Deltares

Enabling Delta Life

Verkenning effecten van winning aanvullende strategische drinkwatervoorraden op het freatisch grondwater

Deltares

Verkenning effecten van winning aanvullende strategische drinkwatervoorraden op het freatisch grondwater

Jacco Hoogewoud
Dimmie Hendriks
Martijn Visser
Wim de Lange

1220726-000

© Deltares, 2016, B

Deltares

Titel
Verkenning effecten van winning aanvullende strategische drinkwatervoorraden op het freatisch grondwater

Project	Kenmerk	Pagina's
1220726-000	1220726-000-BGS-0013	118

Trefwoorden
Aanvullende strategische drinkwatervoorraden, grondwateronttrekkingen, LHM, NHI, “diffuse winningen”, STRONG

Samenvatting
In het kader van de Beleidsnota Drinkwater en de Structuurvisie Ondergrond (STRONG) wordt een verkenning uitgevoerd naar toekomstige aanvullende strategische drinkwatervoorraden en nationale grondwaterreserves. Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat er in 2040 een landelijk drinkwatertekort van circa 300 miljoen m^3/jaar kan ontstaan (RIVM, 2015). Een groot deel van deze extra drinkwaterwatervraag zal uit het grondwater gewonnen worden. In voorliggende studie worden de effecten van de toekomstige toename van grondwateronttrekkingen op het freatisch grondwater in beeld gebracht. Hiervoor is een generieke modelaanpak toegepast, waarbij met het NHI de effecten van de extra onttrekkingen als “diffuse winning” zijn doorgerekend. Met deze methode wordt aan het potentiele wingebied een uniforme vlakdekkende winning opgelegd.

Op basis van de globale effectanalyse met stationaire modelberekeningen is gebleken dat een “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” de beste mogelijkheden biedt voor het maken van afwegingen tussen zoekgebieden voor toekomstige grondwaterwinningen. De berekende grondwaterstandsverlaging varieert van enkele centimeters tot ruim 2 meter in gebieden met hoge zandgronden. Uit de globale effectanalyse bleek ook dat niet-lineaire effecten belangrijk zijn. In grote delen van Nederland neemt de niet-lineairiteit van het hydrologisch systeem toe met een toenemende grondwateronttrekking, als gevolg van het droogvallen van het oppervlaktewatersysteem.

Vervolgens is met niet-stationaire berekeningen het effect van extra grondwateronttrekkingen en klimaatverandering (KNMI’14 W_H scenario) op de het freatisch grondwater in meer detail in beeld gebracht. De verlaging van de grondwaterstand is over de zomerperiode groter dan over de winterperiode. Ook laten de effectberekeningen zien dat de kwelflux (grondwaterflux over eerste slecht doorlatende laag) en drainageflux (grondwaterflux naar oppervlakte) over het algemeen afnemen met 10 tot 50%. Vooral tijdens de zomerperiode is deze afname significant. Het W_H klimaat heeft jaargemiddeld een dempende werking op de verlaging van grondwaterstanden, de kwelflux en de drainageflux. Echter, tijdens de zomerperioden, wanneer de waterbeschikbaarheid voor landbouw en natuur van belang is, laten grote delen van het land een sterkere afname van deze modelparameters zien.

In deze studie is een generieke analyse gedaan naar de effecten van toekomstige drinkwaterwinning op het grondwater op landelijk niveau. Een volgende stap is om de effecten van extra grondwaterwinningen verder uit te werken op Provinciaal niveau. Aangeraden wordt om voorafgaand daaraan de resultaten van deze generieke modelstudie in meer detail te analyseren.

Deltares

Titel
Verkenning effecten van winning aanvullende strategische drinkwatervoorraden op het freatisch grondwater

Project	Kenmerk	Pagina's
1220726-000	1220726-000-BGS-0013	118

***DISCLAIMER**: De in dit rapport gepresenteerde kaarten kunnen (en mogen) alleen ordenend gebruikt worden. Dat wil zeggen dat de kaarten gebruikt kunnen worden om de gebieden te vinden waar een extra grondwaterwinning potentieel weinig of juist veel effect op het freatisch grondwater heeft. De kaarten kunnen niet gebruikt worden om absolute effecten van grondwaterwinningen te bepalen.*

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
		Jacco Hoogewoud		Henk Kooi		Hilde Passier	
		Dimmie Hendriks					
		Martijn Visser					
		Wim de Lange					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **3**

2 Toelichting methodiek **7**
2.1 Grondwatermodel NHI 7
2.1.1 Beschrijving modelinstrument 7
2.1.2 Toepasbaarheid van NHI 10
2.2 Relevante modelparameters 11
2.3 Aanpak modellering drinkwateropgave 12
2.3.1 Keuzes in modellering van drinkwateropgave 12
2.3.2 Gekozen methodiek: “diffuse winning” 13
2.3.3 Modelgebied 16
2.4 Effectberekeningen 17
2.4.1 Globale effectanalyse (stationaire modelberekeningen) 18
2.4.2 Onttrekkings- en klimaatscenario’s (niet-stationaire modelberekeningen) 20
2.4.3 Compenserende maatregelen 23

3 Resultaten globale effectanalyse **25**
3.1 Effect verhogen debiet op huidige grondwaterwinlocaties 25
3.2 Effect verhogen debiet met “diffuse winning” 26
3.3 Effect verlagen grondwateraanvulling 28
3.4 Evaluatie globale effectanalyse - gebruik resultaat in STRONG 29

4 Resultaten effectberekeningen **31**
4.1 Effecten verhogen debiet op huidige grondwaterwinlocaties 31
4.2 Effect “diffuse winning” over alle grondwatervoorraden 33
4.3 Vergelijking stationaire en niet-stationaire berekeningen 34
4.4 Effecten “diffuse winning” STRONG scenario’s 35
4.5 Effecten met klimaatscenario 37

5 Conclusies en aanbevelingen **41**
5.1 Conclusies 41
5.1.1 Methodiek 41
5.1.2 Globale effectanalyse 42
5.1.3 Effectberekeningen 43
5.1.4 Stationair versus niet-stationair 43
5.2 Aanbevelingen 44
5.2.1 Verfijning van de methodiek 44
5.2.2 Toepassing op Provinciaal niveau 44

Bijlage(n)

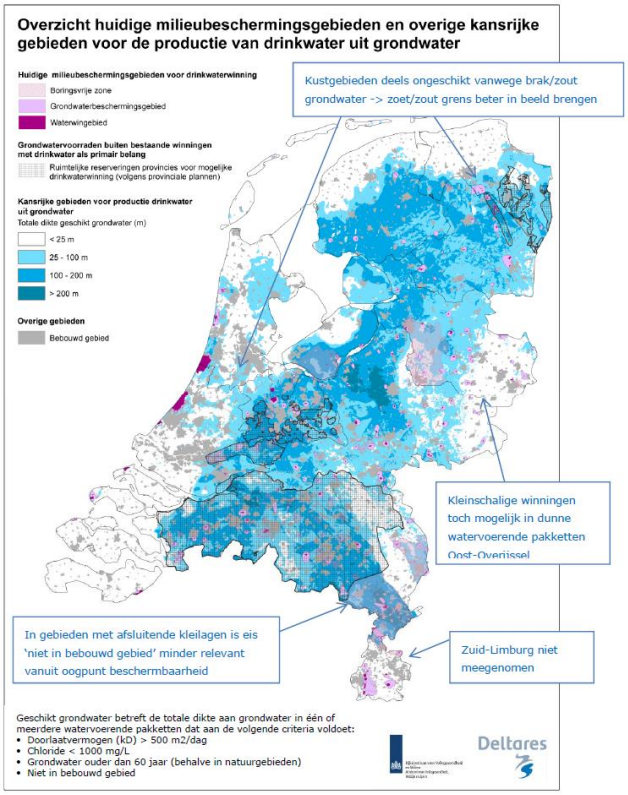
A Opbouw van de bovenste modellagen van NHI **A-1**

B Figuren globale effectanalyse (stationaire modelberekeningen) **B-1**
B.1 Verwijderen huidige winningen B-1
B.2 Verhogen huidige winningen B-2
B.3 Diffuse winningen B-3
B.4 Diffuse winning van 900 m3/jaar met verlaging grondwateraanvulling B-10
B.5 Geschaalde effecten extra grondwateronttrekking B-13

C Figuren effectberekeningen (niet-stationaire modelberekeningen) **C-1**
C.1 Effecten toename huidige winningen C-1
C.2 Effectberekeningen “diffuse winning van 900 milj. m3/jaar” C-7
C.3 Effectberekeningen “diffuse winning van 1800 milj. m3/jaar” C-13
C.4 Stationair versus niet-stationair C-19
C.5 Effectberekeningen STRONG scenario “Drinkwater voorop” C-27
C.6 Effectberekeningen STRONG scenario “Handel in gas” C-33
C.7 Effectberekeningen diffuse winning met klimaat-scenario C-39

1 Inleiding

In het kader van de Beleidsnota Drinkwater en, in het verlengde daarvan, de Structuurvisie Ondergrond (STRONG) zijn het rijk, de provincies, de drinkwaterbedrijven en de waterschappen een gezamenlijke verkenning gestart om te kijken of het voor de toekomst nodig is om aanvullende strategische drinkwatervoorraden en nationale grondwaterreserves aan te wijzen. Er zijn twee eerdere onderzoeken afgerond. Deltares[1] heeft onderzocht waar kansrijke gebieden liggen voor nationale grondwaterreserves. RIVM[2] heeft gekeken hoe de vraag naar drinkwater zich zou kunnen ontwikkelen tot 2040 bij verschillende sociaal-economische scenario's en over welke strategische voorraden provincies nu al beschikken.



Figuur 1.1 Kansrijke gebieden voor drinkwaterwinning uit grondwater (bron: RIVM Rapport 2015-0068).

Het RIVM onderzoek wijst uit dat, bij het scenario met een hoge vraag, er in 2040 een landelijk tekort bij de productiecapaciteit van drinkwater zal ontstaan van circa 300 miljoen m^3/jaar, als er geen maatregelen worden genomen. Een groot deel van deze extra drinkwaterwatervraag (222.8 milj. m^3/jaar) zal uit het grondwater gewonnen worden, waarvan 199.5 milj m^3/jaar door grondwaterwinning en 23.3 milj. m^3/jaar door oevergrondwaterwinning. In het rapport van RIVM wordt ook weergegeven welke de kansrijke gebieden zijn voor extra productie van drinkwater uit grondwater (Figuur 1.1).

[1] *Broers, H.P., R. Stuurman en W.J. de Lange (2015), Een aanzet voor de begrenzing van Nationale Grondwater Reserves. Utrecht: Deltares.*

[2] *Aa, N.G.F.M. van der, et al. (2015), Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen – Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater. RIVM Rapport 2015-0068.*

Nu is het voor de planMER in het kader van STRONG nodig om in beeld te brengen hoeveel ruimte (km^2) er nodig is om bij het mogelijke tekort in 2040 een gegeven volume aan nieuwe grondwatervoorraden te kunnen onttrekken met zo min mogelijk schadelijke effecten (verzilting, verdroging, etc.). Om goede afwegingen te kunnen maken bij het bepalen van de benodigde ruimte en het maken van keuzes voor het verdelen van deze grondwateronttrekkingen over Nederland, dient onderzocht te worden wat het effect is van een toename van de grondwateronttrekking op de omgeving. Een belangrijk aspect hierbij is het effect op het freatische grondwater. Het freatisch grondwater is van groot belang voor grondwaterafhankelijke natuur en voor landbouw, maar ook voor zaken als bodemdaling en funderingen is het van belang de effecten op het freatisch grondwater te beperken.

Met deze studie worden de effecten van de toekomstige toename van grondwateronttrekkingen op het freatisch grondwater op landelijk niveau in beeld gebracht. Aangezien er op dit moment nog geen keuzes gemaakt zijn over de verdeling van de winningen, is gekozen voor een generieke aanpak. Hiermee wordt op landelijke schaal inzichtelijk gemaakt in welke regio's of gebieden de effecten van grondwateronttrekkingen op het freatische grondwater relatief groot of juist klein zijn. Daarbij is ook gekeken naar de effecten van toekomstige klimaatverandering. De resultaten van deze studie worden gebruikt als input voor het uitwerken van de socio-economische STRONG scenario's voor toekomstig gebruik van de ondergrond (zie kader op pagina 5). De resultaten zijn zowel ingezet bij het vormgeven van de scenario's als bij het in beeld brengen van de effecten.

Deze studie bevat geen analyse van strategische drinkwatervoorraden op provinciaal niveau. Deze uitwerking, waarbij nauw aangesloten zal worden op bestaande kennis bij provincies, zal plaatsvinden in het verdere traject van de Structuurvisie Ondergrond.

Toelichting STRONG scenario's

In het kader van het opstellen van STRONG (Structuurvisie Ondergrond) wordt in opdracht van het ministerie van IenM een planMER opgesteld door TAUW. Aan de basis van de planMER ligt een scenarioanalyse van het toekomstige gebruik van de ondergrond met een tijdshorizon tot 2040. Op basis van deze scenario's worden de effecten van uiteenlopende keuzes voor gebruik van de ondergrond in beeld gebracht. De scenario's zijn geen realistische beleidsalternatieven voor de Structuurvisie Ondergrond, maar zijn bedoeld om objectief en beleidsneutraal inzicht te verschaffen in de kansen en knelpunten op regionaal niveau. Een belangrijk uitgangspunt van alle scenario's is dat aan de drinkwatervraag in 2040, zoals becijferd door RIVM, kan worden voldaan.

In totaal zijn vier scenario's uitgewerkt:

Fossiel met CO_2-opslag. In dit scenario staat het behalen van de klimaatdoelstelling door de opslag van CO_2 centraal. Wanneer gasvelden uitgeproduceerd zijn, ontstaat er ruimte voor de permanente opslag van CO_2

Maximaal hernieuwbaar. In dit scenario wordt de transitie naar duurzame energie zo snel als mogelijk gerealiseerd. De ondergrond levert hier een bijdrage aan via geothermie en het bufferen van energie in zoutcavernes

Drinkwater voorop. De bescherming van grondwater voor de drinkwatervoorziening staat in dit scenario centraal. Naast gebieden voor de benodigde (strategische) drinkwatervoorraden worden ook de potentiële nationale grondwaterreserves beschermd in dit scenario

Opslag en handel in gas. In dit scenario speelt de gasrotonde een centrale rol. Dit betekent dat, naast de winning van conventioneel gas, oog is voor de opslag van gas in de ondergrond en de winning van schaliegas

De grondwaterberekeningen uitgevoerd in dit onderzoek vormen de basis van de ruimtereserveringen voor grondwateronttrekking voor drinkwater in de vier scenario's. Daarnaast hebben, voorafgaand aan het opstellen van de scenario's diverse sessies plaatsgevonden met kennisinstituten, een klankbordgroep van maatschappelijke organisaties en het bedrijfsleven, een begeleidingsgroep en een procesteam van decentrale overheden.

Bron: M. Gerritsen, projectleider planMER STRONG bij TAUW.

2 Toelichting methodiek

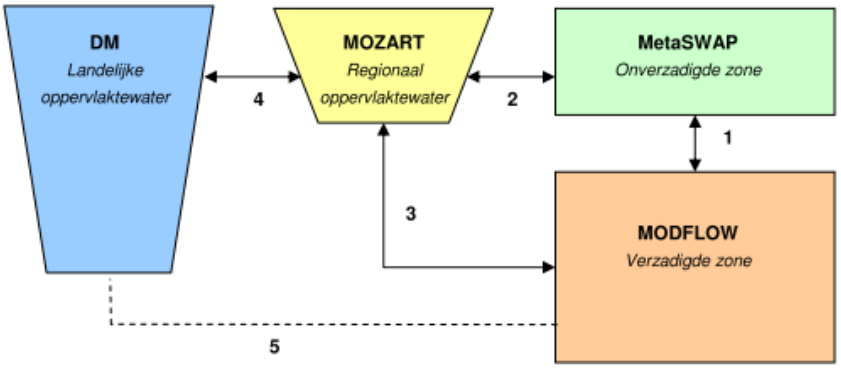
In dit hoofdstuk wordt de methodiek toegelicht die is gebruikt tijdens deze studie. Ten eerste wordt het gebruikte grondwatermodel (NHI) beschreven, alsook de model-parameters waarmee de resultaten worden geëvalueerd. Na een beknopte beschrijving van de mogelijkheden om de effecten van toekomstige onttrekkingen te simuleren, wordt de keuze voor de in dit project gekozen methode toegelicht. Vervolgens wordt de stapsgewijze aanpak van de analyse toegelicht, bestaande uit een globale effectanalyse op basis van stationaire modelberekeningen gevolgd door effectberekeningen op basis van niet-stationaire model-simulaties.

2.1 Grondwatermodel NHI

Voor deze studie is gebruik gemaakt van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), voorheen Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), versie 3.02 (2014). Met dit modelinstrumentarium kunnen grond- en oppervlaktewaterstromingen op landelijke schaal (met uitzondering van Zuid-Limburg) berekend worden om strategische en operationele vragen op landelijke schaal te kunnen beantwoorden[3,4].

2.1.1 Beschrijving modelinstrument

Het LHM bestaat uit vier gekoppelde modellen (Figuur 2.1): iModflow (verzadigde zone; grondwater), MetaSWAP (onverzadigde zone), MOZART (regionaal oppervlaktewater), DM (landelijk oppervlaktewater). In deze studie is het volledig gekoppelde iModflow- MetaSWAP model doorgerekend voor het bepalen van de effecten van grondwateronttrekkingen op het freatisch grondwater. iModflow stuurt grondwaterstanden naar MetaSWAP en MetaSWAP levert een uitwisselingsflux tussen verzadigde zone (grondwater) en onverzadigde zone (grondwateraanvulling dan wel capillaire opstijging). In cellen met beregening uit grondwater kan MetaSWAP ook een onttrekkingsvraag aan iModflow toekennen. Berekeningen en uitwisseling vinden plaats op dagbasis en met gridcellen van 250x250 meter.

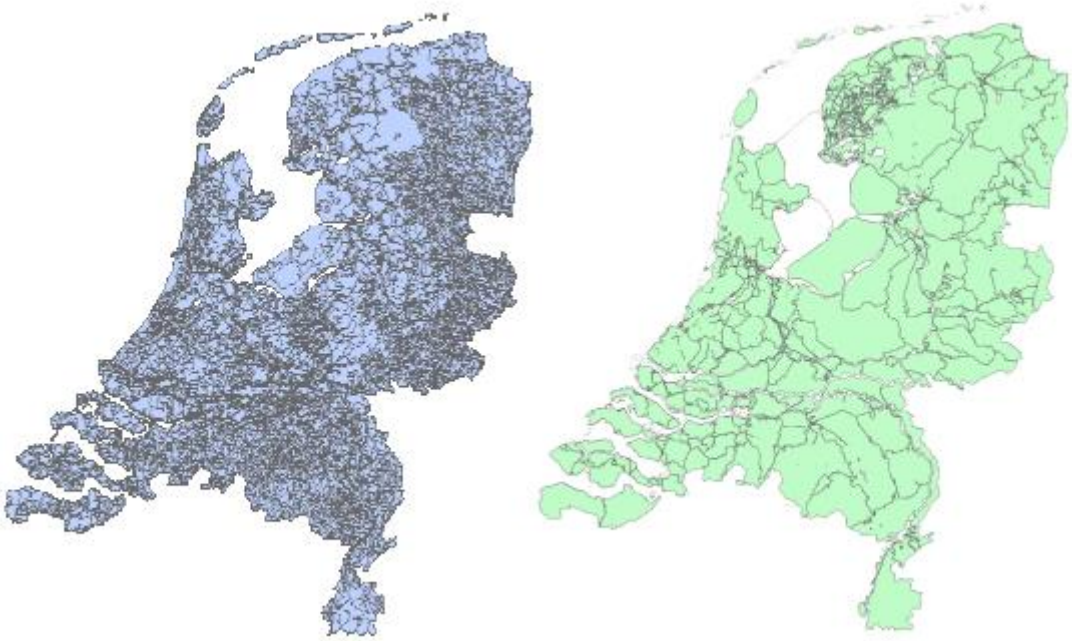


Figuur 2.1 Modelonderdelen van het NHI (Bron: NHI Modelrapportage, Hoofdrapport, 2008).

[3] *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI Modelrapportage, Hoofdrapport, 2008.*

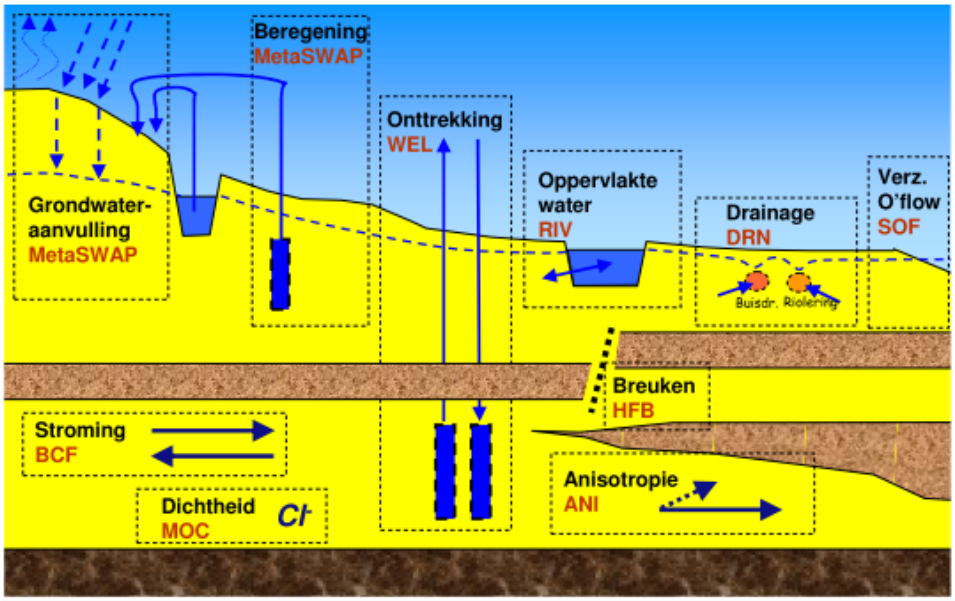
[4] *De Lange, W.J., G.F. Prinsen, J.C. Hoogewoud, A.A. Veldhuizen, J. Verkaik, G.H.P. Oude Essink, P.E.V. van Walsum, J.R. Delsman, J.C. Hunink, H.Th.L. Massop, T. Kroon (2014) An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument. Environmental Modelling & Software 59 (2014) 98e108.*

MODFLOW is inmiddels vervangen door iModflow. Het regionale oppervlaktewatersysteem is geschematiseerd in “Local surface waters” (LSW’s) en districtwateren. Een LSW is een afwateringseenheid waarvoor een waterbalans wordt opgesteld; de LSW’s lozen aan de districtwateren. In Figuur 2.2 zijn de LSW’s en district-wateren weergegeven.



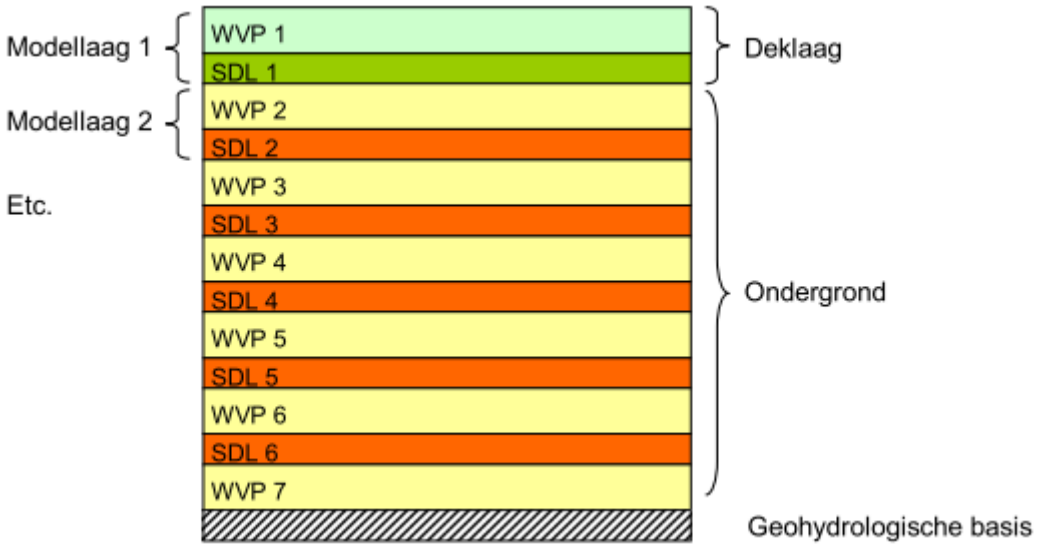
Figuur 2.2 Indeling Nederland in local surface waters (LSW’s; links) en districten (rechts) (Bron: NHI Modelrapportage, Hoofdrapport, 2008)

Binnen de grondwatercomponent van het NHI wordt een aantal iModflow packages gebruikt om de grondwaterstroming te simuleren en de impact van grondwateraanvulling, onttrekkingen en uitwisseling met het oppervlaktewater te berekenen (Figuur 2.3).



Figuur 2.3 Overzicht van MODFLOW packages in NHI (Bron: NHI Modelrapportage, Hoofdrapport, 2008)

De ondergrond van NHI is geschematiseerd in zeven modellagen (Figuur 2.4)[5]: de deklaag, bestaande uit de bovenste watervoerende laag en de daaronder gelegen scheidende laag, zes watervoerende pakketten (WVP), vijf slecht doorlatende lagen (SDL) met daaronder de ondoorlatende geohydrologische basis.



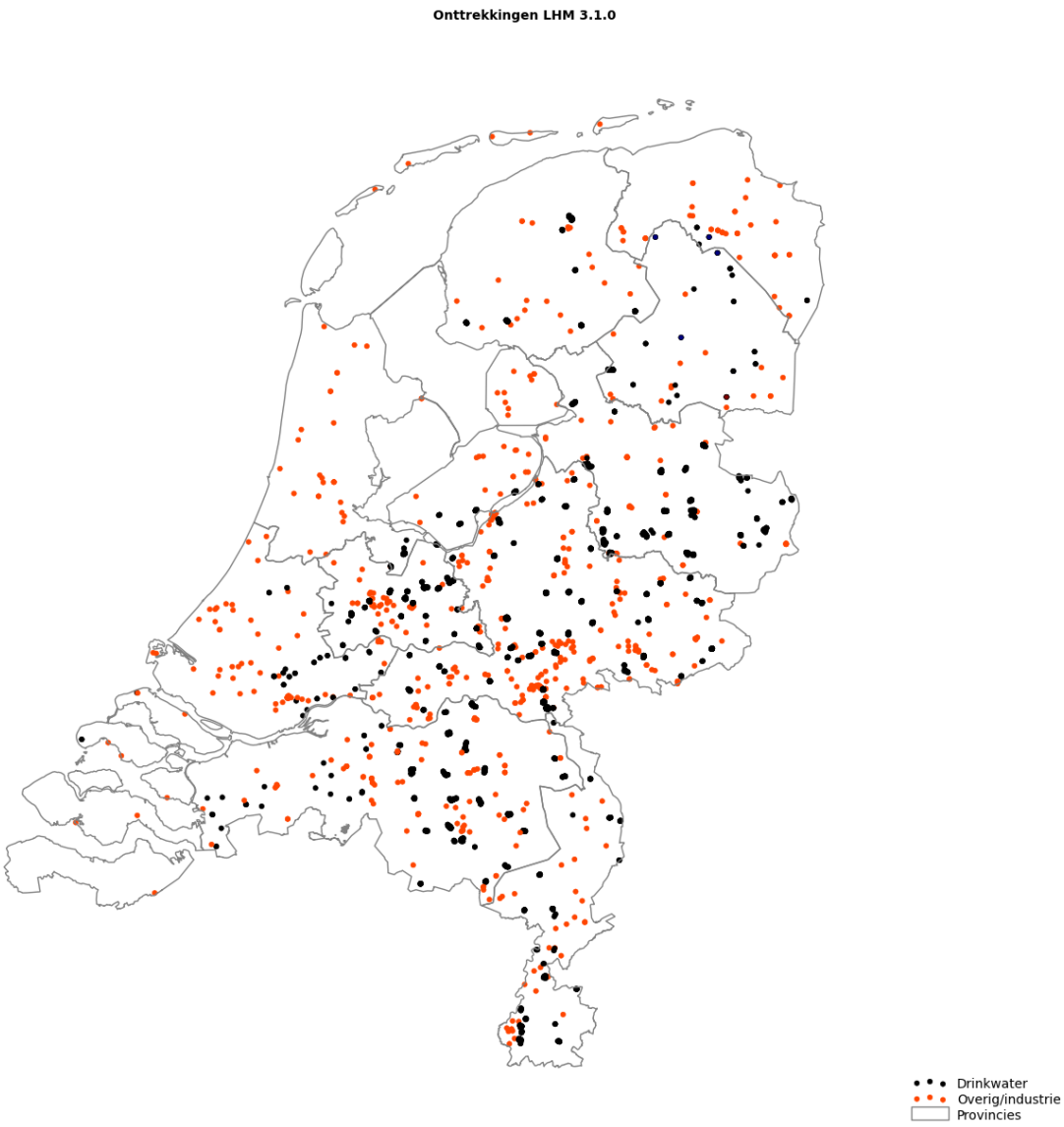
Figuur 2.4 Schematisatie van ondergrond in NHI. WVP = Water Voerend Pakket; SDL = Slecht Doorlatende Laag (Bron: NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2, 2010)

In het NHI worden verschillende soorten onttrekkingen onderscheiden, die in verschillende deelmodellen van het LHM zijn geïmplementeerd. Zowel uit het grondwater als het oppervlaktewater wordt water onttrokken voor drinkwater, industrie en beregening. De grondwateronttrekkingen voor drinkwater en industrie zijn geschematiseerd in iModflow (Figuur 2.5), in eerste instantie op basis van informatie in het landelijk RIZA bestand. In 2008 zijn de grote onttrekkingen in Nederland geïnventariseerd op basis van informatie uit provinciale grondwaterregisters. De afgelopen jaren zijn herhaaldelijk verbeteringen doorgevoerd voor een deel van de onttrekkingen (zie veranderingsrapportage NHI 2.0 en NHI 2.2). In 2012 zijn alle grondwateronttrekkingen in de grondwatermodeldatabank (GMDB) ingevoerd. Bovendien zijn de onttrekkingen voor drinkwater opnieuw geïnventariseerd bij drinkwatermaatschappijen en provincies en toegekend aan LHM 3.0. Dit is vastgelegd in de veranderingsrapportage NHI 3.0. Onder de drinkwateronttrekkingen vallen ook oevergrondwateronttrekkingen. Grondwateronttrekkingen voor beregening zijn in het NHI gebracht via MetaSWAP, dat vervolgens een onttrekkingsvraag aan iModflow toekent. In 2012 is de beregeningskaart voor NHI geactualiseerd. De beregeningskaart is samengesteld op basis van onderzoek van het LEI naar beregening (2003), mei-tellingen, agrosysteem-kennis en aanvullende informatie van regionale waterbeheerders[6].
Een relevante recente aanpassing aan het NHI is de verwijdering van dubbele winningen, conform de nu opgeleverde laatste versie van NHI (versie 3.02). Meer informatie over het NHI is te vinden op www.nhi.nu. De aanpassingen die zijn gedaan ten behoeve van versie 3.02 van het NHI is te vinden in Hoogewoud e.a. (2014 B)[7].

[5] *NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2, 2010.*

[6] *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI Modelrapportage Deelrapport Beregening (2008)*

[7] *Hoogewoud, J., G. Prinsen, J. Hunink, F. van de Bolt, T. Kroon, P. van Walsum, A. Veldhuizen (2014 B) Veranderings-rapportage NHI 3.02; Beschrijving van de veranderingen in NHI 3.02. rapport 1209264-002 © Deltares.*



Figuur 2.5 Overzicht van alle grondwateronttrekkingslocaties voor drinkwater en industrie in NHI

2.1.2 Toepasbaarheid van NHI

Zoals wordt beschreven in de Toetsingsrapportage van NHI 3.0[8], voldoet NHI niet overal aan alle gestelde criteria. Zo worden de GxG's (Gemiddeld Hoogste en Laagste Grondwaterstanden) in delen van het land (sterk) onderschat door het modelinstrumentarium. Echter, uit een toetsing van de toepasbaarheid van NHI voor het Deltaprogramma-Zoetwater[9] is gebleken dat NHI een adequaat instrument is voor het doorrekenen van gevolgen van klimaatscenario's en voor het op hoofdlijnen doorrekenen van gevolgen van maatregelen. De relatieve verschillen tussen maatregelpakketten kunnen, volgens de toetsing van Deltares, goed vergeleken worden. In voorliggende verkenning van de effecten van winning van

[8] *Hoogewoud, J.C., G.F. Prinsen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, F.J.E. van der Bolt, W.J. de Lange, 2013. Toetsingsrapportage van NHI 3.0, Deltares rapport 1206107-000*

[9] *. De Lange en Marchand, 2013. Toepasbaarheid NHI voor het Deltaprogramma Zoetwater. Deltares rapport 1206107-000.*

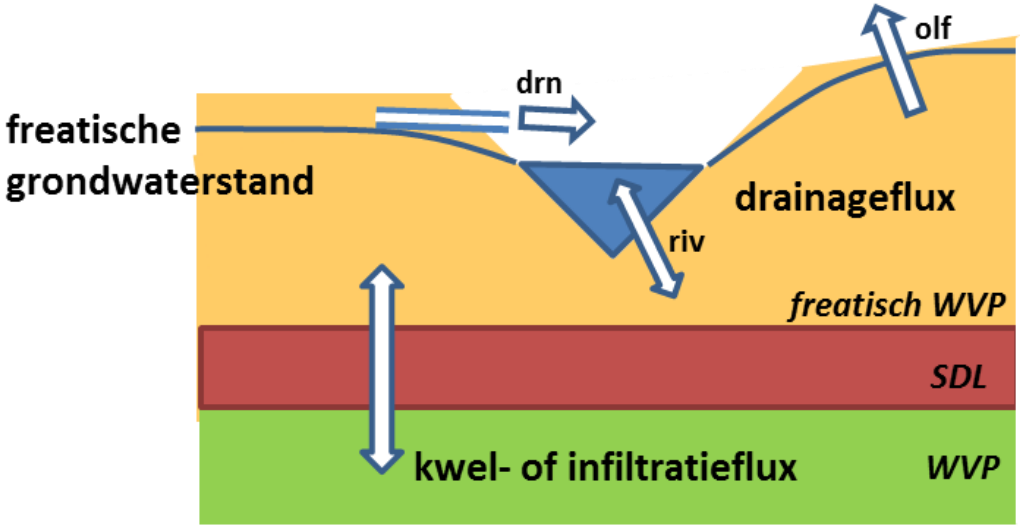
aanvullende strategische drinkwatervoorraden worden, vergelijkbaar met de gevolge methodiek voor het Deltaprogramma-Zoetwater, verschillende maatregelen en klimaatscenario's doorgerekend en zijn de relatieve effecten op landelijke schaal met elkaar vergeleken.

2.2 Relevante modelparameters

De effecten van toekomstige extra grondwaterwinning zijn inzichtelijk gemaakt aan de hand van veranderingen in het freatische grondwater. Hierbij zijn drie modelparameters gebruikt: de freatische grondwaterstand, de kwelflux en de drainageflux (Figuur 2.6). Hieronder volgt een korte toelichting per modelparameter.

Freatische grondwaterstand

Veranderingen van de freatische grondwaterstand hebben effect op grondwaterafhankelijke terrestrische natuur en landbouw. Daarnaast kan een verandering van de freatische grondwaterstand effect hebben op bodemdaling en funderingen. De verandering van de freatische grondwaterstand is in beeld gebracht met stationaire en niet-stationaire modelberekeningen. In het geval van de stationaire berekeningen is dit één waarde per modelcel (want één stationaire tijdstap). Voor de niet-stationaire berekeningen is per gridcel de gemiddeld laagste en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GLG en GHG), berekend op basis van de tijdreeks van modeluitvoer (1998-2006).De uitvoer voor een aanloop periode van twee jaar (1996-1998) wordt niet getoond omdat het grondwatermodel tijdens deze periode nog geen hydrologisch evenwicht heeft bereikt en daardoor nog geen goede weergave geeft van de effecten.



Figuur 2.6 Schematische weergave van de modelparameters freatische grondwaterstand, kwelflux en drainageflux. WVP = watervoerend pakket; SDL = slecht doorlatende laag.

Kwelflux

De modelparameter kwelflux betreft de opwaarts gerichte waterflux (FLF) over de bovenste slecht doorlatende modellaag (SDL1). Verandering van de kwelflux is voornamelijk relevant voor grondwaterafhankelijke en kwelafhankelijke terrestrische natuur. De verandering van de kwelflux is in beeld gebracht met niet-stationaire modelberekeningen. Hiervoor is per LSW de jaargemiddelde flux en de gemiddelde flux gedurende de drie zomermaanden (juni-juli-augustus) berekend. Reden om de kwelflux specifiek voor de zomerperiode in beeld te brengen, is dat deze periode cruciaal is voor de kwelafhankelijke vegetatie.

Wanneer de FLF flux omlaag gericht is, wordt dit wegzijging genoemd. Op de schaal van LSW's is er over het algemeen sprake van een netto kwelflux. De LSW's met netto wegzijging worden in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Drainageflux
De modelparameter drainageflux betreft de waterflux vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater en is een combinatie van de waterflux via de bodem van de waterlopen (RIV), de waterflux via maaiveld bij hoge grondwaterstanden (OLF) en de waterflux via de buisdrainage en greppels (DRN). De snelle afvoer van regenwater dat direct afstroomt over waterverzadigd oppervlak ("hortanian overland flow") is niet meegenomen in deze flux. De drainageflux bepaalt voor een belangrijk deel de watervoerendheid en stroming van waterlopen, vooral tijdens droge perioden. Een verandering van de drainageflux is relevant voor aquatische natuur en voor de landbouw, wanneer gebruik gemaakt wordt van beregening uit oppervlaktewater. De verandering van de drainageflux is in beeld gebracht met niet-stationaire modelberekeningen. Hiervoor is per LSW de jaargemiddelde drainageflux en de gemiddelde drainageflux gedurende de drie zomermaanden (juni-juli-augustus) berekend. Reden om de drainageflux specifiek voor de zomerperiode in beeld te brengen, is dat deze periode cruciaal is voor de aquatische ecologie (voldoende watervoerendheid en stroomsnelheid). Daarnaast is er vanuit de landbouw vooral in deze periode behoefte aan oppervlaktewater voor beregening.

2.3 Aanpak modellering drinkwateropgave

2.3.1 Keuzes in modellering van drinkwateropgave

Bij de start van de studie zijn verschillende methoden overwogen om het effect van de toekomstige drinkwateropgave met het NHI te modelleren. Hieronder worden de methoden die zijn overwogen puntsgewijs toegelicht.

Verdelen drinkwateropgave over huidige winningen
Bij deze methode wordt de extra drinkwateropgave verdeeld over de bestaande grondwater-onttrekkingen. Op deze manier worden onttrekkingskegels berekend en ontstaat een beeld wat het effect is per winning. Dit beeld zal er herkenbaar uitzien, echter het is de vraag of het realistisch is dat alle toekomstige grondwateronttrekking wordt toegekend aan de huidige onttrekkingslocaties. De methode is echter relatief eenvoudig te implementeren in NHI en vergt een beperkte rekentijd.

- *Model invoer:* Voor deze methode moet aan alle huidige winningen een toekomstig onttrekkingsdebiet worden toegekend.
- *Rekentijden:* Per onttrekkingsscenario is maar 1 modelrun nodig.
- *Inspanning:* Deze methodiek vergt een relatief beperkte inspanning zowel qua te maken keuzes als qua aanmaak van modelinvoer.
- *Effect bepaling:* Aangezien het niet realistisch is dat alle toekomstige grondwater-onttrekking wordt toegekend aan de huidige onttrekkingslocaties, hebben de resultaten van deze berekeningen een beperkte waarde.

Reizende winning
Om voor het hele potentiele wingebied in beeld te brengen wat het effect van een nieuwe winning op het grondwatersysteem is kan ook gewerkt worden met de methode "de reizende winning". NHI wordt vele malen doorgerekend met een nieuwe onttrekking op telkens een andere plek. Dit wordt herhaald totdat heel het potentiele wingebied is onderzocht. Deze methode is lastig te implementeren en vergt veel rekentijd. De volgende aspecten zijn meegenomen bij het maken van een keuze voor de aanpak:

- *Model invoer:* Voor deze methode moet voor elke winning bepaald worden waar en op welke diepten de putten aan het model worden toegekend.
- *Rekentijden:* Voor het analyseren van een gebied om de verschillen van de effecten van onttrekking op alle locaties te bepalen, moeten veel modelruns gedraaid worden
- *Inspanning*: De methodiek vergt een relatief grote inspanning zowel qua te maken keuzes, als qua aanmaak van modelinvoer en uitvoeren van modelberekeningen.
- *Effect bepaling:* De plaatsing van de put (in de ruimte als in de diepte) is direct bepalend voor de effecten. Daarnaast kunnen individuele putten in elkaars invloedsgebied zitten. Het is lastig om effecten die putten op elkaar hebben in de effect-bepaling goed mee te nemen.

Diffuse winning van drinkwateropgave
Met deze methode wordt aan het hele potentiele wingebied 1 constante diffuse winning opgelegd. Dus elke modelcel krijgt een kleine onttrekking. Door deze “diffuse” onttrekking ontstaat een vlakdekkend effect op het grondwatersysteem. De effecten van een winning met deze methode zijn niet direct vergelijkbaar met een “echte” winning. Zo zal er geen onttrekkingskegel worden berekend. Het berekende effect zal meer overeenkomen met de effecten op een wat grotere afstand van een winning. Er ontstaat een kaart waarmee effecten van een winning landsdekkend vergeleken kunnen worden. De methode is eenvoudig te implementeren en vergt weinig rekentijd. De volgende aspecten zijn meegenomen bij het maken van een keuze voor de aanpak:

- *Model invoer:* Voor deze methode moet één keer bepaald worden waar en op welke diepten de onttrekking aan het model worden toegekend.
- *Rekentijden:* Per onttrekkingsscenario is maar 1 modelrun nodig.
- *Inspanning:* Deze methodiek vergt een relatief kleine inspanning zowel qua te maken keuzes als qua aanmaak van modelinvoer.
- *Effect bepaling:* De plaatsing van de vlak dekkende onttrekking in de diepte is niet direct bepalend voor de effecten. Deze methode geeft een gemiddeld effect van een onttrekking.

De methode geeft een landsdekkende kaart die bruikbaar is voor regionale vergelijkingen van de effecten van grondwaterwinningen. De resultaten zijn echter minder bruikbaar voor het bepalen van concrete grondwateronttrekkingen op een specifieke locatie en diepte.

2.3.2 Gekozen methodiek: “diffuse winning”

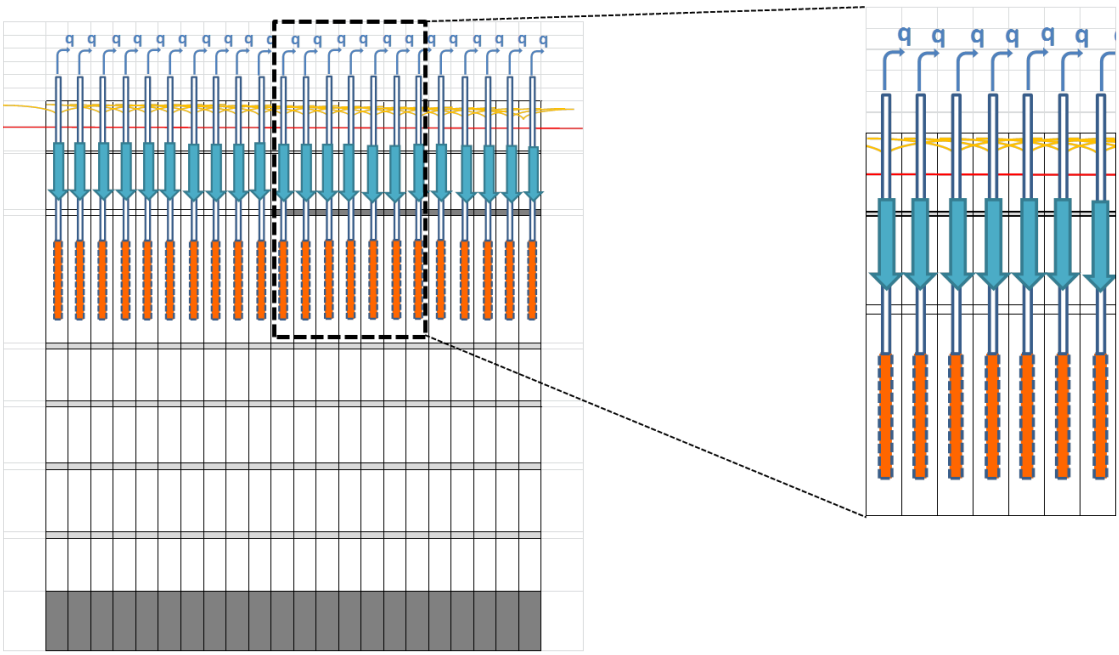
De resultaten van dit project dienen informatie te geven over de te verwachten effecten van de 222,8 milj. m^3/jaar extra onttrekking op het freatische grondwater, om op landelijk niveau afwegingen te maken bij het verdelen van de onttrekkingen. Er is daarom gekozen om te werken met de methode van “diffuse winning van drinkwateropgave”. Naast deze methode is zowel voor met stationaire als niet-stationaire modelberekeningen ook een beeld gegeven van de effecten op het freatische grondwater, als de extra onttrekking over de huidige winlocaties verdeeld zou worden. Hieronder volgt een toelichting op de methode “diffuse winning”.

De “diffuse winning” is toegekend aan modellaag 3 van het NHI. De keuze voor het aanbrengen van de diffuse winning in deze modellaag is van praktische aard. De diepte van de “diffuse winning” en de aanwezigheid van slechtdoorlatende lagen heeft namelijk geen invloed op de mate van het effect van de winning op het ondiepe grondwater. Het aangetrokken water kan in het geval van een gelijkmatige, vlakdekkende “diffuse winning” alleen uit het bovenliggende, ondiepe grondwater, worden aangetrokken (Figuur 2.7 en Figuur 2.8). Dit in tegenstelling tot een lokale winning, waarbij het water ook vanuit het omringende gebied wordt aangetrokken. In dit geval kan de aanwezigheid van slecht

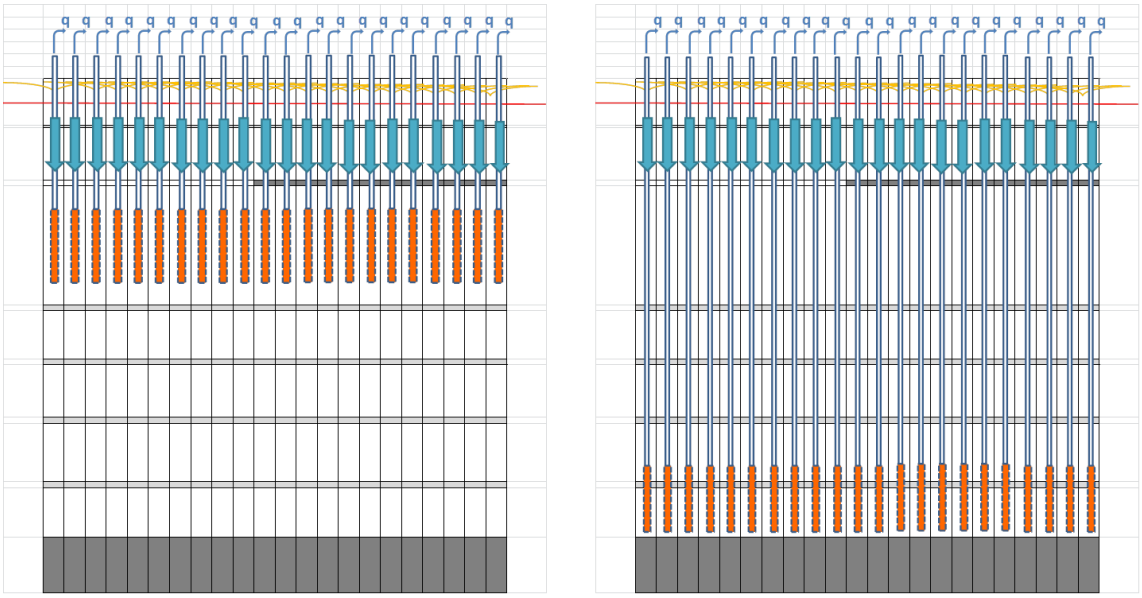
doorlatende lagen een (sterk) effect hebben op de mate van invloed en het gebied waarover het effect optreedt (Figuur 2.9).

