

## Effectiviteit van bufferzones voor grondwaterstandsverhoging in grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden

Een modelverkenning op landelijke schaal



**Effectiviteit van bufferzones voor grondwaterstandsverhoging in  
grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden**  
Een modelverkenning op landelijke schaal

**Auteur(s)**

Rianne Meeusen

Perry de Louw

Ruben Boelens (Hydrologic)

Marjolein Mens

## Effectiviteit van bufferzones voor grondwaterstandsverhoging in grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden

Een modelverkenning op landelijke schaal

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Sharon Muurling-Van Geffen
<b>Referenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	-

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	0.1
<b>Datum</b>	08-09-2023
<b>Projectnummer</b>	11209259-000
<b>Document ID</b>	11209259-000-ZWS-0001
<b>Pagina's</b>	63
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Rianne Meeusen	
	Perry de Louw	
	Ruben Boelens (Hydrologic)	
	Marjolein Mens	

# Samenvatting

Een van de doelen van het Deltaprogramma Zoetwater is om bij te dragen aan een 'gezond en evenwichtig water- en bodemsysteem'. In lijn met de Kabinetsbrief 'Water en Bodem sturend' wordt gestreefd naar het verhogen van grondwaterstanden en kwelfluxen in en om grondwaterafhankelijke natuurgebieden, zodat deze (veelal verdroogde) natuurgebieden kunnen herstellen. Dit rapport laat zien in hoeverre de grootte én inrichting van bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden in de zandgronden bijdraagt aan het verhogen van grondwaterstanden en/of vergroten van de kwelflux in die natuurgebieden.

*De hoofdvraag in dit rapport is: wat is het effect van verschillende combinaties en dimensionering van maatregelen binnen bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur in de hoge zandgronden op de grondwaterstanden en de kwelflux in deze natuurgebieden?*

De onderzochte maatregelen grijpen in op het ontwateringssysteem of het onttrekkingsdebiet voor drinkwater, beregening of industrie.

Om de vraag te beantwoorden zijn langjarige berekeningen uitgevoerd met het Landelijk Hydrologisch Model. In de modelanalyse zijn verschillende varianten gesimuleerd waarbij is gevarieerd met het type maatregel in de bufferzone (ontwatering, beregeningsonttrekking en drinkwateronttrekking) en de grootte van de bufferzone. Het effect van de maatregelen is uitgedrukt in GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand), GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) en gemiddelde kwelflux. Hoewel niet goed bekend is hoeveel verandering van het grondwaterregime nodig is om te voldoen aan de eisen die natuurbeheertypen en habitattypen in de verschillende natuurgebieden stellen, is hiermee wel een indruk verkregen van de relatieve bijdrage van de bufferzones en welke combinatie van grootte en type maatregel potentieel de grootste bijdrage levert. Het is nadrukkelijk een verkennende studie op nationale schaal die orde grootte effecten van bufferzones in beeld brengt. Modelresultaten zijn niet geschikt om te interpreteren op het schaalniveau van een individueel natuurgebied.

## **Gebruik van bufferzones**

De resultaten laten zien dat een aanpak met bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur geschikt is voor ontwateringsmaatregelen, maar minder goed werkt voor het reduceren van grondwateronttrekkingen. Het effect van de ontwateringsmaatregelen neemt toe naarmate de bufferzones groter zijn, maar het extra effect bij oplopende buffergrootte wordt wel steeds kleiner. Het maximale effect wordt bereikt bij een bufferzone van 2000 m. In alle provincies behalve Drenthe levert een bufferzone van 500 m meer dan 80% van het maximale effect voor deze maatregel.

Bij drinkwateronttrekkingen geldt dat de huidige onttrekkingshoeveelheden mede bepalend zijn voor het effect en het uitstralingseffect van grote onttrekkingen groot kan zijn. Hierdoor levert een bufferzoneaanpak waarschijnlijk niet een optimale selectie van locaties die samen het grootste effect teweeg brengen.

Bij beregeningsonttrekkingen zijn de individuele onttrekkingshoeveelheden relatief klein, maar betreft het een groot aantal locaties met grote ruimtelijke spreiding. Het reduceren van beregening uit grondwater heeft hierdoor pas zichtbaar effect als de onttrekkingen van beregeningslocaties over een groot gebied tegelijk wordt aangepast.

### **Effect van de maatregelen**

Wanneer de ontwateringsbasis gebiedsdekkend verhoogd wordt naar 0,5 m onder maaiveld neemt de zomergrondwaterstand (GLG) in natuurgebieden toe met gemiddeld 25 cm. Lokaal kan het effect groter zijn: in 10% van de natuurgebieden berekende het model een verhoging van 50 cm. Het effect op de voorjaarsgrondwaterstand is iets kleiner, maar zelfde orde grootte.

Een verdere verhoging van de ontwateringsbasis naar 0,3 m beneden maaiveld, in een bufferzone van 500 m, geeft gemiddeld circa 5 cm meer effect dan de variant met verhoging naar 0,5 m beneden maaiveld. Voor sommige natuurgebieden kan het verder verhogen van de ontwateringsbasis veel extra effect hebben. In 10% van de natuurgebieden bedraagt het extra effect 20 cm. De GLG verhoging in deze gebieden ten opzichte van de referentie is 70 cm of meer.

Het reduceren van grondwateronttrekkingen voor beregening heeft met name effect op de zomergrondwaterstand in een droog jaar (LG3). Ook is het effect sterk afhankelijk van de mate van droogte. Bij 100% reductie in het hele gebied, zijn de berekende effecten op de LG3 in Noord-Brabant voor het jaar 2003 gemiddeld 2 cm en lokaal meer dan 2,5 cm (=p75 in de boxplot). Dit is lager dan de berekende effecten voor het jaar 2018 in een eerdere studie: gemiddeld 4 cm en lokaal meer dan 6 cm. De LG3 is geen gangbare maat om de effecten op natuur via standplaatscondities in te kunnen schatten. Meestal wordt uitgegaan van langjarig gemiddelde condities in het voorjaar (GVG) en de zomer (GLG). Er is meer onderzoek nodig naar het effect van tijdelijke verdere grondwaterdalingen door beregening op de natuur.

Bij 50% reductie van onttrekkingen voor drinkwater in een bufferzone van 2000 m stijgen de gemiddelde zomergrondwaterstanden in natuurgebieden met 10-100 cm, maar de ruimtelijke verschillen zijn groot. Ook het effect op de kwelflux in kwelafhankelijke natuurgebieden (zoals beekdalen) kan heel groot zijn. De kwel kan toenemen met meer dan 0,5 mm per dag in natuurgebieden dichtbij winningen met een groot onttrekkingsdebiet. In sommige natuurgebieden bedraagt de kweltoename meer dan 60%.

Industriële onttrekkingen hebben vanwege hun kleinere omvang (in verhouding tot drinkwateronttrekkingen) een veel kleiner effect, zeker als gekeken wordt naar gebiedsgemiddelde GLG. Het reduceren van deze winningen kan lokaal wel bijdragen aan het vernatten van natuurgebieden.

### **Gebiedsgerichte afweging**

Het concept van bufferzones gaat er vanuit dat maatregelen bijdragen aan grondwatercondities van grondwaterafhankelijke natuurgebieden. De maatregelen hebben ook effect op het grondwaterstandsregime in de bufferzones, dus buiten de natuurgebieden. Dit kan gewenste en ongewenste effecten teweeg brengen in de landbouwgebieden.

Om tot een goede afweging van maatregelen te komen is het belangrijk om per natuurgebied eerst te bepalen welke verandering van grondwaterstanden en/of kwelfluxen nodig is om de standplaatsseisen van de gewenste natuurtypen te realiseren, en vervolgens met welke combinatie van maatregelen dit doel bereikt kan worden met de minste kosten voor de omgeving. Dit dient op het lokale niveau van de natuurgebieden plaats te vinden. De benodigde omvang van de bufferzones en intensiteit van maatregelen moeten samen met de afweging van positieve en negatieve effecten in een gebiedsgerichte aanpak worden uitgewerkt.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>8</b>
1.1	Context	8
1.2	Hoofdvraag en doel	8
<b>2</b>	<b>Varianten en modelvertaling</b>	<b>10</b>
2.1	Landelijk Hydrologisch Model (LHM)	10
2.2	Uitgangspunten	11
2.2.1	Gebiedsafbakening	11
2.2.2	Referentiesituatie en inspeelperiode	14
2.3	Maatregelvarianten	14
2.3.1	Overzicht modelruns	14
2.3.2	Ontwateringsbasis verhogen	15
2.3.3	Reductie beregeningsgift uit grondwateronttrekkingen	15
2.3.4	Reductie van grondwateronttrekkingen ten behoeve van drinkwater en industrie	16
2.4	Indicatoren voor de analyse	18
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>19</b>
3.1	Ontwateringsmaatregelen	19
3.1.1	Ontwatering naar 0,5 m-mv bij verschillende buffergroottes	19
3.1.1.1	Effect in het hele projectgebied	19
3.1.1.2	Effect in grondwaterafhankelijke natuurgebieden	20
3.1.1.3	Effect in de bufferzones	24
3.1.2	Ontwateringsvarianten bij een bufferzone van 500 m	26
3.1.3	Vergelijking tussen provincies	28
3.2	Beregeningsmaatregelen uit het grondwater	30
3.2.1	Berekening in LHM	30
3.2.2	Effect van bufferzonegrootte	32
3.2.3	Effect op de kwelflux	35
3.2.4	Effect in Noord-Brabant	36
3.3	Onttrekkingsmaatregelen drinkwater en industrie	37
3.3.1	Onttrekkingen als puntbronnen	37
3.3.2	Effect van bufferzonegrootte bij 50% reductie	39
3.3.2.1	Landelijk beeld	39
3.3.2.2	Grondwaterafhankelijke natuur	40
3.3.2.3	Regionaal beeld	42
3.3.3	Effect van de mate van reductie van het drinkwateronttrekkingsdebiet	43
3.3.4	Effect op de kwelflux	44
3.3.5	Industriële onttrekkingen t.o.v. drinkwater onttrekkingen	45
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>54</b>

<b>A</b>	<b>LHM4.2.1-Referentie</b>	<b>55</b>
<b>B</b>	<b>Modelvertalingen maatregelen</b>	<b>58</b>

# 1 Introductie

## 1.1 Context

Een van de doelen van het Deltaprogramma Zoetwater is om bij te dragen aan een 'gezond en evenwichtig water- en bodemsysteem'. In lijn met de Kabinetsbrief 'Water en Bodem sturend' wordt gestreefd naar het verhogen van grondwaterstanden en kwelfluxen 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.

Het verhogen van grondwaterstanden en/of kwelfluxen is met name nodig in natuurgebieden die verdroogd zijn. Van verdroging is sprake als "de hoeveelheid beschikbaar grondwater van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen..." (Ministerie van VROM, 1989). Dit uit zich vooral door te lage grondwaterstanden in het voorjaar en zomer en te weinig kwel. Landbouwgebieden kunnen volgens deze definitie niet verdrogen, maar wel droogteschade ondervinden (zie ook Knotters&Jansen, 2005). Als gevolg van klimaatverandering en andere ontwikkelingen kunnen grondwaterregimes verder veranderen in de toekomst, waarbij gemiddelde zomergrondwaterstanden nog lager kunnen worden (zie Mens et al., 2020). Dit heeft gevolgen voor zowel natuurgebieden als landbouwgebieden. Dit rapport richt zich hoofdzakelijk op de grondwaterafhankelijke natuurgebieden en het huidige klimaat.

Om afwegingen rondom nieuw beleid te ondersteunen, is meer inzicht nodig in de effectiviteit van bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden. In eerdere studies is al gekeken naar verschillende bouwstenen: het verminderen van ontwatering, en reduceren van grondwateronttrekkingen voor drinkwater, industrie en beregening. Een aanpak met bufferzones voor dit type maatregelen is relatief nieuw en de focus van het onderliggende onderzoek.

Aan Deltares is gevraagd om een modelmatige gevoeligheidsanalyse uit te voeren naar het effect van verschillende combinaties en dimensionering van de hiervoor genoemde maatregelen binnen bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur in de hoge zandgronden. In Hoofdstuk 2 wordt de aanpak en de gebiedsafbakening verder toegelicht.

In deze verkennende studie kijken we naar het effect van verschillende type maatregelen in verschillende grootte bufferzones op een ruimtelijke resolutie van 250x250 m. Er worden nadrukkelijk alleen orde grootte van hydrologische effecten in beeld gebracht (grondwaterstand in het voorjaar, zomer en kwelfluxen). Het bepalen van natuurdoelrealisaties en effecten voor andere functies als landbouw en bebouwing vallen buiten de scope en zijn op het schaalniveau van deze studie niet nauwkeurig genoeg te bepalen. Het in beeld brengen van de impact op natuur, landbouw en andere functies dient in gebiedsstudies te gebeuren, op een veel kleiner schaalniveau .

## 1.2 Hoofdvraag en doel

Het doel van de analyse is om te verkennen in hoeverre maatregelen binnen bufferzones van olopende grootte rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden kunnen bijdragen aan de verhoging van grondwaterstanden, zowel in de winter als in de zomer, en/of het vergroten van de kwelflux.



Om tot dit doel te komen, wordt er gevarieerd met type maatregel (verminderen van de ontwatering, of het reduceren van grondwateronttrekkingen voor beregening, drinkwater en/of industrie), de intensiteit van de maatregel (bv. reductie van 50% of 100%) en de grootte van de bufferzone. Het effect van de maatregelen wordt uitgedrukt in grondwaterregime en kwelfluxen. Hoewel niet goed bekend is in hoeverre het grondwaterregime met veranderen om te voldoen aan de eisen die beheerdoelen in de verschillende natuurgebieden stellen, is wel een indruk te verkrijgen van de relatieve bijdrage van de bufferzones en welke combinatie van grootte en type potentieel de grootste bijdrage levert. Om die rede is het belangrijk om de per type maatregel ook mee te nemen hoe de grootte van de maatregel bijdraagt.

De hoofdvraag luidt:

Wat is het effect van maatregelen binnen bufferzones van oplopende omvang rondom grondwaterafhankelijke natuur in de hoge zandgronden op de grondwaterstanden en de kwelflux in deze natuurgebieden?

De onderzochte maatregelen in de bufferzones van oplopende omvang zijn:

- Verhogen van de ontwateringsbasis naar 0,3 m en 0,5 m beneden maaiveld;
- Reduceren van grondwateronttrekking voor beregening met 50% en 100%;
- Reduceren van grondwateronttrekking voor drinkwater met 25%, 50% en 100%;
- Reduceren van grondwateronttrekking voor industrie met 50%.

## 2 Varianten en modelvertaling

### 2.1 Landelijk Hydrologisch Model (LHM)

De berekeningen worden uitgevoerd met het Landelijke Hydrologisch Model (LHM). Dit is een nationaal grondwatermodel van Nederland dat vooral goed werkt in het berekenen van veranderingen in grondwater. Het is een model van de verzadigde en onverzadigde zone, het grondwater en het oppervlaktewater. Het berekent de hydrologische processen op dagbasis en met een ruimtelijke resolutie van 250x250 m, wat een grovere resolutie is dan de meeste regionale modellen (25x25 m). LHM wordt veelvuldig ingezet voor verkennende scenario-berekeningen op nationaal niveau voor het Deltaprogramma Zoetwater. Het model is gericht op de simulatie van gemiddelde en droge situaties. Met het model kunnen bijvoorbeeld grondwaterstanden, stijghoogten in diepere watervoerende pakketten, kwel- en wegzijgingsfluxen en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater worden berekend. Daarnaast wordt de verdeling van oppervlaktewater berekend over het landelijke waterverdelingsnetwerk en over de verschillende regionale oppervlaktewateren in Nederland, zodat op regionaal en landelijk niveau de beschikbaarheid van oppervlaktewater in beeld kan worden gebracht. Bij de waterverdeling tijdens situaties van watertekort wordt rekening gehouden met prioritering tussen watergebruikers in lijn met de verdringingsreeks.

Binnen deze gevoeligheidsanalyse voor het gehele zandgebied is er voor gekozen om verkennende landsdekkende berekeningen met LHM uit te voeren. Belangrijkste redenen zijn (1) eenduidige verkenning van oplossingsrichtingen voor het gehele studiegebied, (2) modelresultaten zijn voor het gehele gebied beschikbaar en niet slechts voor een deel van het gebied. Het is rekentechnisch niet mogelijk om het gehele zandgebied met de regionale modellen (zoals IBRAHYM, Azure) door te rekenen (te lange rekentijden, en verschillende modellen met verschillende concepten) (3) watersysteemwerking en effecten van ingrepen tussen gebieden kunnen met elkaar worden vergeleken, (4) beregeningsbehoefte wordt automatisch berekend.

Uiteraard heeft het grove schaalniveau van LHM ook nadelen. Berekende effecten kunnen op lokaal schaalniveau met de werkelijkheid verschillen en er is geen onderscheid in effecten op een schaalniveau kleiner dan 6,25 ha (grootte van de rekencellen). Het ontwateringsproces (en relatie grondwater-oppervlaktewater) kan op dit grove schaalniveau minder goed worden gesimuleerd dan met de beschikbare regionale grondwatermodellen. Uiteraard speelt de geohydrologische opbouw een belangrijke rol maar ook ontwatering en onttrekkingen. Zo stammen de onttrekkingsgegevens van de drinkwaterwinningen en het areaal aan potentieel beregende percelen uit 2010 (Massop et al., 2013). De onttrekkingsgegevens zijn in LHM versie 4.3 geüpdatet, maar worden niet in deze studie meegenomen. Wanneer in werkelijkheid meer of minder berekend wordt uit het grondwater heeft dit direct invloed op de berekende effecten. Op <http://www.nhi.nu/nl/> is uitgebreide informatie beschikbaar over de modelinvoer en concepten van het LHM, inclusief geohydrologische opbouw, ontwatering, onttrekkingen en beregeningsbehoefte. Er dient te worden opgemerkt dat de geohydrologie van het Krijtlandschap in Zuid-Limburg, Brabantse Wal en De Peel meer complex is dan in de LHM-versie 4.2.1 kan worden meegenomen waardoor de modelresultaten voor deze gebieden minder betrouwbaar zijn.

## 2.2 Uitgangspunten

### 2.2.1 Gebiedsafbakening

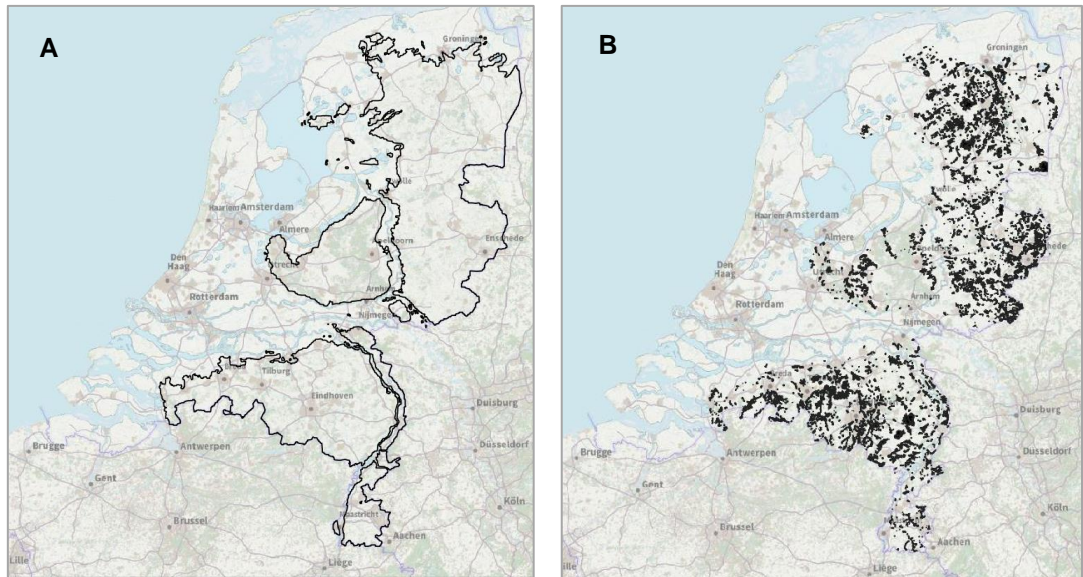
In dit onderzoek focussen we op de grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen de Nederlandse zandgronden (Figuur 2-1). De afbakening van de zandgronden is gemaakt op basis van de hydrotype kaart (Massop et al, 2000). Een hydrotype is een gebied met dezelfde geohydrologische kenmerken. Daarbij is gekozen voor alle hydrotype in de hydroregio 'zandgronden' (Massop et al, 2000). De grondwaterafhankelijke natuurgebieden zijn ontleend uit de studie 'Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland' (Van den Eertwegh et al, 2021) en gedefinieerd als natte natuurgebieden waarvan het beheertype als grondwaterafhankelijk is gedefinieerd. Deze beheertypen zijn aangewezen door de projectteam van de droogtestudie (Van den Eertwegh et al, 2021).

De volgende drie typen maatregelen zijn onderzocht om het grondwaterregime te veranderen in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden:

- 1) Verhogen van de ontwateringsbasis;
- 2) Beperken van grondwateronttrekkingen ten behoeve van beregening;
- 3) Beperken van grondwateronttrekkingengrondwateronttrekkingen voor drinkwater en industrie.

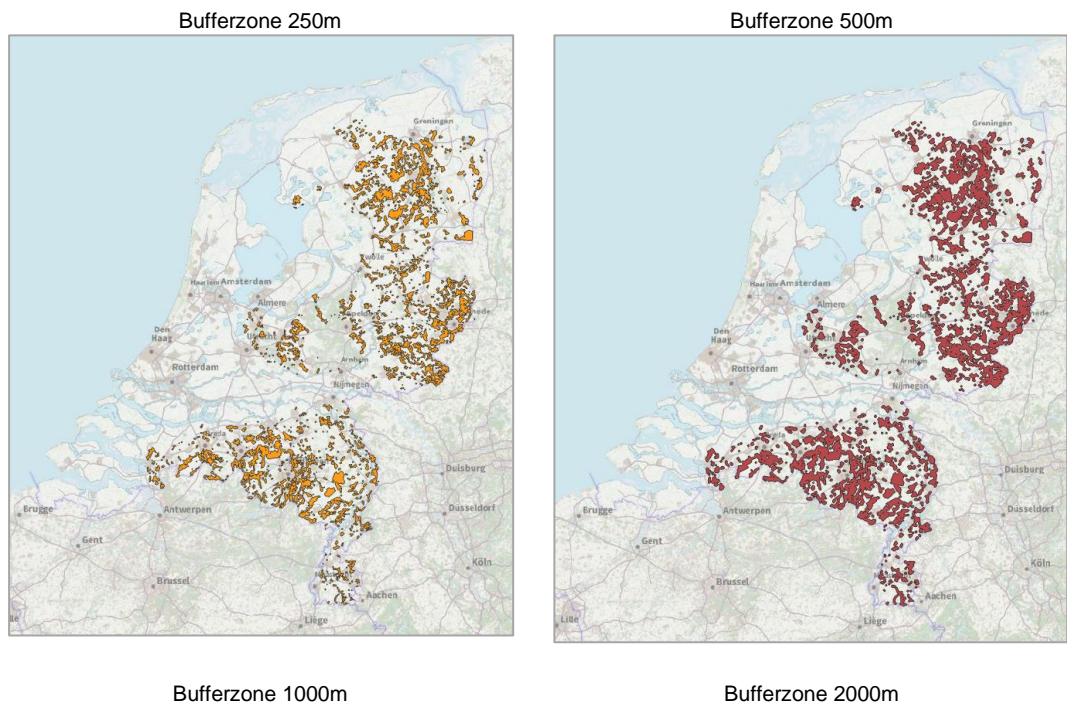
De toepassingsgebieden zijn per maatregeltipe verschillend (zie ook Paragraaf 2.3):

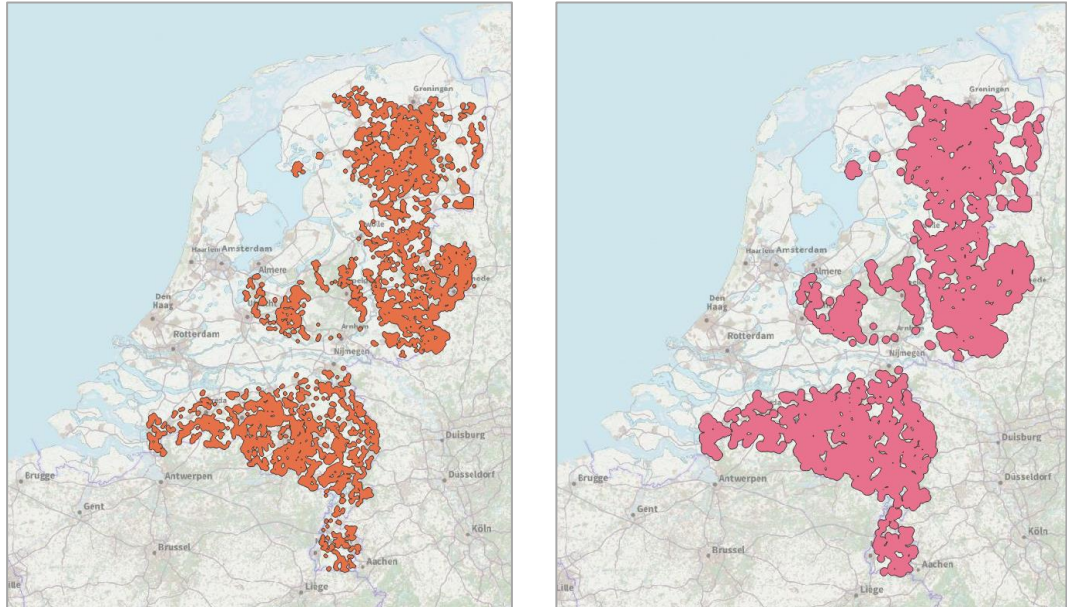
1. Ontwateringsbasis verhogen: Toegepast in een bufferzone rondom de natuurgebieden, niet toegepast in de natuurgebieden zelf. De grootte van de bufferzone varieert tussen 250 en 2000 meter en gebiedsdekkend.
2. Grondwateronttrekkingen beregening reduceren: Toegepast binnen grondwaterafhankelijke natuurgebieden inclusief een bufferzone rondom de natuurgebieden. De grootte van de bufferzone varieert tussen 250 en 2000 meter en gebiedsdekkend
3. Grondwateronttrekkingen drinkwater en industrie reduceren: Toegepast binnen grondwaterafhankelijke natuurgebieden inclusief een bufferzone rondom de natuurgebieden. De grootte van de bufferzone varieert tussen 250 en 2000 meter.



