neerslagtekort) en het kleinste wateraanbod (afvoertekort) is hierbij immers van belang.

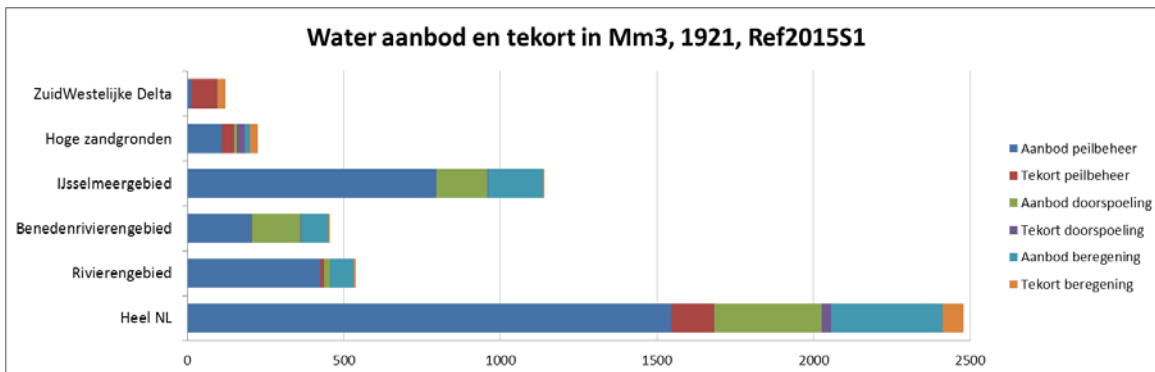


Figuur 4.5 Scatterplot van neerslagtekort (mm) en afvoertekort bij Lobith (Mm<sup>3</sup>) voor de 100-jarige reeks Ref2015 en Warm2050, met de jaren gemarkeerd waarin IJsselmeerpeil meer dan 5 cm uitzakt (oranje cirkels)

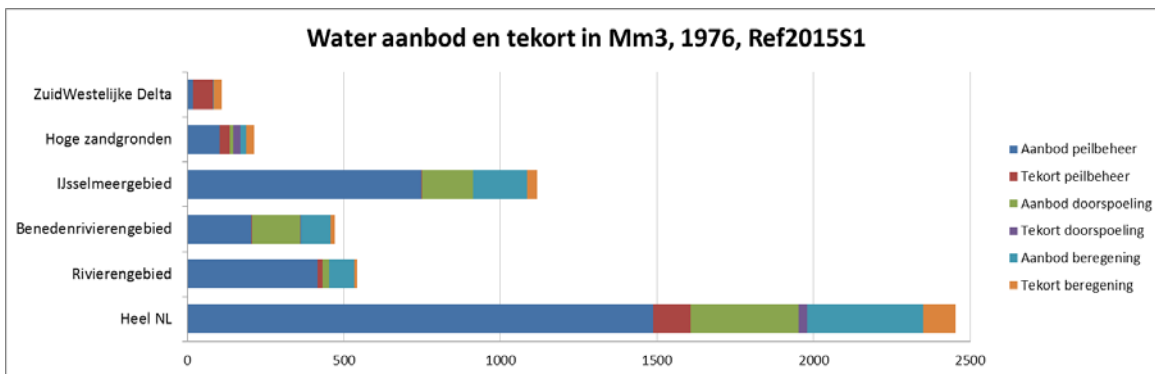
#### 4.3.4 Kritische droogtejaren in de huidige situatie

Figuur 4.6 tot en met Figuur 4.12 laten voor de jaren 1921, 1976, 1959, 1949, 2003, 1989 en 2011 de opbouw van de watervraag en de tekorten voor de 5 hoofdregio's en heel Nederland zien, op basis van Mozart-balansen. Uit de figuren blijkt dat het IJsselmeergebied de grootste watervraag heeft, gevolgd door de regio's Rivierengebied, Benedenrivierengebied, Hoge zandgronden en Zuidwestelijke Delta. De grootste tekorten treden op in de regio's Zuidwestelijke Delta en Hoge zandgronden (met veel gebieden zonder wateraanvoer). De regio Benedenrivierengebied heeft tekorten als gevolg van zoutindringing in het Rijn-Maasmond gebied bij lage rivierafvoeren. De regio IJsselmeergebied heeft de grootste vraag, maar kent alleen in het extreemste jaren tekorten.

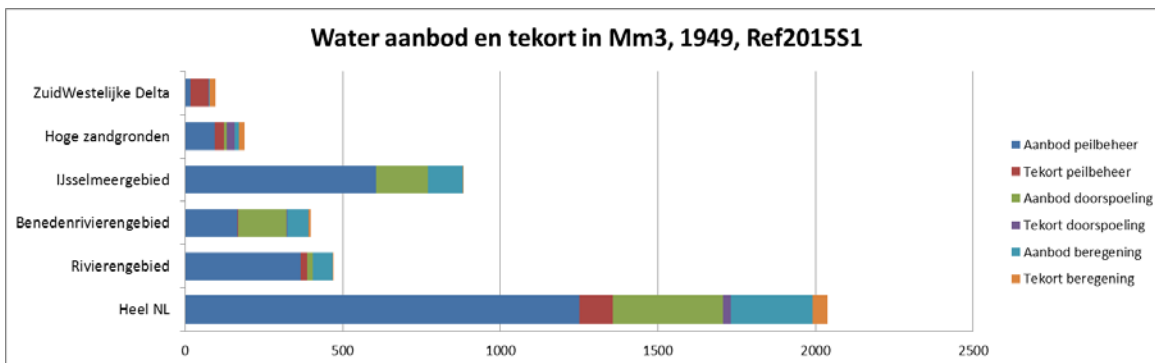
Voor de Zuidwestelijke Delta geldt dat deze regio geen wateraanvoer kent, maar er door het modelinstrumentarium wel een watervraag wordt gegenereerd. De regio ervaart dit modeltekort dan ook niet als een wateraanvoertekort, zoals dit wel het geval is in andere regio's.



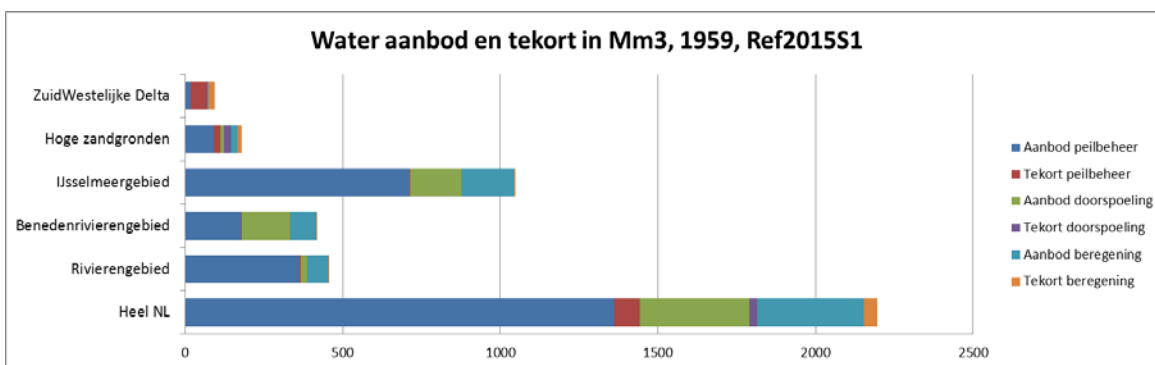
Figuur 4.6 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1921, Referentie 2015-S1



Figuur 4.7 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1976, Referentie 2015-S1

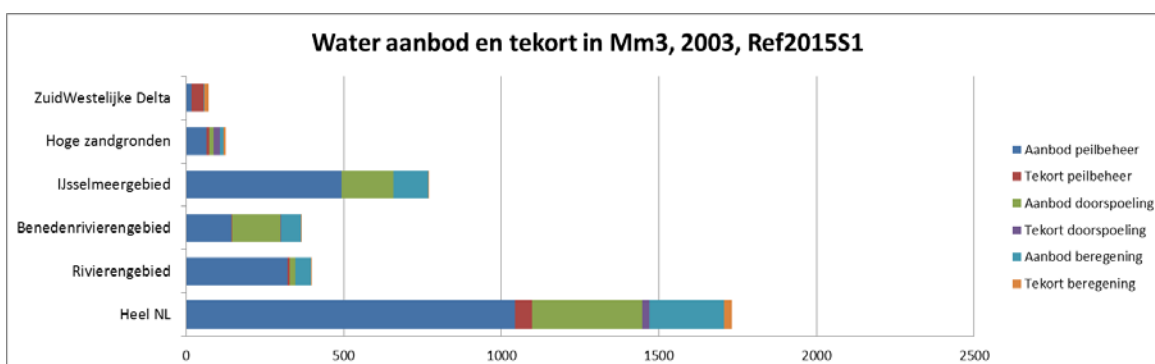


Figuur 4.8 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1959, Referentie 2015-S1

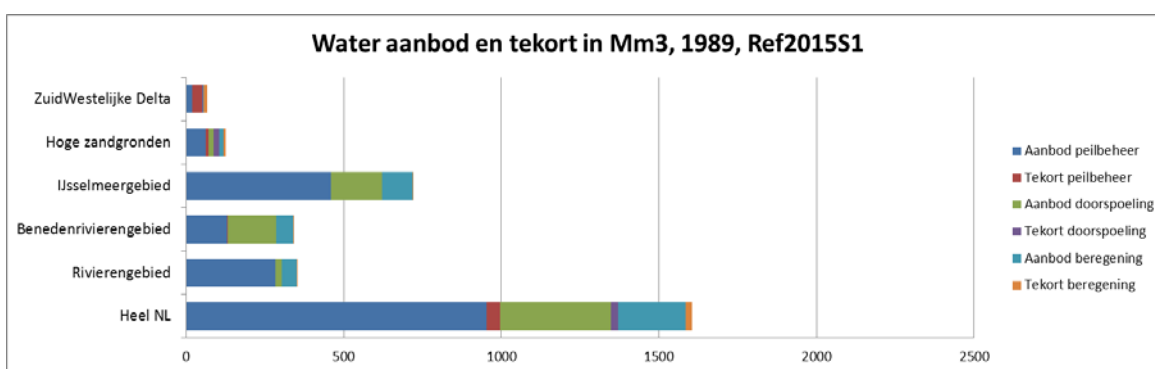


Figuur 4.9 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1949, Referentie 2015-S1

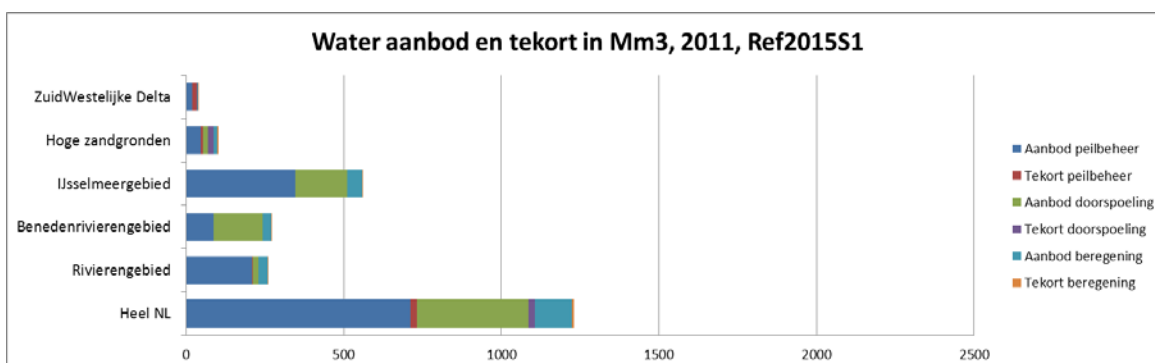




Figuur 4.10 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 2003, Referentie 2015-S1



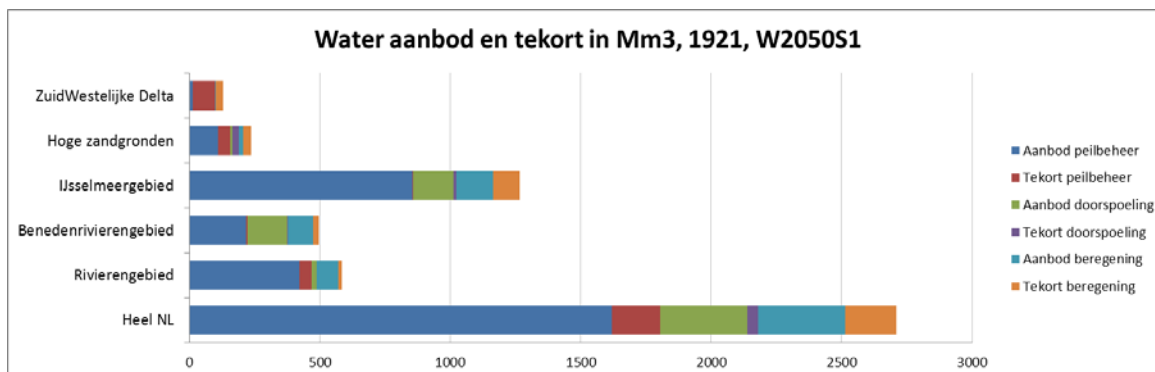
Figuur 4.11 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1989, Referentie 2015-S1



