

## Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland

Deelrapport waterkwantiteit voor PBL Herijking Klimaatrisico's



# Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland

Deelrapport waterkwantiteit voor PBL Herijking Klimaatrisico's

## Auteur(s)

Marjolein Mens

Gijs Janssen

# Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland

Deelrapport waterkwantiteit voor PBL Herijking Klimaatrisico's

<b>Opdrachtgever</b>	Planbureau voor de Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Frank van Gaalen
<b>Projectreferenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Adaptatiescenario, zoetwaterbeschikbaarheid, effecten, Nederland

## Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	06-03-2026
<b>Projectnummer</b>	11210323-005
<b>Document ID</b>	11210323-005-BGS-0001
<b>Pagina's</b>	64
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	Definitief

## Auteur(s)

	Marjolein Mens Gijs Janssen	

# Samenvatting

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) voert samen met de kennisinstituten een beleidsondersteunend kennisprogramma uit voor de Nationale Adaptatie Strategie (NAS). Een van de stappen hierin is het uitwerken en doordenken van twee normatieve (beleidsrijke) scenario's voor klimaatadaptatie: transformeren en intensiveren. Deltares levert kennis ten aanzien van de 'sectoren' waterveiligheid, waterkwantiteit, waterkwaliteit, infrastructuur en natuurbranden. Het doel van onderliggend rapport is een kwalitatieve analyse en duiding van de scenario's voor waterkwantiteit. Hiermee wordt bedoeld dat de gevolgen van de twee normatieve scenario's voor de zoetwatervoorziening in beeld worden gebracht. De andere onderwerpen worden in aparte rapporten besproken en zijn ook te vinden op de kennisbank van Deltares.

## Aanpak

De gevolgen voor de zoetwatervoorziening zijn in beeld gebracht door te kijken naar watertekort (waternaervoergebieden in laag-Nederland) en grondwaterregime (vrij-afwaterende zandgebieden). Voor de contextscenario's, waarbij geen aanvullend beleid wordt aangenomen, is gebruik gemaakt van bestaande analyses van het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) en Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS). Uitgangspunt hierbij zijn de Deltascenario's Stoom en Rust uit 2015. Waar mogelijk is de zoetwateropgave aangepast naar de nieuwe inzichten over de doorwerking van de nieuwe KNMI'23 scenario's. Voor watertekorten in laag-Nederland zijn tevens verkennende berekeningen met een quick scan waterverdelingstool (QWAST) uitgevoerd om meer gevoel te krijgen bij de orde van grootte van het watertekort.

Voor de wisselwerking met drinkwater is samengewerkt met het RIVM. De scenario's voor drinkwatervraag werken namelijk door in de waterbeschikbaarheid en het grondwatersysteem, en andersom geven de resultaten in dit rapport input voor de analyse en duiding van gevolgen voor drinkwater.

## Hoe kunnen we ons aanpassen: transformeren en intensiveren

De adaptatiescenario's in dit rapport weerspiegelen twee fundamenteel verschillende insteken in het adaptatiebeleid, die voor een belangrijk deel normatief zijn. Beide scenario's streven naar een meer klimaatbestendig Nederland, maar resulteren in een andere invulling en vorm van klimaatbestendigheid, en in een ander ruimtelijke verdeling van activiteiten en functies.

Bij *Intensiveren* ligt meer nadruk op de huidige ruimtelijke strategie, activiteiten en omstandigheden. Verder is dat scenario gebaseerd op meer vertrouwen in de techniek. Voor de zoetwatervoorziening betekent dit het zo goed en lang mogelijk blijven bedienen van de huidige functies met aanpassingen in het hoofdwatersysteem (zoutindringing beperken, water anders verdelen, grotere buffercapaciteit, etc.) en het regionale waarnaavoersysteem. Pas na 2050 wordt aanvullend ingezet op het aanpassen van de watervraag door bv landgebruik aan te passen of de eisen (van natuur en landbouw) aan de waterkwaliteit te versoepelen. In de vrij-afwaterende zandgebieden blijft het faciliteren van de landbouw belangrijk en wordt ook de toenemende drinkwatervraag mede uit grondwater voorzien. Wel wordt ingezet op actieve (kunstmatige) infiltratie, nieuwe drinkwaterputten op plekken waar er minder invloed is op de natte natuur, en meer hergebruik en druppelirrigatie. Hierdoor wordt er in 2050 netto minder grondwater onttrokken dan in het contextscenario, maar meer dan nu. In *Transformeren* ligt meer nadruk op een systeemaanpak met ruimtelijke veranderingen, met meer belang voor het zoeken naar synergie en afstemming tussen sectoren in ruimte en tijd.

Een bufferzonestrategie past bij uitstek in dit scenario, waarmee de grondwaterstanden en kwelfluxen in en om grondwaterafhankelijke natuurgebieden worden verhoogd. Hiermee kunnen (veelal verdroogde) natuurgebieden herstellen en de gevolgen van klimaatverandering beter opvangen. Dit vergt het omschakelen/extensiveren van bestaande functies in de directe omgeving van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden.

### **Gevolgen voor watertekorten in laag-Nederland**

In het scenario *Intensiveren* worden vooral technische maatregelen getroffen in het hoofdwatersysteem. Hiermee kunnen watertekorten tijdens droge jaren nog tot ongeveer 2050 voorkomen worden in alle klimaatscenario's. Daarna zijn bij doorgaande klimaatverandering grote aanpassingen nodig in de waterinfrastructuur om in de snel toenemende watervraag te kunnen blijven voorzien. Ook neemt de concurrentie om zoetwater tussen regio's toe, omdat de noordelijke én westelijke regio's steeds afhankelijker worden van wateraanvoer vanuit het hoofdwatersysteem. Tijdens extreme droogte kunnen de gevolgen hierdoor veel groter worden dan bijvoorbeeld in de 2018 droogte.

De ruimtelijke maatregelen in *Transformeren* kunnen de watervraag flink terugbrengen, maar dit vraagt om grote aanpassingen van landbouw, natuur en industrie. Om in 2050 het zoetwaterdoel te halen zijn naast ruimtelijke maatregelen aanvullend aanvoermaatregelen nodig. Op de lange termijn (na 2100) zijn de verschillen tussen de adaptatiescenario's voor Noord-Nederland niet groot, omdat alle soorten maatregelen uiteindelijk nodig zijn. De volgorde waarin maatregelen worden uitgevoerd (adaptatiepaden) bepalen wel de impact van (extreme) droogte en de bijdrage aan andere maatschappelijke doelen zoals klimaatmitigatie en biodiversiteit. Aanpassingen van landgebruik, waar in *Transformeren* de nadruk op ligt, zijn naar verwachting beter te combineren met andere beleidsdoelen zoals biodiversiteitsbeleid, tegengaan van bodemdaling en de landbouwtransitie

### **Gevolgen voor het grondwatersysteem**

Het *Intensiveren* scenario biedt slechts beperkte mogelijkheden voor een significante en structurele mitigatie van de klimaatgerelateerde daling in grondwaterafhankelijke natuur. Lokaal kunnen sommige maatregelen wel effectief zijn: een natuurgebied binnen een intrekgebied van een drinkwaterwinning zal profiteren van een verminderde onttrekking. Ook kunnen nabijgelegen natuurgebieden profiteren van kunstmatige infiltratie. Indien landgebruik wordt aangepast, zoals in *Transformeren*, kan de klimaatgerelateerde grondwaterstands daling sterk gereduceerd of zelfs volledig gemitigeerd worden. Van de geanalyseerde maatregelen draagt hier vooral het verhogen van de ontwateringsbasis in bufferzones aan bij. Het effect van de andere bekeken maatregelen is op regionale schaal kleiner, hoewel op lokale schaal ook deze een significante bijdrage kunnen leveren.

### **Conclusie**

De resultaten laten zien dat beleid gericht op *Intensiveren* de afhankelijkheid van wateraanvoer uit het hoofdwatersysteem vergroot, waardoor de concurrentie tussen regio's toeneemt. Dit leidt ertoe dat grote systeemkeuzes na 2050 snel nodig zijn. Bij *Transformeren* is de bovenregionale concurrentie om water uit het hoofdwatersysteem minder groot. Bij adaptatiebeleid gericht op *Intensiveren* hoort ook een politieke keuze over het waarborgen van gewenste abiotische condities in grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Bij *Transformeren* is de effectiviteit van de maatregelen meer vlakdekkend, zodat een groter areaal grondwaterafhankelijke natuur behouden kan blijven. Tegelijk zal het nodig zijn om in *Transformeren* sommige natuurdoelen aan te passen in gebieden waar verzilting toeneemt omdat er minder of niet meer wordt doorgespoeld.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>8</b>
1.1	Achtergrond en doel	8
1.2	Aanpak	9
<b>2</b>	<b>Contextscenario's: de gevolgen van niks doen</b>	<b>10</b>
2.1	Wat betekent klimaatverandering voor watertekorten in Laag-Nederland?	10
2.1.1	Probleemschets	10
2.1.2	Beleidsmaatregelen	14
2.2	Wat betekent klimaatverandering voor het grondwatersysteem?	14
2.2.1	Probleemschets	14
2.2.2	Beleidsmaatregelen	15
<b>3</b>	<b>Uitwerking van de adaptatiescenario's: transformeren en intensiveren</b>	<b>16</b>
3.1	Verhaallijn	16
3.2	Maatregelen in het aanvoergebied van laag-Nederland	16
3.3	Integrale systeemkeuze in de Rijn-Maasmonding	19
3.3.1	Intensiveren	19
3.3.2	Transformeren	19
3.4	Maatregelen in vrij-afwaterend hoog-Nederland	20
<b>4</b>	<b>Gevolgen voor watertekorten in laag-Nederland</b>	<b>22</b>
4.1	Overzicht modelinstellingen en aannames	22
4.2	Resultaten voor regio West (extern verzilt)	25
4.3	Resultaten voor regio Noord	28
4.4	Gevolgen voor drinkwater uit oppervlaktewater	30
4.5	Vergelijking tussen de adaptatiescenario's	32
<b>5</b>	<b>Gevolgen voor het grondwatersysteem</b>	<b>35</b>
5.1	Inleiding	35
5.2	Intensiveren	36
5.2.1	Effecten van kunstmatige infiltratie	36
5.2.2	Effecten van verminderde drinkwaterproductie	37
5.2.3	Effect van verhoogde beregeningsefficiëntie	38
5.3	Transformeren	41
5.3.1	Effect van ontwateringsmaatregelen in bufferzones	41
5.3.2	Effect van onttrekkingsmaatregelen drinkwater in bufferzones	43
5.3.3	Effect van beregeningsmaatregelen	45

5.3.4	Effect van omvorming van naaldbos naar heide	46
5.3.5	Effect van afkoppelen bebouwd gebied	48
5.4	Vergelijking tussen de adaptatiescenario's	50
<b>6</b>	<b>Samenvatting en conclusie</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>56</b>
<b>A</b>	<b>Overzicht modelinstellingen en aannames</b>	<b>58</b>
A.1	Maatregelen	58
A.2	Watervraag polderdoorspoeling	59
A.3	Beregeningsvraag	61
A.4	Drinkwater en industrie	62
A.5	Watervraag peilbeheer	63
A.6	Regionale aanvoercapaciteit vergroten	63

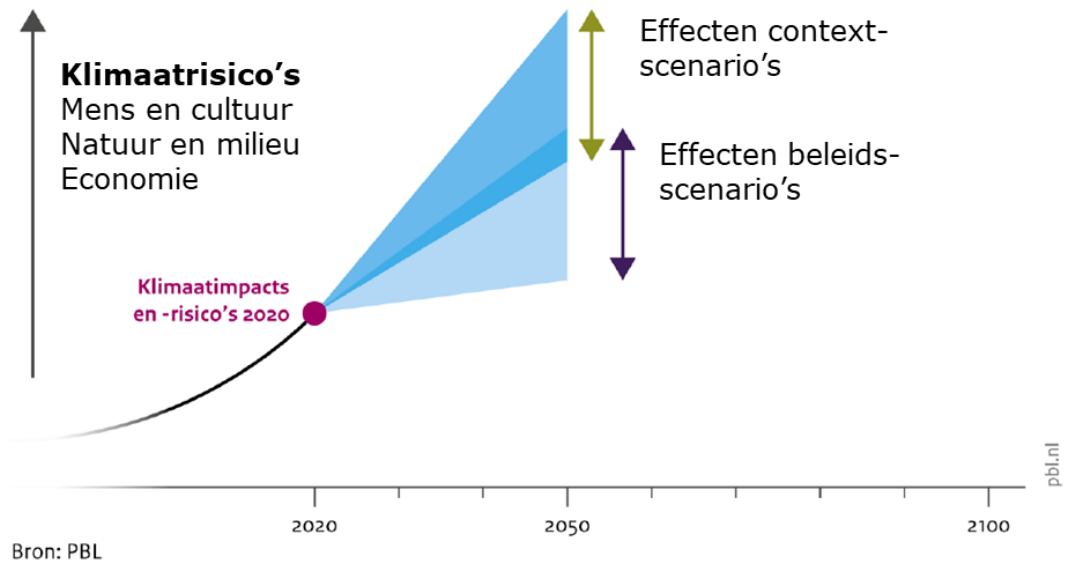
# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond en doel

Het Directeuren Overleg Nationale Klimaatadaptatiestrategie (DO-NAS) heeft in 2020 besloten om een beleidsondersteunend kennisprogramma in het leven te roepen voor het nationale klimaatadaptatiebeleid. Dit traject bestaat uit een aantal stappen. De 1e stap richt zich op het beschrijven van de huidige klimaatrisico's en het verkennen van de toekomstige klimaatrisico's in Nederland. Het PBL is gevraagd om de regie en coördinatie op zich te nemen voor de uitvoering van stap 1 in samenwerking met de kennisinstituten. Deltares is gevraagd kennis te leveren voor de 'sectoren' waterveiligheid, waterkwantiteit, waterkwaliteit, infrastructuur en natuurbranden. De huidige klimaatrisico's zijn beschreven in PBL (2024). Een van de conclusies was dat de negatieve gevolgen van het veranderende klimaat nu al merkbaar zijn (denk aan extremen zoals hittegolven, wateroverlast Limburg) en alle facetten van de samenleving raakt. In een warmer klimaat neemt de kans op dit soort gebeurtenissen toe. Het is daarom van belang om nu keuzes te maken over het aanpassen aan de klimaatverandering (adaptatie) om de negatieve gevolgen zoveel mogelijk te beperken of te voorkomen.

In 2025 zijn in de gezamenlijke projectgroep (PBL + kennisinstituten) verhaallijnen ontwikkeld voor normatieve (oftewel beleidsrijke) adaptatiescenario's met de namen *Intensiveren* en *Transformeren*. Het schetsen en doordenken van twee uiteenlopende adaptatierichtingen kan helpen om belangrijke keuzes voor klimaatadaptatie en de consequenties daarvan in beeld te brengen. Ze vormen de hoekpunten van het spectrum aan keuzeopties die we als Nederland hebben voor klimaatadaptatie. Beide adaptatierichtingen zullen resulteren in een meer klimaatbestendig Nederland, waarin we minder last hebben van klimaatverandering. Toch zullen de resultaten anders zijn: er zal verschil zijn in hoe Nederland eruit ziet, welke activiteiten we wel of niet doen en waar we dat doen. De adaptatierichtingen zijn daarmee een middel om te helpen na te denken welke keuzes we willen maken voor klimaatadaptatie.

Het doel van onderliggend rapport is een kwalitatieve analyse en duiding van deze verhaallijnen vanuit het perspectief van zoetwatervoorziening. Deze beleidsrijke scenario's worden vergeleken met een toekomst waarbij het huidige adaptatiebeleid zonder aanvullende maatregelen wordt doorgetrokken (zie Figuur 1.1). Deze scenario's worden 'contextscenario's' genoemd. In dit rapport zijn de contextscenario's gelijkgesteld aan de Deltascenario's Stoom en Rust uit 2015, omdat hiervan rekenresultaten met het Nationaal Water Model beschikbaar waren. Waar mogelijk zijn de getallen procentueel bijgesteld om recht te doen aan recente inzichten zoals de nieuwe KNMI'23 scenario's.



Figuur 1.1 Samenhang tussen de contextscenario's en beleidsscenario's

## 1.2 Aanpak

Focus van dit rapport is de doorvertaling van de door PBL aangereikte verhaallijnen naar de zoetwatervoorziening van NL. Dit drukken we uit in termen van watertekort (wateraanvoergebieden in laag-Nederland) en grondwaterregime (vrij-afwaterende zandgebieden). Voor de contextscenario's (Hoofdstuk 2) bouwen we voort op bestaande analyses van het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) en Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS).

Voor Hoofdstuk 3 t/m 4 over de gevolgen van adaptatiescenario's 'intensiveren' en 'transformeren' maken we gebruik van recente beleidsstudies, onder andere voor DPZW en KPZSS, de Integrale Grondwaterstudie (Deltares&WER, 2023) en de studie voor de Nationale Grondwater Reserves (NGR; Deltares&RIVM, 2022). Voor watertekorten in laag-Nederland zijn tevens verkennende berekeningen uitgevoerd om meer gevoel te krijgen bij de orde van grootte van het watertekort bij een herhalingstijd van 20 jaar.

Op het thema drinkwater is intensief samengewerkt met het RIVM. De scenario's voor drinkwatervraag werken namelijk door in de waterbalans en het grondwatersysteem, en andersom geven de resultaten in dit rapport input voor de analyse en duiding van gevolgen voor drinkwater.

## 2 Contextscenario's: de gevolgen van niks doen

### 2.1 Wat betekent klimaatverandering voor watertekorten in Laag-Nederland?

#### 2.1.1 Probleemschets

Grote delen van laag Nederland zijn in de zomermaanden afhankelijk van wateraanvoer vanuit de grote rivieren. aan dit water worden hoge kwaliteitseisen gesteld, onder ander met betrekking tot de chlorideconcentratie: het moet zoet zijn. Watergebruikers in het achterliggende gebied (t.b.v. natuur, landbouw, industrie en stedelijk gebied) zijn erop ingesteld dat de waterkwaliteit beheersbaar is en dat het waterschap de watergangen doorspoelt indien nodig. En ook drinkwaterinnamepunten rekenen op een jaargemiddelde concentratie van maximaal 150 mg/l (o.a. Andijk in het IJsselmeer, Nieuwersluis in het Amsterdam-Rijnkanaal en Bergambacht aan de Lek).

Bij sterke klimaatverandering kunnen vaker periodes van watertekorten optreden, en droogtes kunnen nog extremer worden dan in 2018 en 2022. Dit komt omdat bij klimaatopwarming tegelijkertijd de watervraag toeneemt door meer verdamping én de aanvoer via de grote rivieren de Rijn en de Maas in de zomerperiode terugloopt. Daar komt bij dat zeespiegelstijging op termijn meer zoutindringing veroorzaakt, via drie routes:

- 1 via de open Nieuwe Waterweg,
- 2 via gesloten overgangen met zee (via schut- en spuisluizen), en
- 3 via interne verzilting (zout grondwater komt via kwel in het oppervlaktewater).

De problematiek van droogte in laag-Nederland valt samen te vatten in een waterbalans. Dit is eerder gedaan als onderdeel van de landelijke knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater (Mens et al., 2020). In die analyse zijn de Deltascenario's van 2015 gebruikt. In dit rapport nemen we als contextscenario het destijds met het Nationaal Water Model doorgerekende Stoom-scenario als basis. Waar nodig en mogelijk zijn de getallen iets bijgesteld ten behoeve van de doorrekening van de adaptatiescenario's. Dit wordt in Hoofdstuk 4 verder uitgelegd. De kentallen van de oude en nieuwe KNMI-scenario's zijn samengevat in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Vergelijking van een aantal kentallen van de KNMI'14 en de KNMI'23 scenario's. Scenario Wh(dry)2050 is opgenomen in Deltascenario Stoom. (bron: KNMI, 2014 en KNMI, 2023)

			KNMI23			KNMI14		
			REF (1991-2020)	Ld2050	Hd2050	REF (1981-2010)	GL2050	Whdry2050
Temperatuur NL	gemiddeld	graden C	10,5	11,4	12,1	10,1		12,4
neerslag	jaarlijks	mm	851	851	834	851	885	894
	zomer	mm	235	216	204	224	227	195
verdamping	jaarlijks	mm	603	645	657	559	576	598
	zomer	mm	286	309	317	266	277	295
neerslagtekort	voorjaar	mm	76	84	87	n/a		
	zomerhalfjaar	mm	160	195	216	144	150	187
	zomerhalfjaar T=10	mm	265	307	345	230	242	288

De inzichten over watervraag en waterbeschikbaarheid in een warmer klimaat veranderen regelmatig door nieuw onderzoek. Voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS) zijn in 2023 inschattingen gedaan van de toenemende watervraag voor doorspoelen als gevolg van versnelde zeespiegelstijging (0,5; 1; en 3 m). Hierbij zijn dezelfde streefconcentraties gehanteerd passend bij het huidige landgebruik.

Al bij 1 m zeespiegelstijging werd ingeschat dat de doorspoelvraag in sommige regio's kan verviervoudigen (Figuur 2.1).

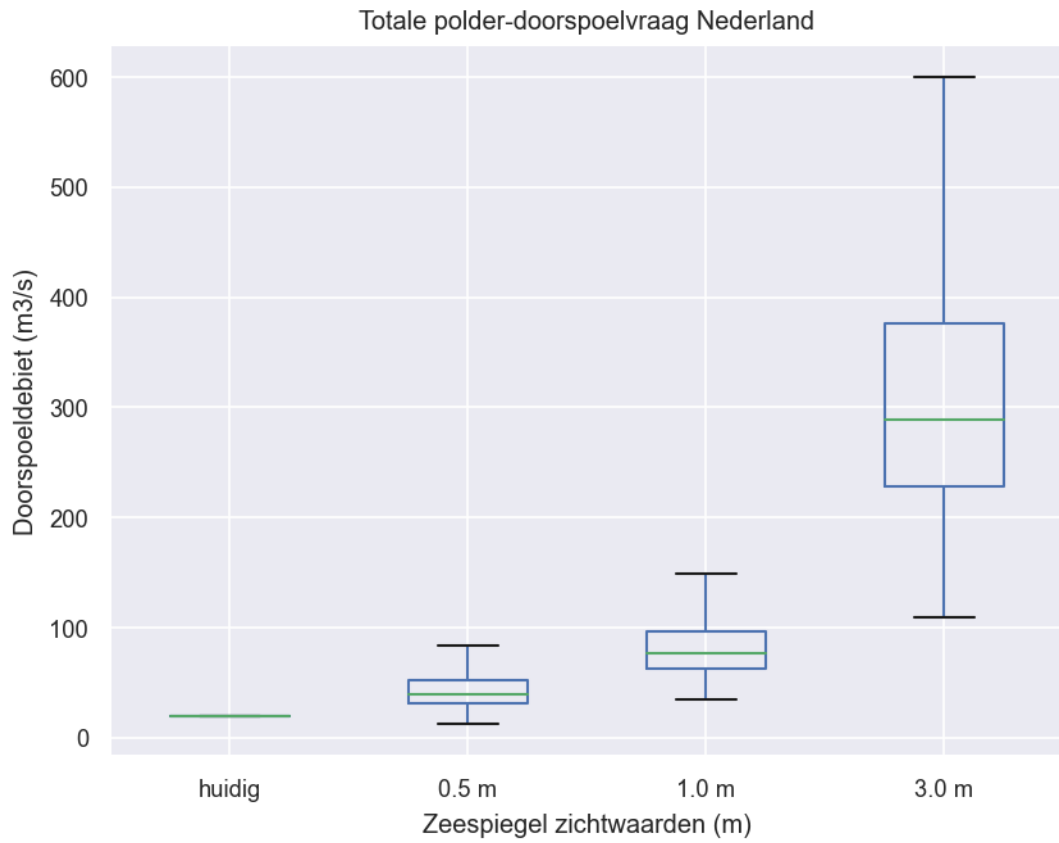
Ook het peilbeheer in de veenweidegebieden is een grote watervrager, met een hoge prioriteit volgens de verdringingsreeks. In een warmer klimaat zal meer aanvoer nodig zijn om de verdamping in deze peilbeheerste gebieden te compenseren. Deze vraag neemt verder toe door het mitigatiebeleid waarbij de veenweidegebieden vernet worden om uitstoot van CO<sub>2</sub> te verminderen en op termijn CO<sub>2</sub> neutraal te worden. Dit zorgt voor een extra toename in de watervraag voor peilbeheer met circa 35% in droge jaren (America-Van den Heuvel et al., 2023).

Op den duur kan tijdens droogte niet in alle vraag meer worden voorzien, waardoor de waterkwaliteit verslechtert (zie Boerlijst en Dellar, 2026), en er moeilijke afwegingen moeten worden gemaakt tussen het stremmen van scheepvaart en het faciliteren van de gewenste waterkwaliteit voor natuur, industrie, drinkwater en landbouw.