Figuur 2-1 A) De afbakening van het onderzoeksgebied van de hoge zandgronden en B) de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het onderzoeksgebied.

De verschillende bufferzones worden weergegeven in Figuur 2-2. De bufferzones zijn om elk individueel natuurgebied getrokken en daar waar de bufferzones overlappen zijn ze samengevoegd. In Figuur 2-2 zijn de bufferzones als polygonen weergegeven. In het LHM worden ze op gridschaal van 250x250 m<sup>2</sup> toegepast. Dit betekent dat een bufferzone van 250 meter in het model wordt weergegeven als een gebied van één gridcel rondom de grondwaterafhankelijke natuur. Een bufferzone van 500 meter betreft maar een bufferzone van twee gridcellen rondom de grondwaterafhankelijke natuur. Als de bufferzone buiten het projectgebied van de hoge zandgronden valt, wordt de maatregel ook meegenomen buiten het projectgebied.





*Figuur 2-2 De bufferzones voor de onttrekkingen en beregening met verschillende groottes rond de grondwaterafhankelijke natuur, waarbij de natuur zelf is meegenomen in de bufferzones.*

Voor de ontwatering is alleen in de bufferzones de maatregel toegepast en niet in de natuurgebieden. Dit is geïllustreerd in Figuur 2.3 waar de bufferzones zonder natuur zijn weergegeven. Dit is gedaan om het effect van maatregelen buiten natuurgebieden in beeld te brengen. Anders zou ook het effect van het aanpassen van ontwatering in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden worden meegenomen en kan dan niet gescheiden worden van de bufferzone-effecten. Onttrekkingen en beregening zijn in principe niet aanwezig in grondwaterafhankelijke natuurgebieden, ontwatering meestal wel. .



*Figuur 2-3 De bufferzones voor de ontwatering met verschillende groottes rond de grondwaterafhankelijke natuur, waarbij de natuur zelf niet is meegenomen in de bufferzones. In het figuur zijn de bufferzones bovenin van 250m en 500m, onderin de bufferzones van 1000m en 2000m*

## 2.2.2 Referentiesituatie en inspeelperiode

De referentiesituatie van deze studie betreft het LHM4.2.1 maar dan aangepast zodat daarin verschillende beleidsontwikkelingen al zijn meegenomen (Bijlage A). Voor alle runs zijn dezelfde tijdreeksen (neerslag, verdamping, rivierafvoer) gebruikt als voor de 'basisprognoseberekeningen' met het Nationaal Water Model ten behoeve van de landelijke knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater (Mens et al., 2020). De beschikbare tijdreeks voor het referentieklimaat is van 1911 tot 2011. De periode van 1980 tot en met 1994 is gebruikt om het model in te laten spelen voor de analyse van de grondwateronttrekkingen van drinkwater, industrie en beregening. Voor ontwateringsmaatregelen is een kortere inspeelperiode gehanteerd: van 1990 tot 1994. De analyse is uitgevoerd voor de periode van 1995 tot en met 2010.

## 2.3 Maatregelvarianten

### 2.3.1 Overzicht modelruns

Tabel 2-1 geeft het overzicht van alle combinaties van bufferzone en maatregeltype en mate van ophoging of reductie die met het model zijn doorgerekend. In totaal zijn er 19 modelruns uitgevoerd. Elke individuele modelrun heeft een code gekregen die in de rest van het rapport zal worden gebruikt in de figuren. De codering is als volgt opgezet:

- Een letter (B = Buffer, als algemene aanduiding maar voor drinkwaterwinningen aangepast vanwege meerdere varianten: D = Drinkwaterbuffer, I = Industriebuffer)
- Daarna de grootte van de bufferzone (250, 500, 1000, 2000)
- Dan de maatregel aangeduid in percentage reductie van de onttrekking voor voor de drinkwateronttrekkingen en beregeningsonttrekkingen (25, 50 en 100 reductie), of een algemene code voor de ontwateringsmaatregelen omdat deze niet in percentages zijn uit te drukken (1, 2)
- Voor gebiedsdekkende maatregelen is i.p.v. de letter en buffergrootte het woord Regio gehanteerd aangezien dit een 'regionale' aanpak betreft in het gehele projectgebied.

Tabel 2-1 Overzicht van alle modelvarianten die gesimuleerd zijn

Maatregeltype	Reductie maatregel	Bufferzone grootte				
		250m	500m	1000m	2000m	Project-areaal
Ontwatering	Ontwateringsbasis van alle ontwatering tot 0.5m-mv verhogen, buisdrainage weghalen	B250_1	B500_1	B1000_1	B2000_1	Regio_1
	Ontwateringsbasis van alle ontwatering tot 0.3m-mv verhogen, buisdrainage weghalen		B500_2			
Beregening	50% reductie van beregeningsgift	B250_50	B500_50	B1000_50	B2000_50	Regio_50
	100% reductie van beregeningsgift			B1000_100		Regio_100
Drinkwater onttrekkingen	25% reductie			D1000_25		
	50% reductie	D250_50		D1000_50	D2000_50	
	100% reductie			D1000_100		
Industriële onttrekkingen	50% reductie			I1000_50		

### 2.3.2 Ontwateringsbasis verhogen

Een van de maatregelen om meer water vast te houden en daarmee grondwaterstanden in natuurgebieden te verhogen en kwelfluxen te vergroten is het verhogen van de ontwateringsbasis. Er zijn verschillende maatregelen om deze extensivering van het ontwateringssysteem te realiseren. Dit onderzoek focust op een drietal maatregelen om de ontwateringsbasis te verhogen:

1. Verhogen ontwateringsbasis
2. Slootboderverhoging
3. Verwijderen van buisdrainage

Het verhogen van de ontwateringsbasis is in het model vertaald in zowel een peilopzet als een verhoging van de slootbodem. Hiermee blijft de waterdiepte gelijk. In tegenstelling tot de andere twee maatregeltypes, wordt deze maatregel niet binnen de natuurgebieden toegepast. In veel grondwaterafhankelijke natuurgebieden is de ontwatering al aangepast om verdroging tegen te gaan. Echter lokaal zouden diepe watergangen in natuurgebieden de verhoging van grondwaterstanden kunnen verhinderen.

Tabel 2-2 geeft een overzicht van de modelvarianten waarin de ontwatering is aangepast. Verhoging naar 30 cm of 50 cm onder maaiveld is toegepast voor de primaire, secundaire en tertiaire waterlopen, en de buisdrainage is verwijderd. De variant met 50 cm is toegepast binnen bufferzones van 250, 500, 1000 en 2000 m en gebiedsdekkend. De variant met 30 cm is alleen toegepast binnen een bufferzone van 500 m. Hoe deze maatregel precies is uitgevoerd is weergegeven in Bijlage B.

Tabel 2-2 Overzicht modelvarianten voor het type maatregel 'ontwatering'

Type maatregel	Variante	Bufferzone grootte	Totaal aantal runs
Ontwatering	Ontwateringsbasis verhogen tot 0.5m-mv en buisdrainage verwijderen	250, 500, 1000 en 2000m, gebiedsdekkend	5
	Ontwateringsbasis verhogen tot 0.3m-mv en buisdrainage verwijderen	500m	1

Bij het analyseren van de ontwateringsmaatregelen is het belangrijk om de beperkingen van het ontwateringsproces in acht te nemen. Het ontwateringsproces (en relatie grondwater-oppevlaktewater) kan op dit grove schaalniveau minder goed worden gesimuleerd dan met de beschikbare regionale grondwatermodellen op kleinere schaal. Er komen vaak meerdere typen ontwatering (primair, secundair en tertiair) met verschillende ontwateringsdiepte in één modelcel voor. Deze ontwateringsmiddelen binnen één modelcel worden allen aangestuurd door één grondwaterstand. De kleinere slootjes met een hoger ontwateringsniveau (tertiair systeem) draineren vaak niet omdat de gemiddelde grondwaterstand onder het ontwateringsniveau staat. De grotere en diepere sloten en waterlopen nemen de ontwatering van het tertiair systeem in veel gevallen over. Hoewel het proces van droogvallen van kleinere slootjes met een hoger ontwateringsniveau normaal is, komt dit in het LHM veel vaker voor dan in werkelijkheid. Tijdens de droogtestudie (Van den Eertwegh et al., 2021) is geconstateerd dat hierdoor het berekende effect op de GLG vermoedelijk wordt overschat maar hoeveel is niet bekend.

### 2.3.3 Reductie beregeningsgift uit grondwateronttrekkingen

De maatregel 'reductie van beregening uit grondwater' is toegepast met 50% reductie in bufferzones van 250, 500, 1000 en 2000 m, en gebiedsdekkend.

Aanvullend is een simulatie gedaan met 100% reductie binnen een bufferzone van 1000 m en gebiedsdekkend. Het overzicht van de varianten staat in Tabel 2-3.

Tabel 2-3 Overzicht modelvarianten voor het type maatregel 'beregening'

Type maatregel	Variant	Bufferzone grootte	Totaal aantal runs
Beregening uit grondwater	50% reductie	250, 500, 1000 en 2000m, gebiedsdekkend	5
	100% reductie	1000m, gebiedsdekkend	2

De reductie van de beregening is toegepast door de beregeningsgift zelf te verminderen. Per keer beregening kan er dus minder beregend worden. Het is namelijk niet mogelijk om van tevoren de totale hoeveelheid beregening te reduceren omdat het model de hoeveelheid beregening uitrekent op basis van bodemvochtcondities. In de variant met 50% reductie is de beregeningsgift gehalveerd voor alle locaties binnen de bufferzone waar beregening uit grondwater mogelijk is. Als er beregening nodig is, wordt een vaste hoeveelheid beregeningsgift gegeven. In dit geval zal deze gift dus 50% kleiner zijn dan in de referentie. Het kan zijn dat door de kleinere hoeveelheid beregening in de volgende beregeningsmogelijkheid (bv. 7 dagen later) weer beregening nodig is terwijl in de referentie dit niet nodig is doordat daar nog wel genoeg bodemvocht aanwezig is door de grotere hoeveelheid initiële beregening. Dit betekent dat de totale beregeningshoeveelheid die over het hele groeiseizoen wordt berekend niet precies 50% is van de totale hoeveelheid in de referentie. Bij het bespreken van de resultaten zullen de uiteindelijke reductiehoeveelheden per maatregeltipe worden gegeven.

Er is bij dit maatregeltipe voor gekozen om het ook toe te passen binnen de grondwaterafhankelijke natuur omdat beregening in grondwaterafhankelijke natuur niet wenselijk is en daarnaast, met de berekenings-schaal van het LHM (250x250m), het landgebruik binnen het LHM niet altijd 1 op 1 overeenkomt met het werkelijke landgebruik. Het kan zijn dat een modelcel half grondwaterafhankelijke natuur bevat en half landbouw met beregening en dat deze cel in het LHM als landbouw is aangemerkt. Om zeker te zijn dat deze beregening dus ook gehalveerd wordt, is de maatregel ook binnen de grondwaterafhankelijke natuur toegepast.

#### 2.3.4 Reductie van grondwateronttrekkingen ten behoeve van drinkwater en industrie

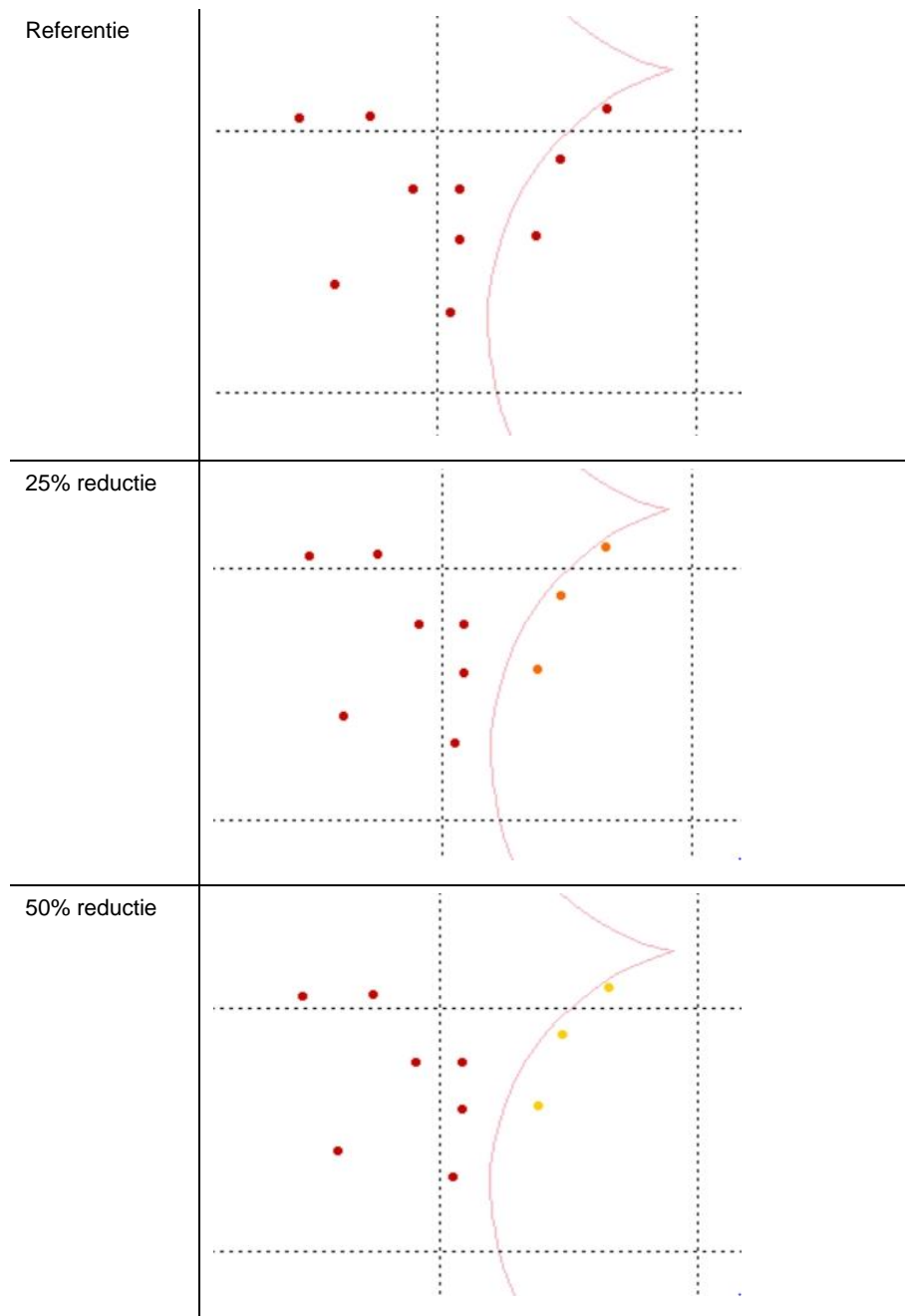
Bij deze maatregel worden de fluxen van de drinkwateronttrekkingen of industriële onttrekkingen die binnen de bufferzones liggen gereduceerd met een bepaald percentage (25, 50 en 100%). De gehanteerde bufferzones zijn die van 250, 1000 en 2000m (zie Figuur 2-2). Voor de drinkwateronttrekkingen worden alle bufferzones doorgerekend met een onttrekkingsreductie van 50%. Daarnaast wordt de 1000 m bufferzone ook doorgerekend met een drinkwateronttrekking reductie van 25% en 100%. Er wordt één maatregelvariant doorgerekend waarbij de industriële onttrekkingen worden gereduceerd, dit is voor de 1000m bufferzone met 50% reductie. Tabel 2-4 geeft het overzicht van de modelvarianten.

De verwachting is dat onttrekkingslocaties in werkelijkheid niet binnen natuurgebieden aanwezig zijn. Toch is er besloten om de reductie ook in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden zelf toe te passen omdat de ligging van deze natuurgebieden mogelijk niet één op één overeenkomt met de locaties van de onttrekkingen binnen het LHM. Op deze manier weten we zeker dat alle onttrekkingslocaties worden meegenomen.

In Figuur 2-4 is een winveld van drinkwateronttrekkingen weergegeven op de rand van een bufferzone. Het illustreert de uitwerking van reductie van de drinkwaterwinningen binnen een zone van 1000m vergeleken met het referentiescenario.



Daar is weergegeven dat de onttrekkingen verminderen binnen de bufferzone (rechterkant), maar dat buiten de bufferzone de onttrekkingen gelijk blijven.



*Figuur 2-4 Illustratie van bufferzone aanpak voor onttrekkingen met bufferzone van 1000m. De kleuren van de onttrekkingen geven de intensiteit van de flux weer. Rode kleuren indiceren een groot onttrekkingsdebiet; gele kleuren een kleiner onttrekkingsdebiet. De rand van de bufferzone is weergegeven met een roze lijn.*

Tabel 2-4. Overzicht modelvarianten voor het type maatregel 'onttrekking' voor drinkwater en industrie

Type maatregel	Variant	Bufferzone grootte	Totaal aantal runs
Drinkwater onttrekkingen	25% reductie	1000m	1
	50% reductie	250, 1000 en 2000m	3
	100% reductie	1000m	1
Industriële onttrekkingen	50% reductie	1000m	1

## 2.4 Indicatoren voor de analyse

Voor het analyseren van de resultaten is gefocust op het grondwaterregime en de kwelflux binnen grondwaterafhankelijke natuurgebieden en de bufferzones waarin maatregelen worden toegepast. De veel gebruikte eenheid om het grondwaterregime te kwantificeren is de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG). De GLG en GVG worden veelal gebruikt voor het bepalen van doelrealisaties (bijv. met Waternood of Waterwijzer Natuur). De GVG is tevens voor de landbouw een belangrijke parameter als maat voor het optreden van eventueel natschade eind van de winter of begin van het voorjaar. Daarnaast is het interessant om te kijken naar de laagste grondwaterstand (LG3) en de laagste voorjaarsgrondwaterstand (VG3) in een droog jaar omdat dit een betere indicatie geeft van de effecten tijdens extreme droogte.

Voor alle varianten is het effect op de GLG, GVG, LG3 en VG3 in de natuurgebieden bepaald over de gehele analyseperiode van 1995-2010. Van deze periode is 2003 het droogste jaar en dit jaar is genomen als focusjaar voor de LG3 en de VG3. Daarnaast wordt er gekeken naar de kwelflux in de grondwaterafhankelijke natuur. Dit betreft alleen de kwelflux (opwaartse stroming) en niet de infiltratie (neerwaartse stroming) omdat bepaalde natuurtypes afhankelijk zijn van kwel door de aanrijking van basen en/of permanente natte condities. De kwelflux wordt op dagbasis berekend en vervolgens geanalyseerd voor dezelfde periodes als de GXG.

Voor alle analyses wordt gekeken naar de veranderingen die plaatsvinden over het gehele projectareaal. Daarbij wordt specifiek ingezoomd op de effecten binnen de grondwaterafhankelijke natuur maar ook gekeken op de effecten in de bufferzones en daarbuiten. Er wordt op de schaal van het projectareaal eerst gekeken naar de ruimtelijke variatie van de veranderingen. Daarnaast wordt er nog gekeken naar hoe de resultaten verschillen in de provincies ten opzichte van het gehele projectareaal.

## 3 Resultaten

Bufferzones hebben als primair doel om met maatregelen binnen die zones de grondwaterstanden en/of kwelfluxen in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden te verhogen danwel vergroten. De focus ligt daarom op de effecten in de natuurgebieden, waarbij berekeningsresultaten gemiddeld over alle grondwaterafhankelijke natuurgebieden worden getoond, eerst over het hele projectgebied. Voor ontwateringsmaatregelen is ook een vergelijking tussen provincies gemaakt. De resultaten worden per maatregeltipe beschreven, te weten: ontwateringsmaatregelen in 3.1, de beregeningsmaatregelen in 3.2 en de drinkwateronttrekkingsmaatregelen in 3.3.

### 3.1 Ontwateringsmaatregelen

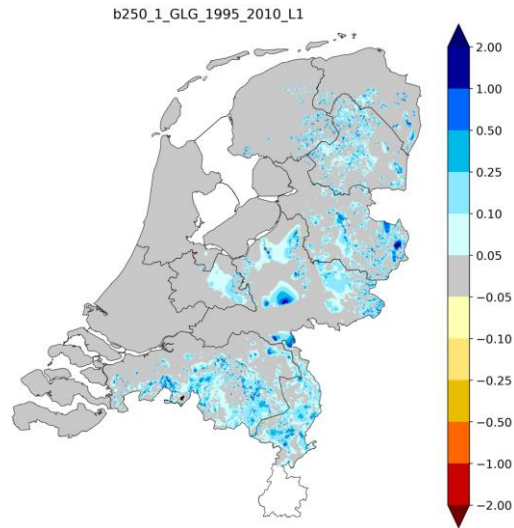
Voor ontwatering bestaat de maatregel uit de verhoging van de ontwateringsbasis naar 50 cm of 30 cm onder maaiveld, inclusief het verwijderen van de buisdrainage, in bufferzones. Eerst zullen de inzichten van het effect van de bufferzone grootte behandeld worden en daarna de effecten van verschillende ontwateringsdieptes. Effecten zijn uitgedrukt in GxG in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden en GxG in de bufferzone zelf. In de natuurgebieden is aanvullend gekeken naar de verandering in de kwelflux.

#### 3.1.1 Ontwatering naar 0,5 m-mv bij verschillende buffergroottes

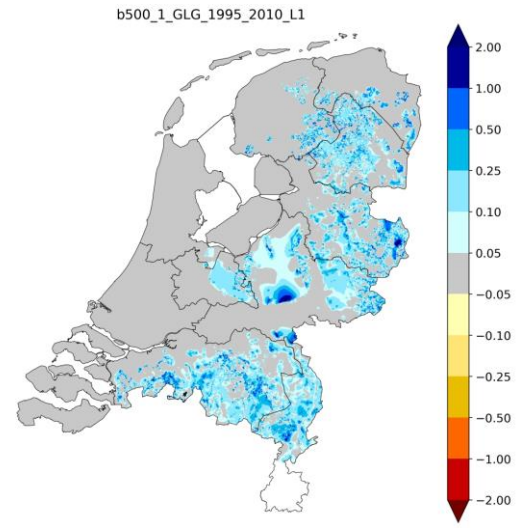
##### 3.1.1.1 Effect in het hele projectgebied

In Figuur 3-1 is de verandering in de gemiddelde zomergrondwaterstand (GLG) weergegeven als gevolg van het verhogen van de ontwateringsbasis in bufferzones van oplopende grootte. Overal waar de maatregel is uitgevoerd worden grondwaterstanden hoger. Een grotere bufferzone zorgt voor grotere toename in de GLG en, logischerwijs, over een steeds groter gebied. Dit betekent dat de maatregelen elkaar ook versterken. Hoe groter het oppervlak waarover de maatregel wordt uitgevoerd, hoe groter het effect in een natuurgebied. Om tot deze verhogingen in de grondwaterstand te komen is het watersysteem verhoogt naar 0.5m-mv. Daarvoor zijn in het primaire, secundaire en tertiaire systeem verhoogt zoveel als nodig. Er zijn behoorlijk wat locaties in het primaire en secundaire systeem die een verhoging van >0,75 m nodig hebben om tot 0,5m-mv te komen. In het tertiaire systeem is deze verhoging gemiddeld rond de 0.15 m verhoging (Bijlage B.1).

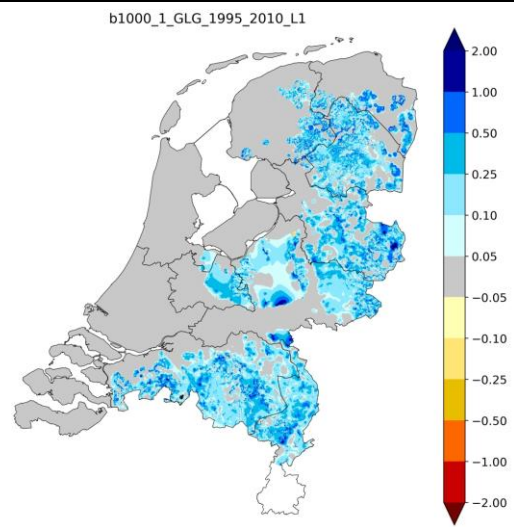
### Bufferzone 250m



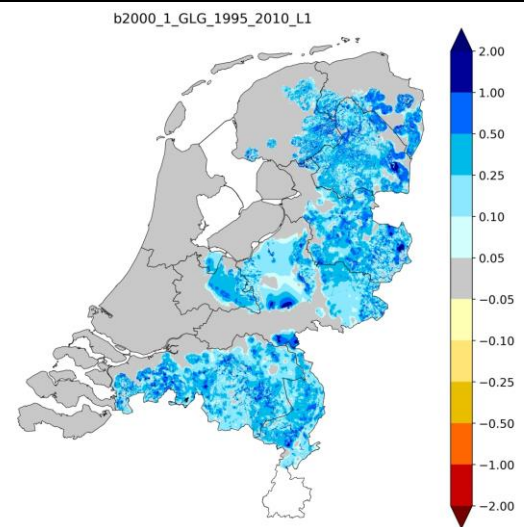
### Bufferzone 500m



### Bufferzone 1000m



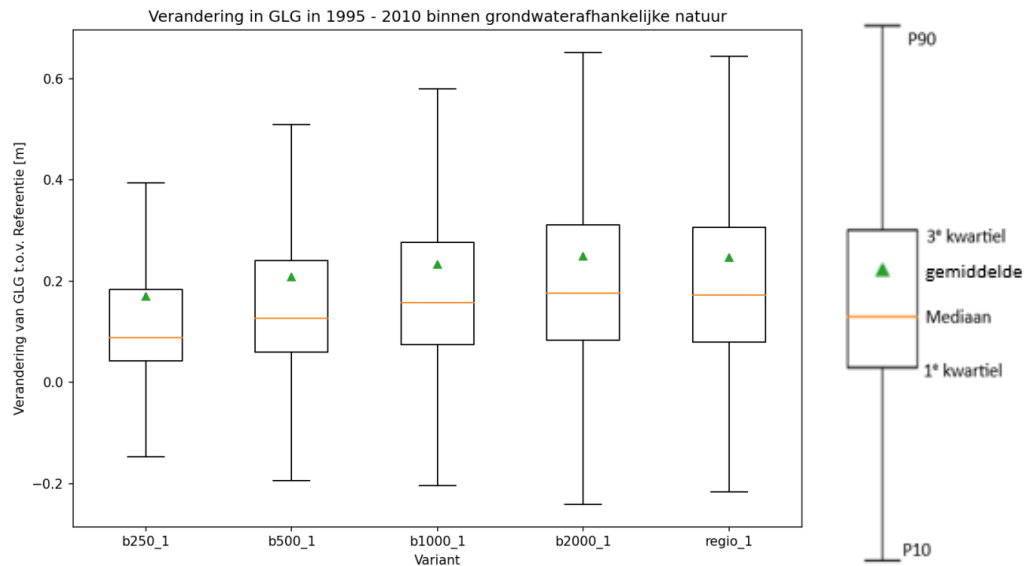
### Bufferzone 2000m



Figuur 3-1 De verandering van de GLG (m) voor de periode 1995-2010 ten opzichte van de referentie voor de bufferzone groottes 250, 500, 1000 en 2000 meter bij implementatie van ontwateringsmaatregel 1 (verhoging naar 0,5 m-mv). Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel en geel/rode kleuren een verlaging.

