

# **Modelrapportage berekeningen KNMI'14 scenario's met het NHI**

Joachim Hunink  
Martijn Visser

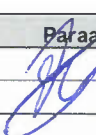
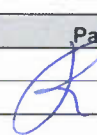
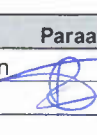
1209464-000

**Titel**  
Modelrapportage berekeningen KNMI'14 scenario's met het NHI

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
WVL	1209464-000	1209464-000-VEB-0004	23

**Trefwoorden**  
Deltaprogramma, Deelprogramma Zoetwater, klimaatverandering, KNMI'14 scenario's, watervraag, waterbeschikbaarheid, landelijke waterverdeling, waterbalans, regionaal waterbeheer, hoofwatersysteem, zoetwatervoorziening, NHI.

**Samenvatting**  
Er zijn berekeningen uitgevoerd om de effecten van de nieuwe KNMI'14 scenario's op de conclusies van het Deelprogramma Zoetwater in te schatten. Dit rapport beschrijft de achtergronden van de modellering die hiervoor is uitgevoerd. Gezien de doorlooptijd van het project en de beschikbare data zijn er aannames gedaan over de afvoeren van de grote rivieren en de externe verzilting. Deze aannames beïnvloeden de uitkomsten vooral in de gebieden die sterk afhankelijk zijn van wateraanvoer aan het hoofdsysteem. Hierom wordt geadviseerd de berekeningen opnieuw uit te voeren wanneer de overige data beschikbaar is.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	Nov. 2014	Joachim Hunink		Timo Kroon		Rosalie Franssen	

**Status**  
definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2 Beschrijving modelberekeningen</b>	<b>3</b>
2.1 Modelinstrument	3
2.2 Beschrijving randvoorwaarden	3
2.2.1 Neerslag en verdamping	3
2.2.2 Afvoeren	4
2.2.3 Externe verzilting	6
2.2.4 Startcondities	6
2.3 Aanvullende berekeningen Mozart-DM	6
<b>3 Resultaten</b>	<b>8</b>
3.1 Statistiek neerslagtekorten en afvoeren	8
3.2 Grondwaterstanden	10
3.3 Verdampingsreductie	11
3.4 Leveringspercentage's hoofdregio's	12
3.5 Droogteschade landbouw	16
3.6 Externe verzilting	18
3.7 Peilverloop IJsselmeer	18
3.8 Watervraag KWA	19
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>21</b>
4.1 Conclusies	21
4.2 Aanbevelingen	21
<b>5 Literatuur</b>	<b>22</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Memo: Kwantitatieve analyse effect nieuwe KNMI 14 scenario's voor de Deltabeslissingen</b>	<b>A-1</b>

## 1 Inleiding

Eind mei heeft KNMI de nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd. Bekend is dat deze verschillen van de KNMI'06 scenario's, die zijn gebruikt in de berekeningen voor het Deltaprogramma. Een opvallende afwijking is dat de droogte in het droogste scenario minder sterk toeneemt en dat de zeespiegel met circa 15 cm extra stijgt voor 2100.

De verwachting is dat na de officiële publicatie en presentatie op Prinsjesdag mogelijk vragen ontstaan vanuit het beleid en politiek. Een voor de hand liggende vraag is: in hoeverre wijken eerdere uitkomsten af van de resultaten met de nieuwe scenario's? Het vermoeden is dat het voor zoetwater mogelijk aangepast uitkomsten oplevert. Om een inschatting te krijgen wat de nieuwe klimaatscenario's betekenen voor Zoetwater zijn enkele berekeningen uitgevoerd met het NHI. De duiding van het effect van de KNMI'14 scenario's op de zoetwatervoorziening zijn vastgelegd in een memo (Ter Maat en Van der Vat, 2014, zie bijlage 1).

Deze technische achtergrondrapportage beschrijft de modelberekeningen die zijn uitgevoerd ter ondersteuning van de kwantitatieve beschrijving van de duiding van de KNMI '14 scenario's voor Zoetwater en geeft enkele verdieping in de resultaten. De analyse en conclusies zijn in de memo beschreven.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode van de nieuwe scenario's (1981-2010). De karakteristieke jaren gemiddeld (1967) en extreem droog (1976) die veel gebruikt zijn in eerder analyses zijn (nog) niet beschikbaar in de nieuwe klimaatscenario's. In voorliggende rapportage zijn vooral verschillende droge jaren (1989, 2003 en 2006) binnen de nieuwe referentieperiode geanalyseerd. Door de nieuwe referentieperiode zijn de berekeningsresultaten niet direct vergelijkbaar met de resultaten van deelprogramma Zoetwater (Ter Maat et al, 2014).

Aangezien er nog geen goede inschatting van de afvoeren van de Rijn en Maas beschikbaar is, zijn hiervoor pragmatische keuzes gemaakt. De voorliggende resultaten geven daarom slechts een indicatie van de verwachte effecten. Dit geldt vooral voor analyses die sterk gerelateerd zijn aan rivierafvoer (de externe verzilting, bufferschijf IJsselmeer, leveringspercentage 's uit het hoofwatersysteem). Voor de resultaten die sterk afhankelijk zijn van het neerslagtekort in Nederland (grondwaterstanden en de watervraag) geven de berekeningsresultaten meer betrouwbare resultaten.

## 2 Beschrijving modelberekeningen

### 2.1 Modelinstrument

De berekeningen zijn uitgevoerd met het NHI versie 3.01 (Hoogewoud et al, 2013a en 2013b). Het NHI is een onderdeel van het Deltamodel, dat gebruikt is voor de berekeningen van het Deelprogramma Zoetwater. Binnen dit project is ervoor gekozen de berekeningen stand-alone uit te voeren op de NHI-server en niet op de rekenfaciliteit Deltamodel, omdat snelle beantwoording van vragen gewenst was en na beschikbaar komen van de invoergegevens voor de nieuwe KNMI scenario's het niet mogelijk was deze nog te implementeren in de Rekenfaciliteit Deltamodel. Dit heeft geen effect op de uitkomsten van de berekeningen aangezien de gebruikte modelversie gelijk is.

De volgende berekeningen zijn uitgevoerd met het NHI:

- 1 Referentierun: Periode 1981-2010, huidig klimaat en huidige rivierafvoeren.
- 2 Warm 2050 (KNMI '06 W+): Periode 1981-2010, KNMI '06 W+ klimaat, KNMI '06 W+ afvoeren.
- 3 Warm 2050 (KNMI '14 W<sub>H</sub>): Periode 1981-2010, KNMI '14 W<sub>H</sub> klimaat, KNMI '06 G+ afvoeren (zie paragraaf 2.2.2.)

Er zijn nog enkele aanvullende berekeningen gedaan met een stand alone versie van DM-Mozart. Dit wordt omschreven in paragraaf 2.3.

De twee klimaatscenario's zijn beiden gebaseerd op de NHI schematisatie van het Warm 2050 scenario van de Deltascenario's (Hunink et al. 2012). Dit betekent dat de socio-economische ontwikkelingen van het Warm 2050 scenario in beide modelberekeningen is verwerkt.

Voor het bepalen van de externe verzilting is het Sobek model NDB gebruikt, vergelijkbaar met de aanpak in het Deltamodel (zie paragraaf 2.2.3).

### 2.2 Beschrijving randvoorwaarden

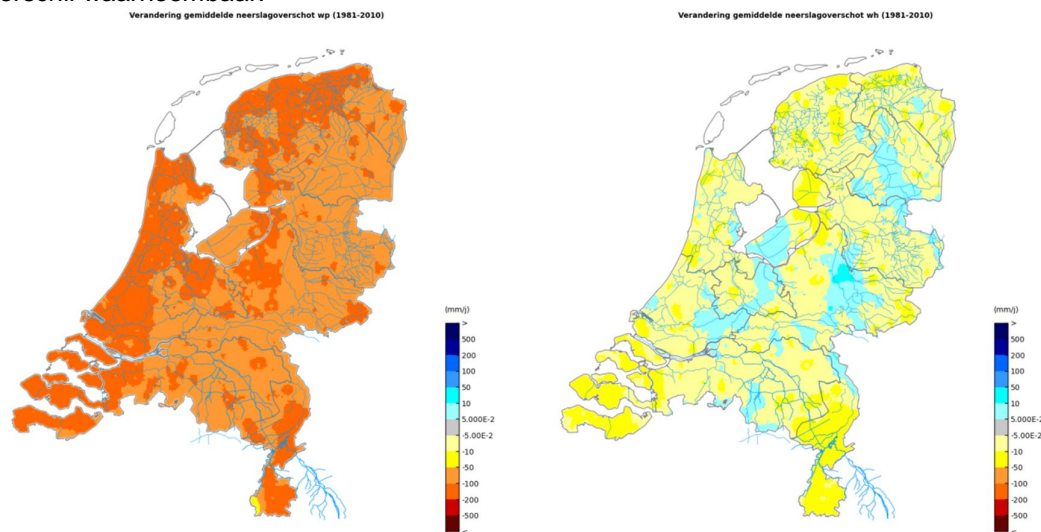
#### 2.2.1 Neerslag en verdamping

Voor de neerslag en verdamping worden grids gebruikt die zijn aangemaakt door het KNMI voor de periode 1981 -2010. Achtergronden van de referentie en KNMI'14 scenario's staan beschreven in Sluiter (2014). Het KNMI'06 W+ scenario staat beschreven in Bakker et al. (2013).

In Tabel 2.1 is de landelijk gemiddelde verandering van het potentieel doorlopend neerslagtekort, jaarneerslag, jaarverdamping, winter/zomer neerslag, winter/zomer verdamping weergegeven, berekend op basis van de aangeleverde gridbestanden. Deze bestanden zijn direct modelinvoer voor het NHI.

Het potentieel cumulatief neerslagtekort gemiddeld over Nederland voor de periode 1981-2010 neemt in het W<sub>H</sub> scenario toe met circa 30%; in het W+ scenario is dit circa 50%. In vergelijking met het W+ scenario wordt het W<sub>H</sub> scenario natter in de winter door meer neerslag, en minder droog in de zomer door minder grote toename van de verdamping en minder afname van de neerslag (Tabel 2.1). Op jaarbasis verandert het potentieel neerslagoverschot (de neerslag minus de potentiële verdamping) in het W<sub>H</sub> scenario in beperkte mate ten opzichte van de huidige situatie. In Figuur 2.1 is dit weergegeven voor een

voorbeeld jaar (gebaseerd op referentiejaar 2005). In het W+ scenario is juist een groot verschil waarneembaar.



Figuur 2.1 Gemiddelde verandering neerslagoverschot in mm/j KNMI'06 W+ 2005 scenario (links) en KNMI'14 W<sub>H</sub> 2005 scenario (rechts) voor de periode 1981-2010.

Tabel 2.1 Statistiek verandering neerslag en potentiële verdamping KNMI'06 W+ en KNMI'14 W<sub>H</sub> scenario's bepaald op basis van de NHI-modelinvoer periode 1981-2010.

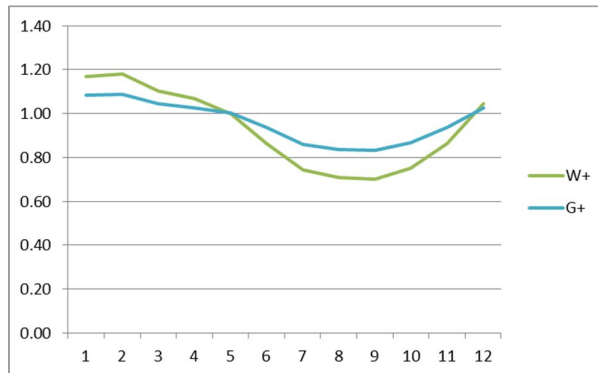
		KNMI'06 W+ grids	KNMI'14 W <sub>H</sub> grids	KNMI'14 W <sub>H</sub> brochure
Jaar	Neerslag	-4%	4%	5%
	Verdamping	11%	7%	7%
Winter	Neerslag	12%	17%	17%
	Verdamping	14%	10%	11%
Zomer	Neerslag	-21%	-14%	-13%
	Pot. Cum. neerslagtekort	30%	50%	-

### 2.2.2 Afvoeren

De KNMI'14 scenario's zijn momenteel nog niet geschikt om de toekomstige afvoeren van de Rijn en Maas van af te leiden (zie kader). Een juiste inschatting van de afvoer is echter wel van groot belang voor de analyse van de waterbeschikbaarheid. Een deel van de knelpunten van Zoetwater (externe verzilting, gebruikte buffer IJsselmeer) is sterk afhankelijk van de aanvoer over de Rijn en Maas. Na overleg met KNMI en RWS WVL is gekozen om de afvoeren van het KNMI'06 G+ scenario te gebruiken als invoer voor het KNMI'14 W<sub>H</sub> scenario (zie kader). Het KNMI'06 G+ scenario komt redelijk overeen met het KNMI'14 W<sub>H</sub> scenario wat betreft droogte, echter in de winter is het G+ scenario te nat. Dit kan gevolgen hebben voor de resultaten.

In het project van de Deltascenario's zijn de afvoeren van Rijn en de Maas bepaald met het HBV model. Dit HBV model gebruikt klimaatgegevens van het Rijn-Maas stroomgebied als invoer. Aangezien deze gegevens niet beschikbaar waren voor de modelperiode 1981-2010

zijn de afvoeren voor de scenario's W+ en G+ afgeleid van de veranderingen over de periode 1961-1995. Per maand in de periode 1961-1995 is de gemiddelde factor bepaald tussen de huidige situatie en het scenario. Deze maandelijkse factor is vervolgens toegepast op de huidige afvoeren voor de periode 1981-2010, resulterend in de afvoeren voor de scenario's W+ en G+ voor de nieuwe referentie periode. De toegepaste maandelijkse gemiddelde factoren zijn weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 2.2 Toegepaste maandelijks gemiddelde veranderingsfactor van de afvoeren ten opzichte van de referentieperiode, voor de scenario's W+ 2050 en G+ 2050.

Het KNMI werkt nog aan de definitieve scenario's voor neerslag en verdamping in de stroomgebieden van Rijn en Maas bovenstrooms van Lobith resp. Monsin passend bij de KNMI'14 scenario's.

Uitgangspunt van de KNMI'14 scenario's is dat ze goed passen binnen de bandbreedte opgespannen door de CMIP5 scenario's. Het  $W_H$  scenario is het natste scenario in de winter en tegelijkertijd het droogste scenario in de zomer. Specifiek voor het  $W_H$  scenario is het uitgangspunt dat in de zomer (bij benadering) niet meer dan 1 op de 5 CMIP5 modellen een grotere neerslagafname geven en in de winter (bij benadering) niet meer dan 1 op de 5 CMIP5 modellen een grotere neerslagtoename geven. Voor de KNMI'14 scenario's voor NL zoals weergegeven in de KNMI'14 brochure is dus aan deze uitgangspunten voldaan. Voor de KNMI'14 scenario's voor de stroomgebieden van de Rijn en de Maas dus nog niet en daar wordt nog aan gewerkt.

In afwezigheid van KNMI'14 scenario's voor de stroomgebieden van Rijn en Maas heeft Deltares op aangeven van WVL en het KNMI een eerste inschatting van de effecten op de afvoer berekend door gebruik te maken van de afvoertijdreeksen volgens het G+ scenario uit de KNMI'06 scenario's. De verwachting (en aanname) van het KNMI hierbij is dat de veranderingen in neerslag en verdamping in de zomer in de (nog niet beschikbare)  $W_H$  scenario's voor Rijn en Maas redelijke in de buurt komen van die in het G+ scenario (beide voor 2050). Daarbij is nu al wel duidelijk dat het klimaat in de winter in 2050 in de  $W_H$  scenario's voor Rijn en Maas natter zal uitpakken dan in het G+ scenario. Aangezien de analyses voornamelijk gericht zijn op de zomerperiode lijkt het - zolang er geen aanvullende informatie beschikbaar is - een redelijke benadering om de G+ afvoeren te combineren met de neerslag- en verdampingsdata voor Nederland onder het  $W_H$  scenario (zie verdere informatie in hoofdstuk 2). Samen duiden we ze verder aan als het " $W_H$  scenario".

In onderstaande tabel zijn de veranderingen van de neerslag en verdamping voor de zomer en winter weergegeven voor de  $W_H$  /CMIP5 resultaten en voor het G+ 2100 scenario. Ook is een vergelijking opgenomen van de verandering van de neerslag van het  $W_H$  2050 KNMI14 en het G+ KNMI06 scenario. Hier is zichtbaar dat het klimaat van de zomer van het

*G+ scenario in de buurt komt van de CMIP5/W<sub>H</sub> berekeningen. Echter het klimaat in de winter is in het G+ scenario duidelijk droger.*

*Omdat de statistieken van G+ voor de zomer in de buurt komen van het W<sub>H</sub> scenario is in overleg met het KNMI gekozen om voor de afvoeren gebruik te maken van het G+ scenario omdat de zomermaanden voor de droogteproblematiek het belangrijkste zijn. Het G+ scenario is in de overige perioden droger dan het W<sub>H</sub> scenario. Hierdoor kan het gebruik van het G+ scenario een overschatting geven van de knelpunten op het gebied van droogte.*

Tabel 2.2 Verandering van gemiddelde neerslag in Nederland voor de verschillende seizoenen in het W<sub>H</sub> KNMI14 scenario (2050) en het G+KNMI06 (2050).

	WH 2050	G+ 2050
voorjaar	9%	1%
<b>zomer</b>	<b>-13%</b>	<b>-10%</b>
herfst	8%	-3%
winter	17%	7%

### 2.2.3 Externe verzilting

Met het Noordelijk Deltabekken Sobek model (NDB model Sobek 2.52.007) zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd om de externe verzilting als randvoorwaarde voor het NHI te berekenen. Voor de jaren waarvoor al modelresultaten beschikbaar zijn uit de Deltascenario's zijn geen nieuwe berekeningen uitgevoerd. In een nabewerking stap zijn berekeningsresultaten gecombineerd om de nieuwe referentieperiode aan te vullen. Voor de volgende situaties en jaren zijn nieuwe berekeningen gedaan:

- 1 Referentie, periode 1996-2010
- 2 W+ periode 1996-2010
- 3 G+, periode 1981-2010.

### 2.2.4 Startcondities

De gebruikte startcondities (grondwaterstanden, bodemvochtprofiel) zijn afkomstig van de berekeningen voor de basiscase referentie en Warm 2050 van de Deltascenario's (Ter Maat et al., 2014). De berekende condities voor 31-12-1980 zijn gebruikt als startcondities. De berekeningen Warm 2050 (KNMI '06 W+) en Warm 2050 (KNMI '14 W<sub>H</sub>) hebben dezelfde startcondities. De warm-states van de modellen Mozart en DM zijn niet meegenomen. De inspeelperiode van deze modellen is kort en hebben geen invloed op de analyse van het grondwater (in de periode 1985-2010) en het oppervlaktewater in de karakteristieke jaren (1989, 2003 en 2006).

## 2.3 Aanvullende berekeningen Mozart-DM

Om inzicht te krijgen in het gebruik van de buffer IJsselmeer en de watervraag aan de kleinschalige wateraanvoer (KWA) zijn aanvullende berekeningen gedaan met een stand alone versie van Mozart-DM (op basis van NHI 3.01). Hierbij wordt Mozart-DM losgekoppeld van Modflow/Metaswap en in de berekening het oppervlaktewater gebruik gemaakt van de berekeningsresultaten (uitwisselingsfiles tussen Mozart en Modflow/Metaswap) van het grondwater van het volledige gekoppelde instrumentarium. Deze methode kan alleen toegepast worden bij maatregelen die weinig effect hebben op de berekeningen van Modflow en Metaswap. Bij het gebruik van deze methode worden de volgende twee vereenvoudigende aannames gehanteerd:

- 1 In geval van het verminderen of vergroten van een tekort voor peilbeheer wordt er geen andere interactieflux tussen grond en oppervlaktewater berekend. Er vindt wel interactie



plaats maar het effect van de peilverandering werkt niet door op een andere flux. Over het algemeen zal de verandering van een peil klein zijn. In de praktijk heeft dat betrekking op een kleine fluxverandering, vooral als gekeken wordt naar de relatieve verandering. Deze aanname zal dan ook geen significante effecten hebben op de uitkomsten van de berekeningen.