Verschillen in het effect van winningen zoals in beeld gebracht met de methode “diffuse winning” worden veroorzaakt door verschillen in het topsysteem (karakteristieken van de ondiepe ondergrond en landgebruik). Belangrijk daarbij zijn de porositeit van de bodem en ondiepe ondergrond en de mate waarin het grondwater wordt “gestuurd” door drainage en wateraanvoer in het oppervlaktewatersysteem. Ook de mate waarin de grondwaterstand de grondwateraanvulling beïnvloedt, kan afnemen als gevolg van de verlaagde freatische grondwaterstand bij extra winningen (verdampings-reductie). Dit feedback effect treedt met name op in gebieden met (initieel) hoge grondwaterstanden en zorgt ervoor dat de daling van de grondwaterstand lager wordt gereduceerd als gevolg van een afname van de verdamping. In gebieden met een dikke onverzadigde zone treedt dit effect niet op.

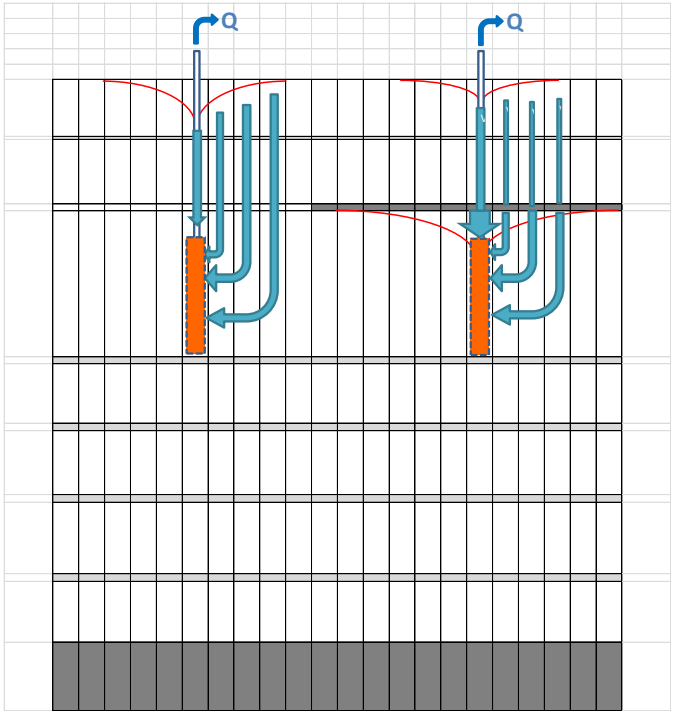
Sterke overgangen in de ondergrond kunnen een kleine invloed hebben op de gemodelleerde effecten van de “diffuse winning” op het freatische grondwater. Het gaat daarbij om overgangen van veel naar weinig weerstandbiedende lagen in de ondergrond en de grenzen van het gebied met “diffuse winning” naar gebied zonder “diffuse winning”. Deze invloed is alleen merkbaar in de modelcellen die direct naast de rand van een sterke overgang liggen en zijn beperkt ten opzichte van de invloed van ondiepe parameters. In 5.2.2A wordt een korte toelichting gegeven op de aanwezigheid van weerstandsbiedende lagen in NHI.



Figuur 2.7 Schematische weergave van de methode “diffuse winning” in modellaag 3 (links) en uitvergroting (rechts). In oranje de gesimuleerde onttrekkingsfilters; blauwe peilen tonen de grondwaterstroming als gevolg van de onttrekking, gele lijnen zijn de onttrekkingskegels per grondwaterwinning, rode lijn is de totale onttrekking als gevolg van de “diffuse onttrekking”. In deze schematische weergave is uitgegaan van een uniforme ondiepe, freatische aquifer. Wel is een weerstandsbiedende laag aanwezig in een deel van het gebied tussen de tweede en derde modellaag.



Figuur 2.8 Schematische weergave van de methode "diffuse winning" in modellaag 3 (links) en in modellaag 7 (rechts). In oranje de gesimuleerde onttrekkingsfilters; blauwe peilen tonen de grondwaterstroming als gevolg van de onttrekking, gele lijnen zijn de onttrekkingskegels per grondwaterwinning, rode lijn is de totale onttrekking als gevolg van de "diffuse onttrekking". In deze schematische weergave is uitgegaan van een uniforme ondiepe, freatische aquifer. Wel is een weerstandsbiedende laag aanwezig in een deel van het gebied tussen de tweede en derde modellaag.



Figuur 2.9 Schematische weergave van de methode waarbij het effect van lokale winningen wordt gemodelleerd: winning boven weerstandbiedende laag (links) en winning onder weerstandbiedende laag (rechts). In oranje de gesimuleerde onttrekkingsfilters; blauwe peilen tonen de grondwaterstroming als gevolg van de onttrekking, rode lijnen zijn de onttrekkingskegels als gevolg van de grondwaterwinningen in de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van het grondwater onder de slechtdoorlatende laag. In deze schematische weergave is uitgegaan van een uniforme ondiepe, freatische aquifer.

2.3.3 Modelgebied

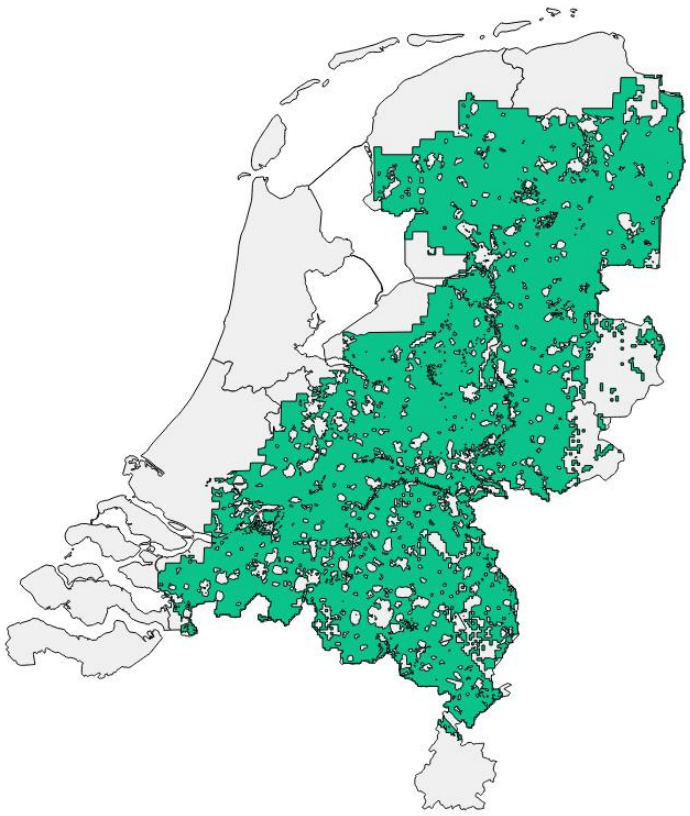
De kaart van RIVM met kansrijke gebieden voor drinkwaterwinning uit grondwater (bron: RIVM Rapport 2015-0068) is opgesteld op basis van een aantal criteria:

- Winbaar grondwater aanwezig (eis: doorlaatvermogen (kD) van meer dan 500 m2/dag);
- Aanwezigheid van zoet (of brak) grondwater (eis: chloride concentratie lager dan 1000 mg/L);
- Geen antropogene verontreinigingen (eis: grondwater ouder dan 60 jaar, behalve in natuurgebieden);
- Niet in bebouwd gebied en geen invloed op andere winningen of WKO (eis: niet in bebouwd gebied, niet in bestaande grondwaterbeschermingsgebieden.

Daarnaast is ook rekening gehouden met de door provincies aangewezen gebieden die zij naar de toekomst toe strategisch belangrijk vinden voor de openbare drinkwatervoorziening. De status van deze gebieden verschilt. In Flevoland, Limburg en Overijssel betreft het milieubeschermingsgebieden, namelijk boringsvrije zones, met daarbinnen ook al enkele bestaande drinkwaterwinningen. In de overige provincies zijn de gebieden vastgelegd in provinciale plannen zoals omgevingsplan of waterplan. De provincie Noord-Brabant heeft bijvoorbeeld in het Provinciale Waterplan vastgelegd dat al het grondwater dieper dan tachtig meter wordt gereserveerd voor hoogwaardige toepassing (drinkwatervoorziening en industriële toepassing voor menselijke consumptie). Dit betreft vrijwel de gehele provincie.

De kaart van RIVM met kansrijke gebieden voor drinkwaterwinning uit grondwater is door Tauw bewerkt. Hierbij is het potentieel wingebied verder beperkt door het uitsluiten van gebieden met grondwaterafhankelijke terrestrische natuur (N2000)[10], stedelijk gebied en de huidige winningen en hun beschermingsgebied. In overleg met het Ministerie van IenM en TAUW zijn ook de kleinere grondwatervoorraden in Noord- en Zuid Holland uitgesloten van het gebied dat in deze studie wordt geanalyseerd. In deze studie zijn, in overleg met TAUW, gebieden met grondwaterpakketten van minder dan 25 meter dikte wel opgenomen als potentiele grondwatervoorraden. Het resultaat is een potentieel grondwaterwingebied met een oppervlak van circa 18 000 km^2, zoals afgebeeld in Figuur 2.10.

[10] *Als bron voor deze N2000 gebieden is de kaart "Terrestrische natuur" van de Atlas Natuurlijk Kapitaal gebruikt.*



Figuur 2.10 *Het gebied met zoete grondwatervoorraden (in groen) op basis van het RIVM rapport uit 2015 en uitgesneden stedelijke gebieden, grondwaterafhankelijke natuur (Natura 2000), en beschermingsgebieden van bestaande grondwaterwinningen.*

2.4 Effectberekeningen

In deze studie zijn de effecten van extra toekomstige onttrekkingen en klimaatveranderingen op grondwaterstand, kwelflux en drainageflux in beeld gebracht. Veranderingen in deze aspecten van het grondwatersysteem hebben gevolgen voor gebruiksfuncties van het land (zie ook paragraaf 2.2). De studie is, in overleg met TAUW en het Ministerie van IenM, uitgevoerd in twee stappen. Gestart is met een globale analyse op landelijke schaal van het effect van extra winningen op de grondwaterstand met de methode “diffuse winningen”. Op basis hiervan zijn onttrekkings- en klimaatscenario’s gedefinieerd. In de volgende stap zijn de effecten van onttrekkings- en klimaatscenario’s op landelijke schaal doorgerekend met de methode “diffuse winningen”. Daarnaast zijn twee planMER scenario’s opgenomen met een ruimtelijke afbakening van de “diffuse winning”. Deze ruimtelijke afbakening vormt geen onderdeel van dit project, maar is gebaseerd op de afwegingen in het planMER proces.

Om gevoel te krijgen voor de reactie van het grondwatersysteem op de onttrekkings-hoeveelheden met de methode “diffuse winning” is tijdens de eerste fase van dit project een globale effectanalyse gedaan op basis van stationaire modelberekeningen. Op basis van de resultaten van deze analyse, uitgevoerd met de (relatief snelle) stationaire modelberekeningen, is afgeleid welke onttrekkingshoeveelheden realistisch zijn wanneer de methode “diffuse winning” wordt toegepast. Dit is gedaan door de methode "diffuse winning" uit te voeren met verschillende onttrekkingshoeveelheden (100, 200, 300, 450, 600, 900 en

1800 miljoen m3/jaar). Dat geeft een beeld van de effecten van deze diffuse onttrekkingen op de grondwaterstand. Welke hoeveelheden realistisch zijn is beoordeeld na vergelijking met de effecten van het ophogen van debieten van huidige winningen met 222,8 miljoen m^3-jaar en door na te gaan in welke mate niet-lineaire effecten tot uiting komen in de verlaging van de grondwaterstand.

Echter, stationaire modelberekeningen representeren in het geval van de Nederlandse situatie het einde van de winter / begin van het voorjaar. Hoe een zomerperiode effectief te benaderen is met een stationair model, is niet bekend. In de zomerperiode is de grondwateraanvulling veel kleiner dan in de winter en in sommige jaren is de grondwater-aanvulling in de zomer zelfs negatief (meer verdamping dan neerslag). Naarmate de zomer vordert kunnen de effecten van onttrekkingen op het grondwater daardoor groter blijken te zijn dan berekend met een stationair model. Voor de effectenrekeningen in de tweede fase van dit project zijn daarom niet-stationaire modelberekeningen uitgevoerd.

2.4.1 Globale effectanalyse (stationaire modelberekeningen)

Hieronder worden de verschillende stationaire modelberekeningen beschreven die zijn uitgevoerd. Een overzicht van alle scenario's wordt gegeven in Tabel 2.1. In deze tabel zijn de diffuse onttrekkingsdebieten

Referentiescenario
Voor dit scenario wordt de huidige situatie zonder extra grondwateronttrekkingen doorgerekend. Onder "huidige situatie" wordt de referentieperiode 1996-2006 verstaan. Voor de grondwateraanvulling wordt het gemiddelde over de periode genomen.

Effect huidige winningen
Om de effecten van de huidige drinkwaterwinningen op het freatische grondwater in beeld te brengen is voor dit scenario het onttrekkingsdebiet van de huidige grondwaterwinlocaties verlaagd tot 0 m^3/jaar. Er zijn geen nieuwe locaties voor grondwateronttrekkingen toegevoegd. Grondwateronttrekkingen voor beregening zijn niet verwijderd.

Toename huidige winningen
Voor dit scenario wordt de drinkwateropgave voor het grondwater van 222.8 milj. m^3/jaar verdeeld over de huidige winningen, waarvan 23.3 milj. m^3/jaar over oevergrondwater-winningen. Op de huidige grondwaterwinlocaties is een extra onttrekking toegepast, waarbij de verdeling van de totale extra onttrekking over de winlocaties is gedaan naar rato van de huidige verdeling tussen de onttrekkingen over de verschillende waterwinbedrijven. Grondwateronttrekkingen voor beregening zijn niet verwijderd. Een overzicht van de huidige grondwaterwinningen en de winningen in het scenario is gegeven in Tabel 2.2.

Scenario's "diffuse winning"
Om gevoel te krijgen voor de reactie van het grondwatersysteem op de onttrekkingshoeveel-heden met de methode "diffuse winning", zijn verschillende modelscenario's opgesteld van 100 milj. m^3/jaar tot 1800 milj. m^3/jaar. Deze brede range aan onttrekkingsdebieten is gekozen omdat aan de start van het project beperkt inzicht bestond in de uitwerking van de methode "diffuse winning". In deze scenario's is de extra onttrekking homogeen verdeeld over het oppervlak van Nederland waar grondwatervoorraden beschikbaar zijn (Figuur 2.10). In deze scenario's is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

In veel gebieden reageert het freatische grondwater niet-lineair op een toenemende grondwateronttrekking als gevolg van het droogvallen van waterlopen bij voortschrijdende daling van de freatische grondwaterstand. Deze niet-lineairiteit is aan de hand van de zeven scenario's met "diffuse winning" inzichtelijk gemaakt. Dit is gedaan door de grondwaterstandverlaging te schalen naar de verlaging bij het scenario "diffuse winning 100 mil. m^3/jaar". In dit scenario zijn de grondwateronttrekkingen te laag om droogval van waterlopen te veroorzaken; er treden dus geen niet-lineaire effecten op. Deze eigenschap maakt dit scenario geschikt als referentie voor schaling.

Scenario's verminderde grondwateraanvulling
Er zijn drie scenario's waarbij een "diffuse winning" van 900 milj. m^3/jaar gecombineerd is met een verlaagde grondwateraanvulling. De grondwateraanvulling is ten opzichte van de referentieperiode voor alle modelcellen verlaagd met respectievelijk 50, 100 en 150 mm/jaar. In deze scenario's is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

Tabel 2.1 Scenario's stationaire modelberekeningen met NHI t.b.v. globale effectanalyse.

Scenario	extra onttrekking (milj. m^3/jaar)	Grondwateraanvulling (mm/jaar)	Naamgeving in figuren
Referentie	0	(1996-2006)	ref
Effect huidige winningen	-750	(1996-2006)	no_wells
Verhogen huidige winningen	222.8	(1996-2006)	ref-wellfactor
Diffuse winning	100	(1996-2006)	100m
	200	(1996-2006)	200m
	300	(1996-2006)	300m
	450	(1996-2006)	450m
	600	(1996-2006)	600m
	900	**(1996-2006)**	**900m**
	1800	(1996-2006)	1800m
Diffuse winning en verlaging grondwater-aanvulling	900	(1996-2006) - 50 mm/jaar	900m-50mm
	900	(1996-2006) - 100 mm/jaar	900m-100mm
	900	(1996-2006) - 150 mm/jaar	900m-150mm

Tabel 2.2 Verdeling van extra watervraag over huidige winningen

Waterwin-bedrijf	**extra opgave: opp. water en grondwater**	**extra opgave gr. waterwinning (incl. oeverwinning)**	**Gr.w.winingen in NHI 3.1.0 (ref. situatie)**	**factor in NHI**	**Gr.w.winning in scenario**
	(milj. m^3/jaar)	(milj. m^3/jaar)	(milj. m^3/jaar)	--	(milj. m^3/jaar)
Brabant Water	55.4	55.4	184	1.30	239.4
Dunea	24.5	0.0	0	0.00	0.0
Evides	24.5	2.1	25	1.08	27.1
Oasen	16.8	16.8	45	1.37	61.8
PWN	16.1	2.4	5	1.49	7.4
Vitens	112.5	112.5	347	1.32	459.5
Waternet	14.1	0.0	0	0.00	0.0
WBG	12.2	10.9	39	1.28	49.9
WMD	3.5	3.5	33	1.11	36.5
WML	19.2	19.2	71	1.27	90.2
Totaal	**298.8**	**222.8**	**749.0**	**--**	**971.8**

2.4.2 Onttrekkings- en klimaatscenario's (niet-stationaire modelberekeningen)

Om de effecten van toekomstige extra grondwateronttrekkingen in beeld te brengen voor STRONG scenario's (verschillende uitsneden van Nederland) en een veranderend klimaat, zijn vier niet-stationaire modelscenario's doorgerekend over de periode 1996-2006. De effecten op freatische grondwaterstand, kwelflux en drainageflux zijn berekent over de periode 1998-2006. Voorafgaand aan het doorrekenen van de STRONG scenario's is een vergelijking gemaakt van de effecten van de extra grondwateronttrekkingen berekend met de stationaire en niet-stationaire methode. Alle modelscenario's worden hieronder kort toegelicht en samengevat in Tabel 2.3.

Referentiescenario

Voor dit scenario wordt de huidige situatie zonder extra grondwateronttrekkingen doorgerekend. Onder "huidige situatie" wordt de referentieperiode 1996-2006 verstaan.

Toename huidige winningen

Voor dit scenario wordt de drinkwateropgave voor het grondwater van 222.8 milj. m^3/jaar verdeeld over de huidige winningen, waarvan 23.3 milj. m^3/jaar over oevergrondwater-winningen. Op de huidige grondwaterwinlocaties is een extra onttrekking toegepast, waarbij de verdeling van de totale extra onttrekking over de winlocaties is gedaan naar rato van de huidige verdeling tussen de onttrekkingen over de verschillende waterwinbedrijven. Grondwateronttrekkingen voor beregening zijn niet verwijderd. Een overzicht van de huidige grondwaterwinningen en de winningen in het scenario is gegeven in Tabel 2.2.

Scenario's "diffuse winning" over alle grondwatervoorraden

Er zijn twee scenario's met de methode "diffuse winning" doorgerekend over het gehele gebied waarover grondwatervoorraden beschikbaar zijn (zoals bij de stationaire berekeningen). Het eerste scenario betreft een extra grondwateronttrekking van 900 milj. m^3/jaar. Het tweede scenario betreft een extra grondwateronttrekking van 1800 milj. m^3/jaar. In deze scenario's is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

STRONG scenario "Drinkwater voorop"
In dit scenario is gerekend met de methode "diffuse winning" van 900 milj. m^3/jaar extra grondwateronttrekking. De onttrekking is homogeen verdeeld over het oppervlak van Nederland waar grondwatervoorraden beschikbaar zijn en waar het STRONG scenario "Drinkwater voorop" drinkwaterwinning toelaat (4160 km^2; Figuur 2.11). In dit STRONG scenario is, van de vier STRONG scenario's, de hoogste prioriteit gegeven aan de functie drinkwater. Omdat het gebied van "diffuse winning" in dit scenario kleiner is dan het totale gebied met potentieel winbaar grondwater, is in overleg met TAUW en IenM de totale onttrekking naar bedeneden bijgesteld tot 300 milj. m^3/jaar. In dit scenario is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

STRONG scenario "Handel in gas"
In dit scenario is gerekend met de methode "diffuse winning" van 900 milj. m^3/jaar extra grondwateronttrekking. De onttrekking is homogeen verdeeld over het oppervlak van Nederland waar grondwatervoorraden beschikbaar zijn en waar het STRONG scenario "Handel in gas" drinkwaterwinning toelaat (3760 km^2; Figuur 2.11). In dit STRONG scenario is, van de vier STRONG scenario's, de laagste prioriteit gegeven aan de functie drinkwater. Omdat het gebied van "diffuse winning" in dit scenario kleiner is dan het totale gebied met potentieel winbaar grondwater, is in overleg met TAUW en IenM de totale onttrekking naar bedeneden bijgesteld tot 300 milj. m^3/jaar. In dit scenario is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

Klimaatscenario
Met dit scenario is een "diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar" over alle grondwatervoorraden gecombineerd met een veranderd klimaat (KNMI'14 W_H) voor de periode rond 2050 (2035-2065). In dit klimaatscenario stijgt de temperatuur relatief veel en zijn er relatief veel droge zomers vergeleken met de andere KNMI'14 klimaatscenario's[11]. Er is voor het W_H scenario gekozen, omdat dit warme en droge scenario de verdrogende effecten van de extra grondwateronttrekkingen mogelijk kan versterken. Bij dit scenario is gekozen voor een "diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar", omdat onder het WH klimaat mogelijkerwijs een toename van waterbehoefte ontstaat vanwege de hogere temperaturen en vergrootte potentiële verdamping. Ook in dit scenario is grondwateronttrekking in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en stedelijk gebied uitgesloten.

Om de effecten van klimaatverandering en extra onttrekking te kunnen onderscheiden, is ook een modelscenario doorgerekend waarbij wel klimaatverandering optreedt (KNMI'14 W_H), maar geen extra onttrekking. In het klimaatscenario zijn de volgende randvoorwaarden van het NHI aangepast op basis van de KNMI klimaatprojectie voor W_H rond 2050: neerslag en verdamping, peilen van grote rivieren, zeespiegel stijging, afvoeren uit het buitenland.

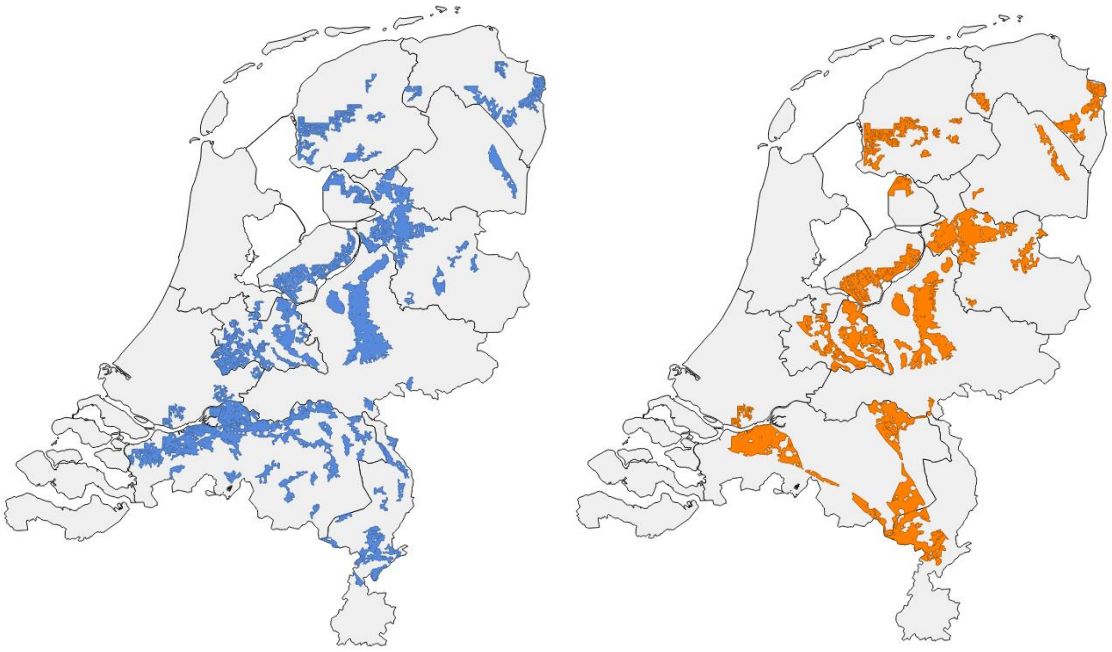
[11] *KNMI website: www.klimaatscenarios.nl/scenarios_samengevat/*

Tabel 2.3 Scenario's niet-stationaire modelberekeningen met NHI t.b.v. effectberekeningen.

Scenario	Extra onttrekking	Onttrekkingsgebied		Grondwater-aanvulling	Naamgeving in figuren
	(milj. m^3/jaar)	beschrijving	(km^2)	(mm/jaar)	
Referentie	0	--	--	1996-2006	ref
Toename huidige winningen	222.8	op huidige winlocaties; verdeeld naar rato van huidig onttrekkingsdebiet *(vergelijking met stationaire berekeningen)*	--	1996-2006	Wel_fact / D_refwl
Diffuse winning	900	diffuus over alle grondwatervoorraden (*vergelijking met stationaire berekeningen)*	18 000	1996-2006	900m
	1800			1996-2006	1800m
Diffuse winning "Drinkwater voorop"	300	diffuus over grondwatervoorraden binnen STRONG wingebied "Drinkwater voorop"	4 160	1996-2006	Drinkwater _voorop / d_900MDR
Diffuse winning "Handel in gas"	300	diffuus over grondwatervoorraden binnen STRONG wingebied "Handel in gas"	3 760	1996-2006	Handel in gas / D_900MHA
Diffuse winning & klimaat-scenario	0	--	--	rond 2050 (2035-2065)	WH
	1800	diffuus over alle grondwatervoorraden	18 000	rond 2050 (2035-2065)	1800_WH

Bij het analyseren van de resultaten van de niet-stationaire modelberekeningen is gekeken naar de effecten van extra grondwateronttrekkingen en klimaatverandering op de freatische grondwaterstand (GHG en GLG), de kwelflux en de drainageflux. Ten eerste is in beeld gebracht wat de effecten zijn van de extra onttrekking bij het verdelen van de extra grondwateronttrekking over de huidige winningen. Vervolgens zijn de effecten van de "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar" over het volledige gebied met grondwatervoorraden in beeld gebracht. Deze resultaten (effect GHG en GLG) zijn ook vergeleken met de stationair berekende effecten. Dit om een inschatting te kunnen maken van de waarde van de stationaire berekeningen. Vervolgens zijn de effecten van de STRONG scenario's en het klimaat-scenario in beeld gebracht.

In deze studie is geen diepgravende en gedetailleerde analyse van de resultaten voorzien en uitgevoerd. De resultaten van de effectberekeningen worden, in opdracht van IenM, door TAUW gebruikt bij het uitwerken van de vier STRONG scenario's (zie kader op pagina 5). Hierbij kunnen de in deze studie berekende effecten van extra onttrekkingen en klimaatverandering niet in absolute zin gebruikt worden, maar zijn wel nuttig bij het signaleren van de mate van effecten (klein, middelmatig, groot) en verschillen tussen gebieden. Op basis hiervan kan een eerste afweging worden gemaakt op landelijke schaal het selecteren van zoekgebieden voor toekomstige extra grondwateronttrekkingen voor drinkwater.



Figuur 2.11 *Gebieden waaruit grondwater wordt onttrokken in STRONG scenario's "Drinkwater voorop" (links) en "Handel in gas" (rechts). De selectie van deze gebieden is geen onderdeel van deze studie, maar heeft plaatsgevonden als onderdeel van het planMER STRONG.*

2.4.3 Compenserende maatregelen

Door waterbeheerders worden in de praktijk compenserende maatregelen genomen in het geval van droogte, zoals waterinlaat en beregeningsverboden. In deze studie is geen rekening gehouden met deze compenserende maatregelen. Het doel van deze studie is het tonen van de effecten van een toename van grondwaterwinningen en klimaatverandering, onafhankelijk van regionale of lokale beheer- en beleidsmaatregelen. Op deze manier wordt inzichtelijk gemaakt in welke gebieden wel en in welke gebieden geen compenserende maatregelen nodig zijn bij een toename van grondwaterwinningen en/of klimaatverandering.

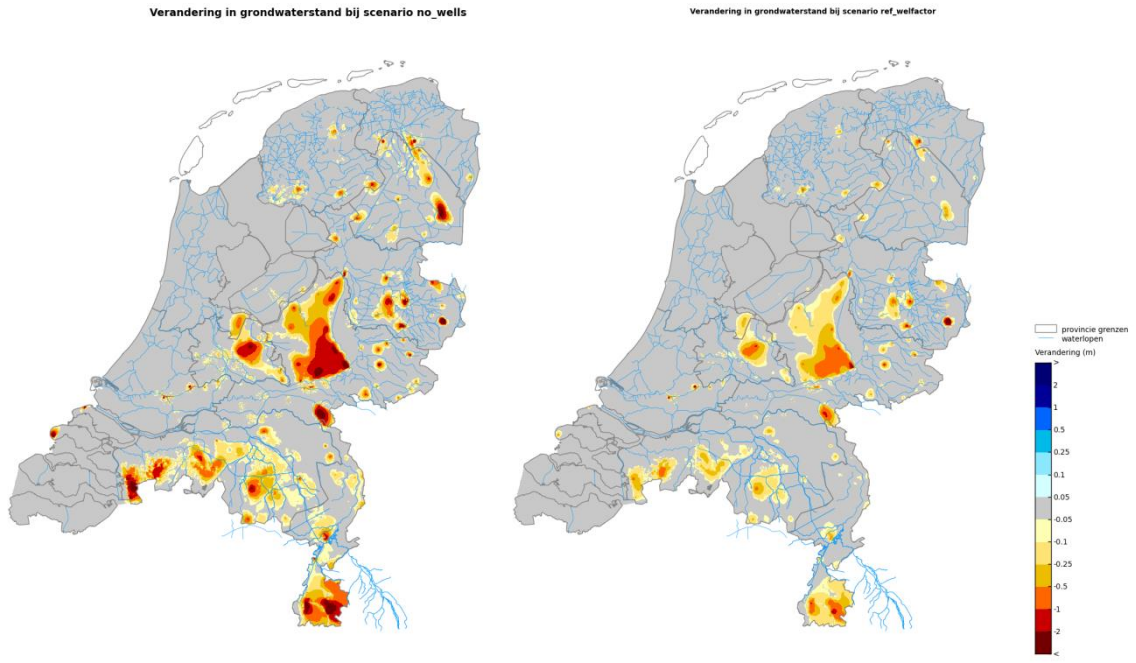
3 Resultaten globale effectanalyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de globale effectanalyse met stationaire modelberekeningen, en wel als verschilkaarten ten opzichte van de referentie-situatie (periode 1996-2006). Alle kaarten zijn op A4 formaat afgebeeld in Bijlage B.

3.1 Effect verhogen debiet op huidige grondwaterwinlocaties

Figuur 3.1 toont de veranderingen in freatische grondwaterstand van de scenario's "Effect huidige winningen" en "Verhogen huidige winningen". Voor het scenario "Effect huidige winningen" is de verlaging van de grondwaterstand in de huidige situatie ten opzichte van een situatie zonder drinkwaterwinningen weergegeven. Bij het verhogen van het onttrekkings-debiet bij de huidige winningen wordt een extra verlaging van de freatische grondwaterstand berekend die lokaal kan oplopen tot meer dan 2 meter (gemiddeld voor een modelcel) vlakbij grote winningen. Dit is een significante extra verlaging ten opzichte de verlaging als gevolg van de huidige onttrekkingen.

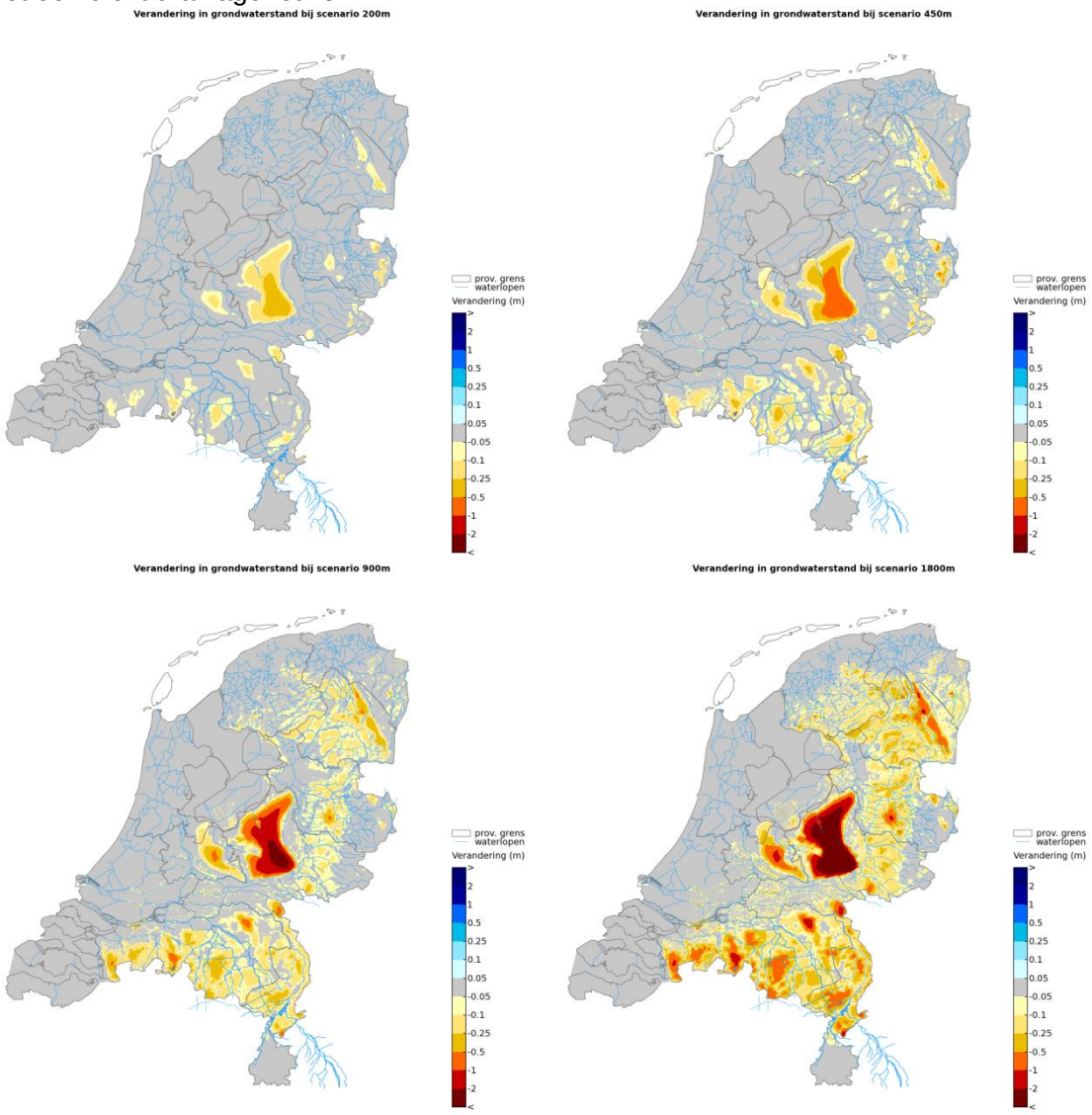
Zowel in de effecten van de huidige winningen ten opzichte van een situatie zonder winningen als in de effecten van het ophogen van winningen is zichtbaar dat niet elke winning dezelfde impact heeft op de freatische grondwaterstand. Dit ligt voor een groot deel aan verschillen in het onttrekkingsdebiet. Er zijn echter ook verschillen te zien als gevolg van het hydrologisch systeem: op de Veluwe veroorzaakt een winning grondwaterstandsverlagingen in een groot gebied, terwijl winningen in het rivierengebied de grondwaterstand in een relatief beperkt gebied beïnvloeden. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de dichtheid van het drainagenetwerk (waterlopen) in het gebied; een hoge dichtheid aan oppervlakte-waterlichamen dempt de invloed van een winning op de grondwaterstand door aanvulling vanuit het oppervlaktewater.



Figuur 3.1 Verlaging van de freatische grondwaterstand (m) voor de scenario's "Effect huidige winningen" (links) en "Verhogen huidige winningen" (rechts).

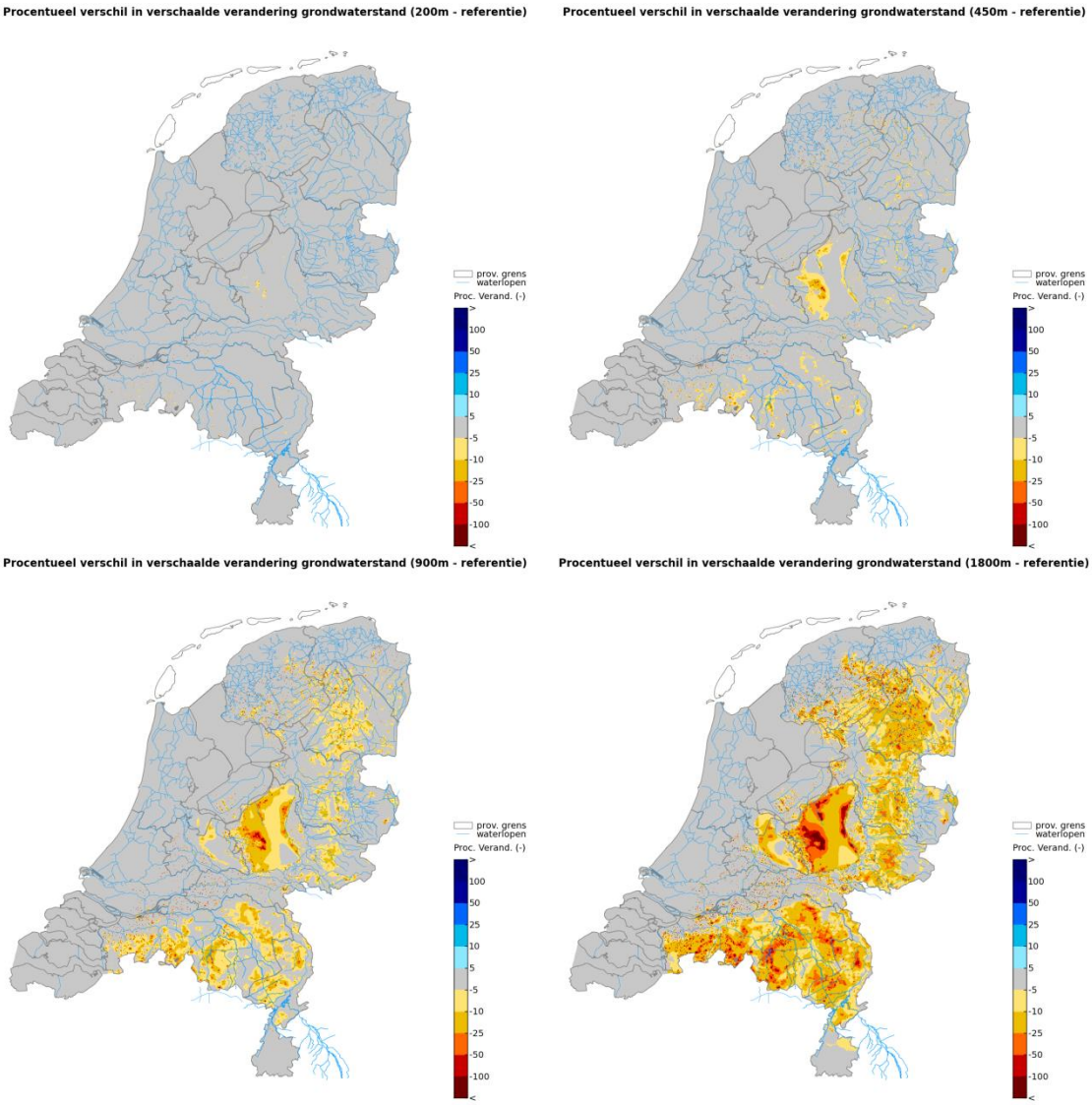
3.2 Effect verhogen debiet met “diffuse winning”

Figuur 3.2 toont de berekende effecten op de freatische grondwaterstand van vier van de zeven stationaire modelberekeningen met de methode “diffuse winning”. Een volledig overzicht van de resultaten van de scenario’s met “diffuse winning” is te vinden in Bijlage B.2. Zoals te verwachten worden de effecten op de freatische grondwaterstand steeds groter naar mate er meer grondwater onttrokken wordt: de freatische grondwaterstand wordt verder verlaagd en het gebied waar effect optreedt, breidt zich uit van de gebieden met hoge zandgronden (o.a. Veluwe, Hondsrug, Utrechtse Heuvelrug, stuwwallen in Twente en delen van Brabant en Limburg) naar de daaromheen gelegen gebieden. De verschillen tussen de effecten op bijvoorbeeld de Veluwe en het rivierengebied zijn ook duidelijk zichtbaar. Het effect van onttrekkingen op de grondwaterstand weerspiegelt het hydrologische systeem: in gebieden met weinig waterlopen is het effect van de onttrekkingen sterker dan in gebieden met een dicht drainagenetwerk.



Figuur 3.2 Berekende verandering in grondwaterstand voor vier scenario’s “diffuse winning” met oplopende onttrekkingshoeveelheid: 200 milj. m^3/jaar (linksboven); 450 milj. m^3/jaar (rechtsboven); totaal 900 milj. m^3/jaar (linksonder); totaal 1800 milj. m^3/jaar (rechtsonder).

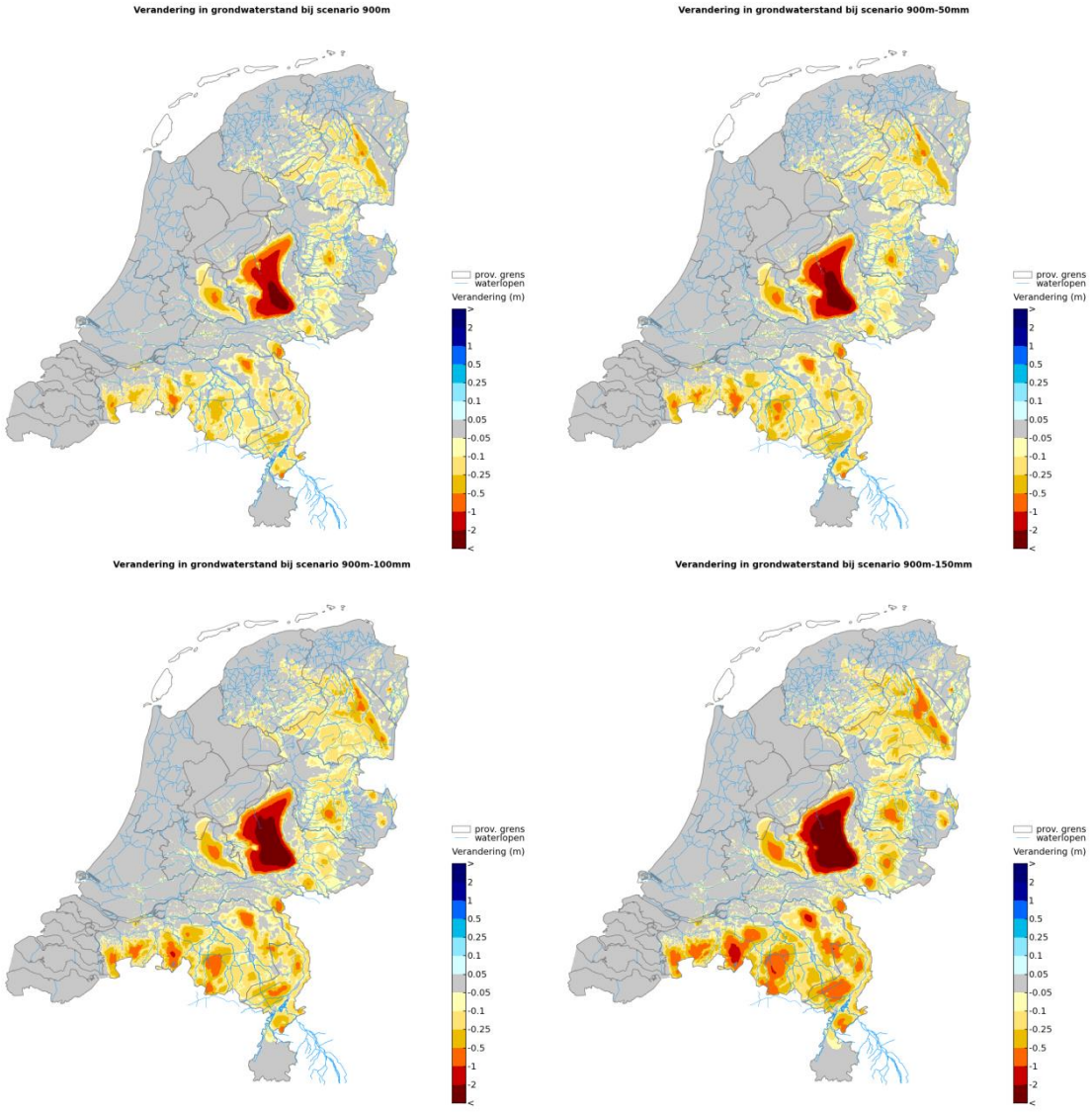
In Figuur 3.3 zijn voor dezelfde vier scenario's de geschaalde effecten op de freatische grondwaterstand weergegeven. Deze "schaling" is uitgevoerd ten opzichte van de grondwaterstandsverlaging bij het scenario "diffuse winning van 100 milj. m^3/jaar", een scenario waarbij geen niet-lineaire effecten optreden. Hoe hoger het berekende percentage, hoe groter de afwijking (dus sterkere niet-lineaire effecten). In deze figuren is zichtbaar dat in de gebieden met een hogere dichtheid aan waterlopen de freatische grondwaterstand juist bij hogere onttrekkingen relatief snel daalt als gevolg van het geleidelijk droogvallen van dit drainagesysteem (niet-lineaire verlaging). Op de Veluwe daalt de grondwaterstand bijvoorbeeld relatief snel op de flanken bij de waterlopen.