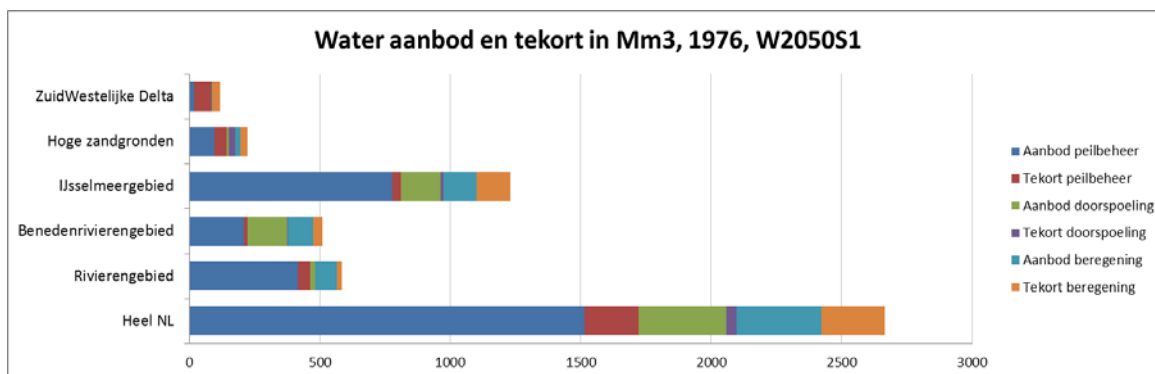
Figuur 4.12 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 2011, Referentie 2015-S1

#### 4.3.5 Kritische droogtejaren in Warm 2050

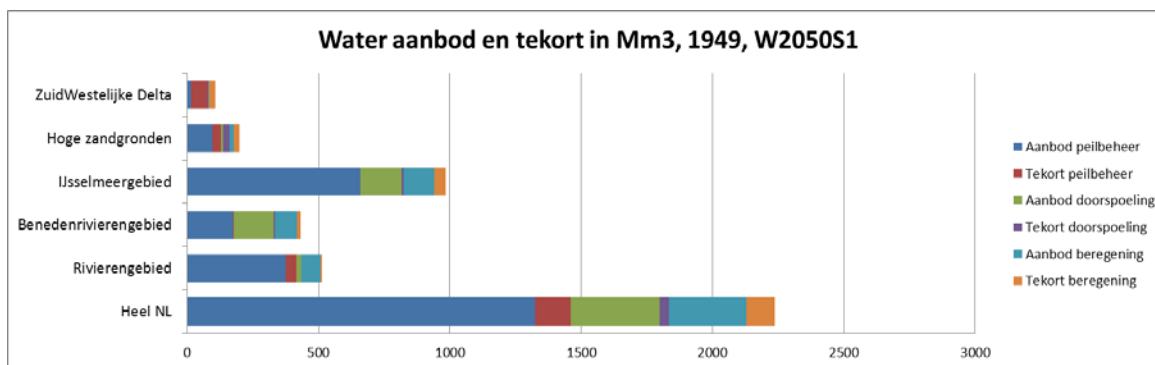
Figuur 4.13 tot en met Figuur 4.19 geven het totale wateraanbod en tekort voor de vijf hoofdregio's en heel Nederland voor de jaren 1921, 1976, 1959, 1949, 2003, 1989 en 2011 voor scenario Warm 2050 (let op het verschil in horizontale schaal met de figuren voor de referentiesituatie). In het Warm 2050 scenario neemt de watervraag ten opzichte van de referentie in de droogtejaren met zo'n 10% toe. Dat leidt tot een vergroting van de tekorten. In de Hoge Zandgronden en Zuidwestelijke Delta (zonder aanvoer) nemen tekorten toe met de vraag, ook met zo'n 10%. Voor de gebieden met wateraanvoer nemen de tekorten echter veel meer toe dan de vraag, doordat ook het wateraanbod afneemt: voor Rivierengebied verdubbelt het tekort gemiddeld over deze jaren, voor Benedenrivierengebied verdrievoudigt het tekort, en in IJsselmeergebied vernegenvoudigt het tekort zelfs.



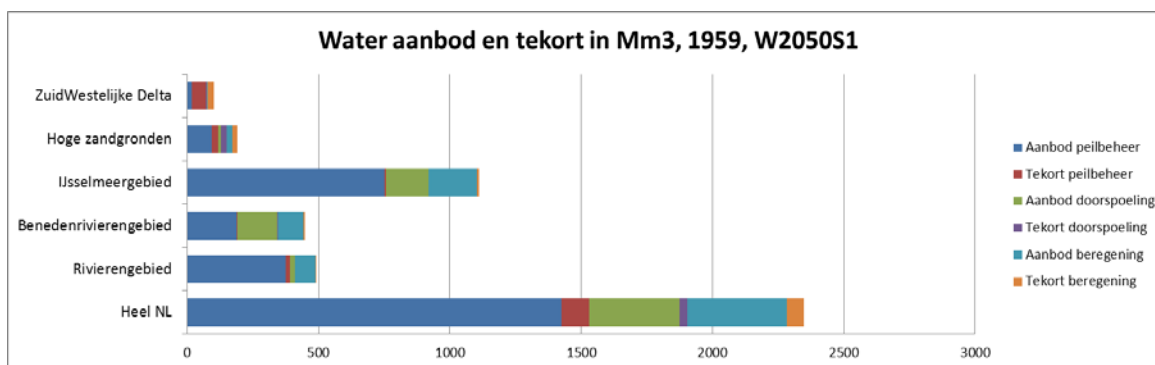
Figuur 4.13 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1921, Warm 2050-S1



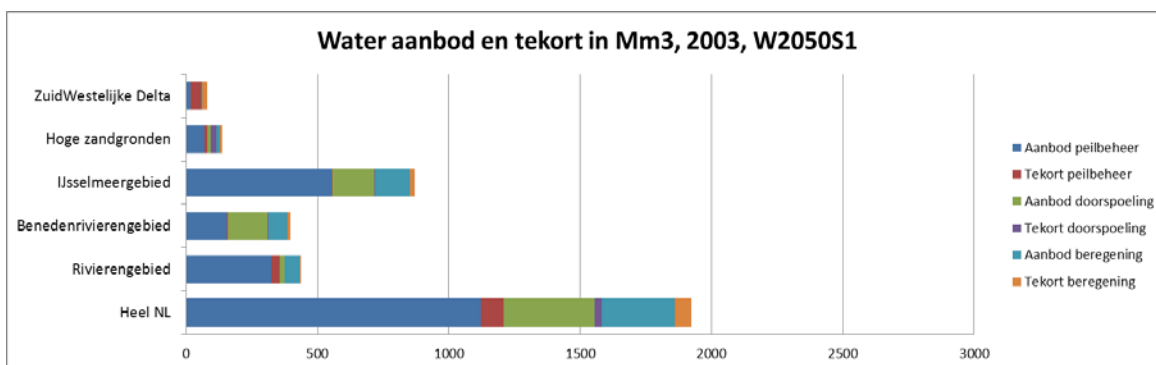
Figuur 4.14 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1976, Warm 2050-S1



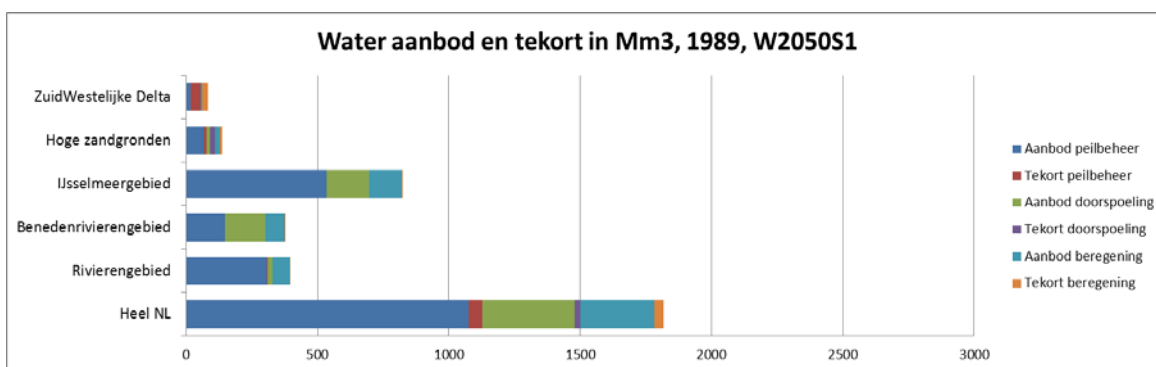
Figuur 4.15 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1949, Warm 2050-S1



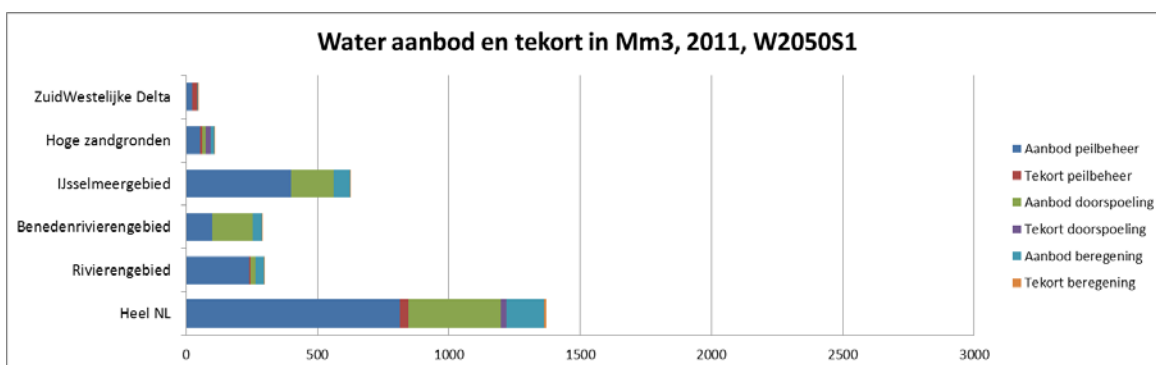
Figuur 4.16 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1959, Warm 2050-S1



Figuur 4.17 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 2003, Warm 2050-S1



Figuur 4.18 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 1989, Warm 2050-S1



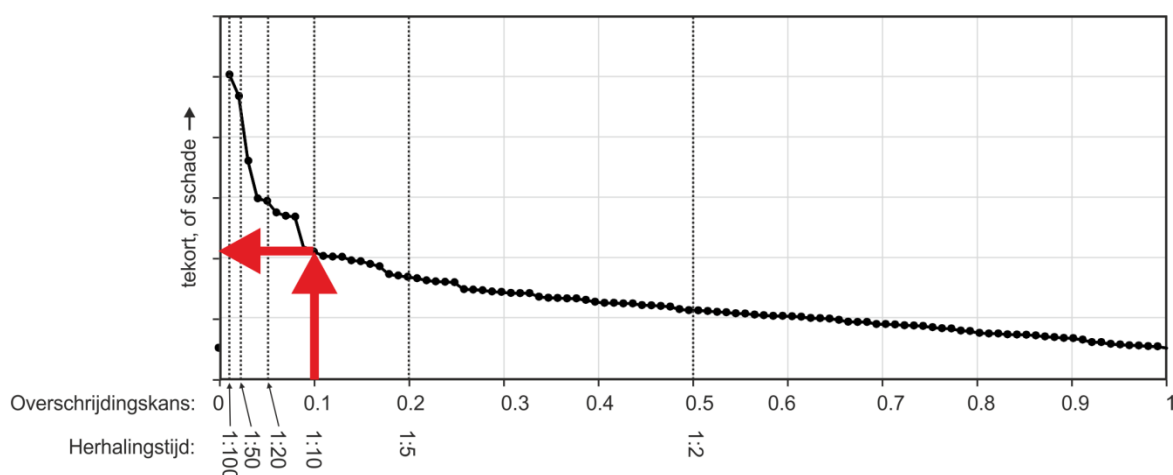
Figuur 4.19 Totale wateraanbod en tekort voor het zomerhalfjaar 2011, Warm 2050-S1



## 5 Droogte risicokaarten

### 5.1 Aanpak droogte risicokaarten

Droogte risicokaarten zijn bedoeld om de knelpunten in de zoetwatervoorziening ruimtelijk weer te geven en te koppelen aan herhalingstijden. De droogte risicokaarten zijn gemaakt op basis van de rekenresultaten van de 100-jarige reeks. Voor een aantal herhalingstijden is per hoofd- of deelregio het bijbehorende tekort<sup>3</sup> of de bijbehorende landbouwschade bepaald. Figuur 5.1 geeft dit grafisch weer.