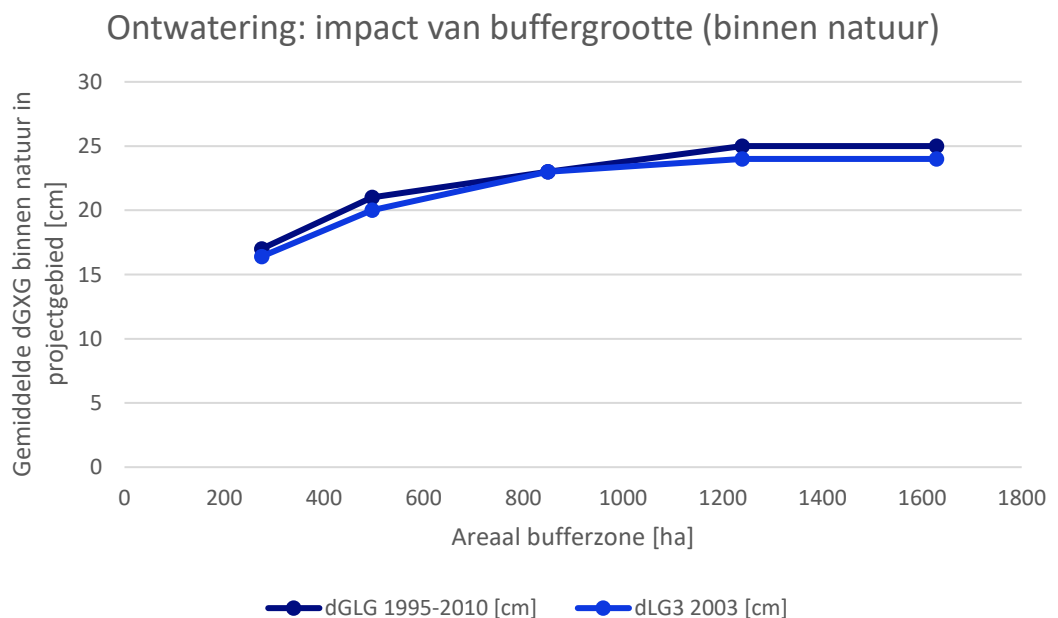
#### 3.1.1.2 Effect in grondwaterafhankelijke natuurgebieden

Het effect van deze ontwateringsmaatregel is in Figuur 3-2 en Tabel 3-1 gemiddeld weergegeven over alle grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen het projectgebied. Met de boxplot is de ruimtelijke spreiding gekwantificeerd. Voor een bufferzone van 500 m bedraagt het effect in 50% van het gebied 15-25 cm (de box) met een mediaan van 18 cm. In 5% van de natuurgebieden daalt de GLG met meer dan 20 cm, en in 5% van de natuurgebieden stijgt de GLG met meer dan 50 cm. De daling van GLG wordt veroorzaakt doordat in het model in sommige pixels te weinig infiltratie plaats vindt in de zomer ten opzichte van de referentie waardoor de grondwaterstanden dieper uitzakken en een negatieve GLG ontstaat. Dit gaat om een modelfout en de werkelijke grondwaterstanden zullen wel een verhoging weergeven. Bij een grotere bufferzone neemt het gemiddelde en mediane effect toe, maar de toename van het relatieve effect wordt steeds kleiner.



*Figuur 3-2 Effect van ontwateringsmaatregel 1 (verhoging naar 50 cm-mv en buisdrainage verwijderen) op de GLG in oplopende grootte van de bufferzone. De boxplot geeft de ruimtelijk spreiding weer met in oranje de mediaan, onderkant blokje het 1<sup>e</sup> kwartiel (p25), bovenkant blokje het 3<sup>e</sup> kwartiel (p75), onderste streep p5 en bovenste streep p95.*

De relatie tussen de bufferzones en het effect op de GLG en LG3 is weergegeven in Figuur 3-3. Er is weinig verschil tussen het effect bij een bufferzone van 2000m en dat bij een gebiedsdekkende uitrol. Dit komt omdat het maximaal haalbare effect voor deze maatregel al is bereikt bij de bufferzone van 2000 m. Circa 84% van het maximale effect op de GLG wordt bereikt bij een bufferzone van 500 m (zie Tabel 3-1). De tabel laat ook zien dat de GVG gemiddeld een paar cm minder verhoogd wordt dan de GLG. Het effect op de LG3 (in het droge jaar 2003) is vergelijkbaar met het langjarige effect, of een paar cm kleiner. Dit betekent dat deze maatregel effect heeft in alle zomers, maar de effectiviteit in een droog jaar iets afneemt, met name bij de kleinere bufferzones.

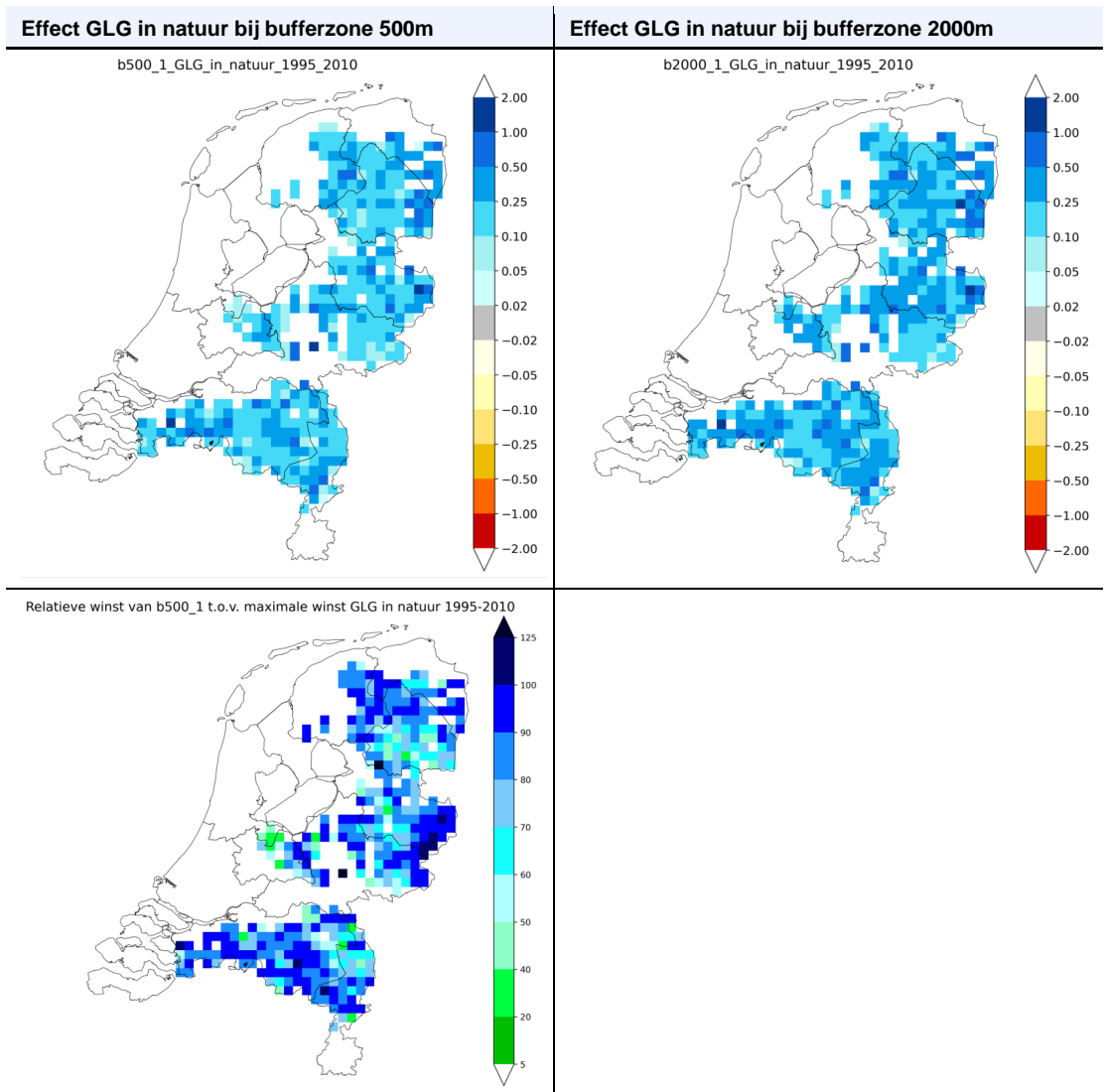


*Figuur 3-3 Gemiddeld effect van ontwateringsmaatregel 1 (verhoging naar 50 cm-mv) op de GLG en LG3 in natuurgebieden bij een oplopend areaal van de bufferzones.*

Tabel 3-1 De gemiddelde verandering in de GLG en GVG in de grondwaterafhankelijke natuur in het gehele projectgebied voor de verschillende bufferzone groottes voor ontwateringsmaatregel 1 (**verhoging naar 50 cm-mv**). De percentages geven het relatieve effect ten opzichte van het maximale effect in de gebiedsdekkende variant.

Indicator	b250_1	b500_1	b1000_1	b2000_1	regio_1
dGVG 1995-2010 [cm]	15	18	20	22	22
dVG3 2003 [cm]	15	18	20	21	21
<i>Relatieve winst op GVG t.o.v. maximale effect</i>	<i>68%</i>	<i>82%</i>	<i>91%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
dGLG 1995-2010 [cm]	17	21	23	25	25
dLG3 2003 [cm]	16	20	23	24	24
<i>Relatieve winst op GLG t.o.v. maximale effect</i>	<i>68%</i>	<i>84%</i>	<i>92%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de effecten binnen de grondwaterafhankelijke natuurgebieden is het gemiddelde effect op de GLG in het natuurgebied ook weergegeven per blokje van 2,5x2,5 km (zie Figuur 3-4). Binnen elk blokje is dus de gemiddelde verandering berekend van alleen de gridcellen met grondwaterafhankelijke natuur. Het laat duidelijk zien dat er in vrijwel elk natuurgebied effecten op de GLG plaatsvinden. Bij 500m is in grote delen van Nederland een effect te zien van 10-25 cm. Bij een grote bufferzone van 2000 m is het aantal blokjes met meer dan 25 cm GLG-verhoging veel groter. Het figuur geeft echter wel een vertekend beeld, omdat het aandeel natuurgebied in een blokje heel klein kan zijn en door deze manier van presenteren wordt uitvergroot. Het percentuele behaalbare effect bij een bufferzone van 500m ten opzichte van het maximale effect is ook in Figuur 3-4 weergegeven. Het overgrote deel van de blokken geeft een effect van >80% aan overeenkomend met de gemiddelde effect voor de grondwaterafhankelijke natuur van het hele projectgebied. Een paar locaties in Drenthe en Noord Limburg hebben kleinere effecten. In sectie 3.1.3 van dit rapport wordt dieper op deze verschillen ingegaan.

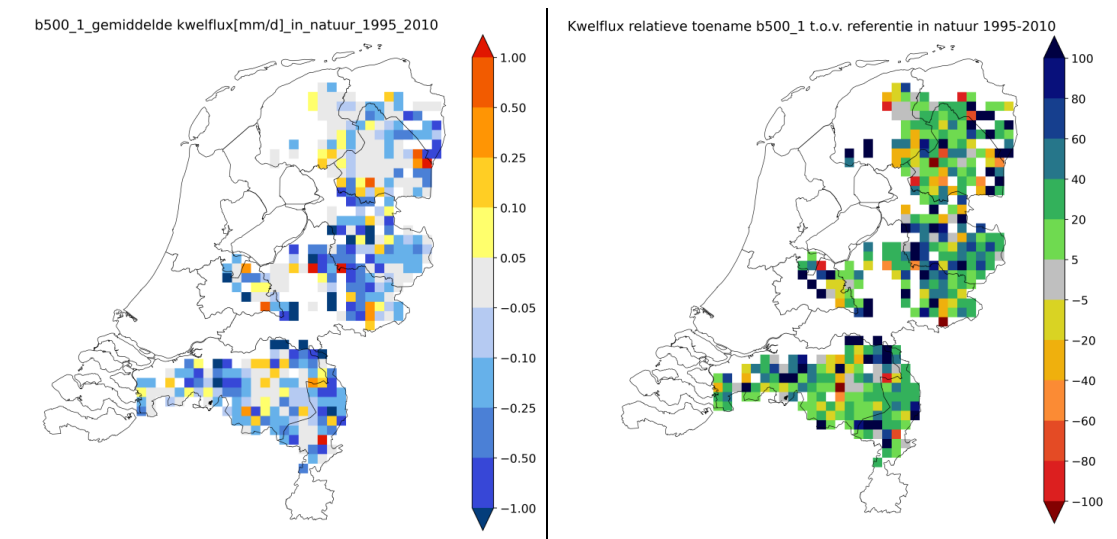


*Figuur 3-4 Boven: De verandering van de GLG in meters in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden voor de periode 1995-2010 ten opzichte van de referentie weergegeven per blok van 25x25 km bij implementatie van maatregel 1. Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel. Onder: de percentuele winst van de verhoging in GLG bij een bufferzone van 500m ten opzichte van de maximaal behaalbare winst (bufferzone 2000m). De blauw/groene kleuren geven het % winst weer.*

Op dezelfde manier is de verandering van de kwelflux weergegeven voor de 'natuurgridcellen' in een blok van 2,5x2,5 km (Figuur 3-5). De kwelflux is bepaald door de opwaartse flux van modellaag 2 naar modellaag 1 te berekenen in mm/dag. De verandering is weergegeven voor gebieden waar in de referentie sprake is van kwelflux. Blauwe kleuren (negatieve getallen) geven een toename van de kwelflux en geel/rode kleuren geven een afname. Of een gebied omslaat van infiltratie naar kwel, wordt niet in de kaart weergegeven.

Een verhoging van de grondwaterstand leidt in de bufferzones en in de natuurgebieden over het algemeen tot een verhoging van de kwelflux. Een stijging van de grondwaterstand (modellaag 1) in de bufferzone leidt tot een toename van de stijghoogte (modellaag 2) die doorwerkt tot in het natuurgebied. Als de toename van de stijghoogte dan groter is dan de toename van de grondwaterstand in het natuurgebied, dan neemt de kwel toe. Maar als de grondwaterstandsstijging groter is dan de toename van de stijghoogte in de referentie, dan neemt de kwelflux af. In de figuur is inderdaad te zien dat het beeld minder eenduidig is dan de verandering in GLG (Figuur 3-4) en dat kwelfluxen zowel toe- als afnemen.

In een droog jaar is het effect op de kwelflux iets kleiner omdat kwelfluxen over het algemeen in droge jaren kleiner zijn. De relatieve kwelflux is ook in Figuur 3-5 weergegeven. Daaruit wordt duidelijk dat de soms kleine veranderingen in de kwelflux relatief gezien een groot effect kunnen hebben.



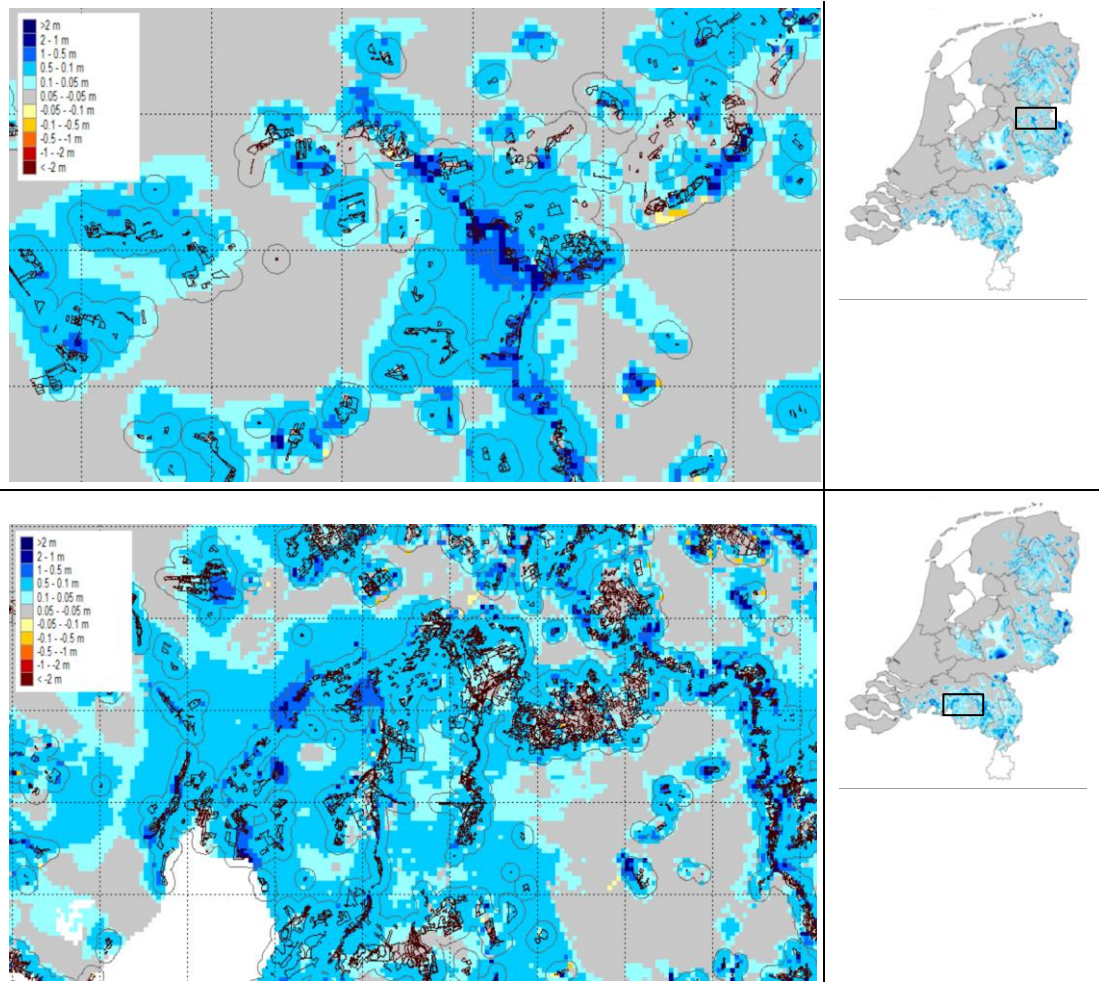
*Figuur 3-5 Verandering van de langjarige kwelflux (1995-2010) in mm/d gemiddeld voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden en de verandering relatief ten opzichte van de kwelfluxen in de referentie in %. Links: Blauwe kleuren geven een kwelflux weer die is versterkt door de maatregel. Oranje kleuren geven verzwakking van de kwelflux aan, dusdanig dat het mogelijk richting infiltratie gaat. Rechts: Blauwe/groene kleuren geven een relatieve versterking van de kwelflux aan en oranje rode kleuren geven een relatieve verzwakking van de kwelfluxen weer.*

### 3.1.1.3 Effect in de bufferzones

Naast effecten in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden zelf, zijn de effecten in de omliggende gebieden ook belangrijk om in kaart te brengen. Om een beter beeld te krijgen van de ruimtelijke spreiding van de veranderingen in GLG is in Figuur 3-6 ingezoomd op twee regio's: een gebied in Overijssel en een gebied in Noord-Brabant. Dit laat zien dat het effect van deze maatregel in veel van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden 10 tot 50 cm is. Er zijn echter ook natuurgebieden waarin deels geen effect wordt berekend (Figuur 3-6 boven – De Engbertsdijkswen rechts langs de grens, Figuur 3-6 onder - Oirschotse Heide). Dit kan komen door de grootte en/of ligging van het natuurgebied en/of de uitgangssituatie die al heel erg nat kan zijn. Het blijft altijd afhankelijk van de uitgangssituatie, ondergrond, ligging en grootte van het natuurgebied wat de precieze impact op een natuurgebied is. Voor de implementatie van maatregelen per natuurgebied, zal dus op kleinere schaal gekeken moeten worden en is deze landelijke analyse niet geschikt.

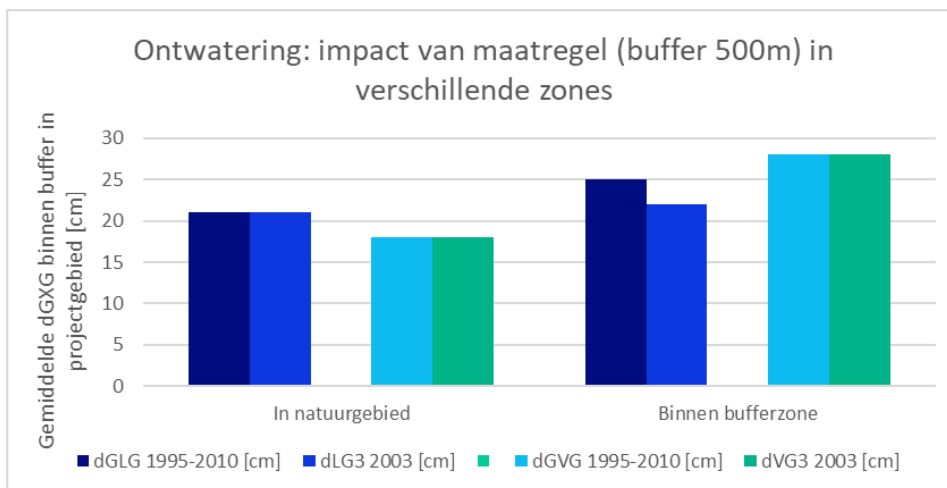
In de bufferzones zelf is vrijwel gebiedsdekkend een verandering in GLG te zien tussen 10 en 50 cm en ook direct naast de bufferzone is nog een uitstralingseffect van 10 tot 50 cm. Dit uitstralingseffect is afhankelijk van de ondergrond maar kan wel tot een paar km van de bufferzone doorwerken zoals zichtbaar in Figuur 3-6.





*Figuur 3-6 De verandering van de GLG voor de periode 1995-2010 ten opzichte van de referentie voor de bufferzone grootte van 500m meter bij implementatie van maatregel 1 (ontwatering tot 0.5m-mv) ingezoomd op twee gebieden. Boven: Overijssel bij Ommen. Onder: Noord-Brabant tussen Tilburg en Eindhoven. Zwarte lijnen geven omtrek van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden weer. Grijs lijnen geven de bufferzone van 500m rond de natuur. Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel en geel/rode kleuren een verlaging op 250x250m schaal.*

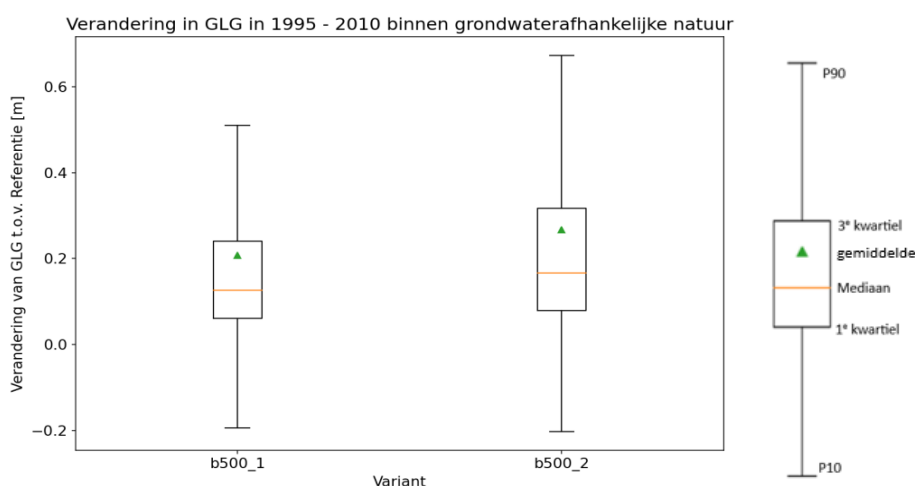
Figuur 3-7 laat de landelijke gemiddelde verandering in GLG, LG3, GVG en VG3 zien voor de natuurgebieden en de bufferzones in het projectgebied. De impact in de bufferzones is het grootst aangezien daar de maatregel wordt genomen: gemiddeld 25 cm verhoging van de GLG en 28 cm verhoging van de GVG. Het effect op de GLG is in de bufferzones gemiddeld tot 5 cm groter dan in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. In de bufferzones heeft de maatregel een iets groter effect op de GVG dan op de GLG. In de natuurgebieden is het juist andersom. Dit komt omdat voor veel natuurgebieden de GVG dicht onder maaiveld staat en er minder stijging mogelijk is. Daardoor is het effect op de GVG in de bufferzones gemiddeld 10 cm groter dan dat in de natuurgebieden.