Figuur 3.3 Geschaald effect (percentage) op de grondwaterstand van "diffuse winning" met oplopend onttrekkingsdebiet: 200 milj. m^3/jaar (linksboven); 450 milj. m^3/jaar (rechtsboven); totaal 900 milj. m^3/jaar (linksonder); totaal 1800 milj. m^3/jaar (rechtsonder). Een hoger percentage wijst op meer niet-lineariteit.

3.3 Effect verlagen grondwateraanvulling

Figuur 3.4 toont de berekende effecten op de freatische grondwaterstand van de scenario's met "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar" gecombineerd met een verlaging van de grondwateraanvulling. Zichtbaar is dat het de verminderde grondwateraanvulling een significante extra verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt. Ook neemt bij een voortschrijdende afname van de grondwateraanvulling het gebied waarover de grondwaterstand daalt toe.



Figuur 3.4 Resultaat van berekeningen "Diffuse winning van 900 m^3/jaar" met verlaging grondwateraanvulling. Figuren tonen de verlaging van de grondwaterstand voor afnemende grondwateraanvulling. Linksboven: grondwateraanvulling referentieperiode; Rechtsboven: 50 mm/jaar afname grondwateraanvulling; Linksonder: 100 mm/jaar afname grondwateraanvulling; Rechtsonder: 150 mm/jaar afname grondwateraanvulling.

3.4 Evaluatie globale effectanalyse - gebruik resultaat in STRONG

In overleg met de betrokkenen van TAUW en IenM zijn de resultaten van de gevoeligheids-analyse met stationaire NHI modelberekeningen op twee manieren gebruikt binnen STRONG: als ordenende kaart bij het opstellen van de STRONG scenario's (zie ook kader op pagina 5) en als basis bij het vormgeven van de effectberekeningen van de STRONG scenario's. Hieronder volgt een korte toelichting:

Ordenende kaart effecten grondwater

Bij het opstellen van de vier STRONG scenario's (zie kader op pagina 5), is voor het aspect grondwater als ordenende kaart het resultaat van de stationaire modelberekening met "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar" genomen (Figuur 3.5). De reden hiervoor is drieledig:

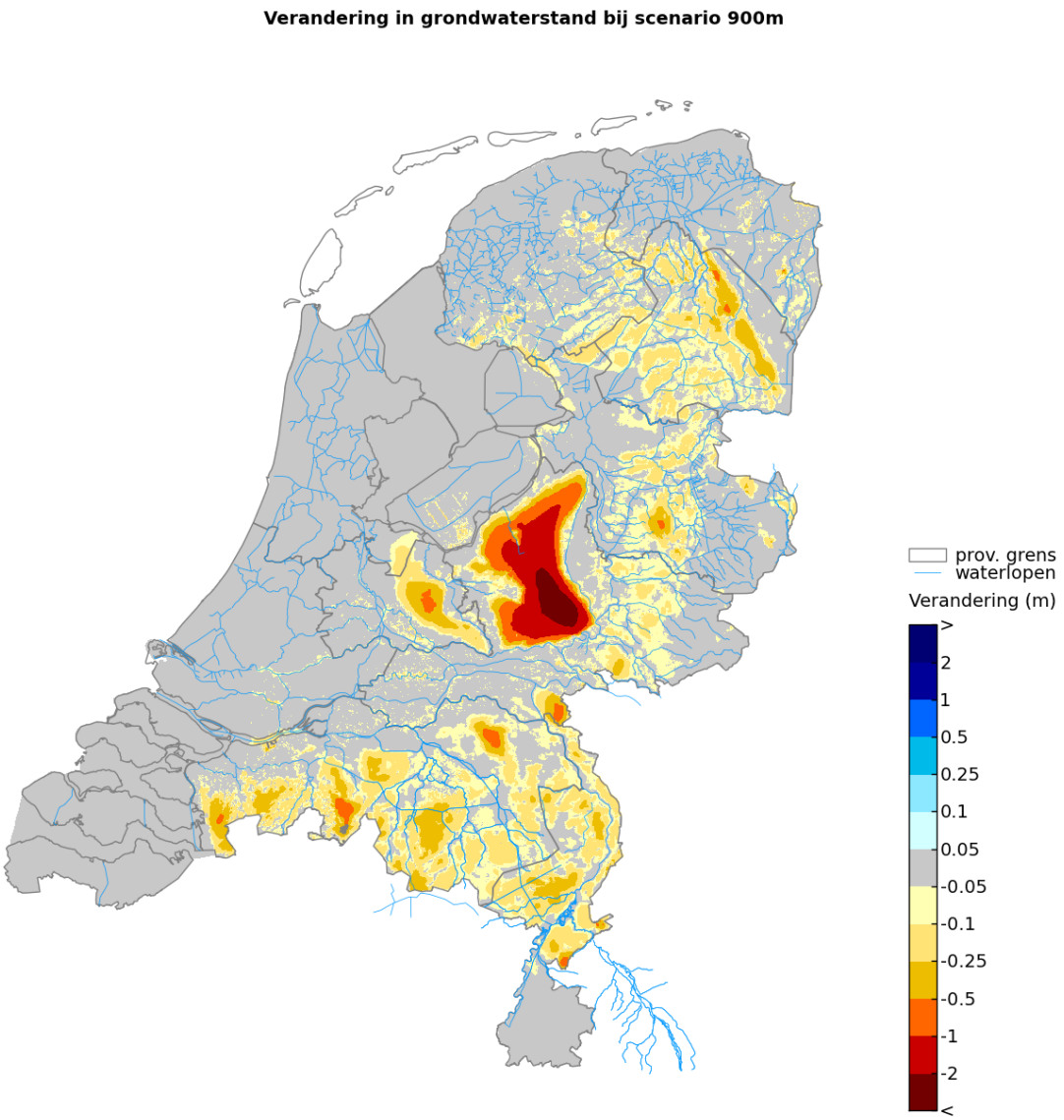
- Op het moment dat een ordenende kaart nodig was in het STRONG traject, waren de niet-stationaire modelberekeningen nog niet uitgevoerd. In overleg met TAUW en IenM is daarom voor dit doel de meest geschikte kaart van de globale effectanalyse met stationaire berekeningen genomen.
- De stationaire berekeningen met "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar" veroorzaakt in de directe omgeving van huidige winningen een vergelijkbare verlaging van de freatische grondwaterstand als bij een toename van de onttrekking bij deze huidige winningen. De ruimtelijke verschillen in grondwaterstandsverlaging zijn wel groot, omdat een verhoging van de huidige winningen puntonttrekkingen betreffen, terwijl de "diffuse winning" vlakdekkend wordt toegepast.
- De niet-lineaire effecten van het grondwatersysteem zijn in dit scenario zichtbaar in de resultaten. Deze niet-lineariteit wordt bij gebruik met dit scenario meegenomen in de effectberekeningen.

Bij het maken van keuzes binnen STRONG worden gebieden geselecteerd waar de effecten op de grondwaterstand relatief klein zijn. Echter, in sommige delen van Nederland is het effect op de freatische grondwaterstand relatief groot, terwijl de effecten van deze grondwaterstandsverlaging op natuur, landbouw, bodemdaling en infrastructuur relatief beperkt zijn. Deze gebieden hoeven niet uitgesloten te worden van het zoekgebied voor toekomstige grondwaterwinlocaties. Het gaat om gebieden waar het freatische grondwater in de referentiesituatie al relatief laag staat (dieper dan 5 meter onder maaiveld), maar waar zich dikke watervoerende pakketten bevinden (hoge zandgronden, zoals de Veluwe). Ondanks dat het effect van extra grondwateronttrekkingen op de grondwaterstand beperkt is, hebben de onttrekkingen mogelijk wel gevolgen voor de kwelflux en op de drainageflux in en rond deze gebieden. Deze effecten dienen, net als voor de andere gebieden waar het effect op de grondwaterstand groter is, te worden geëvalueerd.

***Belangrijk**: De hier gepresenteerde kaart mag (en kan) alleen ordenend gebruikt worden. Dat wil zeggen dat de kaart gebruikt kan worden om de gebieden te vinden waar een grondwaterwinning potentieel weinig of juist veel effect op de grondwaterstand heeft. De kaart kan niet gebruikt worden om absolute effecten van grondwaterwinningen te bepalen.*

Vormgeven effectberekeningen STRONG scenario's

Bij het vormgeven van de niet-stationaire effectberekeningen van de STRONG scenario's zijn de resultaten van de stationaire berekeningen als uitgangspunt genomen. Ook hier is gekozen voor de stationaire modelberekening met "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar". Daarnaast gaven de significante effecten van de stationaire modelberekeningen met een verminderde grondwateraanvulling aanleiding voor het uitvoeren van een extra toekomst-scenario met klimaatverandering.



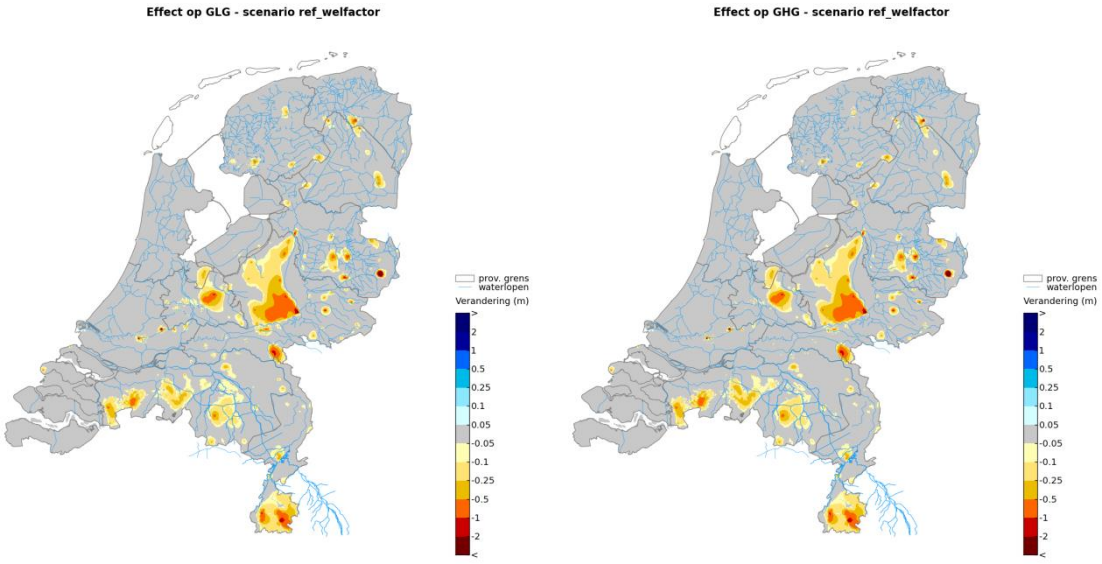
Figuur 3.5 Berekende verandering in freatische grondwaterstand bij "diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar".

4 Resultaten effectberekeningen

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de effectberekeningen van STRONG scenario's en een klimaatscenario met niet-stationaire modelberekeningen. De resultaten van de verschillende niet-stationaire berekeningen zijn gepresenteerd als verschilkaarten ten opzichte van de referentiesituatie (zie toelichting in paragraaf 2.4.2). Alle kaarten zijn op A4 formaat afgebeeld in Bijlage C.

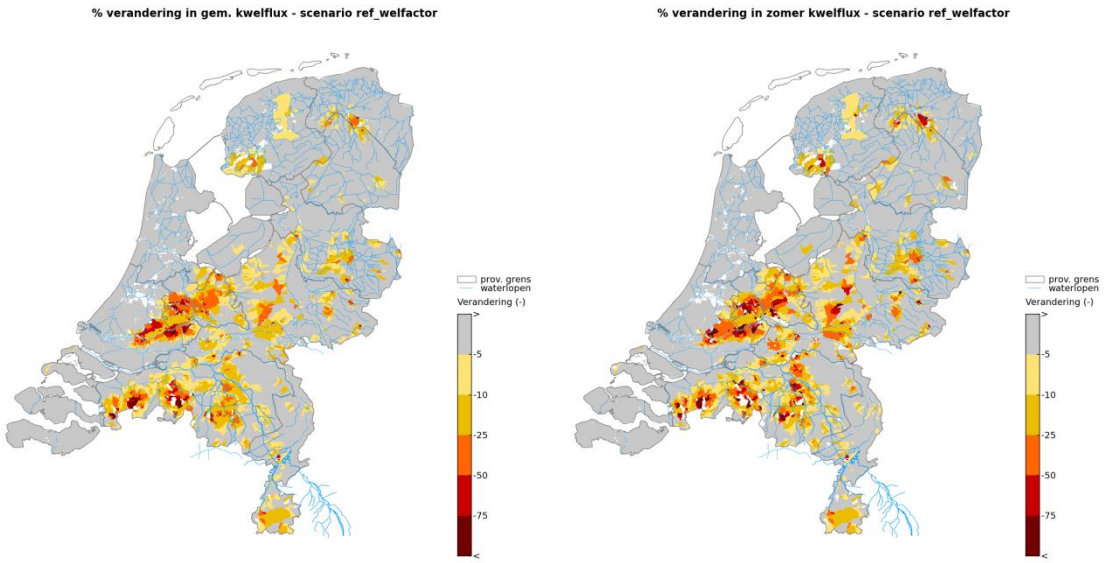
4.1 Effecten verhogen debiet op huidige grondwaterwinlocaties

Figuur 4.1 toont de effecten van het verhogen van het onttrekkingsdebiet op huidige winlocaties. De effecten op GHG en GLG laten dezelfde patronen zien rondom de winningslocaties, maar in delen van het gebied is de verlaging van de GLG enkele centimeters groter dan de verlaging van de GHG.



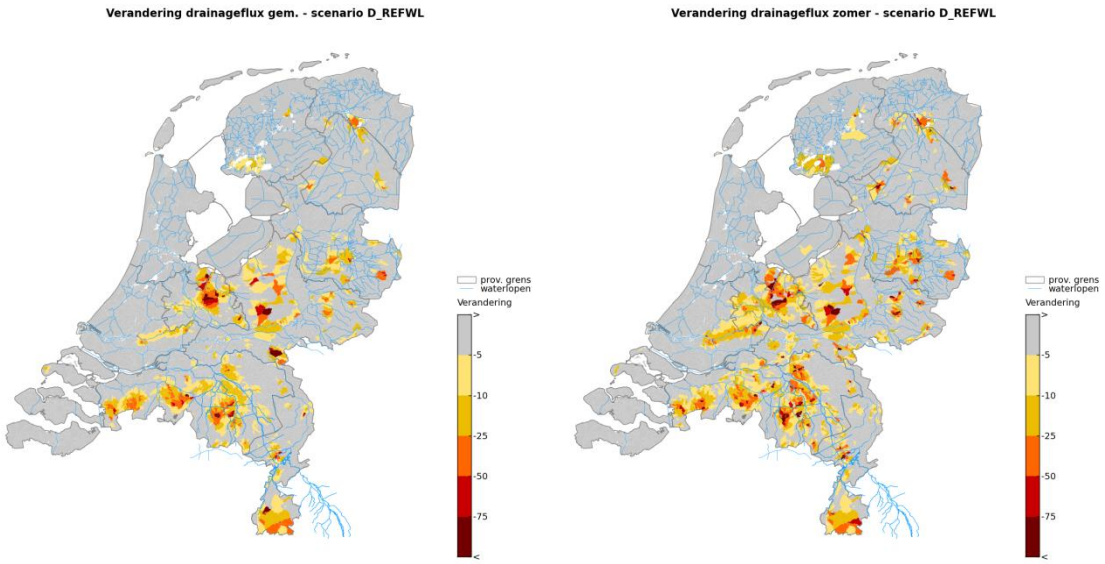
Figuur 4.1 Berekende effecten op GLG (links) en GHG (rechts) bij scenario "Toename huidige winningen".

De afname van de kwelflux is procentueel weergegeven per LSW (local surface water) voor de jaargemiddelde en zomergemiddelde situatie (Figuur 4.2). LSW's zonder kwel in de referentiesituatie zijn blanco in de figuren; hier treedt geen verandering in kwelflux op, maar mogelijk wel een toename van infiltratieflux. Lokaal treden zeer grote verlagingen van de kwelflux op en over de zomerperiode zijn de effecten nog groter. Gebieden waar een grote verandering van de kwelflux optreedt zijn veelal de gebieden met een kleine kwelflux in de referentiesituatie. In deze gebieden kan een verlaging van de kwelflux ook leiden tot een omslag van kwel naar wegzijging (>100% afname). Er zijn ook gebieden waar winningen weinig tot geen effect hebben op de grondwaterstand, maar wel een sterk effect hebben op de kwelflux (bijvoorbeeld: Zuid-Holland). In deze gebieden blijft de freatische grondwaterstand constant als gevolg van een combinatie van factoren, zoals weerstandbiedende deklaag en peilbeheersing van het oppervlaktewater.



Figuur 4.2 Berekende effecten van scenario "toename huidige winningen" op de kwelflux jaargemiddeld (links) en in de zomer (rechts).

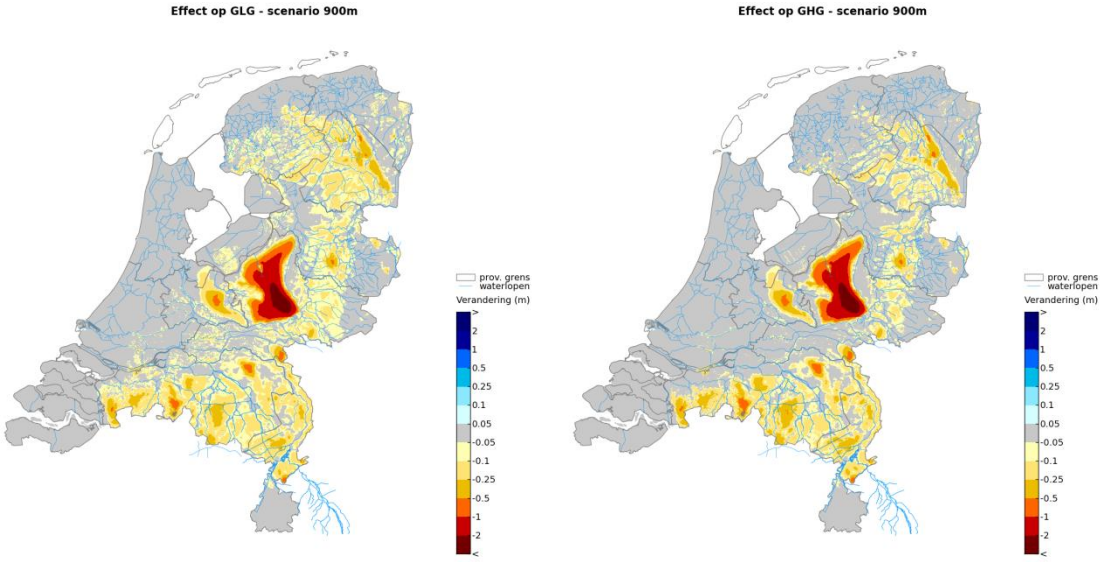
Figuur 4.3 toont de procentuele afname van drainageflux per LSW voor de jaargemiddelde en zomergemiddelde situatie. LSW's zonder drainageflux in de referentiesituatie zijn blanco in de figuren; hier treedt geen afname van de drainageflux op, maar mogelijk wel een toename van infiltratie van oppervlaktewater naar het freatisch grondwater. Lokaal treden zeer grote verlagingen van de drainageflux op. Over de zomerperiode zijn de effecten duidelijk groter en wordt de drainageflux van veel meer LSW's verlaagd. Gebieden waar een grote verandering van de drainageflux optreedt zijn veelal de gebieden met een kleine drainageflux in de referentiesituatie. In deze gebieden kan een verlaging ook leiden tot een omslag van drainage naar infiltratie (>100% afname).



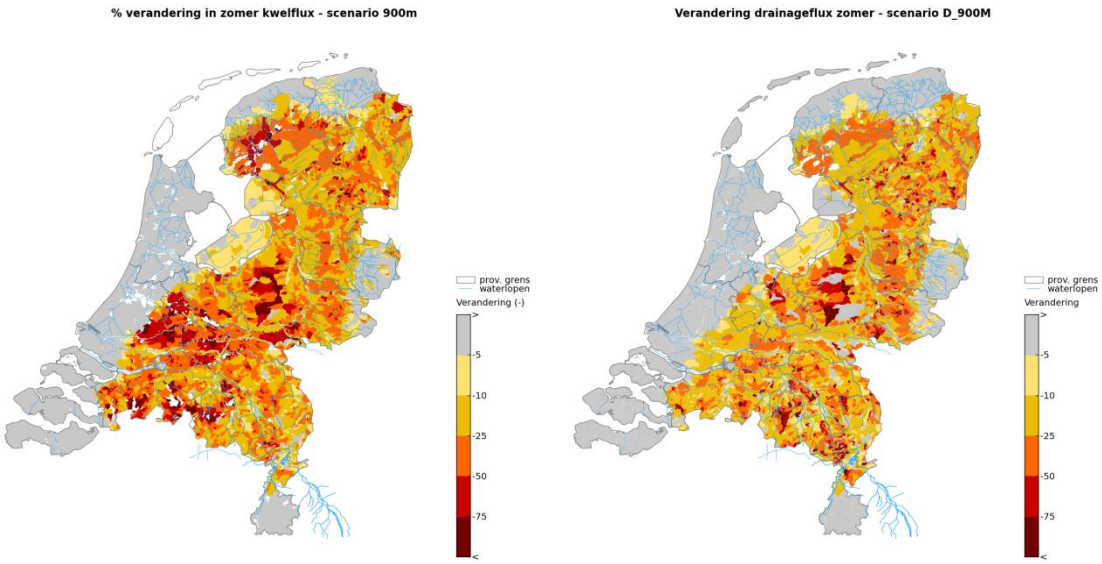
Figuur 4.3 Berekende effecten van scenario "toename huidige winningen" op de drainageflux jaargemiddeld (links) en in de zomer (rechts).

4.2 Effect “diffuse winning” over alle grondwatervoorraden

Figuur 4.4 toont de verlaging van de GHG en GLG als gevolg van het verhogen van het onttrekkingsdebiet bij het scenario “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” over alle grondwatervoorraden[12]. Het effect van de extra onttrekkingen op de GLG is groter dan op de GHG. Over het algemeen is de GLG-verlaging enkele centimeters groter dan de GHG verlaging, maar op enkele locaties is het verschil enkele decimeters. Ook is het totale gebied waar de GLG wordt verlaagd significant groter dan het gebied waar bij de GHG verlaging optreedt. Ook de kwelflux en drainageflux nemen af als gevolg van de extra grondwateronttrekking; over het algemeen met 10 tot 50 % (Figuur 4.5).



Figuur 4.4 Berekende effecten van scenario “diffuse winning van 900 m3/jaar over alle grondwatervoorraden” op de GLG (links) en in de GHG (rechts).



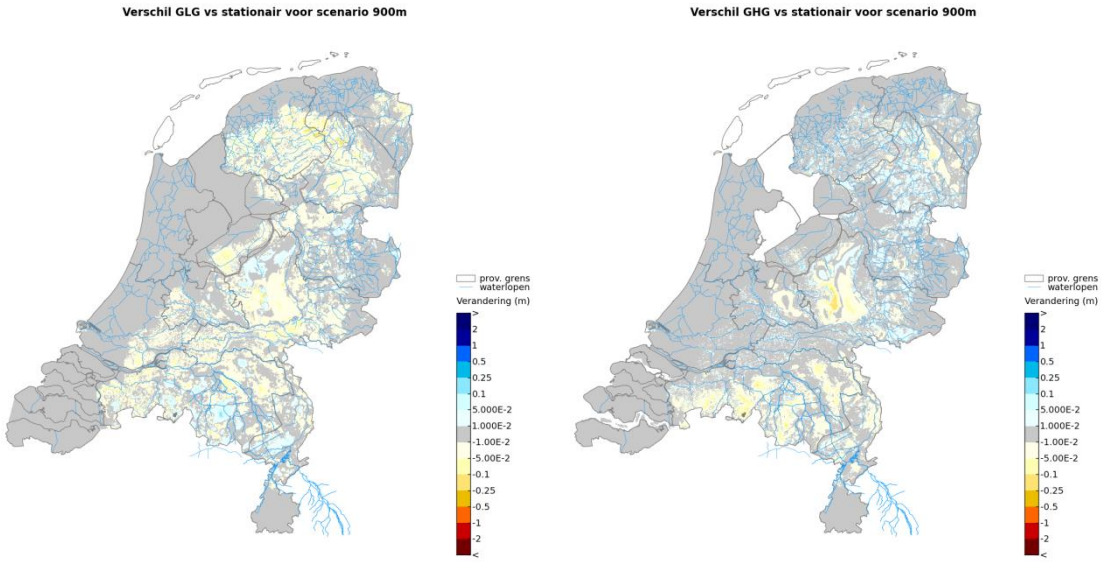
Figuur 4.5 Berekende effecten van scenario “diffuse winning van 900 m3/jaar over alle grondwatervoorraden” op de kwelflux (links) en op de en drainageflux (rechts).

[12] *Op verzoek van TAUW zijn ook effectberekeningen gedaan voor het ook een scenario “diffuse winning van 1800 milj. m3/jaar”. De resultaten hiervan zijn te vinden in Bijlage* ***C.3.***

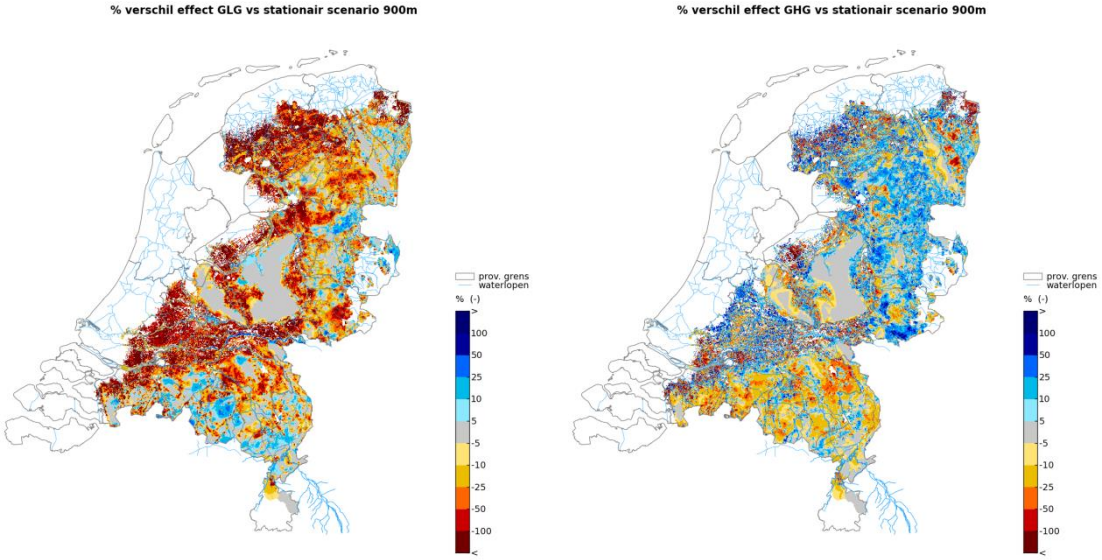
4.3 Vergelijking stationaire en niet-stationaire berekeningen

In Figuur 4.6 is het absolute verschil tussen de stationair en niet-stationair berekende effecten van het scenario “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” op de grondwaterstand weergegeven. De stationair berekende grondwaterstandverlaging is op veel plekken 1 tot 10 cm kleiner dan de verlaging van de GLG (niet-stationaire berekening). Het gebied waar een onderschatting optreedt beslaat ca. 50 % van totale gebied van de “diffuse winning”. Bij een vergelijking met de GHG-situatie is meer variatie zichtbaar: er treedt zowel onderschatting als overschatting van de effecten op. Het gebied waar een onderschatting van de GHG optreedt beslaat ca. 20 % van totale gebied van de “diffuse winning”.

De relatieve verschillen tussen de stationair en niet-stationair berekende effecten op de grondwaterstand zijn afgebeeld in Figuur 4.7. Het is duidelijk te zien dat de effecten op de GLG (niet-stationair berekend) in veel gebieden groter zijn dan stationair. De onderschatting van de stationair berekende effecten zijn procentueel gezien vooral groot in de (intensief) gedraineerde gebieden zoals het rivierengebied en beekdalen (meer dan 25% verschil). Voor de GHG (niet-stationair berekend) zijn de verschillen minder groot. De stationair berekende verlaging van de grondwaterstand is, met uitzondering van Brabant, Limburg en enkele hoger gelegen gebieden, veelal wat groter dan de niet-stationair berekende effecten.



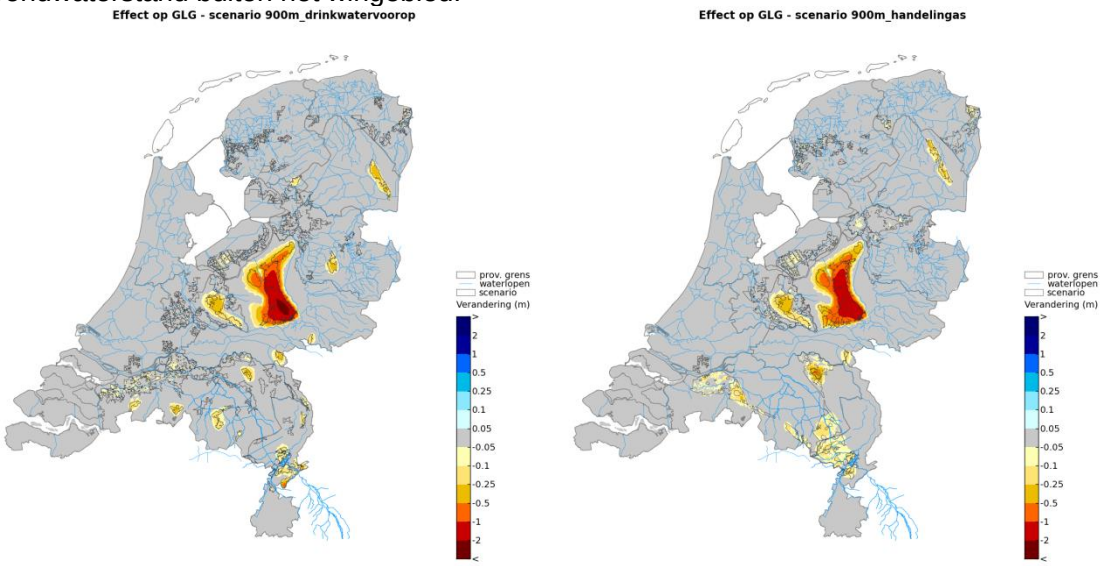
Figuur 4.6 Verschil tussen het effect op de grondwaterstand bij de stationaire berekening en de niet-stationaire berekening van scenario “diffuse winning van 900 m3/jaar over alle grondwatervoorraden”. Links: verschil effect stationaire berekening en effect GLG; Rechts: verschil effect stationaire berekening en effect. Geel/rood: stationair wordt meer grondwaterstandsverlaging berekend dan niet-stationair, blauw: stationair wordt minder grondwaterstandsverlaging berekend dan niet-stationair.



Figuur 4.7 Procentueel Verschil tussen het effect op de grondwaterstand bij de stationaire berekening en de niet-stationaire berekening van scenario "diffuse winning van 900 m3/jaar over alle grondwatervoorraden". Links: verschil effect stationaire berekening en effect GLG; Rechts: verschil effect stationaire berekening en effect GHG. Geel/rood: stationair berekend effect is kleiner dan niet-stationair effect; Blauw: stationair berekend effect is groter dan niet-stationair effect (let op: kleurenpalet tegengesteld aan dat van Figuur 4.6)

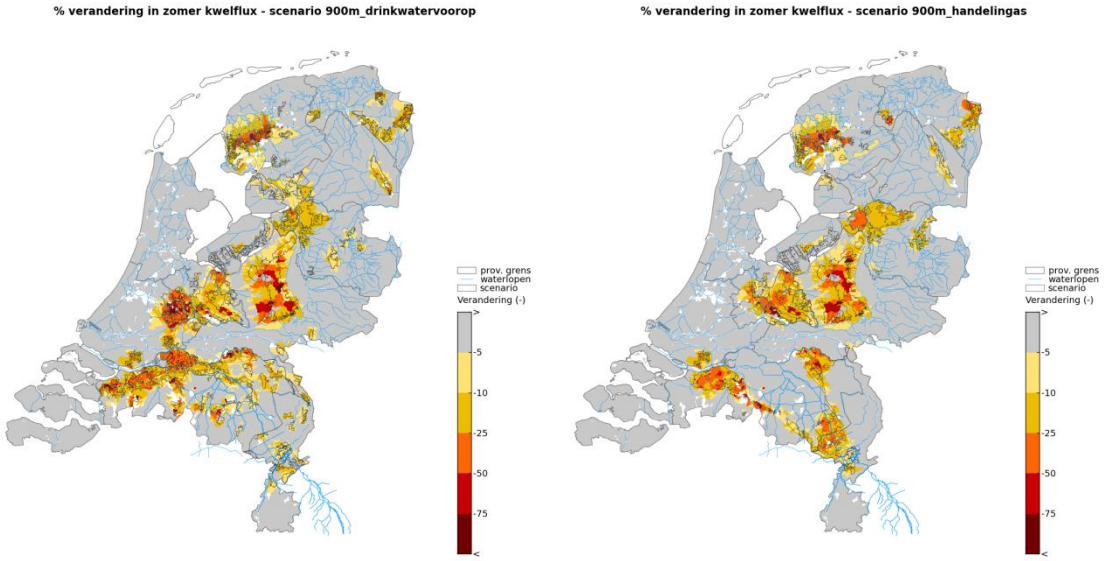
4.4 Effecten "diffuse winning" STRONG scenario's

Figuur 4.8 toont de effecten op de GLG van de scenario's "Drinkwater voorop" en Handel in Gas". De effecten van deze scenario's zijn nu geconcentreerd in specifieke grondwaterwingebieden gedefinieerd binnen de STRONG scenario's. Zichtbaar is dat niet in alle gebieden een verlaging van de grondwaterstand wordt berekend als gevolg van de "diffuse onttrekking" (donkergrijze gebieden in figuren). Anderzijds is er in delen van het land juist sprake van een uitstralingseffect, hier hebben we extra onttrekkingen ook effect op de grondwaterstand buiten het wingebied.

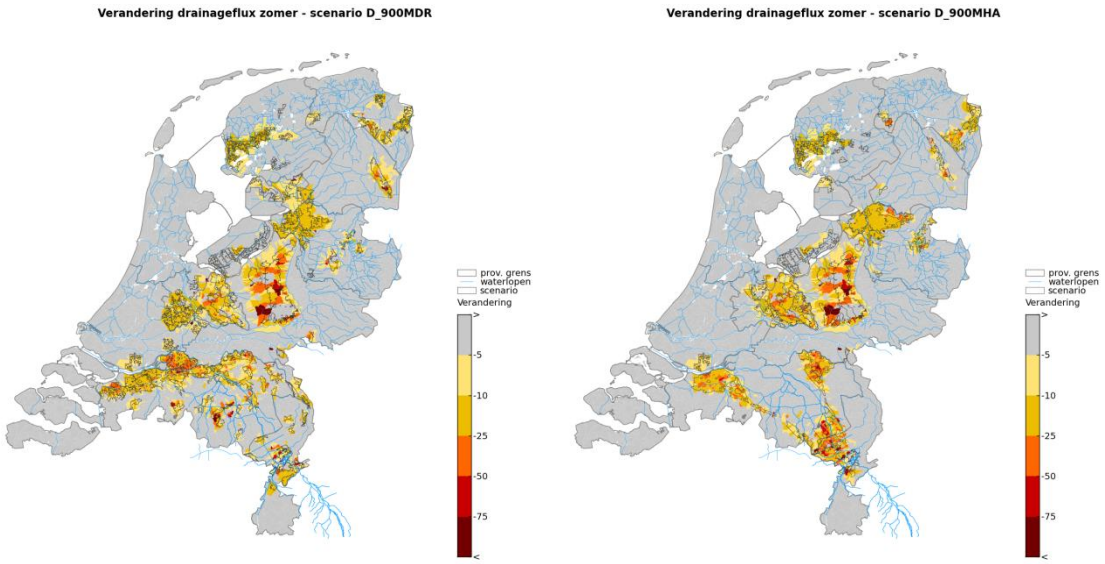


Figuur 4.8 Berekende effecten op de GLG bij scenario's "Drinkwater voorop" (links) en "Handel in gas" (rechts). De donkergrijze gebieden vallen binnen het wingebied van dit STRONG scenario, maar hier is geen effect van de extra winningen waargenomen in de modelresultaten.

Ook in de figuren die de effecten op kwelflux (Figuur 4.9) en drainageflux (Figuur 4.10) in beeld brengen, is te zien dat de effecten zich niet strikt beperken tot de grens van de ingreep. Naast uitstralingseffecten van een ingreep op het omringende gebied, wordt dit voor een belangrijk deel veroorzaakt door de presentatie van de resultaten per LSW: de grenzen van de LSW's, de eenheden waarvoor de effecten in beeld zijn gebracht, liggen namelijk wat anders dan de grenzen van de wingebieden zoals gedefinieerd in de STRONG scenario's.



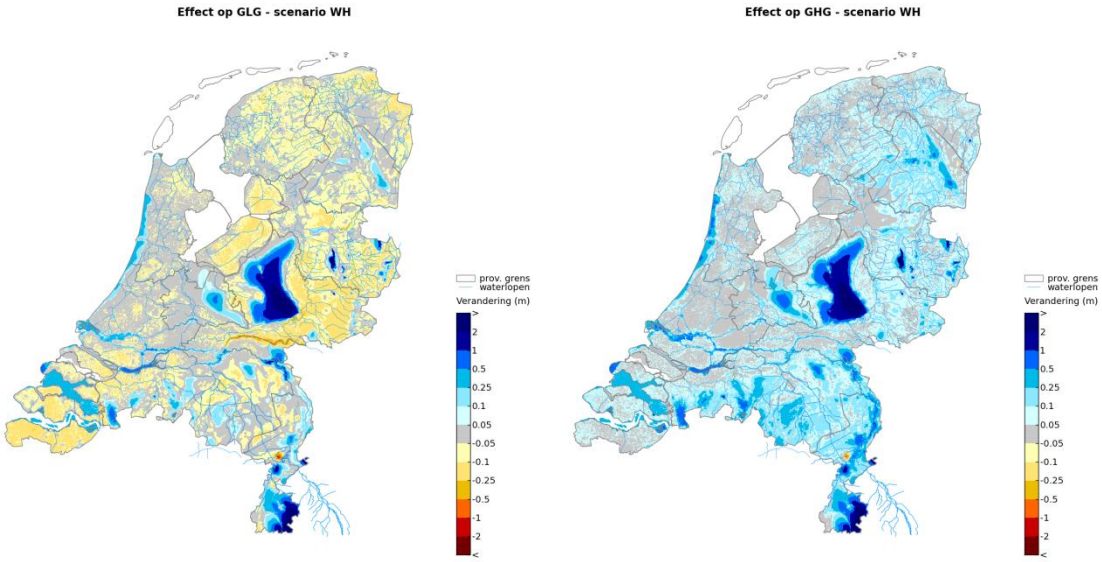
Figuur 4.9 *Berekende effecten op de kwelflux bij scenario's "Drinkwater voorop" (links) en "Handel in gas" (rechts). De donkergrijze gebieden vallen binnen het wingebied van dit STRONG scenario, maar hier is geen effect van de extra winningen waargenomen in de modelresultaten.*



Figuur 4.10 *Effecten op de drainageflux bij scenario's "Drinkwater voorop" (links) en "Handel in gas" (rechts). De donkergrijze gebieden vallen binnen het wingebied van dit STRONG scenario, maar hier is geen effect van de extra winningen waargenomen in de modelresultaten.*

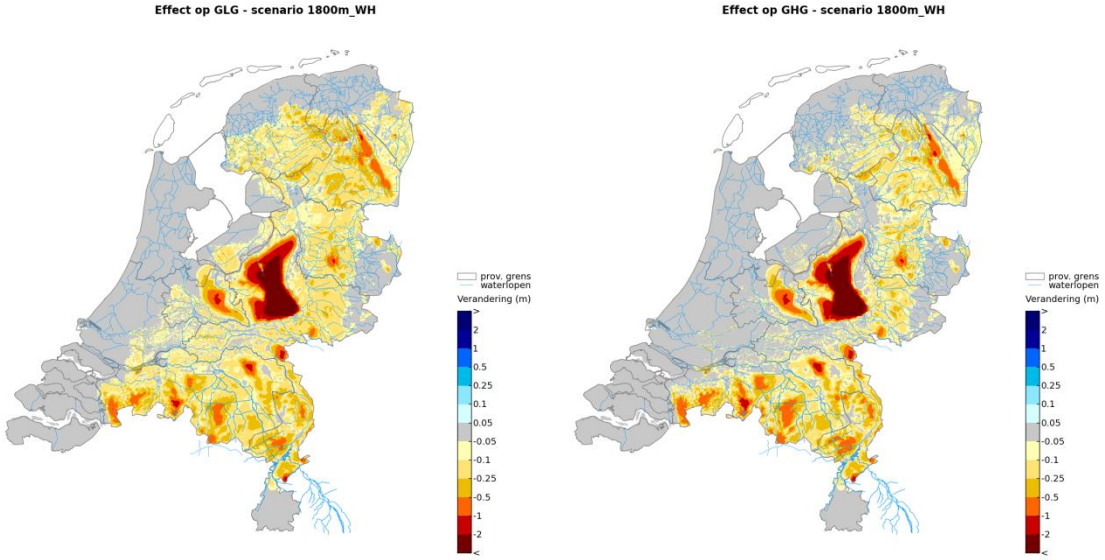
4.5 Effecten met klimaatscenario

Figuur 4.11 toont de berekende effecten van het W_H-klimaatscenario op de GHG en GLG. In de winter (GHG) gaan de grondwaterstanden in oost en zuid Nederland omhoog. In de zomer gaat de grondwaterstand (GLG), op een paar uitzonderingen na, omlaag. Deze uitzonderingen betreffen voornamelijk de wat hoger gelegen zandgronden, zoals de Veluwe, waar ook de GLG stijgt als gevolg van het W_H klimaatscenario. De extra neerslag in de winter zorgt hier voor extra grondwateraanvulling, terwijl de toename van de potentiele verdamping slechts een geringe invloed heeft vanwege de diepe grondwaterstanden. Ook in gebieden rond de grote rivieren is een stijging van de GLG berekend. Deze stijging is het gevolg van hogere waterpeilen in de grote rivieren.

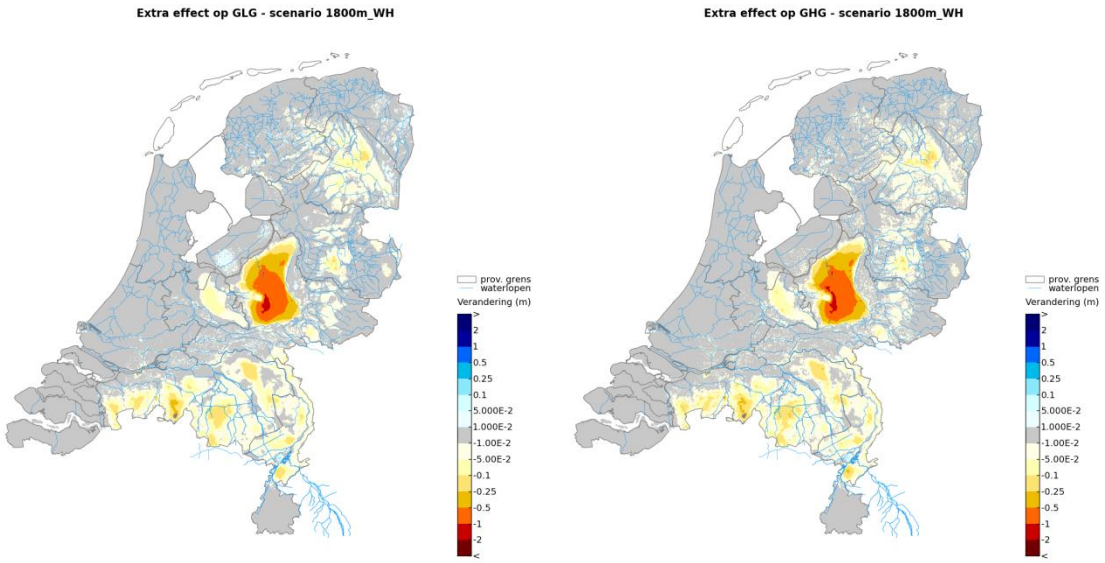


Figuur 4.11 *Berekende effecten op de GLG (links) en GHG (rechts) bij W_H klimaatscenario (geen extra grondwateronttrekkingen). Blauw: stijging van grondwaterstand ten opzichte van referentieklimaat; Rood/geel: daling van de grondwaterstand.*

De effecten van het W_H klimaatscenario met “diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar” tonen dat, ondanks de toegenomen grondwateraanvulling, zowel GLG als GHG overal afneemt of gelijk blijft (Figuur 4.12). De effecten van dit scenario zijn ook vergeleken met de effecten van “diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar” onder het referentieklimaat (Figuur 4.13). Zichtbaar is dat de verlaging van de grondwaterstand onder het W_H klimaat in de meeste gebieden kleiner is onder het referentieklimaat. Vooral in de gebieden met diepe grondwaterstanden, zoals de Veluwe, en rond de grote rivieren nemen de effecten af onder het W_H klimaat. Uitzonderingen zijn de gebieden met hoge grondwaterstanden. Hier vertoont de GLG een wat grotere daling onder het W_H klimaat, als gevolg van de toegenomen potentiele verdamping in de zomerperiode.