- 2 Het vochttekort in de onverzadigde zone wijzigt niet als gevolg van wijziging van het aanbod. In de berekening is normaliter de watervraag in MOZART/DM afhankelijk van het vochttekort in de bodem. Bij maatregelen waarbij het wateraanbod wijzigt, worden effecten op de onverzadigde zone genegeerd. Bijvoorbeeld bij vergroting van het wateraanbod zal normaliter het beregeningstekort verminderen als beregeningstekorten worden opgeheven. Aangezien deze terugkoppeling niet plaats vindt, kan de hoeveelheid geleverd water voor beregening overschat worden. De berekende beregeningstekorten kunnen hierdoor afwijken t.o.v. een volledig terug gekoppeld instrumentarium.

De standalone berekeningen worden voldoende nauwkeurig geacht om eerste inzicht te krijgen in de wijziging van de IJsselmeerbuffer en het benodigde debiet van de KWA. Dit is onderbouwd in een quick scan voor het jaar 1989 van de resultaten berekend met het Deltamodel (Ter Maat et al., 2014) en de berekeningen met Mozart-DM Warm 2050 (W+).

De volgende sommen zijn doorgerekend met de stand-alone koppeling Mozart-DM om inzicht te krijgen in het gebruik van de buffer IJsselmeer en de watervraag aan de KWA:

- 1 Warm 2050 (W+), maatregelpakket 31 (mp31 = aangepaste capaciteiten en debieten)
- 2 Warm 2050 (W+), maatregelpakket 2 (mp2 = KWA 24 m<sup>3</sup>/s)
- 3 Warm 2050 (W+), maatregelpakket 3 (mp3 = onbeperkt uitzakken IJsselmeer)
- 4 Warm 2050 (W<sub>H</sub>), maatregelpakket 32 (mp31 = aangepaste capaciteiten en debieten)
- 5 Warm 2050 (W<sub>H</sub>), maatregelpakket 2 (mp2 = KWA 24 m<sup>3</sup>/s)
- 6 Warm 2050 (W<sub>H</sub>), maatregelpakket 3 (mp3 = onbeperkt uitzakken IJsselmeer)

Bovenstaande maatregelpakketen zijn overgenomen van de eerdere sommen voor het Deelprogramma Zoetwater en zijn beschreven in Ter Maat et al., 2014.

### 3 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de modelberekeningen op hoofdlijnen worden besproken. Waar mogelijk wordt er een vergelijking gemaakt met de resultaten zoals berekend binnen Zoetwater.

Bij de vergelijking van een klimaatscenario met de referentiesituatie moet er rekening mee worden gehouden dat de gepresenteerde effecten niet uitsluitend zijn toe te schrijven aan de klimaatscenario's. Ook de sociaal economische effecten hebben invloed, bijvoorbeeld een reductie van de grondwateronttrekkingen in het Deltascenario Warm. In de analyse kan daarom beter gefocussed worden op de relatieve verschillen (verschillende verandering voor de scenario's) dan de absolute verandering binnen het scenario's.

In de analyse zijn verschillen op nationale schaal gepresenteerd. Regionaal moet rekening worden gehouden met mogelijke wijzigingen van de regionale grondwaterstromingspatronen, als gevolg van wijziging van de neerslagtekorten en neerslagoverschotten. Voor verklaringen op regionale schaal is dan ook nadere analyse nodig.

#### 3.1 Statistiek neerslagtekorten en afvoeren

In Tabel 3.1 is de ranking van de jaren over de periode 1981-2010 voor het potentieel maximaal cumulatief neerslagtekort en de afvoerdeficieten bij Lobith weergegeven. De jaren 1989 en 2003 behoren tot de droogste jaren binnen de beschouwde periode. Het jaar 2003 kent het hoofste afvoerdeficiet.

Ter vergelijking zijn in Tabel 3.2 het potentieel maximaal neerslagtekort en het afvoerdeficiet weergegeven voor de karakteristieke jaren die zijn toegepast binnen deelprogramma Zoetwater. Het belangrijkste verschil is dat zowel het neerslagtekort als het afvoerdeficiet van het extreme droge jaar (1976) in de oude referentieperiode duidelijk veel hoger zijn dan de droge jaren in de nieuwe referentieperiode 1981-2010.

Tabel 3.1 Ranking van de jaren 1981-2010 op basis van het doorlopend potentieel neerslagtekort (gemiddeld Nederland) en het afvoerdeficiet bij Lobit voor de referentie, Warm 2050 (W+ klimaat) en het G+ scenario.

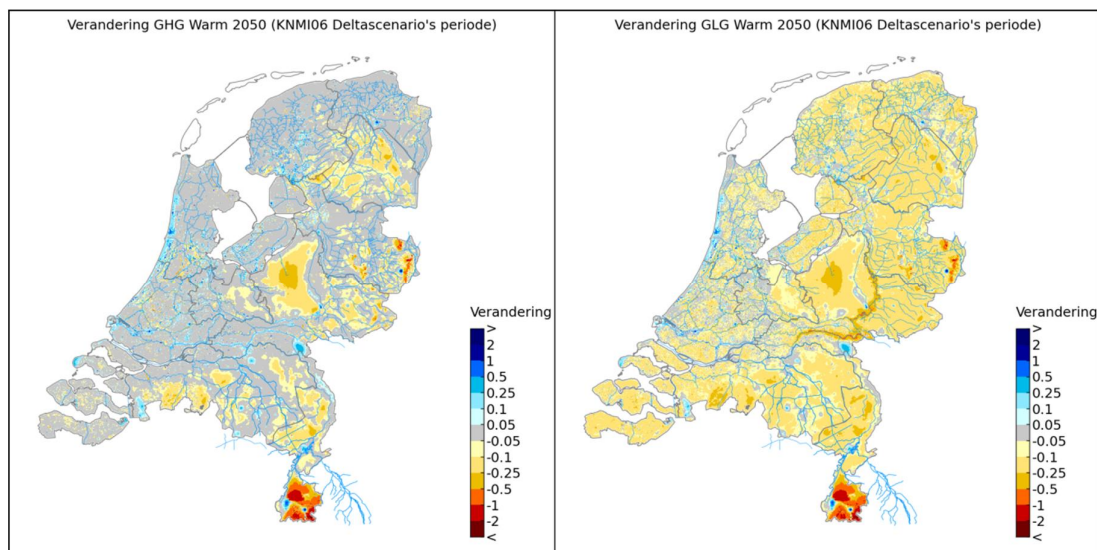
Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficiet	Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficiet	Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficiet
Referentie				W+ afvoeren				G+ afvoeren			
1989	238	2003	7095	1989	343	2003	9837	1989	302	2003	8599
2003	223	1991	6358	2003	334	1991	9177	2003	286	1991	7882
1983	212	1990	5460	1982	323	1990	8032	1982	279	1990	6711
1982	209	1996	4890	2009	311	1996	7993	1983	265	1996	6542
1995	205	1998	4299	1983	294	1989	7510	2009	255	1998	5922
1990	198	1993	4010	1995	291	1998	7390	1995	253	1989	5795
1986	197	1989	3759	2010	289	1993	7373	1990	251	1993	5591
2006	195	1992	3389	1990	284	1992	6681	2010	246	1992	5112
2010	194	1997	2594	1986	281	2004	5849	1996	246	2004	4205
1996	194	2004	2362	1999	281	2009	5449	1986	244	2009	3754
2009	187	2009	2263	1996	280	2005	5338	1999	237	1997	3719
1992	173	2005	1722	1994	266	2006	5031	1994	229	2005	3575
1999	170	2006	1718	1991	259	1997	4867	2006	227	2006	3347
1994	169	1983	1665	2006	257	1994	4783	1991	221	1983	3229
1991	161	1994	1551	1992	244	1983	4659	1992	220	1994	3127
2008	155	1988	1414	2008	241	1988	4590	1997	187	1988	2934
1988	139	1999	1320	1997	240	2008	4039	2008	187	1999	2616
2001	136	2010	1182	1981	223	1986	3998	1981	184	1986	2506
1993	127	1986	1085	2001	221	1999	3812	2001	181	2008	2229
1981	127	2007	890	2004	190	1985	3704	1984	165	1985	2202
1984	117	1985	661	2005	189	2010	3397	2004	159	2010	2075
1997	116	1995	639	1984	187	2002	3306	1988	156	2002	1741
2004	111	1981	595	2002	185	1995	3162	1993	149	1995	1581
2007	104	1984	580	1988	184	2000	2934	2005	141	1981	1561
2005	97	2001	565	1993	179	1981	2891	2000	127	1984	1554
2002	74	2008	544	2000	173	1982	2854	2002	127	1982	1496
1998	71	1982	510	1998	137	1984	2758	1998	119	2001	1485
2000	67	2002	397	2007	122	2001	2720	2007	103	2000	1441
1987	61	2000	297	1987	106	2007	2167	1987	84	2007	1345
1985	57	1987	46	1985	105	1987	1122	1985	66	1987	382

Tabel 3.2 Potentieel neerslag tekort en afvoerdeficiet bij Lobith voor een gemiddeld, droog en extreem droog jaar (respectievelijk 1967, 1989, 1976) zoals gebruikt in de Deltascenario's.

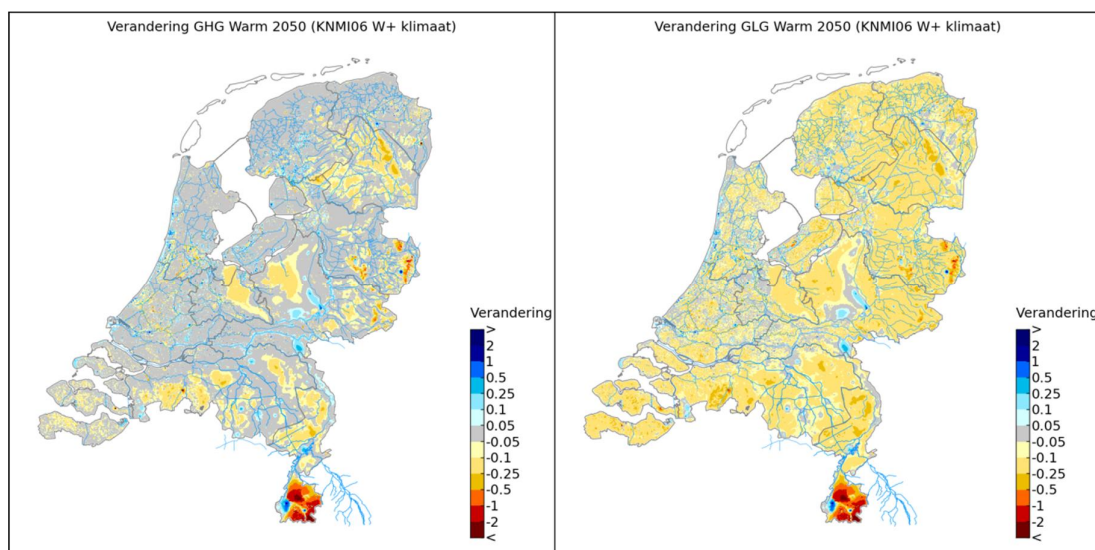
Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Afvoerdeficiet	Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Afvoerdeficiet
Referentie			Warm 2050		
1967	170	445	1967	266	4539
1989	238	3759	1989	356	7407
1976	338	10837	1976	451	13923

### 3.2 Grondwaterstanden

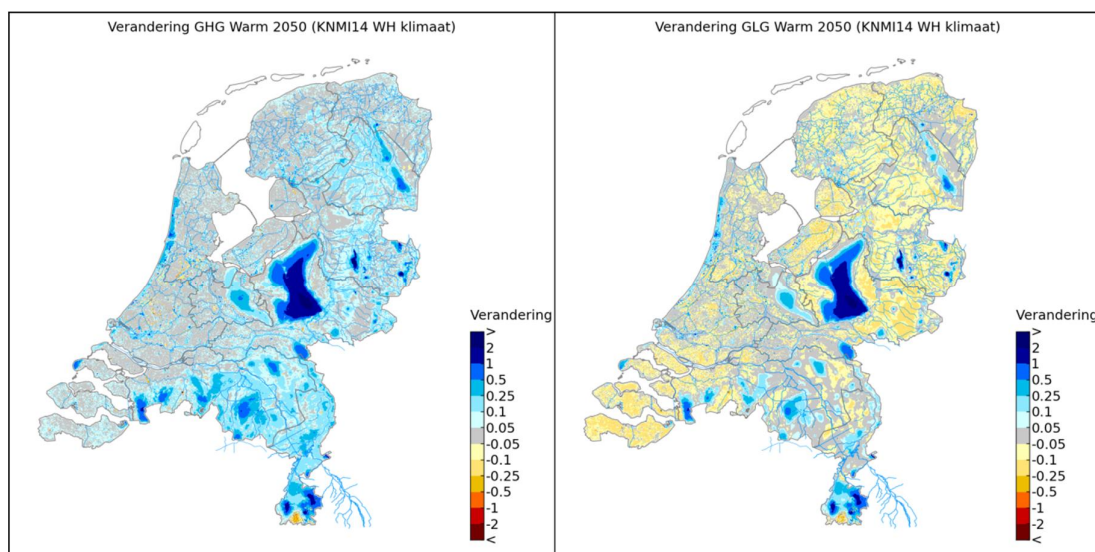
In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 zijn de veranderingen van de grondwaterstanden (GHG en GLG) als gevolg van het Warm 2050 W+ scenario weergegeven. Figuur 3.1 geeft de effecten weer voor de modelperiode van de Deltascenario's (1965-1995) en Figuur 3.2 geeft de periode weer van de KNMI'14 klimaatscenario's (1985-2010). Voor het bepalen van de GHG en GLG is geen gebruik gemaakt van de eerste 5 jaar van de modelresultaten. Uit figuur 3.1 en 3.2 blijkt dat er verschillen waarneembaar zijn door het gebruik van een andere referentieperiode. In Figuur 3.3 is de verandering van de grondwaterstand als gevolg van het Warm 2050 KNMI'14 W<sub>H</sub> scenario weergegeven. Uit vergelijking van figuur 3.2 en figuur 2.3 blijkt dat het effect van het nieuwe klimaatscenario op de grondwaterstand sterk verschilt met het eerdere W+ scenario; het oude W+ scenario laat overwegend een daling zien ten opzichte van de referentiesituatie. Het nieuwe W<sub>H</sub> scenario laat in grote delen van Nederland stijgingen zien van de grondwaterstanden; dit geldt voor de GHG maar in grote gebieden met diepere grondwaterstanden ook voor de GLG. In paragraaf 3.3 bij de memo (bijlage 1) wordt verder in gegaan op de verschillen en de oorzaak ervan.



Figuur 3.1 Verandering GHG en GLG in 2050 in m (modelperiode 1965-1995) als gevolg van het Warm (W+ klimaat) op basis van berekeningen met het Deltamodel.



Figuur 3.2 Verandering GHG en GLG in 2050 in m (modelperiode 1985-2010) als gevolg van het Warm (W+ klimaat).

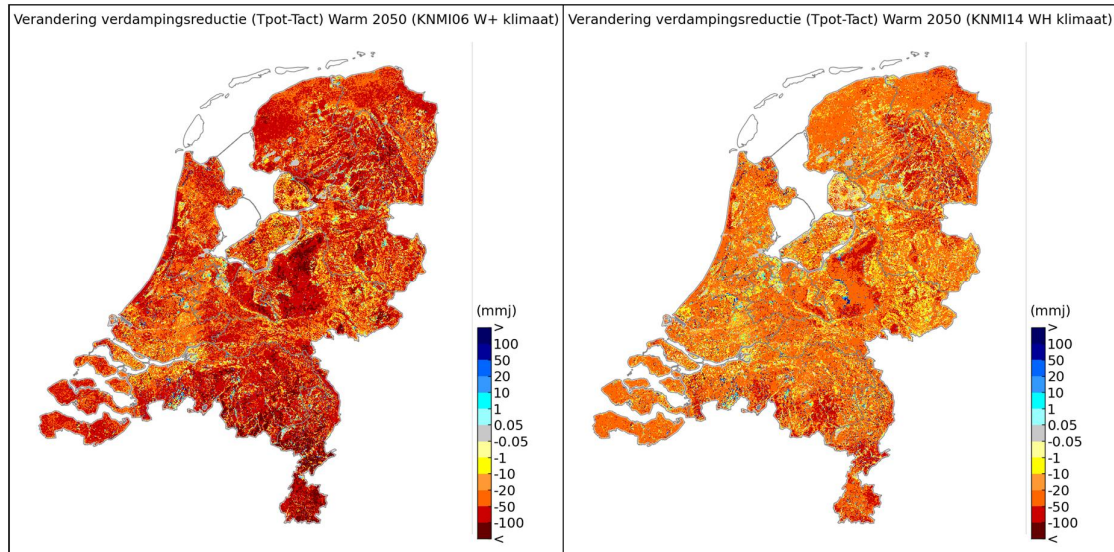


Figuur 3.3 Verandering GHG en GLG in 2050 in m (modelperiode 1985-2010) als gevolg van het Warm (W<sub>H</sub> klimaat).

### 3.3 Verdampingsreductie

In onderstaand figuur is de berekende verdampingsreductie voor het droge jaar 2003 weergegeven voor het W+ en W<sub>H</sub> scenario. De verdampingsreductie neemt overwegend toe door toename in het neerslagtekort; in het W<sub>H</sub> scenario is de toename kleiner dan in het W+ scenario. In beide scenario's worden op een beperkt aantal lokaties ook verlagingen van de verdampingsreductie berekend, al zijn de verlagingen in g W<sub>H</sub> scenario duidelijker. Een voorbeeld hiervan is zichtbaar onder aan de flanken van de Veluwe in de Eemvallei waar een duidelijke afname van de reductie zichtbaar is. Deze afname wordt waarschijnlijk veroorzaakt door hogere grondwaterstanden in deze gebieden die zorgen voor capillaire nalevering van grondwater aan de onverzadigde zone. In de gebieden waar een grondwaterstandsstijging optreedt als gevolg van het W<sub>H</sub> scenario kan de verdampingsreductie nog steeds toenemen.

Ten eerste kan de grondwaterstand te diep zijn om te zorgen voor capillaire nalevering aan de onverzadigde zone. Ten tweede kan de toename van de potentiële verdamping als gevolg van het scenario nog steeds groter zijn dan de toename van de capillaire nalevering als gevolg van stijging van de grondwaterstanden.