Figuur 5.1 Bepaling droogterisico: bepaal het in de 100-jarige reeks optredende tekort, of schade, bij een bepaalde herhalingstijd

Voor de volgende parameters en herhalingstijden zijn droogte risicokaarten gemaakt:

- Watertekort:
  - Tekort peilbeheer
  - Tekort doorspoeling
  - Tekort berekening uit oppervlaktewater
  - Totaal tekort
- Landbouwschade:
  - Droogteschade landbouw
- Herhalingstijden:
  - 1:1 jaar
  - 1:2 jaar
  - 1:10 jaar
  - 1:20 jaar
  - 1:50 jaar
  - 1:100 jaar

<sup>3</sup> Het gaat hier om tekorten in het oppervlaktewatersysteem zoals berekend met Mozart, zie Paragraaf 1.3 en Paragraaf 4.3

De kaarten zijn gemaakt voor Referentie 2015 en het Warm 2050 scenario, en voor zowel de vijf hoofd-regio's, als de 17 regio's (Figuur 1.2). Tekortkaarten zijn zowel beschikbaar voor zowel oppervlaktewatertekorten in alleen het regionale watersysteem (Mozart), als voor het regionale inclusief het hoofdwatersysteem (Mozart en DM). Deze laatste tekorten betreffen bijvoorbeeld tekorten voor doorspoeling in boezemwateren. In deze rapportage worden steeds alleen tekorten in het regionale systeem getoond.

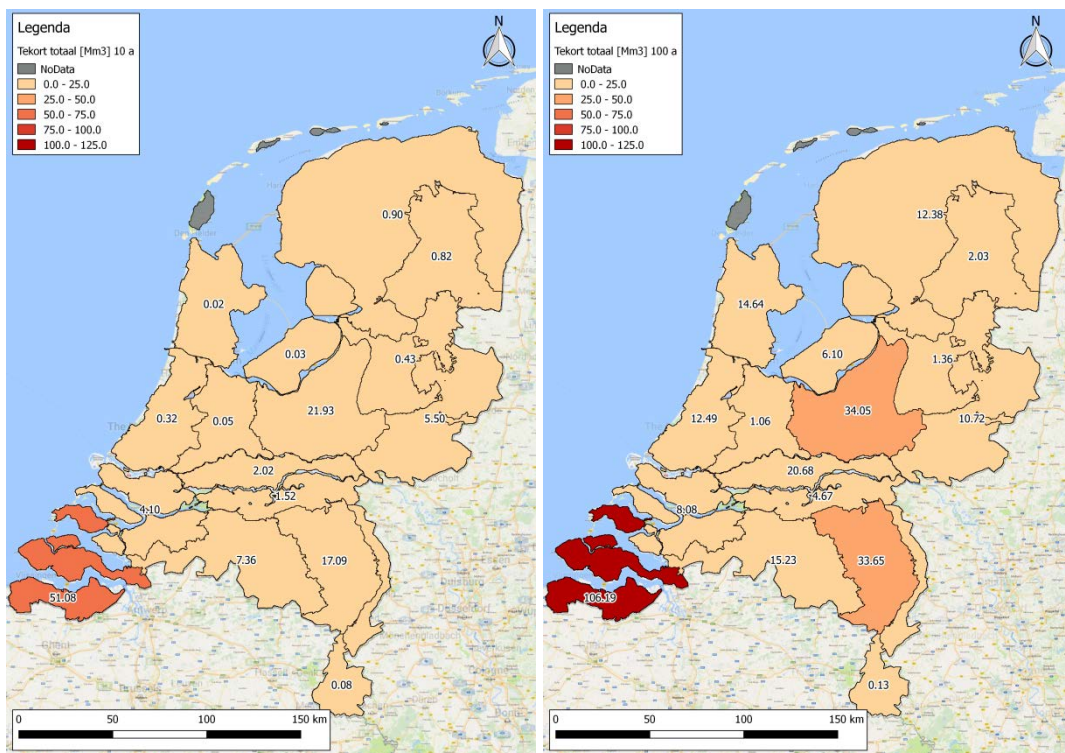
## 5.2 Risicokaarten watertekort en landbouwschade

De hieronder gepresenteerde droogte risicokaarten zijn een manier om droogterisico's ruimtelijk in beeld te brengen. De weergave van het effect (tekorten of schade) bij verschillende herhalingstijden laat bijvoorbeeld de verschillen zien tussen het verloop van het droogterisico: meer geleidelijk in de zandgebieden, en abrupter in de wateraanvoergebieden. De droogte risicokaarten zijn hier in absolute eenheden weergegeven (voor consistentie binnen deze rapportage), waardoor grotere regio's automatisch hogere getallen laten zien. De droogte risicokaarten zijn daarom ook beschikbaar in mm's, of €/ha. Op eenzelfde manier kunnen ook effecten van maatregel(pakket)en ruimtelijk inzichtelijk worden gemaakt.

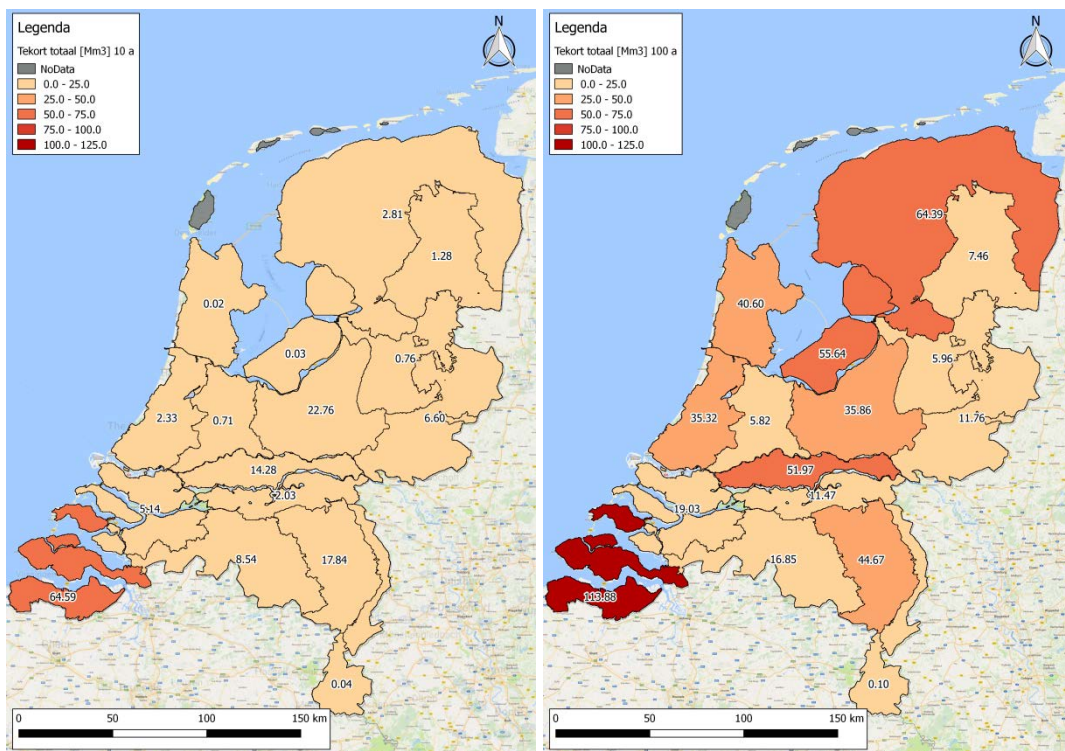
Bij de huidige versie horen een aantal kanttekeningen die deels voortkomen uit de gebruikte modellering (zie ook Hoofdstuk 2):

- Het droogterisico van het watertekort heeft alleen betrekking op de tekorten die optreden op de watervragers omschreven in Paragraaf 1.3: peilbeheer en doorspoeling in het peil beheerste gebied, en berekening uit oppervlaktewater. Tekorten in het grondwatersysteem, evenals in het hoofdwatersysteem worden vooralsnog niet in deze kaarten weergegeven.
- Zeeland komt naar voren als een gebied met hoge watertekorten, omdat dit verder peil beheerste gebied geen wateraanvoermogelijkheden kent. Het NWM berekent in droge periodes een watervraag voor het handhaven van het peil. Hier staat geen aanbod tegenover en er treden dus tekorten op.
- In de Centrale Hoge Zandgronden (Gelderse Vallei, Veluwe, IJsselvallei) worden tekorten door een schematisatiefout structureel met zo'n 18 Mm<sup>3</sup> per jaar overschat.
- Holland Noorderkwartier laat geen hoge watertekorten zien, maar kent wel een zeer hoge landbouwschade. Dit is niet te rekenen aan de gewasprijzen die in dit gebied relatief hoog zijn in verband met de bollenteelt. Het heeft waarschijnlijk te maken met de beregeningskaart in het model die niet meer actueel is, waardoor er gebieden ten onrechte niet beregend worden. Dit zie je dan niet terug in de tekortkaarten (daarin wordt immers alleen beregeningstekort opgenomen) en wel in de landbouwschade (zowel beregend als niet-beregend gebied). Dit moet verder worden uitgezocht.

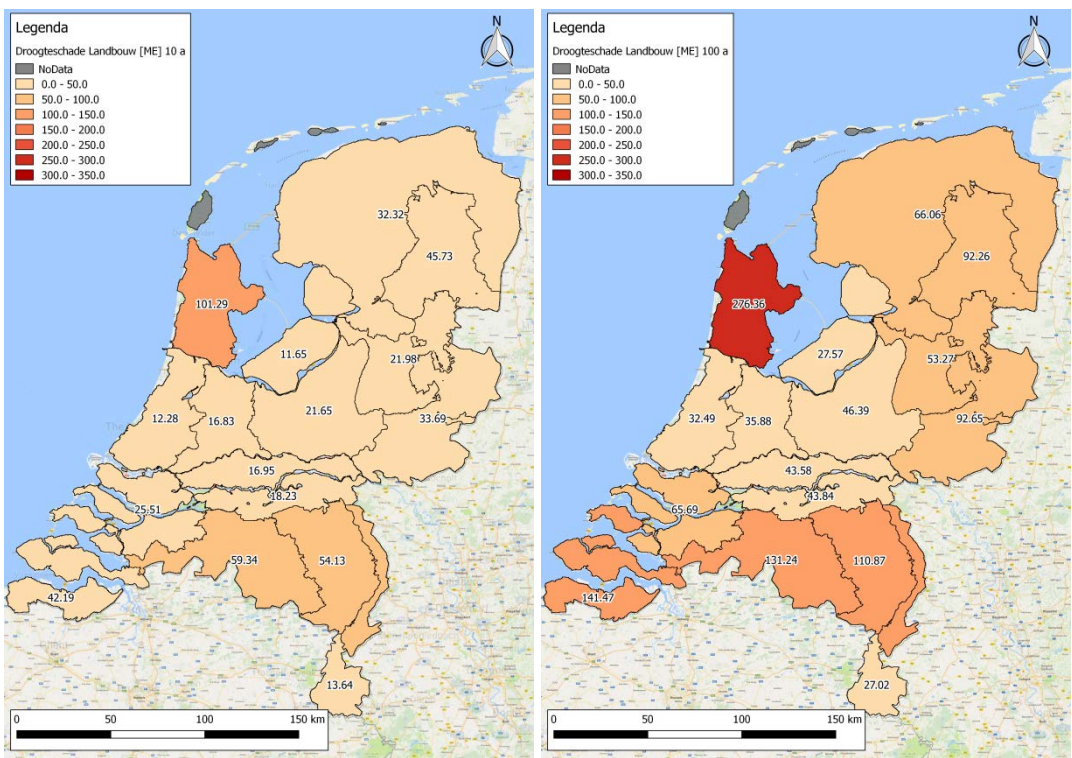
Het wordt aanbevolen om de risicokaarten met de Zoetwaterregio's te bespreken.