De zoetwaterbalans van laag-Nederland (Mens et al., 2024; Figuur 2.2) laat zien hoe het landelijke watertekort (het verschil tussen watervraag en wateraanbod vanuit het hoofdwatersysteem) tijdens extreme droogte zich ontwikkelt in de contextscenario's. Hiervoor zijn de oude berekeningen voor DPZW en recente inzichten gecombineerd in een waterbalans voor een extreem droge zomermaand met een geschatte herhalingsstijd van 30 tot 50 jaar. Wel is hierbij dus nog uitgegaan van de oude KNMI'14 scenario's. Uit de waterbalans blijkt dat de watertekorten tijdens extreem droge zomers flink toenemen als het klimaat verder opwarmt én de zeespiegel verder stijgt. Bij 1 meter zeespiegelstijging is de watervraag aan het hoofdwatersysteem ongeveer twee keer zo groot als de wateraanvoer via de Rijn.

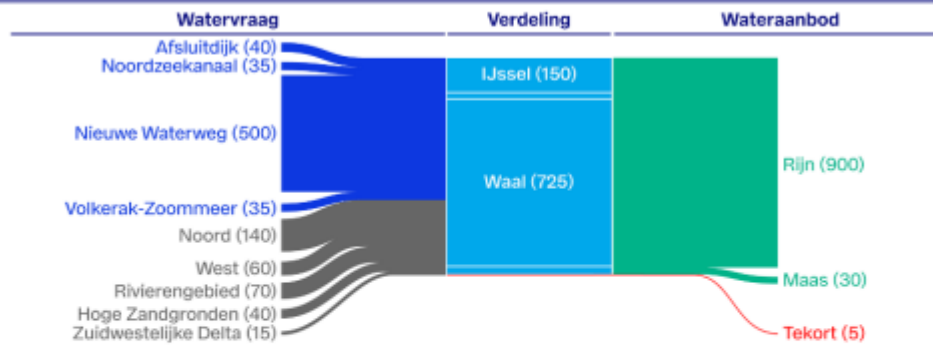
De contextscenario's in het hoofdrapport van PBL verwijzen naar de nieuwste KNMI'23 scenario's. De nieuwe inzichten van KNMI'23 geven onder andere een snellere toename van het neerslagtekort. Zo is het neerslagtekort in een droog jaar (met een herhalingsstijd van 10 jaar) in het meest droge KNMI'23 Hd2050 scenario 20% groter dan in het meest droge KNMI'14 Wh2050 scenario, terwijl de gemiddelde temperatuur in NL in beide scenario's ongeveer gelijk is (Tabel 2-1). Het neerslagtekort is een bepalende factor voor de regionale watervraag, en daarom past de waterbalans bij '2 graden opwarming en 0,4 m zeespiegelstijging' met de nieuwe inzichten beter bij (beperkt risicoverhogende contextscenario voor 2050 (onderkant van de bandbreedte). In dit scenario wordt het watertekort ingeschat op 460 m<sup>3</sup>/s. De watertekorten in het sterk risicoverhogende contextscenario voor 2050 (bovenkant van de bandbreedte) zijn naar schatting 50 m<sup>3</sup>/s (~10%) groter dan getoond in de waterbalansfiguren.

Kortom, zonder aanvullende maatregelen zal het watertekort in 2050, in een zeer droog jaar, minimaal toenemen naar 460 m<sup>3</sup>/s, de onderkant van de bandbreedte. Indien grote delen van het veenweidegebied worden vernet zullen de tekorten in 2050 nog groter worden.

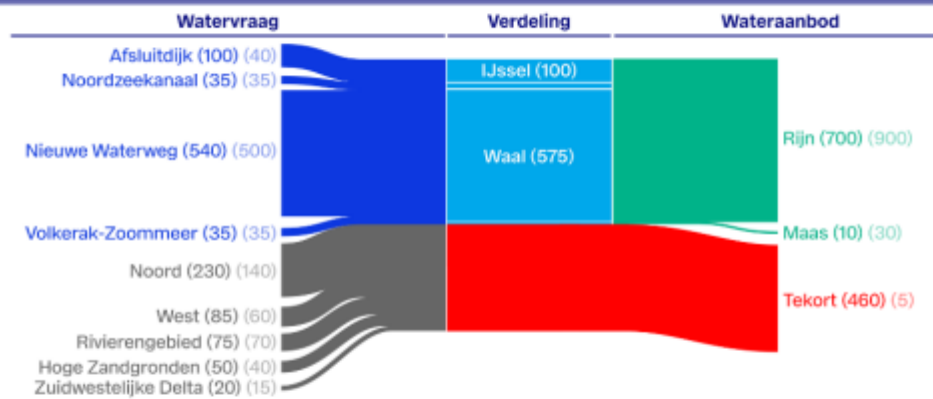


*Figuur 2.1 Modelgebaseerde inschatting van de totale polder-doorspoelvraag in Nederland als functie zeespiegelstijging (Delsman et al., 2022).*

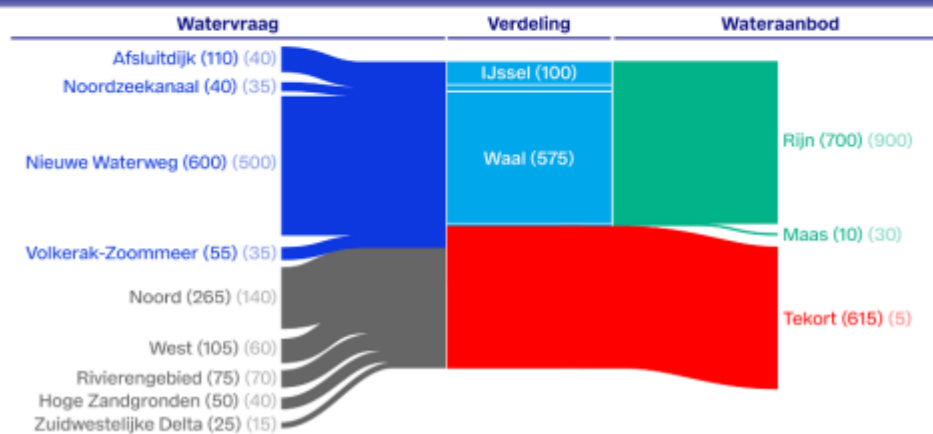
## Waterbalans in droge zomer in huidige klimaat Deltares



## Waterbalans bij 2° opwarming en 0,4 m zeespiegelstijging Deltares



## Waterbalans bij 2° opwarming en 1 m zeespiegelstijging Deltares



Figuur 2.2 Landelijke waterbalans voor een extreem droge zomermaand (jaarlijkse herhalingsstijd van ongeveer 30 tot 50 jaar) in het huidige klimaat en in de 3 verschillende scenario's. De waarden van het huidige klimaat zijn tussen haakjes weergegeven. (bron: Mens et al., 2024)

## 2.1.2 Beleidsmaatregelen

Het Deltaprogramma Zoetwater is erop gericht maatregelen uit te voeren waarmee de weerbaarheid tegen watertekorten wordt vergroot. Zo is in de huidige uitvoeringsfase (2022 – 2027) onder andere geïnvesteerd in Slim Watermanagement, dat informatievoorziening en infrastructuur verbetert zodat water gericht verdeeld kan worden tijdens lage afvoeren en dreigende verzilting. Ook is in een aantal gebieden de aanvoercapaciteit vergroot om meer water vanuit het hoofdwatersysteem naar de regionale watersystemen te kunnen brengen. Een voorbeeld hiervan is de doorvoerroute Krimpenerwaard. Tot slot zijn er pilots uitgevoerd om nieuwe vormen van landbouw of andere waterbronnen te onderzoeken. Zo is er geëxperimenteerd met natte en zouttolerante teelten.

De inspanningen lijken echter niet snel genoeg te gaan om de klimaatverandering bij te houden. Een recente, semi-kwantitatieve analyse liet zien dat de kans op watertekort in het scenario Stoom2050, ondanks de voorgenomen maatregelen uit het Deltaplan2022, groter is geworden (Mens et al., 2025). Dit komt deels doordat in eerdere studies de watervraag van onder andere de sluisen in de Afsluitdijk werd onderschat en de extra watervraag van peilopzet in het veenweidegebied (voor klimaatmitigatie) nog niet werd meegenomen. Voor een ander deel komt het doordat neerslagtekorten volgens KNMI'23 sneller toenemen dan volgens KNMI'14 (Tabel 2-2). Een eenvoudige waterbalansberekening liet zien dat het watertekort bij frequente droogtes (herhalingstijd van circa 10 jaar) in regio Noord hierdoor twee keer zo groot kan worden in 2050 dan eerder gedacht (Mens et al., 2025).

Tabel 2-2 Gemiddeld neerslagtekort (mm) voor het zomerhalfjaar, gepresenteerd voor herhalingstijden T=2, T=5, T=10 en T=20, voor de referentie en Wh2050 van KNMI'14 en referentie, Hd2050 en Hd2100 van KNMI'23. (bron: Mens et al., 2025)

Herhalingstijd (jaren)	KNMI'14		KNMI'23			Verschil (KNMI'23 – KNMI'14) (%)	
	REF	2050Wh	REF	2050Hd	2100Hd	REF	2050
2	156	210	169	221	248	8	5
5	200	261	226	294	302	13	13
10	231	298	256	329	336	11	10
20*	312	371	310	365	406	-1	-2

\*De schattingen voor T20 zijn zeer onzeker door de relatief korte lengte van de reeksen.

## 2.2 Wat betekent klimaatverandering voor het grondwatersysteem?

### 2.2.1 Probleemschets

Het grond- en oppervlaktewatersysteem is de afgelopen halve eeuw grotendeels ingericht om de landbouw te faciliteren en in de drinkwatervraag te voorzien. Dit, in combinatie met reeds opgetreden klimaatverandering, heeft geleid tot de verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden, afname van de afvoer van beken en tot afname van kwelstromen welke o.a. vanwege hun specifieke waterkwaliteit belangrijk zijn voor vele soorten. Ook buiten genoemde natuurgebieden is sprake van verdroging, met name in peilbeheerste gebieden en kwelgebieden. Dit alles betekent dat de benodigde condities om natuurdoelen te halen verslechteren (verdroging) en er steeds vaker behoefte is aan beregening uit grondwater voor de landbouw. De mate van verdroging, uitgedrukt als gemiddelde daling van de grondwaterstand, als gevolg van aanpassingen in het watersysteem ten behoeve van o.a. de landbouw bedraagt grofweg 20-50 cm (CLO, 2003). Zonder aanvullend beleid zal dit probleem groter worden.

In grote delen van de zandgronden worden de zomergrondwaterstanden lager bij sterke klimaatverandering. In de knelpuntenanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater (Mens et al., 2020 en Hunink et al., 2019) is de mogelijke verandering van het grondwaterregime in de Deltascenario's beschreven. We richten ons hier op de scenario's Warm en Stoom, die beide uitgaan van het KNMI'14 Wh scenario. Het verschil tussen Warm en Stoom is de verhaallijn voor socio-economische groei. Het hoge WLO2015-scenario (Welvaart- en Leefomgeving) in Stoom vertaalt zich in een grotere toename van onttrekkingen voor drinkwater en industrie. Daarnaast hebben beide scenario's een iets andere landgebruikskaat. De verwachting is dat in grote gebieden de zomergrondwaterstanden met 10-50 cm dalen, dichtbij onttrekkingslocaties zijn bij productieverhogingen nog veel sterkere dalingen mogelijk. Ook extremen nemen toe, waardoor de natuur in droge zomers steeds vaker een extra klap krijgt.

In de meest recente KNMI'23 scenario's is het hoge scenario droger dan het hoge scenario uit KNMI'14. Mens en Janssen (2025) geven een kwalitatieve duiding op hoe dit door kan werken in de gemiddelde zomergrondwaterstanden (GLG). De verwachting is dat in het droogste scenario (Hd2050) de gemiddelde laagste grondwaterstanden sterker zullen afnemen dan eerder gedacht. Dit speelt het sterkst in de zandgebieden. Een speciaal geval vormen de grotere infiltratiegebieden zoals de Veluwe, Drents Plateau en Utrechtse Heuvelrug; waar in het hoge KNMI'14 Wh-scenario de grondwaterstanden in deze gebieden nog stegen als gevolg van een sterk toenemend neerslagoverschot in het winterhalfjaar, zullen deze in Hd2050 waarschijnlijk ook dalen omdat het neerslagoverschot in het winterhalfjaar in Hd2050 nauwelijks stijgt, terwijl het neerslagtekort in het zomerhalfjaar juist sterk toeneemt.

### **2.2.2 Beleidsmaatregelen**

Meer dan de helft van de investeringen in de tweede fase van het Deltaplan Zoetwater, van start gegaan in 2022, is voorzien op de Hoge Zandgronden, met als doel de omslag te maken naar het beter vasthouden van water. Overige maatregelen zijn gericht op het effectiever en doelmatiger verdelen van het beschikbare water, het gebruik van alternatieve bronnen (zoals effluent en brakke kwel) en een (klimaat)robuuste inrichting en beheer van het watersysteem. Ook wordt geïnvesteerd in innovaties in onder meer de landbouw.

## 3 Uitwerking van de adaptatiescenario's: transformeren en intensiveren

### 3.1 Verhaallijn

De adaptatiescenario's weerspiegelen twee fundamenteel verschillende insteken in het adaptatiebeleid, die voor een belangrijk deel normatief zijn. Zo ligt bij *Intensiveren* meer nadruk op de huidige ruimtelijke strategie, activiteiten en omstandigheden. Verder is dat scenario gebaseerd op meer vertrouwen in de techniek. Waar dat economisch rendabel is, wordt met technische innovaties (druppelirrigatie, ondergronds bergen) water bespaard. In *Transformeren* is de nadruk op een meer systemische aanpak met ruimtelijke veranderingen, met meer belang voor het zoeken naar synergie en afstemming tussen sectoren in ruimte en tijd. Beide scenario's streven naar een meer klimaatbestendig Nederland, maar resulteren in een andere invulling en vorm van klimaatbestendigheid, en in een andere ruimtelijke verdeling van activiteiten en functies.

### 3.2 Maatregelen in het aanvoergebied van laag-Nederland

Om in te schatten hoe de verhaallijnen doorwerken op watertekorten in laag-Nederland zijn de verhaallijnen in verschillende expertsessies met PBL en andere kennisinstellingen vertaald naar een set maatregelen. Vervolgens is dit vertaald naar concrete modelinvoer voor de waterbalanstool QWAST (Horváth, 2020; Horváth et al., 2025), zie Bijlage A. De resultaten hiervan worden in Hoofdstuk 4 besproken. Als doel is aangenomen dat watertekorten niet vaker mogen voorkomen dan eens in de 20 jaar. Oftewel: in de 5% droogste jaren worden watertekorten geaccepteerd. Dit is de zogenaamde werkopgave waarmee in de voorbereiding van DPZW fase 3 gewerkt is. In dit rapport gebruiken we dit doel als houvast om de adaptatiescenario's met elkaar te vergelijken. Daarnaast kijken we naar extreme droogtes, omdat maatregelen soms een ander effect hebben in de extreme situaties.

Maatregelen om de adaptatiescenario's te vullen komen uit 3 categorieën (Tabel 3-1):

- 1 Land- en watergebruik aanpassen zodat de watervraag kleiner wordt en droogte minder impact heeft op gebruiksfuncties.
- 2 Regionale waterbeheer aanpassen om in de vraag te kunnen voorzien
- 3 Hoofdwatersysteem aanpassen om in de vraag te kunnen voorzien

Het verschil tussen de adaptatiescenario's zit in de volgorde waarin de maatregelen worden uitgevoerd. Bij *Transformeren* werken we daarbij van 1 naar 3, en bij *Intensiveren* juist andersom. Op voorhand was niet bekend in hoeverre maatregelen uit de 3 categorieën voldoende zouden zijn om het doel te halen. Daarom zijn de berekeningen stapsgewijs opgebouwd. Merk op dat veel grove aannames zijn gedaan en er in de praktijk veel meer combinaties mogelijk zijn en er variatie mogelijk is in het dimensioneren en temporiseren van maatregelen.

In *Transformeren* worden maatregelen in het hoofdwatersysteem zo lang mogelijk uitgesteld, behalve het afsluiten van de Nieuwe Waterweg in 2050. Om verzilting tot die tijd te beheersen wordt de Nieuwe Waterweg verondiept en worden surplusdebieten voor de Lek vergroot. Er is wel meer ruimte voor tijdelijk oplopende zoutconcentraties vanwege de grotere buffercapaciteit van de drinkwaterbedrijven langs de Lek. Ook PWN (innamepunt IJsselmeer) kan beter omgaan met tijdelijke verhoging van chlorideconcentratie van het IJsselmeer.

Het crisisbeheer is er bovendien op gericht dat scheepvaart wordt gestremd indien een watertekort dreigt. Aanvullend worden er zoutbeperkende maatregelen genomen bij de sluisen in de Afsluitdijk. Zo kan de doorspoelbehoefte van de Afsluitdijk teruggebracht worden naar 10 m<sup>3</sup>/s. Dit minimum spoeldebiet blijft ook voor vismigratie nodig. Brielse Meer kan alleen zoet worden gehouden als het Spui wordt afgesloten van het Haringvliet. Het Volkerak-Zoommeer wordt ook zout.

Bij *Intensiveren* wordt de oplossing zoveel mogelijk eerst in het hoofdwatersysteem gezocht. In regio Noord betekent dit een verdubbeling van de bufferschijf IJsselmeer/markermeer, in combinatie met de aanvoerroute via het Amsterdam-Rijnkanaal (zie uitleg onder regionaal systeem). In regio West wordt de KWA vergroot en zijn grotere surplusdebieten voor de Hollandsche IJssel en Lek nodig. De verdere verzilting van de Rijn-Maasmonding wordt deels tegengegaan door het verondiepen van de NWW. De capaciteiten van de doorvoerroutes in het hoofdwatersysteem (zoals Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand en Irenesluizen) worden vergroot.

Bij meer dan 1 m zeespiegelstijging wordt het verval over Hagestein kleiner en daarmee de mogelijkheden om onder vrij verval water aan te voeren voor de Lek en een deel van de KWA. In eerste instantie zal Hagestein vervangen of stroomopwaarts verplaatst worden en indien nodig worden de aanvoerroutes en innamepunten voor drinkwater meer oostwaarts verplaatst.

De redeneerlijn voor de Rijn-Maasmonding is in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

Tabel 3-1 Overzicht van zoetwatermaatregelen per deelgebied en per adaptatiescenario (focus watertekort)

Deelgebied of sector	Bodemsoort of sector	Intensiveren	Transformeren
Drinkwater			Minder onttrekkingen (want minder vraag)
Landbouw	Veen	Huidig landgebruik	Meer natte teelten
	Zeeklei	Innovatieve drainage, <i>aquifer storage and recovery</i> (ASR) in kreekkruggen	Deels accepteren, minder zoutgevoelige gewassen (regenwaterlens en aanvullen met iets brakker water)
	Rivierklei	Aanvoer vergroten en inlaatpunten verplaatsen	Teelten aanpassen; geen verdere groei van fruitteelt
Drinkwater		Toename opvangen door nieuwe locaties of meer rivierwinnings (verschuiving grondwater -> oppervlaktewater)	Minder vraag
		Nieuwe zuiveringstechnieken	Verplaatsen naar minder gevoelige gebieden.
		Meer reservecapaciteit of overstap op ontzilting	
Regionaal watersysteem	Peilbeheer veengebieden	Op grote schaal onderwaterdrainage en hogere slootpeilen	Flexibeler peilbeheer en gebieden sterk vernatten
	Doorspoelen verzilte kleigebieden	Geen aanpassingen	Vraag sterk reduceren door slimmer doorspoelen, en hogere concentraties accepteren
	Wateraanvoer	Meer aanvoercapaciteit van HWS naar regio's, zoals ARK-route instellen, KWA vergroten en pompcapaciteit Eefde vergroten (Twentekanalen)	

Deelgebied of sector	Bodemsoort of sector	Intensiveren	Transformeren
Hoofdwatersysteem	Wateraanvoer	Grotere bufferschijf IJsselmeer / Markermeer	Alleen vergroten van buffer als het nodig is in de toekomst
		Verondiepen NWW, en vergroten surplusdebiet om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden	Afsluiten Nieuwe Waterweg, tot die tijd vergroten surplusdebiet om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden
	Sluizen	Zoutindringing bij sluizen beperken met technische maatregelen zoals zoutvang	Soms iets hogere zoutconcentraties accepteren,

### 3.3 Integrale systeemkeuze in de Rijn-Maasmonding

In de Rijn-Maasmonding is een grote samenhangende systeemkeuze nodig voor waterveiligheid, zoetwatervoorziening, waterkwaliteit/ecologie, en scheepvaart. We besteden daarom apart aandacht aan dit gebied in het uitwerken van de verhaallijnen.

#### 3.3.1 Intensiveren

De insteek is om functies zo lang mogelijk en zo goed mogelijk te blijven bedienen en het huidige beschermingssysteem zo lang mogelijk te behouden. Dat betekent dat de Nieuwe Waterweg (NWW) open blijft totdat het echt niet meer kan. Dan wordt het alsnog afgesloten met binnenvaartsluizen. Die beslissing wordt zo lang mogelijk uitgesteld. Met zeespiegelstijging en verandering van afvoeren betekent dit voor waterveiligheid: vaker wateroverlast in buitendijkse gebieden en op termijn deze gebieden opgeven of op een andere manier bescherming bieden, bijvoorbeeld met alsnog afsluiten van de Nieuwe Waterweg. Voor zoetwater betekent dit zo lang mogelijk surplusdebieten om HIJ en Lek zoet te houden, eventueel verondiepen NWW en op termijn afsluitbaar maken van HIJ en Lek. De Oude Maas zal snel een kering moeten krijgen om zoutindringing tegen te gaan en op die manier Brielse Meer als zoetwaterbuffer te behouden. Of er kan gekozen worden voor grootschalig verondiepen. Beide opties zijn nadelig voor scheepvaart.

Scheepvaart kan nog lang doorgaan zoals nu, maar met steeds meer beperkingen door de 'oprekmaatregelen' en op termijn mogelijk een grote 'klap' door het alsnog afsluiten van de Nieuwe Waterweg. In voorbereiding hierop vindt een langzame verschuiving plaats van havens in binnenland (Moerdijk en Dordrecht en deels Rotterdam) naar de Maasvlakte, zodat zeeschepen niet meer zo ver hoeven en de diepgang ook minder kan. Voor waterkwaliteit en ecologie betekenen deze maatregelen dat extremen in verzilting, opwarming, verdroging en de onderlinge interacties voor de ecologie lastiger op te vangen zullen zijn. Deels door de beperkingen in migratieroutes, de verondieping en deels door het gebrek aan geleidelijke overgangen. De hoofdroute voor vismigratie via NWW wordt afgesloten met consequenties lager in de voedselketen, tenzij de route wordt verplaatst naar het (deels open) Haringvliet (zie Boerlijst en Dellar, 2026).

#### 3.3.2 Transformeren

In deze verhaallijn wordt de keuze gemaakt om in de komende 25 jaar toe te werken naar het beschermen van de Randstad door het afsluiten van de Nieuwe Waterweg (en de verbindingstakken zoals Spui, Dordtse Kil en Beneden Merwede) en de open verbinding met zee te verplaatsen naar het Haringvliet.

Ten opzichte van een open Nieuwe Waterweg bespaart dit op de lange termijn dijkversterkingskosten verder landinwaarts, buitendijkse gebieden hebben minder kans op wateroverlast en er zijn minder beperkingen voor woningbouw omdat er minder ruimte vrij hoeft te worden gehouden voor toekomstige dijkversterking. Door de open verbinding Haringvliet neemt de dijkopgave langs het Haringvliet en de gebieden verder bovenstreams onder invloed van zeespiegelstijging wel toe. Scheepvaart moet zich anders gaan organiseren met overslag naar binnenschepen op de Maasvlakte. Er vindt een snelle verschuiving plaats van havens in binnenland (Moerdijk en Dordrecht en deels Rotterdam) naar de Maasvlakte, zodat zeeschepen niet meer zo ver hoeven en de diepgang ook minder kan.

Ten aanzien van de zoetwatervoorziening neemt de watervraag minder snel toe door aanpassingen in het landgebruik, en door de keuze voor binnenvaartsluizen is de zoutproblematiek beheersbaar. Wel is nog steeds veel rivierwater nodig om de inlaatpunten langs de Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden. Er wordt ingezet op surplusdebieten voor het zoethouden van HIJ en Lek indien nodig. Iets meer zoutindringing kan worden geaccepteerd omdat de drinkwaterbedrijven ook inzetten op meer reserve en ontziltingstechnieken. Brielse Meer kan alleen zoet worden gehouden als het Spui wordt afgesloten van het Haringvliet. Het Volkerak-Zoommeer wordt ook zout.