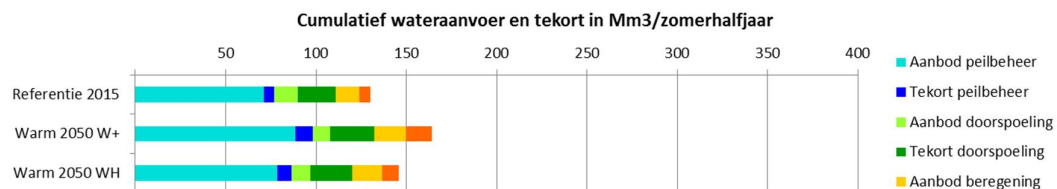


Figuur 3.4 Verandering verdampingsreductie voor het jaar 2003 in het W+ scenario (links) en het  $W_H$  scenario (rechts) in 2050

### 3.4 Leveringspercentage's hoofdregio's

In onderstaande figuren zijn de histogrammen van het wateraanvoer en watertekort voor de gebruikers peilbeheer, doorspoeling en beregning weergegeven voor de referentie, Warm2050 W+ en Warm 2050  $W_H$  voor de 5 hoofdregio's. Per regio zijn steeds de resultaten weergegeven voor de verschillende droge jaren (1989, 2003 en 2006). De totale watervraag (aanvoer + tekort) van het  $W_H$  scenario is in alle gevallen lager dan het W+ scenario. Ten opzichte van de referentie neemt de watervraag in het  $W_H$  scenario toe. In het W+ scenario is de toename van de watervraag echter circa 2x zo groot. Regionaal uit zich dit in meer tekorten in het W+ scenario dan in het  $W_H$  scenario.

#### Hoge zandgronden



Figuur 3.5 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989 voor de referentie en de scenario's

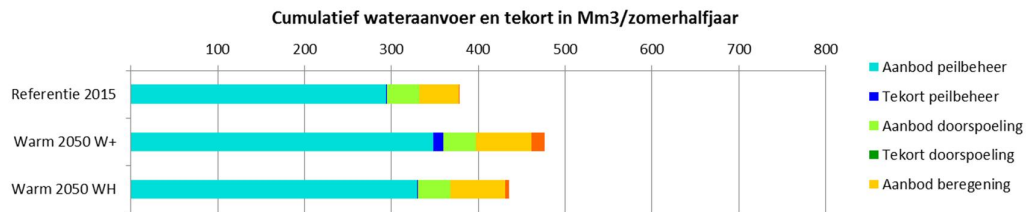


*Figuur 3.6 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

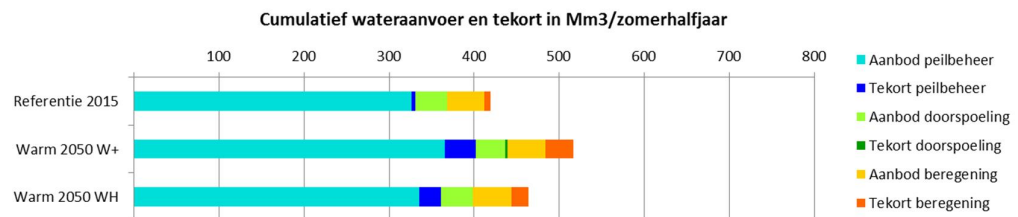


*Figuur 3.7 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2006 voor de referentie en de scenario's*

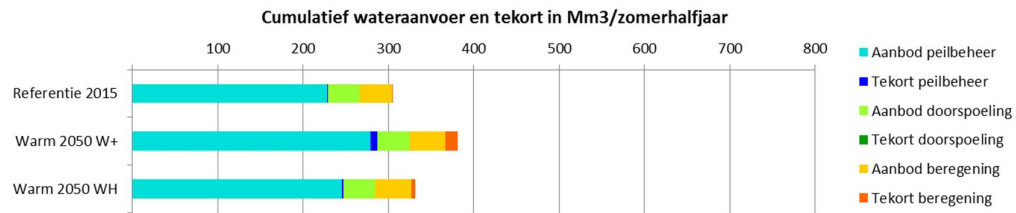
**Rivierengebied**



*Figuur 3.8 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989 voor de referentie en de scenario's*

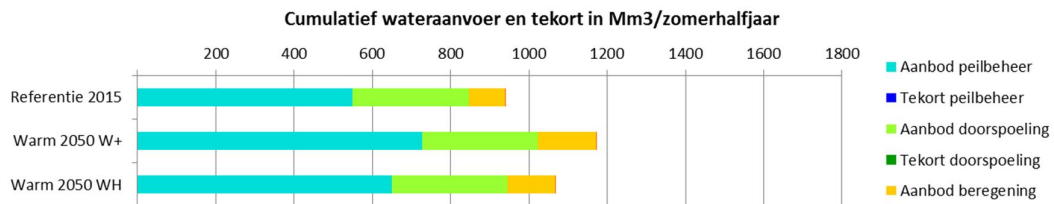


*Figuur 3.9 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

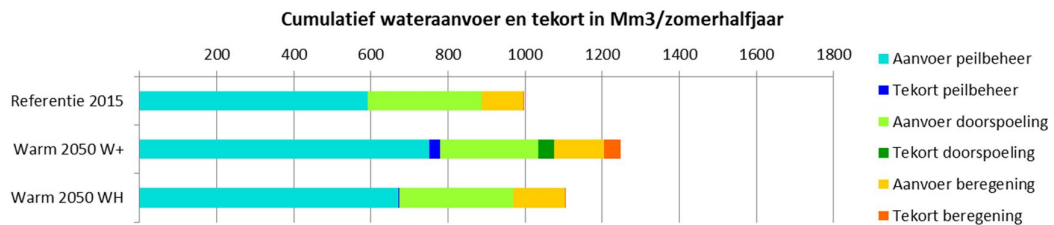


Figuur 3.10 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2006 voor de referentie en de scenario's

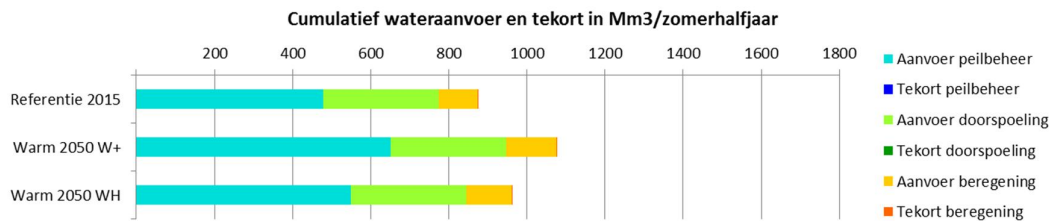
### IJsselmeergebied



Figuur 3.11 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17) conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989 voor de referentie en de scenario's



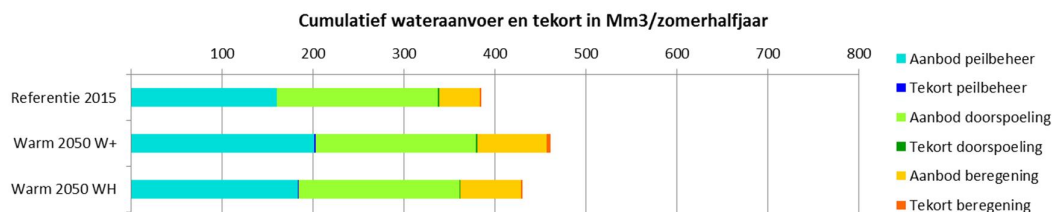
Figuur 3.12 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17) conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's



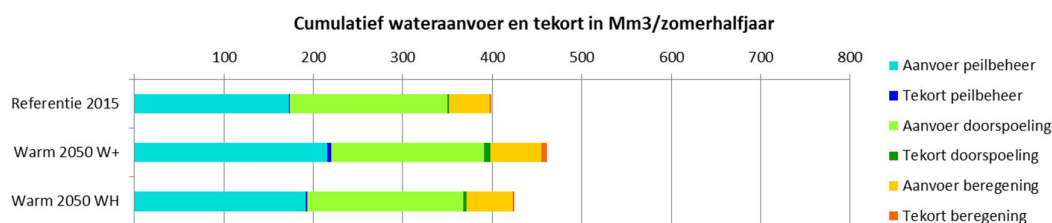
Figuur 3.13 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17) conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2006 voor de referentie en de scenario's



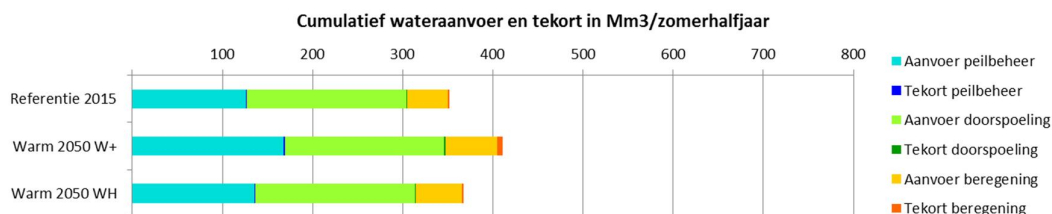
## Benedenrivierengebied



Figuur 3.14 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989 voor de referentie en de scenario's

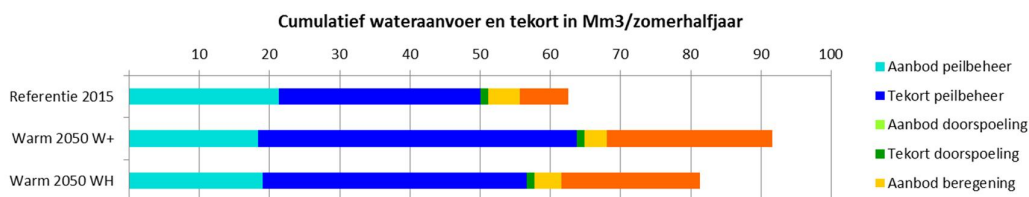


Figuur 3.15 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's

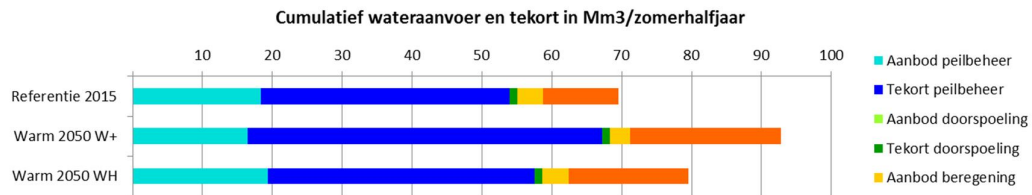


Figuur 3.16 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2006 voor de referentie en de scenario's

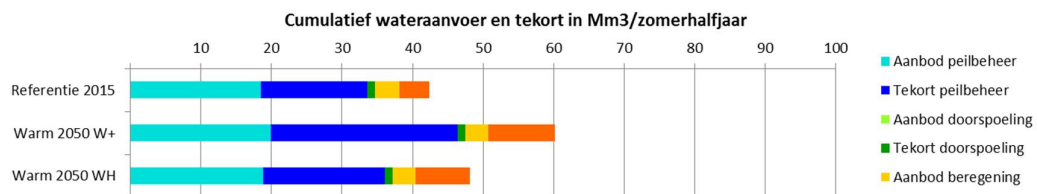
## Zuid-Westelijke Delta



Figuur 3.17 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) in het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989 voor de referentie en de scenario's



*Figuur 3.18 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) in het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

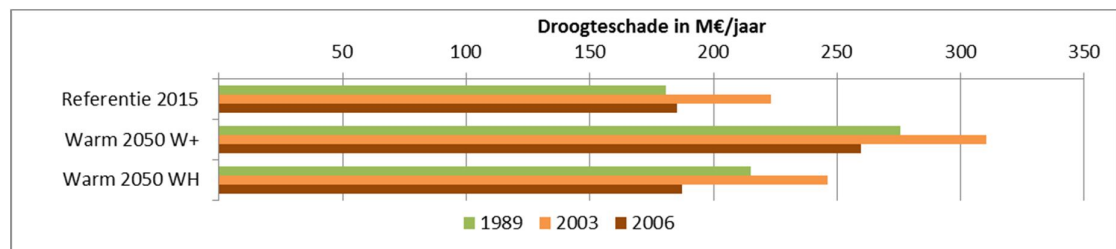


*Figuur 3.19 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) in het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2006 voor de referentie en de scenario's*

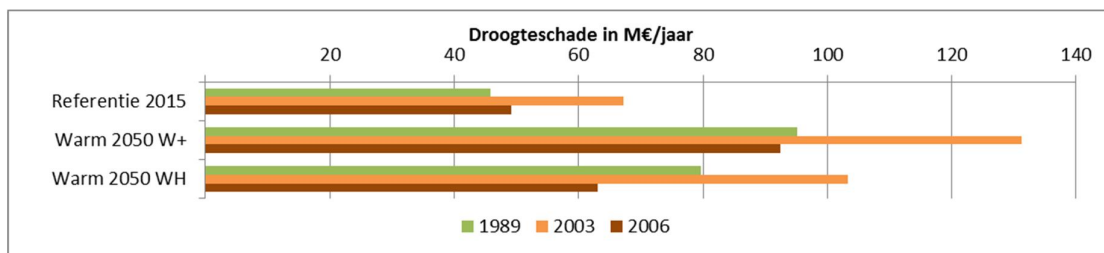
### 3.5 Droogteschade landbouw

De effecten van de twee scenario's op de droogteschade zijn berekend met AGRICOM. Hieronder zijn de effecten voor de jaren 1989, 2003 en 2006 weergegeven. De droogteschade neemt toe als gevolg van het  $W_H$  scenario. Deze toename van de droogteschade als gevolg van het  $W_H$  scenario is minder dan het  $W+$  scenario. Dit wordt verklaard door de toename van de verdamping die in het  $W_H$  scenario minder is dan in het  $W+$  scenario.

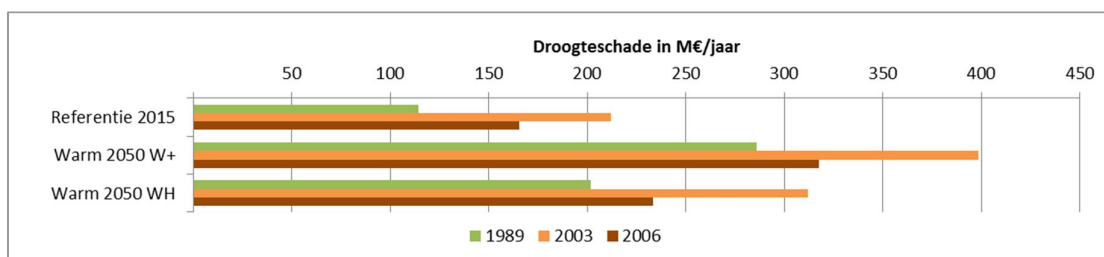
De stijgende grondwaterstanden zorgen in het zuidelijk zandgebied niet tot vermindering van de droogteschade omdat de grondwaterstanden te diep zijn te zorgen voor capillaire nalevering in de zomer. Door een toename van de potentiële verdamping in het  $W_H$  scenario ten opzichte van de referentie neemt de verdampingsreductie in de zomer wel toe, waardoor ook de droogteschade toeneemt.



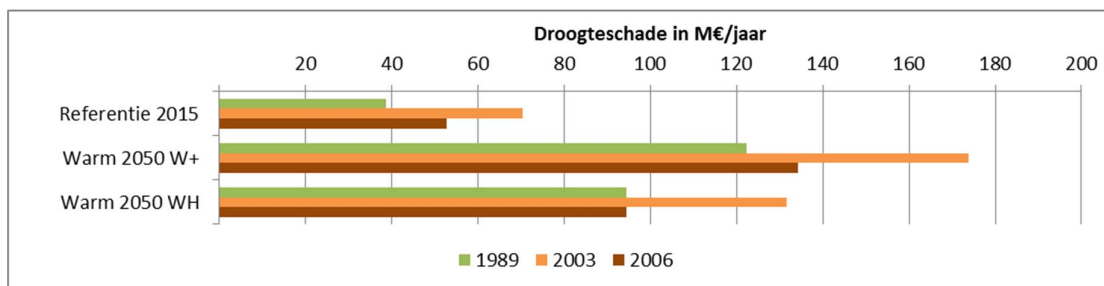
*Figuur 3.20 Berekende droogteschade voor de hoge zandgronden (deelgebieden 2,3,4,5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's*



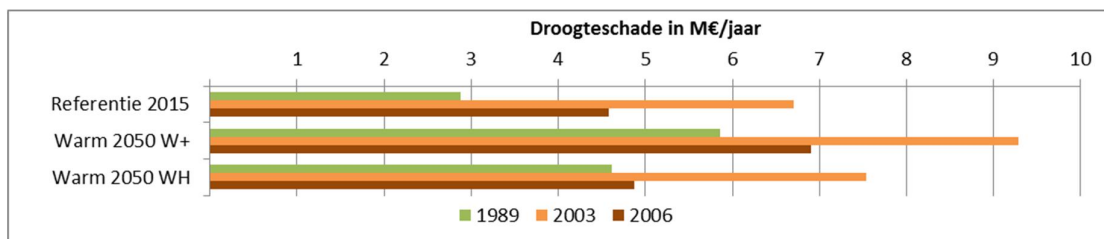
Figuur 3.21 Berekende droogteschade voor het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's



Figuur 3.22 Berekende droogteschade voor het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's



Figuur 3.23 Berekende droogteschade voor het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's



Figuur 3.24 Berekende droogteschade voor het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's

### 3.6 Externe verzilting

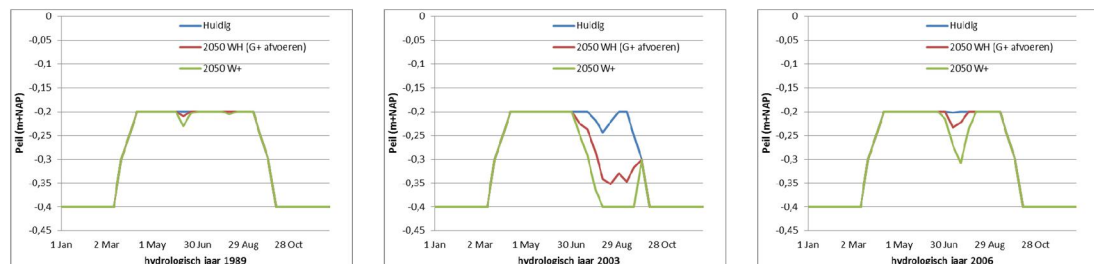
In onderstaande tabel is de duur van de overschrijding van de chloride weergegeven, voor de lokaties Gouda en Bernisse. De resultaten zijn afgeleid uit de berekening met het Sobek NDB model, zoals beschreven in paragraaf 2.2.2. De resultaten zijn geanalyseerd in de memo (Ter Maat en van der Vat, 2014, zie bijlage).

Tabel 3.3 Aantal dagen boven de chloride norm voor de lokaties Gouda en Bernisse

	Gouda (norm 250 mg/l)			Bernisse (norm 150 mg/l)		
	1989	2003	2006	1989	2003	2006
Huidig	0	12	0	0	1	0
2050 W <sub>H</sub> scenario (G+ afvoer)	7	54	0	0	8	0
2050 W+ scenario	31	74	18	0	46	5

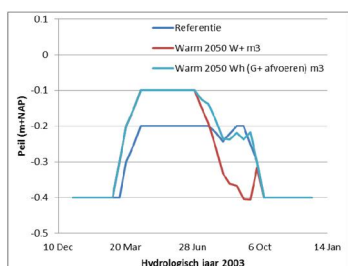
### 3.7 Peilverloop IJsselmeer

In onderstaande figuren is het verloop van het IJsselmeer zoals dat gesimuleerd is in het NHI te zien. In alle situaties is de gebruikte bufferschijf in het W<sub>H</sub> scenario groter dan in de huidige situatie, maar kleiner dan in het W+ scenario (ongeveer de helft). Dit is in overeenstemming met de verwachting, omdat de zomerse neerslagoverschotten en de afvoeren in het W<sub>H</sub> scenario immers afnemen ten opzichte van de huidige situatie maar minder dan in het W+ scenario. Verder zijn de onttrekkingen aan het IJsselmeer als gevolg van de regionale watervraag kleiner in het W<sub>H</sub> scenario dan in het W+ scenario maar groter dan in de huidige situatie (o.a. door socio-economische ontwikkelingen en toename van het neerslagtekort, zie paragraaf 3.4).