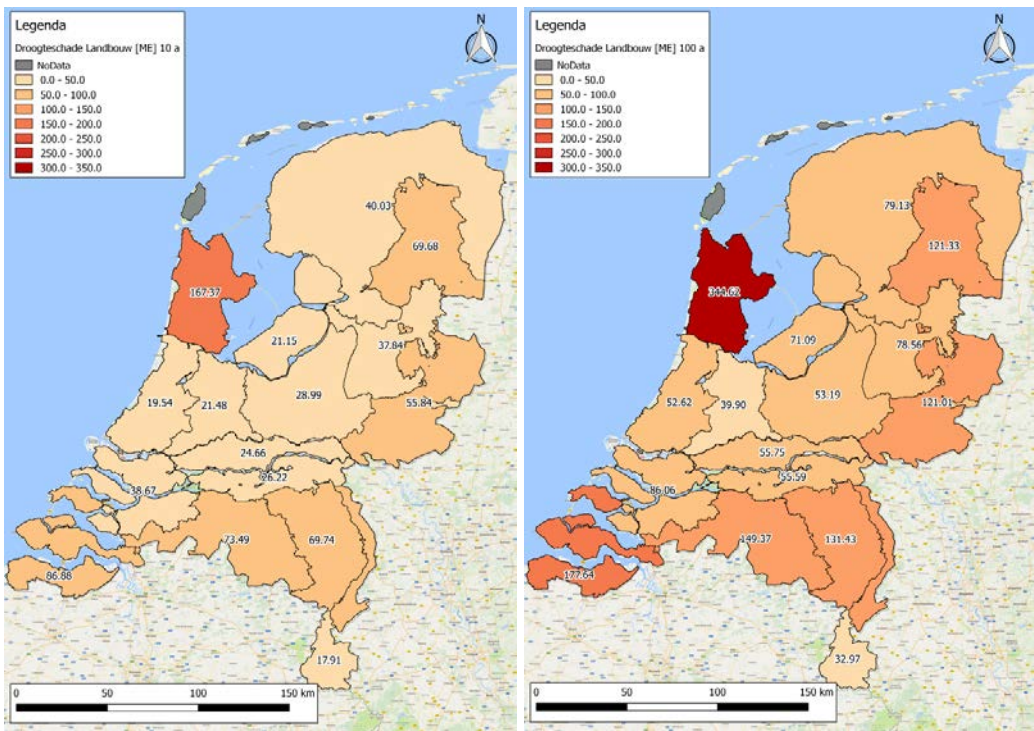
Figuur 5.2 Droogte risicokaarten voor het totaal watertekort ( $Mm^3$ ) in Referentie 2015, voor herhalingsijd 1:10 jaar (links) en 1:100 jaar (rechts).



Figuur 5.3 Droogte risicokaarten voor het totaal watertekort ( $Mm^3$ ) in Warm 2050, voor herhalingsijd 1:10 jaar (links) en 1:100 jaar (rechts).



Figuur 5.4 Droogte risicokaarten voor Droogteschade Landbouw (M€) in Referentie 2015, voor herhalingsijd 1:10 jaar (links) en 1:100 jaar (rechts).



Figuur 5.5 Droogte risicokaarten voor Droogteschade Landbouw (M€) in Warm 2050, voor herhalingsijd 1:10 jaar (links) en 1:100 jaar (rechts).



## 6 Effect maatregelen DP Zoetwater fase 1

### 6.1 Aanpak en toelichting maatregelen

In dit hoofdstuk worden voor de 100-jarige reeks de effecten van maatregelen DPZW fase 1 geanalyseerd. Het gaat om de maatregelen:

- **Uitbreiding KWA capaciteit (KWA+)**  
Met de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) wordt water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal aangevoerd naar de waterschappen 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 m<sup>3</sup>/s, waarvan orde 11 m<sup>3</sup>/s via Bodegraven en orde 4 m<sup>3</sup>/s via de Waaiersluis bij Gouda naar West-Nederland (Rijnland/Delfland/Schieland) kan worden doorgevoerd.
- **Roode Vaart**  
Via de Roode Vaart wordt een extra wateraanvoerroute gecreëerd naar West Brabant. De Roode Vaart heeft een capaciteit van 3.5 m<sup>3</sup>/s.
- **Flexibel peil IJsselmeer**  
Met flexibel peilbeheer is het mogelijk de zoetwaterbuffer in het IJsselmeergebied stapsgewijs te vergroten en tegelijkertijd te besparen op de vraag. Hierdoor is een extra waterbuffer van zo'n 20 cm beschikbaar in droge zomers.

De schematisatie van deze maatregelen in het modelinstrumentarium is beschreven in Paragraaf 2.4.

In de analyse is specifiek gekeken naar de volgende variabelen en zoetwaterregio's:

- IJsselmeergebied: peil IJsselmeer, watertekort en landbouwschade
- Regio10 (West-NL extern verzilt): inzet KWA(+), watertekort en landbouwschade
- Regio12: effect van de Roode Vaart.

Voor de analyse van de effecten van KWA+ en Roode Vaart is naast de indeling in 5 hoofdregio's ook gebruik gemaakt van de indeling in 17 regio's, om de effecten van deze maatregelen beter te kunnen onderscheiden. In de indeling met 5 hoofdregio's vallen Brabantse Delta en West-Nederland namelijk in dezelfde hoofdregio (hoofdregio II, Benedenrivierengebied). In de indeling in 17 regio's worden aparte regio's onderscheiden. Met deze indeling kan het effect van de Roode Vaart (in Brabantse Delta, regio 12) worden gescheiden van effecten van de KWA+ (in regio 10 en 11, West-Nederland, wel of niet extern verzilt).

Tot slot zijn tekorten voor de landbouw vertaald naar landbouwschades met het gewasopbrengstmodel AGRICOM ontwikkeld door Wageningen Environmental Research (Alterra). Landbouwschade is hier gedefinieerd als het verschil tussen absolute en potentiële opbrengst in euro's. Voor elk gewas is een vaste prijs gehanteerd. Verder is de AGRICOM-uitvoer voor droogteschade gebruikt (en niet ook zoutschade). Er is gekeken naar zowel de totalen per hoofdregio, als naar de effecten in specifieke jaren voor de regio IJsselmeergebied en regio Benedenrivierengebied.

## 6.2 Heel Nederland

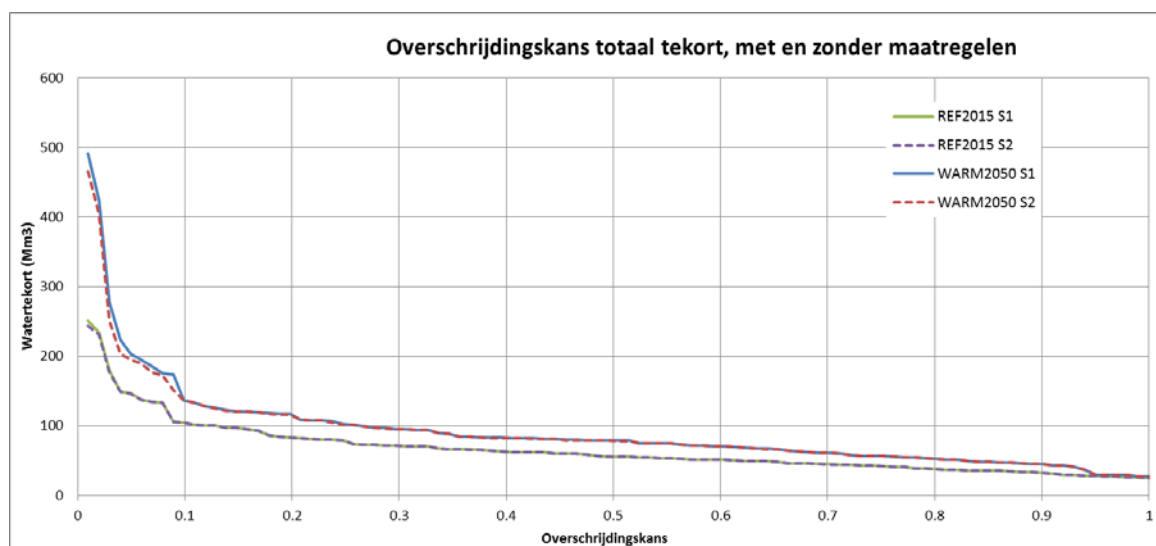
### 6.2.1 Watervraag en –tekort

Allereerst zijn de watervraag en de tekorten van de 100-jarige reeks voor berekeningen zonder (S1) en met (de DPZW-fase1) maatregelen (S2) geanalyseerd voor het zomerhalfjaar. Deze berekeningsresultaten worden voor de referentie 2015 en het scenario Warm2050 in Tabel 6.1 weergegeven.

Tabel 6.1 Vergelijking watervraag en -tekort in aangegeven zomerhalfjaar in Mm<sup>3</sup>

		Minimum	Mediaan	Gemiddeld	Maximum
Ref2015 S1	Tekort (Mm <sup>3</sup> )	41	61	74	270
	Vraag (Mm <sup>3</sup> )	831	1378	1344	2479
	Jaar	1966	1952		1921
Ref2015 S2	Tekort (Mm <sup>3</sup> )	41	61	73	267
	Vraag (Mm <sup>3</sup> )	831	1378	1344	2478
	Jaar	1966	1952		1921
Warm2050 S1	Tekort (Mm <sup>3</sup> )	42	82	97	455
	Vraag (Mm <sup>3</sup> )	916	1503	1549	2667
	Jaar	1987	1977		1976
Warm2050 S2	Tekort (Mm <sup>3</sup> )	42	81	96	433
	Vraag (Mm <sup>3</sup> )	916	1503	1546	2705
	Jaar	1987	1977		1921

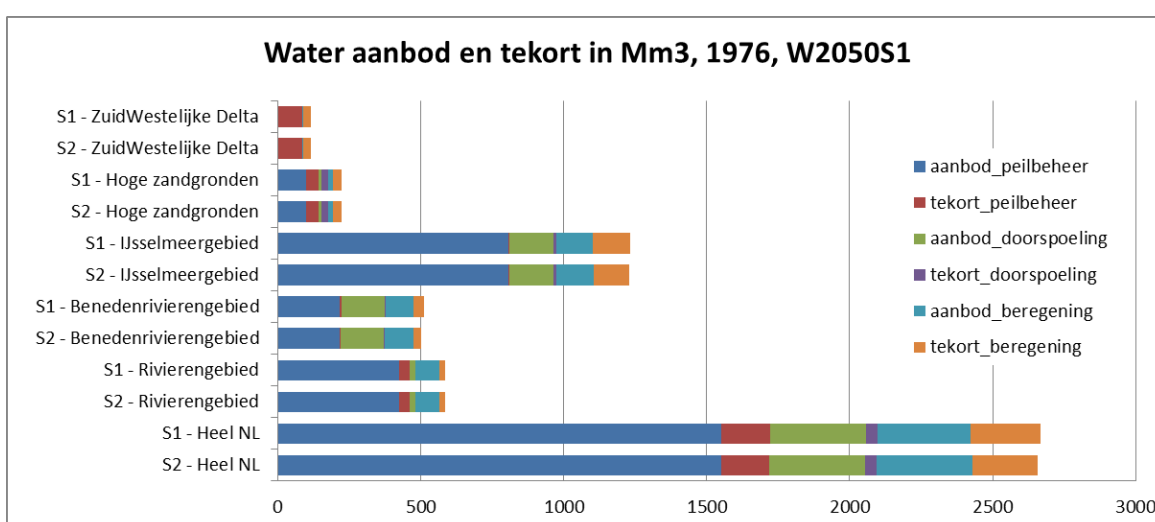
Uit de tabel blijkt dat de maatregelen (S2) in vergelijking met het huidige beheer (S1) voor het huidige klimaat (Referentie 2015) ook in het jaar met de grootste tekorten slechts een beperkte reductie van het tekort opleveren. Voor het scenario Warm2050 leveren de maatregelen een veel duidelijker effect en afname van het maximum tekort op (van 455 naar 433 Mm<sup>3</sup>). Zoals blijkt uit de maximale waarden in Tabel 6.1, treden effecten van de maatregelen alleen op in de droogste jaren. Dit zijn de jaren waarin de extra waterbeschikbaarheid door de maatregelen wordt benut. Figuur 6.1 toont de overschrijdingskans van het totaal watertekort per jaar. In de huidige situatie zijn effecten alleen zichtbaar in het extreemste jaar, in scenario Warm 2050 zijn effecten zichtbaar in de tien droogste jaren.