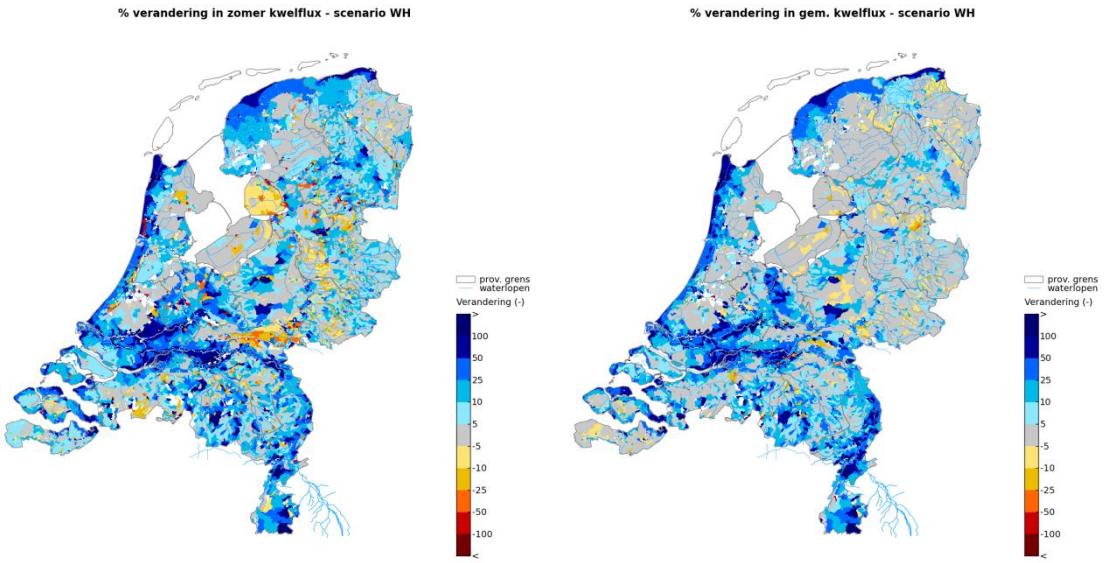
Figuur 4.12 *Berekende effecten op de GLG (links) en GHG (rechts) bij W_H klimaatscenario met "diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar".*



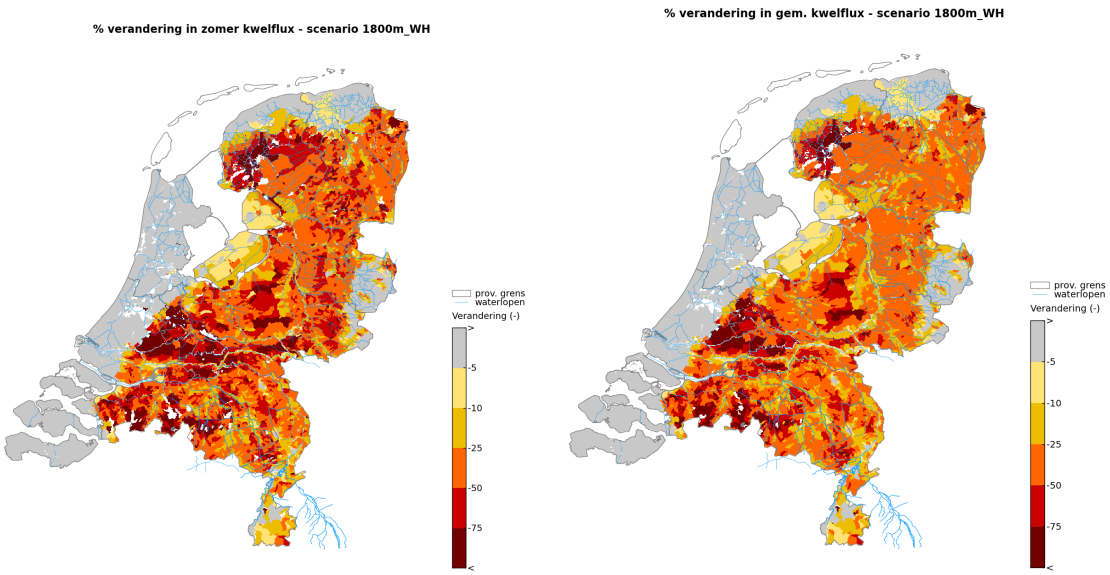
Figuur 4.13 *Verschil tussen berekende effect op grondwaterstand tussen de scenario's "diffuse winning van 1800 milj. m3/jaar" onder W_H klimaatscenario en onder referentieklimaat: verschil GLG-effect (links) en verschil GHG-effect (rechts). Rood/geel: effecten zijn kleiner onder W_H scenario; Blauw: effecten zijn kleiner onder referentieklimaat.*

Voor het W_H klimaatscenario wordt in grote delen van het land een toename van de kwelflux berekend (Figuur 4.14), als gevolg van de toename van de grondwateraanvulling en hogere grondwaterstanden in hoger gelegen gebieden. Gebieden waar de kwel afneemt liggen in en rond de gebieden waar ook de GLG afneemt als gevolg van de klimaatverandering. Een belangrijke oorzaak van toename van kwel langs de kust en in het rivierengebied zijn de stijgende zeespiegel en hogere waterstanden in de grote rivieren.

De toename van de kwel in grote delen van het land onder klimaatscenario W_H betekent dat de extra onttrekkingen onder een W_H scenario in deze gebieden een wat minder negatief effect hebben op de kwelflux (Figuur 4.15). In Figuur 4.18 zijn de effecten in de zomer voor zowel het WH klimaat als het huidige klimaat weergegeven. Er zijn echter ook gebieden waar de afname van de kwelflux wordt versterkt door het W_H klimaatscenario.

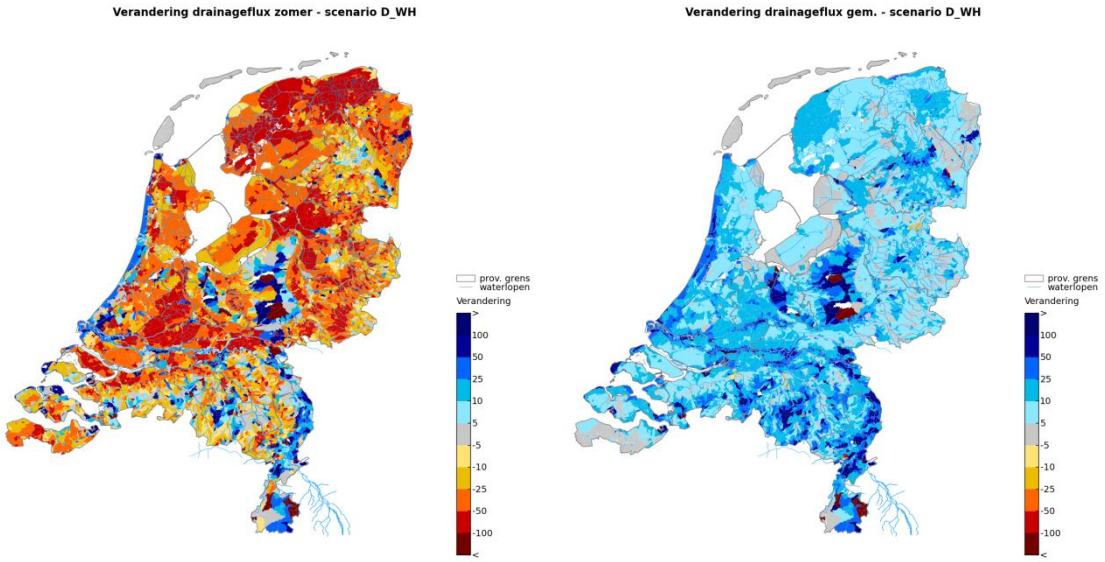


Figuur 4.14 *Berekende effecten op de kwelflux bij W_H klimaatscenario (geen extra grondwateronttrekkingen): zomergemiddelde (links) en jaargemiddelde (rechts). Blauw: toename van kwelflux ten opzichte van referentieklimaat; Rood/geel: afname van kwelflux.*

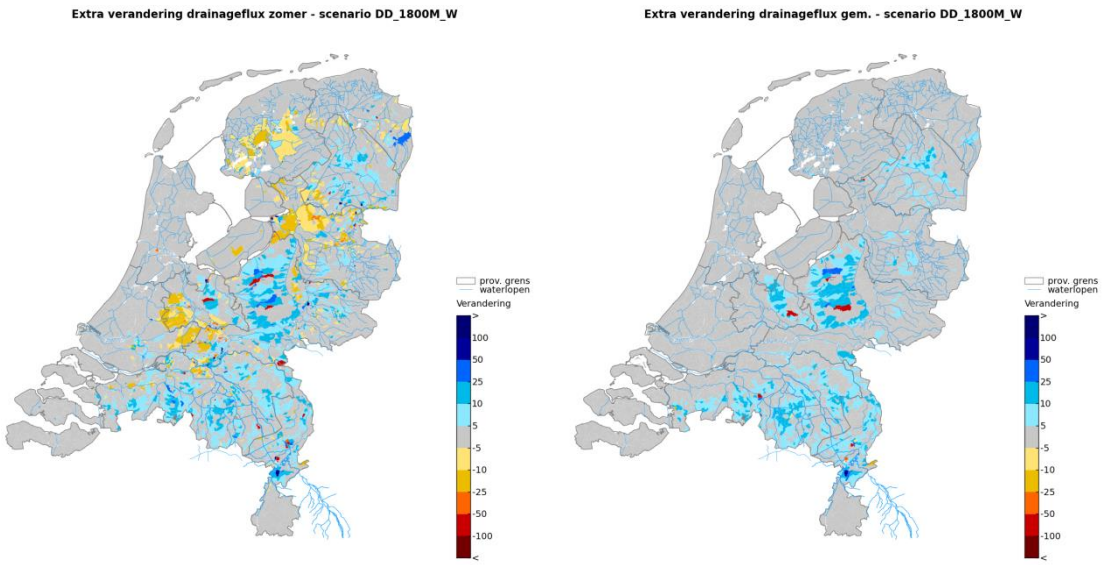


Figuur 4.15 *Berekende effecten op de kwelflux bij W_H klimaatscenario met "diffuse winning van 1800 milj. m3/jaar": jaargemiddelde (links) en zomergemiddelde (rechts). Blauw: toename van kwelflux ten opzichte van referentie situatie; Rood/geel: afname van kwelflux.*

De berekeningen laten zien dat er op jaarbasis sprake is van een toename van de drainageflux (Figuur 4.16). In de zomerperiode, waarin de potentiele verdamping toeneemt, is echter een afname van de drainageflux zichtbaar. Als gevolg daarvan zijn de effecten van een "diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar" onder het WH klimaat gemiddeld wat kleiner (10%) of gelijk aan de effecten van zo'n onttrekking onder het referentieklimaat (Figuur 4.17). Gemiddeld over de zomer zijn de effecten van een "diffuse winning van 1800 milj. m^3/jaar" rond de hoge zandgronden wat groter (10%) onder het W_H klimaatscenario, maar in de rest van het jaar vergelijkbaar als onder het referentieklimaat.



Figuur 4.16 *Berekende effecten op drainageflux bij klimaatscenario W_H: zomergemiddelde (links) en jaargemiddelde (rechts). Blauw: toename van de drainageflux ten opzichte referentieklimaat; Rood/geel: afname van de drainageflux.*



Figuur 4.17 *Berekende effecten op de drainageflux bij W_H klimaatscenario met "diffuse winning van 18000 milj. m3/jaar": zomergemiddelde (links) en jaargemiddelde (rechts). Blauw: toename van drainageflux ten opzichte van referentie situatie; Geel/rood: afname van drainageflux.*

5 Conclusies en aanbevelingen

***DISCLAIMER**: De in dit rapport gepresenteerde kaarten kunnen (en mogen) alleen ordenend gebruikt worden. Dat wil zeggen dat de kaarten gebruikt kunnen worden om de gebieden te vinden waar een extra grondwaterwinning potentieel weinig of juist veel effect op het freatisch grondwater heeft. De kaarten kunnen niet gebruikt worden om absolute effecten van grondwaterwinningen te bepalen.*

5.1 Conclusies

5.1.1 Methodiek

De uitgevoerde analyses zijn gedaan op basis van een generieke aanpak. Ten eerste is uitgegaan van het door RIVM (op basis van generieke randvoorwaarden) bepaalde overzicht met kansrijke gebieden voor drinkwaterwinning uit grondwater (bron: RIVM Rapport 2015-0068). In voorliggende studie is de methode “diffuse winningen” ontwikkeld en toegepast voor een gebiedsdekkende verkenning met het NHI van de effecten van toekomstige grondwateronttrekkingen op het hydrologisch systeem. In plaats van de focus te leggen op bestaande winlocaties of specifieke nieuwe winlocaties te selecteren, wordt met deze methode het effect van een toename van grondwateronttrekkingen over alle grondwatervoorraden in het gedefinieerde gebied in beeld gebracht. Op landelijke schaal wordt inzichtelijk gemaakt in welke regio’s of gebieden de effecten van grondwateronttrekkingen op het freatische grondwater relatief groot of klein zijn. De methode is echter niet bruikbaar om in absolute zin uitspraken toe doen over de effecten van winningen.

Het gebruikte modelinstrumentarium NHI voldoet niet overal aan alle gestelde eisen voor de absolute berekening van hydrologische parameters. De GxG’s worden in delen van het land (sterk) onderschat door het modelinstrumentarium[8]. Echter, uit een toetsing van de toepasbaarheid van NHI voor het Deltaprogramma-Zoetwater[9] is gebleken dat NHI een adequaat instrument is voor het in beeld brengen van de relatieve effecten van maatregelen en klimaatscenario’s op hoofdlijnen. Op basis hiervan wordt gesteld dat het NHI geschikt is voor deze studie van een landelijke analyse van de gevoeligheid van het freatische grondwater voor extra drinkwaterwinningen en klimaatverandering.

Deze studie is uitgevoerd in twee stappen; eerst is een verkennende analyse gedaan op basis van *stationaire* modelberekeningen (korte rekentijd) en vervolgens zijn met niet-stationaire modelberekeningen de effecten op het grondwatersysteem in meer detail in beeld gebracht. Vervolgens zijn de effecten op het watersysteem met niet-stationaire modelberekeningen in meer detail in beeld gebracht: grondwaterstand (zowel GHG als GLG) en kwelflux en drainageflux voor jaargemiddelde en zomergemiddelde situaties. Hierbij moet worden vermeldt dat de berekende effecten op de grondwaterstand cel-gemiddelden zijn. Aangezien de NHI modelcellen een oppervlak hebben van 62500 m^2 is het goed mogelijk dat de effecten op kleinere schaal groter zijn, bijvoorbeeld in het midden van een perceel.

In deze studie zijn de effecten van extra toekomstige onttrekkingen en klimaatveranderingen op grondwaterstand, kwelflux en drainageflux in beeld gebracht. Veranderingen in deze aspecten van het grondwatersysteem hebben gevolgen voor gebruiksfuncties van het land. Voor effecten op de grondwaterstand en kwel geldt dat deze over het algemeen in de directe

omgeving van de winning optreden. De effecten op de drainageflux kunnen ook verder van de winningen optreden, bijvoorbeeld een afname van de beekafvoer op de flanken van een hoger gelegen gebied. Meer specifieke aspecten van de fluxberekeningen, die relevant kunnen zijn voor de gevolgen voor landgebruiksfuncties, zijn niet onderzocht in deze generieke studie. Met de methode “diffuse winning” is het niet mogelijk om dit type effecten op de drainageflux te koppelen aan specifieke lokale of meer regionale specifiek grondwater-wingebieden. Ook is in deze studie de herkomst van de drainageflux (diep of ondiep grondwater) niet verder onderzocht en is geen detailanalyse gedaan naar kwelflux.

5.1.2 Globale effectanalyse

Op basis van de globale effectanalyse met stationaire modelberekeningen is gebleken dat de “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” de beste mogelijkheden biedt voor het maken van afwegingen tussen zoekgebieden voor toekomstige grondwaterwinningen. De berekende grondwaterstanden met “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” vertonen in de directe omgeving van huidige winningen een vergelijkbare verlaging van de freatische grondwaterstand als bij een toename van de onttrekking bij deze huidige winningen met 222.8 milj. m^3/jaar.

De stationair berekende verlaging van de freatische grondwaterstand is voor het scenario “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” in de meeste gebieden enkele centimeters tot enkele decimeters. In het geval van de hoge zandgronden loopt de verlaging op tot meer dan 0,5 m en op de Veluwe tot ruim 2 meter.

Uit de globale effectanalyse is daarnaast gebleken dat niet-lineaire effecten belangrijk zijn. In grote delen van Nederland neemt de niet-lineairiteit van het hydrologisch systeem toe met een toenemende grondwateronttrekking: de grondwaterstand daalt in deze gebieden sneller dan dat de onttrekking toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de geleidelijke droogval van het drainagesysteem (waterlopen). De niet-lineaire effecten van het grondwatersysteem komen duidelijk tot uiting in de resultaten bij het scenario “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar”.

Naast een verlaging van de grondwaterstand als gevolg van extra grondwateronttrekkingen, blijkt uit de globale effectanalyse dat een verandering van de grondwateraanvulling een significant extra effect heeft op de grondwaterstand. Bij het vormgeven van de niet-stationaire effectberekeningen is daarom ook een klimaatscenario (KNMI’14 W_H scenario) doorgerekend om de effecten van de extra drinkwaterwinningen bij een droger klimaat in beeld te brengen.

Het resultaat van de stationaire berekeningen van de “diffuse winning van 900 milj. m^3/jaar” is toegepast als ordenende kaart bij het opstellen van de STRONG scenario’s (zie ook kader op pagina 5). Bij het maken van keuzes binnen STRONG worden gebieden geselecteerd waar de effecten op de grondwaterstand relatief klein zijn. Echter, in sommige delen van Nederland is het effect op de freatische grondwaterstand relatief groot, terwijl de effecten van deze grondwaterstandsverlaging op natuur, landbouw, bodemdaling en infrastructuur relatief beperkt zijn. Deze gebieden hoeven per definitie niet uitgesloten te worden van het zoekgebied voor toekomstige grondwaterwinlocaties. Het gaat om gebieden waar het freatische grondwater in de referentiesituatie al relatief laag staat (dieper dan 5 meter onder maaiveld), maar waar zich dikke watervoerende pakketten bevinden (hoge zandgronden, zoals de Veluwe). Ondanks dat het effect van extra grondwateronttrekkingen op de grond-waterstand beperkt is, hebben de onttrekkingen mogelijk wel gevolgen voor de kwelflux en op de drainageflux in en rond deze gebieden. Deze effecten dienen, net als voor de andere gebieden waar het effect op de grondwaterstand groter is, te worden geëvalueerd.

5.1.3 Effectberekeningen

Het effect van de extra onttrekkingen op de GLG is groter dan op de GHG. Over het algemeen is de GLG-verlaging enkele centimeters groter dan de GHG verlaging, maar op enkele locaties is het verschil enkele decimeters. Ook is het totale gebied waar de GLG wordt verlaagd significant groter dan het gebied waar bij de GHG verlaging optreedt. De niet-stationaire effectenrekeningen laten zien dat de kwelflux en drainage flux ook beïnvloed worden door de extra grondwateronttrekkingen: beiden nemen af met 10 tot 50%. Vooral tijdens de zomerperiode is deze afname significant en ook relevant, aangezien de kwelflux en drainageflux van belang zijn voor het in stand houden van een voldoende hoge grondwaterstand (kwelflux) en watervoerendheid van waterlopen (drainageflux) tijdens het groeiseizoen.

De effecten van extra onttrekkingen en klimaatverandering werken anders uit op de kwelflux dan op de drainageflux. Oorzaak hiervan is dat de drainageflux voor een groot deel bestaat uit afvoer van freatisch grondwater (oa. via buisdrainage en greppels/sloten), terwijl veranderingen in de kwelflux grotendeels het effect zijn van een toe- of afname van het diepere grondwater en drukverschillen tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte onder de eerste slecht doorlatende laag.

De effectberekeningen over grondwatervoorraden zoals gedefinieerd in de STRONG scenario's "Drinkwater voorop" en "Handel in gas" laten zien dat er sprake is van een uitstralingseffect: dat wil zeggen dat de effecten van de grondwateronttrekkingen zich niet beperken tot de gedefinieerde wingebieden, maar ook daarbuiten kunnen zorgen voor een effect op de grondwaterstand, kwelflux en drainageflux. In het geval van de fluxen is dit deels te wijten aan dat de grenzen van de LSW's, waarvoor de resultaten zijn bepaald, anders liggen dan de begrenzing van de STRONG grondwaterwingebieden.

Met het WH klimaatscenario is berekend dat het gemiddeld natter wordt in Nederland, al is de potentiele verdamping in de zomer hoger dan onder het referentieklimaat. In de winterperiode leidt dit tot hogere grondwaterstanden en, over het algemeen, een toename van de kwelflux en de drainageflux. In de zomerperiode is de grondwaterstand in veel gebieden lager, als gevolg van de grotere potentiele verdamping onder het WH klimaat. Uitzonderingen hierop zijn de hoge zandgronden, die door de dikke onder verzadigde zone relatief ongevoelig zijn voor de toenemende verdamping. Daarnaast worden in de gebieden langs de grote rivieren en de kust de grondwaterstanden de grondwaterstanden in de zomer niet verlaagd, als gevolg van de hogere rivierwaterstanden en zeespiegelstijging. Over het algemeen zijn dezelfde patronen zichtbaar voor de kwelflux en drainageflux.
Jaargemiddeld heeft het WH klimaat een dempende werking op de verlaging van grondwaterstanden, kwelflux en drainageflux als gevolg van de extra grondwater-onttrekkingen. Echter, tijdens de zomerperioden is in grote delen van het land een versterkte afname van de grondwaterstand, kwelflux en drainageflux berekend ten gevolge van de hogere potentiele verdamping. Juist in deze periode is de waterbeschikbaarheid voor landbouw en natuur van belang.

5.1.4 Stationair versus niet-stationair

De verschillen tussen de stationair berekende effecten op de grondwaterstand en de niet-stationair berekende effecten voor het "900m" scenario zijn in absolute zin vaak klein, 1-10 cm. In relatieve zin lopen de verschillen echter op tot meer dan 25%. Tijdens droge situaties (GLG) worden de effecten met het stationaire model vaak onderschat. Deze onderschatting treedt vooral op in de natte gebieden, zoals bijvoorbeeld het rivierengebied en de beekdalen. Dit zijn de gebieden waar (relatief) weinig effect op de grondwaterstand berekend wordt. Dat

verklaart waarom, ondanks de grote procentuele verschillen tussen in effect tussen de stationaire en niet stationaire modeluitkomsten, de absolute verschillen klein blijven. Tijdens de natte situatie (GHG) zijn de verschillen met de stationair berekende effecten kleiner, zowel absoluut als relatief gezien. Voor deze situatie geeft het stationaire model in grote delen van Nederland een kleine overschatting van de effecten vergeleken met het niet-stationaire model. Echter, in grote delen van Brabant worden de effecten op de GHG juist wat onderschat met het stationaire model.

5.2 Aanbevelingen

5.2.1 Verfijning van de methodiek

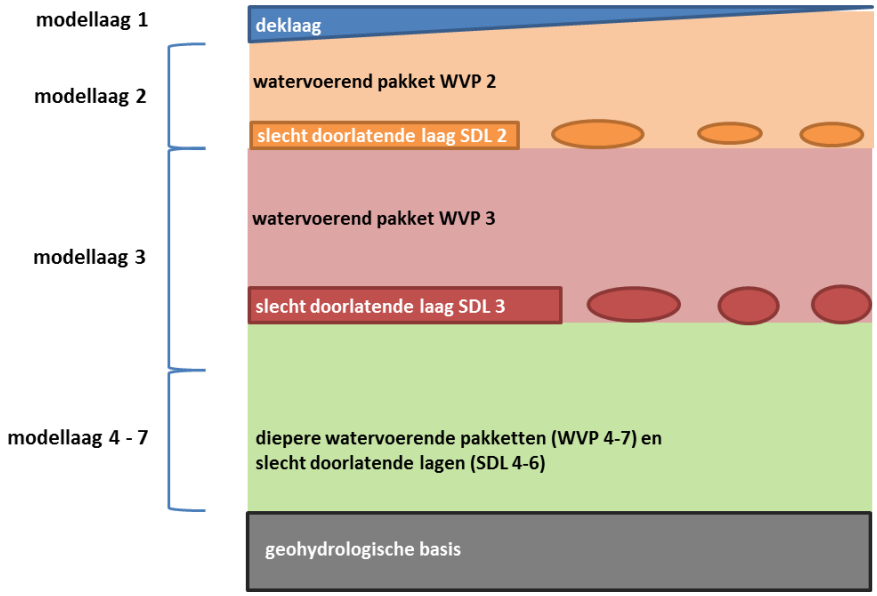
Deze studie bevat geen gedetailleerde analyse van de effecten, zoals de ruimtelijk verschillen in effect op grondwater, kwelflux en drainageflux in verschillende delen van het land. Voorafgaand aan het uitvoeren van een onderzoek naar de effecten op Provinciaal niveau is het zinvol om zo'n gedetailleerde effect-analyse wel uit te voeren.

5.2.2 Toepassing op Provinciaal niveau

In deze studie is een analyse gedaan naar de effecten van toekomstige drinkwaterwinning op het grondwater. Een volgende stap is om de effecten van extra grondwaterwinningen verder uit te werken op Provinciaal niveau, waarbij aangesloten kan worden op bestaande kennis bij provincies en rekening gehouden dient te worden met door provincies aangewezen gebieden die zij naar de toekomst toe strategisch belangrijk vinden voor de openbare drinkwatervoorziening. Deze uitwerking op provinciaal niveau zal plaatsvinden in het verdere traject van de Structuurvisie Ondergrond.

A Opbouw van de bovenste modellagen van NHI

In Figuur A1 is de opbouw van de bovenste modellagen van NHI schematisch weergegeven. Modellaag 3 bestaat uit een watervoerend pakket (WVP 3) en een slecht doorlatende laag (SDL3). De onttrekkingen in deze studie ("diffuse onttrekkingen") zijn dus geplaatst in watervoerend pakket WVP3. WVP3 heeft een dikte van enkele meters tot 245 m dikte (Figuur A2) en ligt op een diepte van enkele meters tot 110 m onder maaiveld (Figuur A3).



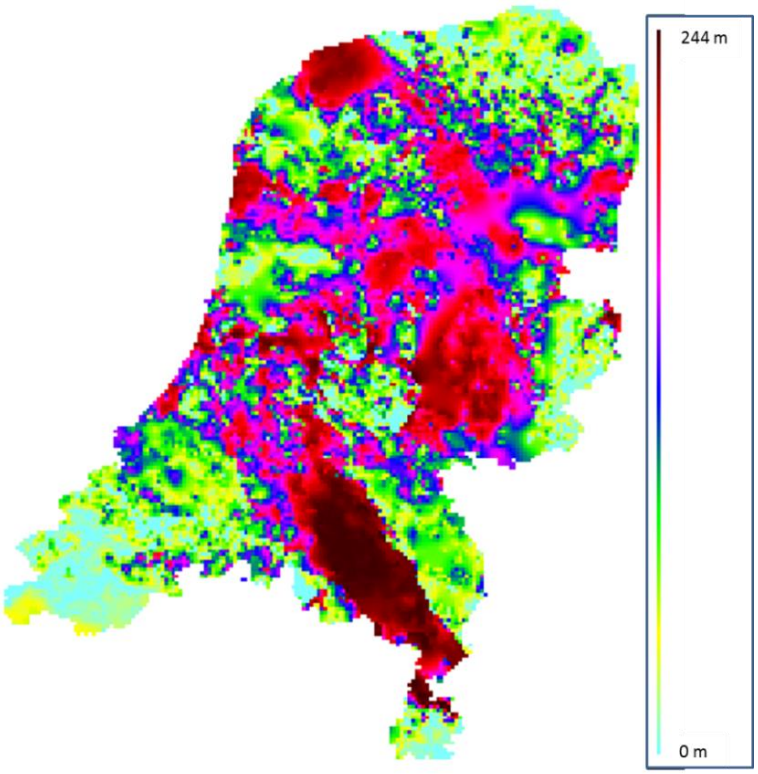
Figuur A1: Schematische opbouw van bovenste gedeelte van het lagenmodel van NHI. Modellaag 1, 2 en 3 zijn in meer detail weergegeven (bron: NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2)

WVP3 ligt onder de weerstandsbiedende deklaag (SDL1), watervoerend pakket WVP2 en de weerstandsbiedende laag SDL2. In het gebied dat onderzocht is, zijn de slechtdoorlatende lagen (SDL1 en SDL2) vaak dun of afwezig en bieden daardoor relatief weinig weerstand (Figuur A4). Het plaatsen van de grondwateronttrekkingen in modellaag 3 (WVP3) geeft een indruk van de effecten van het effect van onttrekkingen in WVP1-WVP3 op de freatische grondwaterstand. Er zijn enkele gebiedjes waar slechtdoorlatende laag SDL2 een relatief grote weerstand biedt (zie Figuur A4). Een onttrekking in WP3 zal in deze gebieden een relatief klein effect hebben op het freatische grondwater vergeleken met een onttrekking in WVP2. De in WVP3 geplaatste onttrekkingen zijn in deze gebiedjes dan ook minder representatief zijn voor eventuele onttrekkingen in WVP2.

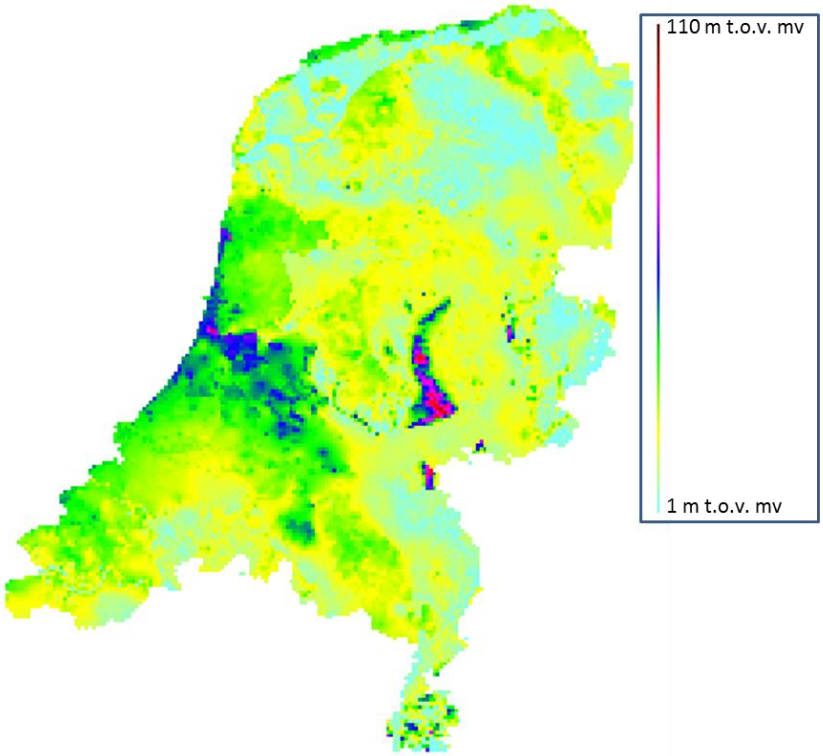
WVP3 wordt aan de onderzijde begrensd door de slecht doorlatende laag SDL3. De aanwezigheid van deze laag varieert sterk: in delen van het gebied is deze laag meer dan 100 m dik en sterk weerstandbiedend, terwijl het in andere delen van het gebied ontbreekt (Figuur A4). In de delen van het studiegebied waar de slecht doorlatende laag SDL3 dun is of ontbreekt, representeert de methode ook de effecten van winningen in WVP4 op de freatische grondwaterstand. In delen waar slechtdoorlatende laag SDL3 dik is (o.a. delen van Brabant en rondom de Veluwe) zal een effect van een onttrekking uit WVP4 op het freatisch

grondwater waarschijnlijk relatief beperkt zijn vergeleken met een onttrekking uit WVP1-3. Deze effecten zijn echter niet berekend tijdens deze studie.

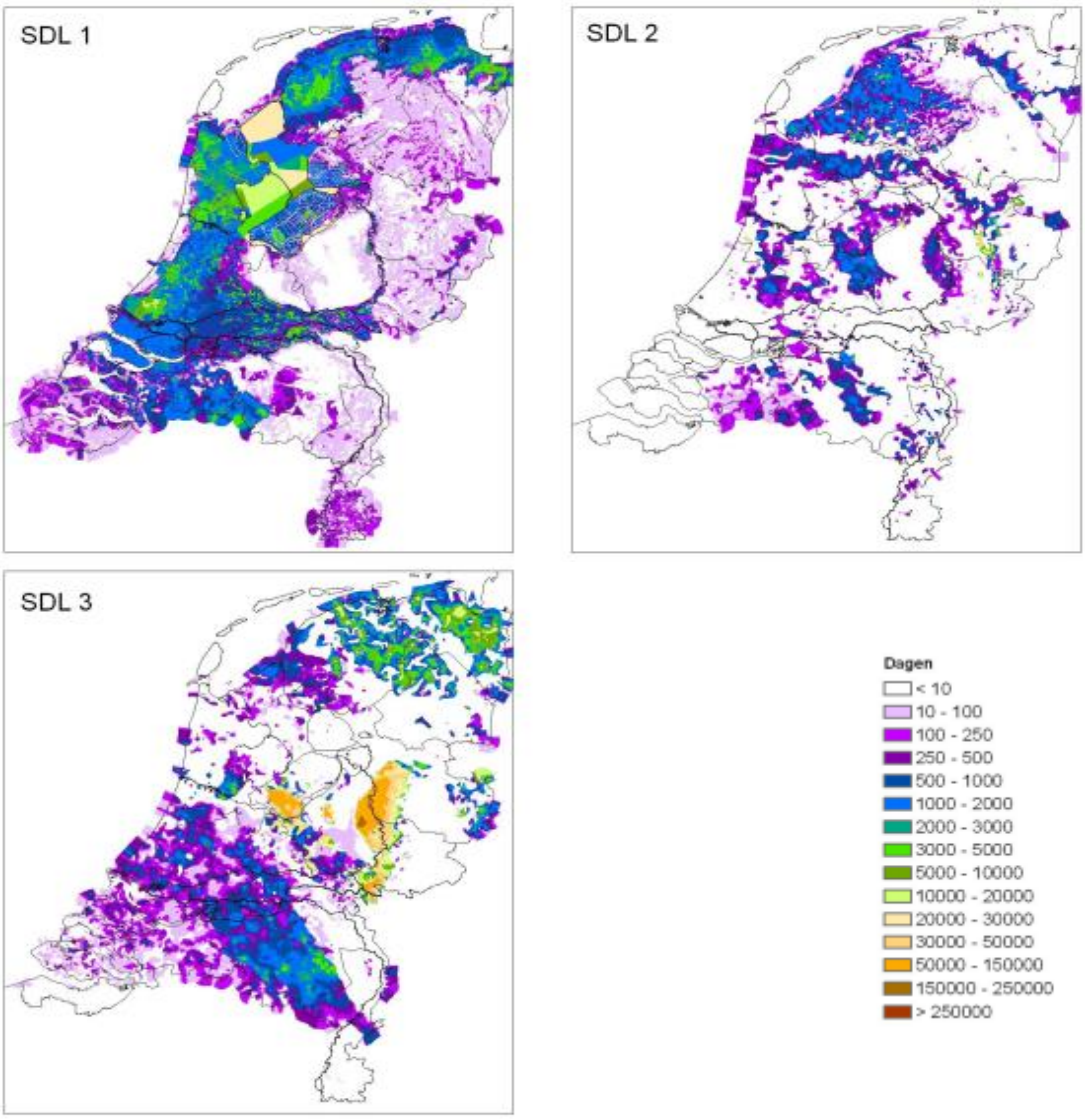
Door berekeningen uit te voeren met de methode “diffuse winningen” in modellaag 3 van NHI wordt op landelijke schaal inzichtelijk gemaakt in welke regio’s of gebieden de effecten van grondwateronttrekkingen op het freatische grondwater relatief groot of klein zijn. De methode is echter niet bruikbaar om in absolute zin uitspraken toe doen over de effecten van winningen.



Figuur A.2: Dikte van watervoerend pakket WVP3 (bron: NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2)



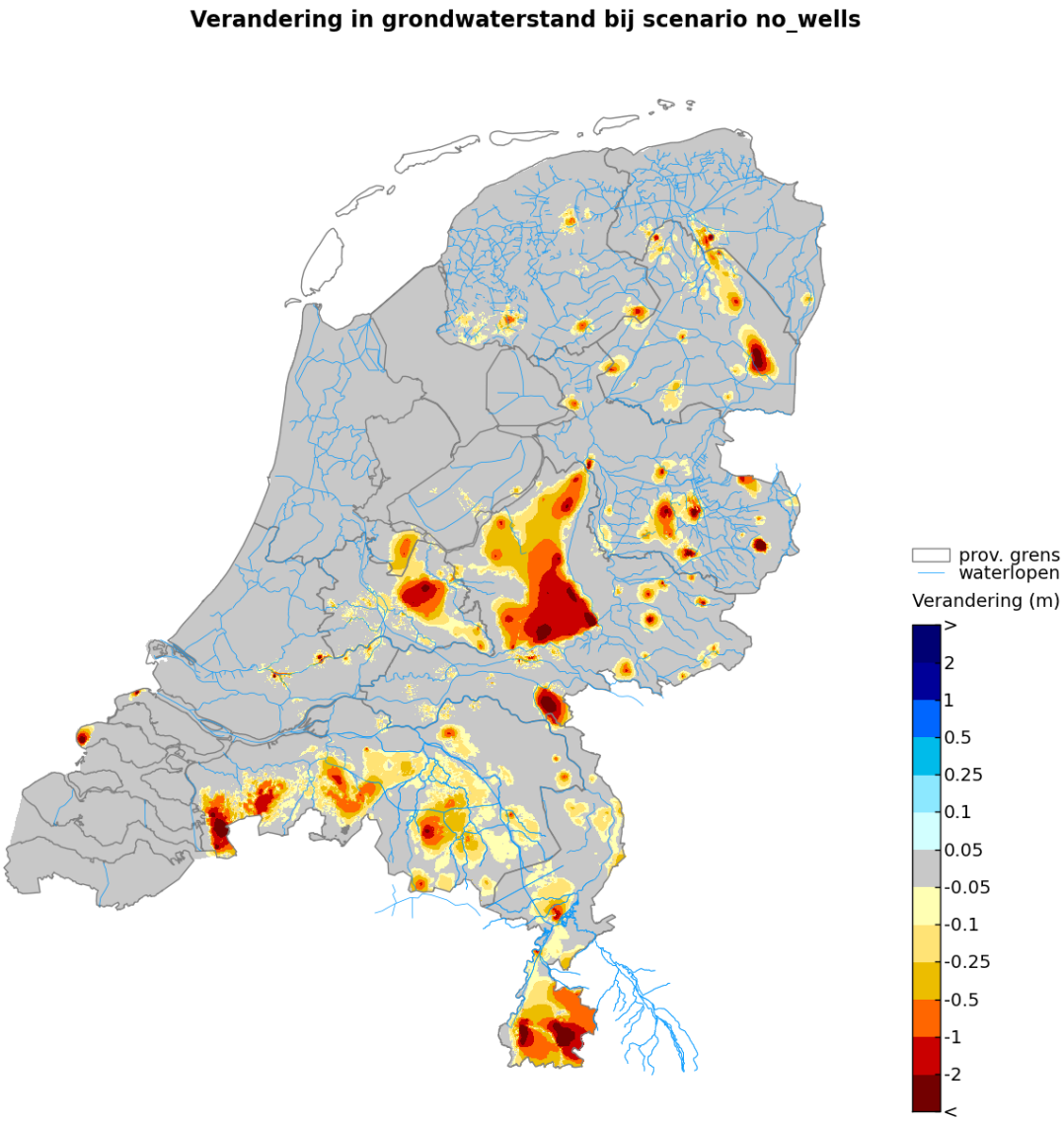
Figuur A3 Diepte van watervoerend pakket WVP3 (bron: NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2)



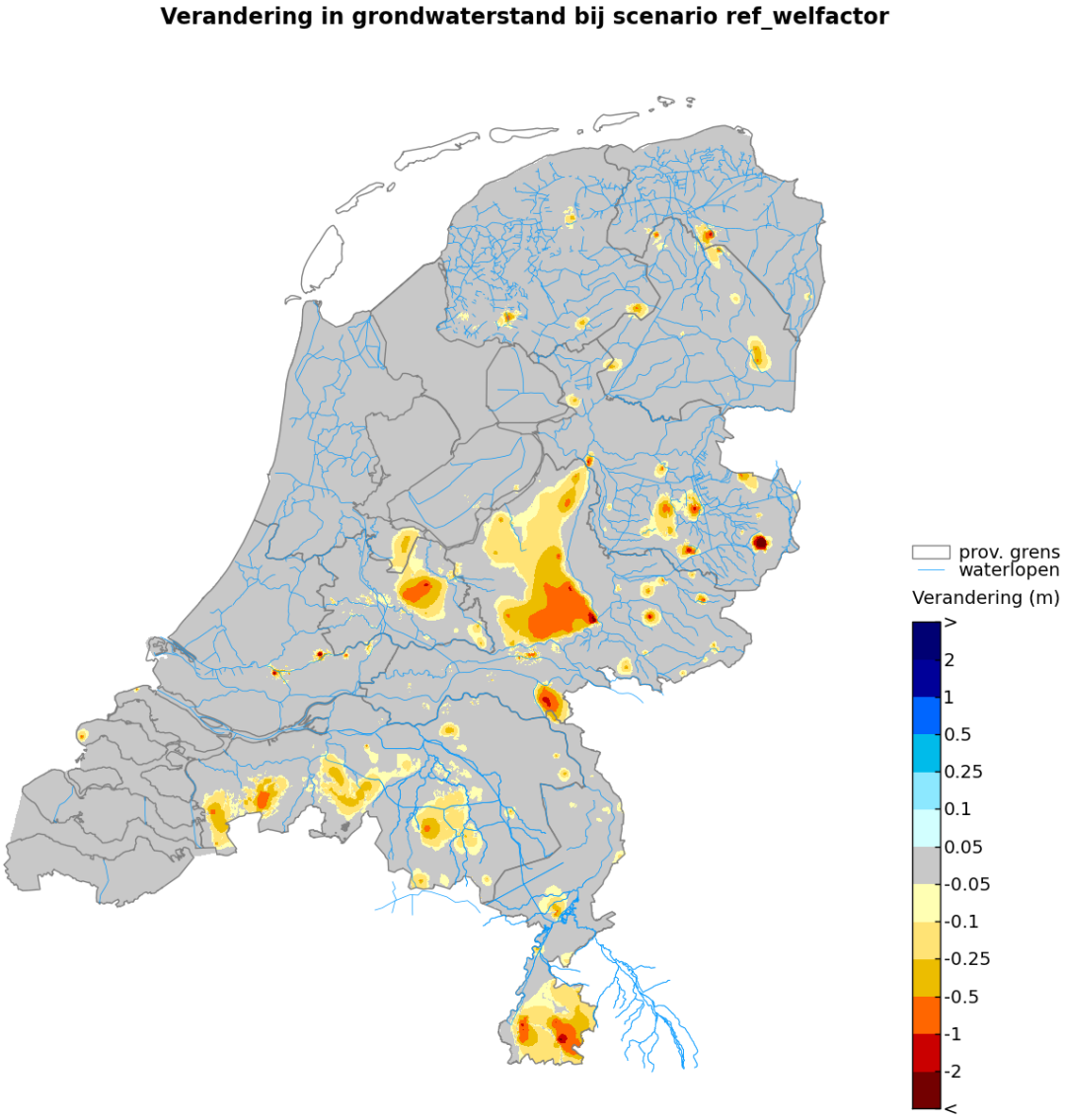
Figuur A4. Overzicht weerstanden van weerstandsbiedende lagen SDL1-3 (bron: NHI Modelrapportage fase 2, Deelrapport 1 Ondergrond fase 2).