Figuur 3.25 Verloop van het peil in het IJsselmeer volgens het huidige klimaat (referentiesituatie) en volgens klimaatscenario WH en W+ in 2050 volgens drie droge voorbeeldjaren, nl. een hydrologisch jaar 1989, 2003 resp. 2006 (alle drie zijn dit jaren die een herhalingsjijd van ca. eens in de 10 jaar hebben). Voor het socio-economische scenario (landgebruik) in 2050 is uitgegaan van Deltascenario warm.

Naast de basiscases zijn er aanvullende berekeningen gedaan met MOZART-DM (stand-alone) voor de analyse van maatregelen (zie paragraaf 2.3). In onderstaand figuur is het resultaat weergegeven voor het belangrijkste maatregelpakket voor het IJsselmeer: het peilverloop van het IJsselmeer voor maatregelpakket 3 - verhoogd zomerstreefpeil IJsselmeer en de mogelijkheid om onbepaald uit te zakken - in de situatie 2050 voor het W+ en W<sub>H</sub> scenario. Uit de figuur blijkt dat voor het droge jaar 2003 het buffergebruik van het W<sub>H</sub> scenario ongeveer de helft is van het W+ scenario. Daarbij wordt opgemerkt dat de rivieraanvoer via de IJssel in het WH scenario is benaderd met een G+ scenario (zie paragraaf 2.2.2), waardoor de resultaten niet meer dan een indicatie zijn voor wijzigingen in het W<sub>H</sub> scenario.

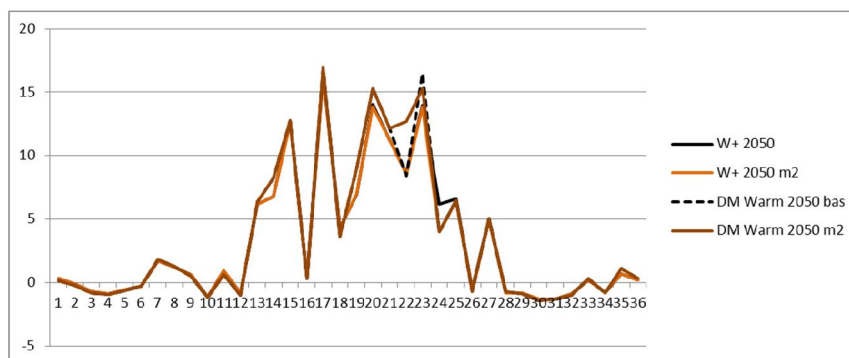


Figuur 3.26 Peilverloop IJsselmeer voor de referentie, Warm 2050 maatregelpakket 3 (maximaal uitzakken) en Warm 2050 WH (G+ afvoeren) maatregelpakket 3.

### 3.8 Watervraag KWA

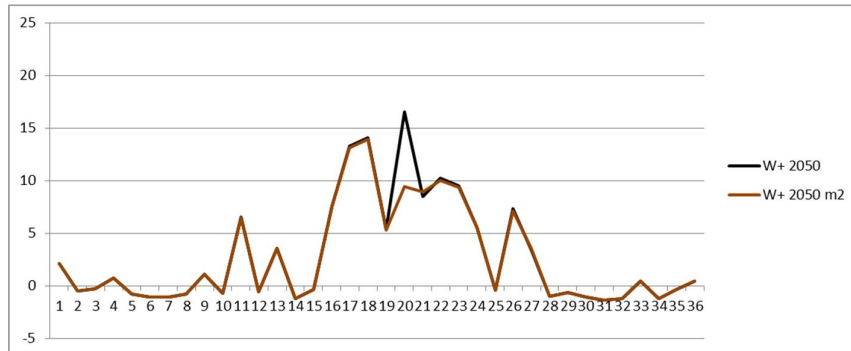
Om het mogelijke effect op de watervraag aan de KWA in te schatten zijn aanvullende sommen gedraaid (zie paragraaf 2.3). Er is gekeken naar de totale debieten naar het aanvoergebied van de KWA. Het gaat hierbij om de inlaat bij Gouda (DM tak 4067) en de doorvoer bij Bodegraven (DM tak 4070). Door gebruik te maken van de som van deze twee debieten is deze analyse onafhankelijk van de zoutconcentratie en inlaat bij Gouda. Bij een te hoge zoutconcentratie zal de aanvoer wel over een andere route worden geleid maar zal nog steeds over bovenstaande twee takken stromen.

Eerst is gekeken naar de verschillen tussen de resultaten van de eerdere berekeningen binnen het deelprogramma Zoetwater (Maat, 2014) en de nieuwe resultaten voor het Warm 2050 W+ scenario. De som van de debieten voor de takken 4067 en 4070 voor het jaar 1989 is weergegeven in onderstaand figuur. Het verschil tussen het oude en nieuwe scenario is beperkt. De kleine verschillen worden veroorzaakt doordat er kleine verschillen in de gebruikte meteorologische invoer kan optreden.

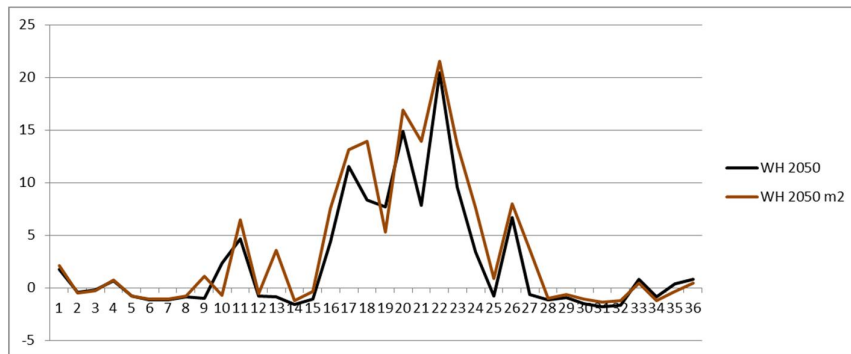


Figuur 3.27 Som van de berekende debieten voor de takken 4067 en 4070 voor het jaar 1989 voor de scenario's W+ 2050 nieuwe klimaatperiode en het scenario Warm 2050 uit het Deltamodel (DM Warm 2050) voor de basiscase en maatregelpakket 2 (m2).

In onderstaande twee figuren is de som van de debieten voor de takken 4067 en 4070 voor de jaren 1989 en 2003 voor maatregelpakket 2 weergegeven. Het effect van het maatregelpakket heeft weinig effect op de berekende debieten. Hierom lijkt het niet nodig om de eerdere conclusies die gedaan zijn binnen het deelprogramma Zoetwater aan te passen, waarbij wel wordt aangetekend dat een benadering is gebruikt voor de rivierafvoeren.



Figuur 3.28 Som van de berekende debieten voor de takken 4067 en 4070 voor het jaar 2003 voor de scenario's  $W+ 2050$  nieuwe klimaatperiode en  $W+ 2050$  nieuwe klimaatperiode met maatregelpakket 2 (KWA 24  $m^3/s$ ).



Figuur 3.29 Som van de berekende debieten voor de takken 4067 en 4070 voor het jaar 2003 voor de scenario's  $W_H 2050$  nieuwe klimaatperiode en  $W+ 2050$  nieuwe klimaatperiode met maatregelpakket 2 (KWA 24  $m^3/s$ ).

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Conclusies zijn vermeld in de los gepubliceerde memo, zoals bijgevoegd in bijlage 1.

### 4.2 Aanbevelingen

- 1 Verlengen neerslag en verdamping grids naar periode 1961-2010 zodat er ook modelberekeningen voor een extreem droog jaar (1976) uitgevoerd kunnen worden.
- 2 Afleiden van de afvoeren van de Rijn en de Maas op basis van KNMI meteorologie voor het Rijn stroomgebied.

## 5 Literatuur

- Bakker, A., J. Bessembinder, NMDC innovatieproject: Integraal waterbeheer: kritische zone en onzekerheden. Deelresultaat: referentie meteo. Technisch rapport; TR-341, De Bilt, 2013.
- Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, G. Prinsen, A. Veldhuizen en J. Verkaik (2013). Veranderingsrapportage NHI 3.0; beschrijving van de veranderingen in versie 3.0. Deltares rapport 1206107-000.
- Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, J. Verkaik en G. Prinsen (2013). Veranderingsrapportage NHI 3.01; correctief beheer en onderhoud. Deltares rapport 1207757-000.
- Hunink, J.C., A. Veldhuizen, G. Prinsen, J. Oosterwijk, G. Oude Essink, 2013. Deltascenario's 2012 NHI Modelinvoer, technische achtergrondrapportage. Deltares rapport 1207053-000-bgs-003, 2013.
- Sluiter, R., 2014, Product Description KNMI14 Daily Grids. Technical report; TR-346, De Bilt, July 2014.
- Ter Maat, J., M. Haasnoot, J. Hunink. & M. van der Vat, 2014. Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4. Deltares rapport 1209141-001-VEB-0004.
- Ter Maat, J. en M. van der Vat, 2014. Kwantitatieve analyse effect nieuwe KNMI14 scenario's voor de Deltabeslissingen. Deltares memo 1209464-000-VEB-005.
- KNMI, 2014. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland. Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie.



## **A Memo: Kwantitatieve analyse effect nieuwe KNMI 14 scenario's voor de Deltabeslissingen**

## Memo

**Aan**  
Mark Bruinsma, Bas de Jong en Wim Werkman

<b>Datum</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Aantal pagina's</b>
18 september 2014	1209464-000-VEB-0005	26
<b>Van</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Judith ter Maat en Marnix van der Vat	+31 (0)6 5288 2197	marnix.vandervat@deltares.nl

**Onderwerp**  
Kwantitatieve analyse effect nieuwe KNMI'14 scenario's voor de Deltabeslissingen

---

## 1 Inleiding

Het Deltaprogramma gebruikt voor de toekomstanalyse de Deltascenario's (Bruggemans et al., 2011 en 2013), die voor het klimaat gebaseerd zijn op de klimaatscenario's van het KNMI uit 2006 met een nadere uitwerking uit 2009 (hierna aangeduid als KNMI'06). Het klimaatscenario W+ vormt de basis voor de Deltascenario's STOOM en WARM en scenario G voor DRUK en RUST.

Op 26 mei 2014 heeft het KNMI de nieuwe klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd (hierna genoemd KNMI'14). Het gaat om een geheel nieuwe vertaling van onderzoeksresultaten voor het wereldwijde klimaat (IPCC, 2013) naar klimaatscenario's voor Nederland. De KNMI'14 scenario's geven op onderdelen een ander beeld van de te verwachten klimaatverandering dan de KNMI'06 scenario's.

### *Kwalitatieve en kwantitatieve analyse*

In mei 2014 is via een kwalitatieve analyse (Van der Vat, 2014) voor het eerst de vraag beantwoord wat de KNMI'14 scenario's betekenen voor het waterbeheer in Nederland en in het bijzonder voor de opgave en de voorgestelde Deltabeslissingen die voorbereid zijn op basis van de Deltascenario's. In de analyse is zowel naar de waterveiligheid als de zoetwatervoorziening gekeken. Hiervoor is gebruik gemaakt van de informatie in de brochure *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland* (KNMI, 2014) en een tabel met aanvullende informatie van het KNMI over verschillen tussen de KNMI'06 en KNMI'14 scenario's. In de kwalitatieve analyse kon een aantal vragen met name voor de zoetwatervoorziening nog niet worden beantwoord, omdat onvoldoende informatie beschikbaar was en een kwantitatieve analyse nog niet mogelijk was.

### *Gefaseerde aanpak voor de kwantitatieve analyse*

In een plan van aanpak van Deltares (Hunink, 2014) is onder meer geïventariseerd wat de belangrijkste openstaande vragen waren na de kwalitatieve analyse en wat er voor nodig is om deze vragen te beantwoorden. Het plan van aanpak gaat uit van een gefaseerde kwantitatieve analyse, omdat aanvankelijke niet alle benodigde informatie beschikbaar is. Bovendien vereist een volledige analyse een langere doorlooptijd, terwijl op korte termijn meer inzicht is gewenst in de effecten van de nieuwe KNMI'14 scenario's. Daarom is in een eerste fase gepland om hydrologische berekeningen uit te voeren met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI), aangevuld met berekeningen voor de landbouw met Agricom. In de berekeningen wordt

voor de KNMI'14 scenario's gebruik gemaakt van nieuwe griddata van neerslag en verdamping voor Nederland, die het KNMI in de zomer van 2014 heeft opgeleverd. De berekeningen zijn uitgevoerd op een server bij Deltares. Hoewel in deze eerste fase nog geen afvoergegevens van de Rijn- en Maas beschikbaar zijn die passen bij de nieuwe KNMI'14 scenario's, wordt verondersteld dat gebruikmakend van de uitkomsten van recent internationaal onderzoek naar de toekomstige Rijnafvoer een aantal aannames over de (veranderingen in de) afvoeren van de Rijn en Maas al een goede eerste inschatting wordt verkregen van de bandbreedte van effecten op de zoetwatervoorziening.

Naar verwachting komt medio 2015 meer kwantitatieve informatie beschikbaar over de Rijnafvoer en de Maasafvoer behorend bij de KNMI'14 scenario's. In het plan van aanpak wordt voorgesteld dan een volledige kwantitatieve analyse uit te voeren gebruikmakend van het Deltamodel. Pas als deze aanvullende informatie beschikbaar is, is het zinvol om een volledige serie berekeningen uit te voeren met het Deltamodel bij het NMDC. Op dat moment zullen de resultaten uit de eerste, verkennende fase worden vervangen door meer nauwkeurige resultaten uit de tweede fase.

In juli 2014 heeft Rijkswaterstaat WVL opdracht gegeven aan Deltares onder het KPP Delta Instrumentarium voor het uitvoeren van de eerste fase van het plan van aanpak (Hunink, 2014). De uitkomsten van deze eerste fase worden in deze notitie op hoofdlijnen gepresenteerd. De notitie is in feite een uitbreiding van de eerdere notitie van Van der Vat (2014) over de kwalitatieve analyse. Een uitgebreidere beschrijving van de berekeningsresultaten en de aannames in de berekening wordt vastgelegd in een technische achtergrond rapportage (Hunink, in voorbereiding).

### *Opzet van de analyse*

De analyse richt zich uitsluitend op de droge klimaatscenario's, omdat uit de eerdere kwalitatieve analyse bleek dat voor de minst droge klimaatscenario's ( $G$  uit KNMI'06 en  $G_L$  uit KNMI'14) de neerslagtekorten in de zomer weinig van elkaar en ook (relatief) weinig van de huidige situatie verschillen. Concreet gaat het om berekeningen voor het  $W_H$  scenario (2050) uit KNMI'14 en een verschilanalyse met het  $W+$  scenario (2050) uit KNMI'06.

De berekeningen met het NHI zijn uitgevoerd voor de gehele nieuwe referentieperiode van de KNMI'14 scenario's (1981-2010). Voor de sociaaleconomische parameters, zoals landgebruik en onttrekkingen, zijn bij zowel  $W+$  als  $W_H$  de uitgangspunten gehanteerd van het Deltascenario Warm 2050 (zie Hunink et al, 2012). Door deze opzet wordt inzicht gekregen in de bandbreedte van de effecten op de zoetwatervoorziening, en zijn berekeningsresultaten het best vergelijkbaar met eerdere berekeningen voor het Deltaprogramma.

De berekeningsresultaten van de langjarige reeks worden gebruikt om gangbare indicatoren voor het grondwater af te leiden. Het betreft veranderingen van de GLG en GHG (resp. Gemiddeld Laagste Grondwaterstand en Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand), die landsdekkend worden gevisualiseerd. Voor de analyse van het oppervlaktewater gaat de aandacht vooral uit naar het verloop van het waterpeil in het IJsselmeer en Markermeer tijdens droogte, en eventuele inlaatbeperkingen voor de inlaatpunten Bernisse en Gouda. Daarbij wordt ingezoomd op karakteristieke jaren uit de berekende langjarige reeks. Ook bij analyse van de watervraag en watertekorten, en de landbouwschade wordt de berekeningsresultaten van karakteristieke jaren gebruikt om de effecten te analyseren. Effecten op andere functies dan landbouw zijn in deze studie vanwege tijdsgebrek buiten beschouwing gelaten.

*Aannames voor het stroomgebied van Rijn en Maas*

Belangrijk hier te vermelden is dat het KNMI nog werkt aan bij de KNMI'14 passende klimaatscenario's voor de stroomgebieden van Rijn en Maas (bovenstrooms van respectievelijk Lobith en Monsin). Uitgangspunt is dat deze scenario's (net als de KNMI'14 scenario's voor Nederland) goed passen binnen de bandbreedte opgespannen door de resultaten van de globale klimaatmodellen die ook gebruikt zijn voor het 5<sup>e</sup> IPCC assessment report uit 2013. (de zogenoemde CMIP5 scenario's)

In afwezigheid van KNMI'14 scenario's voor de stroomgebieden van Rijn en Maas heeft Deltares op aangeven van WVL en het KNMI een eerste inschatting van de effecten op de afvoer berekend door gebruik te maken van de afvoertijdreeksen volgens het G+ scenario uit de KNMI'06 scenario's. De verwachting (en aanname) van het KNMI hierbij is dat de veranderingen in neerslag en verdamping in de zomer in de (nog niet beschikbare)  $W_H$  scenario's voor Rijn en Maas redelijke in de buurt komen van die in het G+ scenario (beide voor 2050). Daarbij is nu al wel duidelijk dat het klimaat in de winter in 2050 in de  $W_H$  scenario's voor Rijn en Maas natter zal uitpakken dan in het G+ scenario. Aangezien de analyses voornamelijk gericht zijn op de zomerperiode lijkt het - zolang er geen aanvullende informatie beschikbaar is - een redelijke benadering om de G+ afvoeren te combineren met de neerslag- en verdampingsdata voor Nederland onder het  $W_H$  scenario (zie verdere informatie in hoofdstuk 2). Samen duiden we ze in deze notitie verder aan als het " $W_H$  scenario".

Voor meer detailinformatie over de keuzes in deze analyse verwijzen we naar de technische achtergrondinformatie (Hunink, in voorbereiding) die bij deze notitie hoort. In de rapportage worden de modellering en de daarbij gemaakte keuzes verder toegelicht.

#### *Eerste kwantitatieve inschatting*

We hebben op basis van bestaande kennis en beschikbare modellen en tools uit Deelprogramma Zoetwater gewerkt om tot een uitsluitend eerste kwantitatieve inschatting te komen van het effect van de nieuwe KNMI klimaatscenario's op de verschillende ambitieniveaus zoals onderscheiden in het Deelprogramma Zoetwater (Ter Maat et al., 2014):

- zoetwatervoorziening in een droog jaar met herhalingstijd 1 op 10 jaar, in dit memo verder aangeduid als een "droog jaar ambitieniveau"; of
- Zoetwatervoorziening in een extreem droog jaar met herhalingstijd 1 op 100 jaar, aangeduid als "extreem droog jaar ambitieniveau").

Een uitgebreidere analyse die een reeks van tientallen jaren zou omvatten was niet mogelijk, vanwege beperkingen in beschikbare gegevens en doorlooptijd.

Het project is tot stand gekomen met input van diverse deskundigen bij Deltares, KNMI en RWS WVL (zie het plan van aanpak: Hunink, 2014). Het document is gereviseerd binnen Deltares (Jaap Kwadijk). Verder is commentaar verwerkt van het KNMI (Jules Beersma) en van Rijkswaterstaat (Mark Bruinsma, Wim Werkman en Bas de Jong).