Figuur 3-7 Het effect van ontwateringsmaatregel 1 (verhoging naar -0,5 m) in bufferzone van 500 m op de GLG, de LG3, de GVG en de VG3 gemiddeld over alle natuurgebieden in het projectgebied en gemiddeld over de bufferzones in het projectgebied

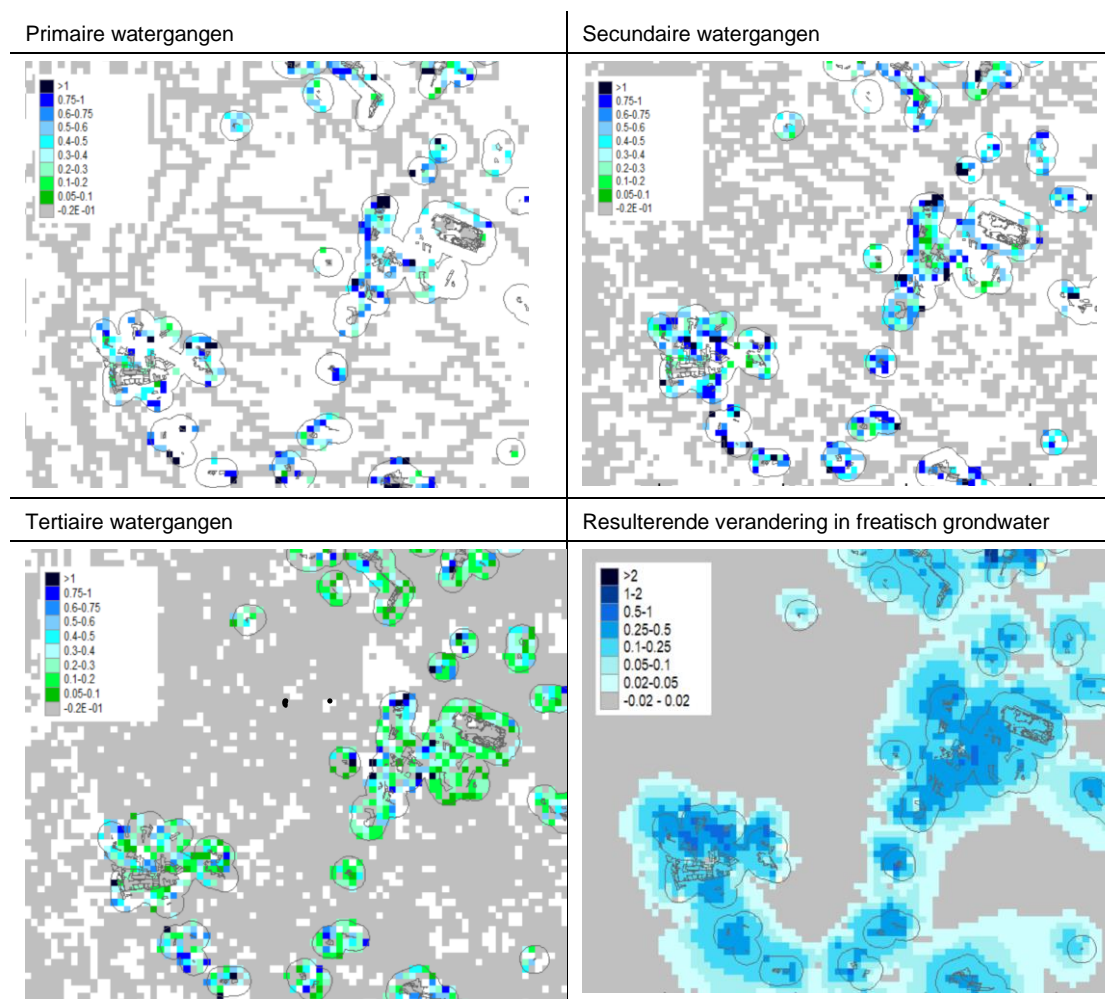
### 3.1.2 Ontwateringsvarianten bij een bufferzone van 500 m

In deze paragraaf vergelijken we de twee varianten waarbij de ontwateringsbasis wordt verhoogd in een bufferzone van 500 m. Bij variant 1 (b500\_1) wordt de basis verhoogd naar 50 cm beneden maaiveld en bij variant 2 is deze verhoogd tot 30 cm beneden maaiveld (b500\_2). De bufferzonegrootte is 500m en bij beide varianten wordt de buisdrainage ook verwijderd. Het effect van de twee varianten op de verandering in GLG in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden is weergegeven in Figuur 3-8. De boxplots geven ook de spreiding weer. Zoals verwacht bij een verdere verhoging van de ontwateringsbasis, is het gemiddelde effect van variant 2 groter dan dat van variant 1, maar het verschil in mediaan is slechts een paar centimeter. De mediaan van beide varianten ligt tussen de 12 en 15 cm. De gemiddelde verandering van GLG is 22 cm (variant 1) versus 27 cm (variant 2). De spreiding is bij variant 2 wel groter, en de hele box komt hoger uit. Dit betekent dat in sommige gebieden het verschil tussen de varianten groter is dan een paar centimeter. Zo is de p90 van variant 2 circa 0,7m, ongeveer 20 cm hoger dan variant 1. Dit betekent dat de GLG-verhoging in variant 2 in 10% van het gebied 70 cm of meer is. Dit is zowel voor hogere jaren zoals 2003 als voor de GVG ook het geval.



Figuur 3-8 Boxplot van de verandering in GLG van de twee ontwateringsmaatregelvarianten. In 500\_1 is de ontwateringsbasis verhoogd tot 0,5m-mv en in b500\_2 is de ontwateringsbasis verhoogd tot 0,3m-mv, beide in een bufferzone van 500 m.

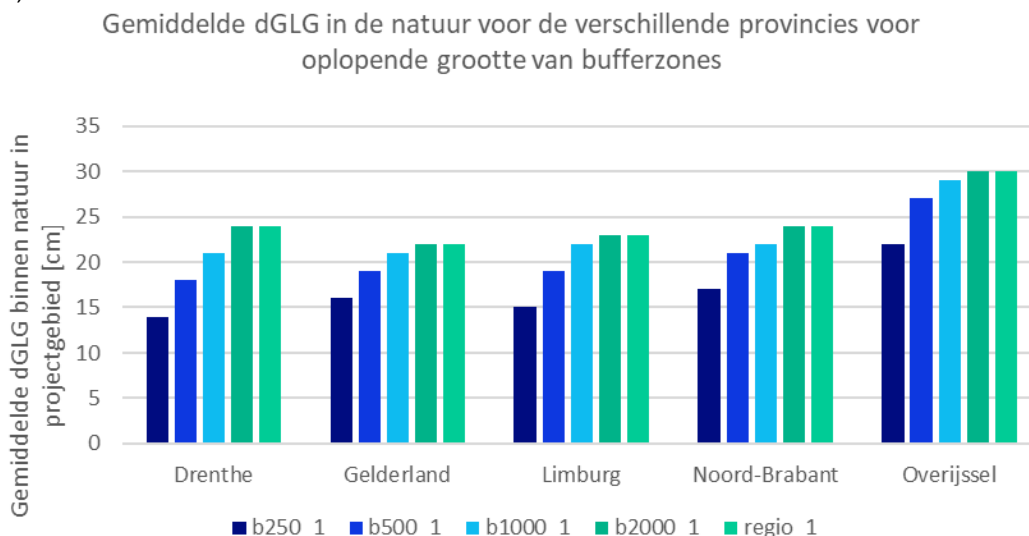
Om een indruk te krijgen van de verhoging van de GLG in verhouding tot de verhoging van de ontwateringsbasis (hoeveel peil en bodemhoogte zijn verhoogd), is in Figuur 3.9 ingezoomd op het gebied Schoonheten in Gelderland. Het linker figuur geeft de verhoging van de waterstanden die zijn toegepast in de verschillende systeem om tot maatregelvariant 1 (verhoging tot 0.5m-mv) te komen met daarnaast de resulterende verhoging in grondwaterstand. Te zien is dat de ontwateringsbasis 25 cm tot soms wel 1 meter verhoogd moest worden om de beoogde 50 cm-mv te bereiken. Dit leidt in hetzelfde gebied tot een verhoging van de GLG van 25 tot 50 cm. In het zwart omringde gebied (bufferzones inclusief natuurgebieden) is de ontwateringsbasis met 55 cm gemiddeld verhoogd en hierdoor is de GLG in hetzelfde gebied gemiddeld 25 cm hoger.



*Figuur 3-9 Links: verhoging van de primaire, secundaire en tertiaire watergangenwatergangen in m (modelinvoer) voor een verhoging van de ontwateringsbasis tot 0,5m-mv bij een bufferzone van 500m. Rechts: verandering GLG voor de natuur rond Schoonheten in Gelderland. Blauwe/groene kleuren tonen een verhoging door de gesimuleerde maatregelen. In zwart zijn de natuurgebieden weergegeven en in het rechterfiguur is in grijs de bufferzone van 500m aangegeven*

### 3.1.3 Vergelijking tussen provincies

Het effect van ontwatering op het grondwaterregime kan per provincie verschillen. Om hier meer inzicht in te krijgen is het gemiddelde effect van bufferzones met de maatregel ontwatering (variant 1) op de GLG in natuurgebieden ook per provincie berekend (Figuur 3-10).



*Figuur 3-10 De gemiddelde verandering in GLG in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden per provincie voor de verschillende bufferzones.*

Alle provincies laten zelfde trend zien: naarmate de bufferzone groter wordt neemt het relatieve effect af. Bij een bufferzone van 2000 m wordt het maximale effect bereikt. Verder valt het volgende op (Figuur 3.10 en zie ook Tabel 3-2):

- Het maximale effect op de GLG is in Gelderland het kleinst en in Overijssel het grootst;
- Bij alle provincies behalve Drenthe levert een bufferzone van 500 m meer dan 80% van het maximale effect voor deze maatregel;

De getoonde verschillen in effectiviteit hebben deels te maken met verschillen in geologie, maar ook met de dichtheid van het huidige ontwateringsstelsel. In Drenthe en Gelderland is de relatieve verhoging van de ontwateringsbasis het kleinst (Tabel 3-3) en in Drenthe wordt een groter effect ook pas bij grotere bufferzones bereikt (zie Tabel 3.2). In Overijssel zijn de veranderingen door de eerste twee stappen (250 en 500 m) juist het grootst (90% van het maximale effect is bij 500 m al bereikt) en draagt een verdere vergroting relatief weinig bij.

De mate van verhoging van de ontwateringsbasis is geen eenduidige verklaring voor deze resultaten. Hoewel voor Overijssel de grootste verhoging van de grondwaterstand wordt berekend, heeft deze provincie niet de grootste verhoging van de ontwateringsbasis. Het gaat ook om de huidige ontwateringsbasis en grondwaterstand, aantal sloten en geologie.

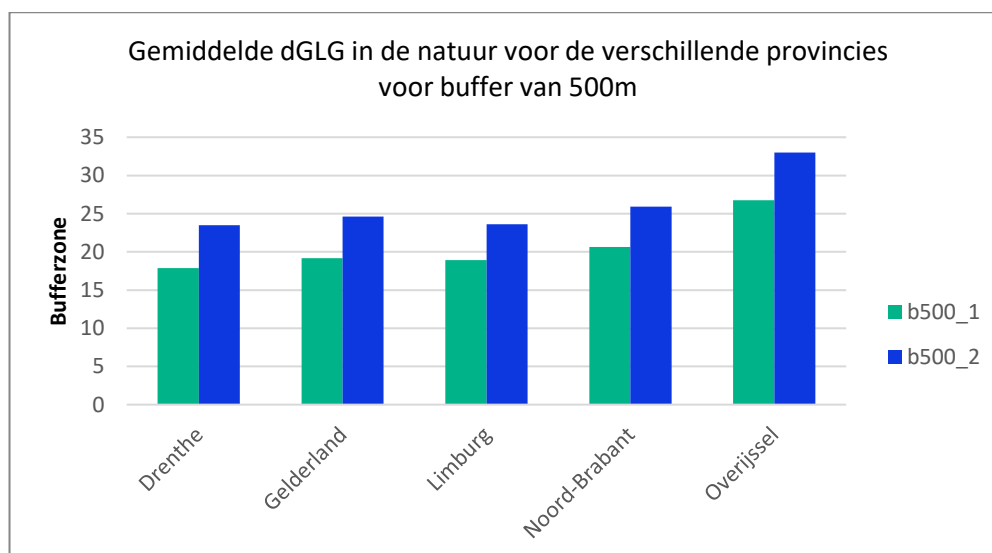
Tabel 3-2 Het relatieve effect van de buffergroottes op de GLG in natuurgebieden ten opzichte van het maximale effect (gebiedsdekkende variant) bij het verhogen van de ontwateringsbasis naar 0,5 m-mv, uitgesplitst naar provincie

	b250_1	b500_1	b1000_1	b2000_1	regio_1
<b>Drenthe</b>	58%	75%	88%	100%	100%
<b>Gelderland</b>	73%	86%	95%	100%	100%
<b>Limburg</b>	65%	83%	96%	100%	100%
<b>Noord-Brabant</b>	71%	88%	92%	100%	100%
<b>Overijssel</b>	73%	90%	97%	100%	100%

Tabel 3-3 De gemiddelde verhoging van het secundaire systeem om de ontwateringsbasis te verhogen tot 0,5m-mv per provincie

Provincie	Gemiddelde verhoging ontwateringsbasis
Drenthe	0,72 m
Overijssel	0,78 m
Gelderland	0,66 m
Noord-Brabant	0,78 m
Limburg	1,11 m

In Figuur 3-11 wordt het effect op de GLG per provincie uitgesplitst voor de twee ontwateringsvarianten bij een bufferzone van 500 m. Ook hier heeft Overijssel de grootste verandering in GLG. De verschillen tussen de varianten zijn in elke provincie vergelijkbaar. Alle provincies laten dezelfde verhoging van circa 5 cm zien bij een verdere verhoging van de ontwateringsbasis van 20 cm (variant 2 versus variant 1).



Figuur 3-11 De verandering in gemiddelde GLG per provincie van de twee ontwateringsmaatregelvarianten. B500\_1 verhoogt ontwateringsbasis tot 0,5m-mv en b500\_2 verhoogt de ontwateringsbasis tot 0,3m-mv in de bufferzone van 500 m. Bij beide is ook de buisdrainage verwijderd.

## 3.2 Beregeningsmaatregelen uit het grondwater

### 3.2.1 Berekening in LHM

Beregeningsreductie is een maatregel die voornamelijk effectief zal zijn in droge zomers. In periodes met een gemiddeld neerslagtekort wordt er een stuk minder beregend dan in droge perioden. Binnen de modelsimulatieperiode (1995-2010) is 2003 het droogste jaar. Om deze reden wordt de analyse voornamelijk gericht op de LG3 van 2003. Daarbij dient te worden opgemerkt dat in het jaar 2018, twee keer zo veel werd beregend met als gevolg grotere effecten dan hier gepresenteerd voor het jaar 2003. Voor inzicht in de potentiële effectiviteit van een totaal beregeningsverbod in een jaar zoals 2018 op grondwaterstanden wordt verwezen naar de droogtestudie (Van den Eertwegh et al. (2021)).

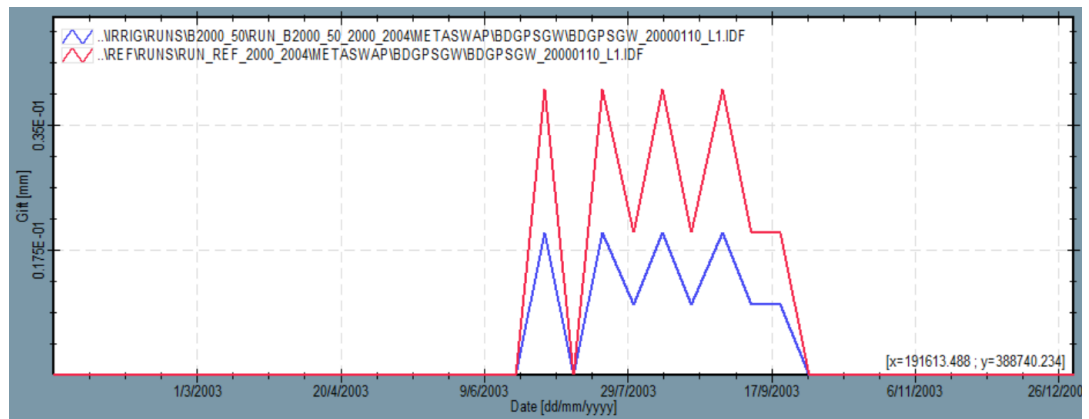
Bij de beregeningsvarianten is in het model de beregeningsgift gehalveerd. Figuur 3-12 geeft dit visueel in de tijd weer. De rode lijn geeft de referentieberekening aan en de blauwe lijn de totale hoeveelheid onttrekking voor berekening in de variant waarbij de beregeningsgift met 50% is teruggebracht. In

Tabel 3-4 staat voor de verschillende varianten de totale beregeningshoeveelheid over het hele zomerhalfjaar in het projectgebied. Voor de variant met reductie in het hele projectgebied (regio\_50) bedraagt de totale reductie 45%. Oftewel: de reductie van 50% per beregeningsgift die gebruikt wordt in het hele projectgebied zorgt in het model voor 45% minder totale berekening.

Tabel 3-4 geeft ook voor de andere modelruns de totale vermindering van berekening weer.

Beperkingen bij de modelaanpak zijn:

- Waar en hoeveel beregend wordt is niet goed bekend. In het model worden aannames gedaan over de locatie van beregeningsinstallaties en over de beregeningsgift op basis van de beregeningskaart van het NHI, de initiële implementatie van berekening in het LHM (Veldhuizen et al, 2008) en gegevens opgehaald uit de regio's. In de hier gebruikte modelversie wordt berekening in Overijssel, Gelderland en Drenthe mogelijk onderschat en de berekening in Limburg juist overschat ten opzichte van de werkelijke berekening die plaats vindt (Van den Eerthweg et al, 2021).
- In de werkelijkheid vindt berekening vaak gedurende een korte periode plaats afhankelijk wanneer daar behoefte naar is. In het LHM-model is een beregeningsgift afhankelijk van het gewas en het berekende vochtgehalte in de bodem, en wordt een gift elke 7 dagen à 2 weken toegediend terwijl in de werkelijkheid dit meer fluide is. Dit betekent dat de modelmatige beregeningstoediening anders verloopt dan de werkelijke berekening die grotere onttrekking in kortere periode kan geven dan modelmatig mogelijk is.
- De GLG/LG3 worden berekend op basis van de grondwaterstand op de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> van elke maand. Bij veranderingen van een statische toestand zoals voor drinkwateronttrekkingen en ontwatering is dat geen probleem. Maar voor berekening, iets dat niet continu plaatsvindt en waarbij de grootste effecten van de onttrekkingen vaak van kortere duur zijn, betekent dat GLG/LG3 berekend kan worden op net andere momenten dan dat de berekening plaatsvindt, waardoor het effect op de grondwaterstand tijdelijk groter kan zijn dan tot in de GLG of LG3 tot uiting komt (De Louw, 2008). Daardoor zullen de GLG en LG3 het sterkere tijdelijke effect van berekening mogelijk onderschatten.



Figuur 3-12 Beregeningsgift in de referentierun (blauw) en berekening in de variant met een bufferzone van 2000m en reductie van gift met 50% (b2000\_50, rood) in het jaar 2003.

Tabel 3-4 Beregeningsdebiet van het gehele jaar 2003 in gehele projectgebied voor de verschillende modelvarianten en het percentage reductie ten opzichte van de referentie voor het gehele projectgebied.

Variant	Opgelegde reductie beregeningsgift [%]	Beregeningsdebiet in hele projectgebied over zomerseizoen 2003 [miljoen m3]	Afname beregeningsdebiet ten opzichte van referentie [%]
Referentie	-	93,9	-
B250_50	50	89,0	5
B500_50	50	81,5	13
B1000_50	50	67,9	28
B2000_50	50	52,9	44
Regio_50	50	52,0	45
B1000_100	100	33,8	64
Regio_100	100	0	100

### 3.2.2 Effect van bufferzonegrootte

Het effect is uitgedrukt in verandering van de LG3 in het droge jaar 2003. Het terugbrengen van de hoeveelheid beregening zal tijdens een droog jaar meer effect hebben dan in een gemiddeld jaar, omdat in een droog jaar meer beregend wordt. Het effect op de LG3 van een droog jaar is dan ook groter dan op de GLG. Ook zal het effect op de GLG groter zijn dan op de GVG, omdat beregening in het zomerhalfjaar plaatsvindt.

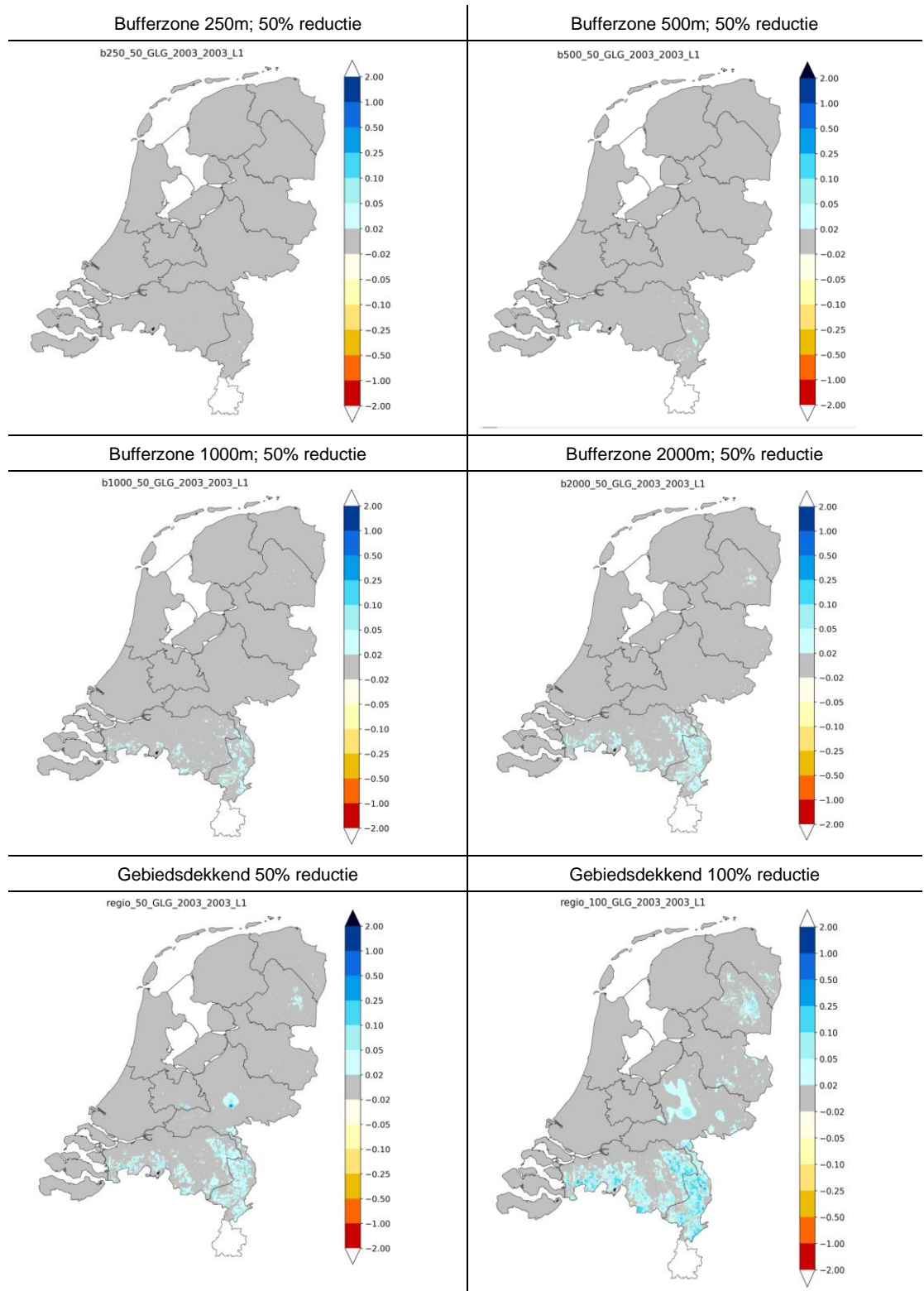
Er dient te worden opgemerkt dat de gangbare hydrologische standplaatscondities uitgaan van langjarige gemiddelde grondwater condities met parameters als GVG en GLG en een droog jaar met extra veel beregening heeft nauwelijks effect op deze parameters. Het is momenteel niet goed bekend wat het effect is van 1 of meerdere droge jaren met meer beregening en daarmee extra lage grondwaterstanden en minder of zelfs geen kwel, op grondwaterafhankelijke natuur. Dit is een kennishiaat.

Figuur 3-13 laat de ruimtelijke effecten op de LG3 zien van de beregeningsreductie voor verschillende bufferzonegroottes. Zoals verwacht neemt het effect toe naarmate de buffers groter worden. In de gebiedsdekkende variant zijn de effecten het grootst, waarbij zowel in natuurgebieden als in de bufferzones effecten te zien zijn. Het areaal waarbinnen maatregelen plaatsvinden neemt bij de laatste stap van 2000 m naar gebiedsdekkende toe van 1239 ha naar 1629 ha, maar het beregeningsdebiet neemt slechts met 0,9 miljoen kuub verder af (van 44 naar 45% reductie ten opzichte van de referentie). De stap van 50% naar 100% reductie geeft visueel op een veel groter areaal effect. Bij gebiedsdekkende uitrol verdubbelt het gemiddelde effect (over alle natuurgebieden) bij de stap van 50% naar 100% reductie: 50% reductie geeft 0,6 cm gemiddeld effect en 100% reductie geeft 1,3 cm gemiddeld effect in het gehele projectgebied.

De ruimtelijke spreiding van de effecten is groot. In Figuur 3-14 zijn de effecten op de LG3 vertaald in boxplots met daarin de spreiding van de effecten. Naarmate de buffers groter worden neemt de spreiding verder toe. Dit laat zien dat de gemiddelde effecten over alle natuurgebieden weinig inzicht geeft. De resultaten worden vertekend, omdat er veel gebieden zijn waar geen effecten optreden, omdat beregeningslocaties te ver weg zitten. Kijkend naar de mediaan en het gemiddelde lijkt de effectiviteit heel klein, terwijl in de kaarten regionaal effecten zichtbaar zijn tussen 2 en 10 cm en lokaal zelfs 25 cm.