Voor waterkwaliteit betekenen deze aanpassingen een vermindering in beperkingen op de hoofd-vismigratieroute van Nederland, een toename van brakwater natuur en bijbehorende dynamiek en een geleidelijke overgang in tijd hiernaartoe. Hierdoor is er een betere vertegenwoordiging van nu beperkt vertegenwoordigde brakwater natuur, biedt de ruimte voor natuurlijke processen een zachtere overgang aan de gemeenschap om zich zo aan te kunnen passen of te verplaatsen en kunnen extremen beter worden opgevangen (Boerlijst en Dellar, 2026).

### 3.4 Maatregelen in vrij-afwaterend hoog-Nederland

Ook in relatie tot het grondwatersysteem van de Hoge Zandgronden schetsen de twee adaptatiescenario's zeer verschillende toekomstbeelden. Tabel 3-2 geeft een overzicht van maatregelen die passen bij de twee scenario's.

*Intensiveren* richt zich op het voortzetten van huidige functies en economische activiteiten: het systeem wordt aangepast aan de functie. Technische maatregelen staan centraal om klimaatimpact te beperken, zoals innovatieve irrigatie, waterbuffers, kunstmatige aanvulling en infiltratiesystemen. Landbouw blijft grootschalig en gemechaniseerd, met droogteresistente gewassen, druppelirrigatie en precisielandbouw. Het watersysteem wordt actief beheerd, inclusief inlaat van gebiedsvreemd water waar rendabel. De ruimtelijke structuur verandert nauwelijks: landbouw blijft dominant, natuuruitbreiding beperkt zich tot afronding van het Natuurnetwerk Nederland, stedelijke groei volgt economische logica.

Het scenario *Transformeren* kiest een fundamenteel andere koers. Hier staat 'functie volgt systeem' centraal: water en bodem sturen het landgebruik. Wateraanvoer stopt, landbouw past zich aan natuurlijke beschikbaarheid aan. Dit leidt tot forse extensivering, meer natuurinclusieve landbouw en veel extra natuur. Grote delen worden ingericht voor herstel van hydrologische processen, zoals infiltratie en beekherstel, om grondwaterstanden te verhogen. Bufferzones, loofbos en kruidenrijke graslanden beperken verdamping en versterken biodiversiteit. De Hoge Zandgronden krijgen zo een groener karakter, waarin landbouw een kleinere rol speelt en natuurontwikkeling wordt gecombineerd met energieopwekking en recreatie.

Tabel 3-2 Overzicht van zoetwatermaatregelen per deelgebied en per adaptatiescenario (focus grondwatersysteem in hoog-Nederland)

Deelgebied of sector	Bodemsoort	Intensiveren	Transformeren
Landbouw	Zand	Meer beregend areaal, wel druppelirrigatie, peilgestuurde drainage, maaiveldafvoer beperken, afkoppelen bebouwd gebied	Beregend areaal neemt af in bufferzones, de rest gelijk
Drinkwater	Zand	Toename drinkwatervraag opvangen door nieuwe locaties of meer rivierwinningen	Minder onttrekkingen (want minder vraag) en deels verplaatsen naar rivieren
Waterbeheer	Zand	Actieve infiltratie i.s.m. drinkwaterbedrijven  Nieuwe onttrekkingslocaties om in vraag te voorzien	Bufferzones rondom natte natuur en beekdalen. Verhoging van grondwaterstanden door extensiveren van ontwateringssysteem in bufferzones en in beekdalen
		Meer grondwaterbronnen aanboren, o.a. nieuwe onttrekkingslocaties benutten in Aanvullende Strategische Voorraden (ASV)	Vraagreductie
Natuur			Omvorming van naaldbos naar heide of loofbos
			Uitbreiding natuurareaal

## 4 Gevolgen voor watertekorten in laag-Nederland

*In dit hoofdstuk analyseren we de effecten van de twee adaptatiescenario's op watertekorten in laag-Nederland met behulp van berekeningen met de Quick Water Allocation Scan Tool (QWAST; Horváth et al., 2025). Hierbij kijken we specifiek naar watertekorten voor de regio Noord (gebieden die afhankelijk zijn van aanvoer uit het IJsselmeer en Markermeer) en regio West - extern verzilt (afhankelijk van aanvoer uit de Hollandsche IJssel en Lek). De berekeningen zijn alleen uitgevoerd voor het Stoom-scenario (bovenkant van de bandbreedte en representatief voor het sterk risicoverhogende scenario). Voor zichtjaar 2050 is een 100-jarige reeks doorgerekend, zodat we een inschatting konden doen van de watertekorten bij een herhalingstijd van 20 jaar. Voor zichtjaar 2100 was slechts een reeks van 30 jaar beschikbaar. De analyse richt zich grotendeels op de frequentiecurve bij Stoom2050, om de watertekorten bij T=20 af te lezen. Daarnaast is gekeken naar het watertekort bij extreme droogte (hoogste berekende watertekort) voor zowel Stoom2050 als Stoom2100.*

### 4.1 Overzicht modelinstellingen en aannames

In QWAST zijn aannames nodig over de watervraag en de capaciteit van het waterverdelingssysteem. De watervraag is uitgesplitst naar 5 type watervragers: doorspoelen hoofdwatersysteem (bij sluizen en in de Nieuwe Waterweg), doorspoelen polders, beregening, peilbeheer in veengebieden, en drinkwater/industrie vanuit oppervlaktewater. Daarnaast kan gekozen worden voor meer aanvoercapaciteit naar regio's, andere waterverdeling tussen regio's of meer buffering in het IJsselmeer en Markermeer. De waterbalansberekening is stapsgewijs opgebouwd aan de hand van de 3 eerder besproken categorieën, waarbij Intens2/Trans2 voortbouwt op Intens1/Trans1 en Intens3/Trans3 voortbouwt op Intens2/Trans2. Tabel 4-1 en Tabel 4-2 geven een overzicht van de modelinstellingen per berekening per adaptatiescenario. De aannames worden in Bijlage A verder toegelicht. Het overzicht van de aannames is te vinden in Tabel 4-1 en Tabel 4-2. Merk op dat veel grove aannames zijn gedaan en er in de praktijk veel meer combinaties mogelijk zijn en meer variatie in het dimensioneren en temporiseren van maatregelen. In de volgende paragrafen worden de resultaten per regio besproken.

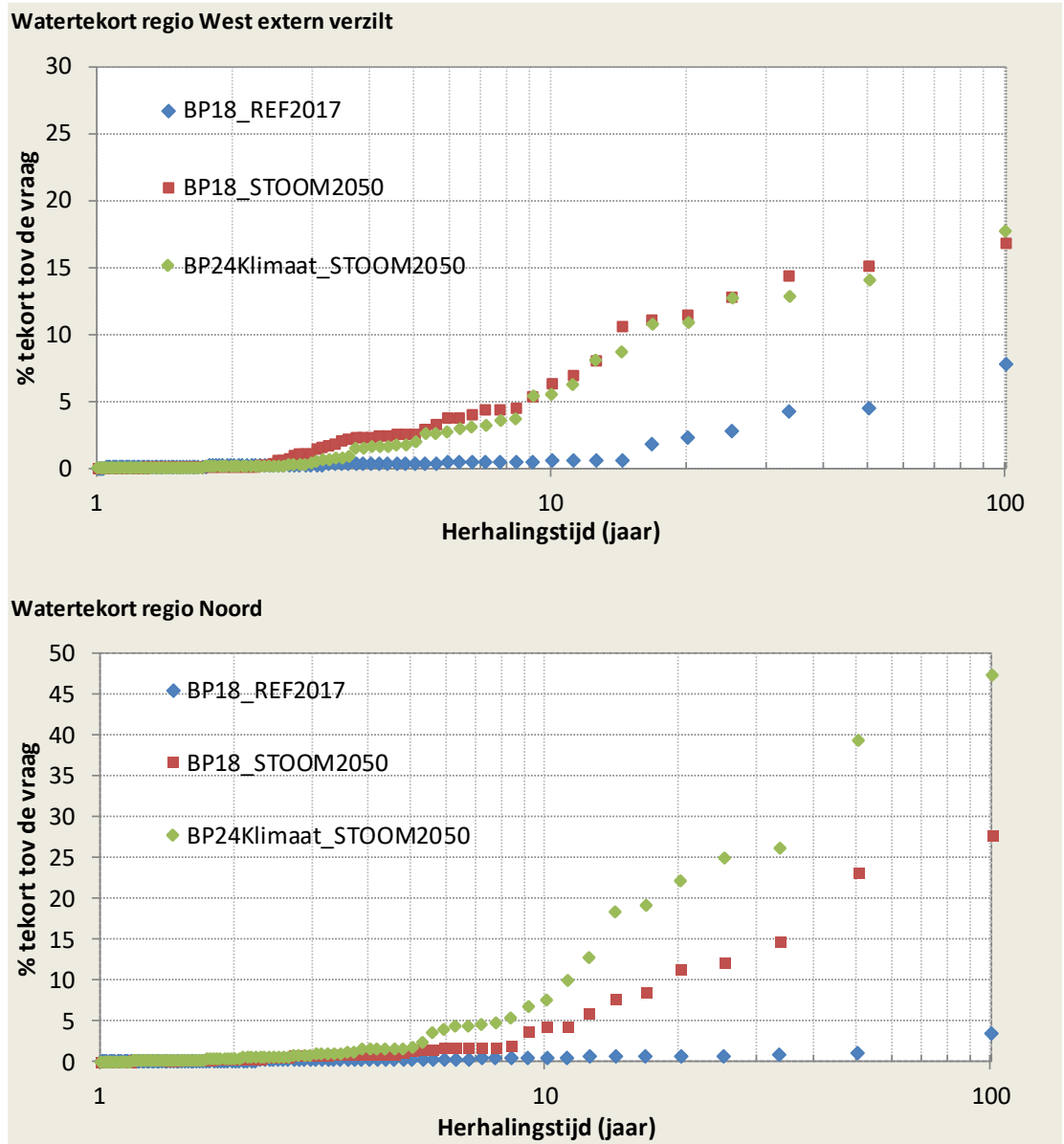
In totaal zijn er 18 berekeningen uitgevoerd met QWAST (Tabel 4-3). Vanuit eerdere studies was in QWAST de watervraag en de waterbeschikbaarheid van de Basisprognoses2018<sup>1</sup> beschikbaar, welke met het Nationaal Water Model zijn gegenereerd. Deze gaan echter nog uit van de KNMI'14 scenario's en verouderde inzichten over de werking van het hoofdwatersysteem en de doorspoelbehoefte van regio's. Waar mogelijk is de watervraag bijgesteld met de nieuwste inzichten uit Mens et al. (2025). Dit heeft in QWAST de naam BP24 (basisprognoses 2024) gekregen, ook al zijn deze berekeningen niet eerst met het Nationaal Water Model uitgevoerd. Concreet gaat het om:

- Aanpassing van de polderdoorspoeling;
- Verhoging van de watervraag voor beregening en peilbeheer in lijn met het grotere neerslagtekort in de KNMI'23 scenario's;
- Uitvoering van de DPZW fase 2 maatregelen die gericht zijn op het vergroten van de aanvoercapaciteit van hoofdwatersysteem naar regionaal systeem (o.a. Krimpenerwaardroute);
- Grotere watervraag voor doorspoeling van de sluizen in de Afsluitdijk.

---

<sup>1</sup> [Basisprognoses 2018 | Informatiepunt Leefomgeving](#)

Voor de analyse in dit rapport is alleen de vergelijking met BP24\_Stoom 2050/2100 gebruikt. Figuur 4.1 laat het verschil zien tussen BP18 en BP24 voor zichtjaar 2050 met sterke klimaatverandering ("Stoom"). In regio West zijn de verschillen klein, doordat de watervraag groter is geworden, maar de aanvoer ook (Krimpenerwaardroute). In regio Noord is het percentage watertekort in BP24 significant groter dan in BP18.



Figuur 4.1 Vergelijking tussen de twee basisberekeningen met QWAST: BP18 en BP24. Boven: frequentieverdeling van het percentage watertekort in West-Nederland. Onder: frequentieverdeling van het percentage watertekort in Noord-Nederland.

Tabel 4-1 Overzicht van de modelaanpassingen per berekening voor het adaptatiescenario Transformeren (NB. procentuele veranderingen zijn gedefinieerd ten opzichte van het contextscenario Stoom2050).

Naam berekening	Maatregelcategorie	Maatregel met modelinstelling
Trans 1	Aanpassen van landgebruik/sectoren zodat watervraag verminderd wordt	Polderdoorspoeling: -40% (ruimtelijk gedifferentieerd)
		Beregeningsvraag: Noord: -22% West: -70% Rivieren: -70%
		Drinkwater en industrie: -20%
Trans 2	Aanpassen van het regionale watersysteem	Watervraag peilbeheer: extra watervraag door vernattingsopgave veenweide wordt opgevangen met meer lokale buffers en flexibeler peilbeheer. Netto geen verandering.
		Hollandsche IJssel en Lek worden zoet gehouden met extra aanvoer.
Trans 3	Aanpassen van het hoofdwatersysteem	Doorspoelvraag Afsluitdijk van 30 > 10 door zoutbeperkende maatregelen bij sluisen
		Vergroten van de buffer IJsselmeer met 20 cm
		Verondiepen Nieuwe Waterweg (indien > 1 m zeespiegelstijging)

Tabel 4-2 Overzicht van de modelaanpassingen per berekening voor het beleidsscenario Intensiveren (NB. procentuele veranderingen zijn gedefinieerd ten opzichte van het contextscenario Stoom2050).

Naam berekening	Maatregelcategorie	Maatregel met modelinstelling
Intens 1	Aanpassen van het hoofdwatersysteem	Doorspoelvraag Afsluitdijk van 30 > 10 door zoutbeperkende maatregelen bij sluisen
		Vergroten van de buffer IJsselmeer met 20 cm
		Verondiepen Nieuwe Waterweg (indien > 1 m zeespiegelstijging)
		Beperking Bernhardsluizen opgeheven.
Intens 2	Aanpassen van het regionale watersysteem	Watervraag peilbeheer: extra watervraag door vernattingsopgave veenweide wordt opgevangen met meer lokale buffers en flexibeler peilbeheer. Netto geen verandering.
		Aanvoercapaciteit West-NL wordt verder uitgebreid. Hollandsche IJssel en Lek worden zoet gehouden met extra aanvoer.
		ARKroute met capaciteit van 40 m <sup>3</sup> /s
Intens 3	Aanpassen van landgebruik/sectoren zodat watervraag verminderd wordt	Polderdoorspoeling: -40% ten opzichte van Stoom2050 (regionaal gedifferentieerd)
		Beregeningsvraag: Noord: -10% West: -33% Rivieren: -10% (ten opzichte van Stoom2050)
		Drinkwater en industrie: -5%

Tabel 4-3 Overzicht van de QWAST-berekeningen

Naam van de berekening	Toelichting
BP18_REF2017	Huidig klimaat, Basisprognoses 2018
BP18_STOOM2050	Stoom2050, Basisprognoses 2018
BP18_STOOM2085	Stoom2085/2100, Basisprognoses 2018
BP24Klimaat_REF2017	Huidig klimaat, Basisprognoses 2024
BP24Klimaat_STOOM2050	Stoom2050, Basisprognoses 2024
BP24Klimaat_STOOM2085	Stoom2085/2100, Basisprognoses 2024
Int1_STOOM2050	Intensiveren stap 1, scenario Stoom2050, BP24
Int1_STOOM2085	Intensiveren stap 1, scenario Stoom2085/2100, BP24
Int2_STOOM2050	Intensiveren stap 2, scenario Stoom2050, BP24
Int2_STOOM2085	Intensiveren stap 2, scenario Stoom2085/2100, BP24
Int3_STOOM2050	Intensiveren stap 3, scenario Stoom2050, BP24
Int3_STOOM2085	Intensiveren stap 3, scenario Stoom2085/2100, BP24
Trans1_STOOM2050	Transformeren stap 1, scenario Stoom2050, BP24
Trans1_STOOM2085	Transformeren stap 1, scenario Stoom2085/2100, BP24
Trans2_STOOM2050	Transformeren stap 2, scenario Stoom2050, BP24
Trans2_STOOM2085	Transformeren stap 2, scenario Stoom2085/2100, BP24
Trans3_STOOM2050	Transformeren stap 3, scenario Stoom2050, BP24
Trans3_STOOM2085	Transformeren stap 3, scenario Stoom2085/2100, BP24

## 4.2 Resultaten voor regio West (extern verzilt)

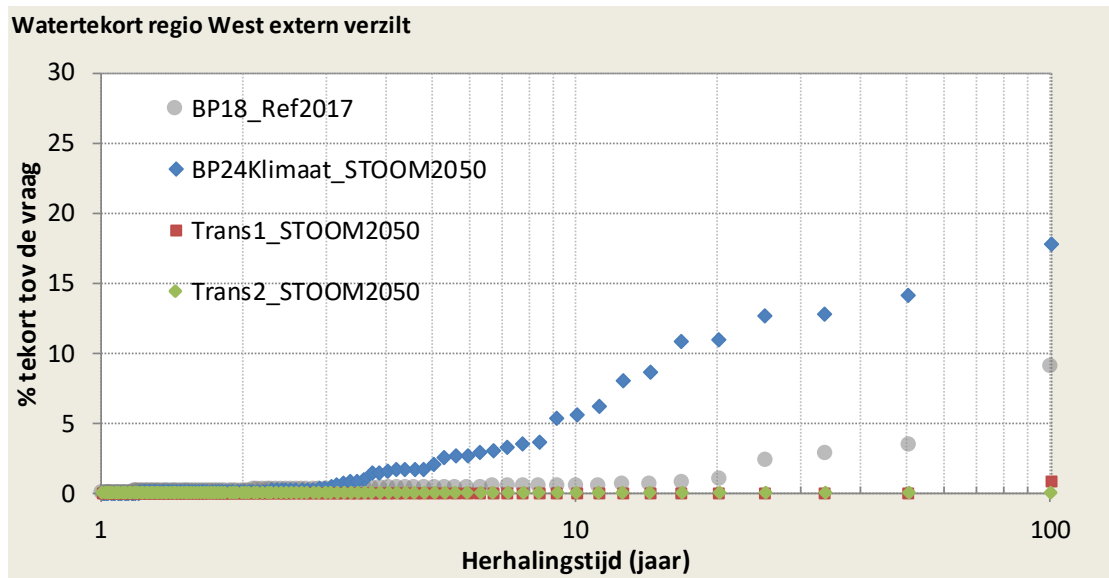
De watertekorten in regio West (extern verzilt) worden bij sterke klimaatverandering voornamelijk veroorzaakt door beperkte capaciteit van de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA), die bovendien steeds vaker moet worden ingezet als de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg toeneemt. Zonder aanvullend beleid zal de vraag steeds vaker de aanvoer- en doorvoercapaciteit overschrijden.

Als het landgebruik wordt aangepast (*Transformeren*) dan groeit de watervraag veel minder snel dan volgens Stoom2050 en is de KWA-capaciteit geen knelpunt meer tot aan 2050 (Figuur 4.2). Vanaf 2050 wordt in *Transformeren* de Nieuwe Waterweg afgesloten, maar de KWA zal nodig blijven omdat er nog steeds zout binnenkomt via de sluizen en te ver optrekt bij te grote onttrekkingen uit de Hollandsche IJssel (bij Gouda). Tussen 2050 en 2100 neemt de watervraag door klimaatverandering verder toe, waardoor in extreem droge jaren extra maatregelen nodig zijn als men tekorten wil voorkomen (Figuur 4.4). Opties zijn dan om de KWA alsnog te vergroten, of de waterverdeling aan te passen en eventueel inlaatpunten te verplaatsen.

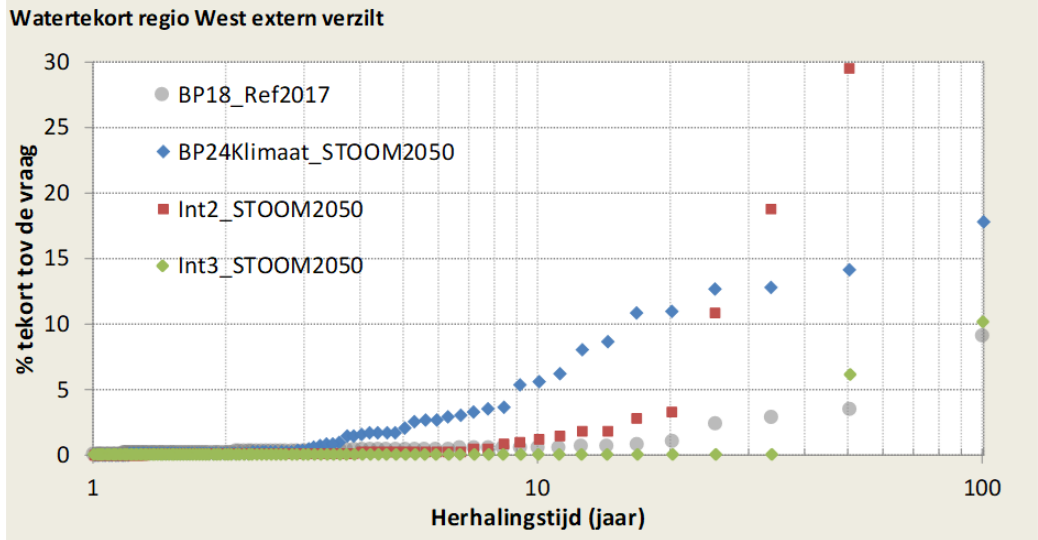
In *Intensiveren* blijft de Nieuwe Waterweg open en om de zoutindringing te beperken wordt deze verondiept. Daardoor is minder rivierwater nodig om tegendruk te bieden aan zoutindringing en kunnen de inlaatpunten langs Lek en Hollandsche IJssel, ondanks stijgende zeespiegel en afnemende Rijnafoer, in combinatie met gericht ophogen van de surplusdebieten tot 2100 nog zoet gehouden worden (Vuik et al., 2025). Hierdoor wordt de frequentie van benodigde inzet KWA beperkt, maar de capaciteit moet vergroot worden om in de toegenomen vraag te kunnen voorzien. In stap 1 van de berekening met QWAST is de beperking in capaciteit van de Bernardsluizen opgeheven, maar dit heeft weinig effect op het watertekort omdat het grootste knelpunt in de KWA-capaciteit zit. Deze capaciteit wordt in stap 2 van de berekening uitgebreid (Figuur 4.3). Figuur 4.5 laat zien dat desondanks de tekorten toenemen in een extreem droog jaar. Dat komt omdat regio Noord ook meer water nodig heeft, wat deels wordt aangevoerd via de ARK-route. In de berekening gaat dit ten koste van de beschikbaarheid voor regio West. In de praktijk duidt dit op een afweging in waterverdeling tussen Noord en West. Dit probleem treedt vooral op in extreme jaren. Voor meer frequente droogtes heeft de vergrote KWA-capaciteit een positief effect (Figuur 4.3), maar de tekorten kunnen niet helemaal voorkomen worden. Als aanvullend de watervraag wordt gereduceerd (stap 3) dan lukt het wel om watertekorten te voorkomen tot een herhalingsstijd van 30-40 jaar in zichtjaar 2050. Richting 2100 nemen de tekorten weer toe en zijn aanvullende maatregelen nodig.

Samenvattend:

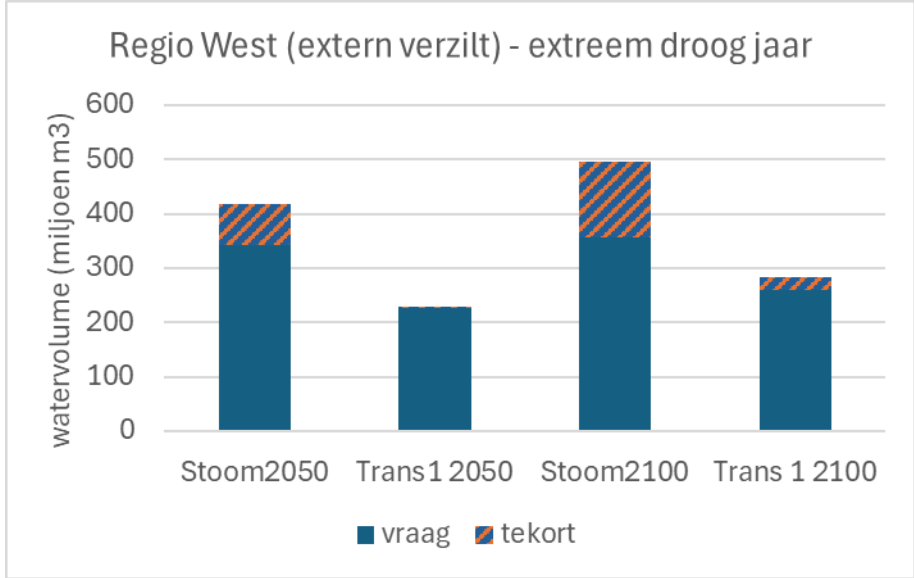
- In *Transformeren* worden de watertekorten in regio West op de lange termijn significant teruggebracht, ook in extreem droge jaren. Door te kiezen voor landgebruiksverandering en in 2050 het afsluiten van de Nieuwe Waterweg zijn er in het regionale watersysteem geen maatregelen nodig.
- In *Intensiveren* worden de watertekorten teruggebracht door de KWA-capaciteit uit te breiden, maar in extreme jaren blijven tekorten optreden door de bovenregionale waterverdelings-effecten. Richting 2100 nemen tekorten weer toe en zijn aanvullend landgebruiksveranderingen nodig.