#### **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 volgt eerst een beschrijving van de nieuwe KNMI'14 klimaatscenario's en een vergelijking met de Deltascenario's (gebaseerd op de KNMI'06 klimaatscenario's). Daarna worden de mogelijke gevolgen van de nieuwe klimaatscenario's voor de opgave in de

zoetwatervoorziening en deltabeslissing Zoetwater in hoofdstuk 3 beschreven. Hierbij worden de effecten op het grondwater, oppervlaktewater, regionale oppervlakte watervraag- en tekorten en de landbouwschade geanalyseerd. Hoofdstuk 4 ten slotte bevat de conclusie en gaat in op de belangrijkste onzekerheden.

## 2 Nieuwe KNMI'14 scenario's ten opzichte van de Deltascenario's

De KNMI'14 scenario's zijn gebaseerd op waargenomen klimaatverandering, op berekeningen voor het IPCC met wereldwijde klimaatmodellen, op nieuwe resultaten van klimaatonderzoek uit de afgelopen acht jaar en op berekeningen met het klimaatmodel voor Europa van het KNMI. Hiermee is de wetenschappelijke onderbouwing van de KNMI'14 scenario's veel beter dan die van de KNMI'06 scenario's. Daarmee zijn echter de onzekerheden in de projecties niet minder groot geworden.

De KNMI'14 scenario's maken een onderscheid tussen een gematigde klimaatverandering (G scenario's) en een meer warme variant (W scenario's) op basis van de wereldwijde temperatuurstijging. Daarnaast is ook de verandering van het luchtstromingspatroon van belang. Hier wordt een Lage (L scenario's) en een Hoge (H scenario's) verandering onderscheiden. H scenario's hebben hierdoor een nattere winter en een drogere zomer dan L scenario's. Het KNMI onderscheidt dus net als in 2006 vier scenario's.

De Deltascenario's WARM en STOOM zijn gebaseerd op het KNMI'06 scenario W+ wat qua indeling overeenkomt met KNMI'14 scenario W<sub>H</sub>. Deltascenario's DRUK en RUST zijn gebaseerd op KNMI'06 scenario G, wat qua indeling overeenkomt met KNMI'14 scenario G<sub>L</sub>.

De KNMI'06 scenario's hanteerden de zichtjaren 2050 en 2100; de KNMI'14 scenario's 2050 en 2085. Verder is er een kleine verschuiving in de referentieperiode van 1976-2005 naar 1981-2010. Ter vergelijking van de KNMI'14 en KNMI'06 scenario's heeft het KNMI voor het droogste scenario nu ook kentallen ter beschikking gesteld voor droogtekenmerken in diverse individuele jaren (zie bijlage 1).

Aangezien alle modelsimulaties in het kader van deze notitie zijn uitgevoerd voor de nieuwe referentieperiode (1981-2010), kunnen de gepresenteerde uitkomsten voor het oude W+ klimaatscenario kleine afwijkingen vertonen ten opzichte van de uitkomsten in de rapportage van het Deelprogramma Zoetwater fase 4 (Ter Maat et al, 2014). In die eerdere rapportage is uitgegaan van de tijdreeksen die zijn opgeleverd bij de Deltascenario's: namelijk reeksen voor de periode 1961-1995.

Voor het waterbeheer laten de KNMI'14 scenario's de volgende belangrijke overeenkomsten en verschillen zien met de KNMI'06 scenario's:

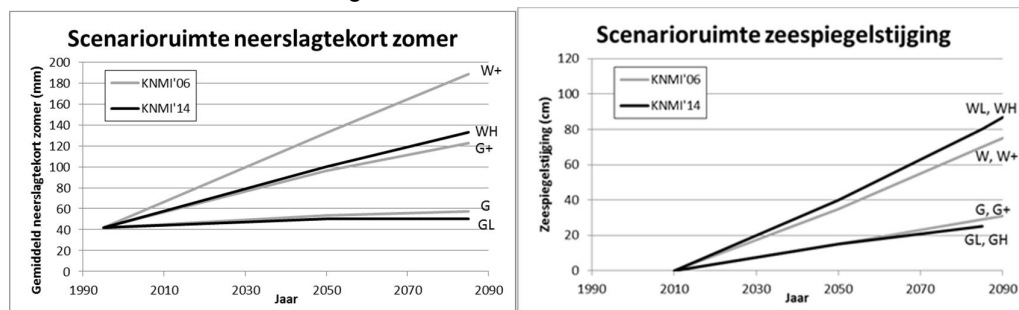
- 1 KNMI'06 scenario W+ leidde tot de meeste droogte in de Deltascenario's en daarmee tot de grootste opgave voor de zoetwatervoorziening. In de KNMI'14 scenario's geldt dit voor het vergelijkbare scenario W<sub>H</sub>.

	G <sub>L</sub>	G <sub>H</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	W+
--	----------------	----------------	----------------	----------------	----

Winter	Neerslag	+3.0%	+8.0%	+8.0%	+17.0%	+12.0%
	Gemiddelde temperatuur	+1.1	+1.6	+2.1	+2.7	+2.3
Zomer	Gemiddelde neerslag	+1.2%	-8.0%	+1.4%	-13.0%	-21.0%
	Potentielle verdamping	4.0%	7.0%	4.0%	11.0%	14.0%
	Gemiddelde temperatuur	+1.0	+1.4	+1.7	+2.3	+2.8

Tabel 2.1 Verandering neerslag, potentiële verdamping, gemiddelde temperatuur bij de KNMI'14 scenario's  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$  en KNMI'06 scenario  $W+$  (obv KNMI'14 brochure. Ten opzichte van de referentieperiode 1981-2010, voor het zichtjaar 2050)

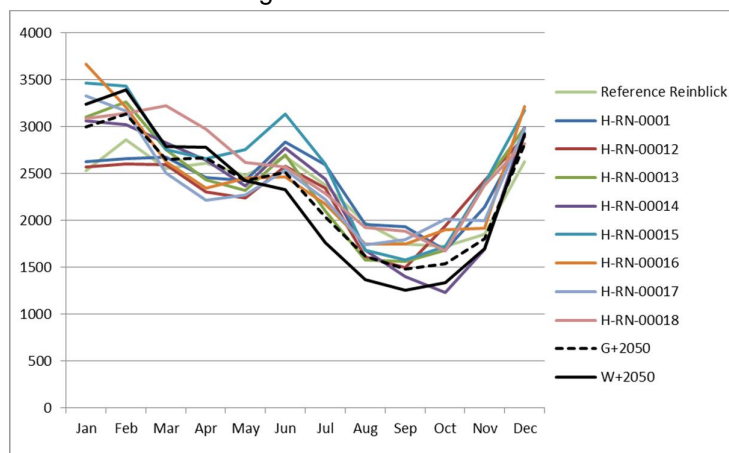
- 2 Het KNMI'14 scenario  $W_H$  leidt tot een beperktere toename van de droogte dan het KNMI'06 scenario  $W+$ . Zo neemt het gemiddeld neerslagtekort in Nederland in de zomer minder toe en lijkt het  $W_H$  scenario daarin meer op het  $G+$  dan op het  $W+$  scenario uit 2006. Het neerslagtekort in de zomer volgens scenario  $W_H$  in 2085 komt verder redelijk overeen met dat voor het eerdere  $W+$  scenario in 2050. (Overigens sluit dit niet uit dat ook volgens de nieuwste inzichten een klimaatverandering als het  $W+$  scenario op zou kunnen treden, de kans hierop wordt alleen kleiner geacht.) De minst droge scenario's  $G$  en  $G_L$  verschillen wat betreft neerslagtekort in de zomer weinig van elkaar en ook weinig van de huidige situatie. Dit beeld wordt samengevat in onderstaande figuur van de ontwikkeling van de scenarioruimte voor het gemiddeld neerslagtekort in de zomer in de 21<sup>e</sup> eeuw (samengesteld op basis van de door het KNMI ter beschikking gestelde kentallen voor de verschillende scenario's ten aanzien van gemiddelde neerslag en referentieverdamping in de maanden juni, juli en augustus). N.B. de hier gebruikte definitie van het neerslagtekort wijkt af van de gangbare, omdat alleen naar de maanden, juni, juli en augustus gekeken is en omdat met maandtotalen gewerkt is. Daardoor kunnen de resultaten niet vergeleken worden met andere bronnen.



Figuur 2.1 De scenarioruimte voor KNMI'06 en KNMI'14 klimaatscenario's voor neerslagtekort in de zomer gebaseerd op de maanden juni, juli en augustus (links) en zeespiegelstijging (rechts)

- 3 De KNMI'14 scenario's gaan uit van een grotere bovenwaarde voor de stijging van de zeespiegel dan de KNMI'06 scenario: 40 in plaats van 35 cm rond 2050 en 100 in plaats van 85 cm rond 2100 (voor de  $W$  scenario's). Voor de onderwaarde neemt de stijging af, maar de afname is gering (zie bovenstaande figuur).
- 4 De verwachte veranderingen in de windsnelheden zijn in zowel de KNMI'06 als de KNMI'14 scenario's gering en vallen binnen de natuurlijke variabiliteit. De frequentie van sterke noordenwinden die leiden tot opstuwing van het Noordzeewater verandert in de scenario's niet veel ten opzichte van de huidige situatie.

- 5 De brochure van het KNMI bevat geen informatie over de toekomstige ontwikkeling van het klimaat stroomgebieden van Rijn en Maas. Het KNMI verwacht de definitieve scenario's voor neerslag en verdamping voor de stroomgebieden van Rijn en Maas passend bij de KNMI'14 scenario's medio 2015 te kunnen opleveren.
- 6 Mede op basis van de IPCC (CMIP5) resultaten, zal naar verwachting voor de Rijn en de Maas het droogste scenario ( $W_H$ ) wel leiden tot een afname van de lage afvoeren, maar in mindere mate dan voor het KNMI'06 scenario  $W+$ . Dit is voor de Rijn in overeenstemming met andere analyses, zoals Rheinblick2050 (Görgen, 2010). Dit is te zien in onderstaand figuur.



*Figuur 2.2 Maandelijks gemiddelde afvoeren bij Lobith van de Rheinblick 2050 scenario's en de maandelijks gemiddelde afvoeren bij Lobith voor de scenario's  $W+$  en  $G+$  in 2050.*

- 7 Naar aanleiding van punt 5 en 6 heeft Deltares op aangeven van WVl en het KNMI de effecten op de afvoer doorgerekend door gebruik te maken van de afvoertijdreeksen volgens het  $G+$  scenario uit de KNMI'06 scenario's. De  $G+$  afvoeren zijn gecombineerd met door het KNMI geleverde gegridde neerslag- en verdampingsreeksen voor het  $W_H$  scenario. Het is de verwachting van het KNMI dat het neerslag- en verdampingspatroon van het  $W_H$  scenario voor het Rijn stroomgebied in de zomer in eerste orde wordt benaderd door het  $G+$  scenario.<sup>1</sup> Voor de winterperiode (en mogelijk ook voor de overgangsperiodes) zijn de overeenkomsten voor het Rijnstroomgebied tussen het  $W_H$  scenario en het  $G+$  scenario voor het Rijngebied minder groot.

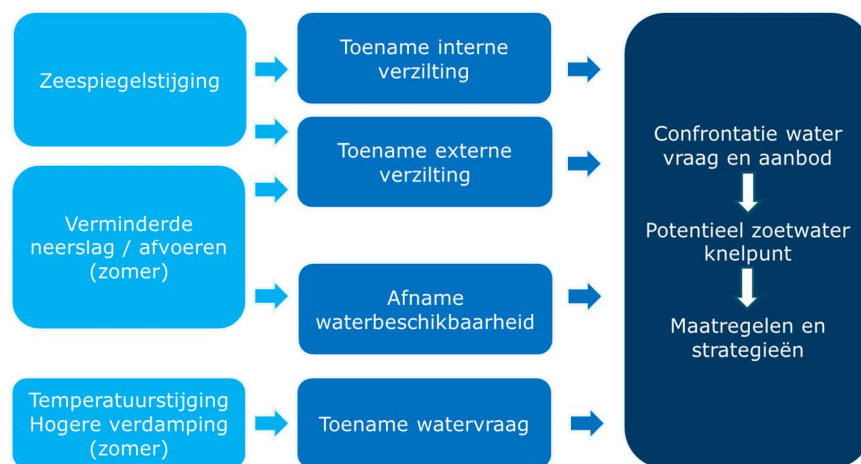
## 3 Gevolgen voor de zoetwatervoorziening

### 3.1 Opgave voor de zoetwatervoorziening

Voor de analyse van de nieuwe KNMI'14 scenario's is het van belang eerst inzicht te hebben in de opgave voor de zoetwatervoorziening. Die opgave wordt gevormd door de combinatie van zeespiegelstijging, toename van het lokale neerslagtekort en afname van de afvoer van Rijn en

<sup>1</sup> Geadviseerd wordt de  $W_H$  neerslag- en verdampinggrids in combinatie met  $W_H$  afvoeren door te rekenen zodra deze afvoeren beschikbaar zijn (naar verwachting medio 2015).

Maas in de zomer. Zeespiegelstijging kan leiden tot het verder oprukken van de zouttong in West-Nederland en toename van externe verzilting van belangrijke innamepunten als Gouda en de Bernisse. Toename van het neerslagtekort leidt tot afname van de waterbeschikbaarheid in het grond- en oppervlaktewater en toename van de watervraag voor peilbeheer en beregening. Afname van de rivierafvoeren kan leiden tot afname van de waterbeschikbaarheid en meer externe verzilting. Minder afvoer kan ook een negatief effect hebben op de waterkwaliteit. In combinatie met een hogere temperatuur kunnen eutrofiëringsproblemen toenemen.



Figuur 3.1 Betekenis van de klimaatveranderingen voor de zoetwatervoorziening in Nederland

### 3.2 Uitgevoerde berekeningen

De effecten op de zoetwatervoorzieningen worden geanalyseerd door berekeningen uit te voeren voor het droogste klimaatscenario ( $W_H$  voor KNMI'14 en  $W+$  voor KNMI'06) met het NHI en de effectmodule voor de landbouw (Agricom). Voor een zuivere vergelijking is in de berekening van zowel de KNMI'14 scenario's als de KNMI'06 scenario's uitgegaan van de nieuwe referentieperiode (1981-2010). Voor de analyse van de grondwaterstanden is de gehele periode beschouwd. Voor de analyse van het oppervlaktewater, inclusief de watervraag en de watertekorten, zijn de drie droogste jaren uit deze periode geanalyseerd. Dat zijn de jaren 1989, 2003 en 2006. Voor een uitgebreidere beschrijving van de opzet van de berekeningen wordt verwezen naar de technische achtergrond rapportage (Hunink, in voorbereiding). Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten beschreven voor grondwater en oppervlaktewater.

### 3.3 Verandering in de grondwaterstanden

Het neerslagtekort in Nederland blijft in de nattere scenario's zowel in KNMI'06 (scenario G) als KNMI'14 (scenario  $G_L$ ) ongeveer gelijk aan de huidige situatie. In de drogere scenario's ( $W+$  en  $W_H$ ) neemt het neerslagtekort aanzienlijk toe. In het  $W+$  scenario is de toename echter veel groter dan in het nieuwe  $W_H$  scenario. Voor het effect op de grondwaterstanden is het van belang te weten wat in de droge scenario's het effect is van de combinatie van nattere winters en drogere zomers.



Voor het W+ scenario heeft Deltares eerder een daling van de grondwaterstanden (GHG op hogere gronden, GLG bijna landsdekkend) berekend van enkele decimeters (Ter Maat et al., 2014)<sup>2</sup>. De nieuwe berekening met het NHI voor het W<sub>H</sub> scenario laat een ander effect zien (zie figuur 3.1 en 3.2).

Onder het W<sub>H</sub> scenario **stijgt** de GHG ten opzichte van de referentiesituatie (=huidig klimaat) in een groot deel van Nederland. Dit komt door een verhoogde neerslag in de winter in het W<sub>H</sub> scenario, waardoor de grondwateraanvulling zal toenemen. In de gebieden met veel drainage zal dit worden afgetopt door drainagemiddelen (zie grijze gebied), maar in de vrij afwaterende gebieden (vnl. hoge zandgronden) zorgt de verhoogde grondwateraanvulling voor hogere grondwaterstanden (10 tot 100 cm).

Dit blijkt door te werken in de GLG. Op sommige plekken stijgt de GLG zelfs aanzienlijk ten opzichte van de referentiesituatie (=huidig klimaat), terwijl onder het W+ scenario de GLG in vrijwel heel Nederland daalt (zie figuur 3.1). Regionaal geldt:

- Stijging van de GLG in hoger gelegen zandgebieden (zoals Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, Hondsrug, maar ook kleinere gebieden als Montferland en de Loonse en Drunense Duinen), in het W<sub>H</sub> scenario.
- Nauwelijks verandering van de GLG in het overig gebied van het zuidelijk zandgebied in het W<sub>H</sub> scenario.
- Minder grote daling van de GLG in peilgestuurd gebied, Zeeland en het Noord oostelijk zandgebied in het W<sub>H</sub> scenario dan in het W+ scenario (enkele decimeters verschil).

De verschuiving in de grondwaterstanden is tussen GLG en GHG nagenoeg gelijk (zie figuur 3.3).

De grote verschillen in veranderingen van grondwaterstanden in de klimaatscenario's worden voornamelijk bepaald door de verschillen in het neerslagtekort in de scenario's. Niet alleen verschilt de omvang van de totale hoeveelheid neerslag en verdamping over de hele periode, maar ook de opbouw van het neerslagtekort door de jaren heen.

In het W+ scenario neemt het jaarlijkse neerslagoverschot af ten opzichte van de referentie, terwijl het jaarlijkse neerslagoverschot in het W<sub>H</sub> scenario meer vergelijkbaar is met de referentieperiode. Typische infiltratiegebieden, zoals de Veluwe en de (hoge) delen van Brabant en Limburg, reageren sterk op een verandering van het jaarlijkse neerslagoverschot. Hoewel de neerslagoverschotten qua orde grootte vergelijkbaar zijn, worden kleine toenames in het neerslagoverschot in het W<sub>H</sub> scenario in deze gebieden direct zichtbaar als een verhoging de grondwaterstanden. Dit is een opvallend verschil met de berekeningsresultaten voor het W+ scenario, waar de afname van het neerslagoverschot leidt tot verlaging van de grondwaterstanden.

In gebieden met veel oppervlaktewater en hoge grondwaterstanden, is de situatie complexer, en moet ook rekening worden gehouden met de dempende effecten van waterlopen en bruisdrainage. Voor verklaring van de resultaten moet hier de variatie van neerslag en verdamping door het jaar heen nader worden beschouwd. De hogere neerslag in de winter wordt deels afgevoerd via het oppervlaktewater, waardoor toename van de verdamping in de

---

<sup>2</sup> Zuidelijk Limburg (in DPZW aangeduid als deelgebied 17) is voor het eerst opgenomen in NHI versie 3.0. Omdat de grondwaterstand hier nog niet goed gemodelleerd wordt, laten we dit gebied voorlopig buiten beschouwing in onze kwantitatieve analyse.

zomer – ondanks de hogere neerslag in de winter - mogelijk een lagere grondwaterstand tot gevolg heeft.