De verschillen tussen de provincies worden bovendien sterk bepaald door de (aangenomen) beregening en de mate van droogte die ook ruimtelijk varieert. De effecten lijken in Noord-Brabant en Limburg het grootst. In Limburg is er een gemiddeld effect van 2,3 cm in grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Noord-Brabant heeft een gemiddeld effect van 1,6 cm. De hoeveelheid beregening in de noordoostelijke provincies is een stuk kleiner en wordt waarschijnlijk door het model onderschat, zoals geconstateerd in de droogtestudie (Van den Eertwegh et al., 2021). Hierdoor wordt het effect van de maatregel in deze provincies ook onderschat. De gemiddelde effecten zijn in Drenthe 0,3 cm, in Overijssel 0,2 cm en in Gelderland 0,35 cm verhoging. In Limburg is het omgekeerde het geval. Uit de droogtestudie blijkt dat de berekende beregeningstotalen voor Noord-Brabant redelijk overeenkomen met de geregistreerde hoeveelheden terwijl voor Limburg bijna twee keer zoveel wordt berekend dan geregistreerd.

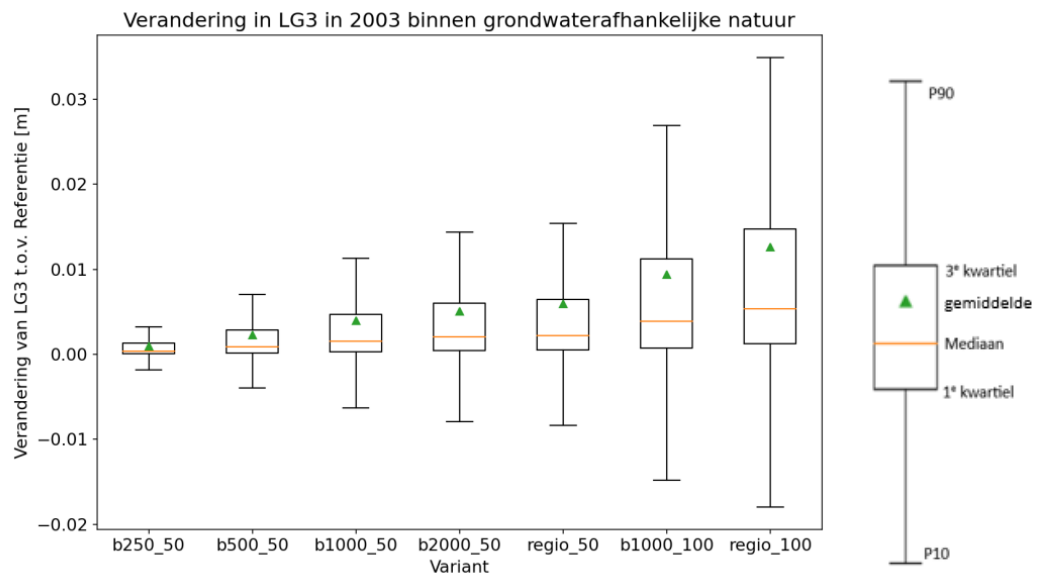




*Figuur 3-13 Verschillen in LG3 voor het jaar 2003 ten opzichte van referentie voor de 250, 500, 1000 en 2000m bufferzone grootte bij een beregeningsreductie van 50% op de gift uit grondwater. Daarnaast ook de gebiedsdekkende beregeningsreductie met 50% en 100%. Blauwe kleuren geven stijging weer en rode/oranje kleuren een verlaging.*

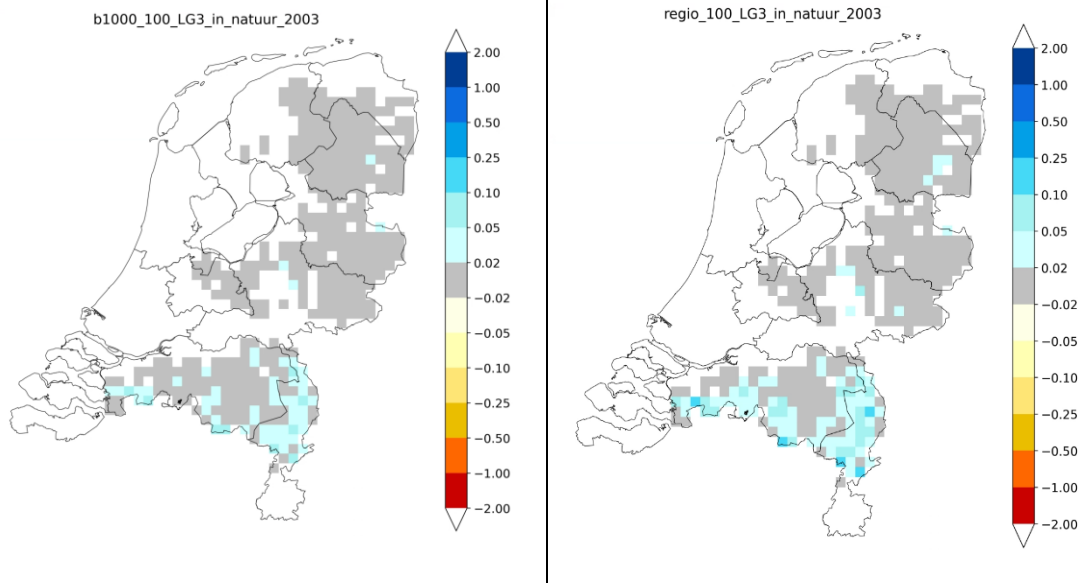
Hoewel 2003 een droog jaar was, waren de ruimtelijke verschillen in neerslagtekort groot en was het een stuk minder droog dan in bijvoorbeeld 2018. Het effect van de maatregel is in een droger jaar groter. Hier wordt in de discussie verder op ingegaan.

Op enkele locaties worden negatieve effecten met het model berekend. Hoewel het netto-effect van beregenen uit grondwater meestal leidt tot grondwaterstands dalingen kan voor sommige gebieden de ondiepe grondwaterstand juist stijgen door beregening. Niet al het beregeningswater wordt benut voor gewasverdamping en een deel hiervan infiltreert en dient als extra grondwateraanvulling. De onttrekking is altijd veel groter dan de aanvulling maar in gebieden met een grote weerstand tussen de onttrekkingsput en het ondiepe grondwatersysteem kan de ondiepe grondwaterstand voor het beregende perceel juist stijgen.



Figuur 3-14 Boxplot van de spreiding in LG3 in 2003 binnen de grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het projectgebied voor alle beregeningsscenario's. De negatieve effecten duiden op een lokale daling van de grondwaterstand op de plekken waar de beregening wordt gereduceerd.

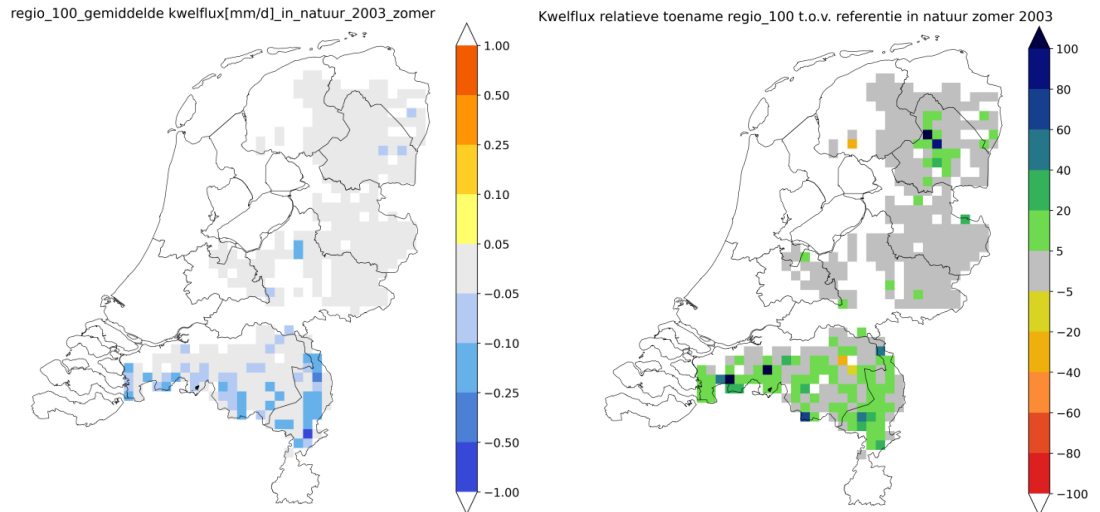
Om meer inzicht te krijgen in de verandering in LG3 binnen de natuurgebieden, is in Figuur 3-15 het gemiddelde effect per blok van 6,25 km<sup>2</sup> weergegeven. Hieruit blijkt dat bij 100% reductie de stap van 1000 m bufferzone naar gebiedsdekkend de LG3 stijging groter wordt en in meer natuurgebieden effecten optreden. De stijging bedraagt 2-10 cm en in een aantal gebieden zelfs 10-25 cm (gebiedsdekkend). Hierbij moet wel vermeld worden dat het hierbij om uitschieters kan gaan van een paar pixels met meer effect die de enige grondwaterafhankelijke natuur in het blok van 6.25 km<sup>2</sup> weergegeven. Effecten kunnen hierdoor prominenter aanwezig lijken dan in werkelijkheid het geval is.



Figuur 3-15 De verandering van de LG3 in 2003 ten opzichte van de referentie gemiddeld voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden gemiddeld per gridcel van 6,25 km<sup>2</sup>. Links: 100% reductie van de berekening in een bufferzone van 1000m. Rechts: 100% reductie gebiedsdekkend. Blauwe kleuren geven een stijging van de grondwaterstanden en geel/rode kleuren geven een verlaging van de grondwaterstanden weer.

### 3.2.3 Effect op de kwelflux

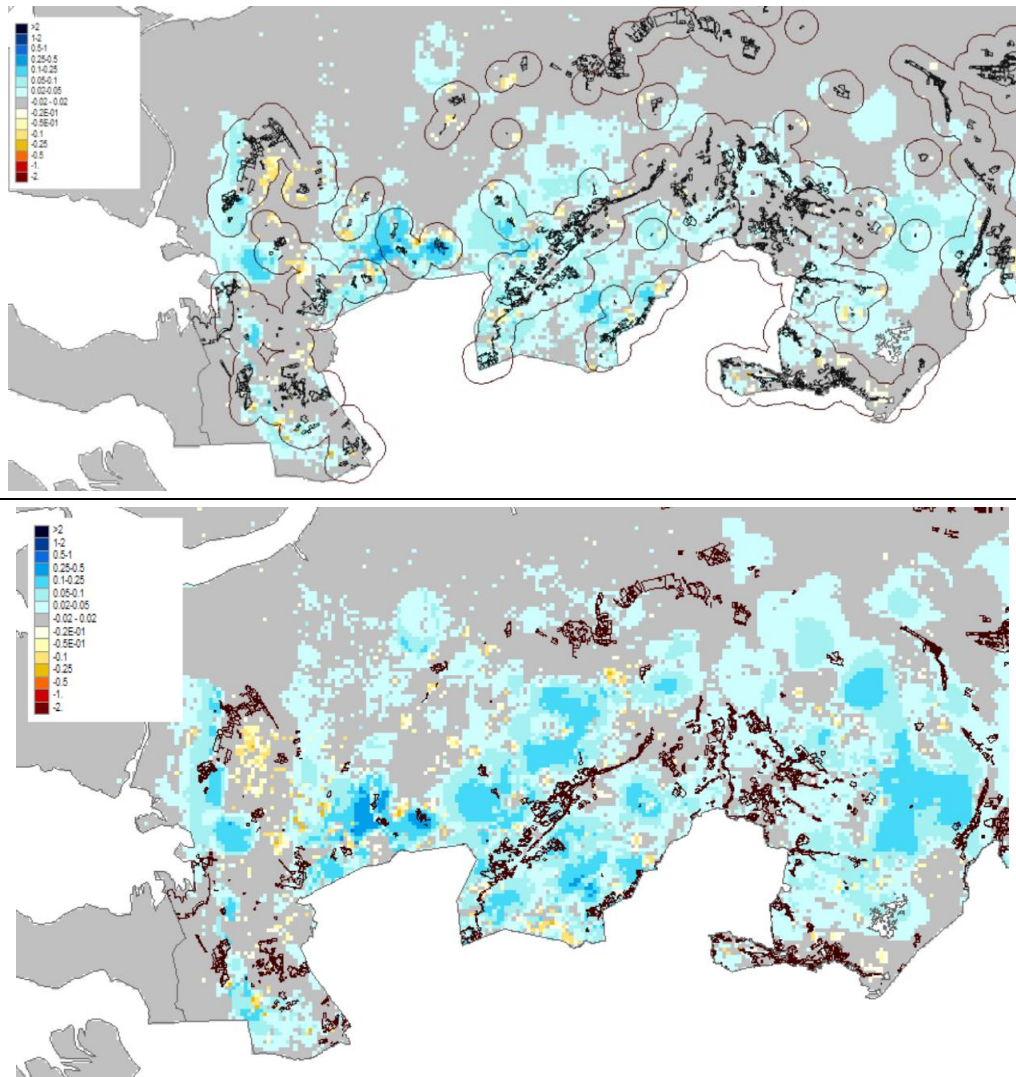
Figuur 3-16 geeft de verandering van bestaande kwelfluxen in natuurgebieden weer voor het droge jaar 2003. Dit betreffen alleen de toe en afname van de kwel en niet van de infiltratie. Dit geeft aan waar kwelfluxen die aanwezig waren zijn versterkt als gevolg van 100% reductie van onttrekkingen in het hele projectgebied. Als er een effect optreedt betreft het een toename van de kwelflux, maar de toename is minder groot dan gebiedsdekkende variant van de ontwateringsmaatregelen (vergelijk Figuur 3-5). Ook hier geldt dat het effect sterk afhankelijk is van de mate van droogte en dat erg kleine effecten in de kwelflux nog steeds grote relatieve effecten kunnen weergeven.



Figuur 3-16 De berekende verandering van kwelfluxen in de zomer van 2003 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden, bij 100% beregeningsstop in het hele projectgebied in mm/d (links) en de verandering relatief ten opzichte van de kwelfluxen in de referentie in % (rechts). De resultaten binnen de grondwaterafhankelijke natuurgebieden zijn gemiddeld weergegeven per blok van 6,25 km<sup>2</sup>. Links: Blauwe kleuren geven een verhoging van de bestaande kwelfluxen weer en oranje een verlaging van de bestaande kwelfluxen. Rechts: Blauwe/groene kleuren geven een relatieve versterking van de kwelflux aan en oranje rode kleuren geven een relatieve verzwakking van de kwelfluxen weer.

### 3.2.4 Effect in Noord-Brabant

Om beter inzicht te krijgen in de effecten van beregeningsreductie in Noord-Brabant wordt in Figuur 3-17 ingezoomd op het zuidwestelijke deel. De twee varianten met 100% reductie (binnen een bufferzone van 1000 m en gebiedsdekkend) laten zien dat het grootste effect niet binnen natuurgebieden optreedt. De grondwaterstand gaat met name omhoog in de gebieden die in de uitgangssituatie niet beregend worden. Lokaal gaat de grondwaterstand omlaag in de gebieden waar de maatregel wordt toegepast (dus waar in de uitgangssituatie wel beregend wordt).



Figuur 3-17 De verandering van de LG3 in 2003 ten opzichte van de referentie ruimtelijk voor het zuidwesten van Noord-Brabant. Boven: 100% beregeningsreductie in een bufferzone van 1000m. Onder: 100% reductie gebiedsdekkend. Blauwe kleuren geven een verhoging van de grondwaterstanden en geel/rode kleuren geven een verlaging van de grondwaterstanden weer. In zwart zijn de grondwaterafhankelijke natuurgebieden aangeduid.

### 3.3 Onttrekkingsmaatregelen drinkwater en industrie

Voor drinkwateronttrekkingen bestaat de maatregel uit het verminderen van het onttrokken debiet van de onttrekkingslocaties die aanwezig zijn binnen de bufferzones. Eerst zullen de inzichten van het effect van de bufferzone grootte besproken worden en daarna de effecten van verschillende verminderingen van onttrokken debiet.

#### 3.3.1 Onttrekkingen als puntbronnen

Drinkwateronttrekkingen zijn puntbronnen. Bij een oplopende grootte van een bufferzone worden meer drinkwateronttrekkingen aangesproken doordat er meer onttrekkingen aanwezig zijn in de bufferzone. Bij een grotere bufferzone liggen de onttrekkingen echter verder van het natuurgebied en afhankelijk van het onttrokken debiet hebben deze drinkwateronttrekkingen daardoor een kleinere invloed op de grondwaterafhankelijke natuur. Echter daar waar onttrekking en natuurgebied bij elkaar in de buurt liggen kunnen onttrekkingen veel invloed hebben.

Tabel 3-5 geeft weer hoe het totale debiet dat wordt onttrokken in het hele projectgebied verandert door de toepassing van onttrekkingsbeperking in de bufferzones. Het kan hierdoor gebeuren dat er onnodig veel drinkwaterreductie wordt opgelegd, terwijl dit geen effect heeft in het natuurgebied. In de discussie komen we hierop terug.

Tabel 3-5 Het totale onttrokken debiet per maatregelvariant en de procentuele verandering in debiet.

Bufferzone	Totale onttrekkingsdebiet na 50% reductie [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	Debietsafname tov referentie [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	Debietsafname tov referentie
Referentie	566	0	-
250m	504	62	11%
500m	471	95	16%
1000m	416	150	26%
2000m	347	219	39%

De hoeveelheid opgelegde reductie varieert per provincie. In Tabel 3-6 zijn de totale onttrekkingsdebieten voor verschillende maatregelvarianten weergegeven per provincie. In de tabel komt naar voren dat in Gelderland veel onttrekkingen niet in de buurt van Grondwaterafhankelijke natuur ligt. De grote onttrekkingen zullen verder weg liggen. Helaas zijn die daardoor niet meegenomen in deze scenario's. Het is wel mogelijk dat deze onttrekkingen effect hebben. Daarover in de discussie meer. Voor Brabant, Limburg en Drenthe is juist zeker 70% van het debiet dat wordt onttrokken in die provincies al binnen een straal van 1000m van de onttrekkingen aanwezig (d1000\_100 in tabel).

Tabel 3-6 Onttrekkingsdebieten per provincie van drie verschillende maatregelvarianten en procentueel aangegeven hoeveel dit totale onttrokken debiet is ten opzichte van het referentiedebiet in %. Daarbij zijn de debieten in het gehele projectgebied meegenomen.

Variant	Parameter	Limburg	Noord-Brabant	Gelderland	Overijssel	Drenthe
Referentie	Totaal onttrokken debiet [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	62,3	186,6	85,7	69,9	62,1
D1000_50	Totaal gereduceerd debiet [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	23,3	65,7	6,2	12,5	20,7
	% reductie tov referentie	37%	35%	7%	18%	33%
D2000_50	Totaal gereduceerde debiet [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	26,6	91,3	12,7	30,7	23,4
	% reductie tov referentie	43%	49%	15%	44%	38%
D1000_100	Totaal gereduceerd debiet [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	46,6	131,3	12,4	24,9	41,5
	% reductie tov referentie	75%	70%	14%	36%	67%

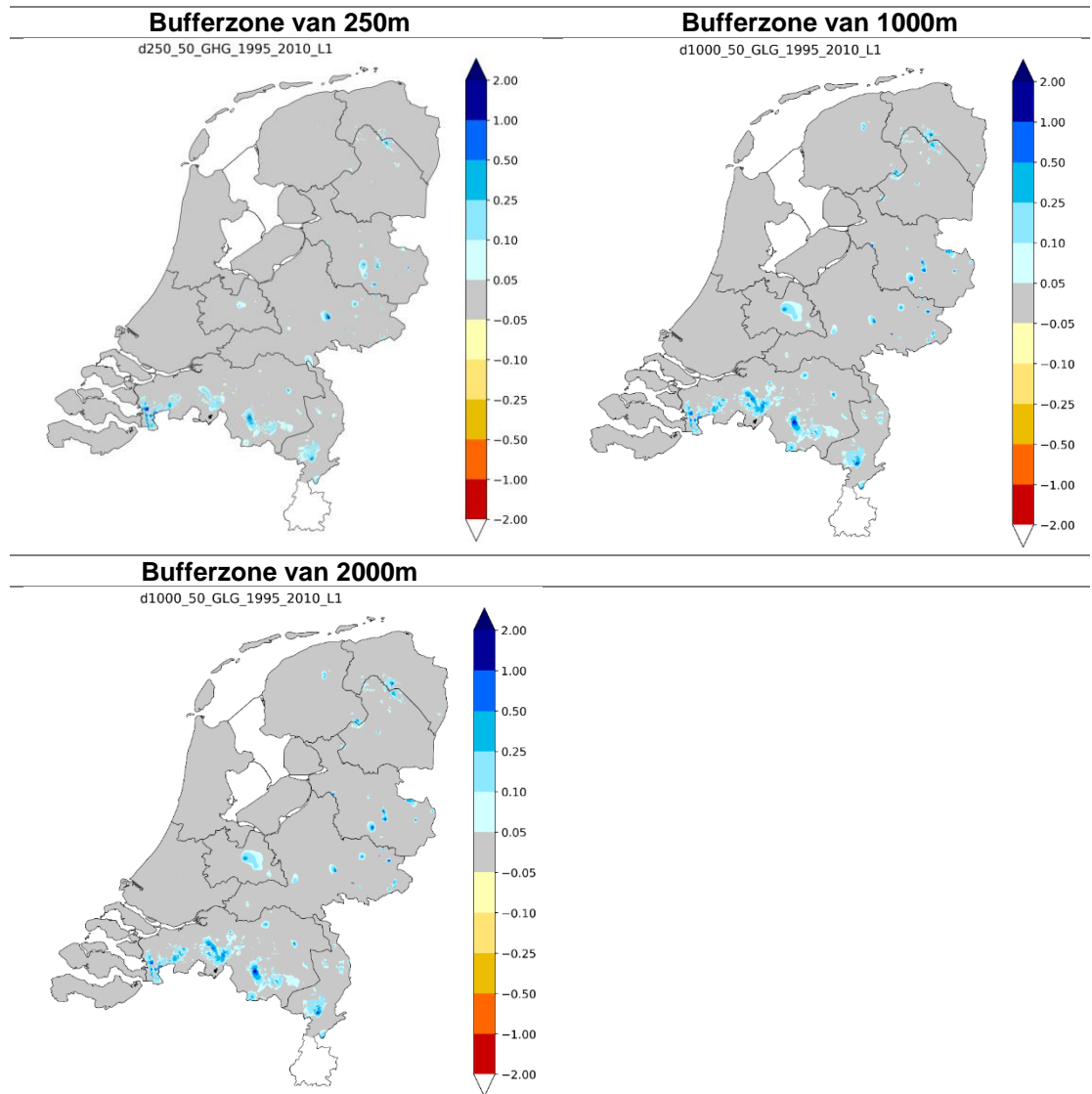
### 3.3.2 Effect van bufferzonegrootte bij 50% reductie

#### 3.3.2.1 Landelijk beeld

Figuur 3-18 geeft de verandering in de GLG weer bij het halveren van het onttrokken debiet per drinkwaterput in de verschillende bufferzones. Bij de grotere bufferzones is de totale afname van het onttrekkingsdebiet groter, waardoor de invloed op grondwaterstanden in natuurgebieden in principe groter is. Dit is echter wel sterk afhankelijk van de locatie van de putten. Drinkwaterputten zijn vaak geclusterd binnen een gebied. Zodra dit hele gebied wordt meegenomen in de bufferzone, zal een verdere vergroting van de bufferzone geen invloed meer hebben. Ook is het effect zeer afhankelijk van de locatie van het grondwaterafhankelijke natuurgebied. De invloed van een onttrekkingsput met betrekking tot de verhoging van de grondwaterstand is met name merkbaar in nabijgelegen natuurgebieden terwijl verder weg gelegen natuurgebieden geen effect ondervinden.

Bij grotere bufferzones worden meer onttrekkingen meegenomen en is de totale reductie van onttrekkingen automatisch groter. Bij 250m bufferzone rond de natuur is er 11% debietvermindering terwijl bij 2000m bufferzone 39% debietvermindering plaatsvindt (Tabel 3-5). In Figuur 3-18 is te zien dat bij een grotere bufferzone een groter gebied beïnvloed wordt. Dit betekent dat ook putten die verder weg liggen van het natuurgebied nog kunnen bijdragen.

Het effect op de voorjaarsgrondwaterstand (GVG; niet in figuur weergegeven) is vergelijkbaar met het effect op de GLG. In droge zomers is het effect echter iets kleiner dan gemiddeld. Dan zakt de grondwaterstand als gevolg van het neerslagtekort verder uit dan normaal, wat het positieve effect van het reduceren van de winningen vermindert. Het maximale effect van alle putten binnen 2km rond de grondwaterafhankelijke natuur bedraagt in 2003 circa 80 cm. Dit betreft dus nog steeds een behoorlijk groot effect ondanks het droge jaar.