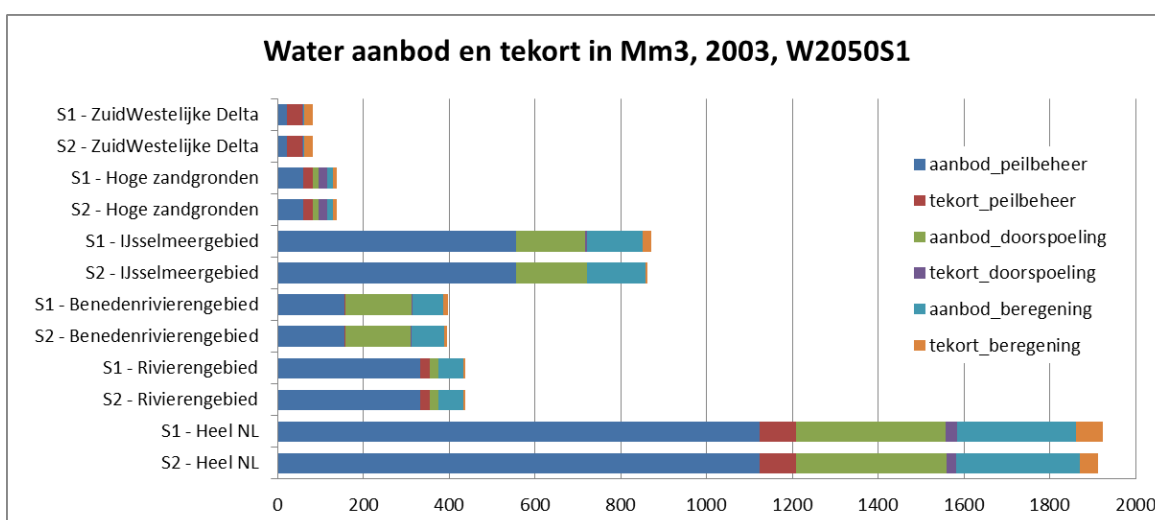
Figuur 6.1 Wateraanbod en –tekort voor Referentie2015 en Warm2050 scenario, met (S2) en zonder (S1) maatregelen

Voor het scenario Warm2050 is nader gekeken naar de watervragen en tekorten per hoofdregio en over heel Nederland voor het meest kritische jaar 1976 (Figuur 6.2) en het jaar 2003 (Figuur 6.3).

Zoals verwacht zijn de effecten zichtbaar in de hoofdregio's Rivierengebied (inclusief HDSR en Waternet), Benedenrivierengebied (inclusief Rijnland, Delfland, Brabantse Delta) en IJsselmeergebied. Het effect van de KWA+ is zichtbaar in de hoofdregio's Rivierengebied (HDSR/Waternet) en Benedenrivierengebied (Rijnland/Delfland/Schieland). De Roode Vaart heeft effect in de hoofdregio Benedenrivierengebied (Brabantse Delta). Het Flexibel Peilbeheer IJsselmeergebied heeft effect in de hoofdregio IJsselmeergebied.



Figuur 6.2 Vergelijking wateraanvoer en -tekort met en zonder maatregelen voor Warm2050, 1976



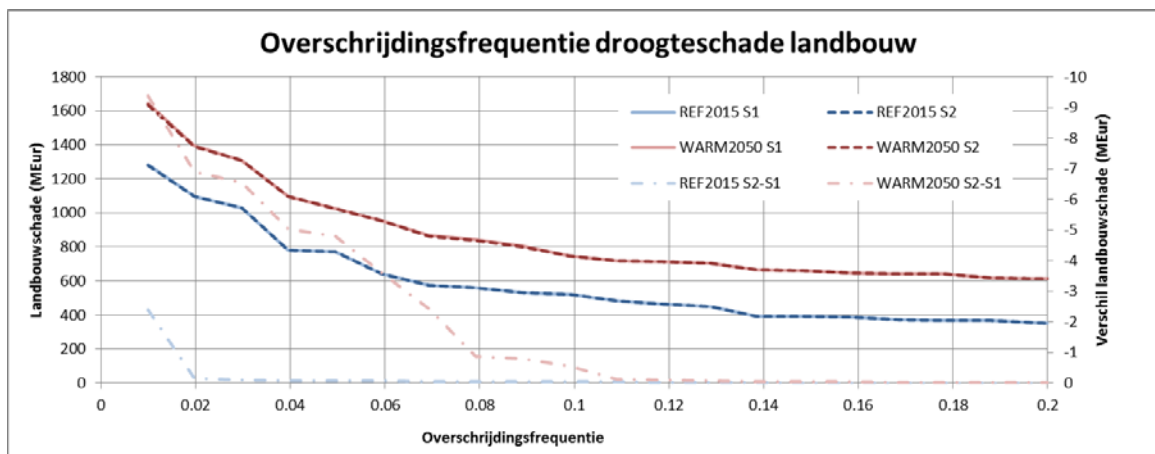
Figuur 6.3 Vergelijking wateraanvoer en -tekort met en zonder maatregelen voor Warm2050, 2003

### 6.2.2 Landbouwschade

De droogteschade landbouw is berekend met AGRICOM (zonder prijseffecten) voor de 100-jarige reeks voor huidig beleid (S1) en met (DPZW fase 1) maatregelen (S2) in Ref2015 en Warm 2050 (Figuur 6.4). In deze figuur is de overschrijdingsfrequentie tot 0.2 weergegeven.

Het totale risico op droogteschade voor de landbouw (verwachtingswaarde) is, inclusief de hogere frequenties die niet in Figuur 6.4 zijn weergegeven, bepaald op 240 M€/jaar in Ref 2015, en loopt op naar 403 M€/jaar in Warm 2050. Het verschil in droogteschade tussen Warm 2050 en Ref 2015 treedt vrij consistent op over de verschillende jaren; de curves in Figuur 6.4 lopen nagenoeg parallel.

De verwachtingswaarde van het effect van de DPZW fase 1 maatregelen bedraagt voor Ref 2015 en Warm 2050 respectievelijk 0 en 403 k€/jaar (weer inclusief de hogere frequenties die niet in Figuur 6.4 zijn weergegeven). Effecten van de DPZW fase 1 maatregelen treden in Warm 2050 op vanaf 1:10 jaar droogtesituaties. Effecten van de maatregelen zijn te vinden in de (te verwachten) regio's IJsselmeergebied, Benedenrivierengebied en, in mindere mate, Rivierengebied (HDSR en Waternet). Dit wordt verder beschouwd in de bespreking van de maatregelen afzonderlijk.

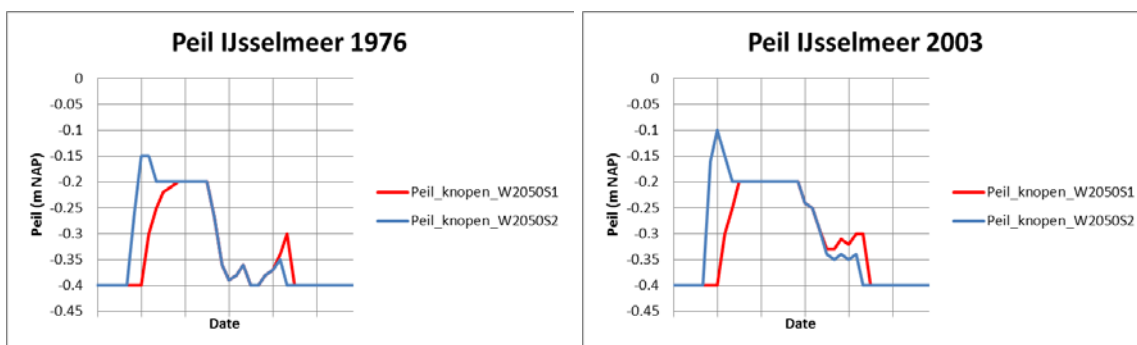


Figuur 6.4 Overschrijdingsfrequentie (1/jaar) droogteschade landbouw zonder (S1) en met (S2) maatregelen, en het verschil tussen S2 en S1 voor heel Nederland, voor scenario's Ref 2015 en Warm 2050

## 6.3 Flexibel peilbeheer IJsselmeergebied

### 6.3.1 Effect op watertekorten

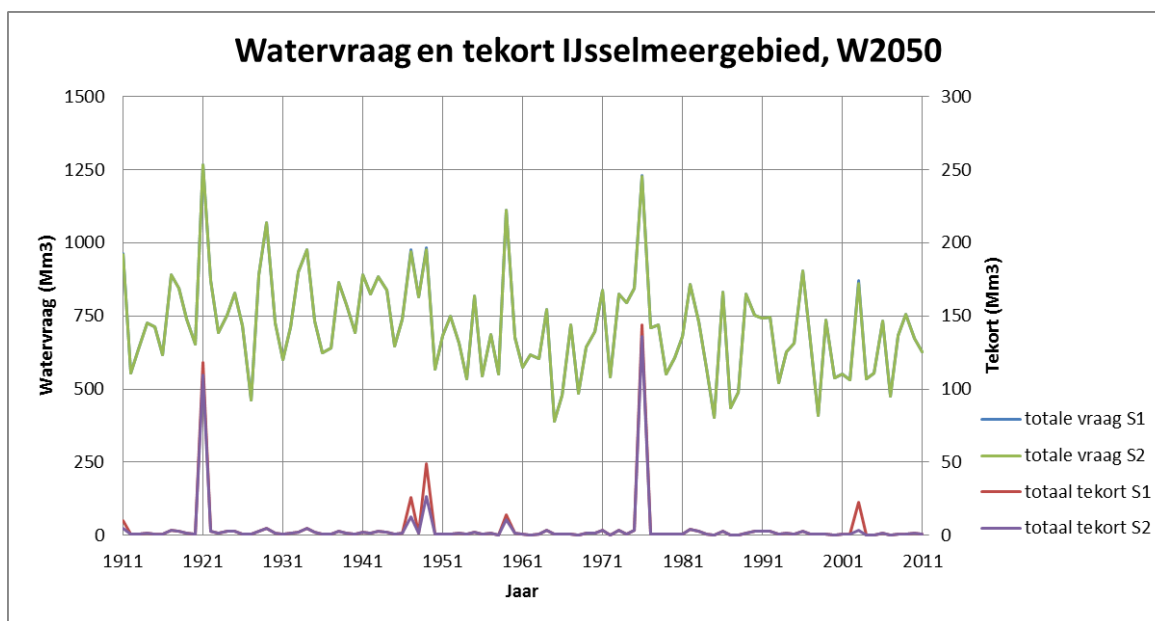
Het effect van flexibel peilbeheer op het peilverloop van het IJsselmeer is weergegeven in Figuur 6.5 voor de droge jaren 1976 en 2003 (Deltascenario Warm2050). Bij het flexibel peilbeheer komt het IJsselmeerpeil in april 1976 in het Warm2050 scenario goed op streefpeil (-0.20 m NAP), terwijl het bij het huidig beheer iets later (te laat) op streefpeil komt. In beide gevallen zakt het peil in de zomer uit tot minimum peil -0.40 m NAP. Bij flexibel peilbeheer is in september het streefpeil al verlaagd naar -0.30 m NAP (en zijn de in het model aanvullend gedefinieerde grenspeilen verlaagd), waardoor er meer water aan regionale gebruikers wordt toegekend en het peil in het IJsselmeer minder ver stijgt dan in het huidig peilbeheer waar het streefpeil nog -0.20 m NAP is. Dit resulteert voor 1976 Warm2050 in een lager IJsselmeerpeil in september, maar een grotere allocatie aan regionale watergebruikers en dus in kleinere tekorten. Voor het jaar 2003 geldt een analoge verklaring.



Figuur 6.5 IJsselmeerpeilverloop in het zomerhalfjaar met huidig peilbeheer (rood) en flexibel peilbeheer (blauw) onder Deltascenario Warm2050, voor 1976 en 2003

Figuur 6.6 toont de watervragen en -tekorten voor het Warm2050 scenario voor de berekeningen met en zonder maatregelen. De watervraag per zomerhalfjaar varieert tussen orde 500 en 1250 Mm<sup>3</sup> (groene en blauwe lijn, linker as) en het tekort is maximaal 140 Mm<sup>3</sup> (rode en paarse lijn, rechter as). Het effect van flexibel peilbeheer is duidelijk zichtbaar in de tekorten in de jaren 1911, 1921, 1947, 1949, 1959, 1976 en 2003. Het valt op dat het effect van flexibel peilbeheer in de twee droogste jaren (1921 en 1976) kleiner is dan het effect in de iets minder droge jaren 1947, 1949 en 2003. In de implementatie van het flexibel peil in de berekeningen wordt er ten opzichte van de situatie zonder maatregel vanaf medio augustus minder prioriteit toegekend aan het handhaven van het IJsselmeerpeil. Beschikbaar water in het IJsselmeer wordt dan eerder naar andere functies (beregening, doorspoeling) gestuurd, waardoor tekorten afnemen. In de extreme jaren is er in deze periode niet genoeg water beschikbaar om ondanks deze wijziging tekorten in de regio te voorkomen. Bovendien geldt de maatregel maar voor een beperkte tijd van de periode met peiluitzakking. In de minder extreme jaren werkt de herprioritering veel gunstiger uit op de regionale tekorten, deze worden ongeveer gehalveerd. Er is in deze jaren genoeg water beschikbaar om de regionale functies te voorzien, wanneer het IJsselmeerpeil mag uitzakken.