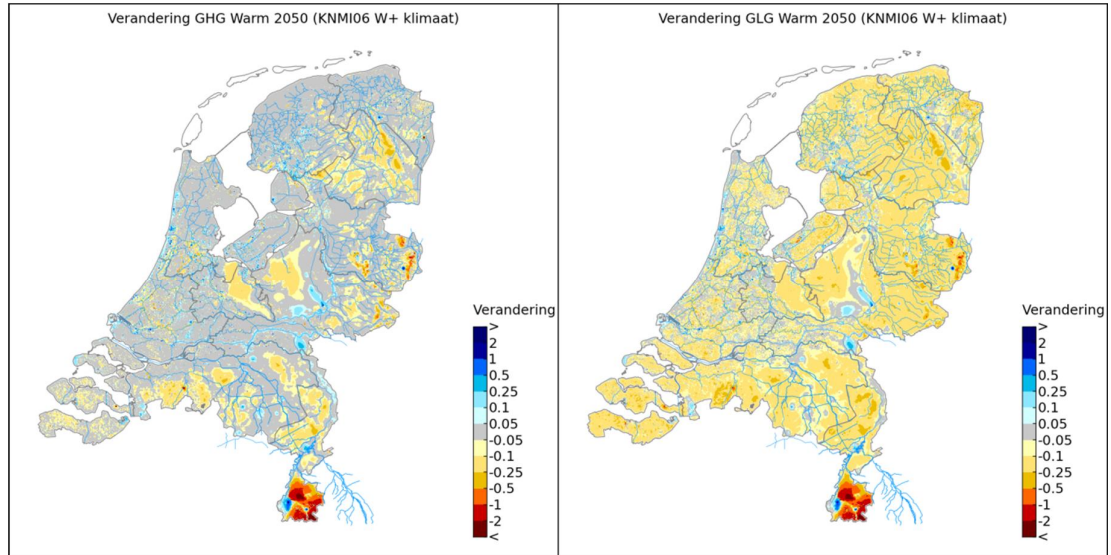
De winter wordt in het  $W_H$  scenario nog natter ten opzichte van de referentie dan in het  $W+$  scenario het geval was. Dit leidt tot verhoging van de hoge grondwaterstanden (GHG) in het  $W_H$  scenario (ten opzichte van de referentie), waar het  $W+$  scenario overwegend geen effect heeft of verlagingen kent. De toename van verdamping in de zomer is in het  $W_H$  scenario lager dan in het  $W+$ . Hierdoor is een relatief kleinere daling van de GLG in deze gebieden waarneembaar.

In figuren 3.1, 3.2 en 3.3 valt vooral op dat de grondwaterstanden sterk stijgen in de grootste infiltratiegebieden zoals de stuwwallen. De gevolgen voor eventuele droogte- en natschade hiervan is beperkt, omdat de grondwaterstanden hier zeer diep zijn en zelfs met deze verhoging zeer diep blijven. Het meest relevant is de stijging van de grondwaterstand in die delen van de hoge zandgronden waar de grondwaterstand relatief hoog is. Hier kan een hogere grondwaterstand zorgen voor minder droogteschade aan landbouw en natuur, maar ook voor meer natschade. In de overgang tussen hoge en lage gronden kan de stijging van het grondwater leiden tot toename van kwel en van de laagwater afvoer van beken.

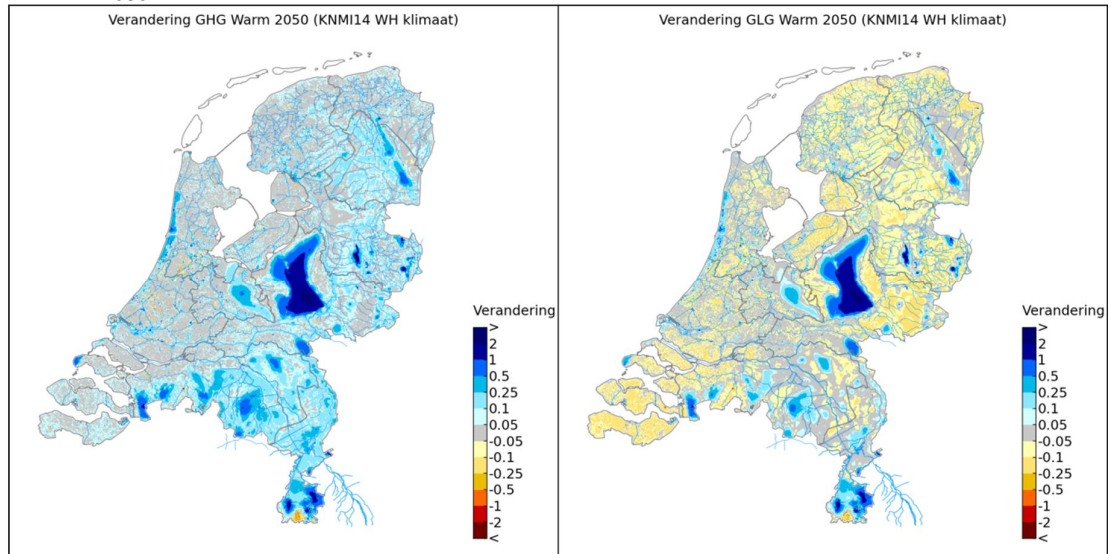
**Samengevat blijkt uit de analyse dat de grondwaterstand in het  $W_H$  scenario minder daalt dan in het  $W+$  scenario en in grote delen van het land zelfs zal stijgen. Voor de zoetwatervoorziening is dit inzicht vooral van belang op de delen van de hoge zandgronden waar de grondwaterstand nu al niet erg laag is. De grootste stijging van de grondwaterstand doet zich echter voor in gebieden waar de grondwaterstand nu al zeer diep is en de stijging weinig consequenties voor nat- en droogschade zal hebben.**

Tot slot enkele beschouwende opmerkingen bij de analyse van het grondwater:

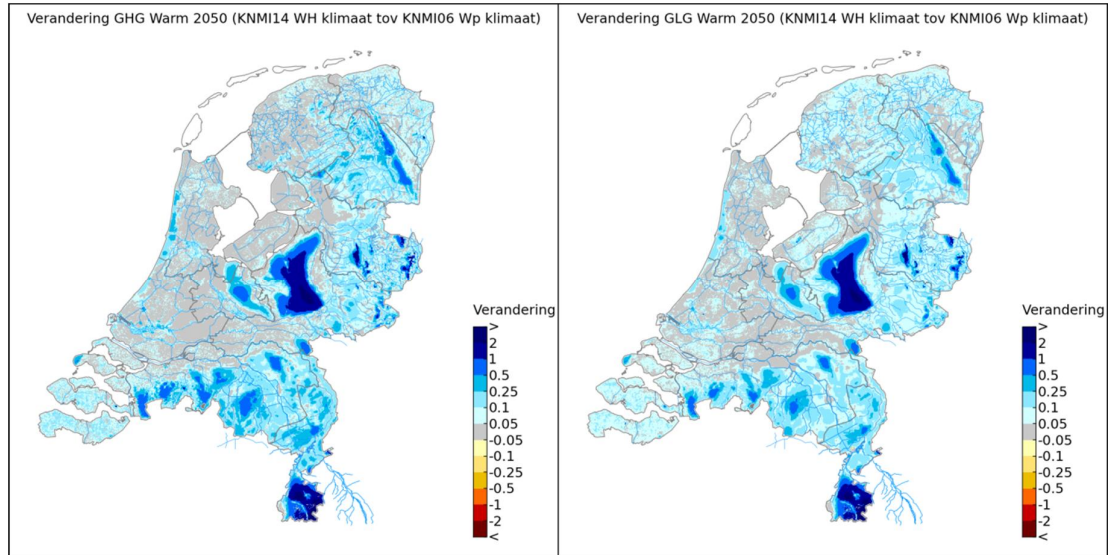
- Bij de vergelijking van een klimaatscenario met de referentiesituatie moet er rekening mee worden gehouden dat de gepresenteerde effecten niet uitsluitend zijn toe te schrijven aan de klimaatscenario's. Ook de sociaal economische effecten hebben invloed, bijvoorbeeld een reductie van de grondwateronttrekkingen in het Deltascenario Warm. In de analyse kan daarom beter gekeken worden naar de relatieve verschillen (verschillende verandering voor de scenario's) dan naar de absolute verandering binnen het scenario's.
- De verhoging van zomergrondwaterstanden (GLG) in het  $W_H$  scenario ten opzichte van de referentie kan niet zonder meer worden doorvertaald in gevolgen voor de verdampingsreductie (het verschil tussen potentiële en actuele verdamping en daarmee een maat voor droogteschade aan landbouw en natuur) (zie figuur 3.4 en paragraaf 3.6). De stijging treedt namelijk vooral op in de gebieden met diepere grondwaterstanden. In die gebieden vindt in droge perioden vrijwel geen capillaire nalevering van grondwater plaats en zal het verschil in verdampingsreductie beperkt blijven tot de vermindering van de potentiële verdamping onder het  $W_H$  scenario.
- In de analyse zijn verschillen op nationale schaal gepresenteerd. Regionaal moet rekening worden gehouden met mogelijke wijzigingen van de regionale grondwaterstromingspatronen, als gevolg van wijziging van de neerslagtekorten en neerslagoverschotten. Voor de betekenis op regionale schaal is dan ook nadere analyse nodig.



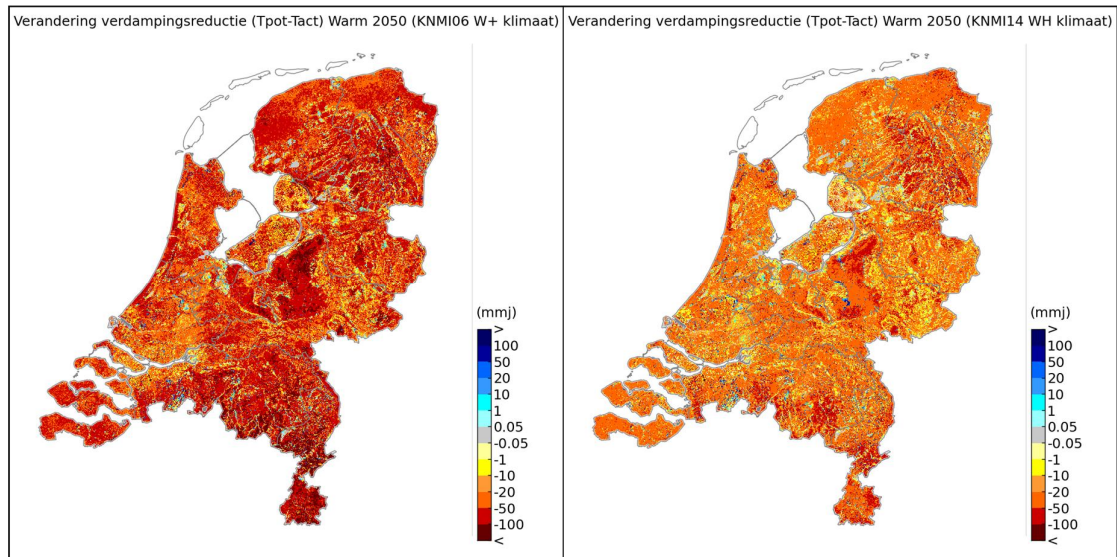
Figuur 3.1 Verandering (m) GHG (links) en GLG (rechts) ten opzichte van de referentiesituatie voor het  $W_+$  scenario in 2050



Figuur 3.2 Verandering (m.) GHG (links) en GLG (rechts) ten opzichte van de referentiesituatie voor het  $W_H$  scenario in 2050



Figuur 3.3 Vershil in verandering (m) GHG (links) en GLG (rechts) in  $W_H$  scenario ten opzichte van  $W+$  scenario in 2050



Figuur 3.4 Verandering verdampingsreductie (mm/jr) voor het jaar 2003 in het  $W+$  scenario (links) en het  $W_H$  scenario (rechts) in 2050

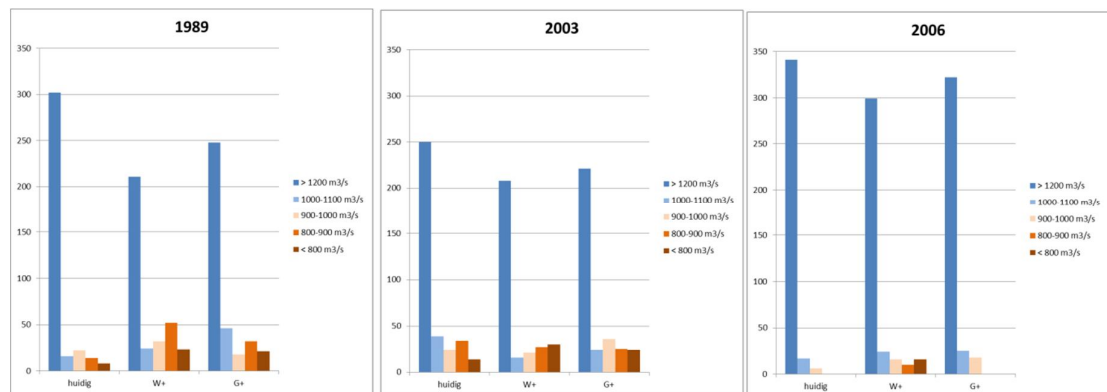
### 3.4 Veranderingen in het beschikbare oppervlaktewater

De opgave voor het IJsselmeergebied, West-Nederland en het rivierengebied is sterk afhankelijk van de veranderingen in de afvoer van de Rijn. De lange termijn opgave zal ook in deze gebieden minder snel toenemen onder het  $W_H$  scenario (onder de aanname van een afvoerverandering volgens het  $G+$  scenario) dan onder het  $W+$  scenario. Dit komt omdat de watervraag via een kleinere toename van de verdamping minder sterk toeneemt; de Rijnafvoer in de zomer via een kleinere neerslagafname, minder afneemt. Ten opzichte van het  $W+$  scenario betekent dit met elkaar dat onder een  $W_H$  scenario de waterbeschikbaarheid minder

snel afneemt, de buffervoorraad in het IJsselmeer groter blijft en de zouttong in West-Nederland minder snel oprukt

De verandering in de afvoeren is al toegelicht in hoofdstuk 2. In deze paragraaf gaan we in op het IJsselmeerpeil en de zoutconcentraties bij de twee belangrijke inlaten Bernisse en Gouda.

Voor het zoetwaterbeleid zijn (extreem) droge jaren zeer relevant. Daarom is de beleidsanalyse bij voorkeur gebaseerd op de effecten van de scenario's op de (extreem) droge jaren. De nieuwe referentieperiode (1981-2010) van de KNMI'14 scenario's kent echter geen hydrologisch jaar met "extreem droog jaar" karakteristieken (herhalingsstijd eens in de honderd jaar). In DPZW werd hier het hydrologisch jaar 1976 voor gebruikt, maar die ontbreekt nu in de nieuwe referentieperiode. De verandering in de effecten van een extreem droog jaar kan daarom alleen op basis van expert judgement worden afgeschat. Om de effecten van een hydrologisch jaar met "droog jaar" karakteristieken (herhalingsstijd eens in de 10 jaar) te analyseren, biedt de nieuwe tijdsperiode meer mogelijkheden. Naast het hydrologisch jaar 1989 dat veelvuldig gebruikt is in DPZW, analyseren we nu ook 2003 en 2006. Ter illustratie zijn hieronder de Rijnafvoeren voor deze jaren gegeven.



Figuur 3.5 Histogrammen van de daggemiddelde Rijnafvoeren ( $m^3/s$ ) voor de huidige situatie, W+ en G+ voor de karakteristieke droge jaren 1989, 2003 en 2006 (in dagen)

### Verandering in de voorraad oppervlaktewater: het IJsselmeer

In Fase 4 van DPZW is het IJsselmeerpeil voor verschillende situaties gesimuleerd, zo ook voor de huidige situatie en het scenario Warm (gebaseerd op het W+ klimaatscenario) in 2050. Omdat de referentieperiode voor de klimaatscenario's is verschoven van 1976-2005 naar 1981-2010 zijn deze situaties opnieuw met het NHI gesimuleerd en is daarnaast een extra run gedraaid waarin het W+ scenario vervangen is door het W<sub>H</sub> scenario (gecombineerd met een Rijnafvoer volgens het G+ scenario). De socio-economische scenario's die gelden voor het Warm scenario zijn hetzelfde gebleven (landgebruikskaarten, drinkwateronttrekkingen, etc.).

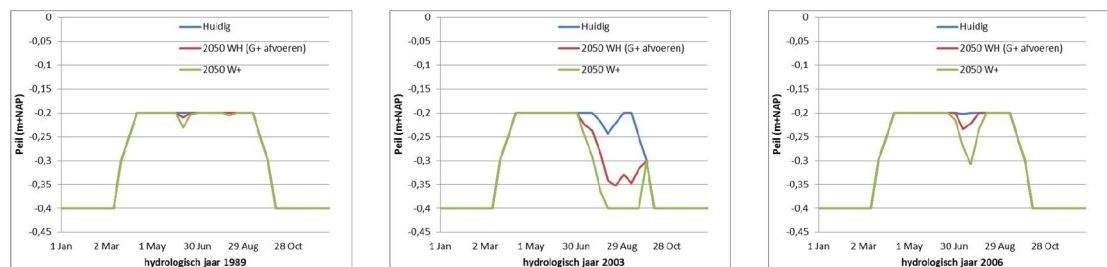
In onderstaande figuren staat het verloop van het IJsselmeerpeil zoals dat gesimuleerd is in het NHI. In alle situaties is de gebruikte bufferschijf in de nieuwe simulatie kleiner dan in het W+ scenario (ongeveer de helft), maar groter dan in de huidige situatie. De berekende verschillen tussen de klimaatscenario's zijn in overeenstemming met de verwachting, omdat in het W<sub>H</sub> scenario in de zomer de bovenstroomse rivierafvoeren minder afnemen, terwijl ook de neerslag minder afneemt en de verdamping minder toeneemt ten opzichte van het W+

scenario (zie tabel 2.1). Verder zijn de onttrekkingen aan het IJsselmeer als gevolg van de regionale watervraag kleiner in het  $W_H$  scenario dan in het  $W+$  scenario maar groter dan in de huidige situatie (o.a. door socio-economische ontwikkelingen en toename van het neerslagtekort, zie paragraaf 3.5).

Opvallend is dat hoewel alle drie de gepresenteerde hydrologische jaren bekend staan als een droog jaar (herhalingstijd ca. 10 jaar voor het neerslagtekort), er toch duidelijke verschillen tussen de 3 jaren zijn in de uitzakking van het IJsselmeerpeil. Dit wordt veroorzaakt door de timing van de piekwatervraag van het IJsselmeer zelf en het omliggende gebied enerzijds en het afvoerverloop en afvoerdeficiet van de IJssel binnen het jaar anderzijds. Dit is goed zichtbaar in de verschillen in het gebruik van de buffer tussen de jaren 1989 en 2003. Het neerslagtekort voor deze jaren is vrijwel gelijk, maar door een groter afvoerdeficiet in 2003 is het buffergebruik in 2003 duidelijk hoger. Volgens de nieuwe simulaties is in ieder geval voor alle drie de gepresenteerde jaren de huidige 20 cm bufferschijf op het IJsselmeer voldoende om onder  $W_H$  condities aan de watervraag die gesteld wordt aan het IJsselmeer te voldoen en zijn er geen aanvullende maatregelen nodig.

In een extreem droog jaar is onder  $W+$  een bufferschijf van 40-50 cm nodig (Ter Maat, et al). Volgens de nieuwe simulatie zal dit minder zijn, naar verwachting tussen de 20 en 40 cm. Zolang nog onvoldoende kwantitatieve informatie beschikbaar is over de verandering van de rivierafvoeren, kan dit nog niet nader worden gespecificeerd. Aanbevolen wordt in de volgende fase ook een modelsimulatie uit te voeren voor zo'n extreem droog jaar en dit verder te analyseren.