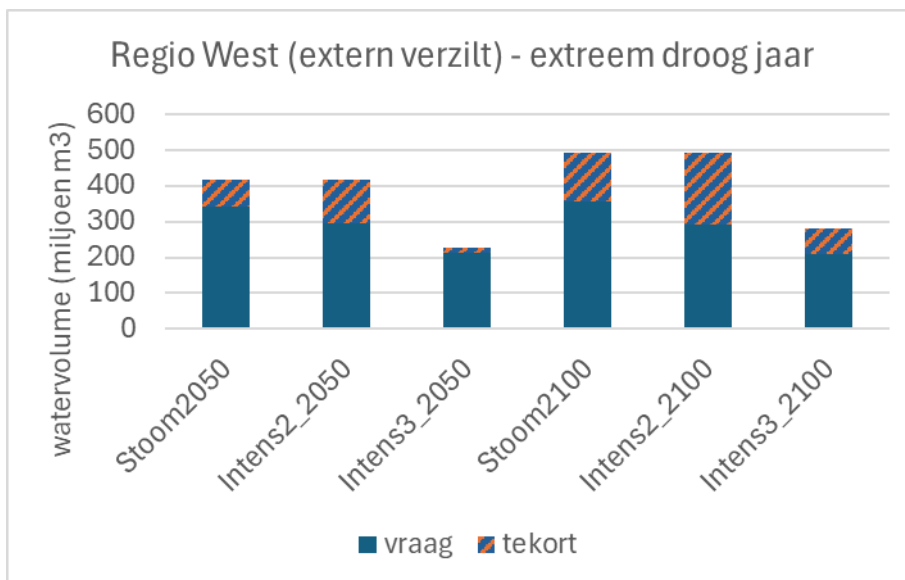
Figuur 4.2 Frequentieverdeling van het percentage watertekort in regio West (extern verzilt) voor huidig klimaat (BP18\_Ref2017), contextscenario Stoom2050 (BP24Klimaat\_STOOM2050) en stap 1 en 2 van **Transformeren** voor 2050 (Trans1\_STOOM2050 en Trans2\_STOOM2050). NB. stap 3 is niet berekend, omdat de aanname is dat er geen regionale watertekorten meer optreden bij het afsluiten van de Nieuwe Waterweg



Figuur 4.3 Frequentieverdeling van het percentage watertekort in regio West (extern verzilt) voor huidig klimaat (BP18\_Ref2017), contextscenario Stoom2050 (BP24Klimaat\_STOOM2050) en stap 2 en 3 van **Intensiveren** voor 2050 (Int2\_STOOM2050 en Int3\_STOOM2050). NB. stap 1 en 2 zijn bij intensiveren hetzelfde.



Figuur 4.4 Indicatie van de verhouding watervraag en watertekort in regio West (extern verzilt) in een extreem droog jaar voor Stoom en **Transformeren** stap 1 in 2050 en 2100.



Figuur 4.5 Indicatie van de verhouding watervraag en watertekort in regio West (extern verzilt) in een extreem droog jaar voor Stoom2050 en **Intensiveren** stap 1 en 2 (Intens2) en stap 3 (Intens3) in 2050 en 2100.

### 4.3 Resultaten voor regio Noord

Regio Noord bevat alle gebieden die voor hun zoetwateraanvoer afhankelijk zijn van het IJsselmeer/Markermeer. Onder aanvullend beleid zal het watertekort bij droogte en lage afvoeren snel gaan toenemen. In het hoofdwatersysteem zijn er verschillende maatregelen mogelijk, onder andere het vergroten van de bufferschijf van de grote meren, extra aanvoer vanuit de Waal via het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK-route) en maatregelen om zoutindringing via sluisen te beperken. Ook een andere afvoerverdeling over Rijntakken bij lage afvoeren behoort tot de mogelijkheden.

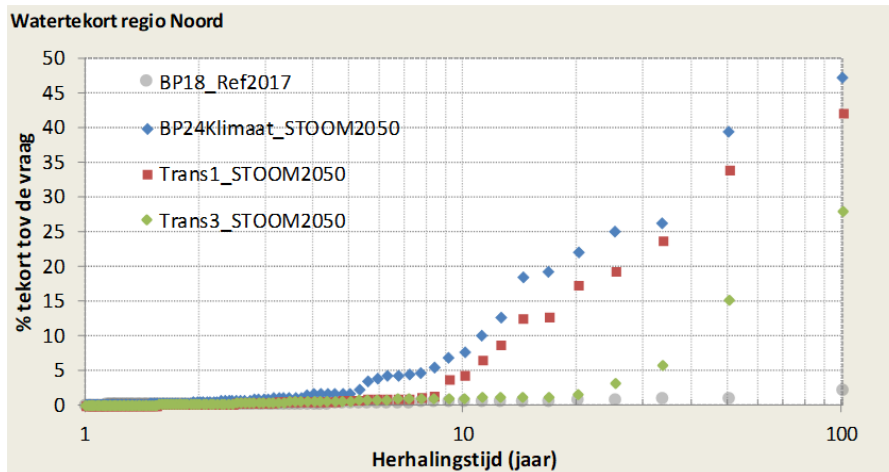
In *Transformeren* wordt als eerste stap het landgebruik aangepast (Trans1) waarmee de watervraag aan het hoofdwatersysteem kan worden gereduceerd. Dit is echter niet genoeg om de tekorten voldoende ver terug te brengen in 2050.

Als aanvullend de bufferschijf wordt verdubbeld en maatregelen genomen worden om de zoutindringing via de sluisen in de Afsluitdijk te beperken (Trans3), dan nemen de tekorten significant af, ook in extreme jaren (Figuur 4.8). Het zoetwaterdoel (geen tekorten tot een herhalingstijd van 20 jaar) kan hiermee worden gehaald in 2050 (Figuur 4.6). De tekorten nemen echter weer verder toe richting 2100 en dan is watervraag en -tekort ondanks de maatregelen weer op het niveau van Stoom2050; tegen die tijd zijn weer aanvullende maatregelen nodig. Opties zijn om de watervraag nog verder te reduceren door nog grotere aanpassingen in het landgebruik, de buffer verder te vergroten en meer water aan te voeren via bv de ARK-route of een aangepaste afvoerverdeling over de Rijntakken.

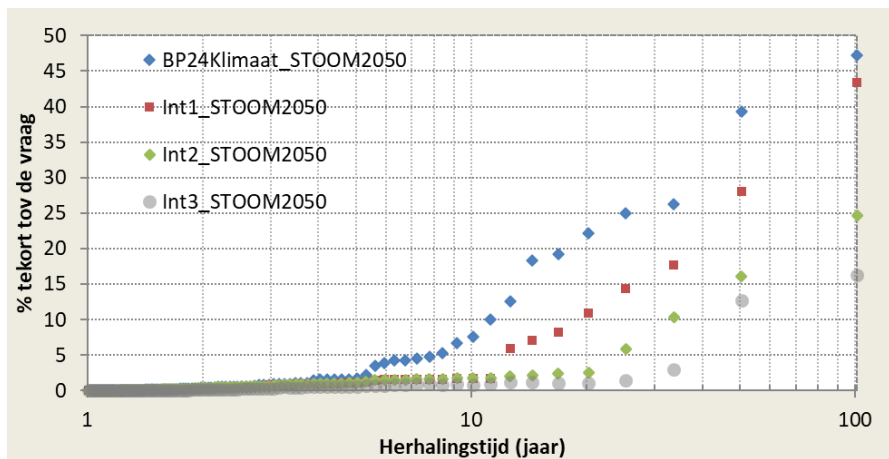
In *Intensiveren* wordt als eerste stap de bufferschijf van de grote meren verdubbeld en de doorspoelvraag van de Afsluitdijk gereduceerd door zoutbeperkende maatregelen. Dit geeft een flinke reductie in de tekorten, maar is niet voldoende om het gestelde zoetwaterdoel in 2050 te halen (Figuur 4.7). Dat doel wordt in 2050 wel gehaald als aanvullend de ARK-route wordt ingezet. In extreem droge jaren nemen de tekorten in zichtjaar 2050 stapsgewijs af (Figuur 4.9). Richting 2100 nemen de tekorten weer toe en zijn aanvullende maatregelen nodig.

Trans3 en Intens3 komen op bijna dezelfde maatregelset uit in zichtjaar 2050, alleen in de verhaallijn worden deze maatregelen in de tijd (adaptatiepad) in een andere volgorde uitgevoerd. Het % watertekort in 2050 is in deze scenario's grofweg vergelijkbaar.

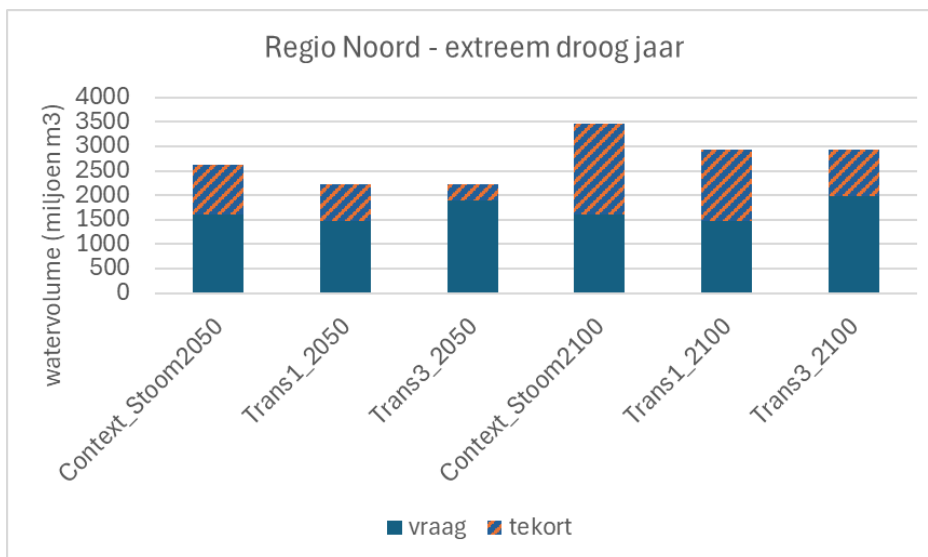
Het verschil is de inzet van de ARK-route in Intens3, waardoor tekorten in extreem droge jaren kleiner worden, maar ook zonder de ARK-route kan in 2050 het zoetwaterdoel (tekorten mogen niet vaker optreden dan eens in de 20 jaar) gehaald worden.



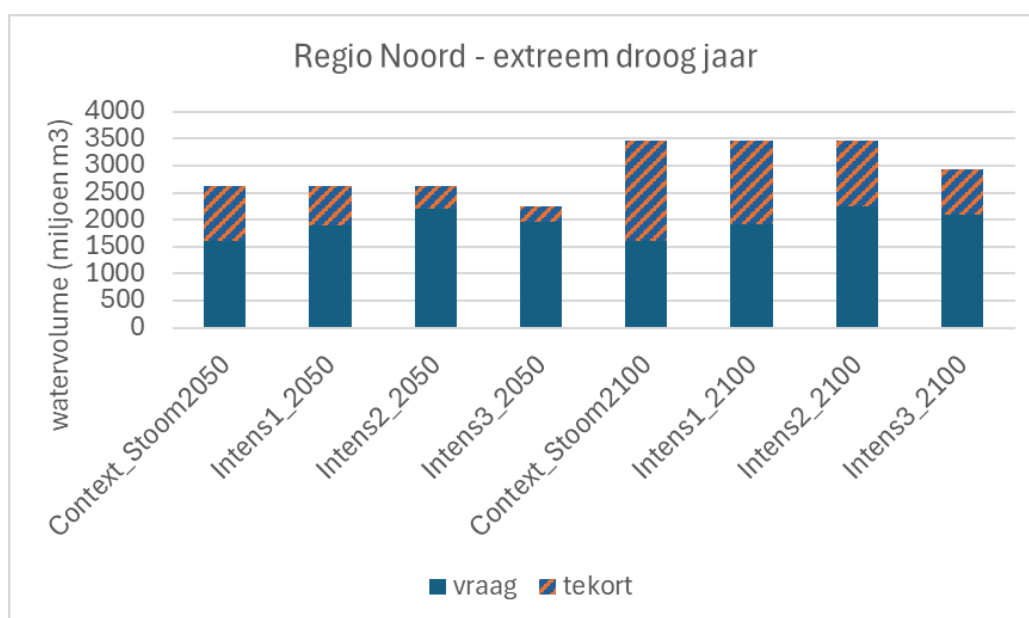
Figuur 4.6 Frequentieverdeling van het percentage watertekort in regio Noord voor huidig klimaat (BP18\_Ref2017), contextscenario Stoom2050 (BP24Klimaat\_STOOM2050) en stap 1 en 3 van **Transformeren** voor 2050 (Trans1\_STOOM2050 en Trans3\_STOOM2050). N.B. Trans2 en trans3 zijn in deze regio hetzelfde.



Figuur 4.7 Frequentieverdeling van het percentage watertekort in regio Noord voor huidig klimaat (BP18\_Ref2017), contextscenario Stoom2050 (BP24Klimaat\_STOOM2050) en stap 1, 2 en 3 van **Intensiveren** voor 2050 (Int1\_STOOM2050, Int2\_STOOM2050 en Int3\_STOOM2050).



Figuur 4.8 Indicatie van de verhouding watervraag en watertekort in regio Noord in een extreem droog jaar voor contextscenario Stoom en **Transformeren** stap 1 en 3 in 2050 en 2100 (stap 2 bevat voor regio Noord geen maatregel).



Figuur 4.9 Indicatie van de verhouding watervraag en watertekort in regio Noord in een extreem droog jaar voor contextscenario Stoom en **Intensiveren** stap 1 en 2 en 3 in 2050 en 2100.

#### 4.4 Gevolgen voor drinkwater uit oppervlaktewater

Er zijn in Nederland 8 belangrijke innamepunten voor drinkwaterwinning uit oppervlaktewater. Hieronder volgt per watersysteem een inschatting van de gevolgen van de twee adaptatiescenario's voor de inlaatpunten die van het hoofdwatersysteem afhankelijk zijn. Dit is grotendeels gebaseerd op de uitwerking en doorredenering van de verhaallijn en op het deelrapport van RIVM (2026) ten behoeve van de PBL Herijkingstudie.

**De Brielse Meer** is nu een belangrijke zoetwaterbron voor de Rotterdamse industrie en wordt gevoed via het Spui en de Oude Maas als back-up. Deze inlaten zijn kwetsbaar voor klimaatverandering doordat eerst de inlaatvensters (waterstandsverschil tussen Spui en de Bernisse) korter worden en daarna de kans op verzilting steeds groter wordt.

In *Transformeren* worden de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas afgesloten, maar het Haringvliet wordt juist een open verbinding. Zout water kan dan alsnog het Spui bereiken. Ook via de sluis in de Oude Maas kan nog steeds zout water indringen. De Rotterdamse industrie zal hoe dan ook significant veranderen, omdat ook de scheepvaart anders wordt georganiseerd. De zoetwateraanvoer wordt op een andere manier georganiseerd (bv. met een pijpleiding), waardoor de Brielse Meer geen functie meer heeft als zoetwaterbuffer.

Bij *Intensiveren* blijft er een open verbinding met zee via de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet blijft zoet. Bij geringe zeespiegelstijging en beperkte afname in de rivierafvoeren kan het Brielse Meer zoetgehouden worden, maar bij sterke klimaatverandering wordt het steeds lastiger om voldoende lange inlaatvensters te garanderen, en bovendien treedt zoutindringing steeds vaker op. Dat eerste is op te lossen met pompen, dat tweede met het (tijdelijk) afsluiten van de Oude Maas of het Spui.

Het **Haringvliet** is een bron voor drinkwater via het innamepunt bij Middelharnis. Bij *Transformeren* wordt het Haringvliet zout. Het innamepunt zal verplaatst moeten worden of over moeten gaan op ontzilting. Bij *Intensiveren* blijft het Haringvliet zoet. Het wordt wel steeds lastiger om het water voldoende zoet te houden ter hoogte van het innamepunt, zeker bij zeespiegelstijging en combinatie van toegenomen watervraag en afnemende rivierafvoeren.

Bij 1 meter zeespiegelstijging en lage rivierafvoeren (Nieuwe Waterwegdebiet <500 m<sup>3</sup>/s) bereikt de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg dagelijks het Haringvliet en het Hollands Diep (Blaas et al., 2026). Deze zogenaamde achterwaartse verzilting is moeilijk weg te spoelen.

Het **IJsselmeer** is een belangrijke leverancier van drinkwater via innamepunt Andijk. In *Transformeren* neemt PWN maatregelen (o.a. de Klimaatbuffer) om beter om te gaan met tijdelijke verhoging van chlorideconcentratie van het IJsselmeer door oplopende achtergrondconcentratie van het Rijnwater (door lage afvoeren) en/of zoutindringing via de sluisen. Het crisisbeheer is er bovendien op gericht dat scheepvaart wordt gestremd indien een watertekort dreigt. Aanvullend worden er zoutbeperkende maatregelen genomen bij de sluisen in de Afsluitdijk. Zo kan de doorspoelbehoefte van de Afsluitdijk tijdens droogte teruggebracht worden naar 10 m<sup>3</sup>/s.

In *Intensiveren* worden ook zoutbeperkende maatregelen genomen bij de sluisen. Innovatieve technieken worden ontwikkeld om scheepvaart tijdens droogte zo lang mogelijk te kunnen faciliteren zonder dat de zoutconcentratie te hoog oploopt. Door de grotere bufferschijf is er meer ruimte om door te spoelen indien nodig. De doorspoelbehoefte van de Afsluitdijk blijft 10 m<sup>3</sup>/s ten behoeve van vismigratie. Incidenteel zal 30 m<sup>3</sup>/s nodig zijn om het zoute water dat via schutsluisen binnenkomt naar de Waddenzee te spuien.

De **Lek** heeft meerdere drinkwaterinnamepunten. Met de surplusdebieten wordt zo goed mogelijk gestuurd op het zoethouden van de Lek, in beide adaptatiescenario's. Ook wordt zoutindringing tegengegaan door het verondiepen van de Nieuwe Waterweg. In *Transformeren* wordt toegewerkt naar het afsluiten van de Nieuwe Waterweg, maar de kans op verzilting van innamepunten blijft, omdat er via de binnenvaartsluisen nog steeds zout water binnenkomt. Het drinkwaterbedrijf investeert daarom in een grotere buffercapaciteit en ontziltingsinstallaties om beter te kunnen omgaan met tijdelijk oplopende zoutconcentraties. Ook worden nieuwe bronnen verkend. Hiervoor is meer tijd beschikbaar, omdat de drinkwatervraag afneemt.

In *Intensiveren* neemt de zoutproblematiek ondanks het verondiepen en vergrote surplusdebieten toe. De kans op samenvallen van innamestops op meerdere locaties wordt groter.

Daarom wordt op termijn een keuze gemaakt tussen het verplaatsen van innamepunten, het intensiever inzetten van de duinen in combinatie met kunstmatige infiltratie, ontzilten of het plaatsen van sluisen in de Hollandsche IJssel en de Lek.

## 4.5 Vergelijking tussen de adaptatiescenario's

De schematische adaptatiepaden voor *Intensiveren* en *Transformeren* in de twee regio's zijn weergegeven in Figuur 4.10 en Figuur 4.11.

### Intensiveren

Overall watervraag blijven faciliteren vraagt de komende 25 jaar al grote aanpassingen in hoofdwatersysteem én het regionaal systeem. In regio Noord is een grotere buffer nodig, te bereiken door een hoger zomerpeil en/of lagere peilen richting het einde van de zomer, en zoutbeperkende maatregelen bij sluisen. Al voor 2050 zijn aanvullende maatregelen nodig als klimaatverandering verder doorzet. Met de ARK-route kan het zoetwaterdoel gehaald worden, maar het vergroot de problematiek in West-Nederland, waar nu al grote inspanning nodig is om inlaatpunten zoet te houden. Ook zal voor de waterbeschikbaarheid in regio West de KWA moeten worden uitgebreid. Door de grote hoeveelheid water die tijdens droogte in het midden-rivierengebied moet worden verplaatst, en de sluis in de Oude Maas om verzilting van Spui te voorkomen, ondervindt de binnenvaart vaker en meer hinder tijdens droogte.

Na 2100 moeten (drinkwater)innamepunten mogelijk verplaatst worden, omdat het zoethouden van de Hollandsche IJssel en Lek bij meer dan 1 m zeespiegelstijging steeds lastiger wordt.

### Transformeren

Het gelijktijdig verminderen van de watervraag en expliciete keuze voor het afsluiten van de Nieuwe Waterweg maakt het zoutprobleem in West-NL op lange termijn beheersbaar. In regio Noord is het verminderen van de watervraag in combinatie met vergroten van de buffer en zoutbeperkende maatregelen bij sluisen voldoende om tot aan 2050 in de watervraag te voorzien. Daarna zijn aanvullende maatregelen nodig. Daar staat tegenover dat er grote aanpassingen gevraagd worden van landbouw, natuur(doelen) en scheepvaart.

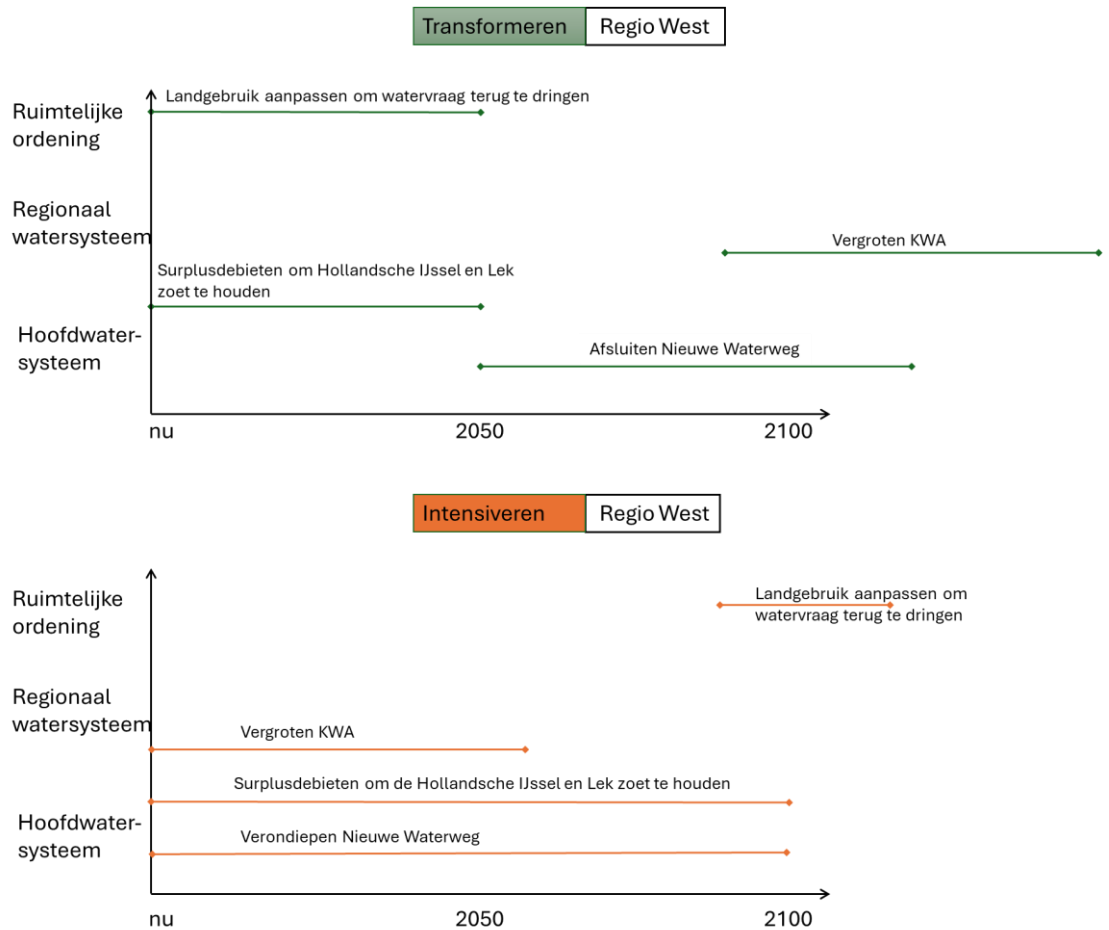
### Vergelijking

Beide scenario's komen in regio Noord op de lange termijn (2100) uit op ongeveer dezelfde maatregelenset om het zoetwaterdoel (geen watertekorten tot een herhalingstijd van 20 jaar), alleen in een andere volgorde. Een grotere buffer IJsselmeer/Markermeer lijkt sowieso nodig in beide scenario's, om het doel in 2050 te halen. De vraag is dus welke voorkeur nu gegeven wordt: klimaatadaptatie door middel van ruimtelijke ordening (aanpassingen van teelten en natuurdoelen), zoals in *Transformeren*, met op termijn mogelijk alsnog aanpassingen in het watersysteem als klimaatverandering doorzet, of klimaatadaptatie door nu de waterinfrastructuur aan te passen met op termijn mogelijk alsnog grotere aanpassingen in de waterinfrastructuur en/of de watervraag door landgebruik aan te passen, zoals in *Intensiveren*.