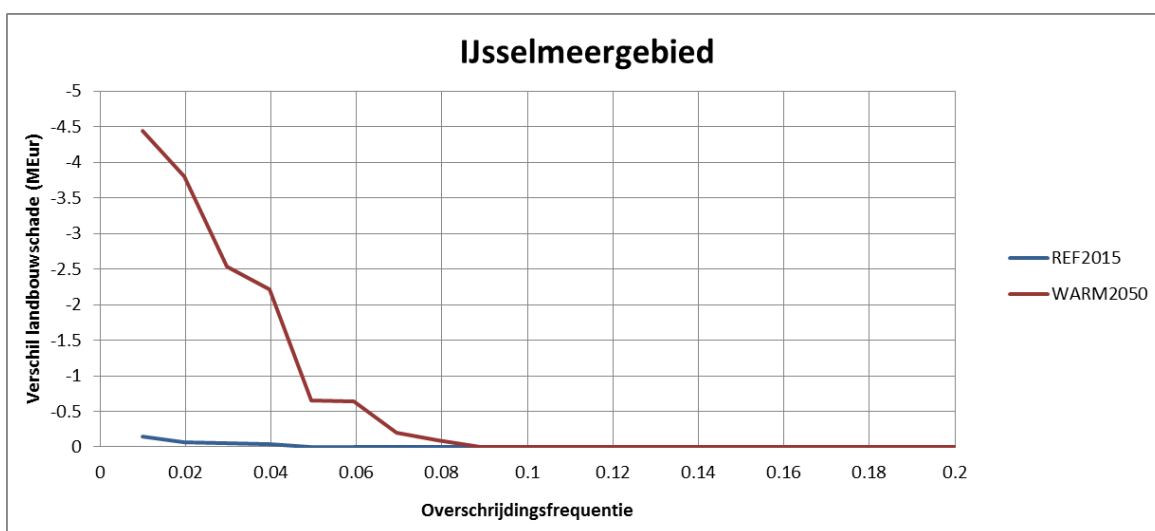
De modelimplementatie van het flexibele peil werkt zo niet geheel volgens verwachting uit. In de nieuwe implementatie van het flexibele peilbeheer (voor NWM versie 2.1.0.0) is de bovengrens daarom vanaf april tot begin augustus -0.10 en wordt de bovengrens daarna geleidelijk verlaagd. Er wordt daarmee meer water daadwerkelijk gebufferd in het IJsselmeer. De grens waarbij alle categorie 4 (verdringingsreeks) vragen worden gekort wordt pas vanaf 21 aug langzaam verlaagd tot -0.40 vanaf 1 okt.



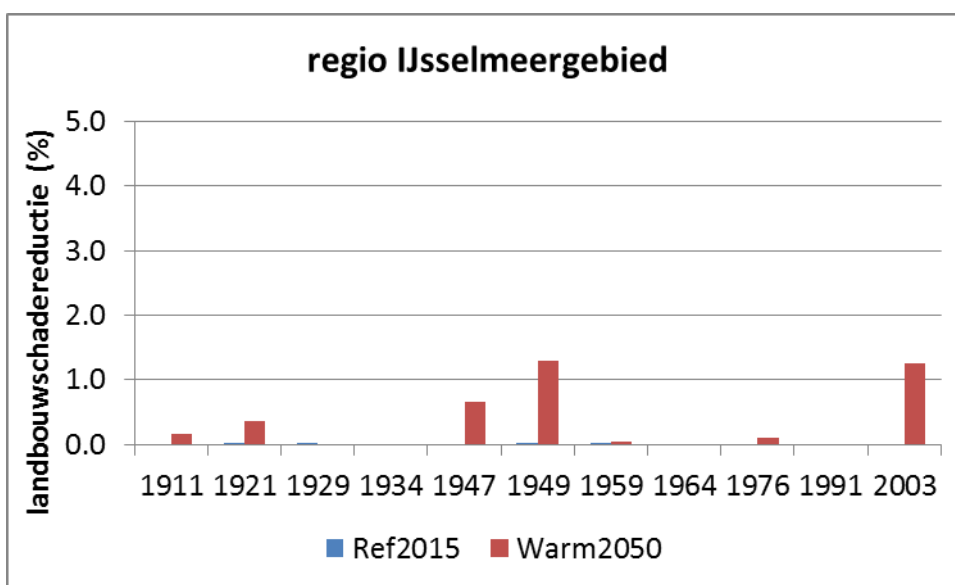
Figuur 6.6 Vergelijking tekorten IJsselmeergebied met huidig peilbeheer (rood) en flexibel peilbeheer (paars), Warm2050 scenario

### 6.3.2 Doorwerking op landbouwschade

Het totale effect van de DPZW-fase1 maatregelen is, zoals gezegd in een eerdere paragraaf, niet zichtbaar in termen van gemiddelde landbouwschade (gemiddeld over 100-jarige reeks). Er is daarom additioneel gekeken naar het effect van het flexibel peil op de overschrijdingsfrequentie van het verschil in landbouwschade in het IJsselmeergebied (Figuur 6.7). In de extreemste jaren is het effect van flexibel peil op de totale landbouwschade in de referentiesituatie weliswaar klein, maar in absolute zin zijn de verschillen wel aanzienlijk. In Warm 2050 treden er vanaf ongeveer 1/10 jaar verschillen op, uiteindelijk oplopend tot meer dan 4 MEur in het extreemste jaar. Verder is specifiek gekeken naar het effect in droge jaren waarin berekend is dat het IJsselmeerpeil uitzakt. Op basis van de analyse in de vorige paragraaf zijn 11 jaren geïdentificeerd waarin (in Warm2050) het IJsselmeerpeil meer dan 5cm uitzakt. Voor deze jaren is in Figuur 6.8 de landbouwschadereductie (in % van de landbouwschade zonder maatregelen) uitgezet voor zowel Ref2015 als Warm2050. Hieruit blijkt dat in deze specifieke jaren de reductie maximaal 1.3% is. Dit effect valt weg in de berekening van het landbouwisico (gemiddelde schade).



Figuur 6.7 Overschrijdingsfrequentie voor het verschil in landbouwschade met en zonder maatregelen voor regio IJsselmeergebied



Figuur 6.8 Landbouwschadereductie (%) als gevolg van flexibel IJsselmeerpeil onder Ref2015 en Warm2050 voor (droge) jaren waarin IJsselmeerpeil uitzakt (>5 cm)

## 6.4 KWA+

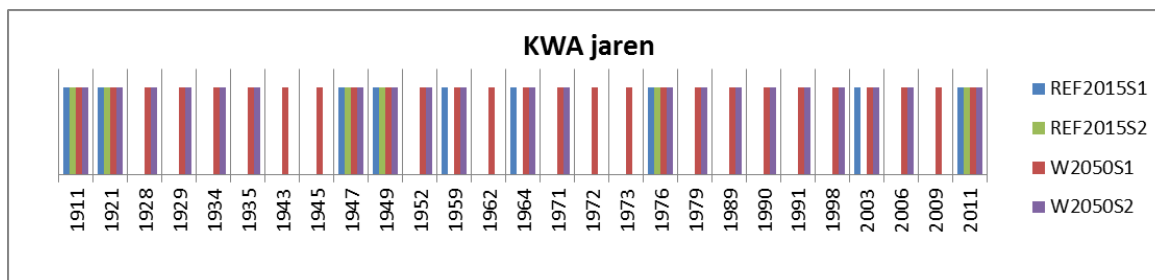
### 6.4.1 Inzet KWA

Eerst is onderzocht in welke jaren de KWA in het model wordt ingezet. Dit is bepaald op basis van het door LHM berekende doorvoerdebiet bij Bodegraven en het debiet bij Lobith. Omdat uit NWM wel de debieten als langjarige reeks beschikbaar waren maar de chlorideconcentraties bij Krimpen en Gouda niet, is op basis van de debieten bepaald of een jaar een potentieel KWA jaar is. Dat is gedaan door die jaren te selecteren waarbij het debiet in één of meer decaden in het zomerhalfjaar bij Bodegraven  $> 6 \text{ m}^3/\text{s}$  is, en tegelijkertijd het debiet bij Lobith  $< 1030 \text{ m}^3/\text{s}$  (waardoor dus jaren met zomerafvoer van HDSR naar Rijnland als gevolg van hoge lokale neerslag worden uitgesloten).

De jaren waarin de KWA in de verschillende berekeningen is ingezet is weergegeven in Figuur 6.9. Figuur 6.10 geeft aan onder welke condities (neerslagtekort en afvoertekort) de KWA is ingezet.

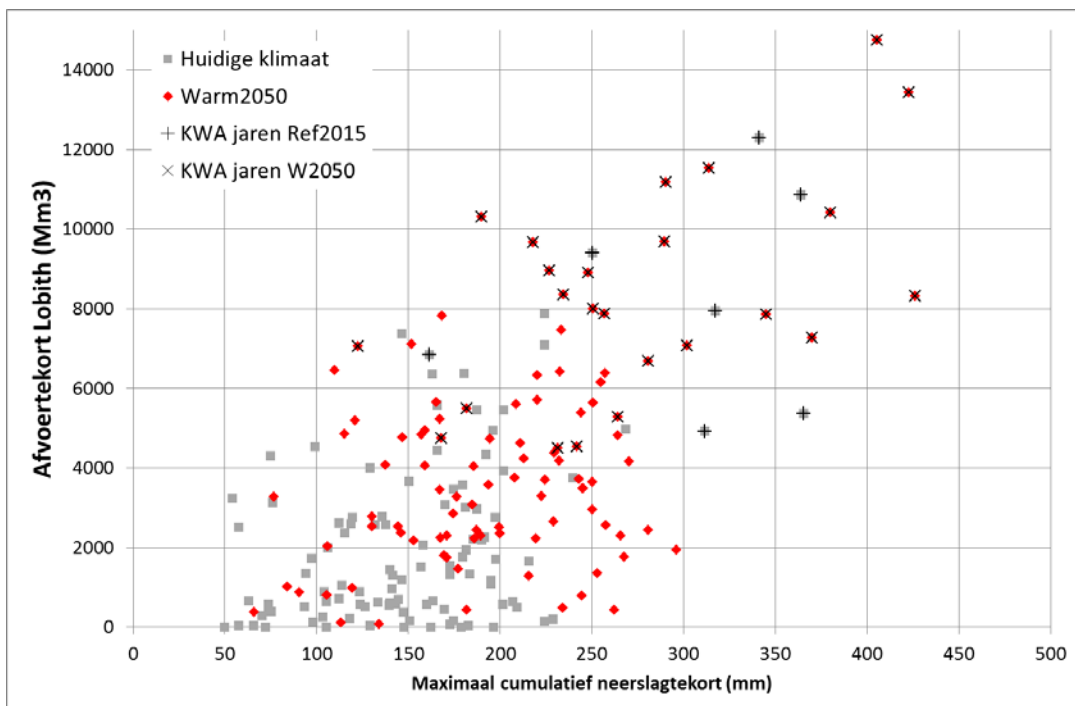
De analyse resulteert in het volgende:

- Voor de referentiesituatie 2015 gaat het om 6-7 jaar, dus een KWA-frequentie van 1:14 jaar. De betreffende jaren zijn 1911, 1921, 1947, 1949, (1959), 1976, 2011. De berekende debieten bij Bodegraven en dus de chloride randvoorwaarden verschillen enigszins in de S1 en de S2 scenario's. Daarom is er soms een jaar dat voor S1 wel en voor S2 geen KWA-jaar is (of andersom).
- Voor het Warm2050 scenario gaat het om 21-24 jaar, dus een KWA frequentie van ongeveer 1:5 jaar. Het gaat dan om de jaren 1911, 1921, 1928, 1929, 1934, 1935, (1943), 1947, 1949, 1952, (1959), (1962), 1964, 1971, (1973), 1976, 1979, 1989, 1990, 1991, 1998, 2003, 2006, 2011.
- Wordt het toetsdebiet bij Bodegraven verlaagd van 6 naar 5 m<sup>3</sup>/s, dan komen er voor Ref2015 twee extra jaren bij: 1964 en 2003. De KWA frequentie is dan ongeveer 1:11 jaar voor de huidige situatie. Voor het scenario Warm2050 komen er aanvullend 3 jaren bij: 1945, 1972, 2009.