**De conclusie die in DPZW fase 4 getrokken is dat voor een “droog ambitieniveau” een bufferschijf van 20 cm (evt. met verbeterde inlaat- en doorvoercapaciteit) voldoende lijkt, blijft daarmee onveranderd.<sup>3</sup> Voor een “extreem droog ambitieniveau” zal voor  $W_H$  scenario (onder de aanname dat de Rijnafvoer verandert volgens het  $G+$  scenario) naar verwachting een minder grote bufferschijf nodig zijn dan geconcludeerd in DPZW. Voor nadere kwantificering is analyse met een volledige set nieuwe klimaatscenario gegevens in een volgende fase nodig.**



*Figuur 3.6 Berekend verloop van het peil in het IJsselmeer in het huidige klimaat (referentiesituatie) en in klimaatscenario's  $W_H$  (met  $G+$  afvoer) en  $W+$  in 2050 volgens drie voorbeeldjaren, 1989, 2003 en 2006 (alle drie zijn dit jaren die een herhalingstijd van ca. eens in de 10 jaar hebben). Voor het socio-economische scenario (landgebruik) in 2050 is uitgegaan van Deltascenario warm.*

<sup>3</sup> Tegelijkertijd kan geconcludeerd worden dat een bufferschijf van 20 cm onder het  $W+$  scenario als gevolg van klimaatvariabiliteit niet altijd voldoende is, wanneer men streeft naar een “droog ambitieniveau” (geen tekorten in een droog jaar, ca. 1/10).

## **Inlaatbeperkingen door verhoogde zoutconcentraties**

De verwachte afname van de bovenstroomse afvoer heeft meer effect op het oprukken van de zouttong in West-Nederland dan de verwachte toename in zeespiegelstijging in de nieuwe KNMI scenario's. In tabel 3.1 zijn de overschrijdingen van de chloridenormen bij Gouda en Bernisse weergegeven voor het huidige en nieuwe klimaatscenario<sup>4</sup>. De G+ afvoer (binnen het  $W_H$  scenario) kent minder dagen waarop de afvoer beneden de  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  is, zodat de zoutconcentratie de norm bij Gouda en Bernisse minder vaak overschrijdt. De inlaten bij Gouda en Bernisse zijn de belangrijkste inlaten voor de regionale zoetwatervoorziening en industriewatervoorziening in West-Nederland.

Binnen de voorkeurstrategie is de maatregel 'Kleinschalige Water Aanvoerroute (KWA) uitbreiden' opgenomen. De KWA wordt ingezet indien de inlaat bij Gouda dreigt te verzilten. Nadere analyse moet uitwijzen of in een droog jaar ambitieniveau het nog steeds zinvol is de capaciteit te vergroten en zo ja, hoeveel. Dit hangt niet alleen af van de frequentie en duur van sluiten van de inlaat, maar ook van de watervraag in het invloedsgebied van de KWA op het moment dat de KWA actief is. Deze (piek)watervraag is in het  $W_H$  scenario lager dan in het  $W+$  scenario.

De verwachting is dat bij een "extreem droog jaar" ambitieniveau nog steeds een uitbreiding van de capaciteit gewenst is, maar minder groot dan eerder berekend. Bovendien neemt de sluitingsfrequentie van de inlaat af: in  $W+$  was de concentratie ca. 90 dagen boven de norm (Ter Maat et al, 2014), voor  $W_H$  (met G+ afvoer) wordt dit geschat op zo'n 70 dagen.

Risico van verzilting bedreigt ook de watervoorziening via de inlaat Bernisse en het Brielse Meer richting het Rijnmondgebied, Delfland en Voorne-Putten. Door het intensieve gebruik is de buffercapaciteit van het Brielse Meer bij een gesloten Bernisse-inlaat erg klein, namelijk niet meer dan enkele dagen voor het gecombineerde watergebruik voor de regionale zoetwatervoorziening en de industriewatervoorziening. Alleen bij reservering van de buffer voor één gebruiker is er een buffervoorraad voor één tot enkele weken (De Vries, 2014). Volgens onderstaande tabel geeft dit dan ook niet of nauwelijks problemen in een droog jaar in het  $W_H$  scenario; de inlaat is alleen onder 2003 droog jaar condities zo'n 8 dagen gesloten.

In een "extreem droog jaar situatie" wordt het aantal sluitingsdagen in het  $W_H$  scenario geschat op 20 a 25 dagen (kijkend naar de resultaten van  $W+$  scenario berekeningen in Ter Maat, 2014) en ontstaan er mogelijk wel problemen. Deze lijken verholpen te kunnen worden door optimalisatie van het waterbeheer van het Bernisse-Brielse Meer systeem, zoals het gebruik van de inlaat Spijkenisse en/of het tijdelijk verhogen van de zoutnorm. (De Vries en Sprengers, 2014).

**Samenvattend wordt geconcludeerd dat in het  $W_H$  scenario (onder de aanname dat de Rijnafvoer verandert volgens het G+ scenario) bij de inlaat Gouda nog steeds knelpunten door externe verzilting voorkomen in droge jaren, maar minder omvangrijk dan onder het  $W+$  scenario. Dit geldt ook voor de Bernisse; optimalisatie van de**

---

<sup>4</sup> In de tabel wordt uitgegaan van de droogtejaren 1989, 2003 en 2006. Benadrukt wordt dat de herhalingsjaren die gelden voor droogtekenmerken niet overeenkomen met karakteristieken voor verzilting. In deze fase wordt voor analyse van droogte en verzilting dezelfde jaren gebruikt, in vervolganalyse kan dit desgewenst nader worden gedifferentieerd.

**watervoorziening van het Brielse Meer lijkt onder dit scenario uitkomst te bieden in droge jaren. Het is nodig in een volgende fase te verifiëren of deze conclusies overeind blijven als nieuwe informatie beschikbaar is over verwachte wijziging van de afvoeren van de Rijn en de Maas onder het W<sub>H</sub> scenario.**

	Gouda (norm 250 mg/l)			Bernisse (norm 150 mg/l)		
	1989	2003	2006	1989	2003	2006
Huidig	0	12	0	0	1	0
2050 W <sub>H</sub> scenario (met G+ afvoer)	7	54	0	0	8	0
2050 W+ scenario	31	74	18	0	46	5

Tabel 3.1 Overschrijding (in dagen per jaar) van de norm voor chloride bij Gouda en Bernisse voor de referentieperiode, en scenario's W<sub>H</sub> (met G+ afvoer) en W+ voor 2050.

### 3.5 Effecten op de regionale watervraag- en watertekorten

Voor de gevolgen op de regionale zoetwatervoorziening kijken we naar de drie belangrijkste regionale watervragers (peilbeheer, doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater) en de tekorten die zich voordoen.

De effecten op de regionale watervraag- en watertekorten zijn wederom berekend voor drie droge voorbeeld jaren: 1989, 2003 en 2006, die allen een herhalingstijd van ca. eens in de 10 jaar kennen. De uitkomsten voor de 2003 situaties bespreken we in deze paragraaf. De uitkomsten voor de andere jaren staan in de bijlage en laten minder tekorten zien dan voor 2003.

De totale vraag naar oppervlaktewater neemt ten opzichte van de referentiesituatie in het W<sub>H</sub> scenario minder toe dan in het W+ scenario. Dit geldt voor alle 5 knelpunt-/adaptatiegebieden die DPZW onderscheidt. Dit is het gevolg van het lagere neerslagtekort in de zomer dat doorwerkt in de vraag naar peilbeheer en de vraag naar beregening uit oppervlaktewater. Doorspoeling heeft een vast gewenste debiet (in het NHI) en de watervraag blijft daarom voor deze watervraagcategorie in alle situaties gelijk.

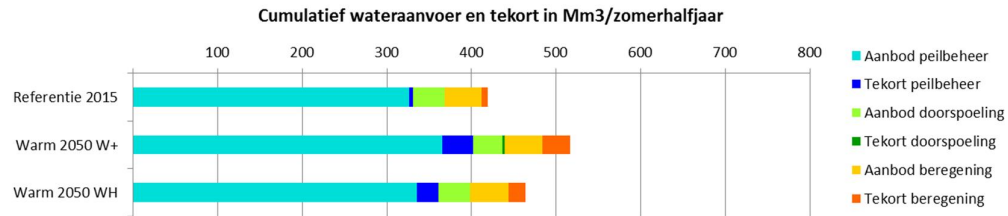
Voor de *hoge zandgronden* neemt het absolute tekort aan oppervlaktewater maar beperkt af. Oorzaak is de Maasafvoer die tijdens droge periodes in alle klimaatscenario's nog steeds laag is/blijft en een beperking is voor het aanbod in het zuidelijk zandgebied. In de rest van de hoge zandgronden is slechts zeer beperkt sprake van levering van oppervlaktewater uit het hoofdwatersysteem



Figuur 3.7 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's

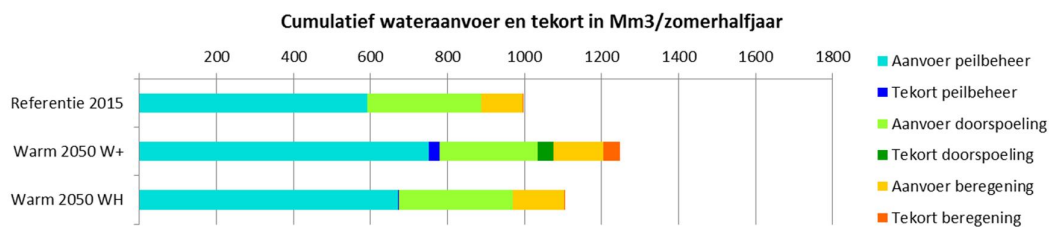


Voor de zoetwatervoorziening maakt het *rivierengebied* vooral gebruik van Rijnwater uit het Pannerdensch Kanaal, Nederrijn/Lek en ARK. Omdat de G+ afvoeren (in het W<sub>H</sub> scenario) hoger zijn dan de W+ afvoeren kan langer en meer water worden ingelaten. Bij de G+ afvoeren zijn de tekorten nagenoeg opgelost.



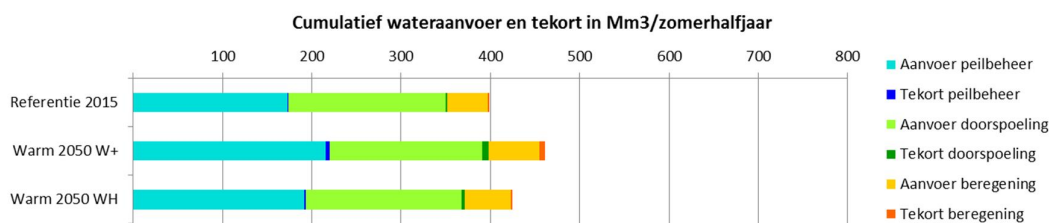
*Figuur 3.8 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

De afvoer in de IJssel en de buffervoorraad in het IJsselmeer zijn samen voldoende om de omliggende regio's van water ter voorzien (zie paragraaf 3.4). Er zijn daarom geen tekorten in het *IJsselmeergebied*.



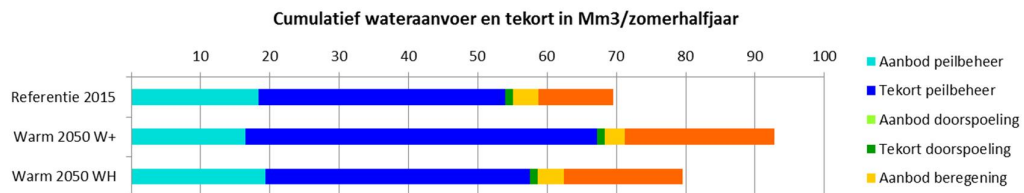
*Figuur 3.9 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

De belangrijkste inlaat voor de zoetwatervoorziening in het benedenrivierengebied is de inlaat bij Gouda. Onder het W<sub>H</sub> scenario treden veel minder tekorten op dan onder het W+ scenario. Dat komt doordat onder de G+ afvoeren (in het W<sub>H</sub> scenario) de inlaat langer open kan blijven en doordat de inlaat een grotere capaciteit heeft dan de huidige KWA. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of het resterende tekort het gevolg is van beperkte capaciteit van de huidige KWA en/of dat de tekorten zich voordoen buiten het invloedsgebied van de KWA.



*Figuur 3.10 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

Een groot deel van de Zuidwestelijke Delta kan niet van oppervlaktewater worden voorzien. Daarom is er geen oppervlaktewaterlevering. Het peilbeheer is de grootste watervraagpost. Het is de hoeveelheid water die nodig zou zijn om de oppervlaktewaterpeilen in de aanwezige waterlopen op peil te houden. Omdat er geen wateraanvoer is kan het oppervlaktewater alleen op peil gehouden worden met water dat intern wordt geleverd door drainage en kwel uit het grondwater. De hoeveelheid drainage en kwel is niet voldoende om het peil te handhaven waardoor in de zomer een tekort voor peilbeheer ontstaat. Omdat het neerslagtekort in het scenario  $W_H$  kleiner is dan scenario  $W_+$ , neemt het watertekort in dit scenario minder toe ten opzichte referentiesituatie.



*Figuur 3.11 Wateraanvoer en – tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm3) in het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 2003 voor de referentie en de scenario's*

**Samengevat neemt de watervraag onder het  $W_H$  scenario minder sterk toe dan in het  $W_+$  scenario. De conclusies over oppervlaktewatertekorten hangen sterk af van de verandering van de rivieraanvoeren. Aangezien hiervoor in deze fase belangrijke aannames zijn gehanteerd, kunnen pas in een volgende fase definitieve conclusies kunnen worden getrokken.**

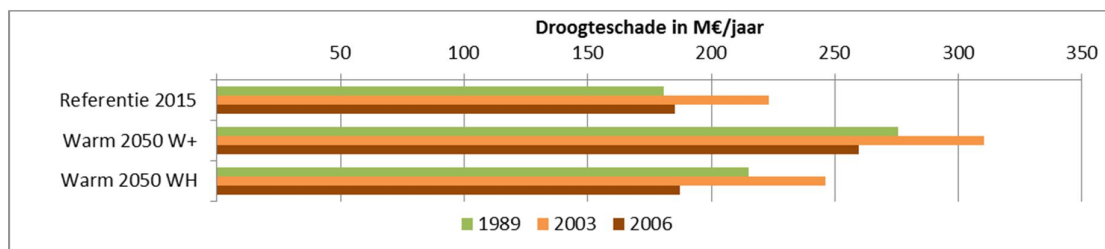
Voorlopig wordt geconstateerd dat watertekorten minder sterk lijken toe te nemen, maar niet geheel zullen te verdwijnen. De berekeningsresultaten verschillen per regio. Op de Hoge zandgronden bijvoorbeeld nemen de oppervlaktewatertekorten maar in beperkte mate af ten opzichte van het  $W_+$  scenario. Voor de gebieden die voor de watervoorziening afhankelijk zijn van de Rijn afvoer (rivierengebied, benedenrivierengebied en IJsselmeergebied) is in het oude  $W_+$  klimaatscenario nog sprake van watertekorten, in het nieuw  $W_H$  scenario (met  $G_+$  afvoer) lijken deze grotendeels niet meer voor te komen. Verwacht wordt dat bij een “extreem droog ambitieniveau” significante oppervlaktewatertekorten zullen blijven bestaan.

### 3.6 Effecten op de landbouw

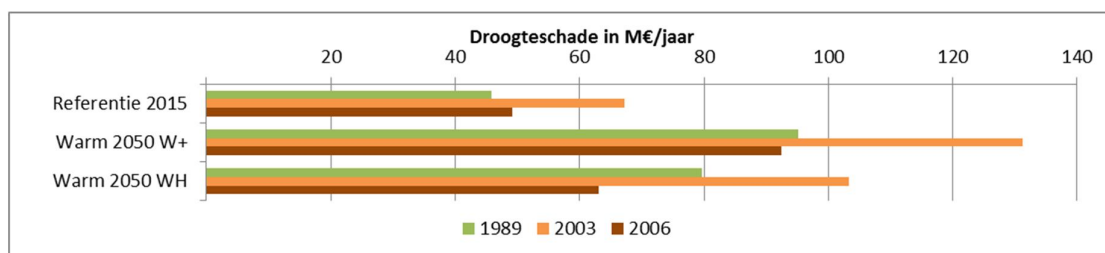
De effecten van de twee scenario's op de droogteschade in de landbouw zijn berekend met AGRICOM. Hieronder zijn de effecten voor de jaren 1989, 2003 en 2006 weergegeven. De droogteschade neemt toe volgens het  $W_H$  scenario. Deze toename van de droogteschade onder het  $W_H$  scenario is kleiner dan onder het  $W+$  scenario. Dit wordt verklaard door een minder grote toename van het neerslagtekort in het  $W_H$  scenario ten opzichte van het  $W+$  scenario.

De stijgende grondwaterstanden betekenen in de hoge zandgronden geen vermindering van de droogteschade omdat de grondwaterstanden te diep zijn voor capillaire nalevering in de zomer. Door een toename van het neerslagtekort in het  $W_H$  scenario ten opzichte van de referentie neemt de verdampingsreductie in de zomer wel toe, waardoor ook de droogteschade toeneemt.

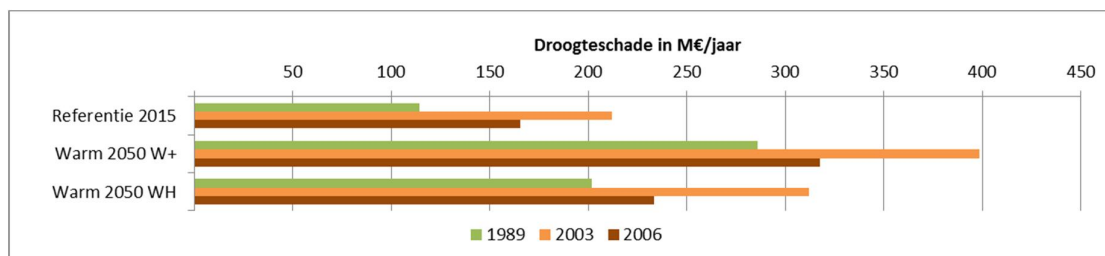
In alle gebieden neemt de droogteschade onder het  $W_H$  scenario toe ten opzichte van de huidige situatie, maar minder dan onder het  $W+$  scenario. Voor de hoge zandgronden en de Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer is de toename onder het  $W_H$  scenario minder dan voor het rivierengebied, het IJsselmeergebied en het benedenrivierengebied.