In regio West is het verschil tussen de adaptatiescenario's groter. Bij *Intensiveren* zijn veel maatregelen nodig om het zoutprobleem in de open Rijn-Maasmonding beheersbaar te houden. Door de toenemende watervraag, ook in de rest van Nederland, worden de gevolgen van extreme droogte overal groter. Door de extra aanvoer naar Noord-Nederland wordt het zoutprobleem in West-Nederland bovendien versterkt. Bij *Transformeren* is het zoutprobleem beheersbaar en mede door de landgebruiksveranderingen in regio Noord is er de komende 75 jaar voldoende water beschikbaar om de inlaatpunten tijdens lage afvoeren zoet te houden. Richting 2100 is mogelijk aanvullende aanvoer nodig van verdere bovenstrooms.

Het belangrijkste verschil tussen de adaptatiescenario's in termen van waterverdeling is de afhankelijkheid van het hoofwatersysteem en daarmee de concurrentie tussen regio West en regio Noord. Bij *Intensiveren* is die concurrentie groter en komt de noodzaak voor grote systeemkeuzes daardoor sneller dichterbij. Als bijvoorbeeld gekozen wordt om meer water naar het Noorden te sturen, dan worden de gevolgen van droogte in west-Nederland groter, ondanks de daar getroffen maatregelen.

Een ander verschil is de mogelijkheid om mee te koppelen. Aanpassingen van landgebruik, waarin *Transformeren* de nadruk op ligt, zijn beter te combineren met andere beleidsdoelen zoals biodiversiteitsbeleid, tegengaan van bodemdaling en de landbouwtransitie (zie WKR, 2025).



Figuur 4.10 Schetsmatige adaptatiepaden voor regio West voor het adaptatiescenario Transformeren (boven) en Intensiveren (onder)



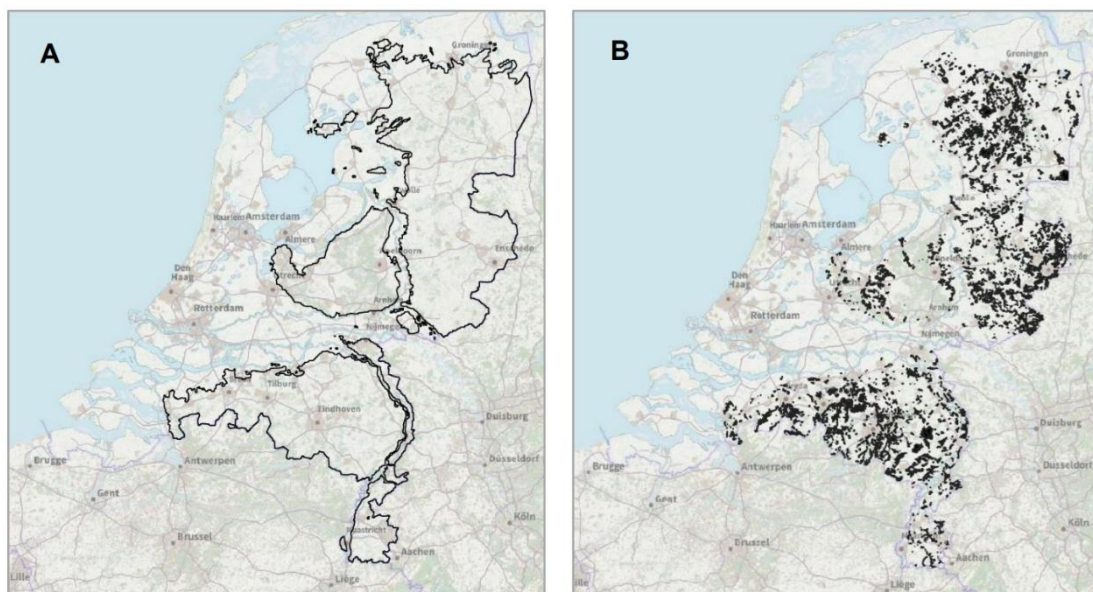
# 5 Gevolgen voor het grondwatersysteem

## 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken we de gevolgen van de twee adaptatiescenario's voor het grondwaterregime. Daarbij wordt afgebakend tot de vrij-afwaterende zandgronden (zie Figuur 5.1A), en daarbinnen ligt de focus op effecten voor grondwaterafhankelijke natuur (zie Figuur 5.1B). Voor een kwantitatieve inschatting van de effecten van de verschillende besproken maatregelen wordt gebruik gemaakt van modelberekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) die zijn uitgevoerd in eerdere studies, specifiek een studie naar de effectiviteit van bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur en een studie naar (maatregelen ter bestrijding van) de effecten van een droogte zoals die van 2018 (Van den Eertwegh et al., 2021). Een belangrijk verschil tussen deze twee studies is dat in de bufferzonestudie alleen maatregelen in bufferzones zijn onderzocht (dus buiten de natuurgebieden), terwijl in de droogtestudie ook maatregelen binnen de natuurgebieden zijn bekeken.

In dit rapport wordt daarbij alleen gekeken naar de effecten op grondwaterstanden, specifiek op de LG3 van een extreem droog jaar (meestal 2003, soms 2018). De LG3 van een hydrologisch jaar (lopend van 1 april tot 31 maart van het jaar erop) is gedefinieerd als het gemiddelde van de drie laagste (op de 14e of 28e van de maand berekende of gemeten) grondwaterstanden van dat hydrologische jaar, en is daarmee dus een maat voor de droogte van dat hydrologische jaar.

Maatregelen die bijdragen aan verhoging van grondwaterstanden kunnen ook een positief effect op de kwel hebben, wat gunstige effecten heeft m.b.t. gewenste waterkwaliteitskarakteristieken ten behoeve van bepaalde natuurdoeltypen, en m.b.t. basisafvoer (voorkomen droogval van beken). Kwantificering van de effecten op kwel worden in deze studie echter niet gegeven.



*Figuur 5.1 A) De afbakening van het onderzoeksgebied van de hoge zandgronden en B) de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het onderzoeksgebied. Bron: Meeusen et al. (2024).*

## 5.2 Intensiveren

In *Intensiveren* blijft het faciliteren van de landbouw belangrijk en wordt ook de toenemende drinkwatervraag mede uit grondwater voorzien. Wel wordt ingezet op actieve (kunstmatige) infiltratie, nieuwe drinkwaterputten op plekken waar er minder invloed is op de natte natuur, en meer hergebruik en druppelirrigatie. Hierdoor wordt er in 2050 netto minder grondwater onttrokken dan in het contextscenario, maar meer dan nu. De verplaatsing van onttrekkingspunten en kunstmatige infiltratie heeft lokaal een positief effect op de natte natuurgebieden.

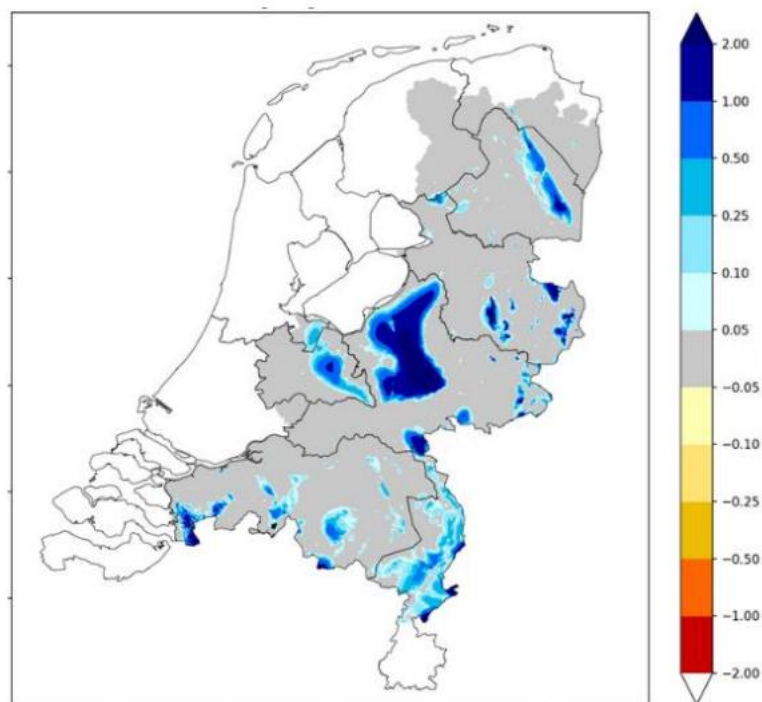
### 5.2.1 Effecten van kunstmatige infiltratie

Zoetwatervoorraden in de ondergrond vergroten kan door het extra infiltreren van zoet water ook wel aangeduid als kunstmatige infiltratie. Het te infiltreren extra zoet water kan overtollig regenwater, rivierwater of gezuiverd effluent van RWZI of industrie zijn. Het creëren van extra zoetwatervoorraden via extra infiltratie kan op de hoge zandgronden door gebruik te maken van de ruimte in de onverzadigde zone boven de grondwaterstand. Naast dat er extra zoet grondwater beschikbaar komt voor onttrekkingen, kan extra infiltratie ook worden toegepast om effecten van al bestaande onttrekkingen te mitigeren. Hierdoor groeit de zoetwatervoorraad niet maar worden negatieve effecten op het freatische systeem verminderd of voorkomen.

Hoe dieper de grondwaterstand, hoe meer ruimte om extra water op te slaan. Voor (tijdelijke) opslag van water door kunstmatige infiltratie van water zijn de traag reagerende gebieden met diepe grondwaterstanden (2,5 tot 70 m beneden maaiveld) erg geschikt (De Louw, et al., 2022). Voor de droogtestudie (Van den Eertwegh et al., 2021) is deze oplossingsrichting doorgerekend met het Landelijk Hydrologisch Model door 100 mm jaarlijks extra te infiltreren (via infiltratievijvers) in gebieden met een grondwaterstand dieper dan 2.5 m. De extra grondwateraanvulling leidt dan tot een stijging van de grondwaterstand van enkele meters op de plek van infiltratie, zoals in Figuur 5.2 is te zien.

Een groot voordeel van deze traag reagerende gebieden is dat ze kunnen fungeren als ondergrondse waterbuffer, want het geïnfiltreerde water wordt er relatief lang vastgehouden. Het opgeslagen water kan eventueel worden aangesproken in de zomerperiode voor drinkwater, beregening of dienen als bron van extra kwel en gebiedseigen water ten behoeve van natuur. Extra grondwateraanvulling leidt naast een vergroting van de grondwatervoorraad tot extra afvoer en kwel aan de flanken van de hoger gelegen gebieden.

Een aandachtspunt betreft wel de waterkwaliteit; de chemische samenstelling van het infiltratiewater is altijd anders dan dat van het ontvangende grondwater. Dit kan leiden tot ongewenste verandering van de grondwaterkwaliteit, ook wel aangeduid als vergrijzing van het grondwater (De Louw et al., 2024).



Figuur 5.2 Het berekende effect op de freatische zomergrondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van kunstmatige infiltratie van 100 mm per jaar, 6 jaar na uitvoering (uit De Louw et al., 2022)

In de huidige situatie vindt er buiten de duinen nog nauwelijks grootschalige kunstmatige infiltratie plaats ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Een uitzondering vormen de drinkwaterwinningen in Epe en Schalterberg op de Veluwe, waar nabij de onttrekkingen kunstmatige infiltratie in zogenaamde infiltratievijvers door Vitens plaatsvindt (Van Engelenburg, 2017; zie ook Van Dooren et al., 2022).

De drinkwaterwinning Schalterberg is een freatische winning met een onttrekkingsvergunning van 4,5 miljoen m<sup>3</sup> /jaar. In 2014 is het infiltratieproject bij Schalterberg in gebruik genomen voor een infiltratie van 2 miljoen m<sup>3</sup> /jaar. Hiermee wordt het effect van de drinkwaterwinning bijna gehalveerd. Er wordt water ingenomen vanuit het eerste pand van het Apeldoorns Kanaal dat grotendeels bestaat uit gebiedseigen kwelwater. Het water wordt vervolgens getransporteerd naar de infiltratievenen die ingericht zijn op het terrein van Natuurmonumenten (Van Engelenburg, 2017). Ook bij Vitens-winning 'Olden-Eibergen' in de Achterhoek wordt kunstmatige infiltratie toegepast. Oppervlaktewater uit de Berkel wordt via compensatievijvers geïnfiltreerd, met het doel de grondwaterstandsverlagingen die effecten kunnen hebben op omliggende natuur en landbouw tegen te gaan (Van Engelenburg, 2017).

Samenvattend kunnen kunstmatige infiltratiesystemen in bepaalde gevallen een significante bijdrage leveren aan het terugdringen van de klimaatrisico's in de omgeving van voor kunstmatige infiltratie geschikte gebieden. Het Intensiveren scenario gaat ervan uit dat in de toekomst van deze mogelijkheden op veel grotere schaal gebruikt gemaakt zal worden.

### 5.2.2 Effecten van verminderde drinkwaterproductie

In *Intensiveren* neemt de drinkwatervraag (en daarmee productie) door beperkte waterbesparing met ongeveer 5-7% af ten opzichte van het corresponderende contextscenario onder huidig beleid (Tabel 5-1).

Veranderingen in onttrekkingsdebieten hebben uiteraard direct gevolgen voor het omliggende grondwatersysteem. In welke mate en waar de veranderingen optreden hangen af over hoe de reductie van de productie verdeeld wordt over de bestaande pompstations. In het hypothetische geval dat er een 'kaasschaafmethode' gehanteerd wordt, i.e. in alle pompstations wordt 5-7% minder gewonnen dan onder huidige beleid, gaat er van elk pompstation een gering effect uit. Dit effect hangt af van de plaatsing van de filters in het geohydrologische systeem; winningen uit diepe watervoerende pakketten met veel ondergrondweerstand erboven hebben uiteraard een veel geringer effect op freatische grondwaterstanden en kwelstromen dan freatische onttrekkingen. Mocht de drinkwaterproductie echter gereduceerd worden door hele onttrekkingen of pompstations uit productie te nemen, concentreert het effect op het grondwatersysteem zich rondom die betreffende winningen (met uiteraard positieve gevolgen voor eventueel aanwezige grondwaterafhankelijke natuur in de omgeving) en is er in de rest van het land geen effect.

In algemene zin (globaal genomen over de hoge zandgronden) kan wel gesteld worden dat de reductie van 10% met de kaasschaafmethode slechts een beperkt effect zou hebben op landbouw en natuur. De klimaatrisico's zoals gedefinieerd voor de contextscenario's onder huidig beleid worden er waarschijnlijk niet significant door beïnvloed.

Tabel 5-1 Benodigde noodzakelijke productiecapaciteit\* voor drinkwater uit grond- en oppervlaktewater (Mm<sup>3</sup>/jaar) in de verschillende scenario's (overgenomen uit RIVM, 2026). Procentuele veranderingen zijn gegeven ten opzichte van huidig, en bij de adaptatiescenario's tevens ten opzichte van het corresponderende contextscenario (het tweede gegeven percentage).

Huidig (2021)	Contextscenario 2050		Intensiveren 2050		Transformeren 2050	
	Beperkt	Sterk	Beperkt	Sterk	Beperkt	Sterk
1284	1312 (+2%)	1504 (+17%)	1226 (-5% / -7%)	1426 (+11% / -5%)	1070 (-17% / -18%)	1207 (-6% / -20%)

\*noodzakelijk productiecapaciteit is het totaal van netto drinkwaterbehoefte (huishoudelijk, zakelijk, nijverheid en agrarisch), productieverlies, distributieverlies, exclusief 10% onvoorzien (RIVM, 2026)

### 5.2.3 Effect van verhoogde beregeningsefficiëntie

Een voor de hand liggende, binnen *Intensiveren* passende technische maatregel t.b.v. waterbesparing in de landbouw is overstappen van sprinklerirrigatie naar druppelirrigatie. Proeven uit de Nederlandse praktijk geven aan dat een efficiëntie kan worden bereikt tussen de 50 en 78%, vergeleken met gemiddeld 40% voor traditionele haspelirrigatie (STOWA, 2020). De te behalen efficiëntiewinst hangt af van vele factoren zoals bodem, gewas en implementatie maar wordt hier geschat op 30%.

Er zijn geen (model)berekeningen beschikbaar waarin het effect berekend is van een reductie van de beregeningsvraag in de klimaatscenario's. Omdat bij een verder opwarmend en verdrogend klimaat de beregeningsvraag toeneemt, heeft eenzelfde procentuele reductie van de beregeningsvraag meer effect dan in het huidige klimaat.

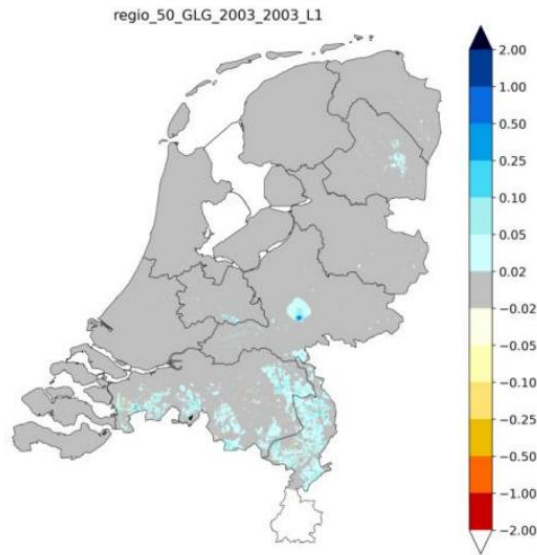
In een onderzoek naar de effectiviteit van bufferzones voor het herstel van grondwaterstanden en kwelstromen in grondwaterafhankelijke natuurgebieden (Meeusen et al., 2023) is wel voor het huidige klimaat gerekend aan de effecten van beregeningsreductie.

Figuur 5.3 toont voor de doorgerekende variant met een gebiedsdekkende beregeningsreductie van 50% ('regio\_50', deze variant komt het dichtst in de buurt van een scenario waarin overal een efficiëntiewinst van 30% wordt behaald) het effect op grondwaterstanden (specifiek de LG3 van het extreem droge jaar 2003).

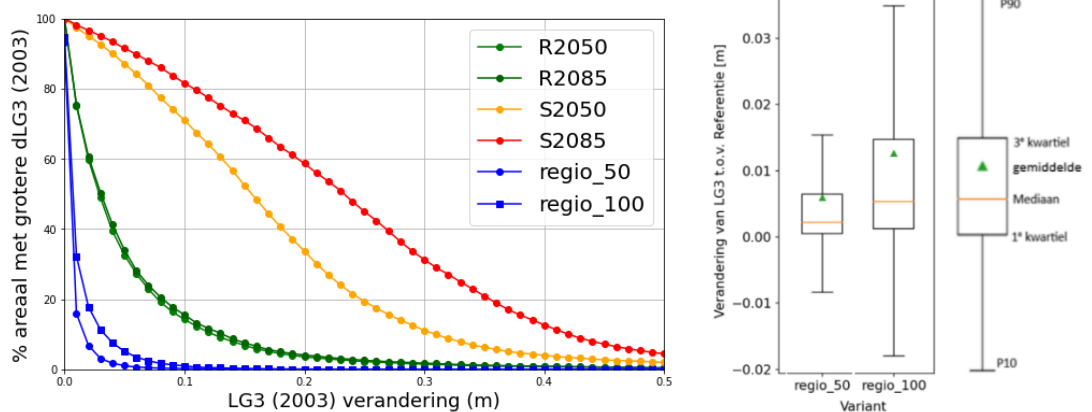
In Figuur 5.4 worden de resultaten specifiek voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden vergeleken met de effecten van de contextscenario's. Het betreft hier de rekenresultaten van de Deltascenario's (onderliggend aan de Basisprognoses 2018) voor Rust en Stoom, waarbij Rust geldt als proxy voor contextscenario 'Beperkt Risicoverhogend' en Stoom als proxy voor 'Sterk Risicoverhogend'. Te zien is dat ten opzichte van het effect van de contextscenario's het effect van de beregeningsreductievarianten beperkt is. Meeusen et al. (2023) maken hier de kanttekening bij dat de spreiding van effecten wel groot is (zie ook de rechterfiguur van Figuur 5.4), en dat de effecten in m.n. Noord-Brabant en Limburg groter zijn vanwege het relatief grote beregende areaal in deze provincies.

Figuur 5.5 toont mede daarom uitgesplitst per provincie, een vergelijking van de mediane verandering van de LG3 (2003) als gevolg van de verhoogde berekeningsefficiëntie met de mediane LG3-verandering als gevolg van de contextscenario's (steeds alleen berekend over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in zandgebieden). Wat opvalt is dat in de 'lage' (Rust) contextscenario's alleen de noordelijke provincies een mediane daling van de LG3 laten zien. De overige provincies laten een stijging zien als gevolg een combinatie van een reductie van grondwateronttrekkingen in het Rust 2050 scenario, een verhoogde grondwateraanvulling in het winterhalfjaar gecombineerd met slechts een geringe toename van het neerslagtekort in het zomerhalfjaar. In de noordelijke provincies speelt het effect van bodemdaling: bodemhoogtes en peilen in de beekdalen dalen mee met de bodemdaling waardoor het drainageniveau wordt verlaagd, met een regionale uitstraling van het effect (Mens et al., 2020). Brabant en Limburg springen er zoals verwacht (gezien het grote beregende areaal) uit wat betreft het relatieve effect van de maatregel ten opzichte van de contextscenario's. Duidelijk is echter ook dat de maatregel in geen van de contextscenario's een sterk risicoverlagend effect heeft (het maatregeleffect is klein ten opzichte van het scenario-effect).

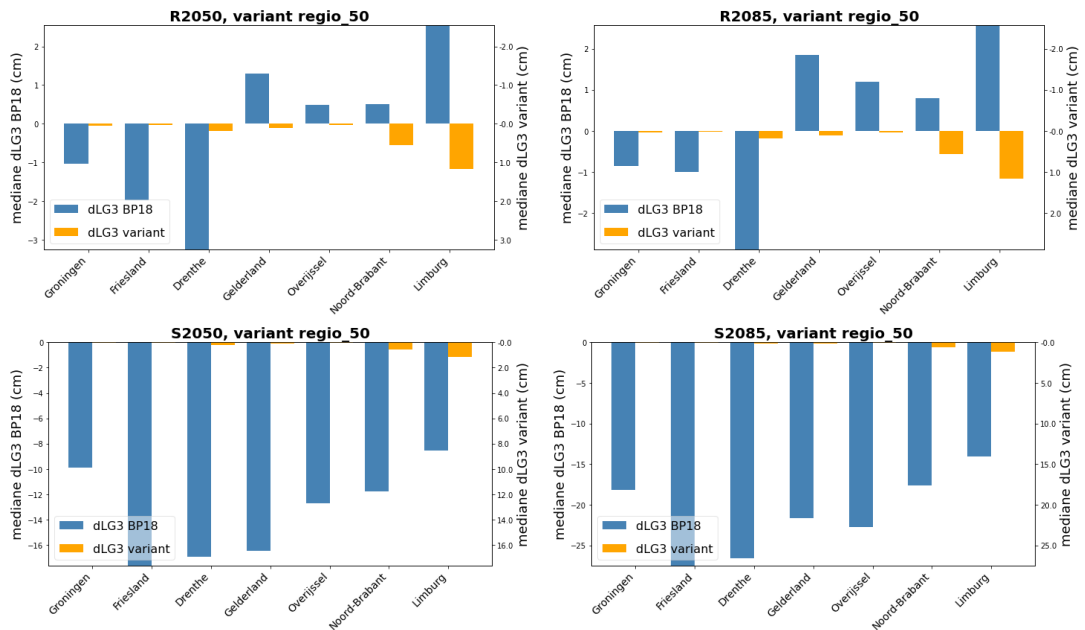
Omdat in de berekeningen van Meeusen et al. (2023) uitgegaan is van de huidige beregeningsarealen en -hoeveelheden, en deze in de rekenresultaten van de Deltascenario's de beregeningsarealen aangepast zijn aan de scenario's (en groter en hoger zijn) zullen de 'indicatoren' in Figuur 5.3 en Figuur 5.4 in werkelijkheid hoger liggen. Daar staat tegenover dat de in de berekening doorgevoerde berekeningsefficiëntie van 50% grofweg een verdubbeling is van de ingeschatte efficiëntiewinst door druppelirrigatie. Het tegen elkaar afwegen van beide tegenstelde nuanceringen bij de resultaten leidt niet tot een andere conclusie met betrekking tot het slechts beperkt risico-verlagende effect van verhoogde beregeningsefficiëntie voor droogte (en gerelateerde risico's) in grondwaterafhankelijke natuurgebieden in de zandgebieden.