Figuur 6.9 KWA jaren op basis van afvoer Bodegraven en Lobith in het zomerhalfjaar



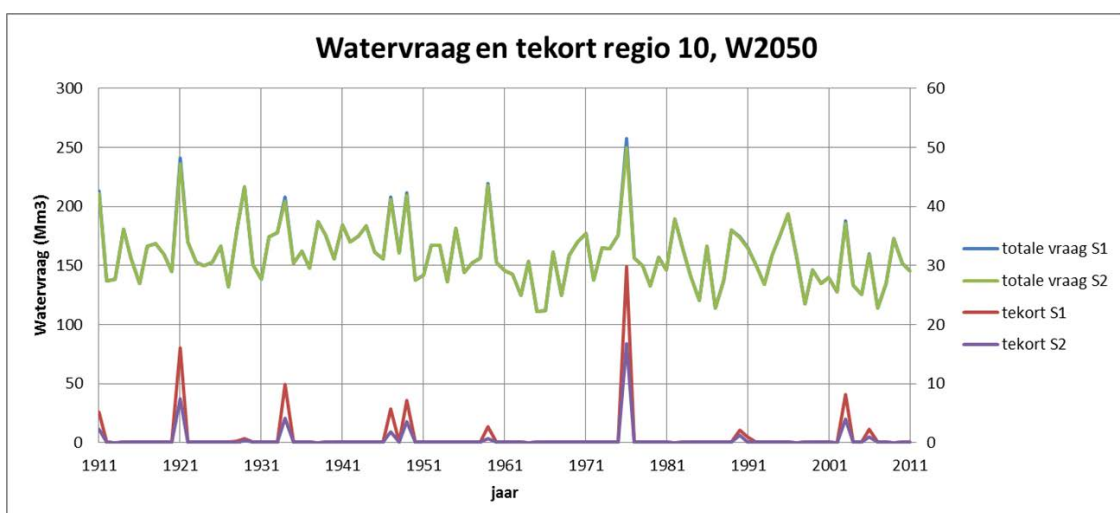


Figuur 6.10 Scatterplot van neerslagtekort en afvoertekort Lobith met daarin aangegeven of de KWA is ingezet

#### 6.4.2 Effect van KWA+ op watertekorten

Omdat de effecten van de maatregelen vooral in het Warm2050 scenario zichtbaar zijn, wordt in deze en de volgende paragrafen de impact van de individuele maatregelen alleen voor dit Deltascenario nader onderzocht op basis van de indeling in 17 regio's.

De KWA+ heeft effect in regio's 10 en 11 (resp. West Nederland verzilt en niet-verzilt). Kijkend naar de totale vraag en het totale tekort over het zomerhalfjaar voor regio 10 in Figuur 6.11 is de impact van de KWA+ maatregel duidelijk zichtbaar in 10 jaren: 1911, 1921, 1934, 1947, 1949, 1959, 1976, 1990, 2003, 2006. Kleinere verschillen zijn nog zichtbaar voor 1928, 1929, en 1991. Tekorten worden met ongeveer de helft gereduceerd. Voor regio 11 (HDSR, Waternet) is er ook een klein effect: het tekort neemt met ongeveer 0.5 miljoen m<sup>3</sup> af.



Figuur 6.11 Vergelijking S1 en S2 (KWA+) op tekorten regio 10, Warm2050 scenario

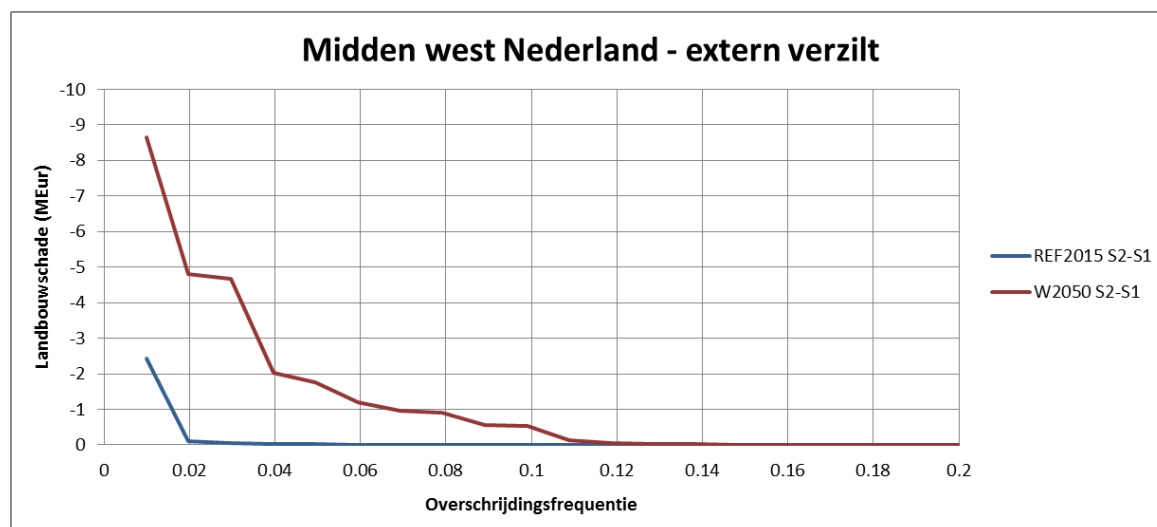
Voor het Warm2050 scenario blijkt in Figuur 6.9 dat er ruim 20 jaren zijn waarin de KWA lijkt te zijn gebruikt (doorvoer van HDSR naar Rijnland bij Bodegraven meer dan  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , terwijl de afvoer bij Lobith laag is). Echter, kijkend naar het effect van KWA (S1) en KWA+ (S2) is er maar voor ongeveer 10 jaren een duidelijke vermindering van de tekorten als gevolg van de KWA+. Dit betekent dat de huidige capaciteit KWA voor de andere 10 jaren voldoet en de uitbreiding van de KWA-capaciteit tot KWA+ tekorten niet reduceert.

#### 6.4.3 Doorwerking op landbouwschade

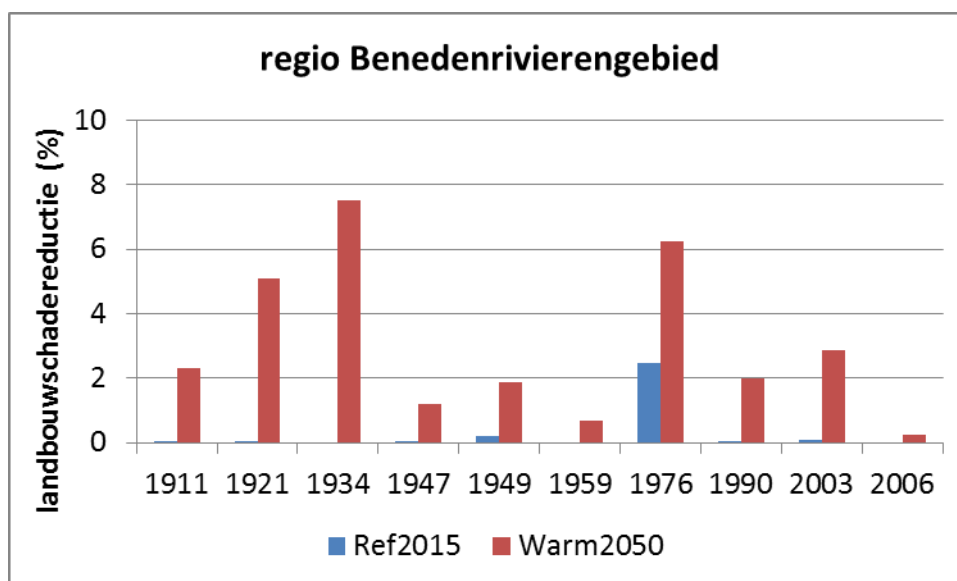
Het effect van de KWA+ op de overschrijdingsfrequentie van het verschil in landbouwschade in regio 10 (Midden west Nederland – extern verzilt) is weergegeven in Figuur 6.12. In de huidige situatie treden er alleen verschillen op het extreemste jaar. In Warm 2050 treden er vanaf ongeveer 1/10 jaar verschillen op, uiteindelijk olopend tot meer dan 8 M€ in het extreemste jaar. De verwachtingswaarde van het effect op droogteschade landbouw bedraagt 260 k€/jr.

Verder is specifiek gekeken naar het effect in droge jaren waarin ook de KWA is ingezet. In de vorige paragraaf zijn 10 jaren geïdentificeerd waarin (in Warm2050) de KWA+ effectief was in termen van reductie van watertekort voor de regio Benedenrivierengebied. Voor deze jaren is in Figuur 6.13 de landbouwschadereductie (in % van de landbouwschade zonder maatregelen) uitgezet voor zowel Ref2015 als Warm2050. Hieruit blijkt dat in deze specifieke jaren de reductie kan oplopen tot bijna 8%. In vier van deze jaren is de reductie meer dan 2% (op een schade van 64 – 139 M€). Omdat de kans van optreden van deze jaren klein is (0.04%), valt dit effect bijna weg in de berekening van de gemiddelde landbouwschadereductie van ~1%.

Het effect van de KWA+ op de reductie van landbouwschade is beduidend kleiner dan op de reductie van watertekort. Dit komt doordat slechts een deel van de landbouwschade plaatsvindt op percelen die eventueel worden beregend. Deze beregende percelen hebben immers baat bij een reductie van tekorten: ze kunnen wel of niet beregenen. Voor de overige – niet-beregende – percelen heeft het opheffen van watertekorten geen weerslag op de schade.



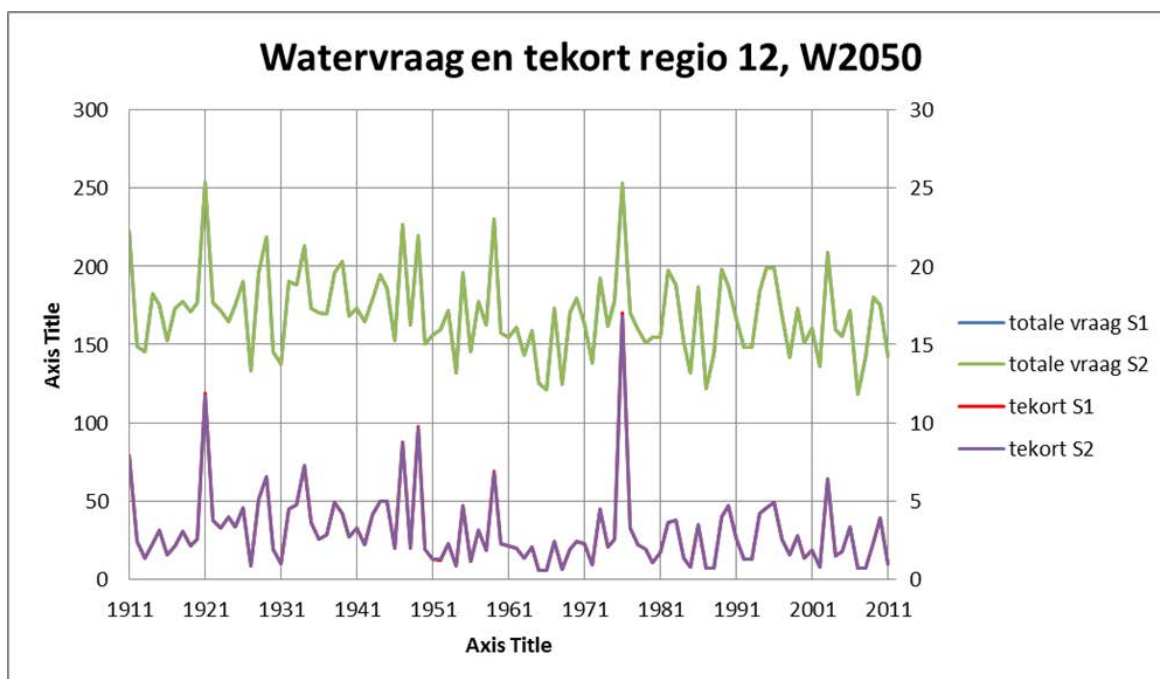
Figuur 6.12 Overschrijdingsfrequentie voor verschil landbouwschade met en zonder maatregelen voor regio 10 – Midden west Nederland – extern verzilt.



Figuur 6.13 Landbouwschadereductie (%) als gevolg van uitbreiding KWA-capaciteit onder Ref2015 en Warm2050 voor (droge) jaren waarin de KWA is ingezet én de extra capaciteit benut is

## 6.5 Roode Vaart

Het effect van de maatregel Roode Vaart is naar verwachting zichtbaar in regio 12. De watervragen en -tekorten voor deze regio worden voor scenario Warm2050 worden weergegeven in Figuur 6.14. Uit de vrijwel volledig overlappende lijnen in Figuur 6.14 blijkt dat het verschil tussen S1 en S2 (met Roode Vaart aanvoer) zeer gering is. De jaren 1976 en 2003 zijn nader geanalyseerd. Voor 2003 is er geen verschil in tekort, voor 1976 is er een reductie van het tekort van 0.2 miljoen m<sup>3</sup> (1% reductie). Uit de analyse voor 2003 blijkt dat er voor de districten in het gebied van waterschap Brabantse Delta inderdaad geen verschil is in watervragen en tekorten, en dat er ook geen verschil is in het debiet op de Mark-Dintel benedenstreams van de instroming vanuit de Roode Vaart. Dus is er inderdaad geen effect op de tekorten in deze regio. Voor het jaar 1976 is de totale inlaat voor Brabantse Delta via Roode Vaart en Oosterhout in het maatregelpakket S2 (met Roode Vaart) wel iets toegenomen. Het extra ingelaten debiet wordt gebruikt voor regionale watervoorziening rond Moerdijk, Zevenbergen en Goudbloem, en voor extra doorvoer / doorspoeling via de Mark-Dintel naar het westen.