*Figuur 3-18 Veranderingen in GLG bij 50% reductie van drinkwateronttrekkingen in verschillende bufferzone groottes rond grondwaterafhankelijke natuur. Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel en geel/rode kleuren een verlaging.*

### 3.3.2.2 Grondwaterafhankelijke natuur

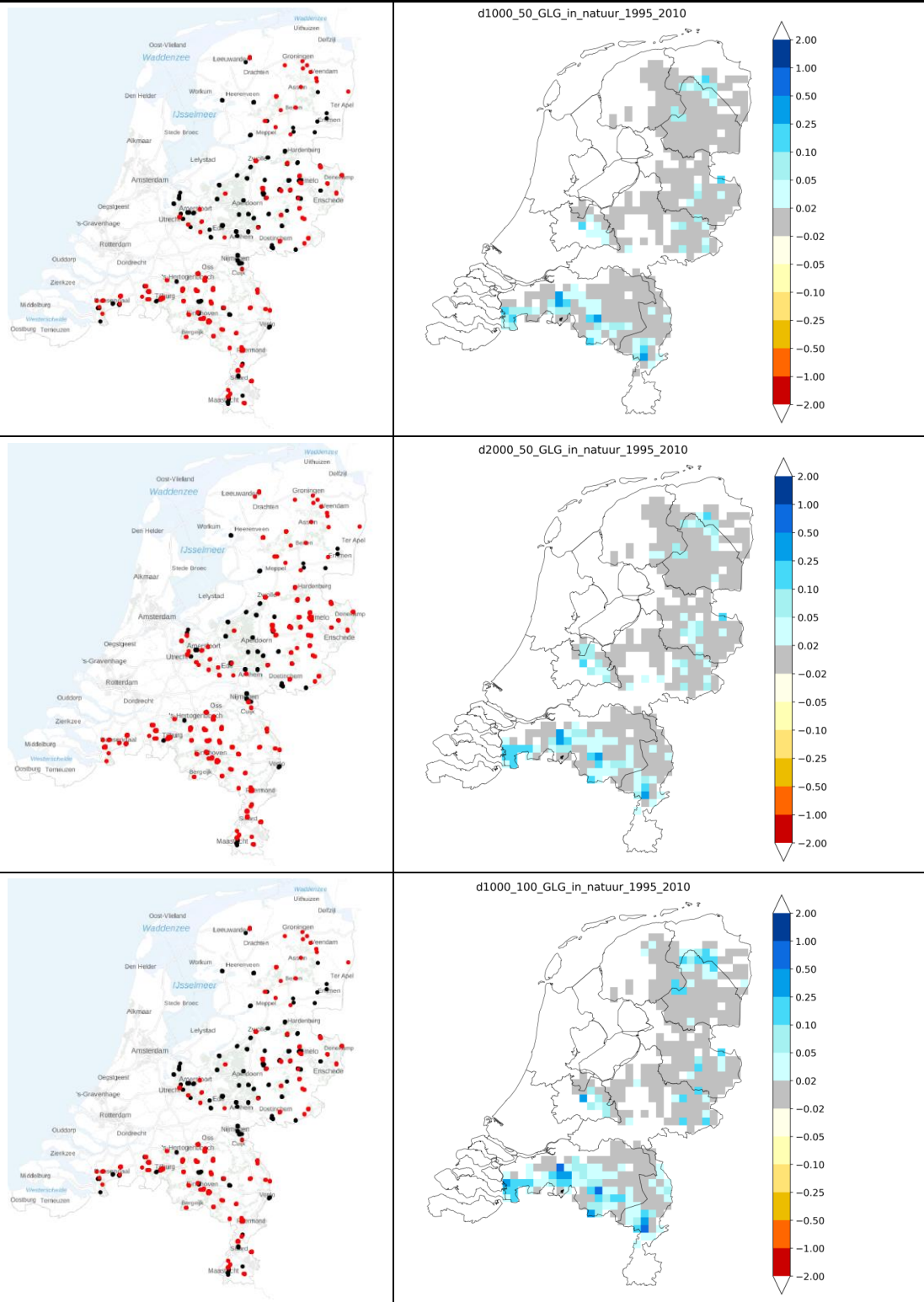
In Figuur 3-19 is het effect op de GLG binnen de grondwaterafhankelijke natuur ruimtelijk weergegeven met per blokje van 6,25 km<sup>2</sup> het gemiddelde effect over de natuurgebieden in dat blokje. De kaart links ervan laat zien welke onttrekkingen zijn gereduceerd. De ruimtelijke verschillen zijn groot, zoals ook te zien is in de boxplots in Figuur 3-20. Het gemiddelde effect over alle natuurgebieden samen is klein, maar de 'outliers' (rondjes) geven aan dat in 10% van de natuurgebieden effecten optreden die groter zijn dan 10 cm, en in de varianten met grote bufferzones bedraagt het effect in deze 10% maximaal 1 meter.

In Noord-Brabant, Limburg, Utrecht en Drenthe zijn de effecten het grootst. Gemiddeld per gridcel zijn hier stijgingen te zien tussen 25 en 50 cm. In Overijssel zijn de effecten minder groot doordat huidige onttrekkingshoeveelheden kleiner zijn (en daardoor de absolute reductie). In Gelderland liggen de onttrekkingen voornamelijk buiten de bufferzones. Bij de variant met 100% reductie is in die provincies een verhoging in de GLG van 10 tot 25 cm zichtbaar.

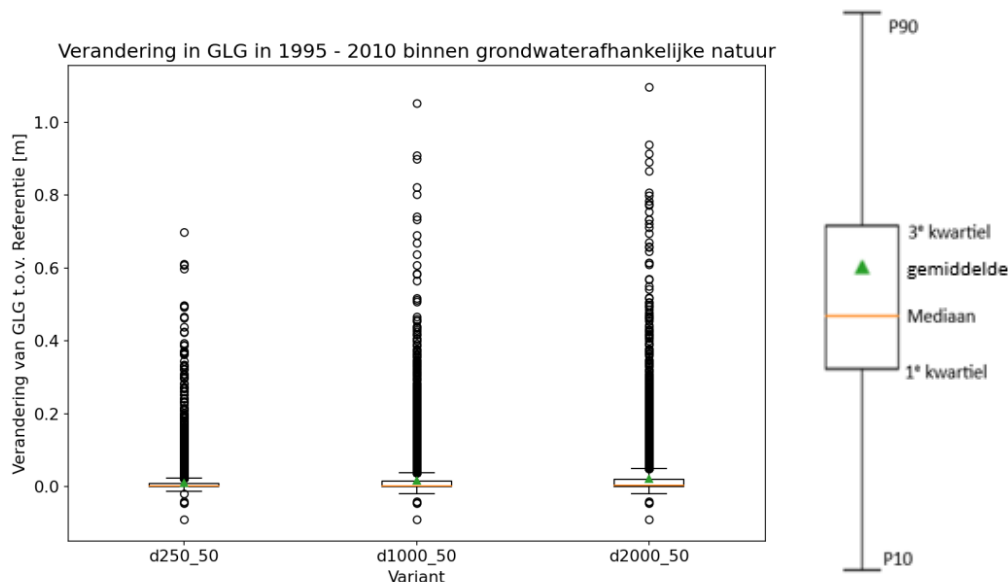


Locatie aangepaste putten

Effect op grondwaterafhankelijke natuur



Figuur 3-19 Links: De locaties van de drinkwaterwinningen met in rood de aangepaste winningen. Rechts: De gemiddelde verandering (m) in de GLG voor 1995-2010 ten opzichte van de referentie, gemiddeld over de natuurgebieden in blokken van 6,25 km². Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel en geel/rode kleuren een verlaging.

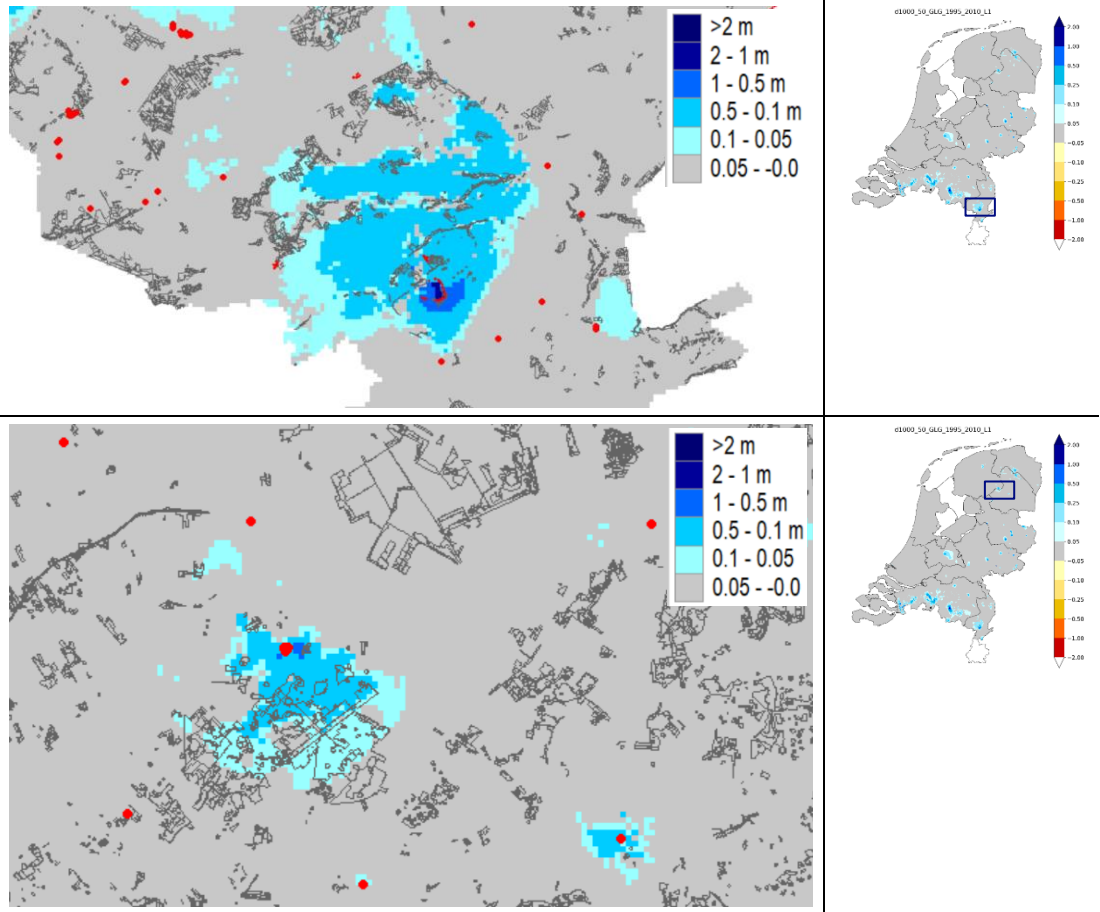


Figuur 3-20 Boxplot van de verandering in GLG van 1995-2010 voor de verschillende bufferzone groottes bij 50% reductie van de onttrekkingen. De punten representeren de outliers (>P90) en representeren de 10% natuurgebied-cellen waar de grootste effecten zijn berekend

### 3.3.2.3 Regionaal beeld

In Figuur 3-21 is ingezoomd op twee gebieden, zodat het effect van onttrekkingsreductie van 50% beter te zien is. Het zijn in dit geval twee gebieden waar onttrekkingen binnen een straal van 2 km van natuurgebieden voorkomen. Het effect op de nabijgelegen natuurgebieden is duidelijk zichtbaar. Figuur 3-21 (onder) geeft een voorbeeld van een gebied op de grens van Friesland en Overijssel, waar een aantal kleine drinkwateronttrekkingen een minimale invloed hebben, terwijl de onttrekking bij het Drents-Friese Wold een effect heeft van 0,10m tot 0,50m. De winning in het laatste geval betreft een onttrekking van 6,3 miljoen kubieke meter per jaar, die met een reductie van 50% afneemt tot 3,14 miljoen kubieke meter per jaar. De winning in Limburg (Figuur 3-21 boven) is veel groter met 16,4 miljoen kubieke meter per jaar, welke door de maatregel wordt teruggebracht naar 8,2 miljoen kubieke meter per jaar. Deze grotere winning heeft een groter invloedsgebied en heeft daardoor effect in meer natuurgebieden. Andere onttrekkingen die niet in de bufferzone liggen zouden afhankelijk van hun debiet ook een bijdrage kunnen leveren en of er natuur in het invloedsgebied van de onttrekking ligt. De aanwezigheid van natuurgebieden in de buurt van onttrekkingen is bepalender dan de grootte van de bufferzone. Daarnaast is de huidige omvang van de onttrekking bepalend: bij grotere onttrekkingen zal de invloed groter zijn.

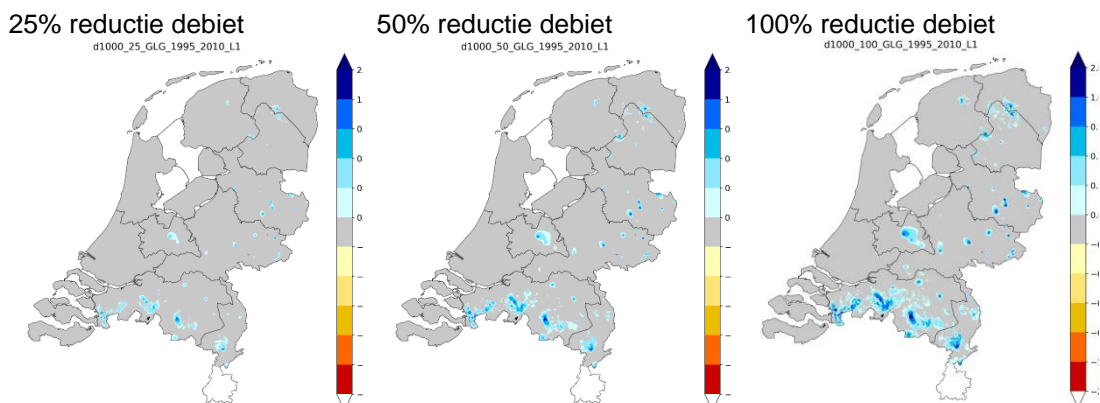
In de analyse van ontwateringsmaatregelen waren de effecten gemiddeld over alle natuurgebieden weergegeven. In dit geval is daar niet voor gekozen. Aangezien veel natuurgebieden geen effect vertonen, is het belangrijk om ons te richten op die gebieden waar effecten groot kunnen zijn, in plaats van te kijken naar het gemiddelde over alle natuurgebieden, dat erg laag zou zijn. Figuur 3-20 laat zien dat de spreiding van het effect op de GLG erg groot is.



Figuur 3-21 De verandering van de GLG ten opzichte van de referentie bij de variant met 50% reductie in 2km bufferzones. Boven: Groot onttrekkingspunt in Limburg ten noordwesten van Roermond. Onder: Meerdere onttrekkingspunten in Friesland bij Drents-Friesse Wold. Zwart geven de contouren van de grondwaterafhankelijke natuurgebieden weer. Blauwe kleuren tonen een verhoging door de ingevoerde maatregel. De rode punten geven de locaties van de onttrekkingen weer.

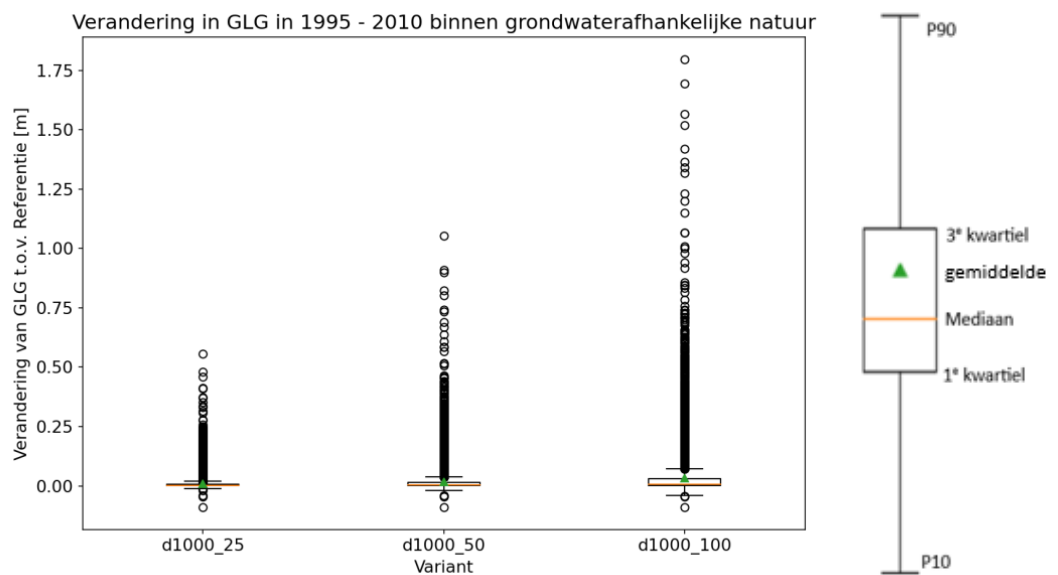
### 3.3.3 Effect van de mate van reductie van het drinkwateronttrekkingsdebiet

Figuur 3-22 geeft de GLG-verandering weer van de varianten met 25%, 50% en 100% reductie binnen een bufferzone van 1000 m. Hoe groter de reductie, hoe groter het gebied waar effecten optreden. De hoeveelheid natuurgebieden die daardoor wordt beïnvloed is automatisch ook groter, maar effecten treden ook op in andere gebieden.



Figuur 3-22 Verandering in GLG voor verschillende reducties van drinkwateronttrekkingen ten opzichte van de referentie, waarbij de onttrekkingsfluxen zijn verminderd van drinkwateronttrekkingen in een bufferzone van 1000 m rond grondwaterafhankelijke natuur. Blauwe kleuren geven een stijging weer.

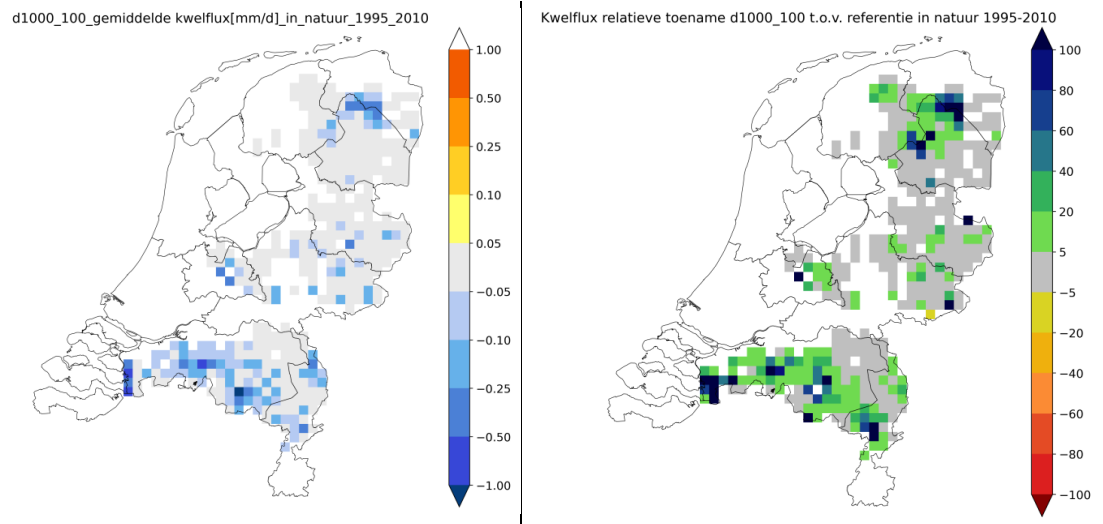
De ruimtelijke verschillen zijn groot, zoals te zien is in de boxplots in Figuur 3-23. Het gemiddelde effect over alle natuurgebieden samen is klein, maar de 'outliers' (rondjes) geven aan dat in 10% van de natuurgebieden effecten optreden die groter zijn dan 10 cm, in sommige gevallen tot wel 1 meter (variant 50% reductie) of 1,75 meter (variant 100% reductie). Het effect op de GVG (hier niet weergegeven) is vergelijkbaar.



*Figuur 3-23 Boxplot van de ruimtelijke variatie in de verandering in GLG (1995 t/m 2010) gemiddeld over alle natuurgebieden voor 3 maatregelvarianten in een bufferzone van 1000 m: 25%, 50% en 100% reductie. De punten geven de 10% cellen in natuurgebieden weer waar de meest extreme effecten zijn waargenomen omdat de effecten van de grondwateronttrekkingen juist in deze 10% duidelijk zichtbaar zijn.*

### 3.3.4 Effect op de kwelflux

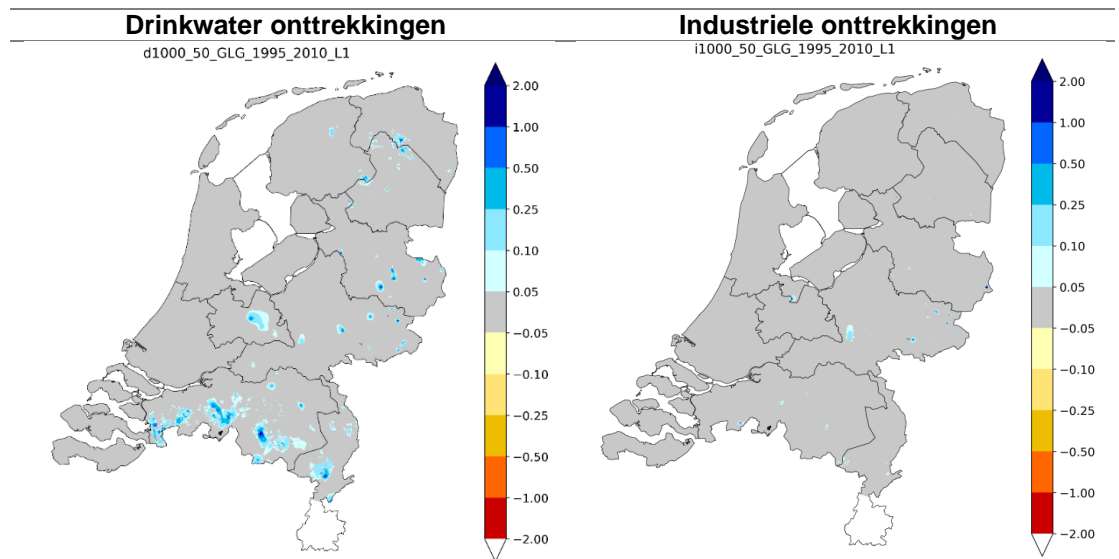
Zoals te zien is in Figuur 3-24, neemt de kwelflux toe door het reduceren van onttrekkingen voor drinkwater. Dit komt omdat de stijghoogte in diepere pakketten, waaruit onttrokken wordt, toeneemt waardoor het stijghoogteverschil met de freatische grondwaterstand toeneemt. De grootste effecten treden op in de natuurgebieden in de buurt van de onttrekkingslocaties. De kwel kan toenemen met meer dan 0,5 mm per dag in natuurgebieden dichtbij winningen met een groot onttrekkingsdebiet. In sommige natuurgebieden bedraagt de toename meer dan 60%.



Figuur 3-24 Verandering van de gemiddelde langjarige kwelflux van 1995-2010 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden (links) en de relatieve verandering in % (rechts), voor de variant waarin drinkwateronttrekkingen zijn gestopt in een gebied van 1km rond de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Blauwe kleuren geven een kwelflux weer die is versterkt door de maatregel. Oranje kleuren geven verzwakking van de kwelflux aan, dusdanig dat het mogelijk richting infiltratie gaat.

### 3.3.5 Industriële onttrekkingen t.o.v. drinkwater onttrekkingen

Naast drinkwater onttrekkingen kunnen ook maatregelen genomen worden voor de reductie van industriële onttrekkingen. De twee varianten met 50% reductie binnen 1000 m bufferzone worden hier met elkaar vergeleken. Figuur 3-25 toont het effect op de GLG. Drinkwateronttrekkingen hebben een groter effect, doordat er meer onttrekkingen zijn en het onttrekkingsdebiet in de uitgangssituatie ook veel groter is. Industriële onttrekkingen in het LHM bedragen circa 90,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar in het gehele projectgebied, en drinkwateronttrekkingen 565,7 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Bij industriële onttrekkingen is het net als bij drinkwateronttrekkingen belangrijk om naar de lokale effecten te kijken.



Figuur 3-25 Verandering in GLG (1995-2010) door 50% reductie van drinkwateronttrekkingen (links) en 50% reductie van industriële onttrekkingen (rechts) in een bufferzone van 1000m rond grondwaterafhankelijke natuur. Blauwe kleuren geven een stijging van zomergrondwaterstand weer.

## 4 Discussie

### **Ontwatering**

Bij de ontwateringsmaatregelen is gekeken naar het maximale haalbare effect door modelmatig de ontwateringsdiepte overal te verhogen tot 0,5m-mv en 0,3m-mv. Dit is gedaan omdat in gebieden met diepe sloten het ontwateringsniveau veel meer kan worden verhoogd, en dus meer effect te bereiken valt dan in gebieden met ondiepe sloten. De absolute verhoging van het ontwateringsniveau is dus afhankelijk van de uitgangspositie en verschilt van gebied tot gebied. De berekende effecten worden hier logischerwijs door bepaald. Dit betekent soms forse en mogelijk niet altijd realistische veranderingen van de peilen maar laat wel goed de potentie van deze maatregel zien waarbij wel minimum ontwateringsdiepte behouden blijft. Een alternatieve aanpak is het overal evenveel verhogen van de ontwateringsdiepte zoals in de droogtestudie is gedaan (Van den Eertwegh et al., 2021). Dit zou de berekende effecten voor verschillende gebieden onderling beter vergelijkbaar maken, maar niet de potentie weergeven.

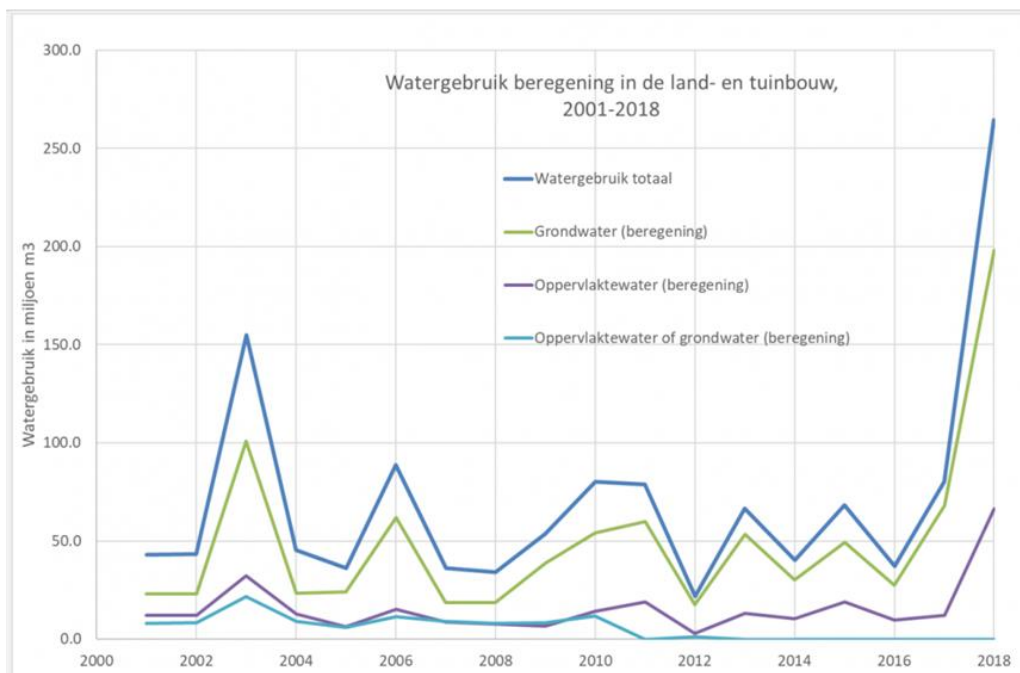
De resultaten laten zien dat met het verhogen van de ontwateringsbasis naar 0,5 m-mv binnen een bufferzone van 500 m zo'n 80% van het maximale effect (doorvoeren van maatregel voor gehele gebied buiten natuurgebied) wordt bereikt. Dit is echter een gemiddelde en kan bij specifieke omstandigheden in een gebied anders uitpakken.