Figuur 5.3 Verschillen in LG3 voor het jaar 2003 ten opzichte van referentie bij een gebiedsdekkende beregeningsreductie van 50% op de gift uit grondwater. Blauwe kleuren geven stijging weer en rode/oranje kleuren een verlaging (wat mogelijk is omdat onttrekking voor beregening uit een diep watervoerend pakket een grondwaterstandsverhogend effect kan hebben door verhoogde grondwateraanvulling, en reductie van die onttrekking dus een verlaging van de freatische grondwaterstanden tot gevolg kan hebben).



Figuur 5.4 Blauwe lijn: effect van het gebiedsdekkend reduceren van de beregeningsvraag uit grondwater met 50% op de LG3 (2003) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verhoging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Overige lijnen: effect van de Deltascenario's op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verlaging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as.



Figuur 5.5 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het LG3-effect (2003) van de contextscenario's en rekenvariant regio\_50. Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken zijn beide y-assen in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.

## 5.3 Transformeren

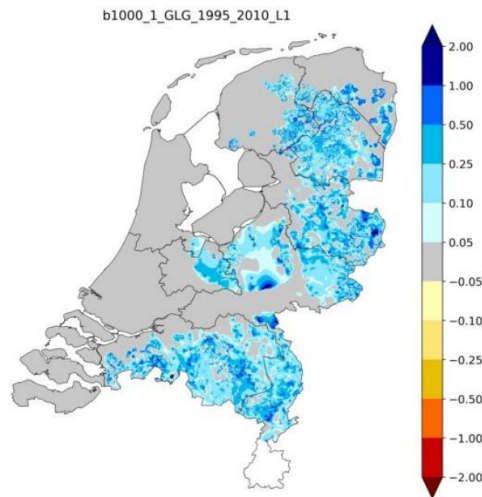
Zoals beschreven in Hoofdstuk 3 biedt het scenario *Transformeren* ruimte om bestaande functies los te laten omwille van een meer natuurlijke landinrichting. Een bufferzonestrategie past bij uitstek in dit scenario. In lijn met de Kabinetsbrief 'Water en Bodem sturend' wordt met een bufferzonestrategie het verhogen van grondwaterstanden en kwelfluxen beoogd in en om grondwaterafhankelijke natuurgebieden, zodat deze (veelal verdroogde) natuurgebieden kunnen herstellen en de gevolgen van klimaatverandering beter kunnen opvangen. Hierbij passen de volgende type maatregelen: het verhogen van de ontwateringsbasis, en het reduceren van grondwateronttrekking voor beregening, drinkwater of industrie. Dit vergt dus het omschakelen/extensiveren van bestaande functies in de directe omgeving van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden.

### 5.3.1 Effect van ontwateringsmaatregelen in bufferzones

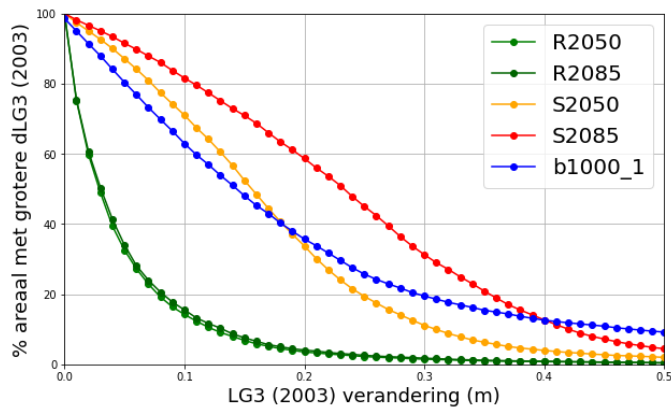
Meeusen et al. (2023) hebben voor een groot aantal varianten de effectiviteit van ontwateringsmaatregelen in bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur onderzocht, waarbij gevarieerd is met de grootte van de bufferzones en de mate van verondieping van de drainagebasis. In de natuurgebieden worden geen maatregelen genomen. Voor de huidige studie is als representatief scenario de variant b1000\_1 gekozen met een buffergrootte van 1000m en een verhoging van de drainagebasis tot 0.5m-mv. Met deze keuze wordt beoogd het maximale effect te laten zien; Meeusen et al. (2023) hebben echter ook aangetoond dat met een bufferzone van 500m al 80% van dit effect wordt bereikt.

Figuur 5.6 geeft het vlakdekkende effect weer van de maatregel op de grondwaterstanden (LG3 2003). Te zien is dat de effecten groot zijn, vaak meerdere decimeters stijging van de grondwaterstand. Figuur 5.7 en Figuur 5.8 tonen dat het effect van de maatregel meestal groter is dan het effect van de contextscenario's. Hierbij is de ruimtelijke variatie groot; de figuren tonen de mediaan van de veranderingen per gridcel. Desalniettemin is duidelijk dat deze maatregel, en daarmee een bufferzonestrategie op ontwatering, zeer effectief is in het mitigeren van klimaatrisico's en herstellen van de verdroging van de natuurgebieden.

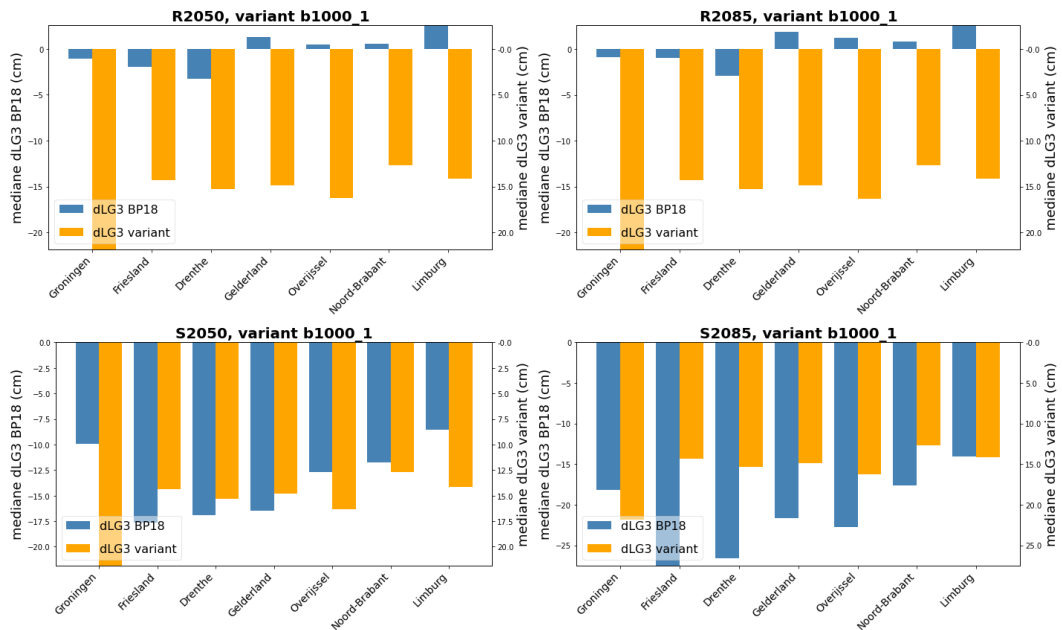
Figuur 5.6 laat daarnaast zien dat de maatregel ook buiten de natuurgebieden voor significante vernatting kan zorgen.



Figuur 5.6 Verschillen in GLG ten opzichte van referentie bij een verhoging van de afwateringsbases naar 0.5 m-mv in een bufferzone van 1000m rondom grondwaterafhankelijke natuur in de zandgebieden. Blauwe kleuren geven stijging van de GLG weer.



Figuur 5.7 Blauwe lijn: effect op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden van het verhogen van de ontwateringsbasis naar 50cm-mv in een bufferzone van 1000m rondom de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verhoging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Overige lijnen: effect van de Deltascenario's op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verlaging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as.



*Figuur 5.8 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het (overwegend negatieve) LG3-effect (2003) van de contextscenario's en het (positieve) effect van rekenvariant b1000\_1. Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken is met twee y-assen gewerkt in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.*

### 5.3.2 Effect van onttrekkingsmaatregelen drinkwater in bufferzones

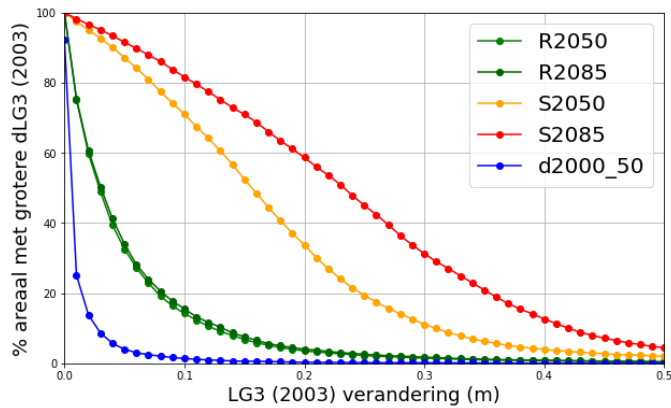
Uit Tabel 5-1 volgt voor het Transformeren scenario een reductie van de noodzakelijke productiecapaciteit van drinkwater van 18% en 20% voor respectievelijk het contextscenario 'Beperkt' en 'Sterk'. Omwille van de eenvoud wordt hier een gelijke reductie van 20% aangenomen voor beide contextscenario's.

Er zijn geen modelberekeningen beschikbaar waarin precies deze reductie van de onttrekkingsdebieten zijn doorgevoerd om daarmee de effecten op het grondwatersysteem te berekenen. Ook hier wordt daarom teruggevallen op resultaten van de bufferzonestudie, waarin wel is gevarieerd met onttrekkingsdebietreducties in bufferzones. Om een idee te krijgen van de mogelijke effecten op grondwaterstanden in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden, wordt daarvoor de rekenvariant genomen waarin voor een buffer van 2000m een onttrekkingsdebietreductie van 50% wordt aangenomen (variant d2000\_50). Uit analyse op basis van de modelinvoer van het LHM is gebleken dat deze variant correspondeert met een totale krimpfactor van grofweg 0.8 (=20% reductie van de onttrekkingsdebieten), wat daarmee in lijn ligt met de onderkant van de hierboven genoemde krimpfactoren.

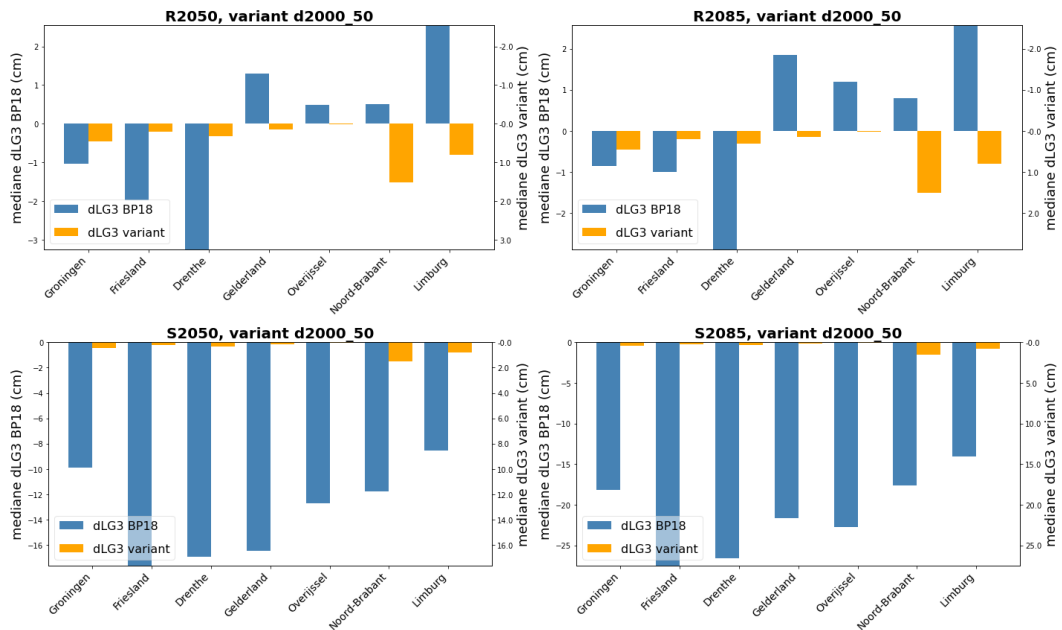
Figuur 5.9 en Figuur 5.10 tonen aan dat het effect van deze maatregel op de schaal van de zandgebieden en op de schaal van de provincies klein is ten opzichte van het effect van de contextscenario's. Enige uitzondering betreft Noord-Brabant in het 'Beperkt' (Rust) scenario. In de meeste overige gevallen is het relatieve effect ten opzichte van contextscenario's verwaarloosbaar.

Uiteraard is het in het geval van drinkwateronttrekkingen zo dat de grootste effecten zich voordoen in de nabijheid van de onttrekking en er zich in de bufferzones van de meeste grondwaterafhankelijke natuurgebieden helemaal geen drinkwateronttrekkingen lokaal kan de maatregel *wel degelijk* zeer effectief zijn om de droogterisico's in nabijgelegen natuurgebieden te verminderen.

Zo berekenen Van den Eertwegh et al. (2021) bijvoorbeeld dat het sluiten van de drinkwaterwinning de meest effectieve maatregel is van de in deze droogtestudie onderzochte maatregelen voor het noordelijk deel van de Drentse Aa. Meeusen et al. (2023) raden een bufferzonestrategie voor reductie van drinkwateronttrekkingen dan ook af. Effecten van drinkwateronttrekkingen kunnen veel verder strekken en het is daarom veel beter om naar de effecten van individuele onttrekkingen te kijken, of deze nu in een bufferzone liggen of niet. Uit oogpunt van natuurbehoud en -herstel is het dus aan te raden de reductie van de drinkwaterproductie vooral te realiseren op winlocaties met een groot effect op natuur. Benoemd worden hier ook de gunstige effecten van het reduceren van drinkwateronttrekkingen op de kwelfluxen, zoals aangetoond door o.a. Meeusen et al. (2023) en De Louw et al. (2025).



Figuur 5.9 Blauwe lijn: effect van het gebiedsdekkend reduceren van de grondwateronttrekkingen met 50% op de LG3 (2003) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verhoging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Overige lijnen: effect van de Deltascenario's op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verlaging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as.



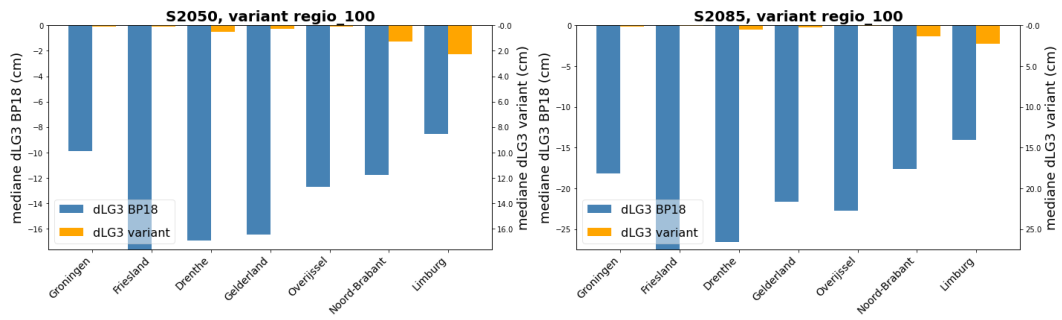
Figuur 5.10 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het GLG-effect van de contextscenario's en rekenvariant d2000\_50. Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken zijn beide y-assen in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.

### 5.3.3 Effect van beregeningsmaatregelen

Er wordt in het Transformeren scenario vanuit gegaan dat het beregende areaal buiten de bufferzones niet verder toeneemt ten opzichte van de huidige situatie en dat binnen de bufferzones de beregening sterk wordt gereduceerd. Voor deze specifieke invulling zijn geen rekenresultaten beschikbaar. Om toch een indicatie te kunnen krijgen van de effecten voor grondwaterafhankelijke natuur zal creatief 'geshopt' moeten worden uit de rekenresultaten van de bufferzonestudie (Meeusen et al., 2023). Wederom speelt hier daarbij echter de moeilijkheid dat:

- De beregeningsarealen t.o.v. de in de bufferzonestudie gebruikte LHM-versie opgenomen beregeningskaart inmiddels (m.n. sinds 2018) sterk zijn toegenomen;
- De beregeningsarealen- en hoeveelheden onder invloed van klimaatverandering verder zullen toenemen.

De effecten van reductie van beregening zullen in een toekomstig klimaatscenario daarom sterker zijn dan berekend in de bufferzonestudie. In Sectie 5.2.3 werd dit grofweg weggestrept tegen de overschatting van de efficiëntiewinst van druppelirrigatie. Een dergelijke compensatie ligt nu echter minder voor de hand. Er wordt hier daarom simpelweg terugverwezen naar de resultaten in Sectie 5.2.3, waarin zichtbaar werd dat zelfs met een reductie van 100% van de beregening uit grondwater (zowel binnen als buiten de bufferzones, variant regio\_100 uit de bufferzonestudie) de effecten van de contextscenario's landsdekkend gezien maar beperkt worden tegengegaan. Daarbij gelden wel weer aanzienlijke regionale verschillen, zoals blijkt uit Figuur 5.11. Daaruit blijkt dat in Limburg en Brabant de bijdrage aan de beperking van de klimaatrisico's toch significant kan zijn. Vanzelfsprekend kunnen op lokale schaal de effecten nog veel sterker zijn.



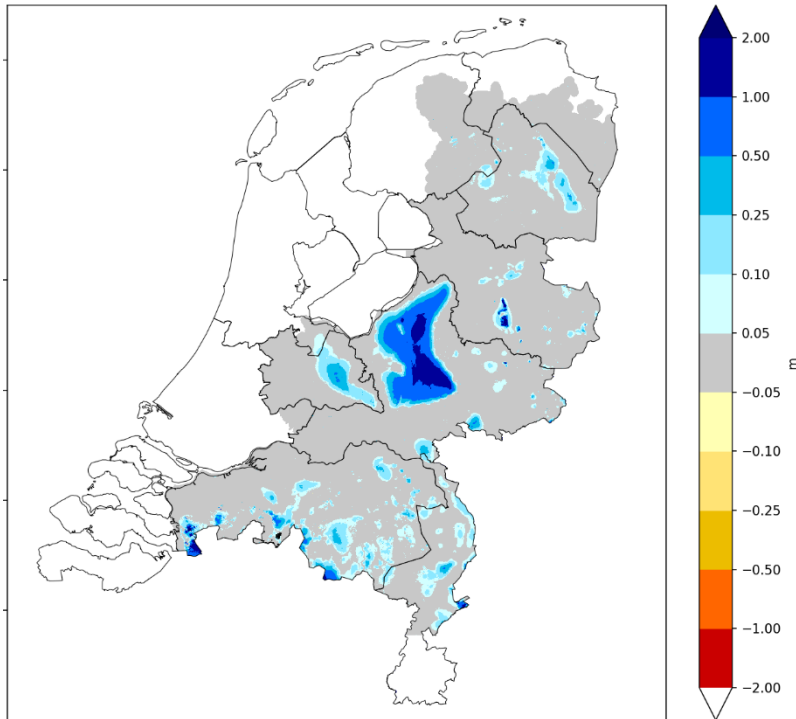
Figuur 5.11 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het LG3-effect (2003) van de contextscenario's en rekenvariant regio\_100 (overall 100% reductie van berekening uit grondwater). Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken zijn beide y-assen in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.

### 5.3.4 Effect van omvorming van naaldbos naar heide

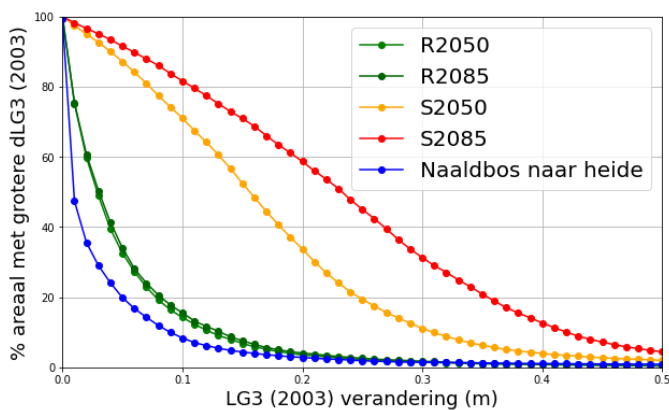
Het landgebruik (bv. type vegetatie) heeft een belangrijk effect op de mate van transpiratie en interceptieverdamping, en daarmee op de grondwateraanvulling. Een akker verdampt op jaarbasis doorgaans minder dan een grasmat en donker naaldbos staat bekend als een groot waterverbruiker. De aanplant van naaldbos ter vervanging van heide op de Veluwe is een duidelijk voorbeeld van hoe verandering van landgebruik drastisch heeft bijgedragen aan de vermindering van de grondwateraanvulling en daarmee aan de verlaging van de grondwaterstand en afname van afvoeren van sprengen en bronbeken en kwel op de flanken van de Veluwe (Van den Eertwegh et al. (2021)).

Figuur 5.12 toont het effect van de omvorming van alle naaldbos naar heide op de LG3 van 2018 (bron: Van den Eertwegh et al. (2021)). Uiteraard zijn er alleen effecten te zien voor de gebieden waar nu naaldbos staat. Effecten van de toename van de grondwateraanvulling zijn het grootste in de zogenaamde trage gebieden zonder noemenswaardige ontwateringsmiddelen. Figuur 5.13 en Figuur 5.14 vergelijken de LG3-effecten van deze ingreep met die van de contextscenario's (de vergelijking is daarbij niet volledig zuiver omdat de LG3-effecten van de contextscenario's berekend zijn voor 2003 en die van de maatregel voor 2018 (het 'andere' jaar is steeds niet beschikbaar). Daaruit blijkt dat landelijk en regionaal gezien het effect van de ingreep vergelijkbaar is met de lage contextscenario's (Rust), maar het effect ten opzichte van de hoge scenario's gering is op landelijke en regionale schaal.

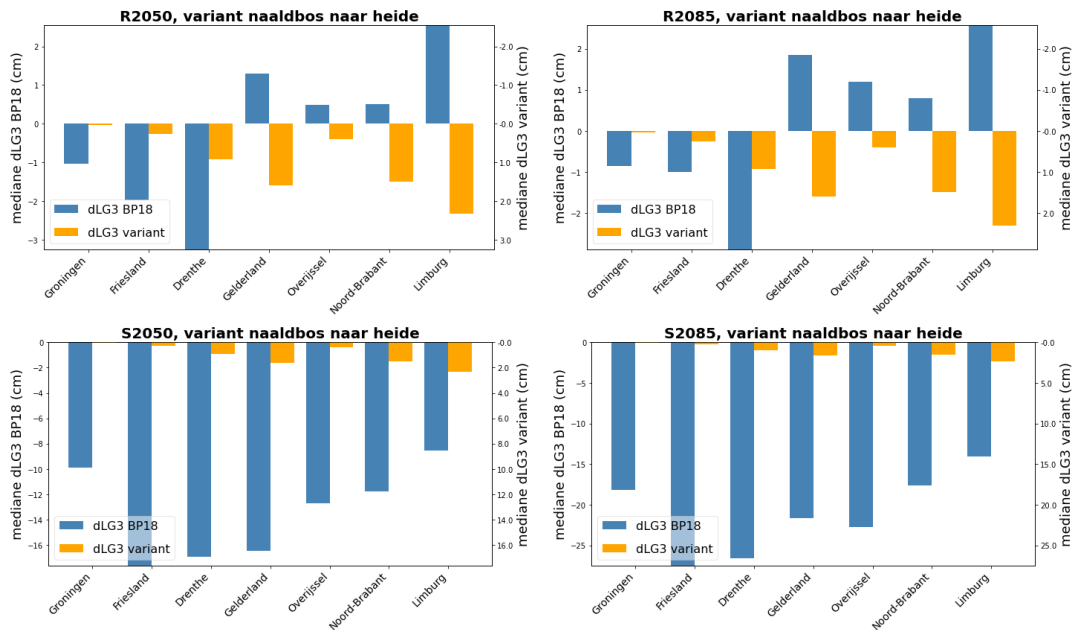
Omzetting van naaldbos naar heide is een landschappelijk gezien een ingrijpende verandering, en uit oogpunt van draagvlak zal een omzetting van naaldbos naar loofbos vaak meer voor de hand liggen. De te verwachten winst m.b.t. de grondwateraanvulling is daarbij wel geringer, en daarmee de positieve effecten dus kleiner dan hier gepresenteerd voor de omzetting van naaldbos naar heide.