B Figuren globale effectanalyse (stationaire modelberekeningen)

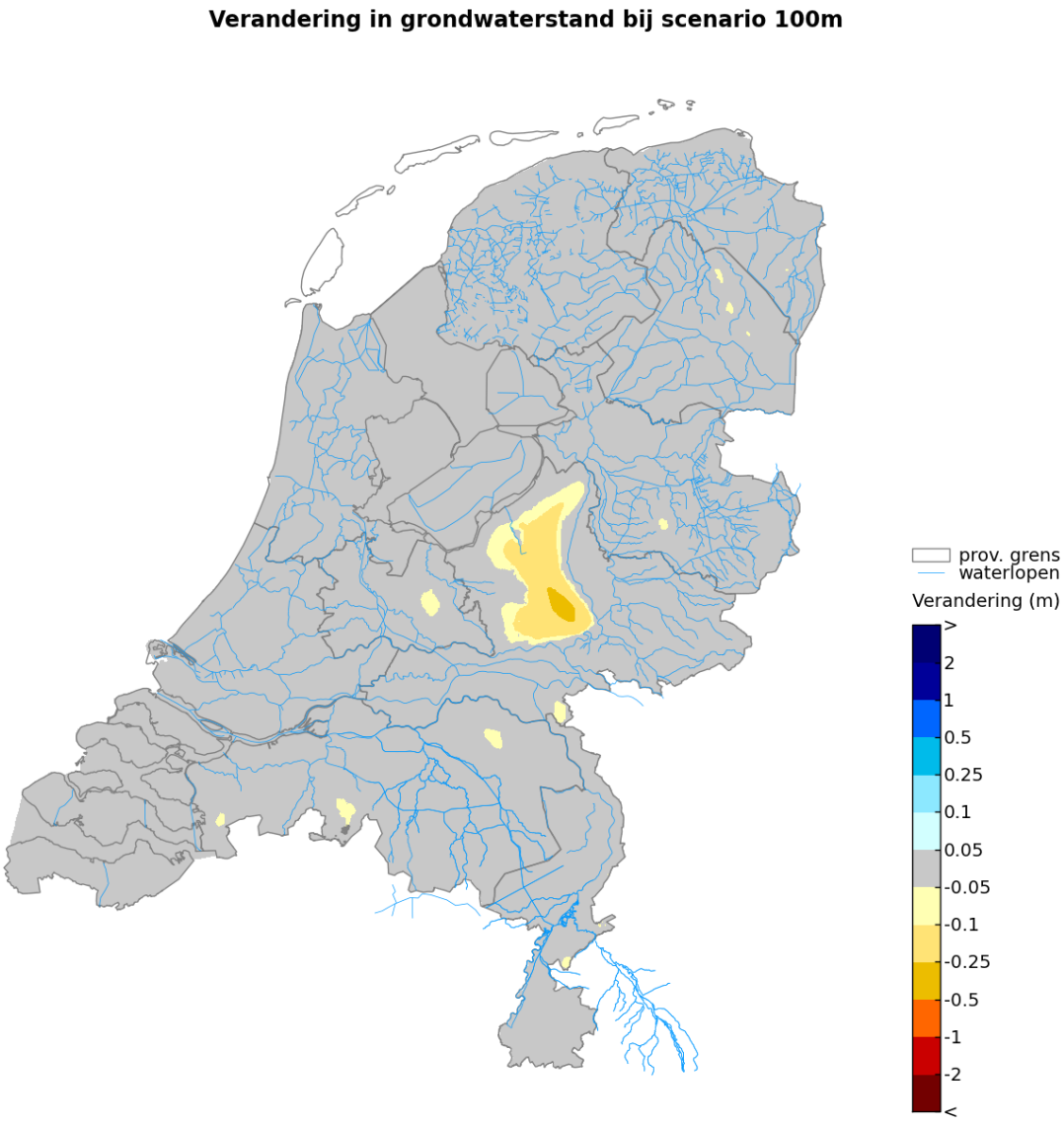
B.1 Verwijderen huidige winningen



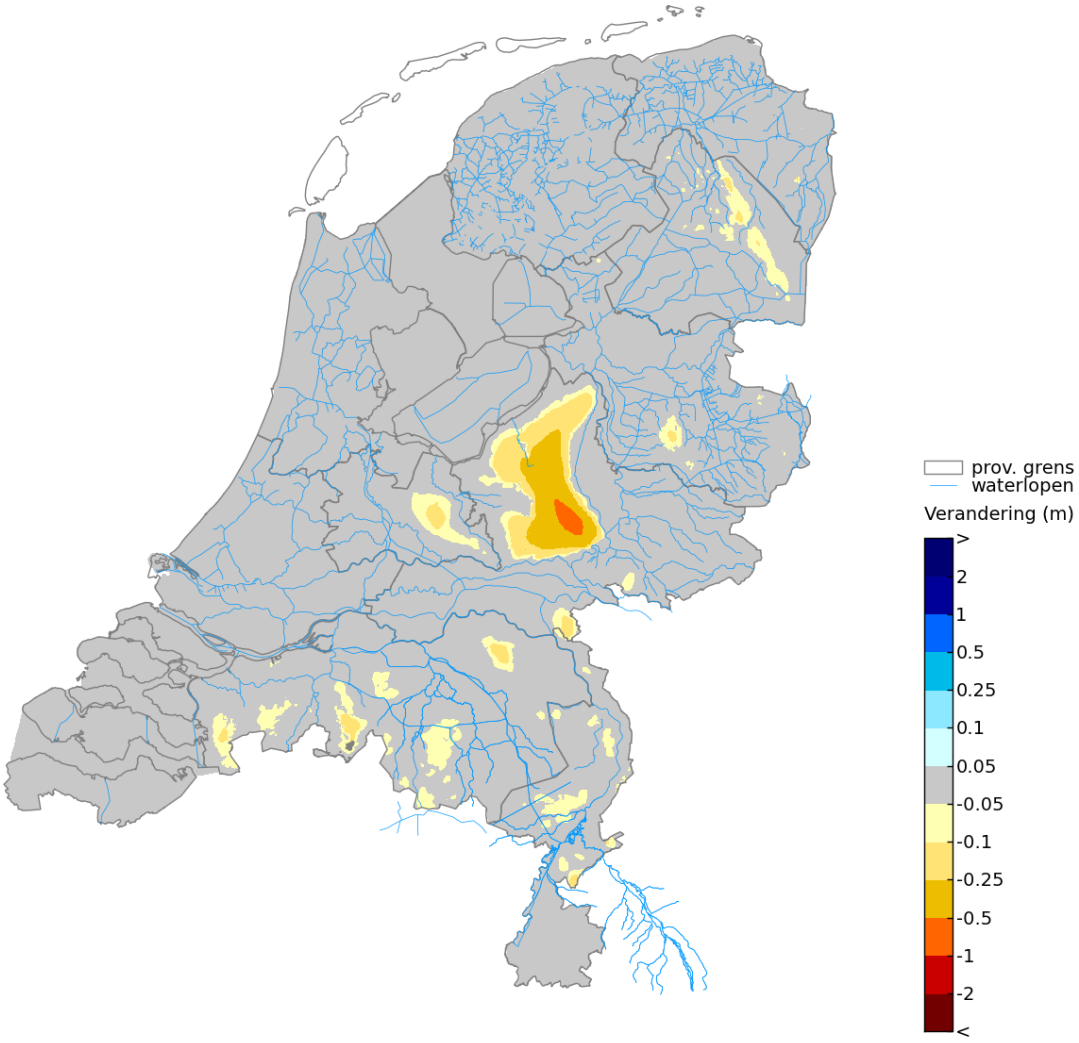
B.2 Verhogen huidige winningen



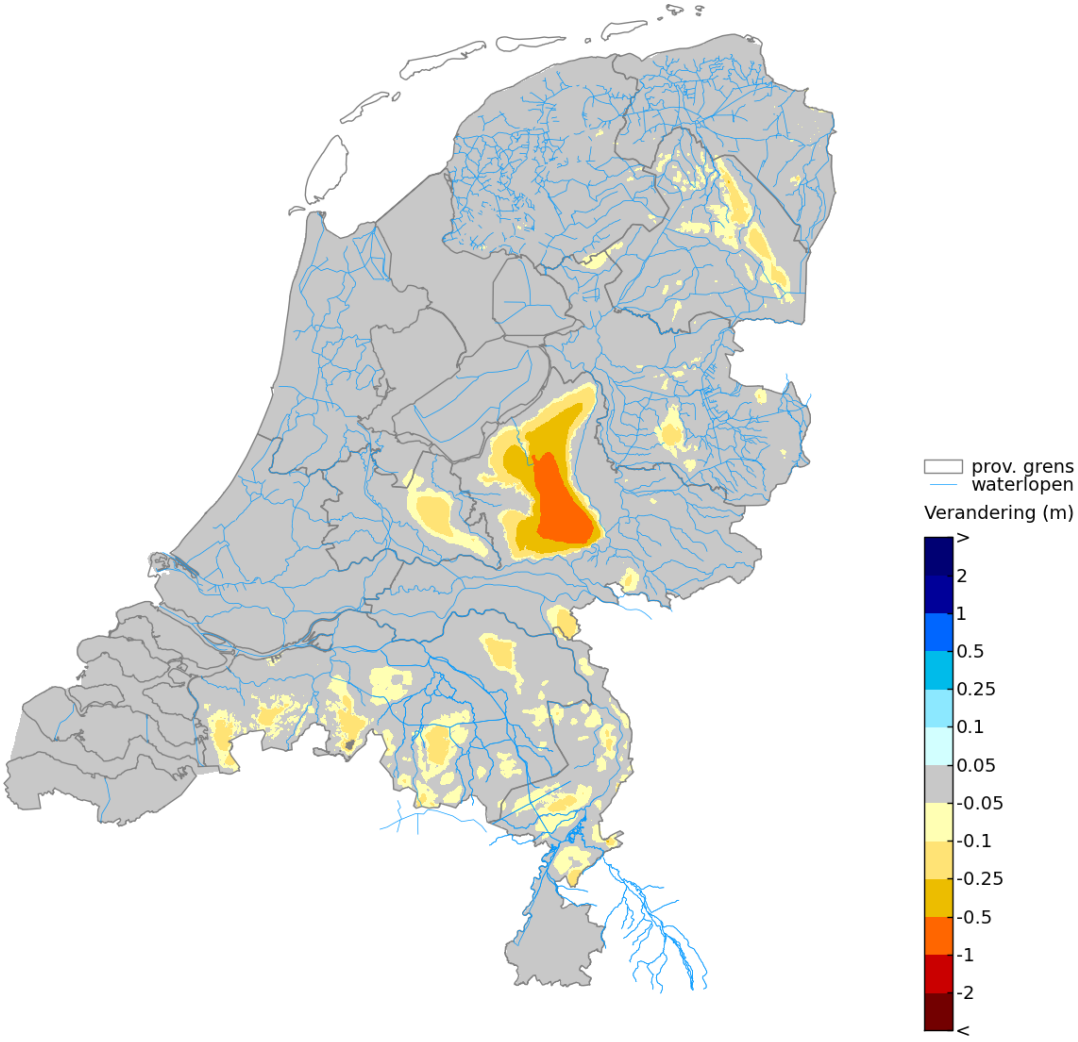
B.3 Diffuse winningen



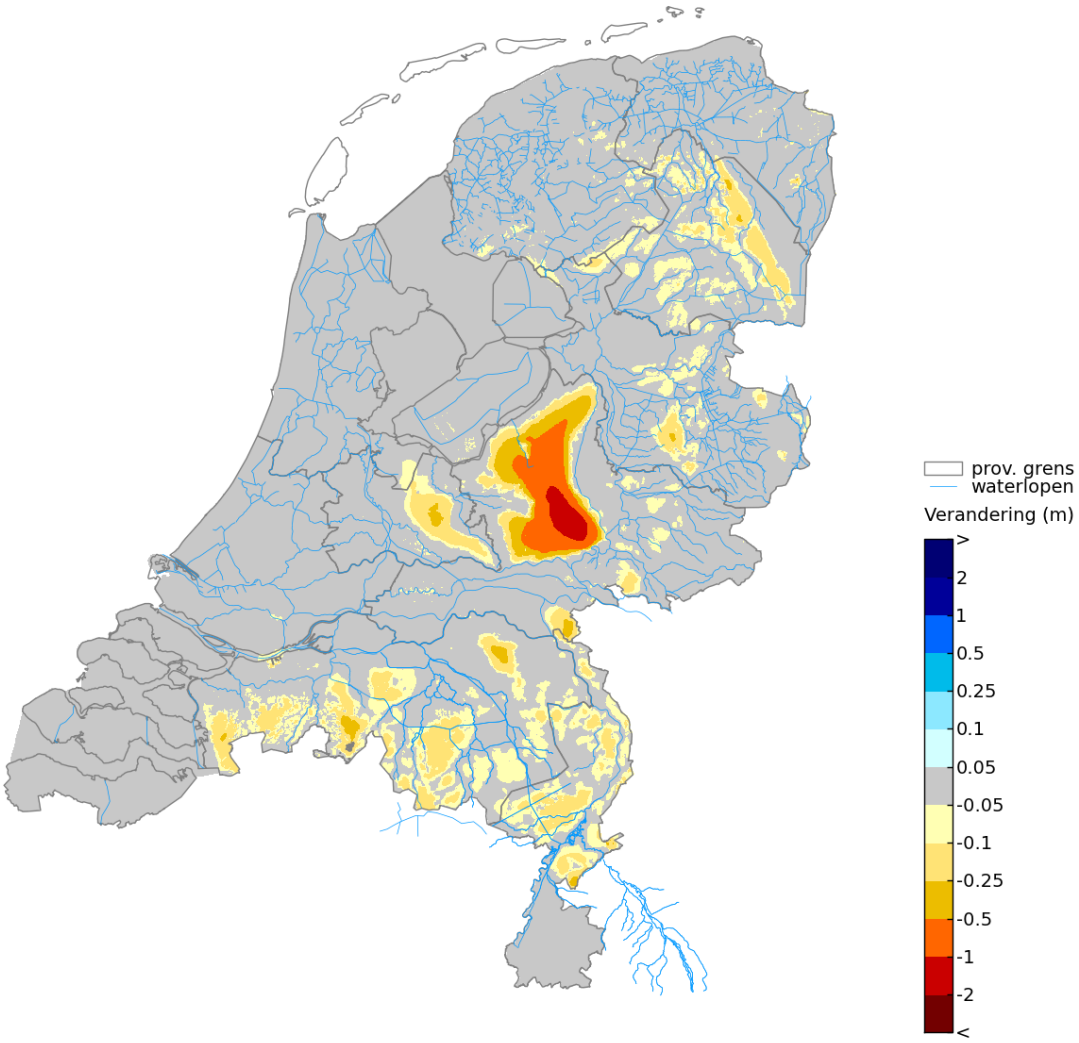
Verandering in grondwaterstand bij scenario 200m



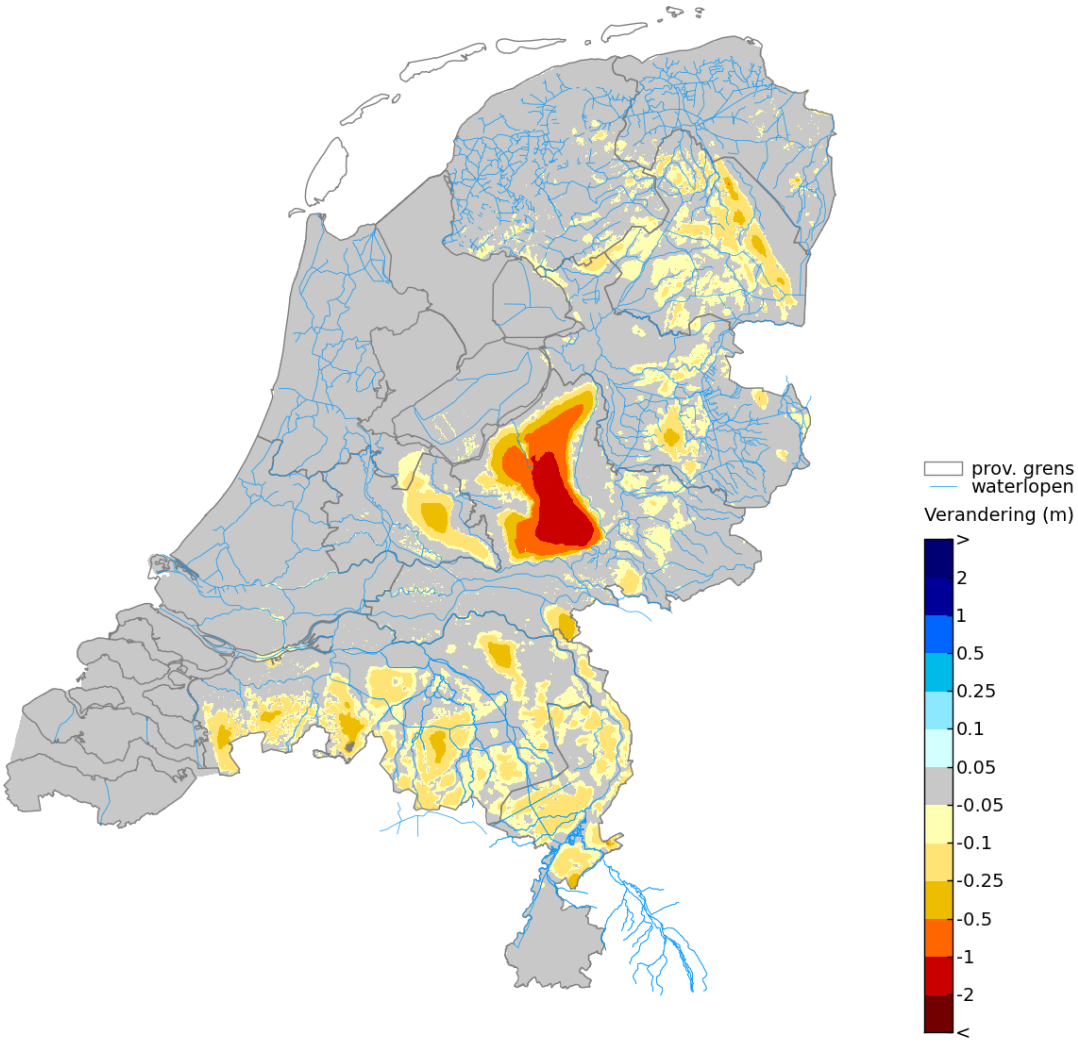
Verandering in grondwaterstand bij scenario 300m



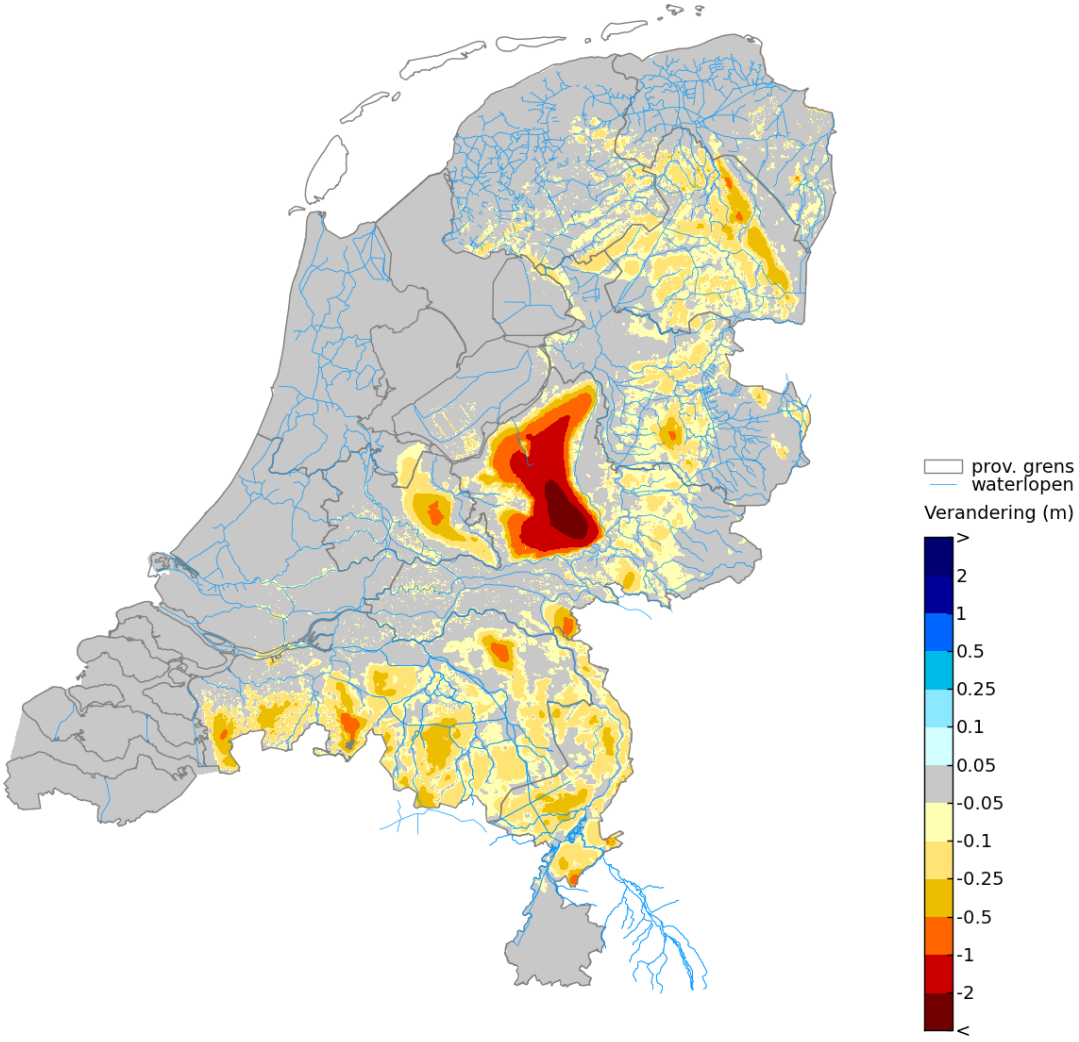
Verandering in grondwaterstand bij scenario 450m



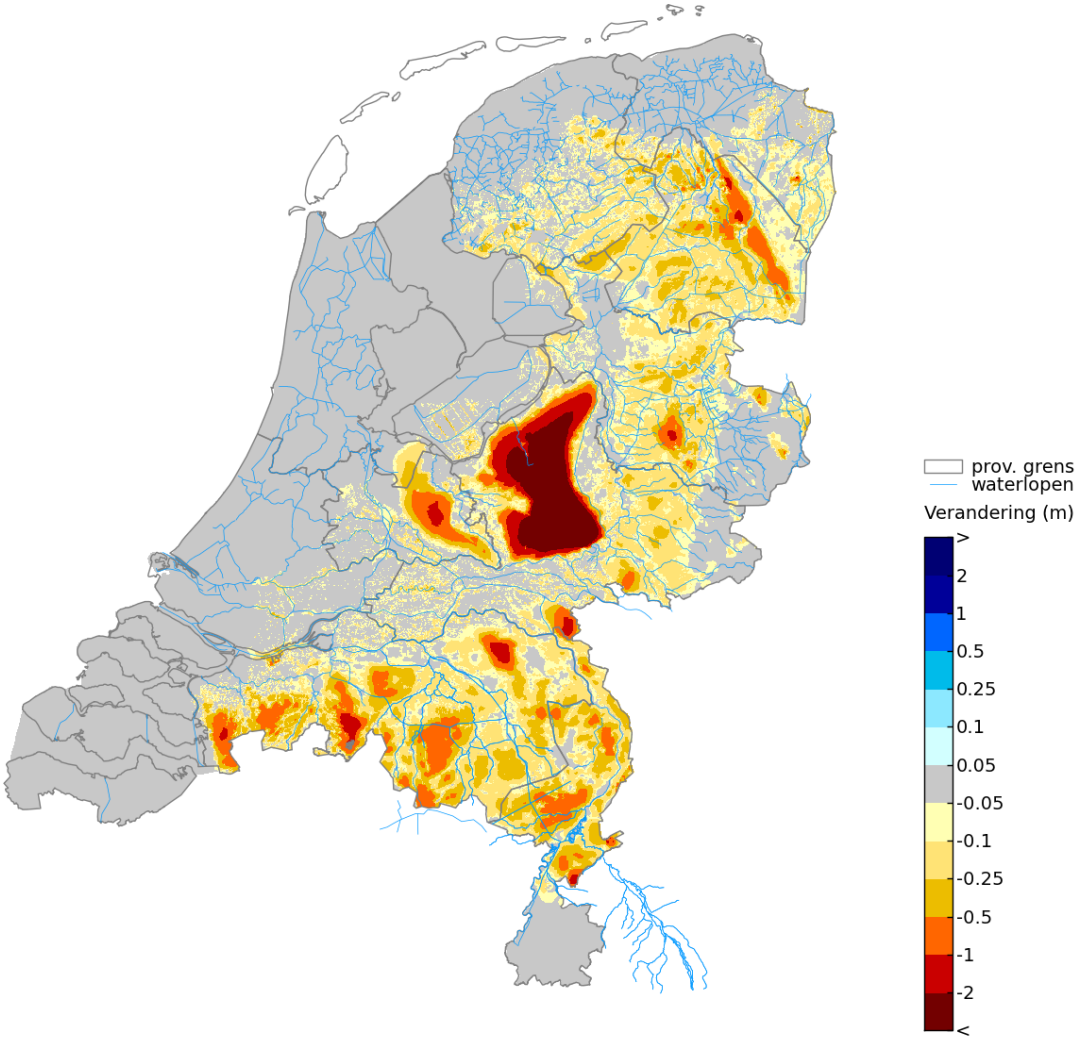
Verandering in grondwaterstand bij scenario 600m



Verandering in grondwaterstand bij scenario 900m

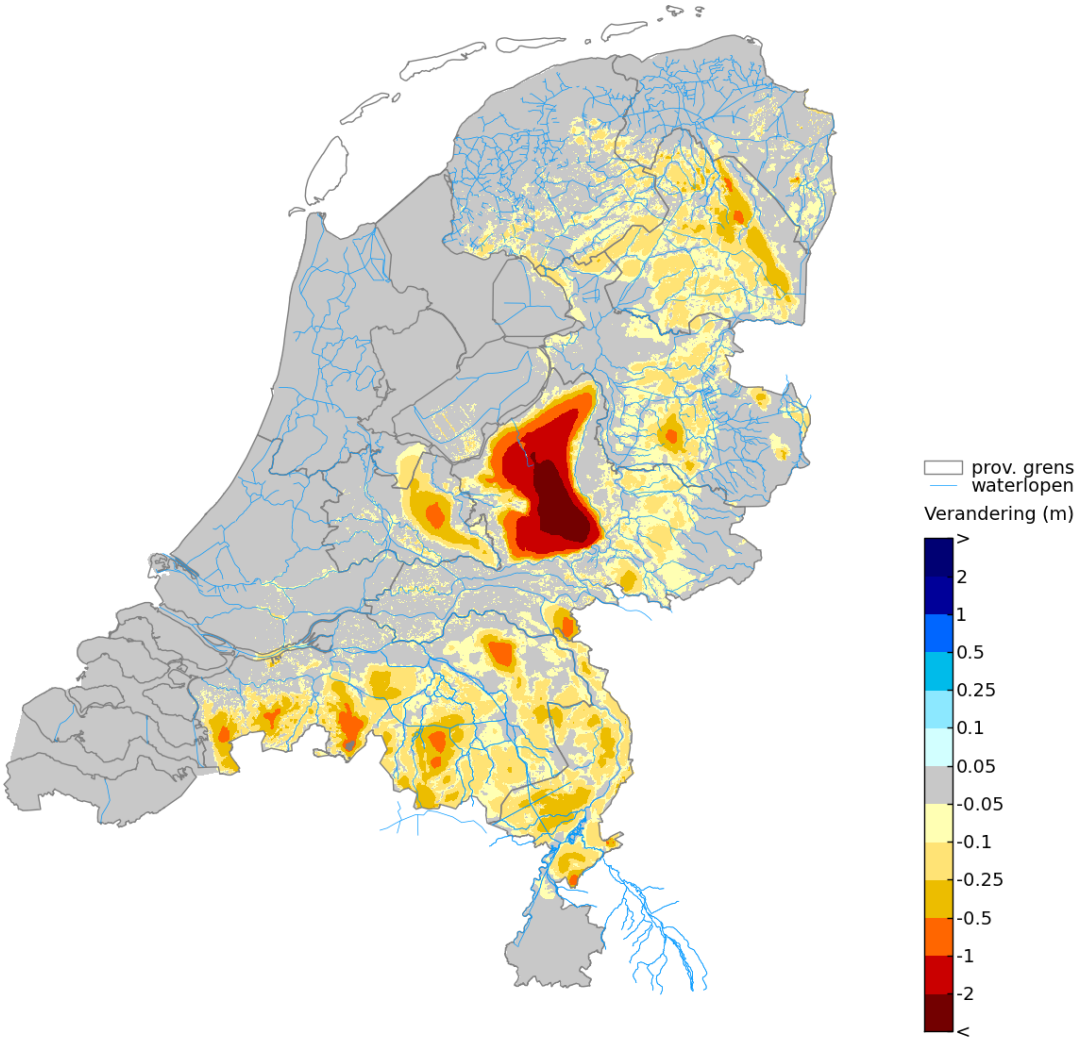


Verandering in grondwaterstand bij scenario 1800m

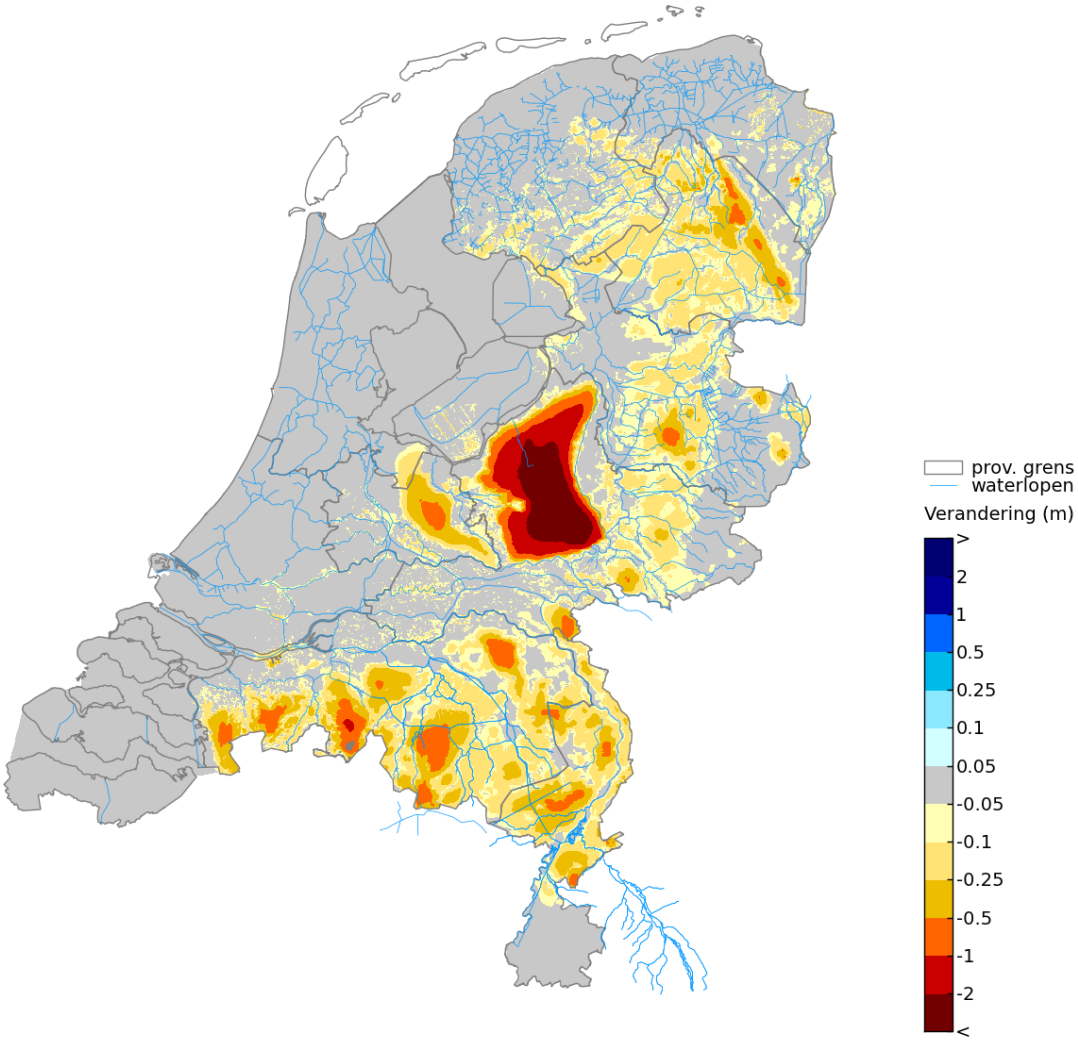


B.4 Diffuse winning van 900 m3/jaar met verlaging grondwateraanvulling

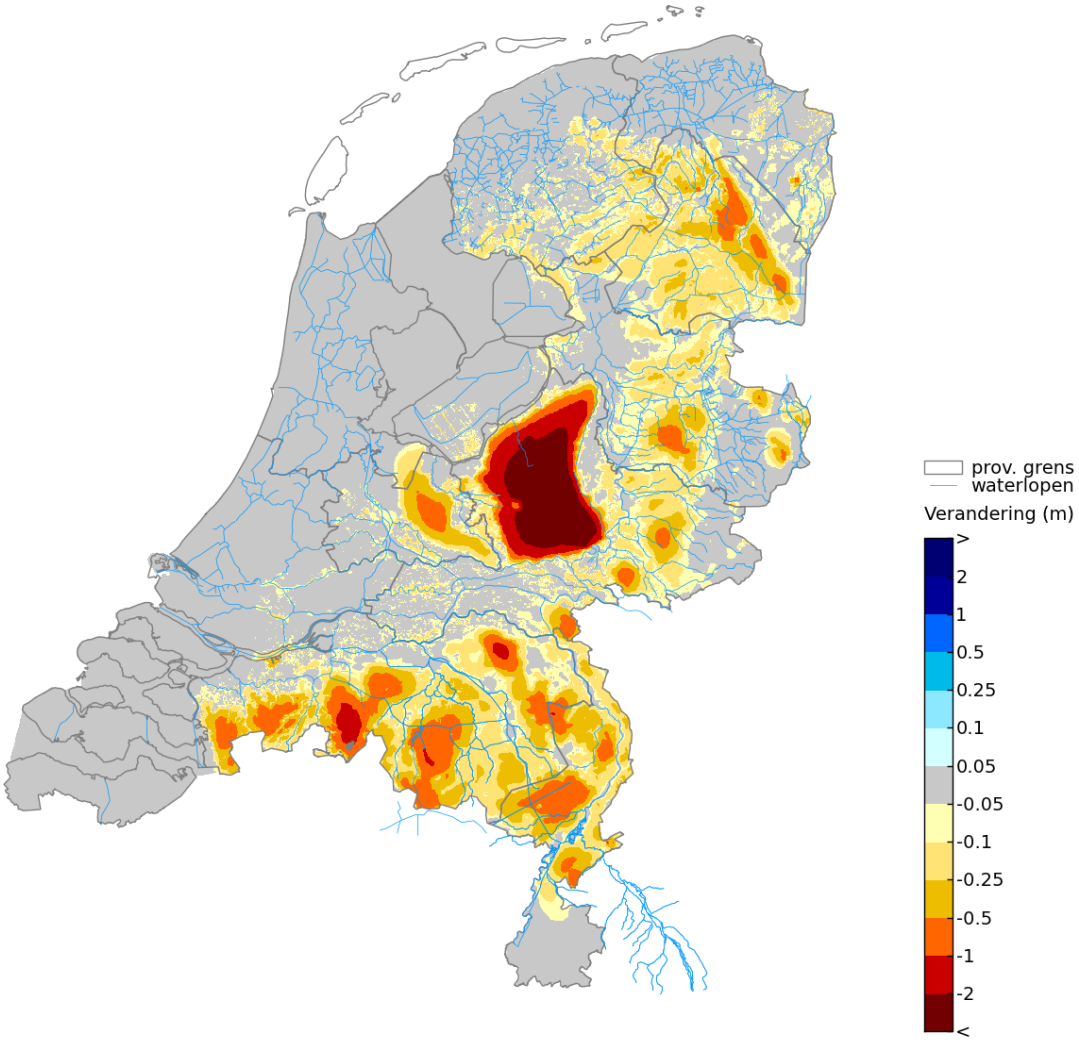
Verandering in grondwaterstand bij scenario 900m-50mm



Verandering in grondwaterstand bij scenario 900m-100mm

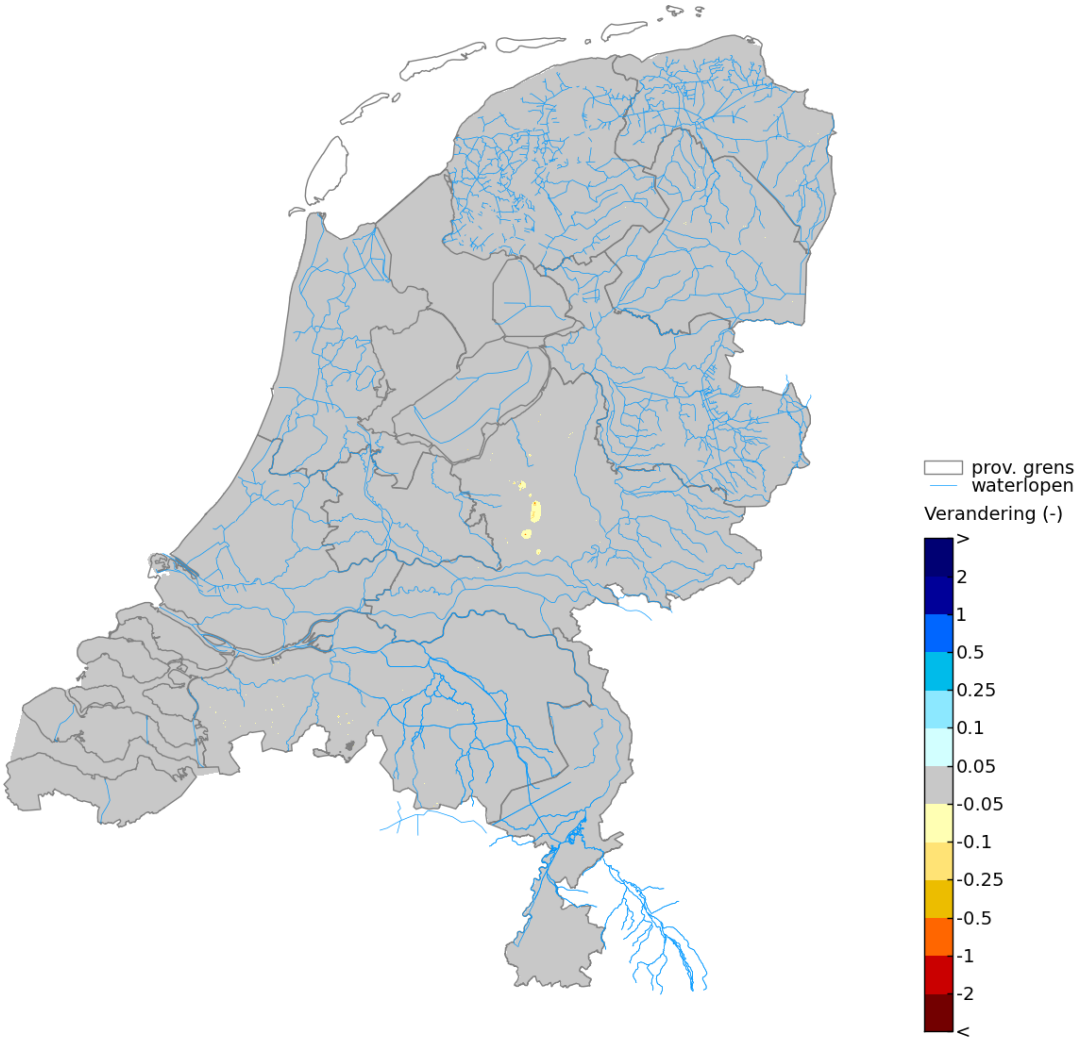


Verandering in grondwaterstand bij scenario 900m-150mm

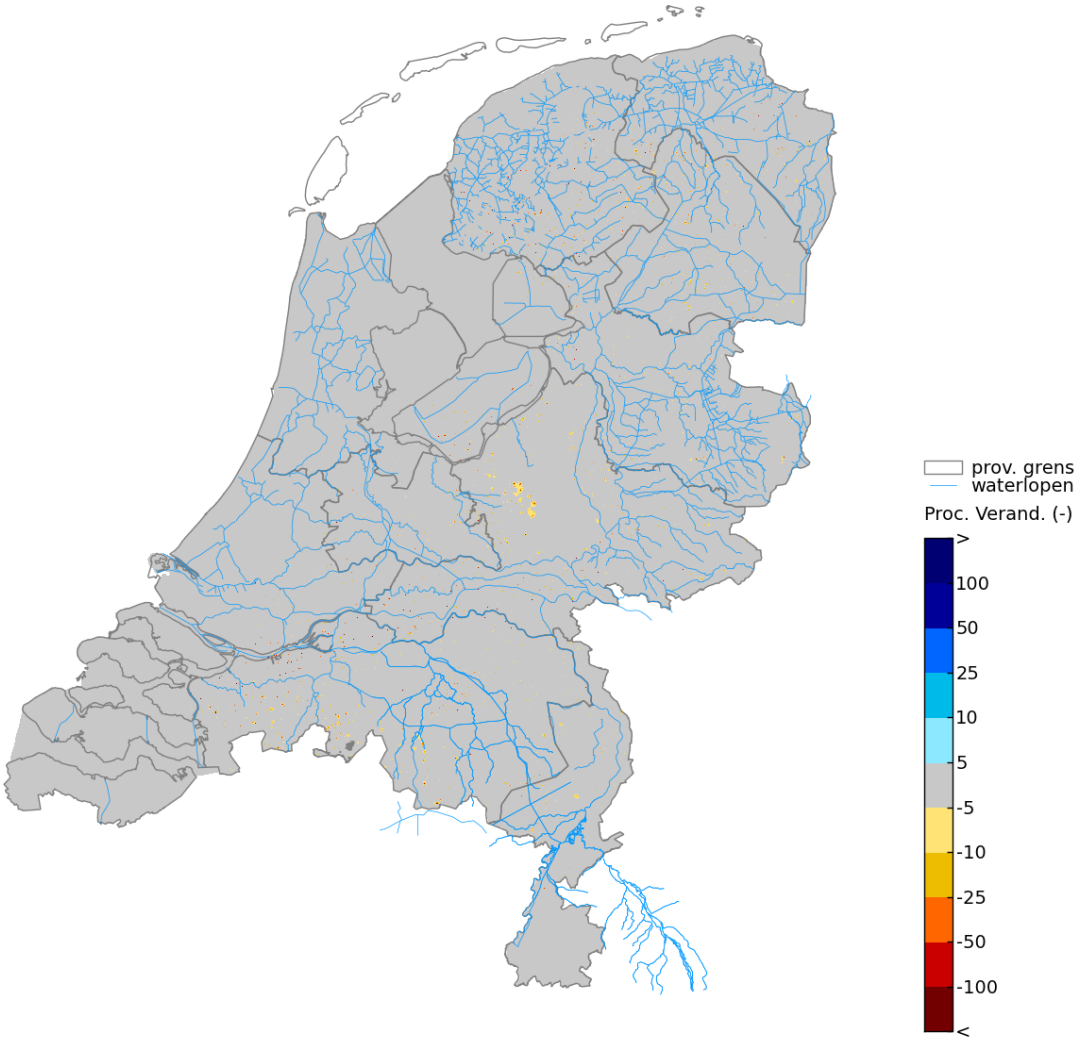


B.5 Geschaalde effecten extra grondwateronttrekking

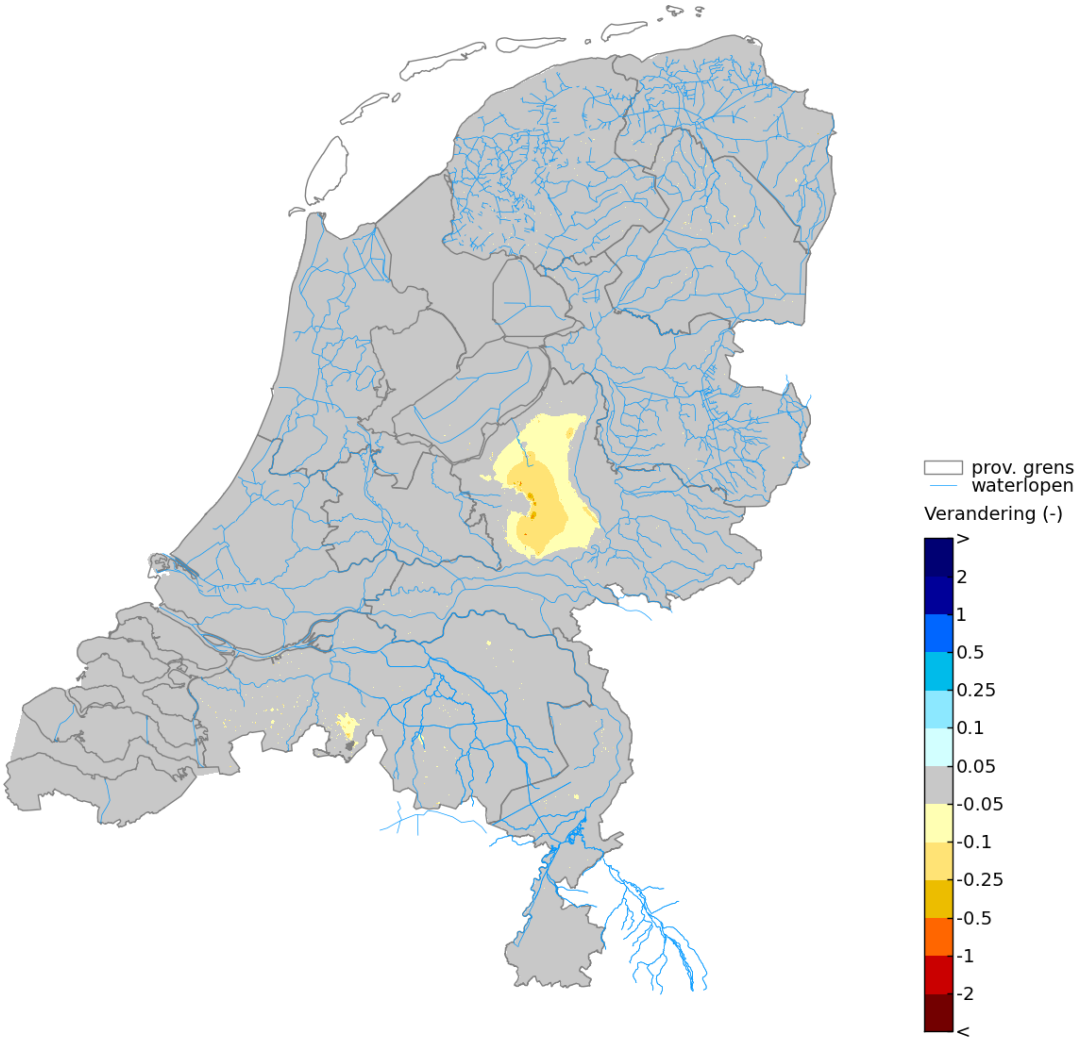
Verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (200m - referentie)



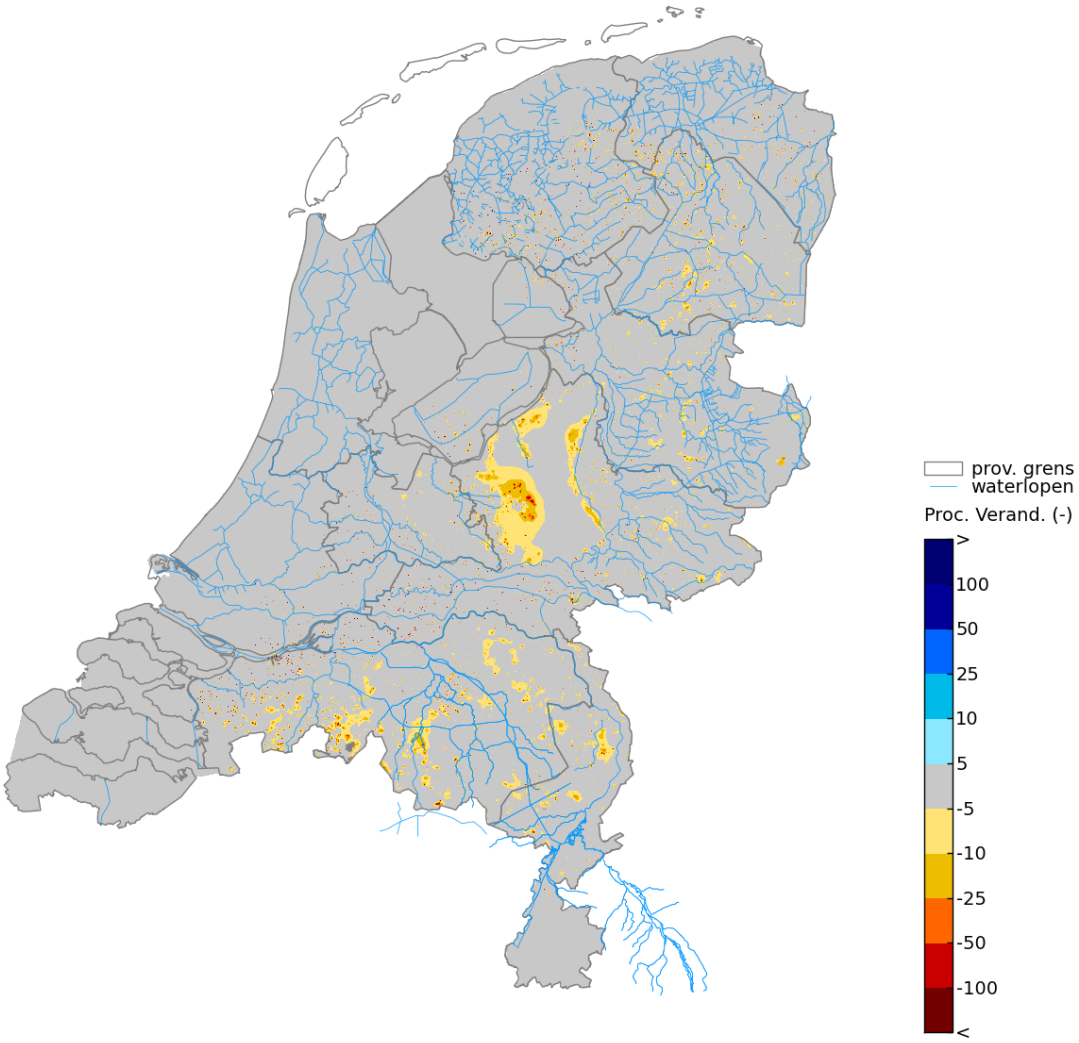
Procentueel verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (200m - referentie)