Figuur 6.14 Vergelijking S1 en S2 (Roode Vaart) op tekorten regio 12, Warm2050 scenario

De Roode Vaart zorgt dus qua wateraanvoer voor een verwaarloosbare verbetering in de extreem droge jaren, terwijl in de normale jaren het verschil qua watertekorten nihil is. Voor het waterschap is belangrijk dat de inlaat Roode Vaart een betere waterkwaliteit heeft dan de inlaat Oosterhout en daarom dus te prefereren is. Dit aspect is echter niet opgenomen in de evaluaties binnen NWM.

Na analyse voor de Roode Vaart van de LHM en LSM resultaten blijkt nog een aandachtspunt m.b.t. de implementatie in LSM. In LSM is de inlaat Roode Vaart geschematiseerd als pomp en de inlaat bij de pomp neemt tussen S2 Ref2015 en S2 Warm2050 nauwelijks toe, terwijl de door LSM berekende aanvoer bij Oosterhout wel toeneemt (door de opgelegde zeespiegelstijging stijgt de waterstand bij Oosterhout in de scenario's, en neemt de capaciteit van de vrij verval inlaat naar de Mark toe). Echter, de inlaat Roode Vaart zal in de toekomst ook meer onder vrij verval kunnen inlaten door dezelfde waterstandsstijging en dat is niet in de in deze analyse gebruikte LSM schematisatie meegenomen. In de nieuwe implementatie is daarom in LSM de modellering inlaat Roode Vaart in overleg met het waterschap verbeterd en uitgebreid met de vrij verval inlaatmogelijkheid (niet in deze rapportage).

De implementatie van de inlaatmogelijkheid Roode Vaart zorgt in de 100-jarige reeks alleen in de extreemste jaren voor een geringe afname van de watertekorten. Dit weerspiegelt zich in de berekening van de landbouwschade. Verschillen zijn zelfs in de extreemste jaren miniem, en beperken zich tot een verwaarloosbare enkele duizenden euro's.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

De uitkomsten van de 100-jarige reeks zijn vergeleken met de uitkomsten van de 26-jarige reeks van de basisprognoses (Snippen et al., 2016b). Afwijkingen in watervraag, –tekort en veranderingen van grondwaterkarakteristieken zijn verwaarloosbaar en te verklaren door verschillen in begincondities. Er is aan het licht gekomen dat de berekening van de watervraag en -tekort voor peilbeheer in de basisprognoses enigszins afwijkt van wat gebruikelijk was in fase 1 van het Deltaprogramma. Afwijkingen zijn in de orde van 10%.

Door de grote invloed van extreme jaren op de berekende verwachtingswaarde blijkt een langere rekenperiode noodzakelijk om de verwachtingswaarde van tekorten en schade robuust te kunnen bepalen. De 100-jarige reeks heeft daarmee een duidelijke meerwaarde boven kortere reeksen, of representatieve jaren. De 26-jarige reeks van de basisprognoses blijkt niet representatief en onderschat het verwachte tekort. Voor het grondwatersysteem geldt daarnaast dat in de trage systemen (de hoge zandgronden) effecten van begincondities van het model lang kunnen doorwerken. Dit laatste kan alleen met een 100-jarige reeks berekening worden gesimuleerd.

Met behulp van de 100-jarige reeks is geanalyseerd welke jaren voor de verschillende zoetwaterregio's de grootste tekorten geven. Hoewel de extreemste jaren voor alle regio's naar voren komen, treden er in de minder extreme jaren duidelijke verschillen op in de volgorde van droogste jaren per regio. Verschillende jaren pakken in verschillende regio's anders uit op het ontstaan van watertekorten. Een duidelijk verschil bestaat tussen de regio's die afhankelijk zijn van wateraanvoer (IJsselmeergebied, Rivierengebied en Benedenrivierengebied), en de regio's die geen toegang hebben tot wateraanvoer (Zuidwestelijke delta zonder wateraanvoer en Hoge Zandgronden). In de eerste is een tekort een wisselwerking tussen vraag en aanbod, en verloopt de overschrijdingscurve van het optredende tekort heel abrupt: heel veel jaren waarin het aanbod de vraag overstijgt en geen tekorten optreden, en grote tekorten in de enkele jaren waarin het aanbod onvoldoende is. In de gebieden zonder wateraanvoer hangen tekorten met name samen met een grote watervraag, en verloopt de overschrijdingscurve daarom veel geleidelijker.

In het Deltascenario Warm 2050 nemen de knelpunten in de zoetwatervoorziening sterk toe. De watervraag neemt structureel zo'n 10% toe in Warm 2050 ten opzichte van de huidige situatie (Referentie 2015). In de gebieden zonder wateraanvoer nemen de tekorten evenredig toe. De gebieden met wateraanvoer ervaren daarnaast de afname van het beschikbare wateraanbod. Tekorten in deze gebieden nemen hierdoor veel sterker toe dan de toename van de vraag, tot een verviervoudiging van de verwachtingswaarde van het tekort in het IJsselmeergebied.

Een ruimtelijk beeld van het droogterisico wordt gegeven door middel van zogeheten droogterisicokaarten, voornamelijk beschikbaar voor het risico op watertekorten en droogteschade landbouw. Deze droogterisicokaarten zullen aan beleidsmakers en waterschappen worden voorgelegd om de potentiële toepassingen in kaart te brengen.

Het effect van de DPZW fase 1 maatregelen *Flexibel peil IJsselmeer, KWA+* en *Inlaat Roode Vaart* op watertekorten en droogteschade landbouw zijn geanalyseerd voor de huidige situatie en Warm 2050.

In referentie 2015 zijn alleen in een extreem droog jaar effecten zichtbaar, in Warm 2050 is dit vanaf een 1:10 droogtejaar. De verwachtingswaarde van het effect op droogteschade is volgens de berekeningen 400 k€/jaar in Warm 2050.

Flexibel peil IJsselmeer heeft vooral effect in matig droge jaren. Dit komt doordat het om een herprioritering van water gaat, en dat water in matig droge jaren wel en extreem droge jaren niet beschikbaar is. Bovendien gaat flexibel peilbeheer in de praktijk uit van het extra opzetten van het peil indien nodig, maar is dit extra opzetten niet gemodelleerd. Het effect op het terugdringen van watertekorten zou in de praktijk dus groter kunnen zijn. Het effect van de KWA+ is in Warm 2050 zichtbaar vanaf 1:10 droogtejaren. De KWA(+) wordt in 2050 vaker ingezet (eens elke 5 jaar), maar de uitgebreide capaciteit van de KWA+ wordt niet altijd benut. De verwachtingswaarde van het effect op droogteschade landbouw van de KWA+ is berekend op 260 k€/jr. De Inlaat Roode Vaart laat hoegenaamd geen effect zien op watertekorten en droogteschade.

## 7.2 Aanbevelingen

Het wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe met kortere reekslengten (met een sterke winst in rekestijden), een representatief beeld kan worden verkregen van het droogterisico. Overwegingen daarbij zijn de aanwezige langjarige trend in neerslaghoeveelheden (Kramer, 2017), en het gegeven dat extreme jaren sterk bepalend zijn voor het berekende droogterisico. Het onderzoeksprogramma IMPREX, waarin onder meer naar zeer lange synthetische reeksen wordt gekeken, kan hier een rol bij spelen.

Het wordt aanbevolen om de knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid meer compleet in beeld te brengen. Knelpunten als gevolg van beregeningsverboden op de Hoge Zandgronden komen bijvoorbeeld momenteel niet duidelijk naar voren in de berekeningsresultaten. Andere voorbeelden zijn het verdwijnen van zoetwaterlenzen, en de waterbeschikbaarheid voor natuur.

Voor toekomstige analyses ten behoeve van DPZW fase 2 dienen een aantal gesignaleerde model-tekortkomingen te worden bijgesteld. Het gaat dan onder meer om het stelselmatige tekort in de Hoge Zandgronden, implementatie van DPZW fase 1 maatregelen Flexibel Peil en Roode Vaart, en de modelverbeteringen in het LHM sinds de hier toegepaste versie 3.02.

## 8 Referenties

Bruggeman, W., Dammers, E., 2013. Deltascenario's voor 2050 en 2100, Deltares, PBL, KNMI, LEI-WUR, CPB.

Bruggeman, W., et. al., 2011. Deltascenario's, Verkenning van mogelijke fysieke en sociaaleconomische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO-scenario's, voor gebruik in het Deltaprogramma 2011 – 2012. Deltares rapport 1204151.002

Burgering, L., Walsum, P. van, Veldhuizen, A., Massop, H., Hunink, J., Prinsen, G., Verkaik, J., Bolt, F. van der, Kroon, T., 2016. Veranderingsrapportage LHM 3.2.0 - Ontwikkeling, beheer en onderhoud van de landelijke toepassing van het NHI, Deltares rapport 1230075.

Buschmann, F, 2016. Externe verzilting berekenen met het SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken model en het Nationaal Water Model. Deltares Memo 1230058-001-ZWS-0004

Hoogewoud, J., Walsum, P. van, Louw, P. de, Hunink, J., Prinsen, G., Verkaik, J., Veldhuizen, A., Kroon, T., Bolt, F. van der, Burgering, L., Groenendijk, P., Wal, B. van de, 2015. Veranderingsrapportage LHM 3.1.0; Ontwikkeling, beheer en onderhoud van de landelijke toepassing van het NHI, Deltares rapport 1220076.

Hunink, J.C., A. Veldhuizen, G. Prinsen, J. Oosterwijk, G. Oude Essink, 2013. Deltascenario's 2012 NHI modelinvoer, Technische achtergrond rapportage. Deltares rapport 12053-000-BGS-0003

Hunink, J.C., G. Prinsen, M. Visser, T. Kroon, 2016. Testresultaten 100 jarige berekening LHM, Deltares memo, 1220108-000-BGS-0006, 28 juni 2016.

Hunink, J., Hegnauer, M., 2016. Update Deltascenario's Nationaal Water Model. Deltares rapport 1220056-000-ZWS-0015

Klijn, F., van Velzen, E.H., Ter Maat, J., Hunink, J.C., 2012. Zoetwatervoorziening in Nederland – aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21<sup>e</sup> eeuw. Deltares, Delft, Netherlands.

KNMI, 2015. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland, herziene uitgave 2015

Kramer, N., 2018. KPP - Lange termijn Zoetwatervoorziening - Analyse 100 jaar reeks, Deltares rapport 11200590-000. Delft, Netherlands.

Kroon, T., G. Prinsen, J. Hunink, M. Visser en H. van den Boogaard, 2015. 100 Jaar reeks LHM en LSM; beschrijving van de invoer. Deltares rapport 1220108-000-BGS-0005.

Kroon, T., Veldhuizen, A.A., Burgering, L.M.T., Walsum, P.E.V. van, Janssen, G., Bolt, F.J.E. van der, Verkaik, J., 2017. Veranderingsrapportage LHM 3.3.0; Ontwikkelingen ten behoeve van de waterkwaliteit, Deltares rapport 11200573,.

De Lange, W.J., Prinsen, G.F., Hoogewoud, J.C., Veldhuizen, A.A., Verkaik, J., Oude Essink, G.H.P., Van Walsum, P.E. V, Delsman, J.R., Hunink, J.C., Massop, H.T.L., Kroon, T., 2014.

An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument. *Environ. Model. Softw.* 59, 98–108.

De Louw, P., Faneca Sánchez, M., Oude Essink, G., Prinsen, G., Bolt, F. van der, Vergroesen, T., Van Walsum, P., 2014. Integrale analyse Zout NHI 3.01 en aanbevelingen voor NHI 3.02 en verder, Deltares rapport.

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

RIZA, 2004. Aard, ernst en omvang van de droogte in Nederland - Resultaten fase 2a informatiespoor Droogtestudie Nederland, RIZA rapport 2004.31. Lelystad.

Snippen, E., G. Prinsen, C. Wesselius, 2016a. Implementatie maatregelen WABES fase II (LHM en LSMLT). Deltares memo 1230058-005-ZWS-0001

Snippen, E., M. Mens, J. Hunink, J. Ter Maat, 2016b. Basisprognoses Zoetwater - Controle NWM-instrumentarium in het licht van de Knelpuntenanalyse Zoetwater. Deltares rapport 1230058-001

Ter Maat, J., Haasnoot, M., Hunink, J.C., Van der Vat, M., 2014. Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4. Deltares rapport 1209141-001-VEB-0004. Delft, Netherlands.

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. Deltares rapport 11202240-010