Figuur 5.12 Effect op de freatische (zomer)grondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van verandering van naaldbos naar heide wanneer deze wordt doorgevoerd vanaf 2013. Bron: Van den Eertwegh et al. (2021).



Figuur 5.13 Blauwe lijn: effect van het gebiedsdekkend omzetten van naaldbos naar heidegrond op de LG3 (2003) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verhoging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Overige lijnen: effect van de Deltascenario's op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verlaging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Resultaten van de variant (oranje balken) zijn verkregen voor 2018.



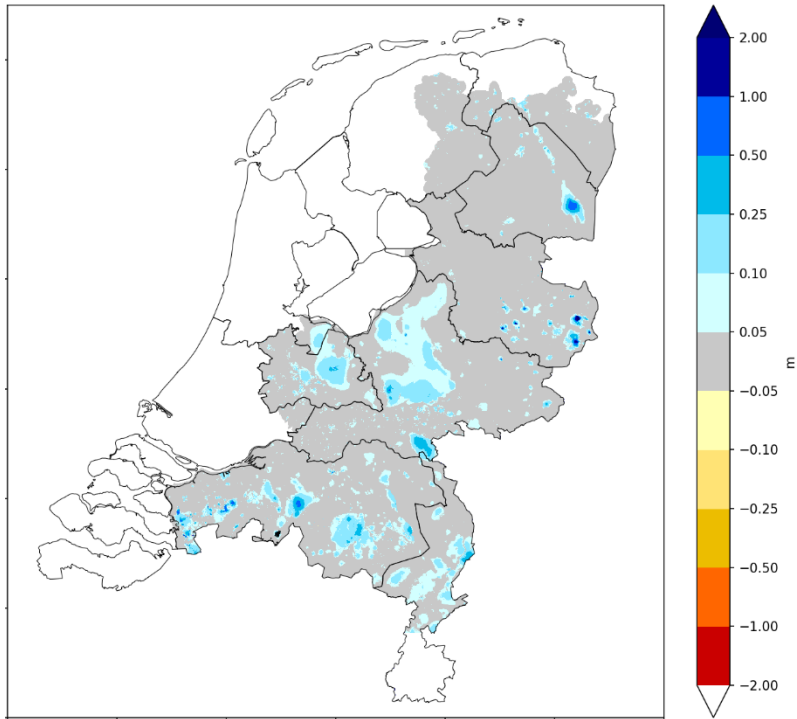
Figuur 5.14 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het LG3-effect (2003) van de contextscenario's en een rekenvariant waarin alle naaldbos wordt omgezet naar heide. Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken zijn beide y-assen in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.

### 5.3.5 Effect van afkoppelen bebouwd gebied

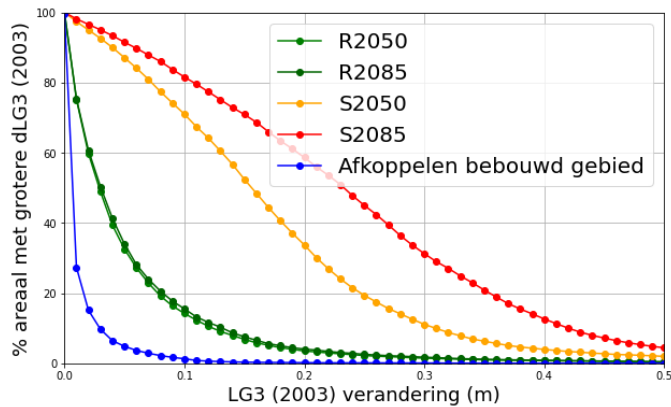
Een groot deel van het bebouwd gebied bestaat uit gebouwen en bestrating waar het regenwater wordt opgevangen en naar het riool wordt geloosd. Dit water komt niet ten goede aan het bodem- en grondwatersysteem. Steeds meer gemeenten proberen te voorkomen dat dit water zomaar naar de rioolzuivering wordt geloosd. Ook particulieren kunnen helpen de grondwateraanvulling te bevorderen door meer groen in de tuinen ('tegels er uit') en het hemelwater in de tuin te laten infiltreren (Van den Eertwegh et al. (2021)).

Figuur 5.15 geeft het effect op de grondwaterstand (LG3 2018) zien wanneer voor het bebouwd gebied gemiddeld 100 mm/jaar extra wordt geïnfiltreerd. De effecten beperken zich meestal tot het bebouwd gebied en een smalle zone eromheen (Van den Eertwegh et al. (2021)).

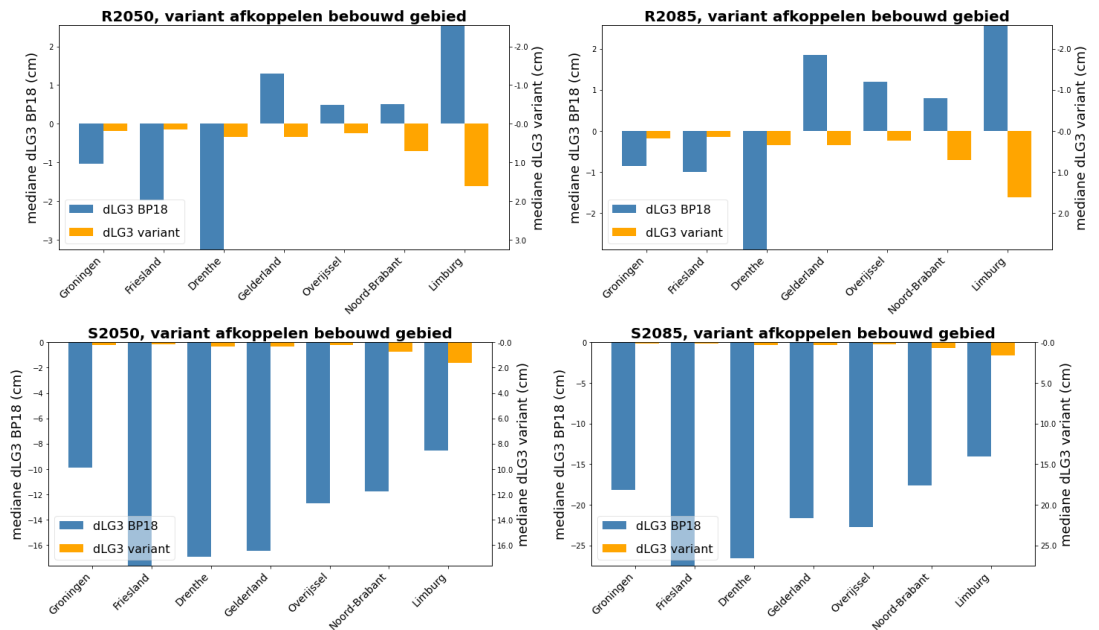
Figuur 5.16 en Figuur 5.17 vergelijken de LG3-effecten van deze ingreep met die van de contextscenario's (wederom geen volledig zuivere vergelijking vanwege het verschil in hydrologisch jaar, 2018 versus 2003). Uit alle figuren blijkt dat landelijk en regionaal gezien het effect van de ingreep wat kleiner is dan in de vorige sectie voor de omvorming van naaldbos naar heide is beschreven.



Figuur 5.15 Effect op de freatische (zomer)grondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van afkoppelen van bebouwd gebied wanneer dit wordt doorgevoerd vanaf 2013. Bron: Van den Eertwegh et al. (2021).



Figuur 5.16 Blauwe lijn: effect van het gebiedsdekkend afkoppelen van bebouwd gebied op de LG3 (2003) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verhoging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Overige lijnen: effect van de Deltascenario's op de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het zandgebied, uitgedrukt als procentueel aandeel van het areaal met een **verlaging** van de LG3 groter dan de waarde op de x-as. Resultaten van de variant (oranje balken) zijn verkregen voor 2018.



Figuur 5.17 Regionale (op provinciebasis) differentiatie van de verhouding tussen het LG3-effect (2003) van de contextscenario's en het effect van het afkoppelen van bebouwd gebied. Om het (overwegend) grondwaterstandsverlagende effect van de contextscenario's visueel goed te kunnen vergelijken zijn beide y-assen in tegengestelde richting. Resultaten betreffen mediane effecten over de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de provincie.

## 5.4 Vergelijking tussen de adaptatiescenario's

### Intensiveren

Zonder aanvullende maatregelen en bij sterke klimaatverandering zullen de reeds verdroogde natuurgebieden nog verder achteruitgaan doordat grondwaterstanden nog verder gaan dalen in de contextscenario's. De maatregelen in het *Intensiveren* scenario kunnen deze daling op landelijke schaal slechts beperkt tegengaan. De in dit scenario verwachte reductie van drinkwateronttrekkingen ten opzichte van de contextscenario's (max 7 % reductie) is te beperkt om op landelijke schaal een significante rol van betekenis te kunnen spelen in de mitigatie van klimaateffecten op het grondwatersysteem. Kunstmatige infiltratie kan er lokaal voor zorgen dat de negatieve effecten van extra onttrekkingen gemitigeerd worden. Een deel van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden zit echter niet in het invloedsgebied van drinkwateronttrekkingen die in voor kunstmatige infiltratie geschikte gebieden liggen. Het effect van efficiëntere beregening is klein in vergelijking met het klimaateffect. De inschatting is daarmee dat zomergrondwaterstanden in *Intensiveren* bij sterke klimaatverandering gemiddeld verder dalen, en de verdroogde natuurgebieden niet worden hersteld. Lokaal kan dit wel anders liggen, m.n. in natuurgebieden in het invloedsgebied van drinkwaterwinningen waar kunstmatige infiltratie mogelijk is of waarvan de productie veel sterker dan gemiddeld gereduceerd wordt. Daarnaast kunnen de effecten van efficiënter beregenen in de toekomst, met sterk toenemende beregende arealen en debieten, positiever uitpakken dan in deze studie is getoond.

### Transformeren

In het Transformatieve scenario worden de verdrogingsrisico's voor grondwaterafhankelijke natuurgebieden sterk gereduceerd. De verdroogde natuurgebieden worden deels hersteld. Dit is met name te danken aan de grote effectiviteit van maatregelen gericht op het vasthouden van water in de bufferzones rondom de natuurgebieden (door het verhogen van de ontwateringsbasis in landbouwgebieden).

De negatieve effecten van de contextscenario's op de zomergrondwaterstanden kunnen hierdoor worden gecompenseerd, in 'Beperkt' (Deltascenario Rust) zelfs ruimschoots. De effecten van het beperken van beregening en drinkwateronttrekkingen, alsmede van de omvorming van landgebruik (van naaldbos naar heide) en het afkoppelen van stedelijk gebied zijn in algemene zin veel kleiner. Echter, de relatieve effectiviteit van de maatregelen hangt in de praktijk uiteraard af van de mate waarin ze worden doorgevoerd en bovendien geldt dat de maatregel of combinatie van maatregelen welke het beste past en hoe maatregelen doorwerken gebiedsspecifiek zijn. Bovendien kunnen vooral reducties van drinkwateronttrekkingen lokaal wel degelijk zeer effectief zijn en een belangrijke bijdrage leveren aan het behoud en herstel van grondwaterafhankelijke natuur. Daarbij is het zaak bij het realiseren van de reducties de te verwachten effecten op de natuur op individueel winlocatieniveau te beschouwen, ongeacht of de onttrekking zich binnen een bufferzone bevindt of niet.

Tot slot wordt opgemerkt dat de ene maatregel veel eenvoudiger is door te voeren dan de andere. Zo is het reduceren van een drinkwateronttrekking technisch veel eenvoudiger uit te voeren dan het aanpassen van de ontwatering in een bufferzone, en is daarmee potentieel veel efficiënter. Dergelijke kosten-batenanalyses zijn echter buiten de scope van deze studie.

## 6 Samenvatting en conclusie

### **Wat is de klimaatveranderingsopgave voor zoetwatervoorziening?**

In het wateraanvoergebied van (laag-)Nederland werkt klimaatverandering driedubbel door: de beschikbaarheid van zoetwater van voldoende kwaliteit uit grote rivieren en meren neemt af, tegelijkertijd neemt de watervraag voor peilbeheer en beregening toe door de grotere verdamping én neemt de watervraag voor polderdoerspoeling toe door zeespiegelstijging. Een groot deel van het beschikbare rivierwater is nodig om zeewater terug te dringen dat via open verbindingen met zee en via grote zeesluizen binnenkomt. Dit, samen met de toenemende doerspoelvraag van polders, is in de toekomst de grootste bedreiging voor de zoetwatervoorziening.

In de vrij-afwaterende hoge zandgronden zal toenemende droogte leiden tot lagere zomergrondwaterstanden. Deze lagere grondwaterstanden zijn een direct gevolg van de droogte (minder grondwateraanvulling door minder neerslag en meer verdamping) maar ook indirect, via toenemende watervraag voor beregening uit grondwater en voor de drinkwatervoorziening. Lagere grondwaterstanden kunnen leiden tot meer droogteschade in de landbouw alsmede tot grote problemen in de natuur. Te denken valt aan verlies aan biodiversiteit in grondwaterafhankelijke natuur, verminderde kwelfluxen met ook veranderde waterkwaliteit als gevolg, en droogval van beken met vissterfte tot gevolg.

### **Hoe kunnen we ons aanpassen: transformeren en intensiveren**

De adaptatiescenario's in dit rapport weerspiegelen twee fundamenteel verschillende insteken in het adaptatiebeleid, die voor een belangrijk deel normatief zijn. Zo ligt bij *Intensiveren* meer nadruk op de huidige ruimtelijke strategie, activiteiten en omstandigheden. Verder is dat scenario gebaseerd op meer vertrouwen in de techniek. Voor de zoetwatervoorziening betekent dit het zo goed en lang mogelijk blijven bedienen van de huidige functies met wateraanvoermaatregelen. In *Transformeren* ligt de nadruk op een meer systemische aanpak met ruimtelijke veranderingen, met meer belang voor het zoeken naar synergie en afstemming tussen sectoren in ruimte en tijd. Beide scenario's streven naar een meer klimaatbestendig Nederland, maar resulteren in een andere invulling en vorm van klimaatbestendigheid, en in een andere ruimtelijke verdeling van activiteiten en functies.

### **Uitwerking voor laag-Nederland**

De verhaallijnen zijn voor laag-Nederland uitgewerkt en beoordeeld aan de hand van het doel om watertekorten te voorkomen tot aan een herhalingstijd van 20 jaar. Bij *Intensiveren* wordt dit doel in eerste instantie bereikt met vooral technische maatregelen in het hoofdwatersysteem (zoutindringing beperken, anders verdelen, grotere buffercapaciteit, etc.). Pas in tweede instantie (na 2050) wordt ingezet op maatregelen in het regionale watersysteem en aanpassen van de watervraag door bv landgebruik aan te passen of de eisen (van natuur en landbouw) aan de waterkwaliteit te versoepelen. Bij *Transformeren* is het andersom: eerst wordt de watervraag gereduceerd en daarna (na 2050) worden aanvullende maatregelen in het wateraanvoersysteem getroffen.

Uit de analyse blijkt dat de 'aanvoermaatregelen' in *Intensiveren* effectief zijn tot aan 2050 (in een scenario met sterke klimaatverandering), maar daarna zijn aanvullende maatregelen nodig. In regio Noord betekent dat de buffercapaciteit van het IJsselmeer nog verder vergroot moet worden, of dat alsnog ingezet moet worden op ruimtelijke maatregelen die de watervraag verminderen. Beide hebben grote consequenties voor het omliggende gebied, ofwel omdat dijken moeten worden aangepast ofwel omdat natuur en landbouw zich alsnog aan moet passen.

Ook zien we dat bij *Intensiveren* de bovenregionale effecten steeds groter worden in de toekomst, omdat de noordelijke én westelijke regio's steeds afhankelijker worden van het hoofdwatersysteem en daardoor steeds meer met elkaar gaan concurreren.

De ruimtelijke maatregelen in *Transformeren* kunnen de watervraag flink terugbrengen, maar om in 2050 het zoetwaterdoel te halen zijn in regio Noord aanvullende aanvoermaatregelen nodig. Op de lange termijn (na 2100) zijn de verschillen tussen de adaptatiescenario's voor Noord-Nederland niet groot, omdat alle maatregelen uiteindelijk nodig zijn. De volgorde waarin maatregelen worden uitgevoerd (adaptatiepaden) bepalen wel de uiteindelijke maatschappelijke impact, zeker voor de komende 75 jaar. Dit is niet verder onderzocht in dit rapport. Aanpassingen van landgebruik, waar in *Transformeren* de nadruk op ligt, zijn naar verwachting wel beter te combineren met andere beleidsdoelen zoals biodiversiteitsbeleid, tegengaan van bodemdaling en de landbouwtransitie (zie WKR, 2025). In West-Nederland is het verschil tussen de adaptatiescenario's groter, omdat met de combinatie van landgebruiksveranderingen en afsluiten Nieuwe Waterweg de zoutproblematiek in *Transformeren* beheersbaar wordt en pas richting 2100 mogelijk extra aanvoermaatregelen nodig zijn. In *Intensiveren* kan het zoetwaterdoel gehaald worden met een combinatie van beperken van zoutindringing en grotere aanvoercapaciteit. Omdat de watervraag echter snel toeneemt zijn na 2050 ook andere maatregelen nodig.

Het belangrijkste verschil tussen de adaptatiescenario's in termen van waterverdeling is de grotere concurrentie tussen regio West en regio Noord in *Intensiveren*, omdat de afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem in dit scenario groter wordt. Bij *Intensiveren* komt de noodzaak voor grote systeemkeuzes daardoor sneller dichterbij. Als bijvoorbeeld gekozen wordt om meer water naar het Noorden te sturen, dan worden de gevolgen van extreme droogte in west-Nederland groter, ondanks de daar getroffen maatregelen. Mogelijk wordt het doel 'niet vaker dan eens in de 20 jaar watertekort' dan al eerder dan 2050 niet gehaald. Dit betekent dat in de beoordeling van de effecten van maatregelen in West-Nederland ook rekening gehouden moet worden met het adaptatiepad van het IJsselmeergebied.

De vraag is dus welke voorkeur nu gegeven wordt: klimaatadaptatie door middel van ruimtelijke ordening (aanpassingen van teelten en natuurdoelen), zoals in *Transformeren*, met op termijn mogelijk alsnog de noodzaak voor aanpassingen in het watersysteem als klimaatverandering doorzet, of klimaatadaptatie door nu de waterinfrastructuur aan te passen met op termijn mogelijk alsnog grotere aanpassingen in de waterinfrastructuur en/of de watervraag door landgebruik aan te passen, zoals in *Intensiveren*.

### **Uitwerking voor hoog-Nederland**

Voor het grondwatersysteem in hoog-Nederland zijn de verhaallijnen uitgewerkt en semi-kwantitatief, op basis van eerdere modelresultaten, beoordeeld op de bijdrage aan het verhogen van zomergrondwaterstanden in grondwaterafhankelijke natuur. Uit de analyses blijkt dat het *Intensiveren* scenario slechts beperkte mogelijkheden biedt voor een significante en structurele mitigatie van de klimaatgerelateerde daling in grondwaterafhankelijke natuur. Lokaal kunnen maatregelen heel effectief zijn: een natuurgebied binnen een intrekgebied van een drinkwaterwinning zal profiteren van een verminderde onttrekking. Ook kan een natuurgebied baat hebben als het binnen het invloedgebied van kunstmatige infiltratie ligt.

Indien landgebruik wordt aangepast, zoals in *Transformeren*, kan de klimaatgerelateerde grondwaterstands daling sterk gereduceerd of zelfs volledig gemitigeerd worden. Van de geanalyseerde maatregelen draagt hier vooral het verhogen van de ontwateringsbasis in bufferzones aan bij. Het effect van de andere bekeken maatregelen is op regionale schaal kleiner, hoewel op lokale schaal ook deze (en dan vooral het reduceren van grondwateronttrekkingen) een significante bijdrage kunnen leveren.

Bij *Intensiveren* hoort dus ook een keuzes welke natuurgebieden behouden moeten blijven of gestreefd wordt naar het waarborgen van de abiotische condities. Bij *Transformeren* is de effectiviteit van de maatregelen vlakdekkender, zodat een groter areaal natuur behouden kan blijven.

### Restrisico's en beleidskeuzes

Ten behoeve van het hoofdrapport van PBL-Herijkingsstudie zijn op basis van de bovenstaande resultaten aanvullende vragen beantwoord. Dit volgt niet direct uit onderliggend rapport, maar is een inschatting op basis van interne gesprekken tussen PBL en Deltares. Dit beeld is zodoende ook niet compleet.

Welke risico's blijven er over?

- Het risico op watertekort kan nooit volledig worden teruggebracht. We zullen altijd afhankelijk blijven van zoetwater, en als dit tijdelijk minder beschikbaar is zijn er gevolgen voor economie en maatschappij. Wel kunnen we dit risico beheersbaar maken en de gevolgen zo klein mogelijk houden. Dat vraagt naast het beoordelen op een zoetwaterdoel met een bepaalde herhalingstijd (in dit geval 20 jaar) ook een analyse van de gevolgen van extremere droogtes.
- Wat betreft het grondwatersysteem is deze studie afgebakend naar effecten op grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden. Klimatarisico's voor landbouw zijn niet beschouwd. Het is duidelijk dat een maatregel als reductie van beregening uit grondwater impact heeft op de te realiseren landbouwopbrengsten. Hetzelfde geldt voor maatregelen gericht op het vasthouden van water (verhogen ontwateringsbasis in bufferzones), wat wateroverlast in en om deze gebieden kan vergroten. Wel is de insteek bij *Transformeren* dat het landgebruik in de bufferzones van natuurgebieden worden aangepast aan de veranderde condities, waardoor er minder sprake zal zijn van droogte- of natschade.

Belangrijkste beleidskeuzes

- Bij *Intensiveren* hoort op termijn (rond 2050) een strategische keuze over de verdeling van rivierwater tussen West en Noord, vanwege de groeiende afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem. Op kortere termijn zal dit alleen bij extreme droogtes nodig zijn en wordt dit impliciet al opgevangen door besluitvorming in de crisisorganisatie (LCW, verdringingsreeks). Desondanks is de inschatting dat de gevolgen van extreme droogte groter zullen zijn dan nu, omdat de watervraag blijft toenemen.
- In beide scenario's geldt dat het systeem (watersysteem én gebruikers) ook moet worden voorbereid op extreme droogtes (herhalingstijd van meer dan 20 jaar). Bij extreme droogte kan het watertekort door sommige maatregelen nog groter worden (bovenregionaal effect). Als het beleidsdoel gekoppeld is aan één herhalingstijd, dan blijft dit buiten beeld.
- Grondwaterafhankelijke natuur kan waarschijnlijk niet met *Intensiveren* afdoende beschermd worden tegen de impacts van de klimaatverandering. In het *Transformeren* scenario lukt dit wel, maar dit vraagt ingrijpende veranderingen in landgebruiksfuncties.
- In *Transformeren* zullen sommige natuurdoelen moeten worden aangepast in gebieden waar verzilting meer wordt geaccepteerd. Dit vraagt om compensatie elders.

## Houdbaarheid en flexibiliteit

- Het vergroten van de IJsselmeerbuffer is in beide scenario's nodig als het beleidsdoel (maximaal eens in de 20 jaar watertekort) wordt aangehouden. Maar alleen het vergroten van de buffer is niet voldoende op de lange termijn (>2100).
- Aanvullende aanvoer (surplusdebieten) naar de Hollandsche IJssel en Lek zijn nodig in beide scenario's, maar bij meer dan 1 m zeespiegelstijging zijn aanvullende maatregelen nodig. Waar het knikpunt zich precies bevindt vergt nader onderzoek.
- Reductie van grondwateronttrekkingen zou vooral gerealiseerd moeten worden op locaties waarbij een positieve impact op natuur te verwachten is.
- Een voordeel van transformeren kan zijn dat er meer opties overblijven voor toekomstige generaties. Afhankelijk van de snelheid en effectiviteit van de ruimtelijke maatregelen kan later alsnog besloten worden om het watersysteem aan te passen. Andersom is het lastiger; als we nu eerst in het hoofdwatersysteem alles uit de kast halen om in alle vraag te blijven voorzien, dan past het landgebruik zich daarop aan en wordt het nog moeilijker om op termijn alsnog landgebruik te transformeren.