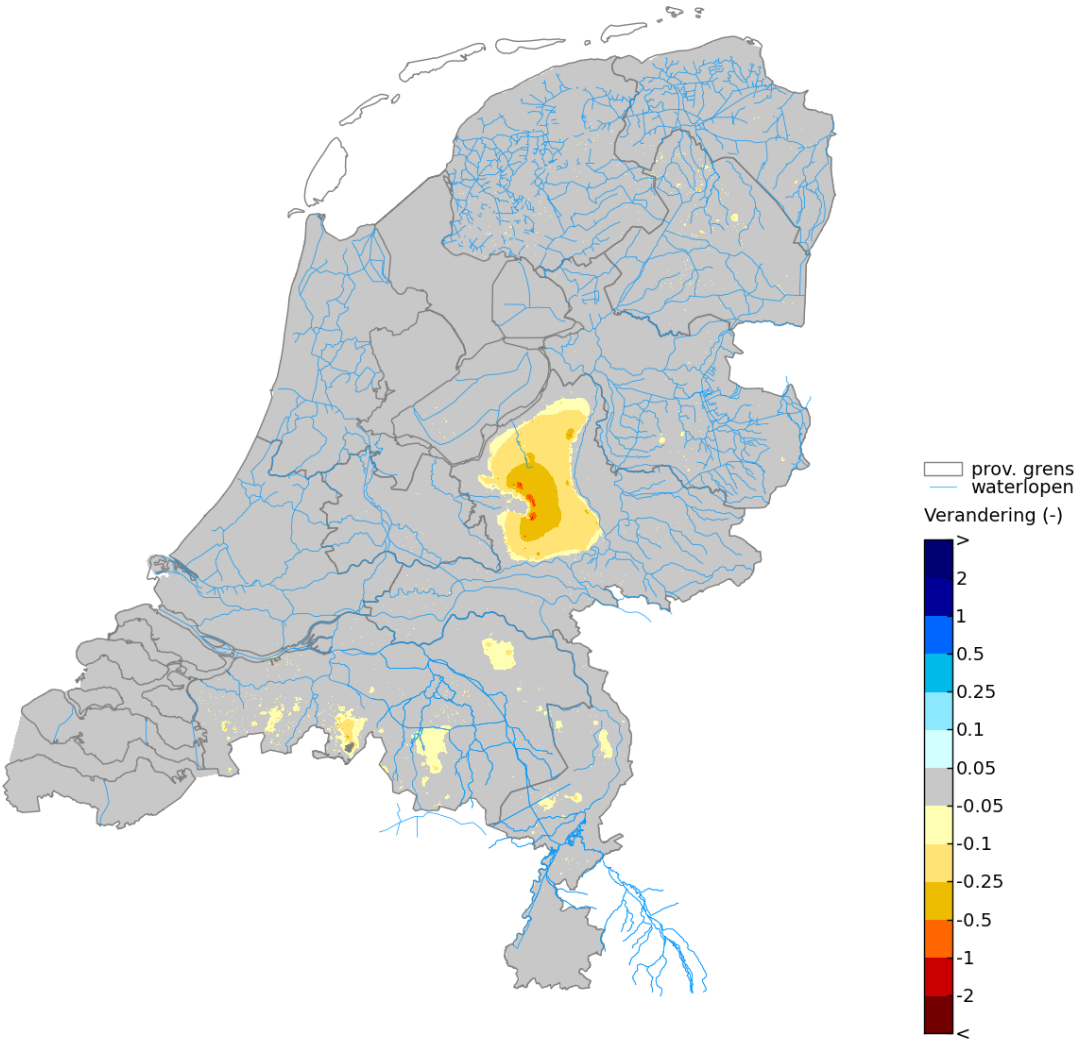
Verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (450m - referentie)



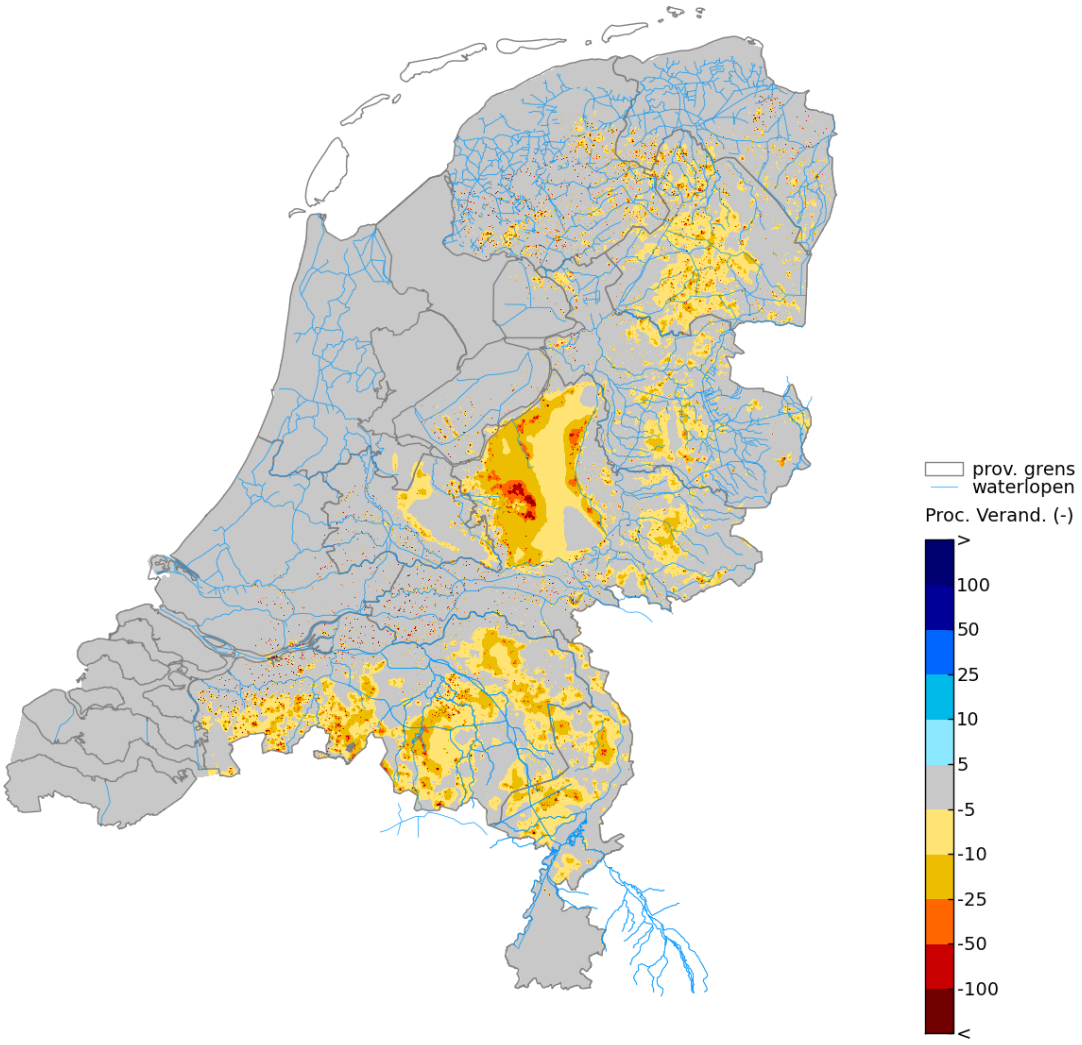
Procentueel verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (450m - referentie)



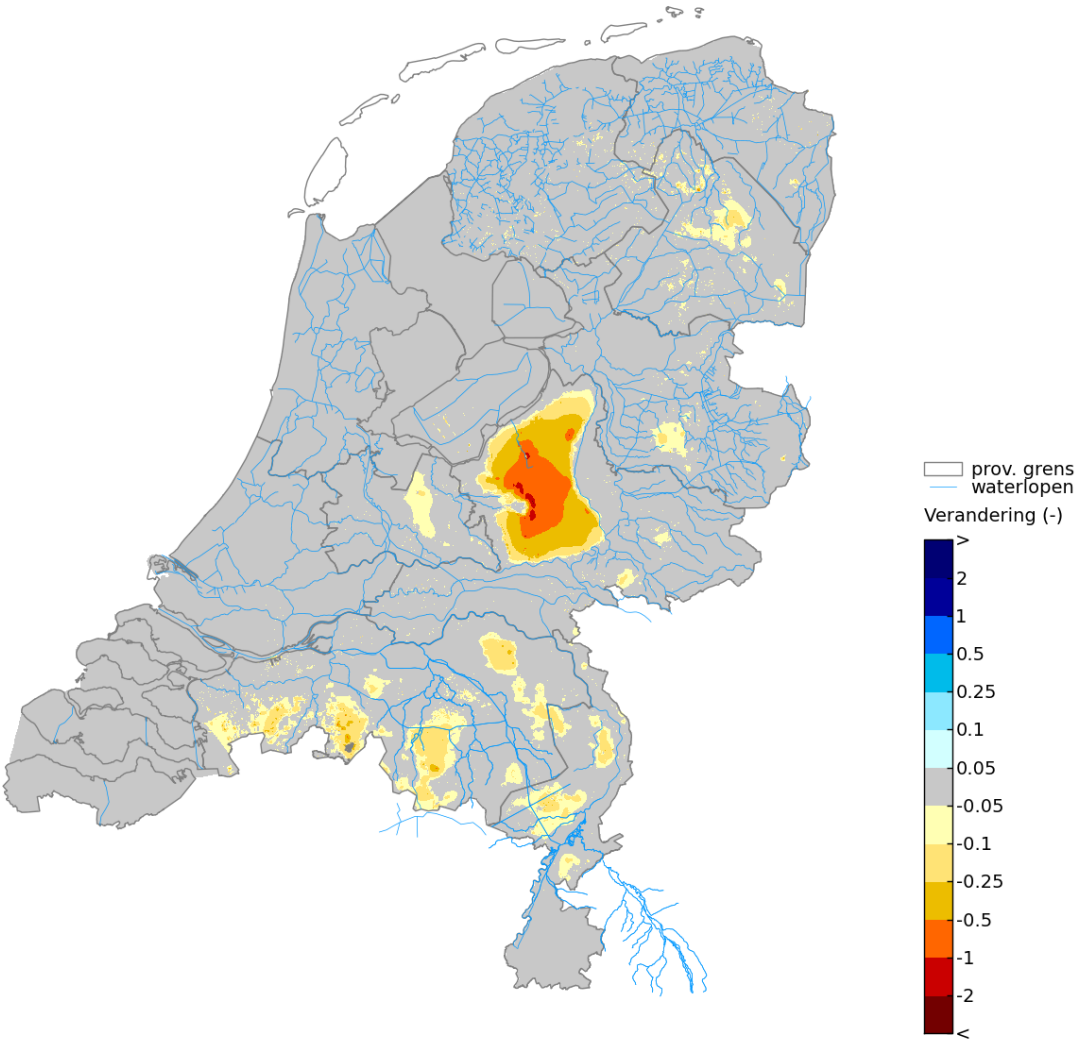
Verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (900m - referentie)



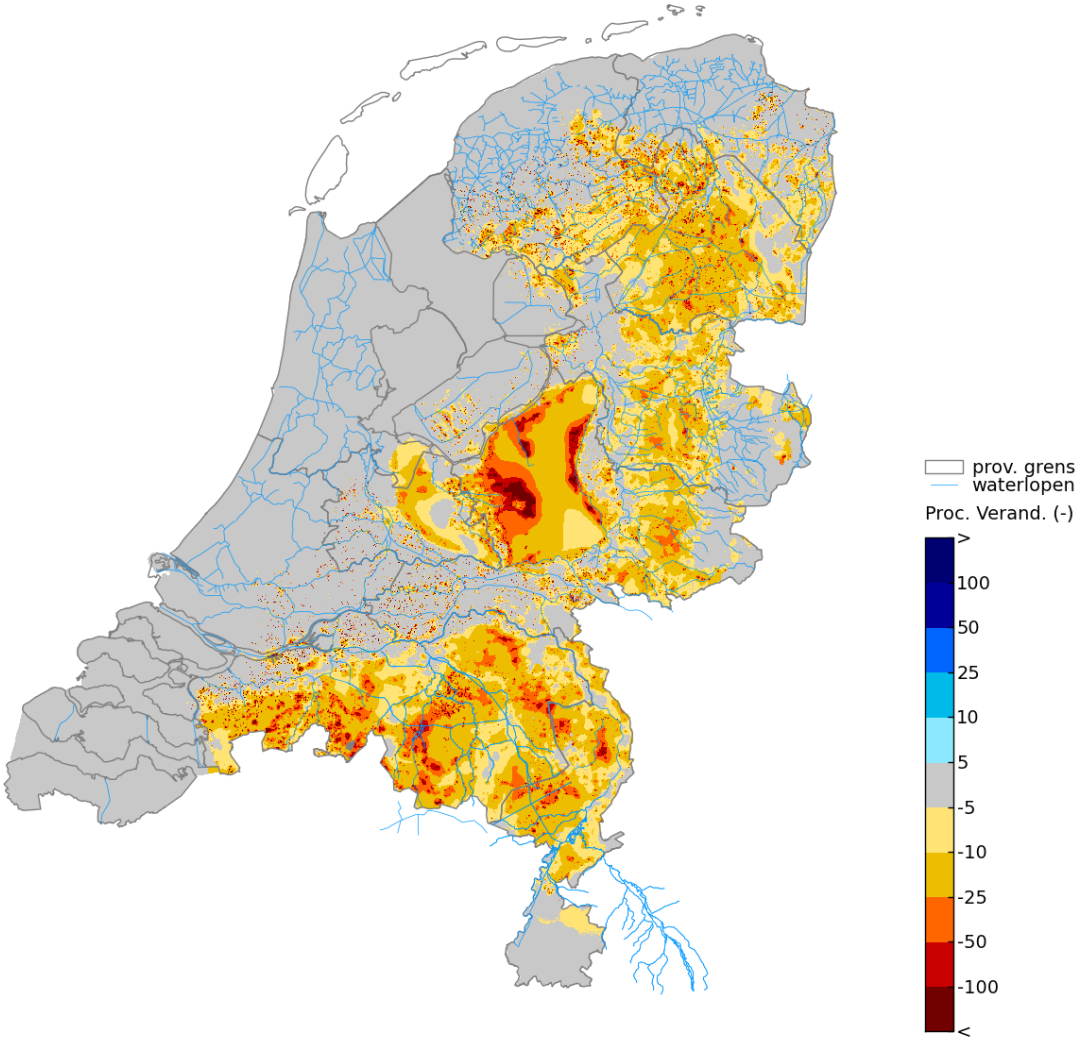
Procentueel verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (900m - referentie)



Verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (1800m - referentie)

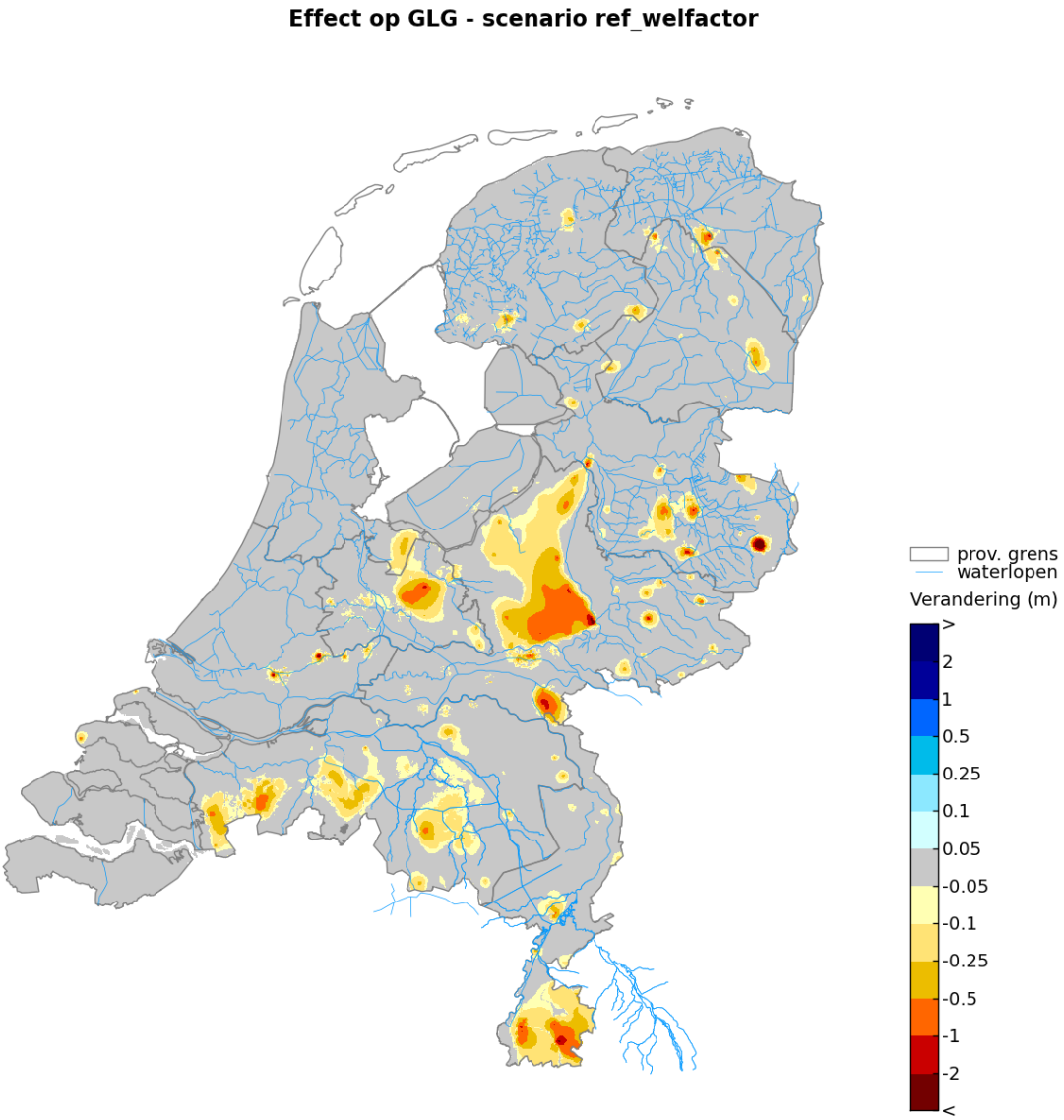


Procentueel verschil in verschaalde verandering grondwaterstand (1800m - referentie)

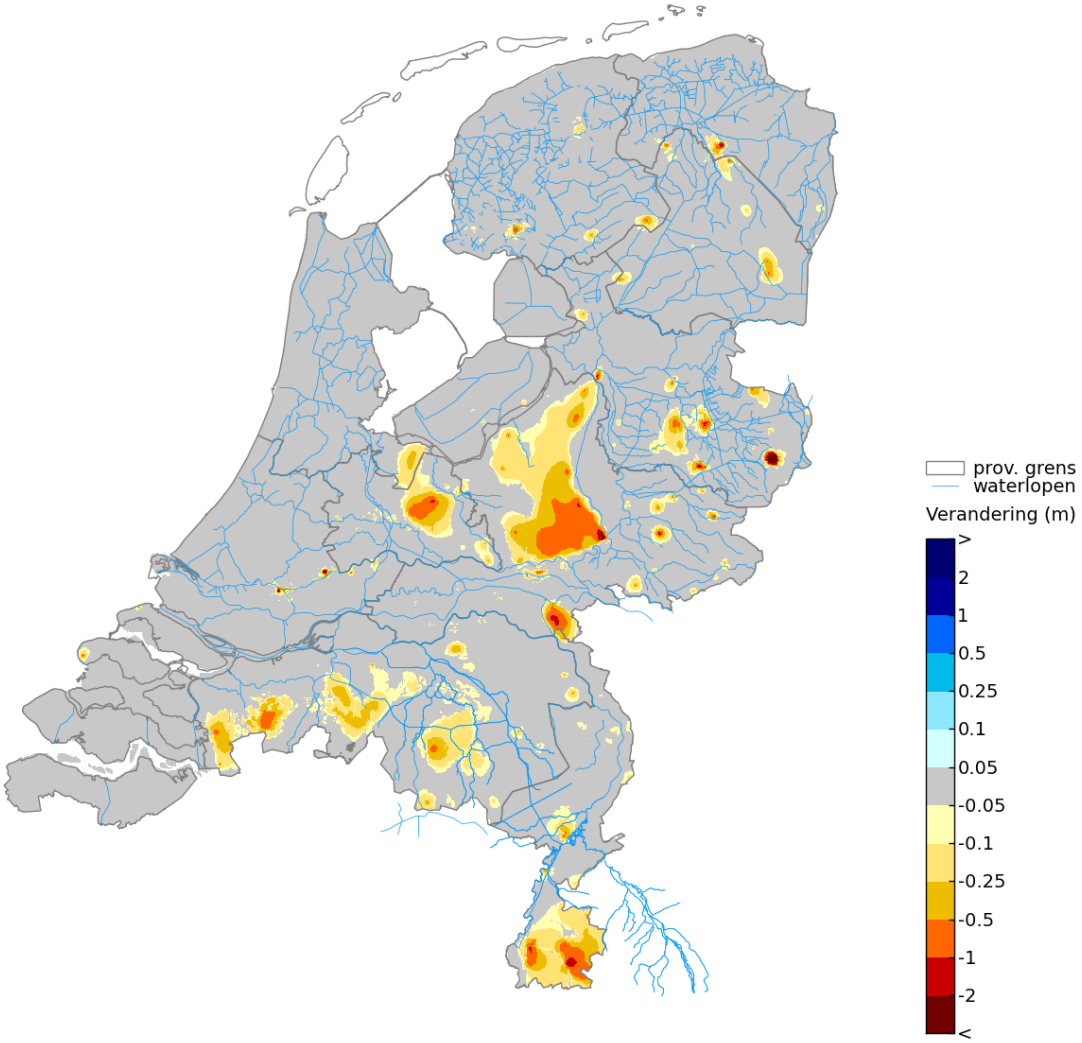


C Figuren effectberekeningen (niet-stationaire modelberekeningen)

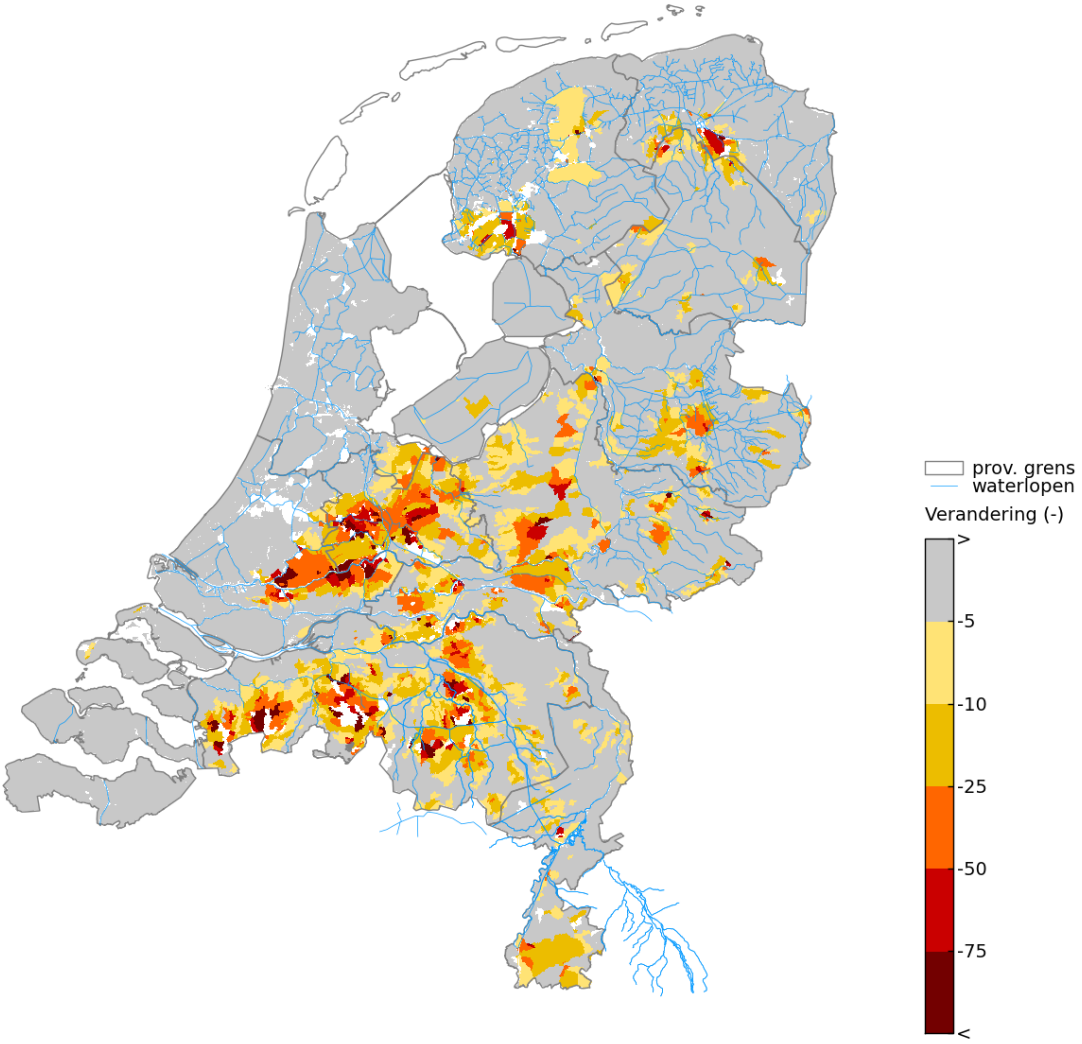
C.1 Effecten toename huidige winningen



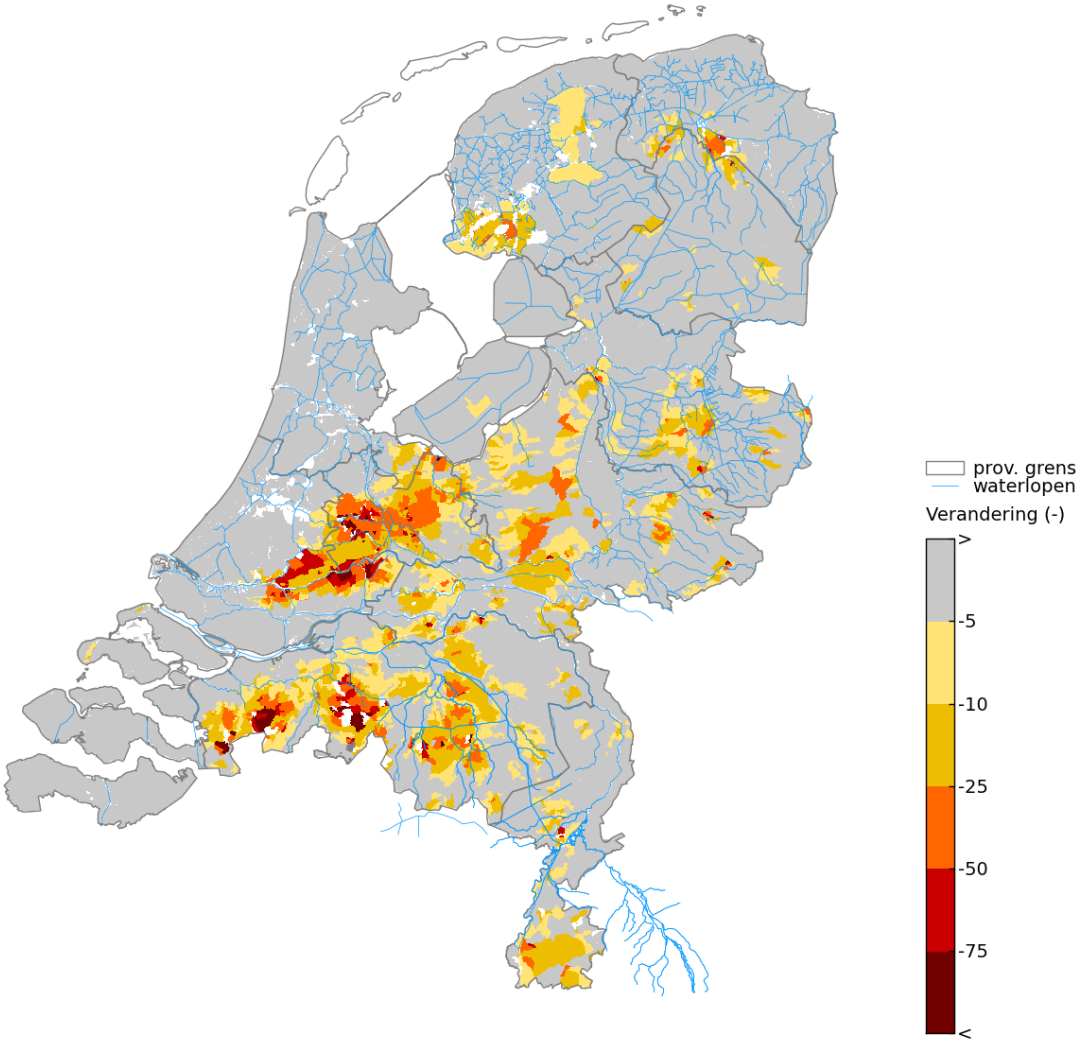
Effect op GHG - scenario ref_welfactor

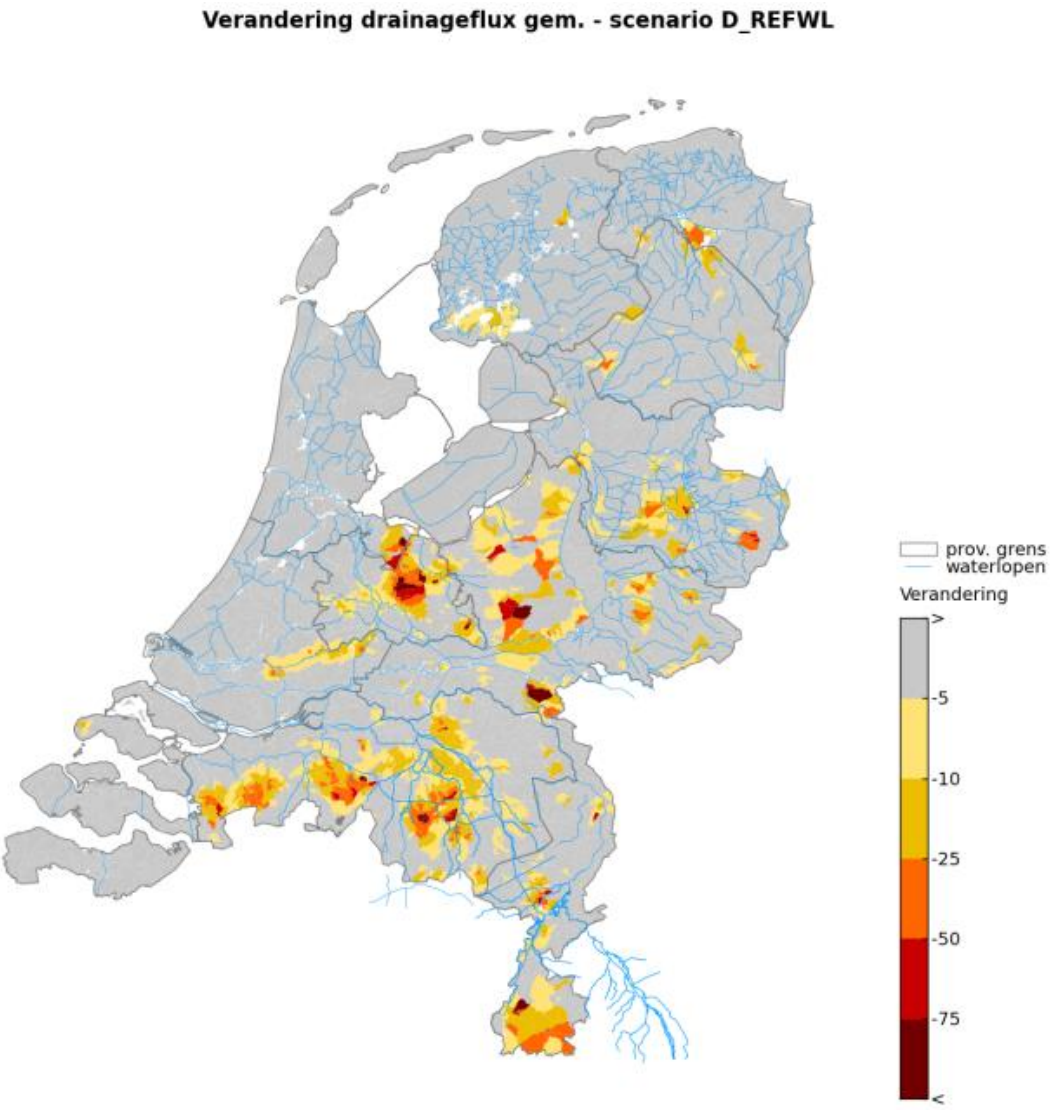


% verandering in zomer kwelflux - scenario ref_welfactor

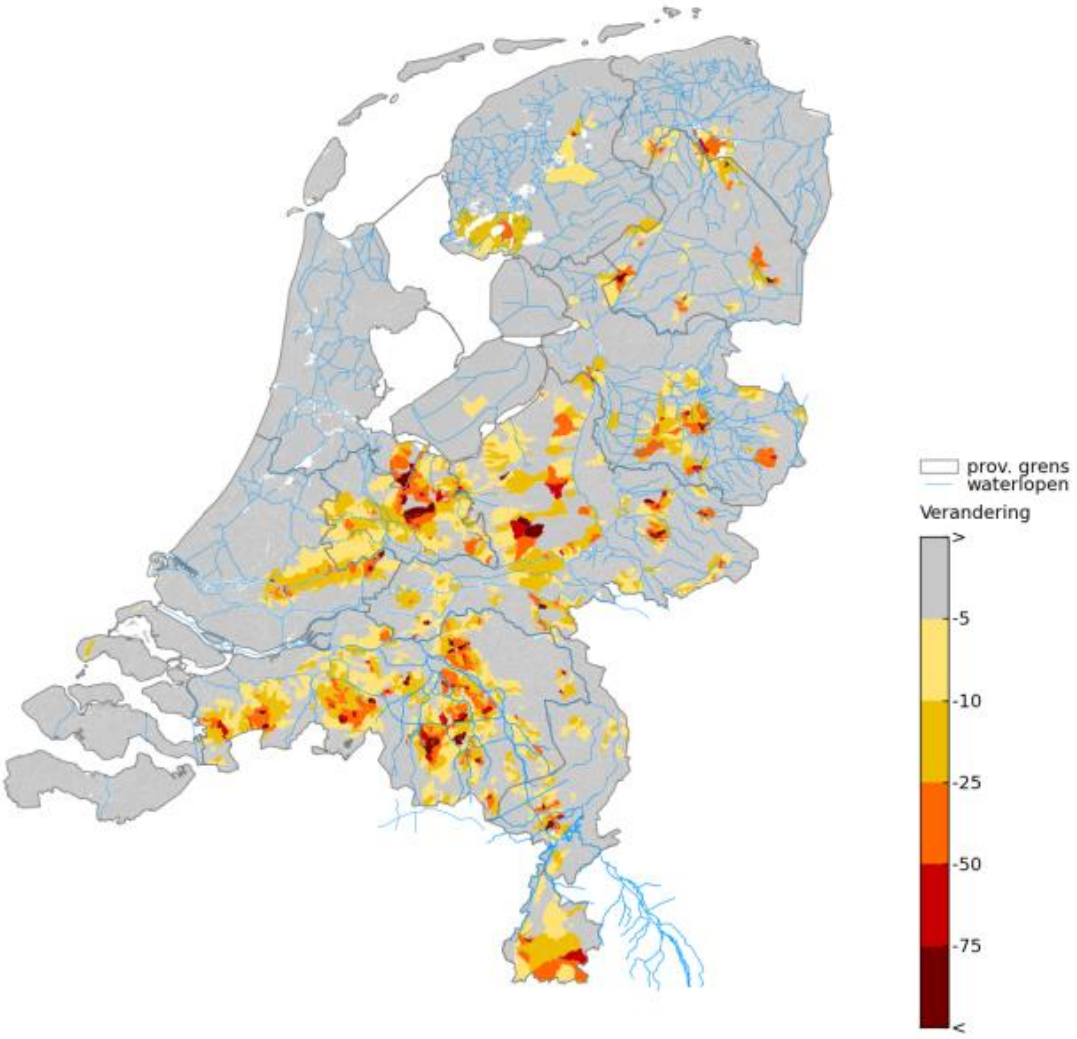


% verandering in gem. kwelflux - scenario ref_welfactor

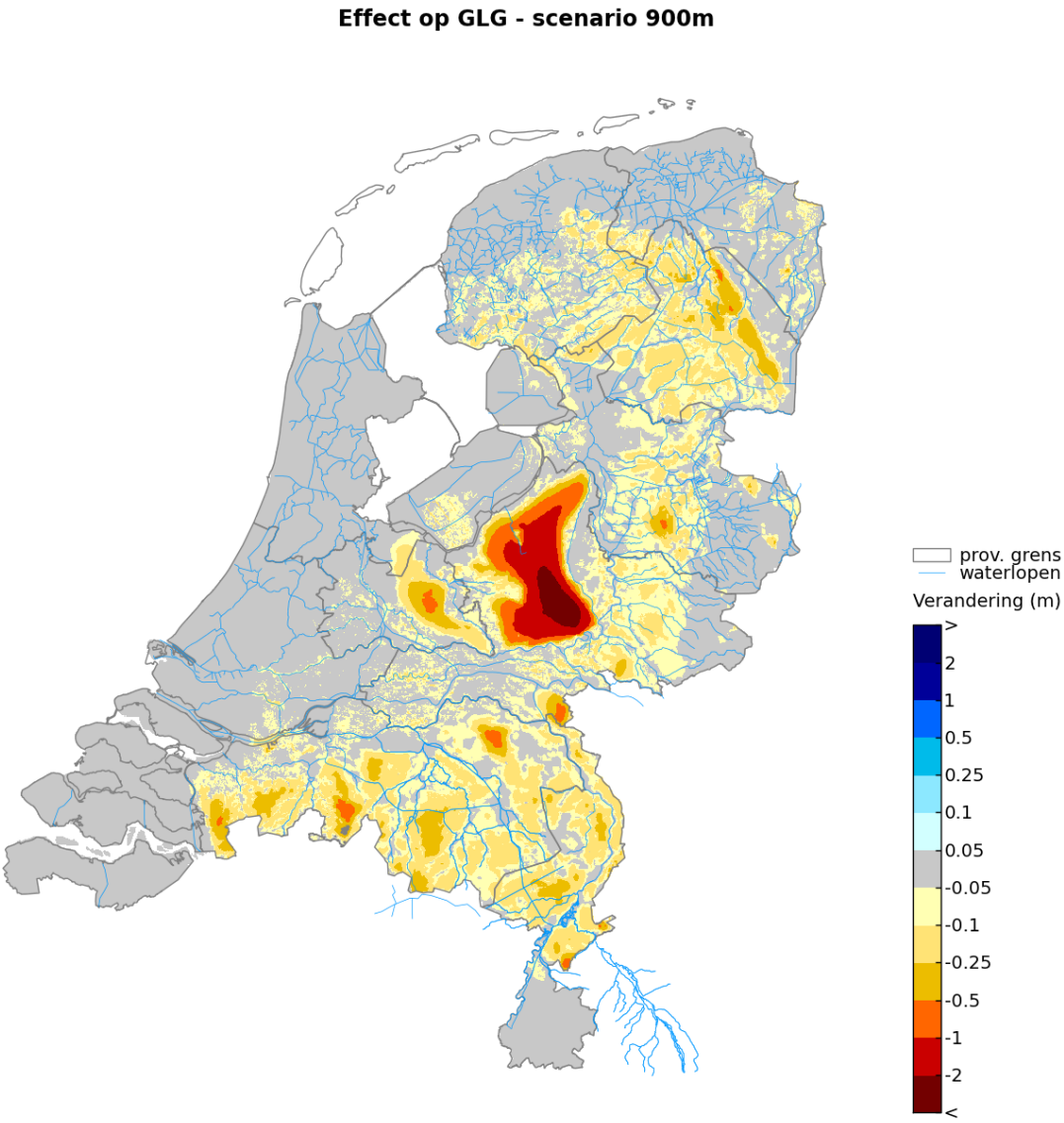



Verandering drainageflux gem. - scenario D_REFWL
prov. grens
waterlopen
Verandering
>
-5
-10
-25
-50
-75
<

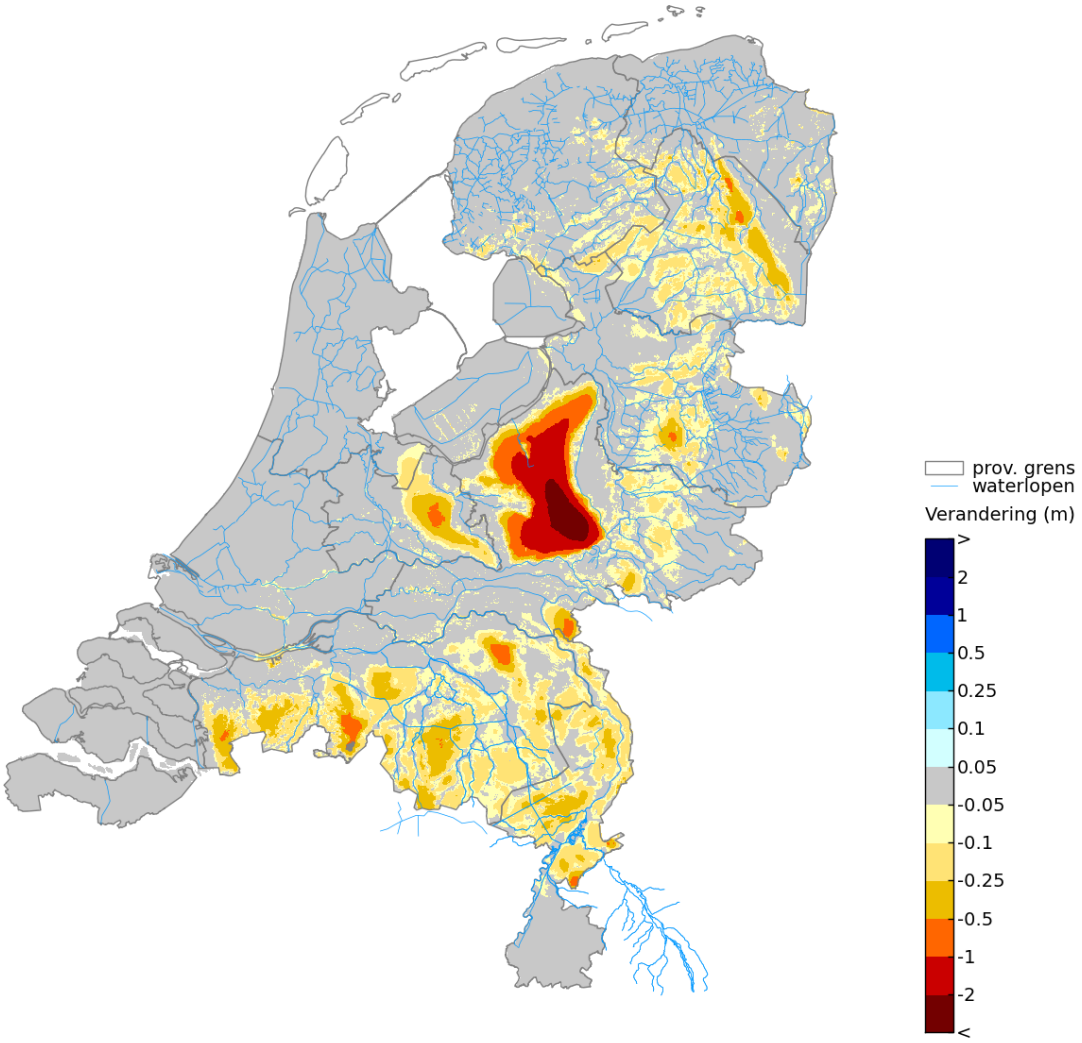
Verandering drainageflux zomer - scenario D_REFWL



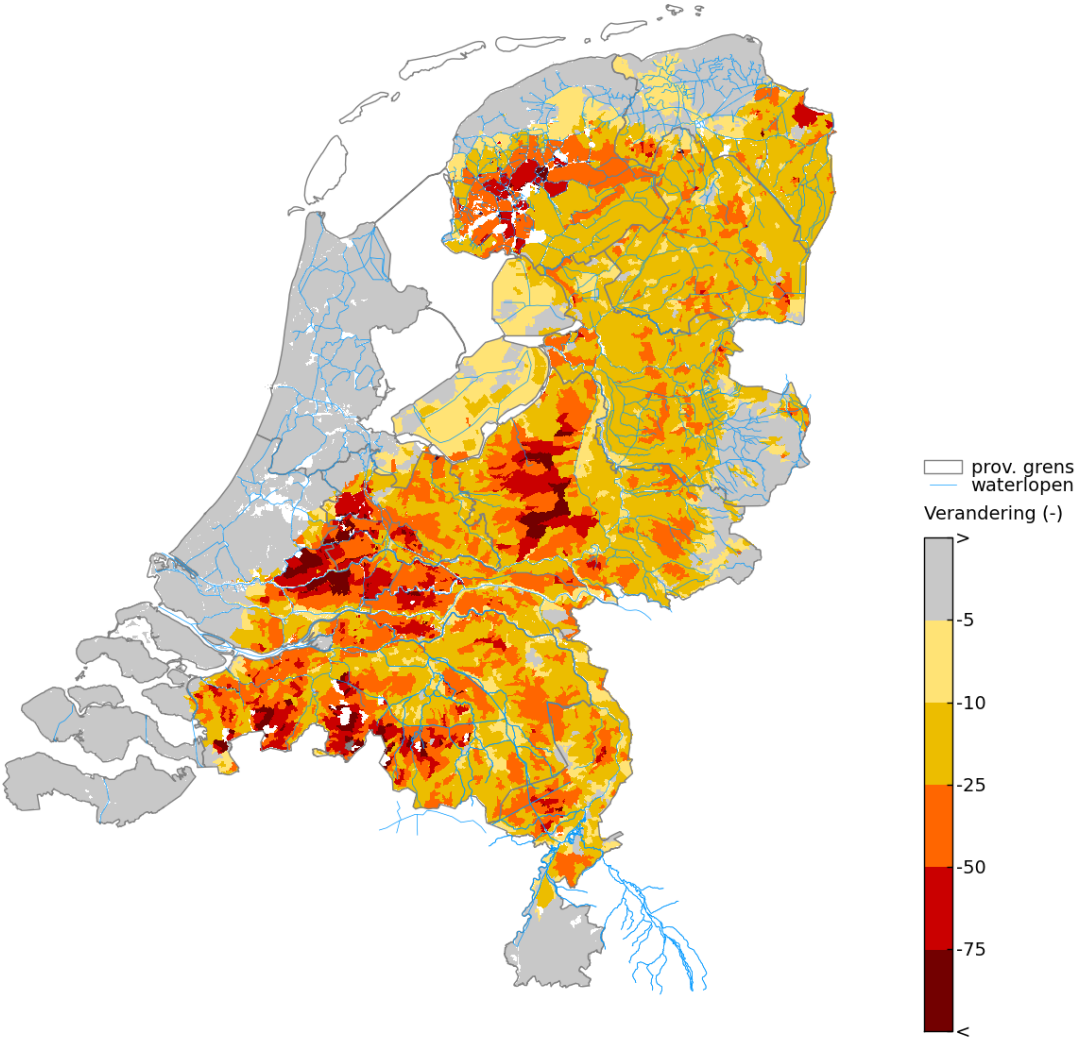
C.2 Effectberekeningen “diffuse winning van 900 milj. m3/jaar”