De benodigde grootte van de bufferzone is uiteraard afhankelijk van de mate van doorvoering van de maatregel. Doorgaans geldt, hoe kleiner de aanpassing, hoe groter de bufferzones moeten zijn om een zelfde effect te realiseren. In deze verkennende studie zijn 2 ontwateringsvarianten doorgerekend die verschillen in mate van aanpassing om hier een beeld van te krijgen. Uiteraard zijn veel meer mogelijke (combinaties) van aanpassingen van de ontwatering mogelijk en per gebied zal verschillen wat er mogelijk is aan intensiteit en type maatregel in combinatie met de grootte van de bufferzone.

### **Effect van beregening**

De resultaten hebben laten zien dat het effect van beregeningsreductie sterk afhankelijk is van de mate waarin in de uitgangssituatie beregend wordt en dat is weer sterk afhankelijk van de mate van droogte. De 2003 droogte was minder extreem in termen van neerslagtekort dan het extreem droge jaar 2018 en er werd dus ook minder beregend in 2003. Daarbij is het aantal beregeningsinstallaties sindsdien toegenomen. De berekende effecten van beregening die in dit rapport voor 2003 worden gepresenteerd zijn dus kleiner dan je kan verwachten in een jaar zoals 2018 of 2022. In deze discussie vergelijken we de resultaten daarom met die uit de droogtestudie (Van den Eertwegh et al., 2021), waarin naar een 2018 droogte is gekeken en onder andere het effect van 100% beregeningsreductie uit grondwater is onderzocht.

Figuur 4-1 geeft het waterverbruik voor beregening weer voor de periode 2001 tot en met 2018. Hieruit blijkt dat er in 2018 ongeveer 2x zoveel grondwater is gebruikt voor beregening dan in 2003. Als er twee keer zoveel grondwater wordt onttrokken voor beregening, zal het effect van het beperken van beregening op grondwaterstanden ook naar verwachting ongeveer twee keer zo groot zijn in een 2018 situatie.

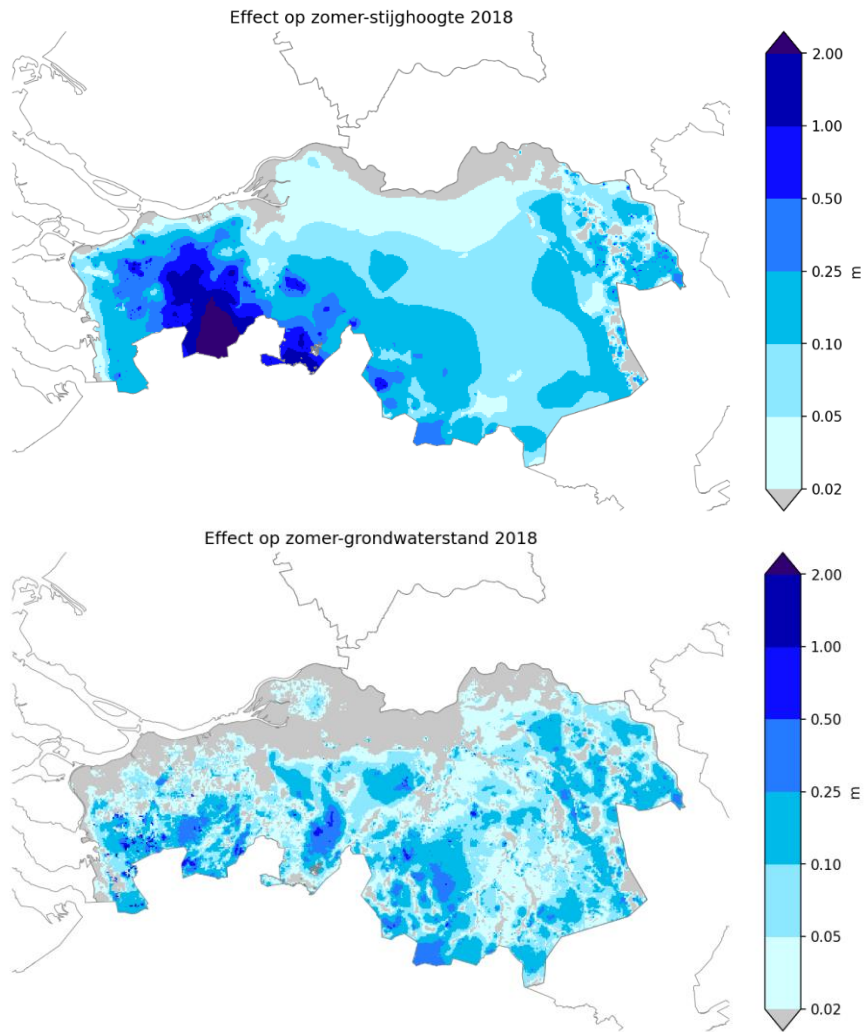


Figuur 4-1 Schatting van het werkelijke watergebruik voor beregning in de periode 2001 – 2018, uitgesplitst naar grondwater- en oppervlaktewateronttrekking (Van der Meer, 2020)

Figuur 4.2 laat voor de provincie Noord-Brabant het effect van het stoppen met beregenen uit grondwater op de zomer stijghoogte in 2018 zien voor het watervoerende pakket waaruit onttrokken wordt. Als niet beregend wordt neemt de stijghoogte in dat pakket toe en daardoor stijgt de freatische grondwaterstand, nemen kwelstromen toe en op den duur ook de gebiedsafvoer.

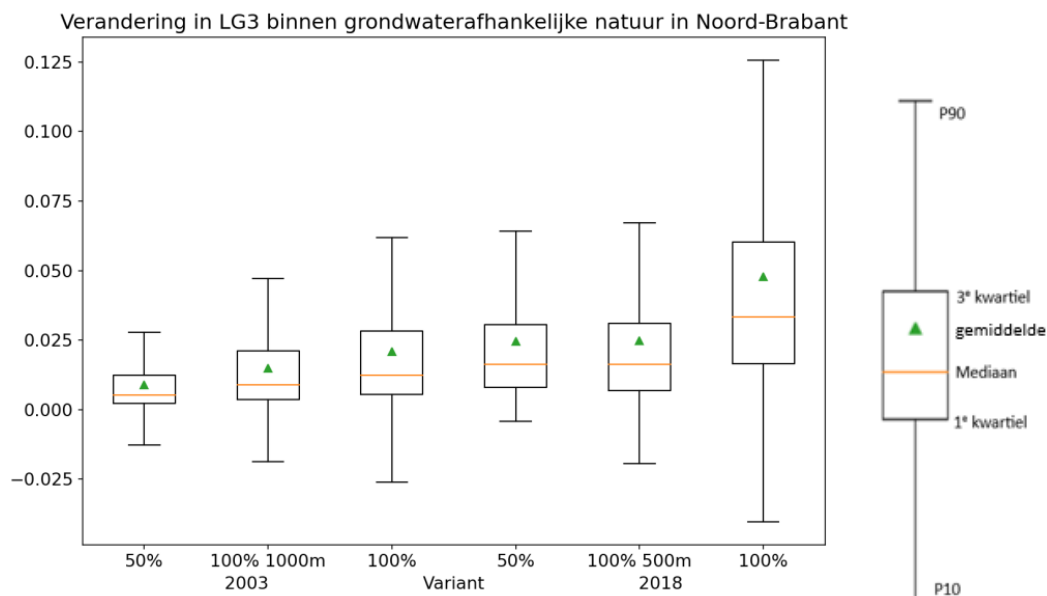
De (freatische) zomergrondwaterstand (LG3) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden van Noord-Brabant stijgt gemiddeld 4 cm ( $p_{25} = 1$  cm en  $p_{75} = 6$  cm)(zie Figuur 4.3). Aan het einde van de beregeningsperiode is dit effect maximaal. De berekeningen laten zien dat in jaren wanneer wel beregend wordt het effect van beregning op de freatische grondwaterstand gedurende de winter weer bijna helemaal herstelt maar dit was zeker niet het geval in het extreem droge jaar 2018. Op 1 april 2019, het begin van het volgende groeiseizoen, was de maximale grondwaterdaling als gevolg van beregning in 2018 voor maar ongeveer de helft weer hersteld volgens de modelberekeningen (De Louw et al., 2022).

De vergelijking tussen de jaren 2003 (deze studie) en 2018 (Van Eertwegh et al, 2021) toont dus aan dat het effect van beregeningsreductie toeneemt naarmate het neerslagtekort groter is. De effecten op de LG3 in Noord-Brabant voor het jaar 2003 (zoals gepresenteerd in Paragraaf 3.2) zijn met gemiddeld 2 cm en lokaal meer dan 2,5 cm (=  $p_{75}$  in de boxplot) een stuk lager dan de berekende effecten voor het jaar 2018: gemiddeld 4 cm en lokaal meer dan 6 cm. De boxplots in Figuur 4-3 laten de verschillen duidelijk zien.



*Figuur 4-2 Effect (in meter) als gevolg van het uitzetten van beregening op de stijghoogte en grondwaterstand in de zomer (LG3-situatie) in Noord-Brabant tijdens het extreem droge jaar 2018 (uit De Louw et al., 2022). Blauwe kleuren geven een verhoging van het grondwater weer.*





Figuur 4-3 Boxplots van de ruimtelijke variatie in de verandering in LG3 (m), ten opzichte van de referentie, in natuurgebieden in Noord-Brabant in 2003 (dit rapport; linker drie plots) en 2018 (Van den Eertwegh, 2022; rechter drie plots) door het reduceren van beregening. 50% = 50% reductie van de beregening in gehele projectgebied, 100% = 100% reductie van de beregening in gehele projectgebied. Daar waar de 500m of 1000m aangegeven staan is de reductie alleen in een bufferzone van 500 of 1000m rond grondwaterafhankelijke natuur toegepast.

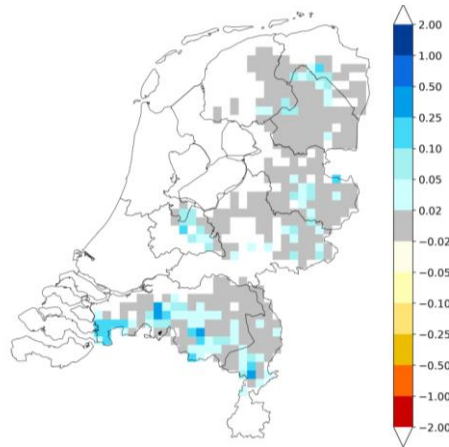
Het effect van beregenen uit grondwater is sterk afhankelijk van meteorologische condities omdat er in droge jaren veel meer wordt beregend. Daarom wordt hier naar de LG3 van een specifiek jaar gekeken terwijl de gangbare hydrologische standplaatscondities uitgaan van langjarige gemiddelde grondwatercondities met parameters als GVG en GLG. Een droog jaar als 2003 en 2018 met extra veel beregening hebben nauwelijks effect op deze parameters op basis van langjarige gemiddelden. Het is momenteel niet goed bekend wat het effect is van 1 of meerdere droge jaren met meer beregening en daarmee extra lage grondwaterstanden en minder of zelfs geen kwel, op grondwaterafhankelijke natuur. Dit dient nader onderzocht te worden om effecten van beregenen uit grondwater op natuur beter te kunnen inschatten.

### Effect van drinkwateronttrekking

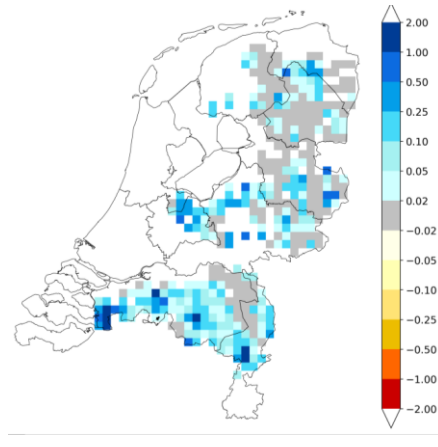
Het derde onderwerp van deze discussie is het gebruik van bufferzones voor het bepalen van locaties waar drinkwateronttrekking gereduceerd wordt. De resultaten laten zien dat met zo'n aanpak onttrekkingslocaties worden gemeden die weliswaar buiten de bufferzone liggen maar wel veel invloed kunnen hebben op het grondwaterregime en/of de kwelflux van grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Hierdoor ontstaat geen duidelijk beeld van de potentiële effectiviteit van deze maatregel en is een bufferzone aanpak voor drinkwaterwinningen niet geschikt. Er kan daarom beter naar afzonderlijke winningen worden gekeken die een groot effect op een nat natuurgebied hebben. In de eerder aangehaalde droogtestudie (Van den Eertwegh et al., 2021) is gekeken naar het effect van 100% reductie in drinkwateronttrekking gebiedsdekkend. Door die resultaten te vergelijken met de resultaten uit onderliggend rapport, ontstaat een beter beeld van de potentiële effectiviteit.

In Figuur 4.4 (boven) is het effect op de zomergrondwaterstand (LG3, GLG) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden vergeleken voor twee maatregelvarianten: het reduceren van drinkwateronttrekkingen met 50% in bufferzones van 2000 m en 100% reductie van alle winningen. Hoewel de laatste absoluut geen realistisch scenario betreft, geeft het wel aan welk effect eventueel haalbaar zou kunnen zijn door afzonderlijke winningen te sluiten, verplaatsen of te compenseren door extra infiltratie. In Figuur 4-4 (beneden) is te zien waar de natuurgebieden (per 2,5 km-hok) het meest beïnvloed worden door de drinkwaterwinningen. Met 100% reductie worden er 34% meer natuurgebieden beïnvloed door de drinkwaterwinningen (gebaseerd op aantal blauwe gekleurde hokken in de rechter figuur t.o.v. het linker figuur) en is het effect op de kwelflux ongeveer 3x zo groot met behoorlijke variatie tot zelfs meer dan 10x zoveel effect (gebaseerd op onderste figuur van Figuur 4.4).

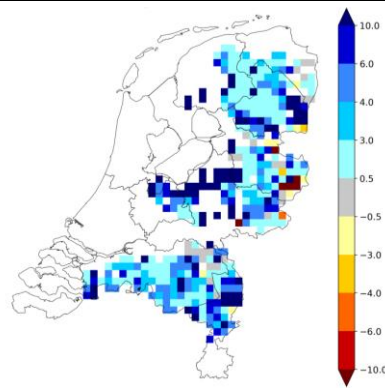
**Effect drinkwateronttrekkingen bufferzone 2000m\_50% reductie op LG3 van grondwaterafhankelijke natuur langjarig 1995-2010**



**Effect drinkwateronttrekkingen gebiedsdekkend 100% reductie op LG3 grondwaterafhankelijke natuur in 2019 (Van den Eertwegh et al, 2021)**



**De vergroting van het effect van de kwelflux bij een gebiedsdekkende reductie van 100% in 2019 (Van den Eertwegh et al, 2021) t.o.v. de kwelflux bij een bufferzone van 2000m met 50% reductie (dit rapport)**



*Figuur 4-4 Boven: Vergelijking van twee maatregelvarianten in termen van het effect op GLG en LG3 (in m) in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Linksboven: het reduceren van drinkwateronttrekkingen met 50% in bufferzones van 2000 m (dit rapport) en rechtsboven: 100% reductie van alle winningen in het hele projectgebied (Van den Eertwegh, 2022).*

*Onder: het relatieve verschil in kwelflux van de maatregel rechts ten opzichte van maatregel links als factor. Factor 2 betekent een 2x zo groot effect op de kwelflux in 2018 ten opzichte van 2003.*

## 5 Conclusie

In dit rapport is het effect van bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden onderzocht voor drie type maatregelen 1) verhogen van de ontwateringsbasis, 2) reduceren van grondwateronttrekkingen voor beregening, en 3) reduceren van grondwateronttrekkingen voor drinkwaterbereiding en industrieel gebruik. Het effect van de maatregelen is onderzocht met behulp van het Landelijk Hydrologisch Model. Meerdere varianten zijn doorgerekend waarbij gevarieerd is met de intensiteit van een individuele maatregel en de grootte van de bufferzone waarin de maatregelen zijn doorgevoerd. Er zijn geen combinaties van maatregelen doorgerekend. Er is met name gekeken naar het hydrologische effect in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden zoals het effect op de GVG, GLG en kwelflux.

Het is nadrukkelijk een verkennende studie op nationale schaal die orde grootte hydrologische effecten van bufferzones in beeld brengt en de resultaten zijn daarom niet toepasbaar op individuele natuurgebieden. Keuzes van combinaties van maatregelen en type maatregelen dienen op gebiedsniveau in gebiedsprocessen te worden bepaald waarbij ook effecten op natuurdoelrealisaties en functies als landbouw en bebouwing in beeld moeten worden gebracht.

### **Effect van bufferzones voor ontwatering**

Wanneer de ontwateringsbasis gebiedsdekkend verhoogd wordt naar 0,5 m onder maaiveld neemt de zomergrondwaterstand in natuurgebieden in de zomer toe met gemiddeld 25 cm. Lokaal kan het effect groter zijn: in 10% van de natuurgebieden wordt de GLG 50 cm hoger. Dit gaat gepaard met soms grote verhogingen van de ontwateringsbasis die een maximaal haalbaar effect weergeven. Het effect op de GVG heeft een iets kleiner maar vergelijkbaar effect (ordegrootte cm). In kwelgebieden neemt de kwelflux over het algemeen door deze maatregel toe.

Het effect van de ontwateringsmaatregelen neemt toe naarmate de bufferzones groter zijn, maar de extra te behalen winst wordt wel steeds kleiner. Het maximale effect wordt bereikt bij een bufferzone van 2000m. In alle provincies behalve Drenthe levert een bufferzone van 500m meer dan 80% van het maximale effect voor deze maatregel.

Een verdere verhoging van de ontwateringsbasis naar 0,30 m beneden maaiveld, in een bufferzone van 500 m, geeft circa 5 cm meer effect dan de variant met verhoging naar 0,50 m beneden maaiveld. Voor sommige natuurgebieden kan het verder verhogen van de ontwateringsbasis veel extra effect hebben. In 10% van de natuurgebieden is de GLG-verhoging in de tweede variant 70 cm of meer, in vergelijking met 50 cm in de eerste variant.

De grootte van de bufferzone is uiteraard afhankelijk van de mate van doorvoering van de maatregel. Doorgaans geldt, hoe kleiner de aanpassing, hoe groter de bufferzones moeten zijn om een zelfde effect te realiseren.

### **Effect van bufferzones voor reduceren van grondwateronttrekking voor beregening**

Het effect van beregeningsreductie is sterk afhankelijk van de mate waarin in de uitgangssituatie beregend wordt en dat is weer sterk afhankelijk van de mate van droogte. Het effect is logischerwijs met name zichtbaar op de grondwaterstanden en kwelfluxen in droge zomers.

De effecten in een droog jaar zoals 2003 (onderliggende studie) zijn voor Noord Brabant vergeleken met de effecten in een extreem droog jaar zoals 2018 (Van den Eerthwegh et al. 2021) en zijn 2 keer zo groot voor 2018 omdat er ook twee keer zoveel beregend werd. De extra verlagingen veroorzaakt door beregenen uit grondwater komen bovenop de al extra lage grondwaterstanden als gevolg van het droge jaar

Bij 100% beregeningsreductie in het hele gebied, stijgt de LG3 in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden van Noord-Brabant met gemiddeld 2 cm (2003) of 4 cm (2018). Lokaal kunnen de effecten oplopen tot 2,5 cm (2003) en 6 cm (2018). Bij een uitrol in het hele gebied of in grote bufferzones treden de meeste effecten buiten de natuurgebieden op. De grondwaterstand gaat met name omhoog in de (landbouw)gebieden die in de uitgangssituatie niet beregend worden. Dit komt onder andere omdat binnen de bufferzones beregeningslocaties worden meegenomen die geen effect hebben en andere beregeningslocaties (buiten de bufferzones) die mogelijk wel effect hebben worden niet meegenomen.

Een aanpak met bufferzones lijkt voor beregenen uit grondwater veel minder effectief dan een gebiedsbrede aanpak. Dit komt door de grote hoeveelheid diffuus verspreide relatief kleine onttrekkingen die samen een regional significant effect op de natuurgebieden veroorzaken. Het reduceren van beregening uit grondwater heeft dan ook pas significant effect als een groot aantal beregeningslocaties over een groot gebied wordt aangepakt. Daarom ligt een aanpak met bufferzones niet altijd voor de hand en kan er meer bereikt worden met beregeningsbeleid waarmee de problematiek regionaal wordt aangepakt

### **Effect van bufferzones voor reduceren van grondwateronttrekking voor drinkwater en industrie**

Het reduceren van onttrekkingen voor drinkwater heeft met name effect als deze zich binnen enkele kilometers natuurgebieden bevinden. Naast de afstand tot het natuurgebieden, is het effect logischerwijs ook afhankelijk van het onttrokken debiet, hoe groter het debiet, hoe groter het effect, Er geldt zelfs dat een twee keer zo groot debiet, een ongeveer twee keer zo groot effect veroorzaakt. Door het regionaal uitstralend effect van drinkwateronttrekkingen, dat vaak veel verder reikt dan de grootte van een bufferzone, is een bufferzone-aanpak voor onttrekkingen minder geschikt. De aanwezigheid en grootte van onttrekkingen in de buurt van het natuurgebied is zodoende bepalender voor de effectiviteit in natuurgebieden dan de grootte van de bufferzone .

Bij 50% reductie in de grootste bufferzone van 2000 m stijgen de gemiddelde zomergrondwaterstanden met 10-100 cm, maar de ruimtelijke verschillen zijn groot. Het effect op de kwelflux in beekdalen kan daarbij heel groot zijn. De kwel kan toenemen met meer dan 0,5 mm per dag in natuurgebieden dichtbij winningen met een groot onttrekkingsdebiet. In sommige natuurgebieden bedraagt de kweltoename meer dan 60%. Het halveren van grote winningen heeft logischerwijs een veel groter effect dan die van kleine winningen. Zo geldt ook dat het geheel stoppen van een winning ook ongeveer twee zoveel effect heeft als het halveren van een winning.

Industriële onttrekkingen hebben vanwege hun kleinere omvang (in verhouding tot drinkwateronttrekkingen) een veel kleiner effect maar het reduceren van deze winningen kunnen lokaal wel bijdragen aan het vernatten van natuurgebieden.

### **Tot slot**

De bufferzone benadering werkt voornamelijk bij ontwateringsmaatregelen goed. Met deze maatregel zijn de effecten in de natuurgebieden direct gerelateerd aan de grootte van de bufferzone en de intensiteit van de maatregel in de bufferzone.

Bij drinkwater onttrekkingen en beregning uit het grondwater werkt de bufferzone aanpak veel minder goed. Voor de drinkwaterwinningen geldt dat grote onttrekkingen juist buiten de gekozen afstand veel invloed kunnen hebben. Per natuurgebied dient daarom in beeld te worden gebracht welke winning hoeveel effect heeft. Voor beregning speelt dat het gaat om een groot aantal beregeningsonttrekkingen dat diffuus over het gebied verspreid ligt en gezamenlijk een significant regionaal effect heeft. Een gebiedsdekkende aanpak is daarom nodig om voldoende effect te realiseren.

Het concept van bufferzones gaat er vanuit dat maatregelen gericht worden op het verhogen van grondwaterstanden en/of vergroten van kwelfluxen in natuurgebieden. De maatregelen hebben ook effect op het grondwaterstandsregime in de bufferzones, dus buiten de natuurgebieden. Dit kan gewenste en ongewenste effecten teweeg brengen in de landbouwgebieden. Het is belangrijk om per natuurgebied te bepalen welke verandering nodig is om de standplaatseisen van de gewenste natuurtypen te realiseren. Dit dient op het lokale niveau van de natuurgebieden plaats te vinden.

In de praktijk zal vermoedelijk een combinatie van maatregelen nodig zijn om het gewenste effect in natuurgebieden te bereiken met de minste kosten voor de omgeving. Er is een afweging van kosten en baten nodig om in een gebied tot passende maatregelen te komen. Het vaststellen van de omvang van de bufferzones en intensiteit van maatregelen moeten samen met de afweging van positieve en negatieve effecten in een gebiedsgerichte aanpak worden uitgewerkt.