## 7 Literatuur

- America-Van den Heuvel, I., R. Boelens, M. Mens en E. Mes (2023). Potentie van watervraagreductie in het veengebied: Een modelverkenning op landelijke schaal. Rapport 11209259-010. Deltares, Delft.
- Buitink, J. A. Tsiokanos, T. Geertsema, C. Ten Velden, L. Bouaziz, F. Sperna Weiland (2023). Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse. Deltares rapport 11209265-002-ZWS-0003.
- Blaas, M., J. Hoekstra, Y.F. Friocourt en M. Bonte (2025) Synthese bevindingen KP ZSS Systemanalyses Zoetwater Kennisprogramma Zeespiegelstijging – Systeemverkenningen (voormalig Spoor II) – Thema Zoetwater
- Boerlijst, S. en M. Dellar (2026) Herijking klimaatrisico's: waterkwaliteit. Rapport 11210323-006, Deltares, Utrecht.
- CLO (2003). Grondwatersituatie, landelijk beeld, 1950-1990 (indicator 0283, versie 03, 2 december 2003), [www.clo.nl](http://www.clo.nl). Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- De Louw, P., J-P. Witte, G. van den Eertwegh, R. Bartholomeus, J. Pouwels, J. Hunink. 2022. Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland. *Stromingen 2022* (28), nr. 1.
- De Louw, P., I. America-van den Heuvel, B. Knaake, R. Melman. 2024. Potentiële aanvullende grondwatervoorraden; deelrapportage 4 van het project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves. Deltares rapport 11207846-002-BGS-0012.
- De Louw, P., S. Schunselaar en E. Schoonderwoerd. 2025. Kracht van het Noorden: naar een klimaatrobuust (grond)watersysteem. Deltares rapport 11210323-005-BGS-0001
- Delsman, J., America, I., & Mulder, T. (2022). Grondwaterverzilting en watervraag bij een stijgende zeespiegel. Rapport 11208039-009, Deltares, Delft.
- Delsman, J. (2024) Verkenning handelingsruimte in doorspoelen polders bij zeespiegelstijging. Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Rapport 11211024-002. Deltares, Utrecht.
- Deltares&RIVM (2022) Nationale Grondwater Reserves: onderbouwing voor noodzaak voor aanwijzing en mogelijke omvang. Rapport 11207416-002, Deltares, Utrecht.
- Deltares&WER (2023) Integrale Grondwaterstudie Nederland: module I landelijke analyse. Rapport 11208092-001, Deltares, Utrecht.
- Horváth, K. (2020) Quick Water Allocation Scan Tool: Gebruikersdocumentatie. Deltares rapport 11205271-004. Online: [Documentation - Nationaal Water Model - Deltares Public Wiki](#)
- Horváth, K., M. Mens, S. Muurman (2025) QWAST validatie 2025: svn459. Rapport 11211164-004, Deltares, Delft.

- Hunink, J., Schasfoort, F., Pouwels, J., & Mens, M. (2021). Het effect van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in veenweidegebieden op knelpunten in de zoetwatervoorziening. Rapport 11205271-007, Deltares, Delft.
- Mens, M., J. Hunink, J. Delsman, J. Pouwels, F. Schasfoort (2020) Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Rapport 11203734-003, Deltares, Delft.
- Mens, M., J. Pouwels, O. Weiler, J. Delsman, Y. Huismans (2024) De zoetwaterbalans van laag Nederland in een warmer klimaat. Rapport 11210362-000-ZWS-0001, Deltares, Delft.
- Mens, M., E. Mes, J. Pouwels, G.E.H. Nogueira, J. Reusen (2025) Kwalitatieve duiding van het effect van de Deltascenario's 2024 op de zoetwateropgave. Rapport 11211541-002, Deltares, Delft.
- Meeusen, R., P. de Louw, R. Boelens en M. Mens. 2023. Effectiviteit van bufferzones voor grondwaterstandsverhoging in grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden Een modelverkenning op landelijke schaal. Deltares rapport 11209259-000-ZWS-0001.
- KNMI (2014) KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, herzien uitgave 2015.
- KNMI (2023) KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.
- Pouwels, J. I. America, J. Delsman en M. Mens (2021). Stresstest voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Het effect van nieuwe inzichten op knelpunten in de zoetwatervoorziening. Rapport 11206829-002-ZWS-0001, Deltares, Delft.
- RIVM (2026) Scenariostudie klimaatrisico's voor de drinkwatervoorziening in 2050 en 2100: Toekomstige drinkwatervraag, opwarming drinkwater, lage grondwaterstanden en verslechterde oppervlaktewaterkwaliteit.
- STOWA (2020). Deltafact Zoetwater zelfvoorzienendheid van de landbouw.
- [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Zoetwater\\_zelfvoorzienendheid%20v1%20nov%202020.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Zoetwater_zelfvoorzienendheid%20v1%20nov%202020.pdf?utm_source=chatgpt.com).
- Van den Eertwegh, G., P. de Louw, J-P Witte, M. van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. van Deijl, J. van Dam, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. de Wit. (2021). Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden en Oost-Nederland: het verhaal van droogte 2018 en 2019 en bevindingen.
- Van Dooren, T., K. Raat, S. Stofberg (2022). Deltafact: Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit. STOWA
- Van Engelenburg, 2017. Schalterberg, infiltratieproject. <https://www.waterwinst.nl/project/schalterberg-infiltratieproject/>
- Vuik, V., Y. Huismans, M. Mens, A. van den Hoek, R. Noordhuis, O. Weiler, R. van der Wijk, F. Diermanse (2025). Zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een warmer klimaat: Integrale verkenning van bouwstenen om zoutindringing te beperken. Rapport 11210362-013, Deltares, Delft.
- WKR (2025) Meeveranderen met het klimaat: Ruimtelijke en maatschappelijke keuzes voor klimaatadaptatie. Adviesrapport 004 van de Wetenschappelijke Klimaat Raad.

# A Overzicht modelinstellingen en aannames

## A.1 Maatregelen

De watervraag is uitgesplitst naar 5 type watervragers: doorspoelen hoofdwatersysteem bij sluizen en in de Nieuwe Waterweg, doorspoelen polders, beregening, peilbeheer in veengebieden, en drinkwater/industrie vanuit oppervlaktewater. Daarnaast kan gekozen worden voor meer aanvoercapaciteit naar regio's, andere waterverdeling tussen regio's of meer buffering in het IJsselmeer en Markermeer. Het overzicht van de modelaanpassingen staat in Tabel 4-1 en Tabel 4-2. De waterbalansberekening is stapsgewijs opgebouwd aan de hand van de 3 eerder besproken categorieën, waarbij Intens2/Trans2 voortbouwt op Intens1/Trans1 en Intens3/Trans3 voortbouwt op Intens2/Trans2.

Merk op dat veel grove aannames zijn gedaan en er in de praktijk veel meer combinaties mogelijk zijn en meer variatie in het dimensioneren en temporiseren van maatregelen.

Tabel A-1 Overzicht van de modelaanpassingen per berekening voor het adaptatiescenario Transformeren (NB. procentuele veranderingen zijn gedefinieerd ten opzichte van het contextscenario Stoom2050).

Naam berekening	Maatregelcategorie	Maatregel met modelinstelling
<b>Trans 1</b>	Aanpassen van landgebruik/sectoren zodat watervraag verminderd wordt	Polderdoorspoeling: -40% (ruimtelijk gedifferentieerd)
		Beregeningsvraag: Noord: -22% West: -70% Rivieren: -70%
		Drinkwater en industrie: -20%
<b>Trans 2</b>	Aanpassen van het regionale watersysteem	Watervraag peilbeheer: extra watervraag door vernattingsopgave veenweide wordt opgevangen met meer lokale buffers en flexibeler peilbeheer. Netto geen verandering.
		Hollandsche IJssel en Lek worden zoet gehouden met extra aanvoer.
<b>Trans 3</b>	Aanpassen van het hoofdwatersysteem	Doorspoelvraag Afsluitdijk van 30 > 10 door zoutbeperkende maatregelen bij sluizen
		Vergroten van de buffer IJsselmeer met 20 cm
		Verondiepen Nieuwe Waterweg (indien > 1 m zeespiegelstijging)

Tabel A-2 Overzicht van de modelaanpassingen per berekening voor het beleidsscenario Intensiveren (NB. procentuele veranderingen zijn gedefinieerd ten opzichte van het contextscenario Stoom2050).

Naam berekening	Maatregelcategorie	Maatregel met modelinstelling
<b>Intens 1</b>	Aanpassen van het hoofdwatersysteem	Doorspoelvraag Afsluitdijk van 30 > 10 door zoutbeperkende maatregelen bij sluisen
		Vergroten van de buffer IJsselmeer met 20 cm
		Verondiepen Nieuwe Waterweg (indien > 1 m zeespiegelstijging)
		Beperking Bernhardsluizen opgeheven.
<b>Intens 2</b>	Aanpassen van het regionale watersysteem	Watervraag peilbeheer: extra watervraag door vernattingsopgave veenweide wordt opgevangen met meer lokale buffers en flexibeler peilbeheer. Netto geen verandering.
		Aanvoercapaciteit West-NL wordt verder uitgebreid. Hollandsche IJssel en Lek worden zoet gehouden met extra aanvoer.
		ARKroute met capaciteit van 40 m <sup>3</sup> /s
<b>Intens 3</b>	Aanpassen van landgebruik/sectoren zodat watervraag verminderd wordt	Polderdoorspoeling: -40% ten opzichte van Stoom2050 (regionaal gedifferentieerd)
		Beregeningsvraag: Noord: -10% West: -33% Rivieren: -10% (ten opzichte van Stoom2050)
		Drinkwater en industrie: -5%

## A.2 Watervraag polderdoorspoeling

Meerdere strategieën zijn mogelijk om de watervraag voor doorspoelen te verminderen, en daardoor water vrij te spelen voor andere doelen zoals het vernatten van het veenweidegebied. Het verminderen van polderdoorspoeling leidt tot het (tijdelijk) verzilten of verbrakken van het regionaal oppervlaktewatersysteem. Dit heeft directe gevolgen voor gewassen die afhankelijk zijn van oppervlaktewaterberekening. In Delsman et al. (2024) zijn ten behoeve van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging meerdere opties besproken:

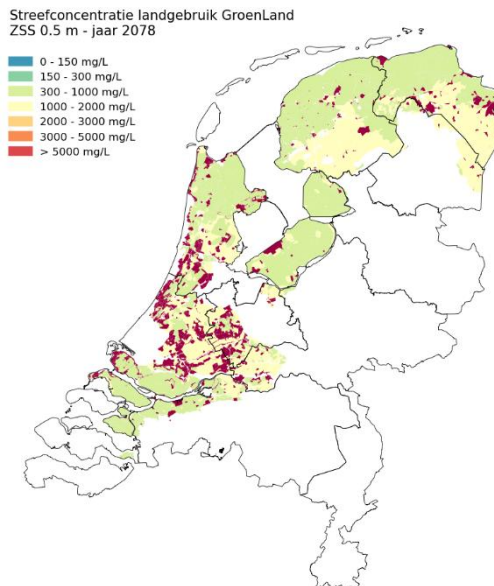
- Overall een beetje hogere concentraties accepteren. Inschatting: 10% reductie doorspoelvraag
- Hogere concentraties accepteren afgestemd op meest voorkomende type landbouw. 40% reductie doorspoelvraag. Mogelijk ook nadelen voor natuurgebieden.
- Constant houden van de doorspoelhoeveelheid in de toekomst. Dat betekent veel hogere zoutconcentraties accepteren en deel van de landbouwgebieden 'opgeven'.
- Aanpassen van de inlaatconcentratie
- 10 polders met de hoogste doorspoelvraag laten verzilten. Inschatting: 30% reductie doorspoelvraag.

Voor *Transformeren* kiezen we voor de tweede optie: het sturen op hogere zoutconcentraties die passen bij de nieuwe landgebruikskaart en het nieuwe beregeningsbeleid (zie volgende paragraaf), waarbij is aangenomen dat hoogproductieve akkerbouw deels beregend wordt en lagere zoutconcentraties vraagt van 300 – 1000 mg/L.

Extensieve akkerbouw en grasland worden niet berekend en kunnen hogere zoutconcentraties aan, waarbij grasland met een range van 1000 – 2000 mg/L lager ligt dan extensieve akkerbouw (>5000 mg/L), omdat koeien het water anders niet meer kunnen drinken. Met de methode uit Delsman et al. (2024) is berekend wat dit betekent voor de polderdoerspoelvraag. Figuur A.1 laat de opgelegde streefconcentraties zien. Groen komt overeen met hoogproductieve akkerbouw, geel met grasland en rood met extensieve akkerbouw

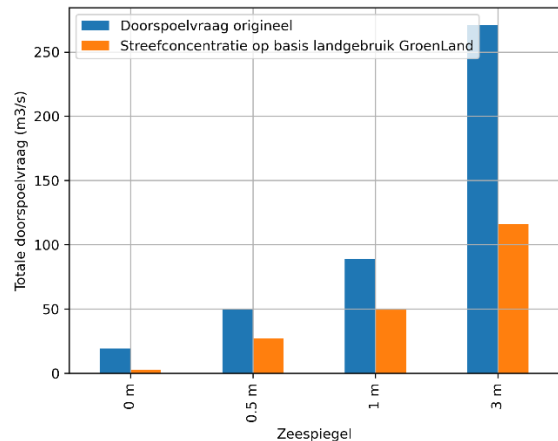
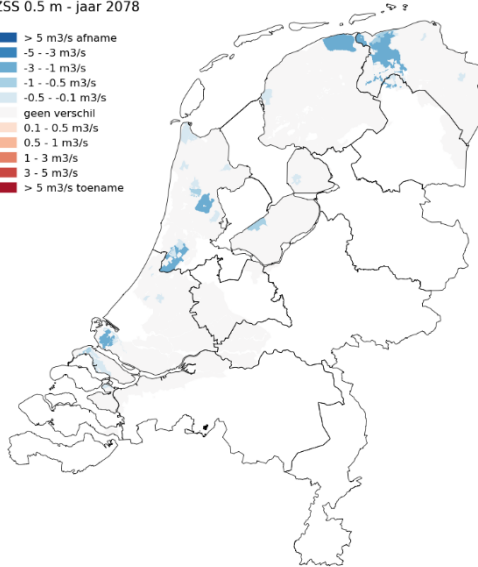
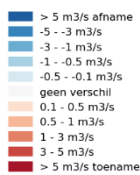
Als gevolg van het andere landgebruik in combinatie met nieuwe streefconcentraties zal de watervraag voor polderdoerspoeling in veel gebieden verminderen ten opzichte van het contextscenario (Figuur A.2). Het effect neemt in absolute zin toe naarmate de zeespiegel verder stijgt. Desondanks neemt de doerspoelvraag nog steeds toe ten opzichte van nu. Bij 0,5 m zeespiegelstijging bedraagt de doerspoelvraag 50 m<sup>3</sup>/s (Stoom2050) en 27 m<sup>3</sup>/s met de nieuwe streefconcentraties in *Transformeren*. Dat is een halvering ten opzichte van de baseline, maar wel 7 m<sup>3</sup>/s meer dan de 20 m<sup>3</sup>/s in de huidige situatie. De grootste vragers bevinden zich in het Fries-Gronings kustgebied en het noordelijke deel van Noord-Holland.

Voor *Intensiveren* nemen we aan dat de watervraag voor polderdoerspoeling hetzelfde blijft als in het contextscenario Stoom en dus flink toeneemt ten opzichte van nu.



Figuur A.1 (opgelegde) streefconcentratie zout in poldersloten (mg/L) bij het landgebruik in *Transformeren*

Verandering doorspoelvraag landgebruik GroenLand  
ZSS 0,5 m - jaar 2078



Figuur A.2 Verandering in de polderdoorspoelvraag als het landgebruik wordt aangepast in *Transformeren*, Links: ruimtelijke gedifferentieerd bij 0,5 m zeespiegelstijging. Rechts: totaal Nederland bij 0,5 m, 1 m en 3 m zeespiegelstijging.

### A.3 Beregeningsvraag

De inschatting voor beregeningsvraag is een functie van type gewas, areaal, kans op droogte en mate van droogte. Daarnaast zijn er aannames nodig over beregeningsefficiëntie. Dit is regionaal verschillend. Zonder aanvullende maatregelen neemt de beregeningsvraag van de landbouw in het Stoom2050 scenario toe met een factor 1,5 – 2,5 ten opzichte van huidig (Mens et al., 2020), afhankelijk van de regio. Dit komt grotendeels door klimaatverandering, waardoor het kosteneffectiever wordt om te investeren in beregeningsinstallaties. Het potentieel beregend areaal neemt hierdoor toe van ongeveer 20% naar ongeveer 35% van het landbouwareaal. Daarnaast neemt het aantal giften tijdens droogte toe als het neerslagtekort groter wordt.

In *Intensiveren* wordt er in eerste instantie niet bespaard op de beregeningsvraag. In de berekeningen wordt verkend, als derde stap, of het met een besparing op beregening mogelijk zou zijn om het zoetwaterdoel in de toekomst te blijven halen. Er is gerekend met 10% reductie (Noord en Rivieren) en 33% reductie (West) ten opzichte van Stoom2050.

In *Transformeren* wordt alle landbouw natuurinclusief en minder waterbehoevend, maar er vindt ook een verschuiving plaats van akkerbouw en vollegrondstuinbouw naar de kleigronden in laag Nederland. Omdat het areaal akkerbouw in deze gebieden verdubbelt zal de beregeningsvraag hier mogelijk ook toenemen. Tegelijkertijd wordt in *Transformeren* meer ingezet op droogteresistente gewassen, waardoor de vraag toch minder snel toeneemt dan in Stoom2050. Ook nemen we aan dat grasland niet meer wordt beregend en dat 50% van het areaal hoogproductieve akkerbouw beregend wordt.

De berekening gaat als volgt:

- Voor het Stoom2050-scenario is uit eerdere berekeningen bekend hoeveel areaal beregend wordt uit oppervlaktewater en hoeveel de watervraag voor beregening maximaal bedraagt in een T=20 droog jaar (m³/s)
- Voor de landgebruikskaat horend bij *Transformeren* is eerst per regio het beregend areaal bepaald met bovenstaande aannames;

- De verandering in beregend areaal is gelijkgesteld aan de verandering in beregeningsvraag;
- Deze veranderingsfactoren zijn vervolgens toegepast op de beregeningsvraag van Stoom2050;
- Deze berekening is alleen gedaan voor de regio's Noord, West en Rivierengebied. In de ZWD en de Hoge Zangronden is aangenomen dat er helemaal niet meer uit oppervlaktewater wordt beregend.

Deze aannames leiden tot een schatting van de beregeningsvraag per regio in *Transformeren*, zie Tabel A-3. De beregeningsvraag in regio Noord is 22% lager dan in Stoom2050. In de andere regio's neemt de beregeningsvraag sterker af, ondanks de klimaatverandering, omdat er veel minder akkerbouw is en meer natuur. In West en rivierengebied is de afname 70% ten opzichte van Stoom2050.

Tabel A-3 Watervraag voor berekening (uit oppervlaktewater) in m<sup>3</sup>/s in een droog jaar (afgeleid van Mens et al., 2020) en vertaling naar scenario *Transformeren* op basis van verandering in beregend areaal, en vertaling naar scenario *Intensiveren* (stap 3) op basis van aannames

Regio	Ref	Stoom 2050	Intensiveren (stap 3)	Transformeren	Verandering % in Trans tov Stoom2050	Verandering % in Trans tov Ref
Hoge Zandgronden	20	31	31	60	-100%	-100%
Rivierengebied	8	14	13 (-10 %)	10	-70%	-48%
Noord	31	76	68 (-10 %)	4	-22%	+92%
West	12	18	12 (-33 %)	0	-70%	-48%
Zuidwestelijke delta	13	24	24	0	-100%	-100%
<b>totaal</b>	<b>84</b>	<b>163</b>	<b>148</b>	<b>74</b>	<b>-55%</b>	<b>-12%</b>

## A.4 Drinkwater en industrie

RIVM (2026) heeft gekeken naar de ontwikkeling van drinkwatervraag in de verschillende scenario's. Hieruit blijkt dat de drinkwatervraag uit oppervlaktewater bij 'Business as Usual' gaat toenemen met een factor 1,01 – 1,16 (afhankelijk van de mate van bevolkingsgroei). Passen we deze factoren toe op de innamehoeveelheid uit oppervlaktewater conform de schatting van de Deltascenario's 2015, dan neemt deze toe van 22 m<sup>3</sup>/s naar 23 – 27 m<sup>3</sup>/s. In het scenario *Intensiveren* wordt ingezet op technische oplossingen voor waterzuivering, nieuwe locaties voor drinkwaterwinning en beperkte (vrijwillige) besparing op watergebruik. Hierdoor neemt de drinkwatervraag iets minder snel toe vergeleken met het contextscenario: van 22 naar 22 – 26 m<sup>3</sup>/s. In *Transformeren* neemt de drinkwatervraag af naar 19 – 22 m<sup>3</sup>/s als gevolg van verplichte waterbesparingsmaatregelen.

Ten behoeve van de modelberekening met QWAST is dit vertaald naar een factor 0,95 (5% afname ten opzichte van Stoom2050) voor *Intensiveren*, en een factor 0,8 (20% afname ten opzichte van Stoom2050) voor *Transformeren*. Voor industrie zijn dezelfde percentages toegepast.

## A.5 Watervraag peilbeheer

De watervraag voor peilbeheer in veengebieden zou flink kunnen toenemen. Niet alleen door klimaatverandering waardoor er in de zomer meer water verdampt, maar ook door vernattingsmaatregelen, zoals bv greppelinfiltratie en hogere slootpeilen, als onderdeel van de klimaatmitigatiebeleid. Hiermee is in de eerdere doorrekening van de Deltascenario's nog geen rekening gehouden.

In *Transformeren* neemt de veeteelt sterk af en wordt ingezet op natte teelten in de huidige veenweidegebieden. Hierdoor kunnen doelen voor CO<sub>2</sub> reductie en remmen van bodemdaling worden bereikt. De hogere slootpeilen en hogere grondwaterstanden waarop wordt gestuurd zorgen weliswaar voor een hogere watervraag in droge zomers, maar deze toename kan (deels) worden opgevangen door lokale waterbuffers en flexibeler peilbeheer (hogere in de winter en verder uitzakken in de zomer) (America-Van den Heuvel et al., 2023). We nemen daarom aan dat de watervraag door het veranderde waterbeheer niet verder toeneemt, maar nog wel hoger is dan de huidige vraag door de toename van verdamping. De peilbehevraag verandert dus niet ten opzichte van Stoom2050.

In *Intensiveren* wordt het veenweidegebied vernet door middel van onderwaterdrainage of drukdrainage, zodat het huidige landgebruik zo goed mogelijk kan blijven bestaan. Dit zorgt voor een toename in de watervraag voor peilbeheer met circa 35% (gemiddeld over alle gebieden met een peilbehevraag) in droge jaren (America-Van den Heuvel et al., 2023). In de berekening met QWAST is dit niet meegenomen.

## A.6 Regionale aanvoercapaciteit vergroten

In *Transformeren* zal de watervraag nog steeds toenemen ten opzichte van nu, ondanks de (ruimtelijke) maatregelen om de watervraag te reduceren. In sommige regio's zal de aanvoercapaciteit daarom moeten worden vergroot. In West wordt tot aan 2050 ingezet op extra aanvoer (surplusdebieten) voor het zoethouden van Hollandsche IJssel en Lek indien nodig. Bij zeespiegelstijging worden de benodigde surplusdebieten wel groter. Voor de tegendruk op de Hollandsche IJssel moet bij grote debieten het regionale aanvoersysteem worden aangepast. Af en toe iets meer zoutindringing vanuit zee kan worden geaccepteerd omdat de drinkwaterbedrijven langs de Lek ook inzetten op meer reserve en ontziltingstechnieken.

In *Intensiveren* speelt het regionale aanvoersysteem een belangrijke rol. In West-Nederland betekent dit de verdere uitbreiding van de capaciteit van de Klimaatbestendige Wateraanvoer en Krimpenerwaardroute. De inlaat Eefde om de Twentekanalen te voorzien vanuit de IJssel wordt vergroot. Voor Noord-Nederland wordt het Amsterdam-Rijnkanaal ingericht als extra doorverroute om water vanuit de Waal naar het IJsselmeer/Markermeer te leiden.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)