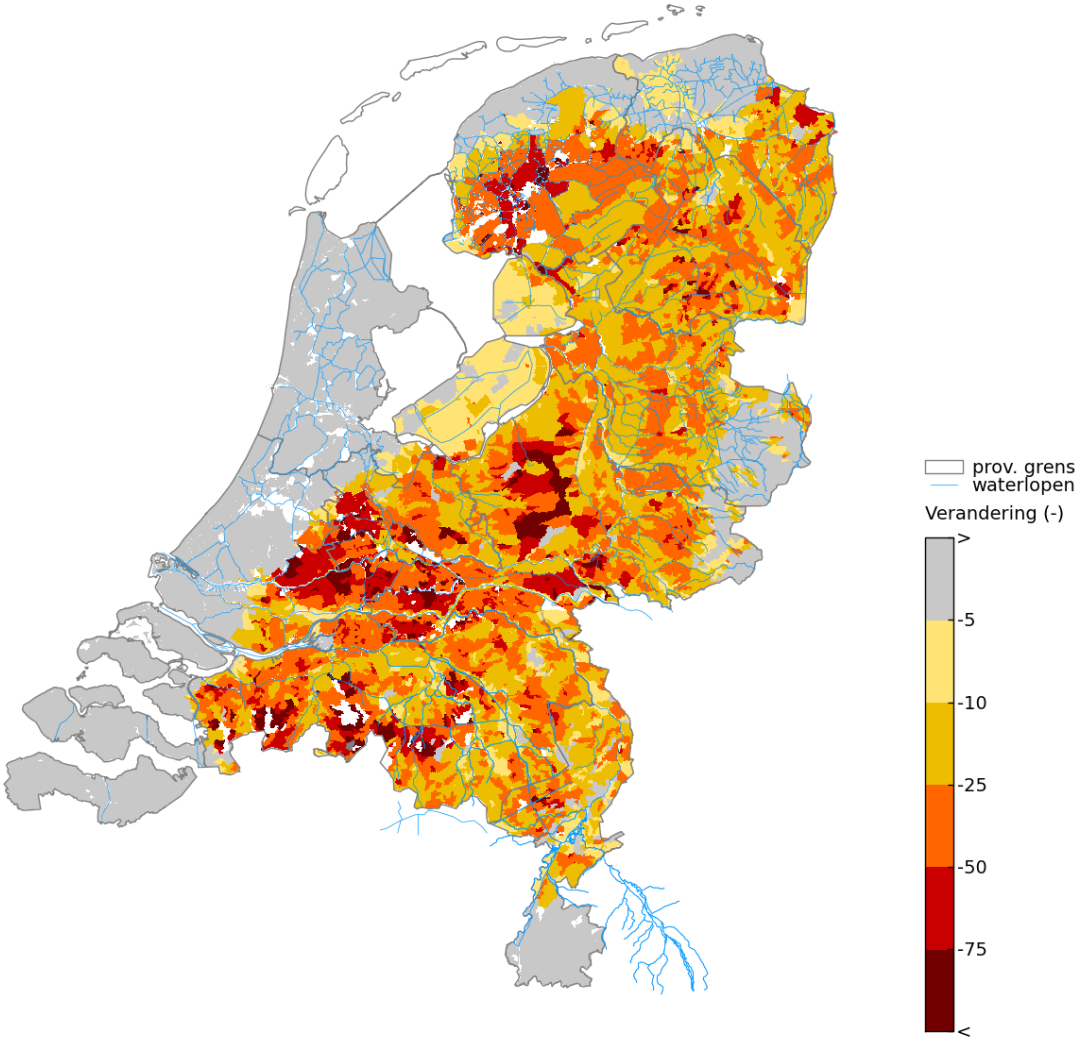
Effect op GHG - scenario 900m



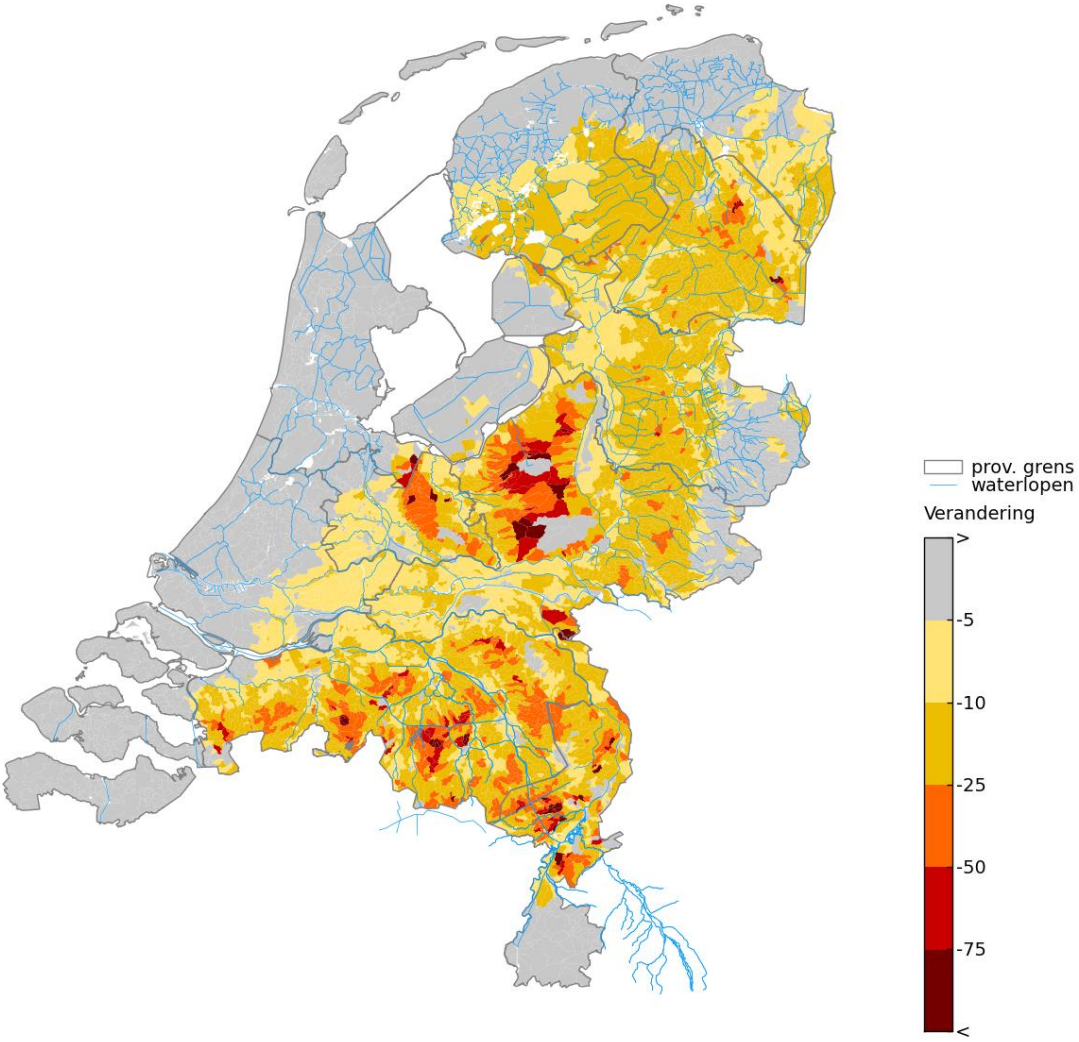
% verandering in gem. kwelflux - scenario 900m



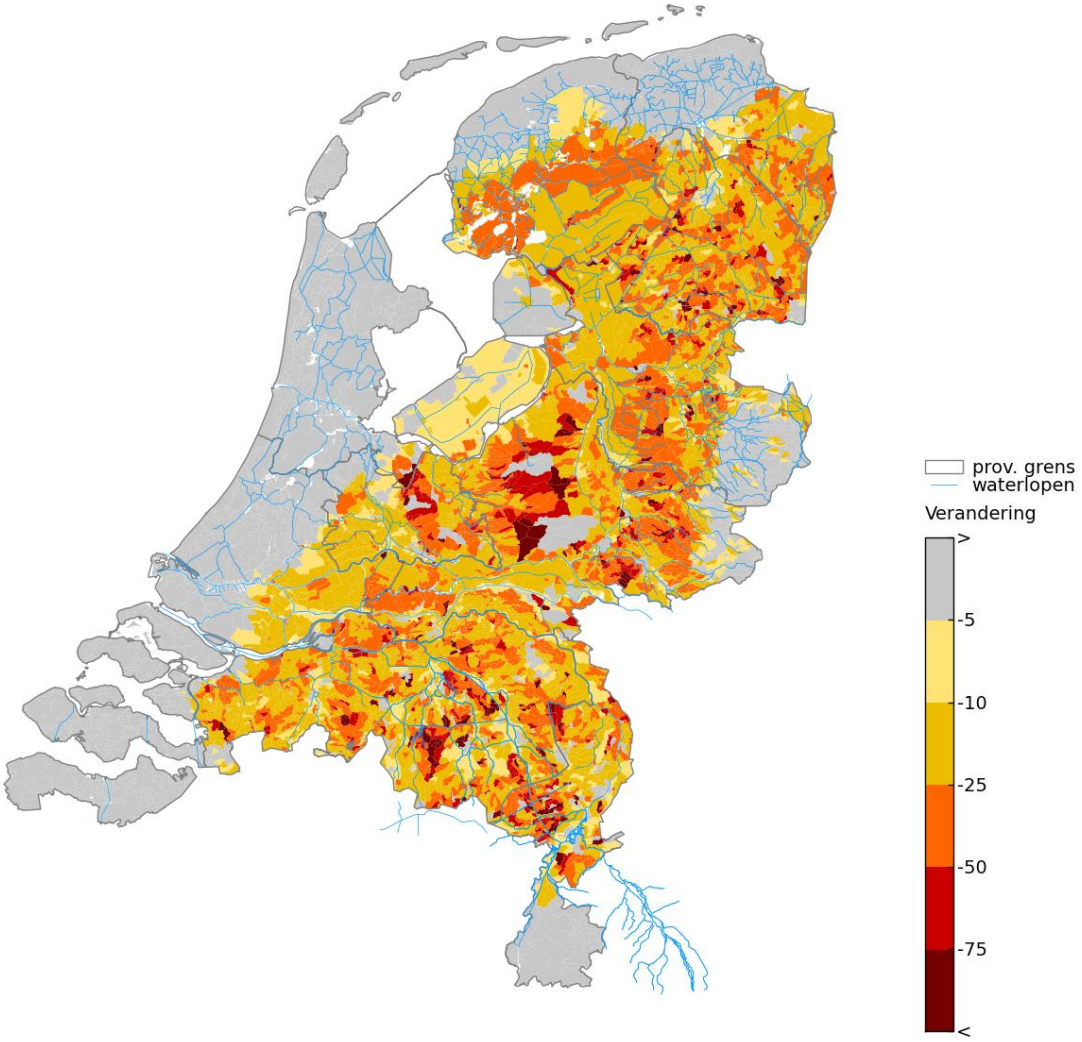
% verandering in zomer kwelflux - scenario 900m



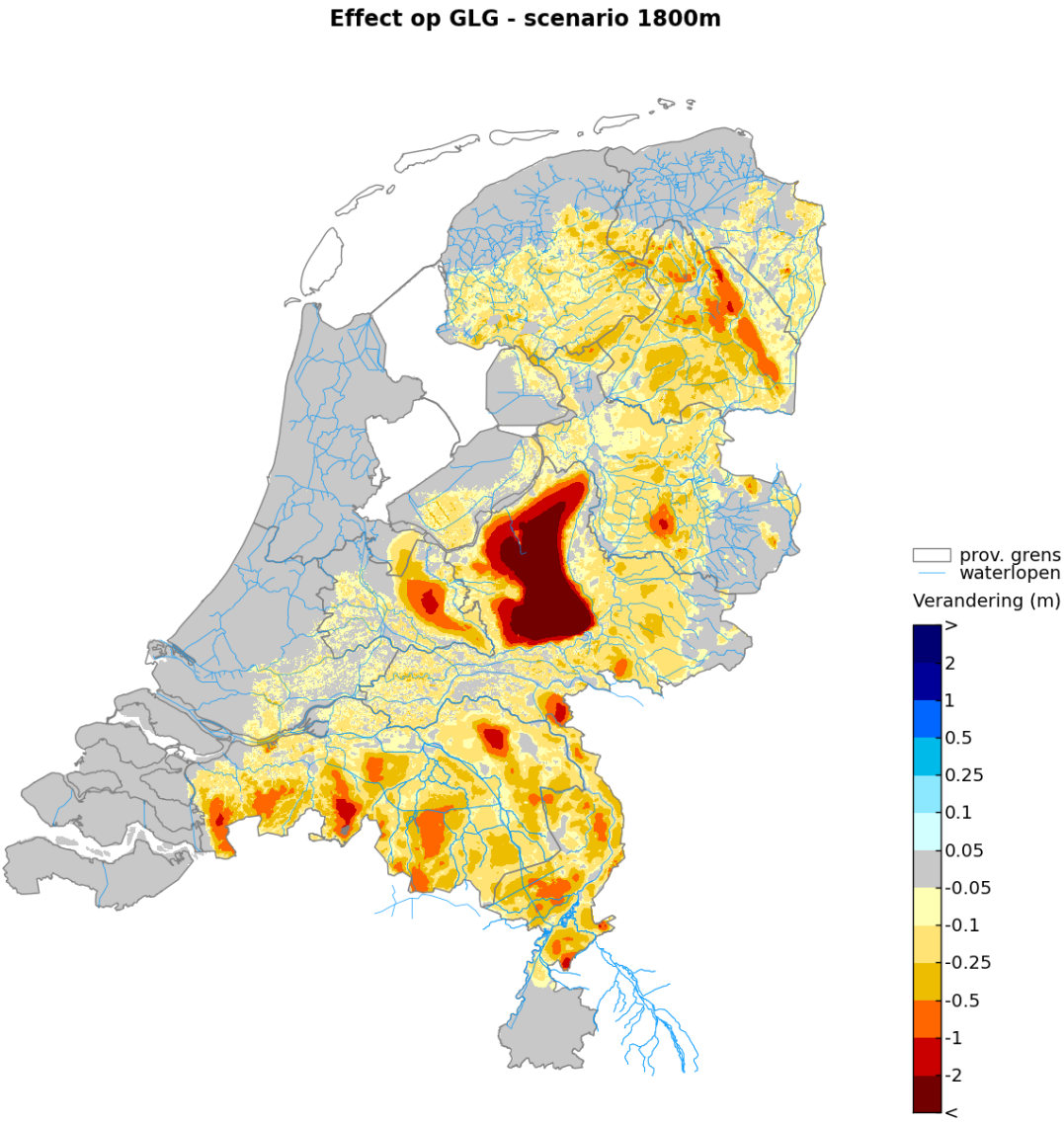
Verandering drainageflux gem. - scenario D_900M



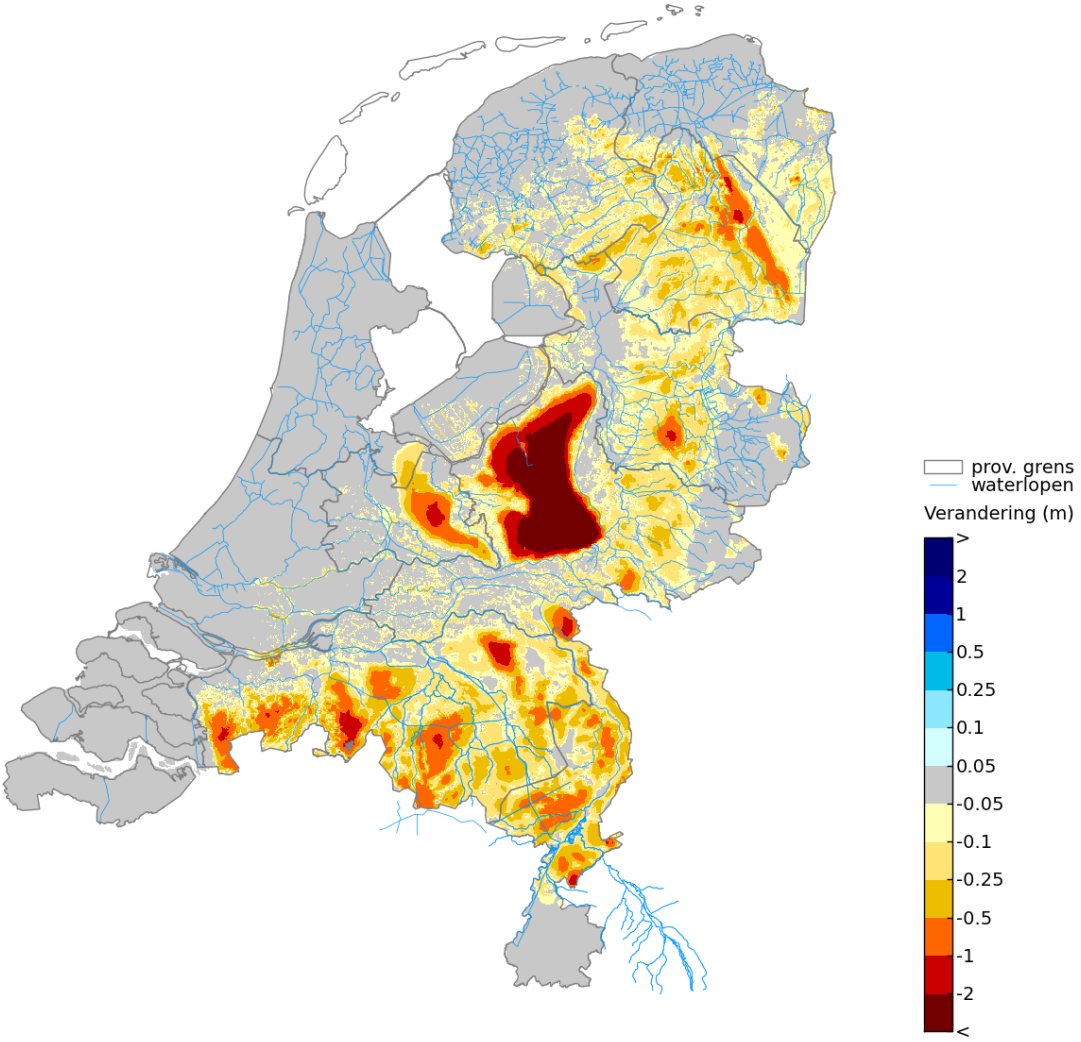
Verandering drainageflux zomer - scenario D_900M



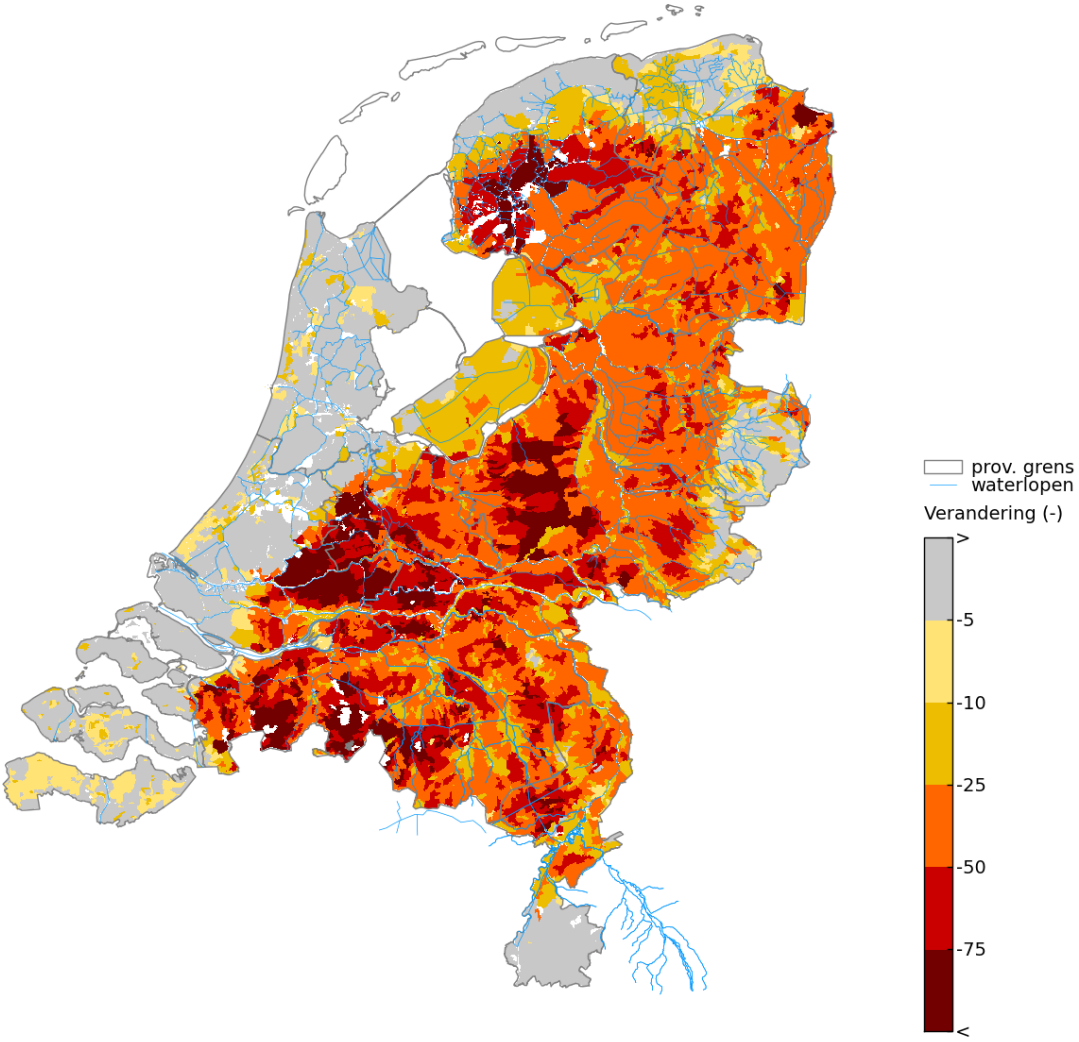
C.3 Effectberekeningen “diffuse winning van 1800 milj. m3/jaar”



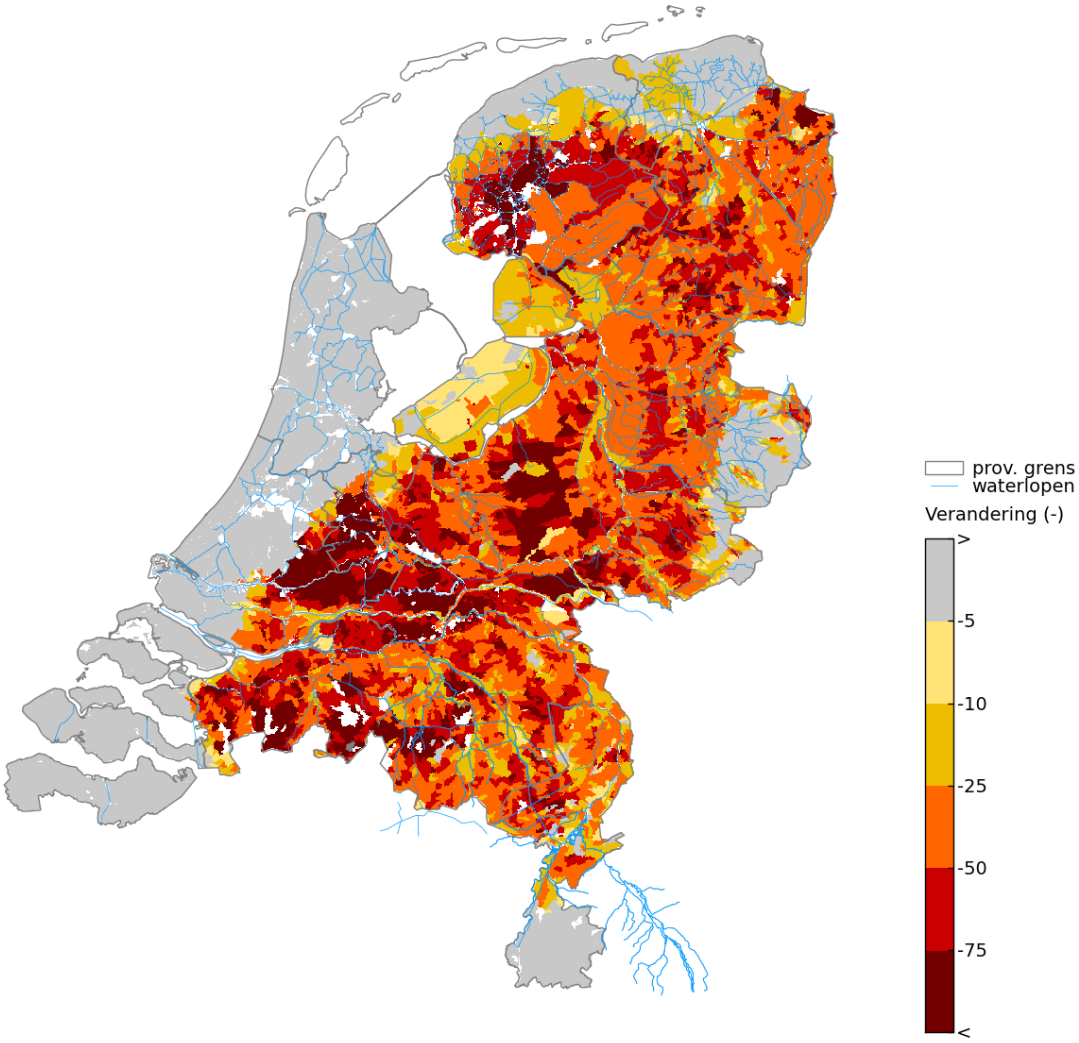
Effect op GHG - scenario 1800m



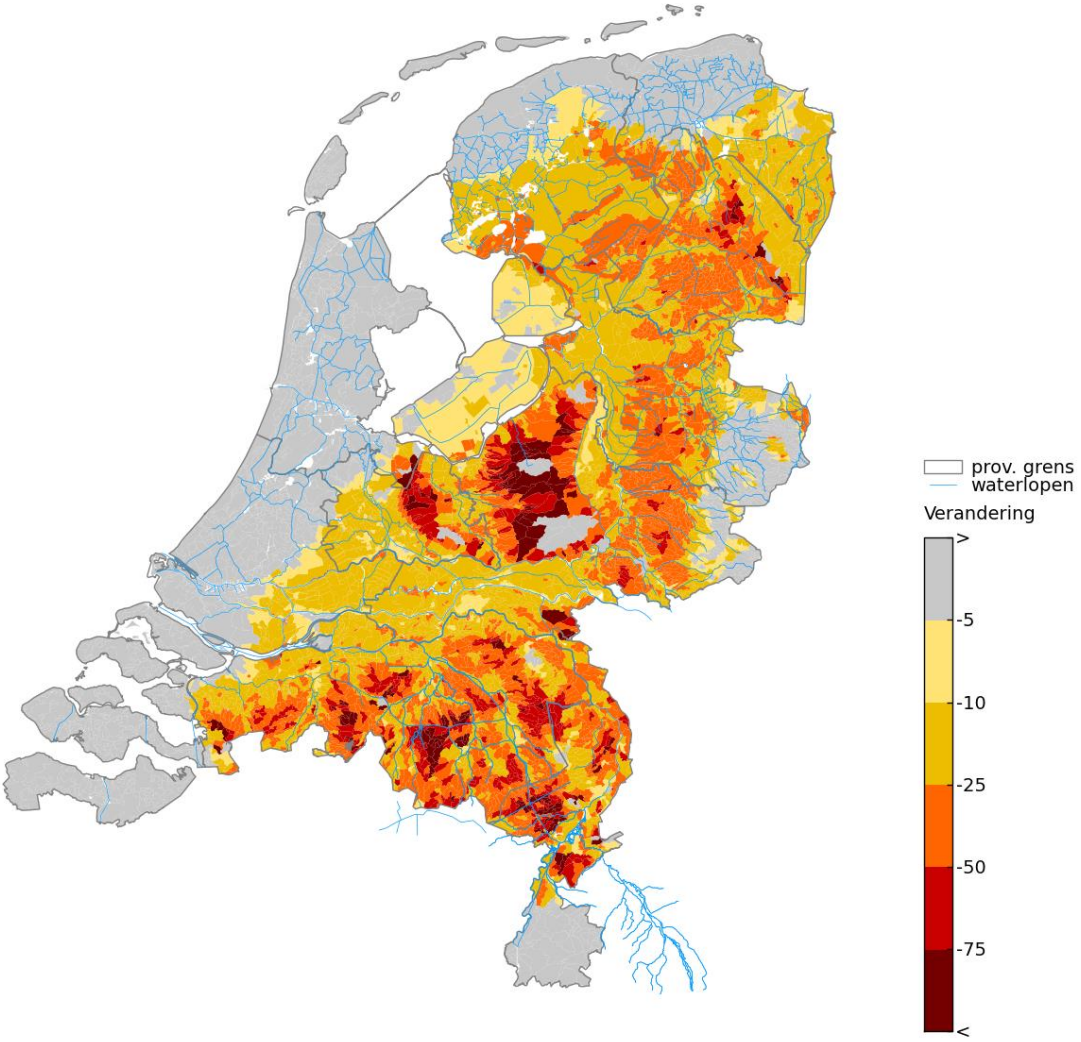
% verandering in gem. kwelflux - scenario 1800m



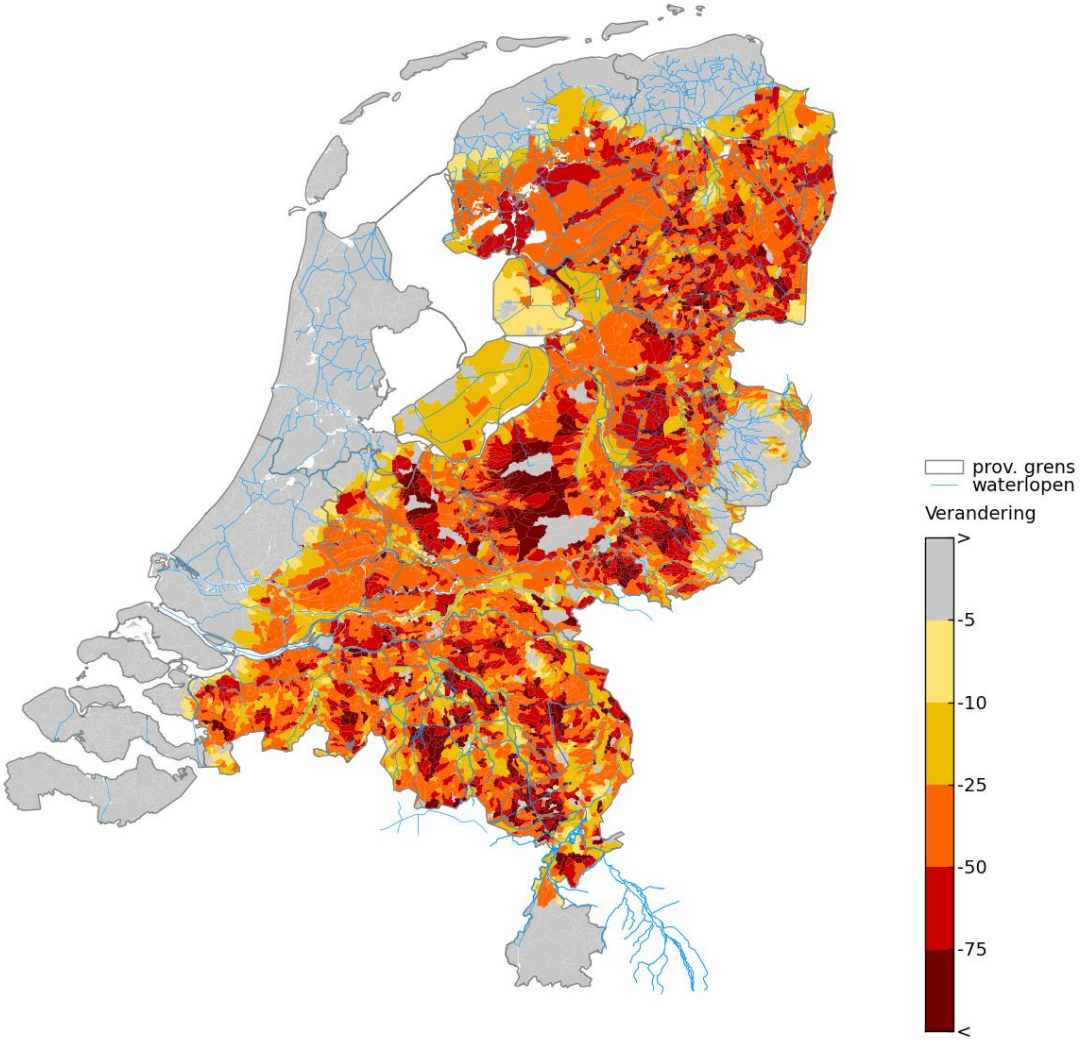
% verandering in zomer kwelflux - scenario 1800m



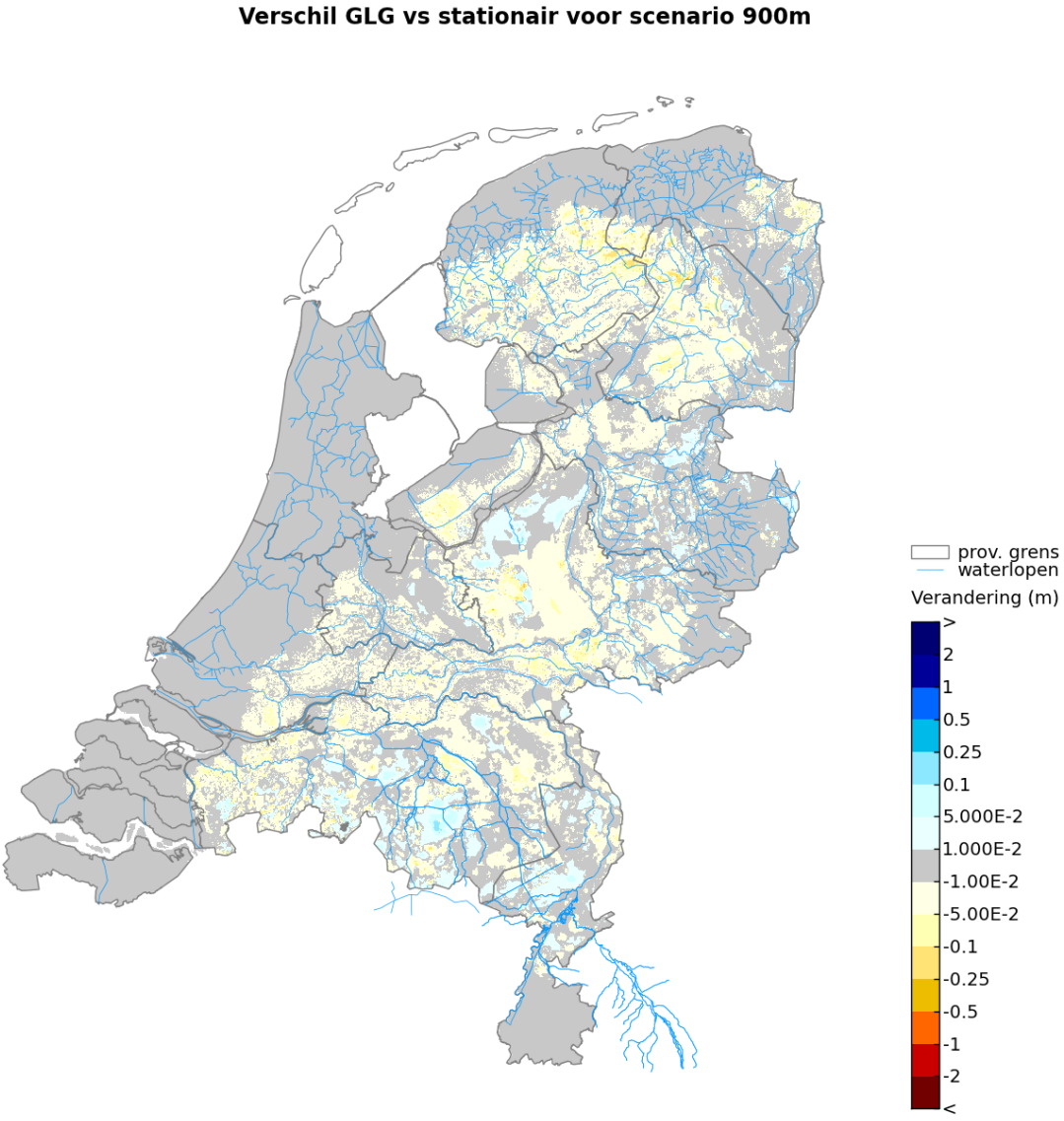
Verandering drainageflux gem. - scenario D_1800M



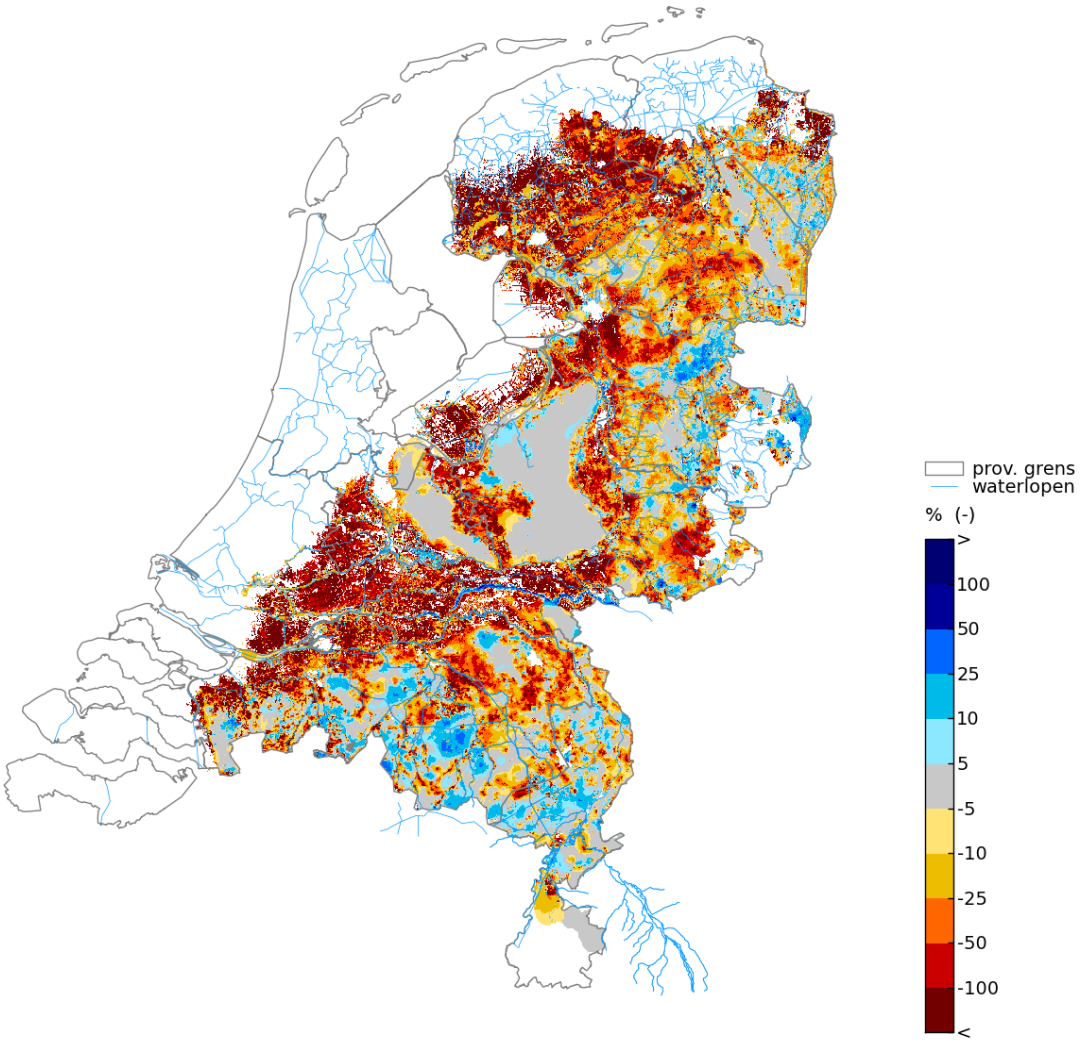
Verandering drainageflux zomer - scenario D_1800M



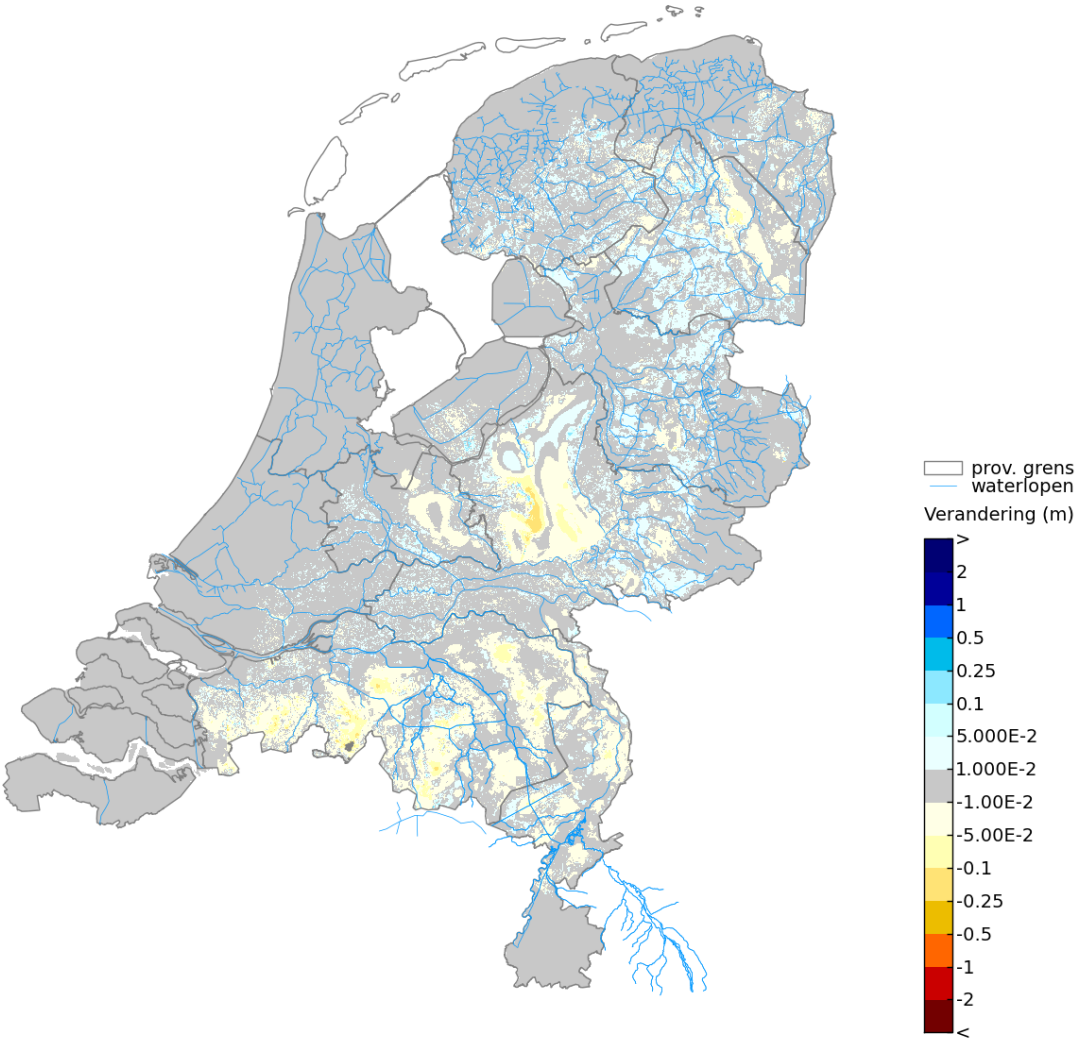
C.4 Stationair versus niet-stationair



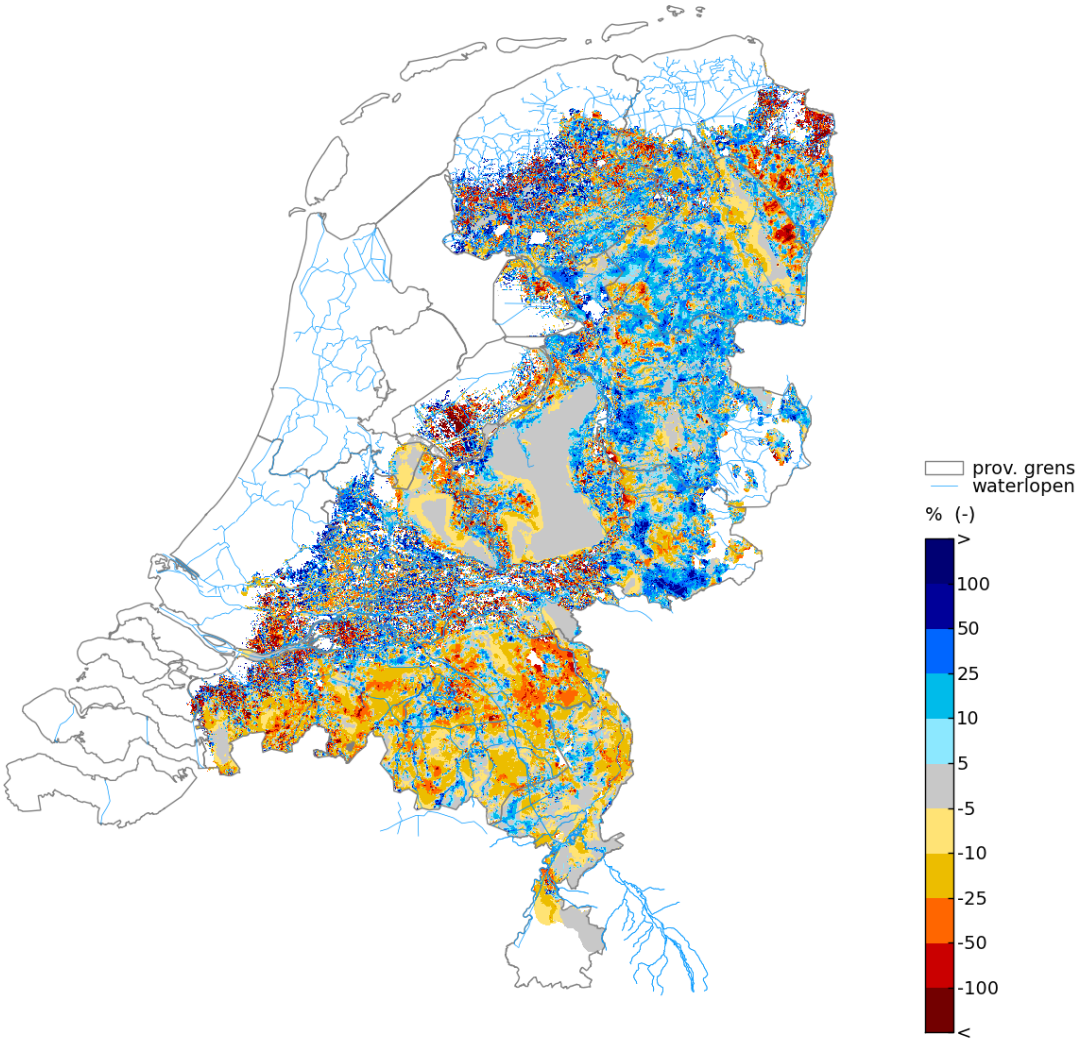
% verschil effect GLG vs stationair scenario 900m