## 6 Referenties

- De Louw, P.G.B. (2008) Effecten van grondwateronttrekkingen t.b.v. beregening op beekafvoer, Noord-Brabant. Presentatie tijdens symposium beekafvoer, Utrecht.
- De Louw, P.G.B., Witte, J. P., van den Eertwegh, G. A. P. H., Bartholomeus, R. P., Pouwels, J., & Hunink, J. (2022). Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland. *Stromingen: vakblad voor hydrologen*, 28(1), 3-21.
- Knotters, M. and Jansen, P. (2005) Honderd jaar verdroging in kaart. *Stromingen* 11 (nr.4)
- Massop H.T.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, (2000) Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie. Wageningen, ALTERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne. *Alterrarapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9*
- Mens, M., Hunink, J. C., Delsman, J. R., Pouwels, J. and Schasfoort, F. (2020) Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II, Deltares rapport, Delft.
- Ministerie van VROM, ministerie van EZ en ministerie van LNV (1989) Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen; SDU, Den Haag.
- Van den Eertwegh, G., de Louw, P. G. B., Witte, J., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., van Deijl, D., van Dam, J., Hunink, J., America, I., Pouwels, J., Hoefsloot, P., & de Wit, J. (2021). Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen.
- Van der Meer, R. W. (2020). *Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018*. (Wageningen Economic Research nota; No. 2020-030). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/519864>
- Veldhuizen, A. A., van Bakel, P. J. T., Kroon, T., de Vries, F., & Massop, H. T. L. (2008). Conceptualisatie en parameterisatie van landgebruik, bodem, beregening en buisdrainage in het NHI. *Stromingen* 14(4), 47-62. <https://edepot.wur.nl/50321>

# A LHM4.2.1-Referentie

## A.1 Nieuwe referentierun (juli 2022)

- REF2017VP overgenomen, m.u.v. het zandgrondenpakket.
- Dit kostte wat moeite, want in DM zijn ook wijzigingen doorgevoerd tussen LHM 3.4 en 4.2. Uitgangspunt is nu LHM 4.2, dus deze wijzigingen zijn meegenomen.
- Methode gebruikt: wijzigingen tussen LHM 3.4 en REF2017VP doorgevoerd.
- Wijzigingen in de 4 DM-bestanden
  - Dwkeys.txt
  - Fixed.txt
  - Nds.txt
  - Lnks.txt
- Paar aandachtspunten
  - Kleine inlaten langs noordervaart zijn inactief gezet in LHM 4.0, maar de inlaten zijn verhoogd in REF2017. Dit komt omdat de fase-1 maatregel 'inlaatcapaciteit verhogen' nog niet was doorgevoerd. De verhoogde inlaatcapaciteiten zitten nu wel in de nieuwe Referentie.
  - Roode Vaart zit al wel ingebouwd sinds LHM 4.0, maar met een inlaatcapaciteit van 0. In REF2017 zat de Roode vaart wel daadwerkelijk, dus deze is ook meegenomen in de nieuwe Referentie.
  - Minimum gewenst debiet ARK bij Weesp is in REF2017 aangepast van 18 naar 25 m<sup>3</sup>/s vanwege laatste inzichten. Inmiddels staat hij in LHM sinds LHM 4.1 op 22,5, omdat er 2,5 m<sup>3</sup>/s extra komt vanwege doorspoeling Beatrixsluizen (watervraag wordt inmiddels niet meer geleverd via deze sluizen, daarom is de doorspoeling nu extra op de watervraag).
  - In een paar andere invoerfiles zaten ook afwijkingen tussen REF2017BP18 en LHM 4.2. Bijvoorbeeld de beregeningsgift voor fruitbomen, die toendertijd is verhoogd n.a.v. inzichten uit het waterschap. Deze worden in JIRA gezet en kunnen op die manier in LHM 4.3 terecht komen.

## A.2 Voorkeurspakket Zoetwater

In 2021 is een besluit genomen over de uitvoering van een volgende ronde zoetwatermaatregelen 2022-2027, oftewel fase 2 van het Deltaplan Zoetwater. We gaan er in de berekeningen in NL Later vanuit dat deze maatregelen in de praktijk zijn uitgevoerd, behalve waar het gaat om pilots, verkenningen, proeftuinen en onderzoeken. Een aantal maatregelen uit dit pakket heeft een kwantificeerbaar effect op de watervraag of het wateraanbod. Ter onderbouwing van het voorkeurspakket zoetwater zijn al eerder berekeningen uitgevoerd waarin de belangrijkste maatregelen zijn geschematiseerd.

In de referentieberekening wordt hierop voortgebouwd en zoveel mogelijk aangesloten bij Ref2017VP. Omdat we wel met een nieuwere versie van LHM (versie4.2) werken, moeten sommige zaken nog wel worden gelijkgetrokken.

### **Maatregelen voor het beperken van de (externe) verzilting op de spuisluizen bij Den Oever afsluitdijk)**

In Referentie staat de doorspoeling van de afsluitdijk al op 10m<sup>3</sup>/s. Deze is namelijk overgenomen van het Voorkeurspakket-DPZWFase2. En is helaas niet meer omhoog gezet naar 40 m<sup>3</sup>/s.

**De inlaatcapaciteit van gemaal Hoogland** (aanvoer richting Friesland en Groningen) is peilafhankelijk tot een maximum van 152,6 m<sup>3</sup>/s (zie Tabel A-1).

Deze modeltak representeert de volgende inlaten: Lemmer Tacozijl, Lemmer Teroelsterkolk, Stavoren (Hoogland) en de kleine inlaat Makkum. Als gevolg van een recent uitgevoerde maatregel is de maximale inlaatcapaciteit verhoogd. Op basis van aangeleverde data door Wetterskip Fryslân voor de huidige situatie en de situatie met verhoogde inlaatcapaciteit Hoogland is een schatting gemaakt van de toename van de capaciteit bij de verschillende IJsselmeerpeilen (Tabel A-1).

Tabel A-1 Aanpassing van de inlaatcapaciteit van (modelinlaat) Hoogland.

Peil IJsselmeer (m NAP)	Inlaatcapaciteit (m <sup>3</sup> /s) (nulalternatief)	Inlaatcapaciteit (m <sup>3</sup> /s) (maatregel)	Toename in capaciteit
0.1	152.6	192.6	40
0	145	182	37
-0.1	135.3	169.3	34
-0.2	124.3	155.3	31
-0.25	109	138	29
-0.3	90.5	116.5	26
-0.35	67.4	89.4	22
-0.4	33.6	49.6	16
-0.45	19.6	30.6	11
-0.52	0	0	-

**De maatregel ‘doorvoer Krimpenerwaard’** voorziet in de aanvoer van water vanuit de Lek, via de Krimpenerwaard naar de Hollandsche IJssel. In de basisberekening met NWM is dit als volgt geïmplementeerd:

- Er kan maximaal 12 m<sup>3</sup>/s worden ingelaten via de inlaat Krimpenerwaard, waarbij er 6 m<sup>3</sup>/s bestemd is voor de Krimpenerwaard zelf.
- Via de Snelle Sluis gaat er 3 m<sup>3</sup>/s richting Schieland.
- De overige 3 m<sup>3</sup>/s is diffuus en zal nodig zijn als buffervoorraad in de Hollandsche IJssel.

**Maatregelen voor de reductie van zoutindringing zeescheepvaartsluizen Delfzijl** zorgen voor een reductie van de doorspoelvraag van het Eemskanaal. Het gewenste doorspoeldebiet is 3,4 m<sup>3</sup>/s. In overleg met de regio is destijds besloten de maatregel te implementeren door het gewenste debiet voor doorspoeling te halveren.

De **maatregel om het debiet bij Hagestein** te vergroten komt voort uit de wens om de Lek zoet te houden door een debiet over Hagestein van orde 20-40 m<sup>3</sup>/s te sturen zodra de monding bij Krimpen aan de Lek dreigt te verzilten. Het benodigde debiet is in de praktijk afhankelijk van de chlorideconcentratie in de monding van de Lek. Er wordt een tijdsafhankelijk gewenst debiet opgegeven:

- Het gewenst debiet is ingesteld op de tak tussen inlaat Krimpenerwaard en de monding van de Lek bij Krimpen;
- Het gewenst debiet is in de winter 1 m<sup>3</sup>/s, in mei 10 m<sup>3</sup>/s, van 1 juni tot 1 oktober 15 m<sup>3</sup>/s, van 1 tot 11 oktober 10 m<sup>3</sup>/s, en daarna weer 1 m<sup>3</sup>/s;
- Deze tijdsafhankelijke watervraag is voor elk jaar hetzelfde en niet afhankelijk van de Lobithafvoer.



**Afvoerverdeling over de Rijntakken** moet worden opgelegd via tabellen met verdeelsleutels die afhankelijk zijn van de afvoer bij Lobith. In het IRM traject worden deze verdeelsleutels afgeleid van de berekeningen met D-Hydro. Voor de referentie nemen we de bodemligging van 2018 en de berekende afvoerverdeling over.

### A.3 Beregeningskaart

Huidige kaart klopt niet. Er is besloten om terug te stappen naar de beregeningskaart van LHM 3.4.

### A.4 Uitgangspunten berekening

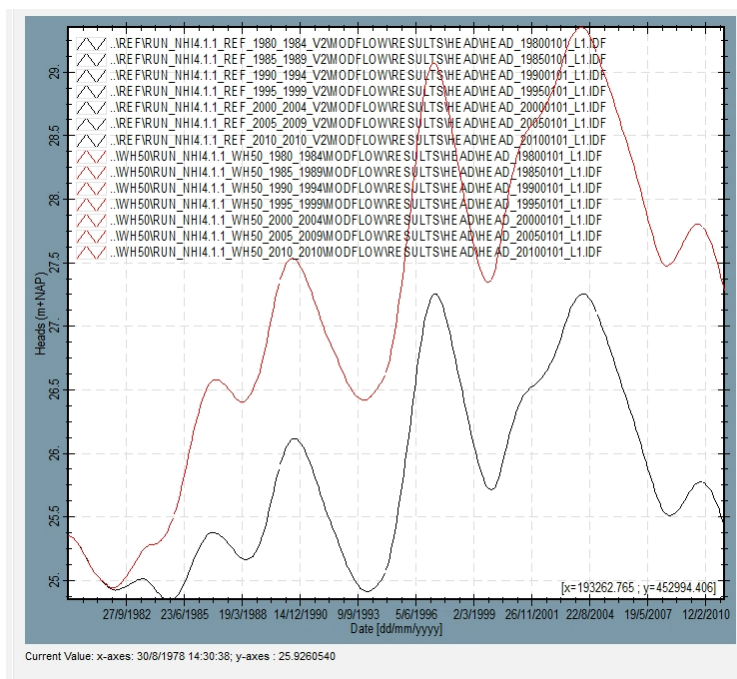
- Met WOFOST
- Periode 1996-2010
- Keuze: entnehmer wels de ipf vanaf 1998 nemen (pragmatische keuze)
- Zeespiegelstijging (BND) overgenomen uit DPZW REF

Aanpassingen bos-parameters (fact\_svat.inp) uit LHM 4.2 overgenomen. Het betreft:

- De gewasfactoren is met 20% verlaagd;
- De interceptieverdampingfactor is met 20% verlaagd;
- De factor voor kale grondverdamping is met 20% verlaagd;
- De factor voor ponding is met 20% verlaagd;

Inspeeltijd

20 jaar (1976-1995). 15 jaar voor klimaat is onvoldoende (zie bijv. Veluwe) . Maar voor REF kunnen we wel starten in 1980.



### A.5 Externe verzilting / inzet KWA

In het LHM worden de zoutconcentraties bij de monding van de Hollandsche IJssel zoals eerder met het NDB model berekend als randvoorwaarde opgelegd.

Om de juiste randvoorwaarden op te leggen zijn de uitvoer '.his' bestanden van Ref2017VP berekening gebruikt.

## B Modelvertalingen maatregelen

### B.1 Modelvertaling ontwatering

In alle primaire en secundaire watergangen waar het peil wordt opgezet, wordt de bodemhoogte met dezelfde hoeveelheid verhoogd, waardoor het volume in de watergang gelijk blijft en er geen onrealistische waterhoeveelheden gesimuleerd worden. De aanpassingen worden doorgevoerd in zowel de zomerpeilen als de winterpeilen. Deze aanpassingen worden doorgevoerd in de volgende modelparameters:

- **MODFLOW:** Peil\_P1W\_250.idf, Peil\_P1Z\_250.idf, Peil\_S1W\_250.idf, Peil\_S1Z\_250.idf, BODH\_P1W\_250.idf, BODH\_P1Z\_250.idf, BODH\_S1W\_250.idf, BODH\_S1Z\_250.idf
- **MOZART:** MFtoLSW.csv

De verandering in peil wordt in MOZART doorgevoerd door de correctiefactor in 'MFtoLSW.csv' te verhogen. Alle cellen die binnen de bufferzones vallen krijgen deze correctie.

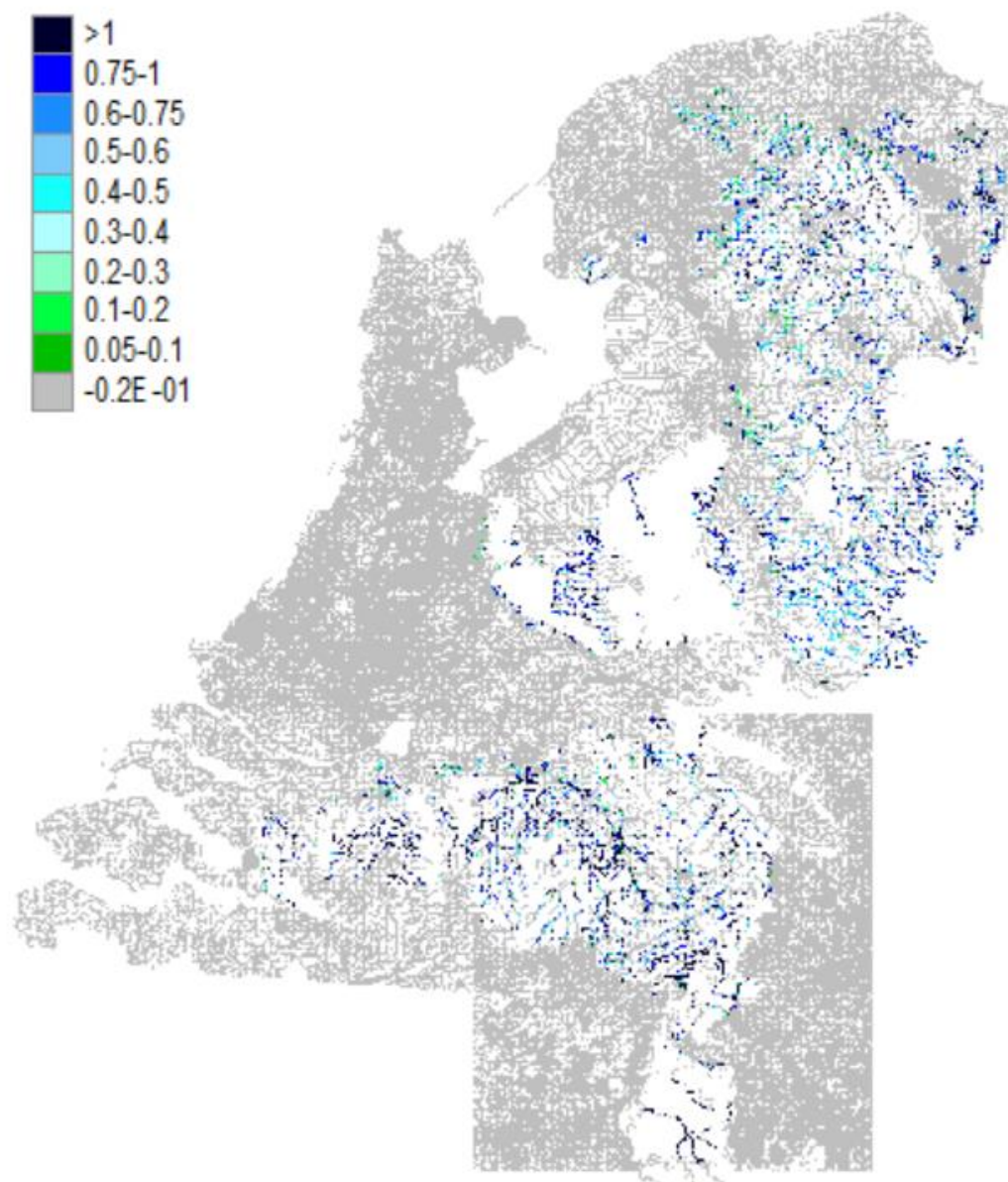
Daar waar het slootpeil reeds een halve meter of minder onder maaiveld ligt worden geen aanpassingen aan het peil doorgevoerd. Er is initieel voor 0,5m-mv gekozen omdat er nog steeds mogelijkheid is tot extra waterberging indien nodig bij dit peil. In figuren B6.1, B6.2 en B6.3 worden de aanpassingen voor verhoging van het peil tot 0.5m-mv weergegeven. Vervolgens is de variant met een verhoging van het peil naar 0,3m-mv toegevoegd om de invloed van verdere verhoging in kaart te kunnen brengen. Dat kan worden gezien als de toegepaste veranderingen in de Figuur B-1 tot en met Figuur B-3 met daar nog 0.2m aan toegevoegd.

In het tertiaire systeem is het peil gekoppeld aan de bodemhoogte (peil is gelijk aan bodemhoogte). In tertiaire watergangen wordt het peil (en dus bodemhoogte) eveneens opgezet tot een hoogte van -0.5 m onder maaiveld. De aanpassingen worden doorgevoerd in zowel de zomerpeilen als de winterpeilen. Deze aanpassingen worden doorgevoerd in de volgende modelparameters:

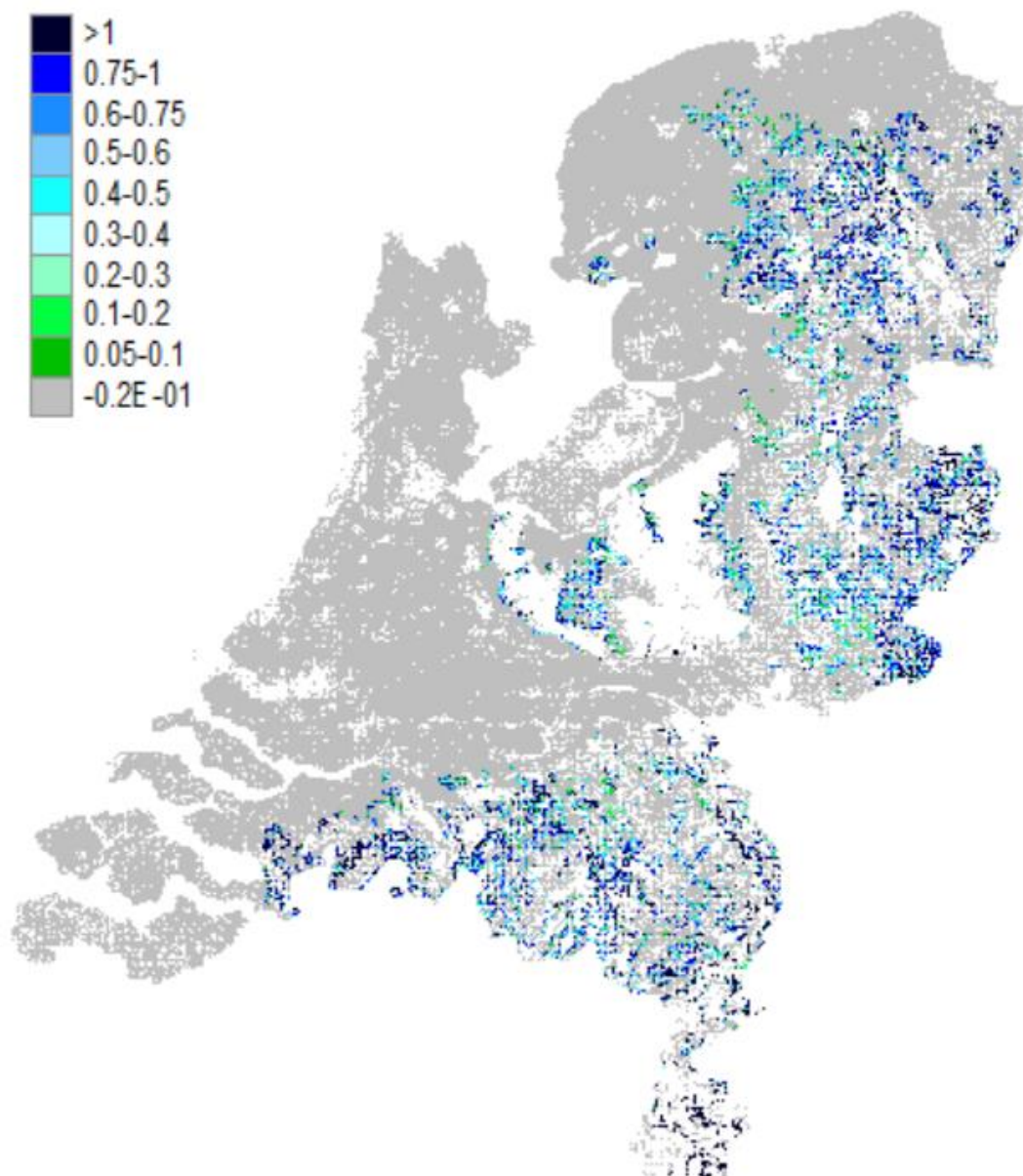
- **MODFLOW:** PEIL\_T1W\_250.idf, PEIL\_T1Z\_250.idf
- **MOZART:** MFtoLSW.csv

Het verwijderen van de buisdrainage heeft ook als doel de grondwaterstand te verhogen. Dit is in het model doorgevoerd door de volgende bestanden aan te passen:

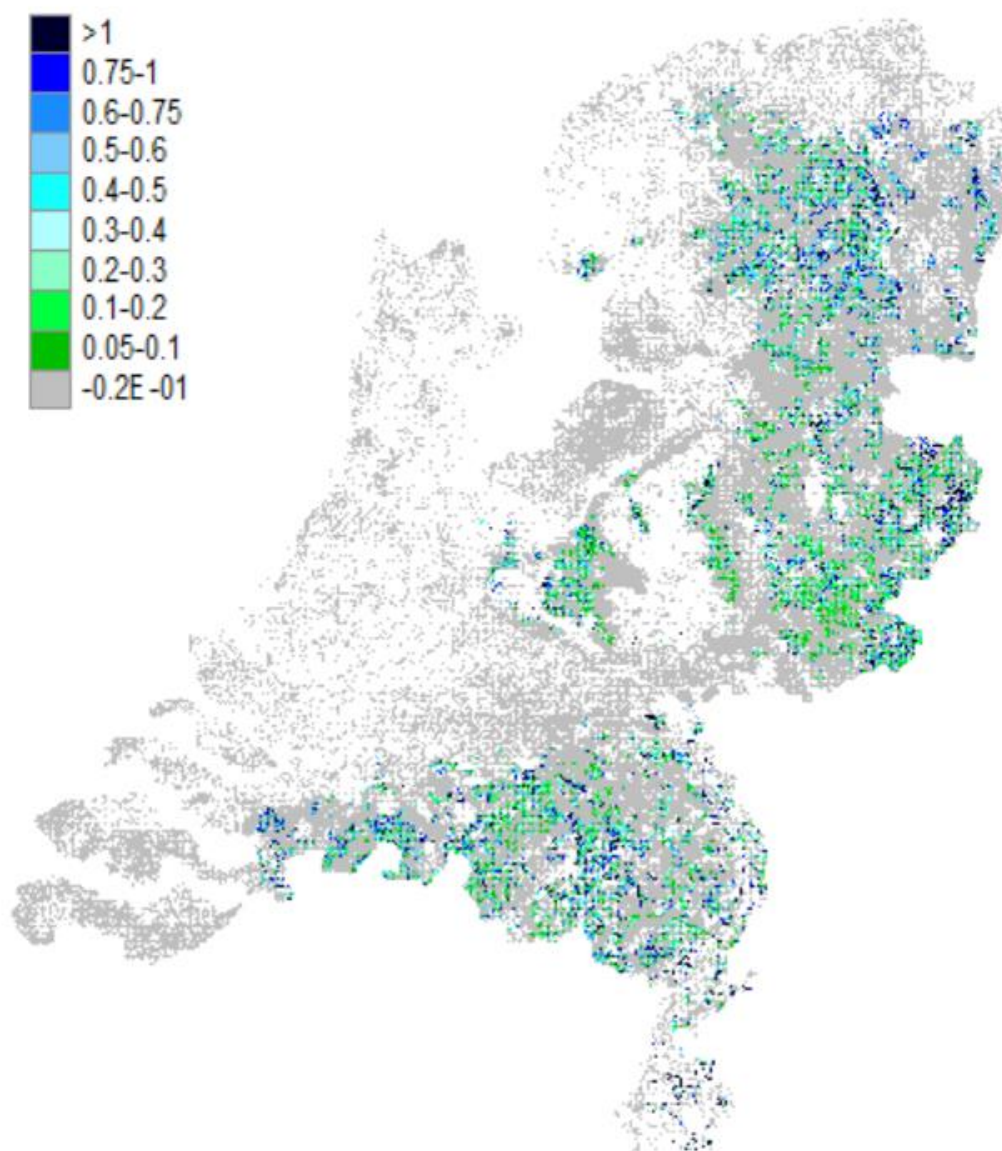
- **MODFLOW:** BODH\_B\_250.idf, COND\_B\_250.idf



*Figuur B-1 De toegepaste verandering in peil van het primaire systeem om tot de beheersmaatregelen van een 0.5m-mv te komen in het LHM. De groen/blauwe kleuren geven een verhoging van de peilen weer.*



*Figuur B-2 De toegepaste verandering in peil van het secundaire systeem om tot de beheersmaatregelen van een 0.5m-mv te komen in het LHM. De groen/blauwe kleuren geven een verhoging van de peilen weer.*



*Figuur B-3 De toegepaste verandering in peil van het tertiaire systeem om tot de beheersmaatregelen van een 0.5m-mv te komen in het LHM. De groen/blauwe kleuren geven een verhoging van de peilen weer.*

## B.2 Modelvertaling berekening

De methode om berekening uit grondwater in het LHM aan te passen is door middel van aanpassingen in de MetaSWAP tabel met landgebruiksopties (luse\_svat.inp). Daarnaast dient ook de landgebruikskaart (LGN250.asc) aangepast te worden. De volgende acties zijn uitgevoerd:

1. Dupliceren van alle landgebruik types (25 in totaal rijen) in luse\_svat.inp en doornummeren van de 'index of land use type' kolom. De 'index of vegetation type' kolom blijft hetzelfde.
2. Halveren van de 'gift in rotational period' voor het geduplicateerde landgebruik in de luse\_svat.inp met 50%, of deze op nul zetten voor 100% reductie.

3. De landgebruikskaat aanpassen zodat de cellen waar de berekening moet veranderen binnen de bufferzone naar de nieuwe landgebruik codering met de aangepaste berekening verwijst. Dit wordt alleen gedaan voor de cellen waar berekening uit het grondwater plaatsvindt. Hierdoor is berekening uit grondwater gereduceerd, maar blijft berekening uit oppervlaktewater gelijk.

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)