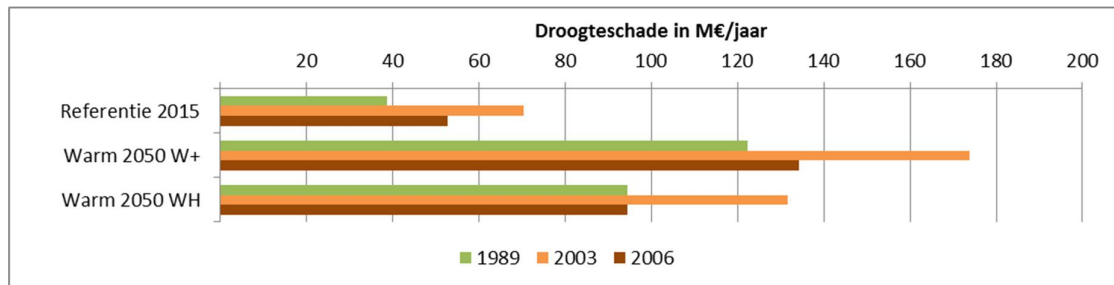
Figuur 3.12 Berekende droogteschade voor de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's



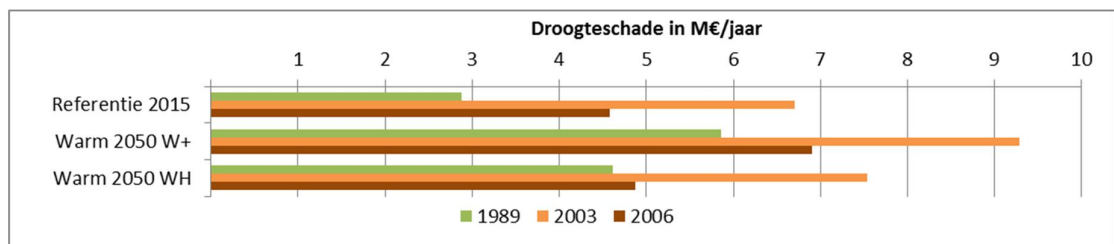
Figuur 3.13 Berekende droogteschade voor het voorzieningsgebied dat voorzien wordt vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's



*Figuur 3.1 Berekende droogteschade voor het voorzieningengebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's*



*Figuur 3.14 Berekende droogteschade voor het voorzieningengebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's*



*Figuur 3.15 Berekende droogteschade voor het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13 conform rapportage DPZW fase 4) in een hydrologisch jaar 1989, 2003 en 2006 voor de referentie en de scenario's*

**Samengevat neemt in het  $W_H$  scenario (met  $G+$  afvoer) de droogteschade toe ten opzichte van de referentie, maar de toename is minder groot dan in het  $W+$  scenario.**

## 4 Samenvatting en conclusie

De veranderingen in de zoetwatervoorziening in Nederland zijn voor de klimaatcondities volgens het KNMI'14  $W_H$  scenario voor 2050 doorgerekend met het NHI en Agricom. De resultaten zijn vergeleken met die voor de huidige (1981-2010) situatie en vergeleken met de veranderingen volgens het KNMI'06  $W+$  scenario. Dit laatste is de basis voor de Deltascenario's Warm en Stoom. Omdat er nog geen KNMI'14 scenario's beschikbaar zijn voor de stroomgebieden van Rijn en Maas, zijn voor de veranderingen in de afvoeren van de Rijn en de Maas eerdere gegevens gebruikt van het KNMI'06  $G+$  scenario. De verwachting is dat voor de stroomgebieden van Rijn en Maas de klimaatcondities in de zomerperiode volgens het KNMI'14  $W_H$  zullen lijken op die van het KNMI  $G+$  scenario.

### Samenvatting van de bevindingen

#### *Grondwater*

Uit de analyse van de grondwaterstanden blijkt dat volgens het  $W_H$  scenario de grondwaterstanden op de hoge gronden door de toename van het neerslagoverschot in de winter zullen stijgen ten opzichte van de huidige situatie. Dit is bijvoorbeeld het geval op de hoge zandgronden, onder meer in gebieden zonder wateraanvoer in noordoost-, oost-, en zuidwest-Nederland. Volgens het  $W+$  scenario zouden ze dalen. Het belang hiervan voor nat- en droogteschade is echter gering omdat in deze gebieden de het grondwater erg diep zit.

#### *Oppervlaktewater*

Voor het IJsselmeerpeil blijft de conclusie overeind die in DPZW fase 4 is getrokken, namelijk dat voor een "droog ambitieniveau" een bufferschijf van 20 cm voldoende lijkt. Wel zal voor een "extreem droog ambitieniveau" bij het nieuwe droge klimaatscenario in 2050 naar verwachting een minder grote bufferschijf nodig zijn dan waar in DPZW fase 4 rekening mee is gehouden.

Bij de inlaat Gouda zullen volgens het  $W_H$  scenario in 2050 nog steeds knelpunten van externe verzilting voorkomen in droge jaren, maar minder omvangrijk dan onder het  $W+$  scenario. Ook voor de Bernisse wordt de situatie gunstiger onder het nieuwe  $W_H$  scenario ten opzichte van het  $W+$  scenario. Deze resultaten worden echter vooral bepaald door de aangenomen veranderingen in de Rijn en Maasafvoer. Hierbij is de keuze gemaakt om het  $G+$  scenario te gebruiken. De conclusies kunnen aanmerkelijk veranderen als de afvoeren behorend bij het  $W_H$  scenario beschikbaar komen.

De vraag naar oppervlaktewater neemt onder het  $W_H$  scenario minder sterk toe dan in het  $W+$  scenario. Dit wordt veroorzaakt door de kleinere toename van de potentiële verdamping in het  $W_H$  scenario ten opzichte van het  $W+$  scenario. De tekorten nemen onder het  $W_H$  scenario af ten opzichte van het  $W+$  scenario, echter de tekorten worden bepaald door de potentiële verdamping en ook vooral door de keuze voor het KNMI'06  $G+$  scenario voor de afvoeren van Rijn en Maas en zijn daarom onzekerder.

#### *Landbouw*

De droogteschade in de landbouw neemt in het  $W_H$  scenario toe ten opzichte van de huidige condities, maar de toename is minder groot dan in het  $W+$  scenario. Grondwaterstanden

stijgen in het  $W_H$  scenario weliswaar in gebieden zonder wateraanvoer, maar de grootste stijging vindt plaats in gebieden met zeer diepe grondwaterstanden, die geen invloed hebben op de droogteschade. Lokaal vermindert de droogteschade wel, maar voor heel Nederland neemt de droogteschade toch toe, door de toename van het neerslagtekort in de zomer.

### **Vergelijkbaarheid met eerdere berekeningen en onzekerheden**

De keuze van een andere referentieperiode laat voor droge jaren zien dat de conclusies van de opgave voor droogte kan wijzigen. Dit betekent dat de variabiliteit van het klimaat een grote invloed heeft op de verwachte opgave.

De keuze van het klimaatscenario voor het Rijn stroomgebied heeft grote invloed op de verwachte opgave, omdat de Rijnaanvoer een groot deel van de waterbeschikbaarheid in NL bepaalt. Daarmee bepaalt het ook de omvang van mitigerende maatregelen als de gewenste capaciteit voor de Kleinschalige Water Aanvoerroute en de benodigde waterschijf van het IJsselmeer. Het gekozen KNMI'06 G+ scenario benadert naar verwachting de zomerafvoeren voor het KNMI'14  $W_H$  scenario. De winterafvoeren zullen onder het  $W_H$  scenario waarschijnlijk toenemen ten opzichte van het G+ scenario, dat hier gebruikt is.

De uitkomsten in de gevolgde methode van de voorbeeld karakteristieke jaren is sterk afhankelijk van toevallig voorgekomen extreme jaren in de referentieperiode. Maatregelenpakketten ter voorkoming van droogteschade die worden samengesteld specifiek voor die jaren, kunnen dan in andere jaren met een wat andere karakteristiek van de droogte (mogelijk) niet voldoen.

### **Mogelijke gevolgen voor de voorgestelde Deltabeslissingen**

De nieuwe KNMI'14 klimaatscenario's geven een vergelijkbaar beeld van de effecten op de zoetwatervoorziening, maar de bandbreedte van de effecten van de nieuwe klimaatscenario's wordt aangepast ten opzichte van de KNMI'06 klimaatscenario's die binnen de Deltascenario's zijn gebruikt. De droogste variant wordt minder droog. De lange termijn opgave voor zoetwater kan hierdoor wat afnemen en de ernst van de problematiek als voorzien in het KNMI'06  $W+$  scenario zal zich onder het KNMI'14  $W_H$  scenario pas later in de tijd voordoen. Binnen de aanpak van het Adaptief Deltamanagement betekent dit voor zoetwater dat de termijn voor beslissingen over de volgende stap in de adaptatiepaden onder de nieuwe KNMI'14 scenario's verder opschuift naar de toekomst.

In de adaptatiepaden zijn ook maatregelen opgenomen voor de korte termijn, zoals 20 cm bufferschijf IJssel- en Markermeer, een uitbreiding van de KWA en de aanpak van de verdrogingsproblematiek. Deze maatregelen voor de korte termijn zijn ook gewenst bij scenario's Rust en Druk, m.n. in een extreem droog jaar situatie (Ter Maat et al, 2014). Het nieuwe KNMI scenario  $G_L$  wijkt maar in geringe mate af van het KNMI'06 scenario G. Het nieuwe KNMI scenario  $G_L$  heeft daarmee geen invloed op de adaptatiepaden van de voorkeursstrategie zoetwater.

Een belangrijke nieuwe bevinding van deze kwantitatieve analyse is dat er onder het  $W_H$  scenario naar verwachting eerder sprake zal zijn van stijging dan van daling van de grondwaterstand in gebieden zonder aanvoer van oppervlaktewater. In veel gebieden blijft de grondwaterstand in de zomer echter te laag om toename van droogteschade voor landbouw en natuur te voorkomen. Deze toename wordt veroorzaakt door de stijging van het neerslagtekort in de zomer. Het effect van de voorgestelde regionale maatregelen zal dus wel iets veranderen

ten opzichte van de eerdere beoordeling (Ter Maat et al, 2014), maar deze maatregelen worden niet overbodig onder het  $W_H$  scenario.

Voor de regionale maatregelen in de gebieden zonder wateraanvoer geldt dat de urgentie verder veroorzaakt wordt door de lange doorlooptijd tussen de beslissing en de daadwerkelijke uitvoering van de maatregelen als gevolg van de noodzaak maatregelen veelal te combineren met lopende trajecten in het kader van Natura2000 en Kaderrichtlijn Water en deze in te passen in gebiedsgerichte ontwikkelingsprocessen.

### **Aanbevelingen**

Omdat de KNMI'14  $W_H$  scenario's voor de bovenstroomse afvoer nog in ontwikkeling zijn, zijn de uitkomsten die in dit memo zijn gepresenteerd, gebaseerd op de G+ afvoer uit de KNMI'06 scenario's. Het is de verwachting van het KNMI dat de hoeveelheden neerslag en verdamping van het  $W_H$  scenario in het Rijn stroomgebied in de droge situatie wordt benaderd door het G+ scenario. De belangrijkste aanbeveling in deze analyse is de uitgevoerde analyse te herhalen zodra de  $W_H$  afvoerscenario's beschikbaar zijn (verwachting is dat dit medio 2015 het geval is).

Tot slot, de effecten onder "extreem droog jaar condities" (herhalingstijd ca. 1/100 jaar) konden door de nieuwe tijdreeksperiode niet gemodelleerd worden en moesten op basis van expert judgement geschat worden voor deze kwantitatieve analyse. Ook dit verdient aandacht bij de herhaling van deze analyse, bij voorkeur door het uitbreiden van de tijdsperiode tot 1950-2010 of het aanmaken van minstens 100-jarige synthetische reeksen.

## Referenties

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

Bruggeman, W., E. Dammers, G.J. van den Born, B. Rijken, B. van Bommel, A. Bouwman, K. Nabelek, J. Beersma, B. van den Hurk, N. Polman, V. Linderhof, C. Folmer, F. Huizinga, S. Hommes, A. te Linde, 2013. Deltascenario's voor 2050 en 2100, Nadere uitwerking 2012-2013. CPB, Deltares, KNMI, LEI, PBL, 2013.

Beersma, J. J., T.A. Buishand, H. Buitenveld. 2004. Droog, droger, droogst. KNMI publicatie 199-II, De Bilt 2004.

De Vries, I. 2014. Toetsing robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening, Fase 2: definitieve toetsing, Deltares rapport 1209018-000, 1207694-007.

De Vries, I., C. Sprengers, 2014. Inlaatsluis Spijkenisse: waterinlaat naar Brielse Meer vanuit Oude Maas, Deltares rapport 1209393

Görge, K. (Ed.), 2010. Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. Report No. I-23 of the CHR.

Hunink, J, A. Veldhuizen, G. Prinsen, J. Oosterwijk, G. Oude Essink, 2012. Deltascenario's 2012 NHI modelinvoer; Technische achtergrondrapportage Deltares rapport 1207053-000.

Hunink, J., 2014. PVA duiding KNMI'14 scenario's. Deltares projectplan 1210035-000-VEB-0001.

Hunink, J., in voorbereiding. Modelrapportage berekeningen KNMI'14 scenario's met het NHI. Deltares rapport 1209464.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KNMI, 2014. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland. Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie.

Ter Maat, J., Haasnoot, M., Hunink, J. & 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.





**Datum**  
18 september 2014

**Ons kenmerk**  
1209464-000-VEB-0005

**Pagina**  
24/26

**Kopie aan**

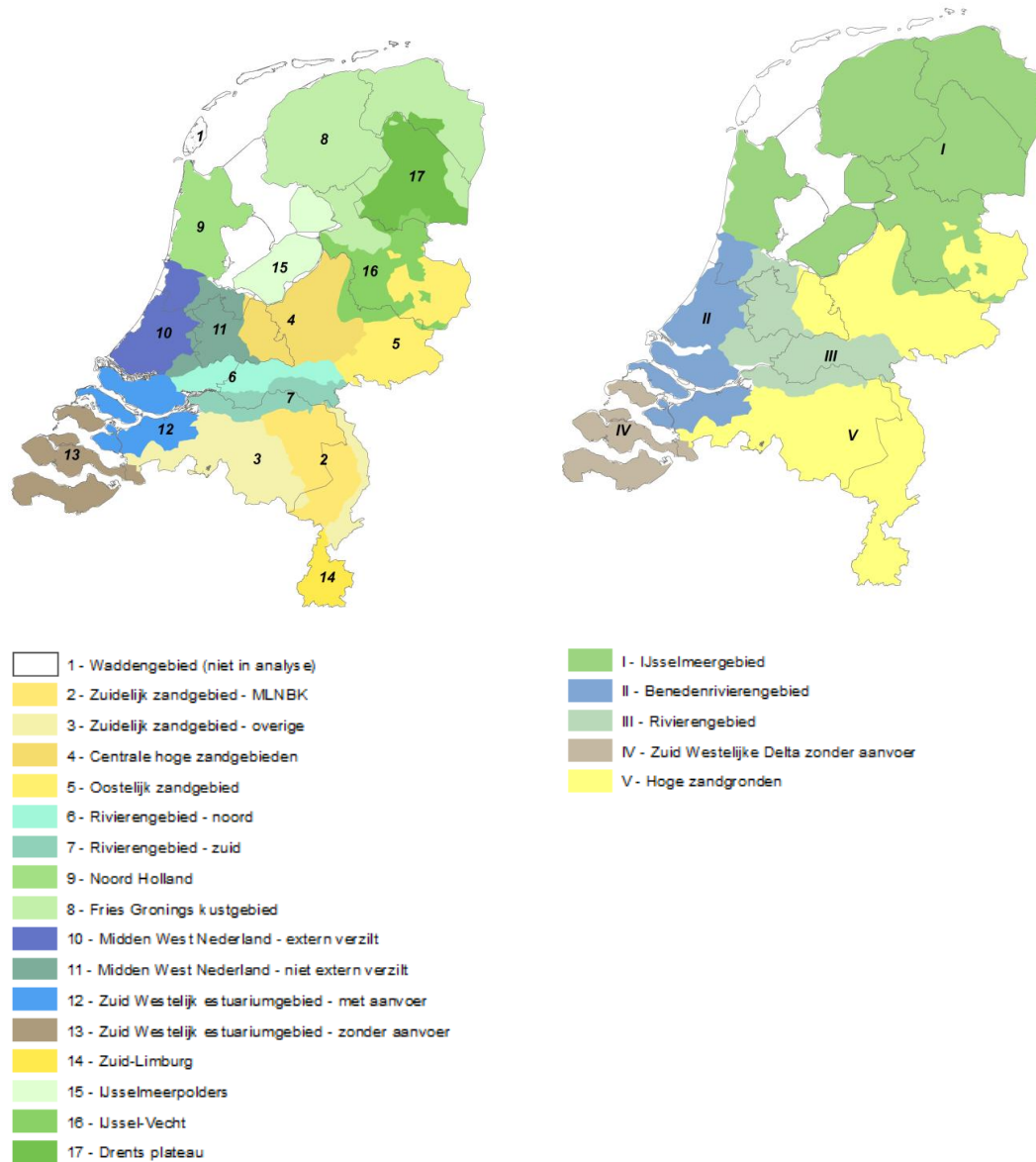
Nathalie Asselman, Marco Hoogvliet, Joachim Hunink, Ad Jeuken, Jarl Kind, Gerda Lenselink, Jaap Kwadijk, Judith ter Maat, Gerard van Meurs en Nadine Slootjes, Timo Kroon

## Bijlage I: Overzicht van diverse droogtekenmerken voor KNMI'14 en KNMI'06

Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficit	Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficit	Jaar	potentieel cumulatief neerslagtekort	Jaar	Afvoerdeficit
Referentie				W+ scenario				Wh scenario (met G+ afvoer)			
1989	238	2003	7095	1989	343	2003	9837	1989	302	2003	8599
2003	223	1991	6358	2003	334	1991	9177	2003	286	1991	7882
1983	212	1990	5460	1982	323	1990	8032	1982	279	1990	6711
1982	209	1996	4890	2009	311	1996	7993	1983	265	1996	6542
1995	205	1998	4299	1983	294	1989	7510	2009	255	1998	5922
1990	198	1993	4010	1995	291	1998	7390	1995	253	1989	5795
1986	197	1989	3759	2010	289	1993	7373	1990	251	1993	5591
2006	195	1992	3389	1990	284	1992	6681	2010	246	1992	5112
2010	194	1997	2594	1986	281	2004	5849	1996	246	2004	4205
1996	194	2004	2362	1999	281	2009	5449	1986	244	2009	3754
2009	187	2009	2263	1996	280	2005	5338	1999	237	1997	3719
1992	173	2005	1722	1994	266	2006	5031	1994	229	2005	3575
1999	170	2006	1718	1991	259	1997	4867	2006	227	2006	3347
1994	169	1983	1665	2006	257	1994	4783	1991	221	1983	3229
1991	161	1994	1551	1992	244	1983	4659	1992	220	1994	3127
2008	155	1988	1414	2008	241	1988	4590	1997	187	1988	2934
1988	139	1999	1320	1997	240	2008	4039	2008	187	1999	2616
2001	136	2010	1182	1981	223	1986	3998	1981	184	1986	2506
1993	127	1986	1085	2001	221	1999	3812	2001	181	2008	2229
1981	127	2007	890	2004	190	1985	3704	1984	165	1985	2202
1984	117	1985	661	2005	189	2010	3397	2004	159	2010	2075
1997	116	1995	639	1984	187	2002	3306	1988	156	2002	1741
2004	111	1981	595	2002	185	1995	3162	1993	149	1995	1581
2007	104	1984	580	1988	184	2000	2934	2005	141	1981	1561
2005	97	2001	565	1993	179	1981	2891	2000	127	1984	1554
2002	74	2008	544	2000	173	1982	2854	2002	127	1982	1496
1998	71	1982	510	1998	137	1984	2758	1998	119	2001	1485
2000	67	2002	397	2007	122	2001	2720	2007	103	2000	1441
1987	61	2000	297	1987	106	2007	2167	1987	84	2007	1345
1985	57	1987	46	1985	105	1987	1122	1985	66	1987	382

Tabel 4.1 Doorlopend potentieel neerslagtekort (cumulatief) en het afvoerdeficit bij Lobith voor de jaren 1981-2010 in het W+ scenario (KNMI'06) en WH scenario (KNMI'14). De jaren zijn geranked op basis van het doorlopend potentieel neerslagtekort.

## Bijlage II: Gebiedsindeling



Figuur 4.1 De 17 waterhuishoudkundige deelgebieden en 5 knelpuntgebieden zoals voor de effectbepaling van de maatregelen voor de Nederlandse zoetwatervoorziening in de 21<sup>e</sup> eeuw (Figuur 2.4 uit Ter Maat et al, 2014)