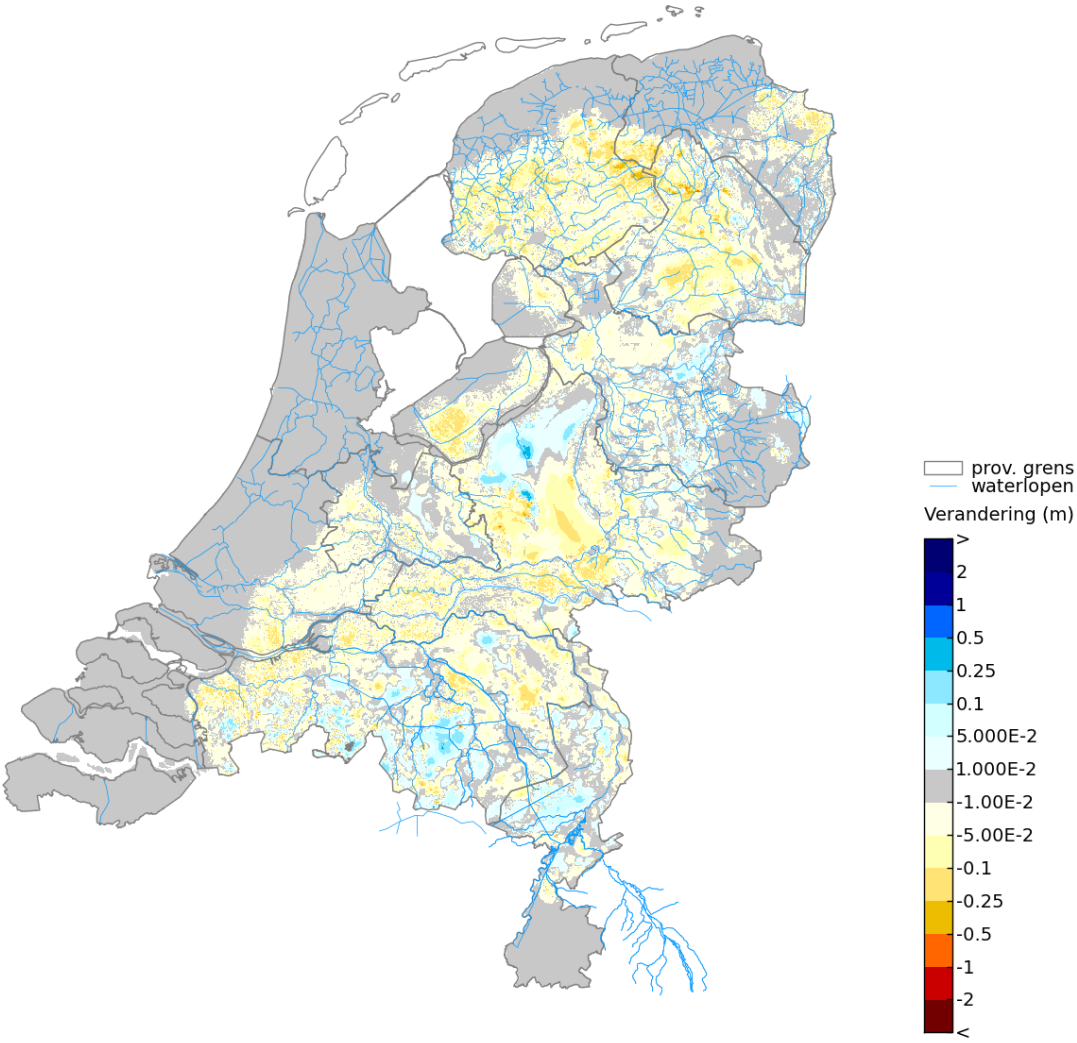
Verschil GHG vs stationair voor scenario 900m



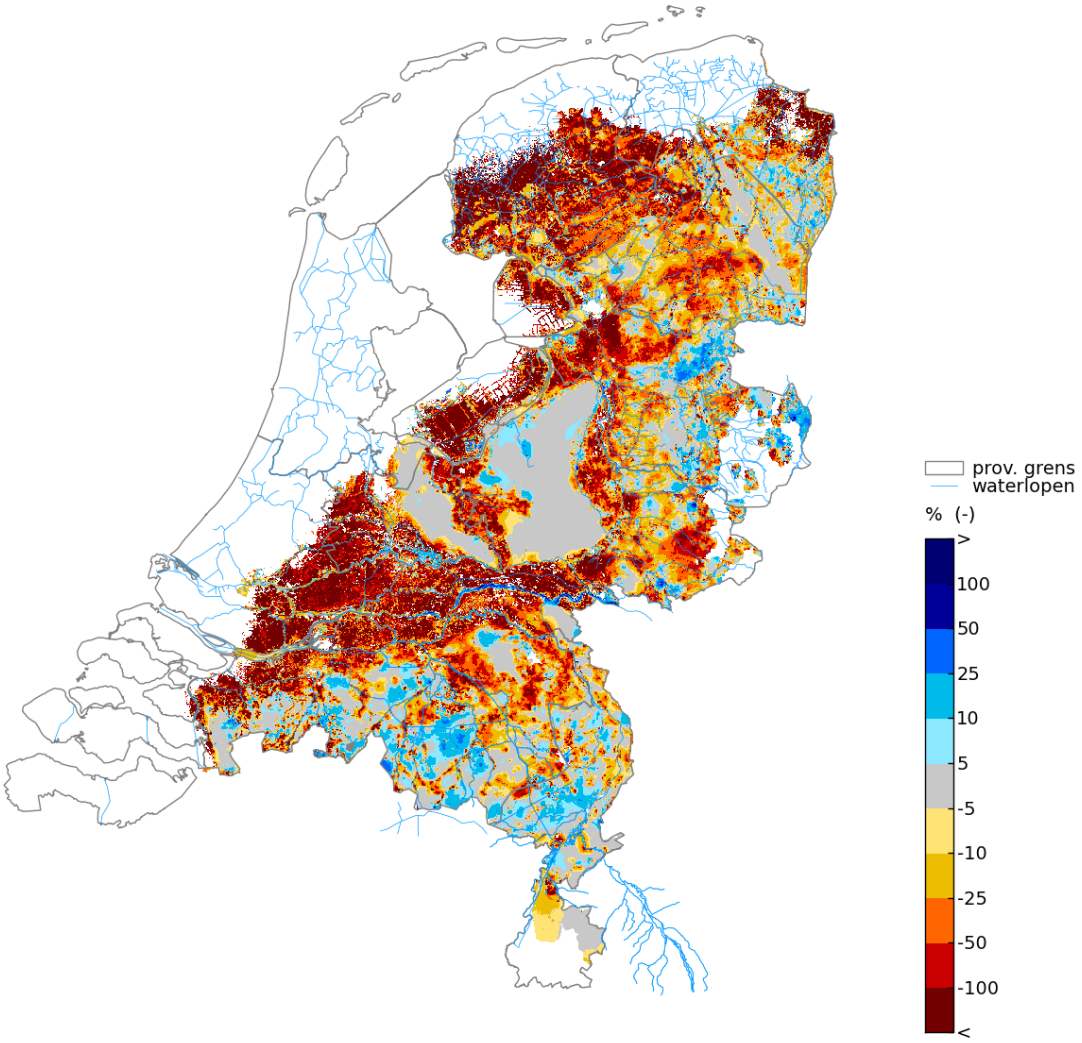
% verschil effect GHG vs stationair scenario 900m



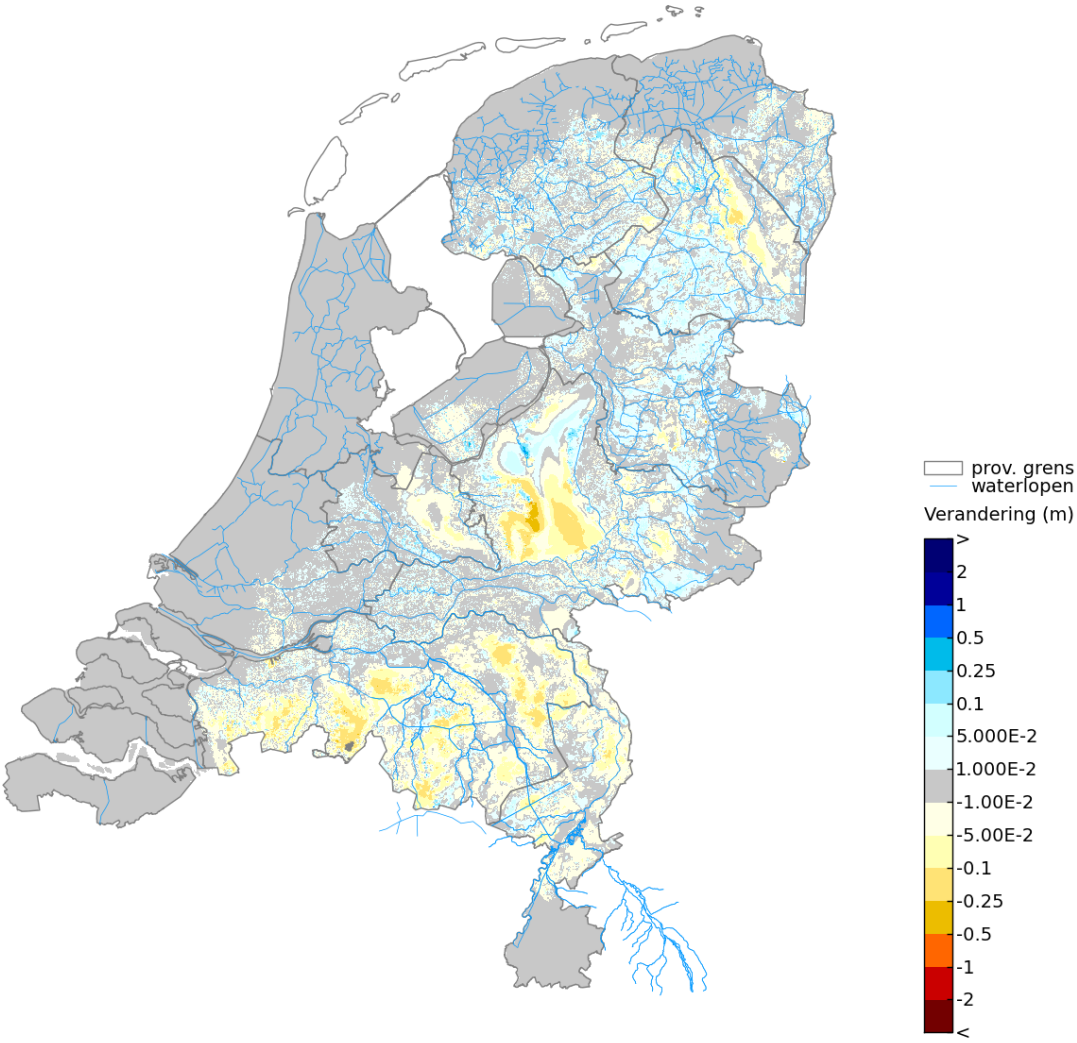
Verschil GLG vs stationair voor scenario 1800m



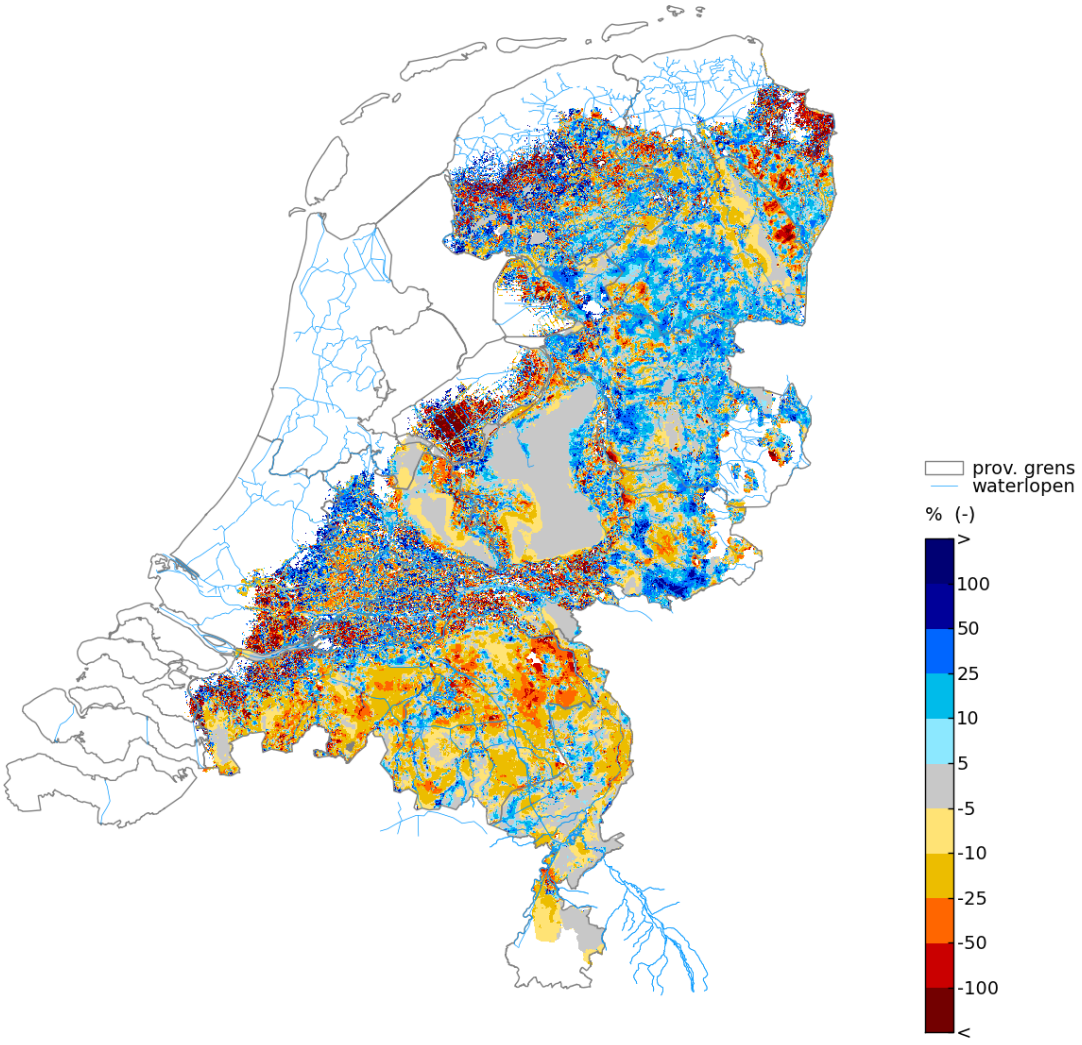
% verschil effect GLG vs stationair scenario 1800m



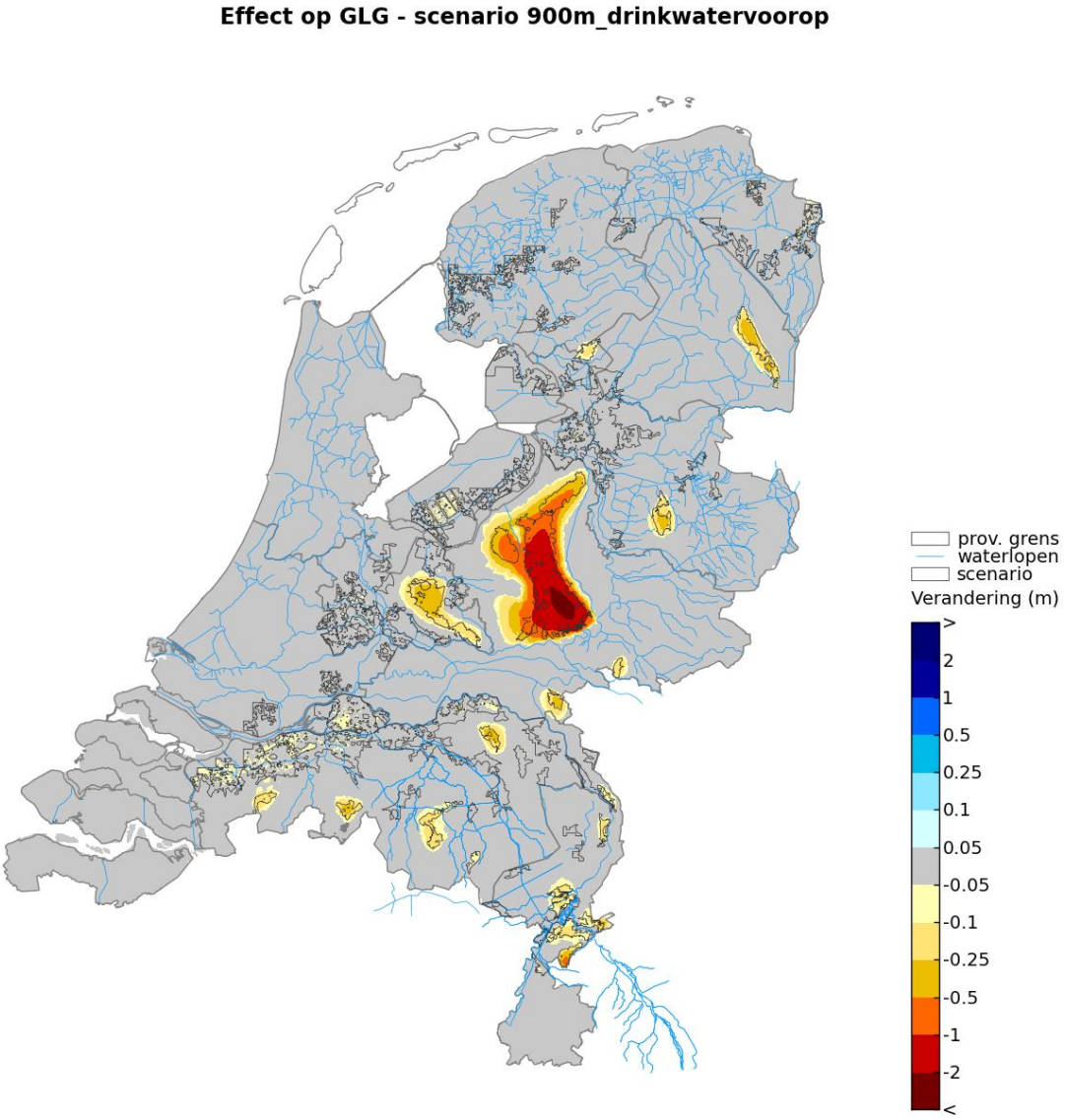
Verschil GHG vs stationair voor scenario 1800m



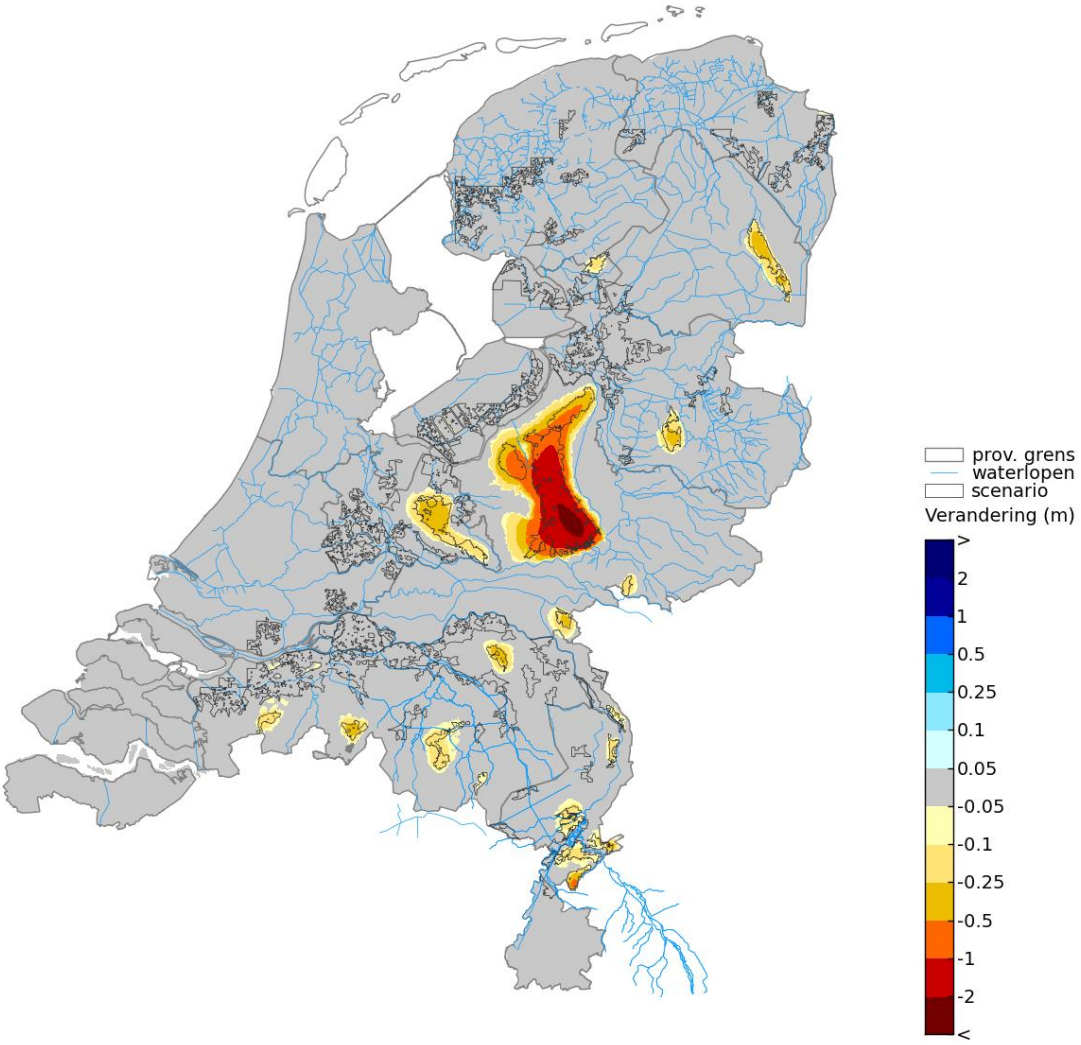
% verschil effect GHG vs stationair scenario 1800m



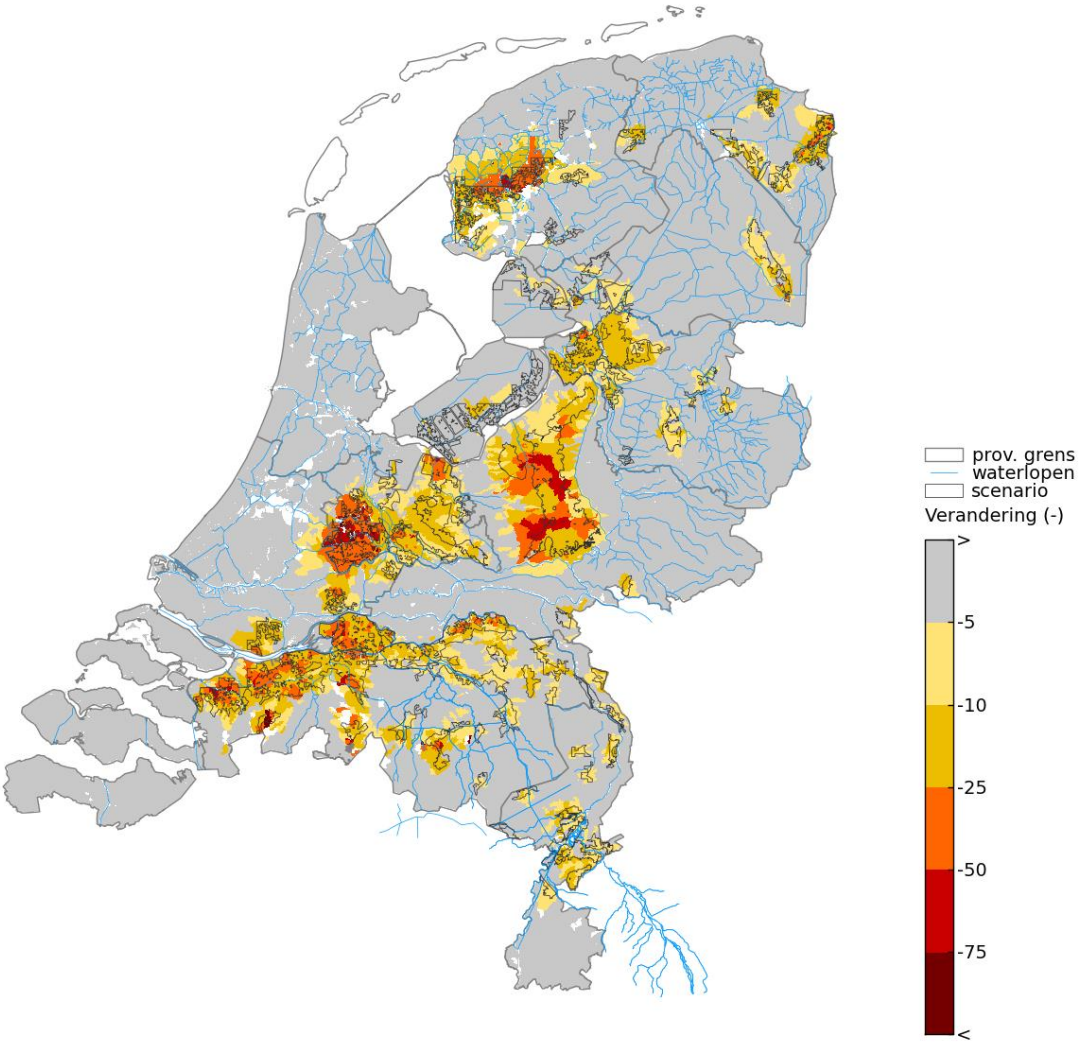
C.5 Effectberekeningen STRONG scenario “Drinkwater voorop”



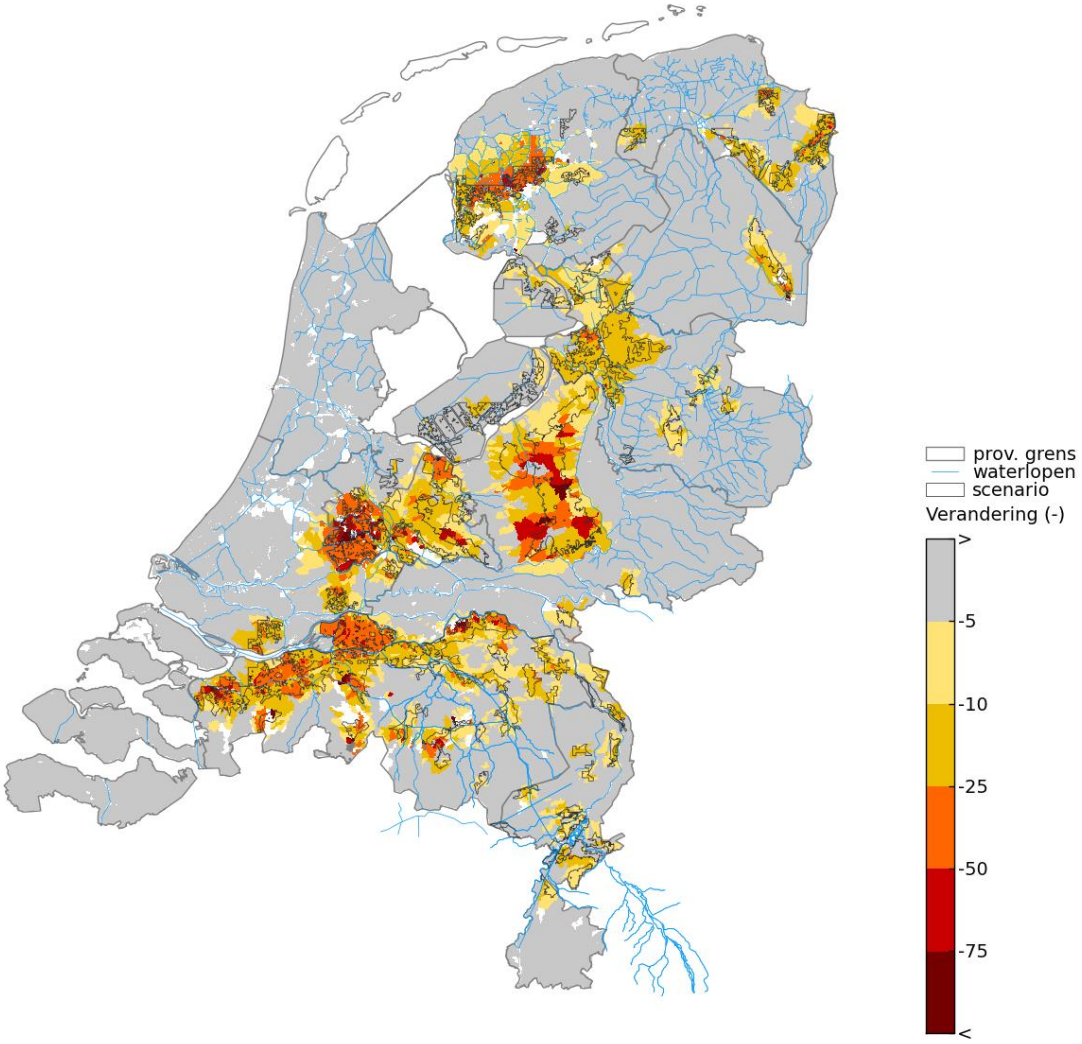
Effect op GHG - scenario 900m_drinkwatervoorop



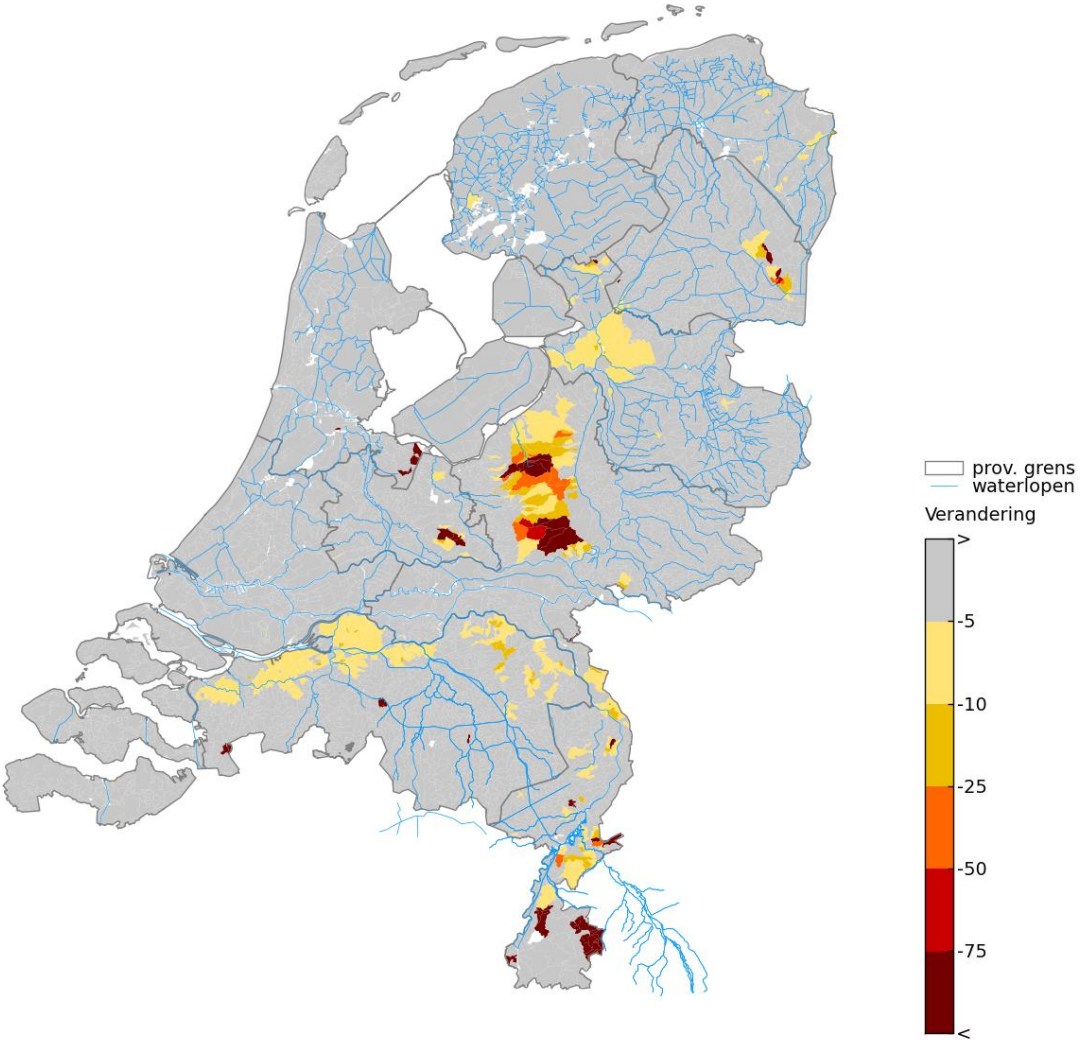
% verandering in gem. kwelflux - scenario 900m_drinkwatervoorop



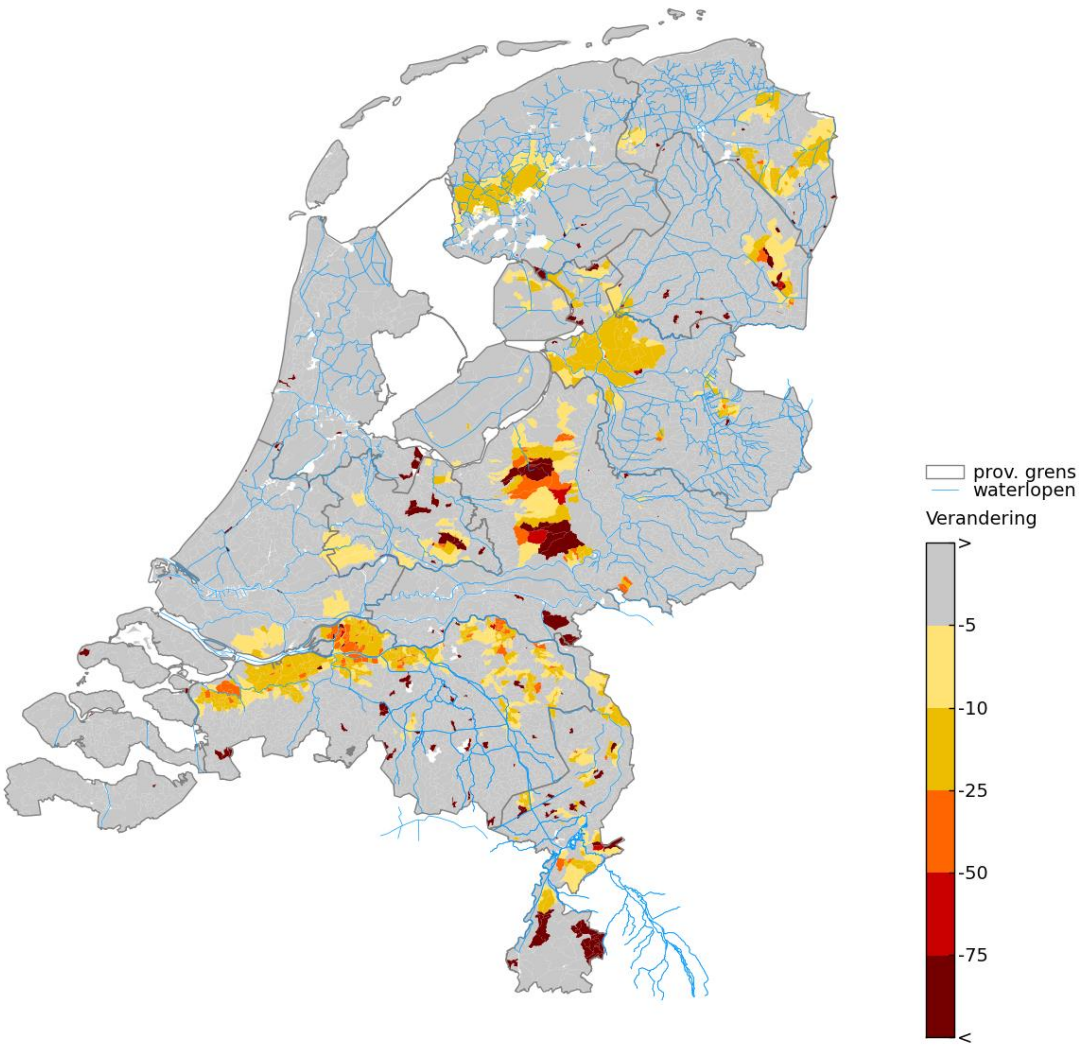
% verandering in zomer kwelflux - scenario 900m_drinkwatervoorop



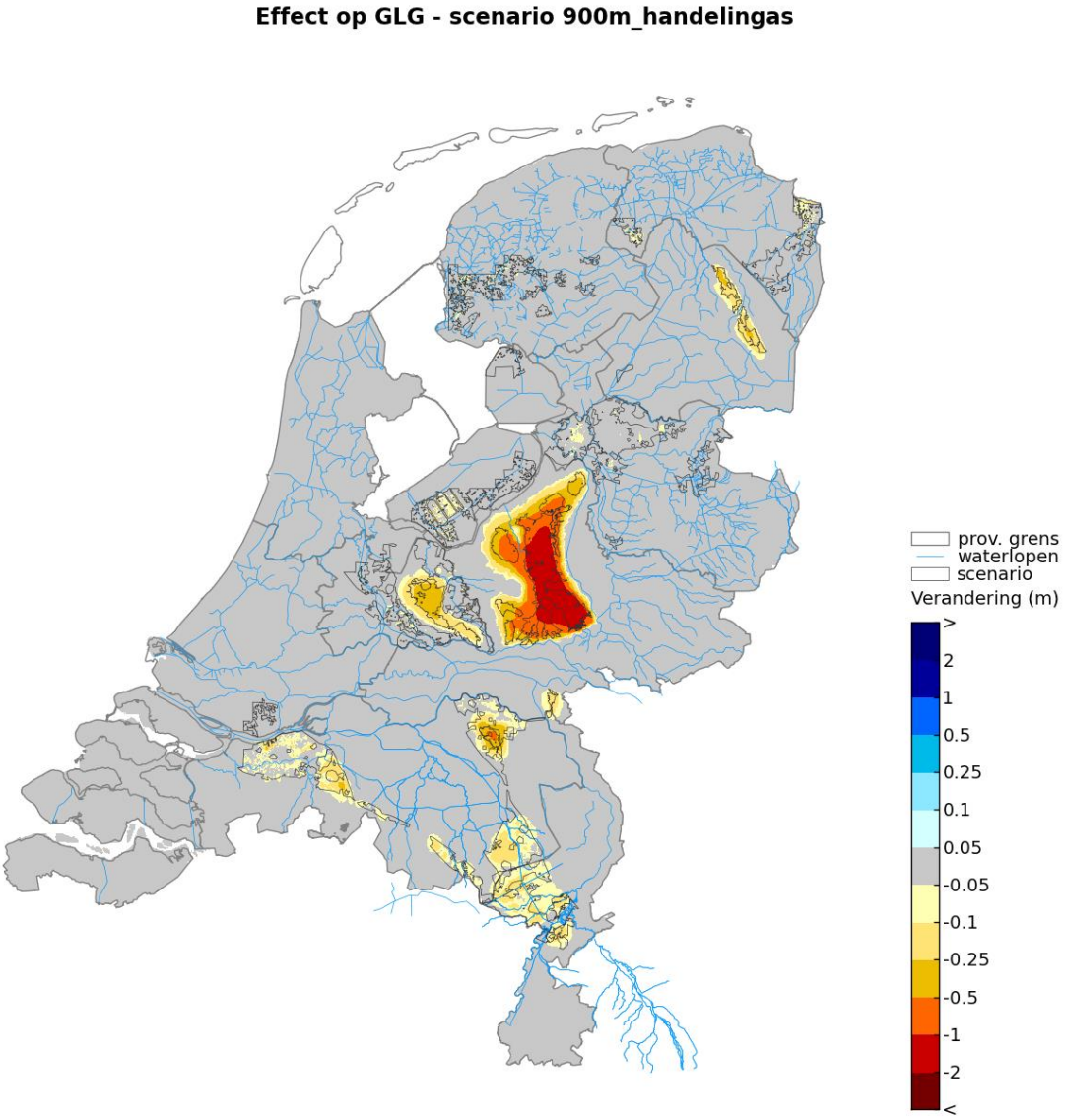
Verandering drainageflux gem. - scenario D_900MDR



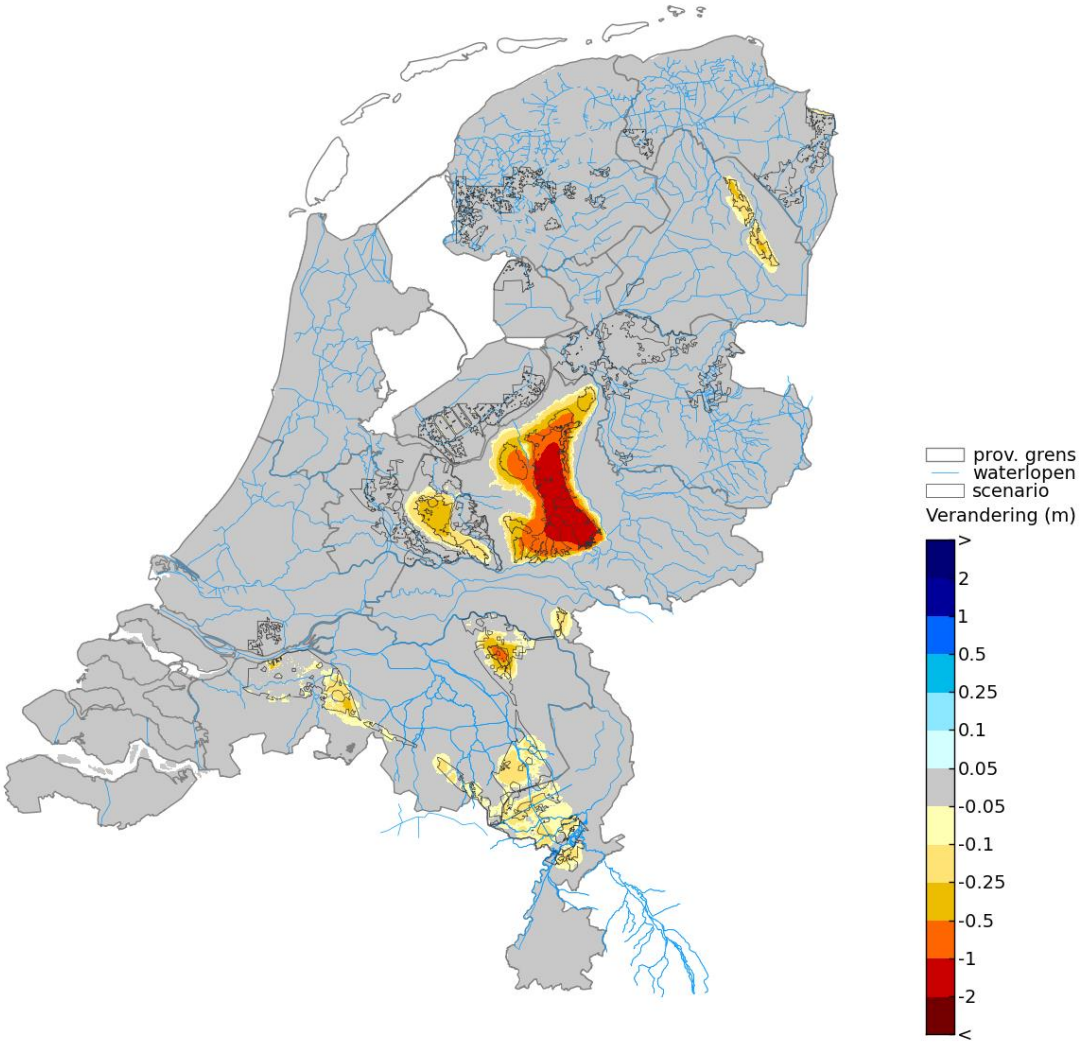
Verandering drainageflux zomer - scenario D_900MDR



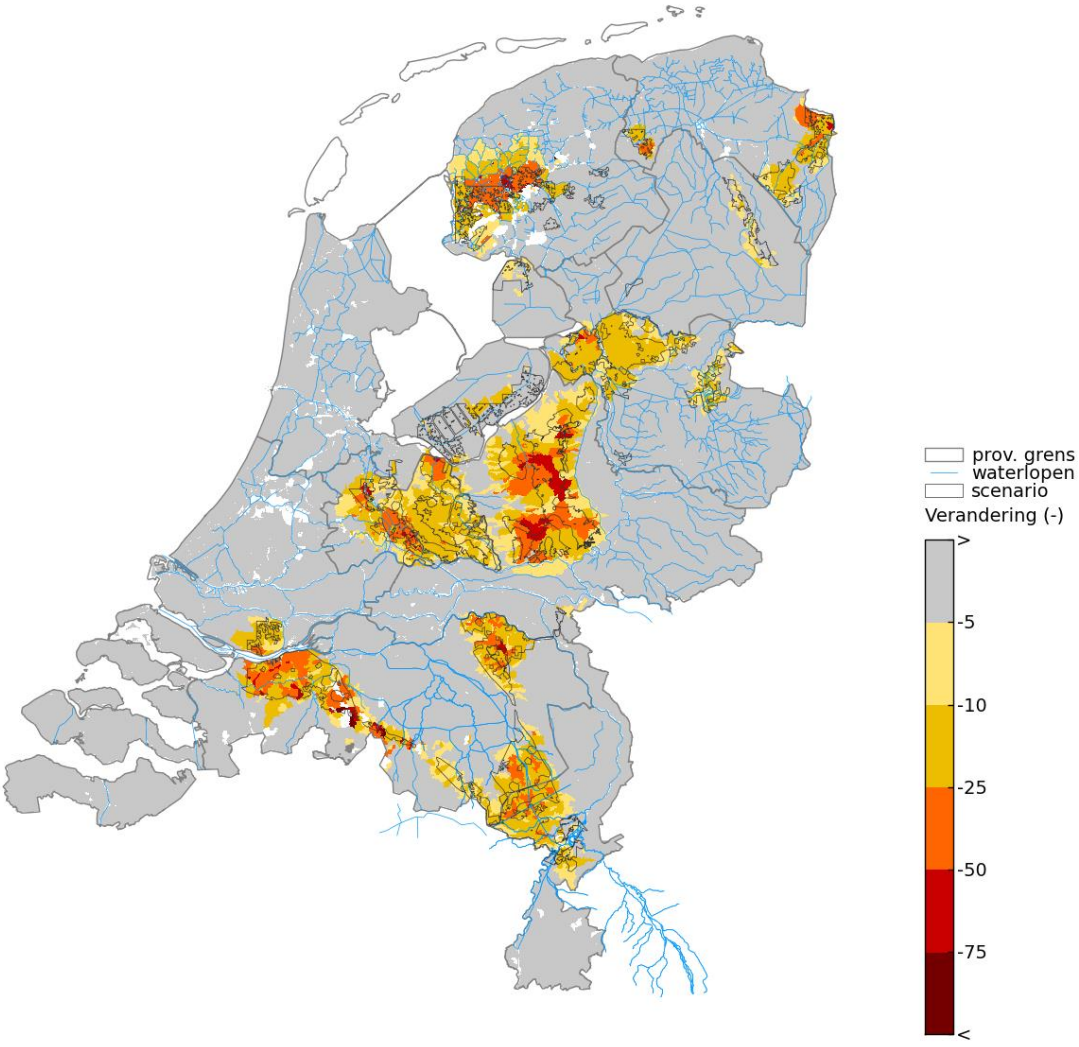
C.6 Effectberekeningen STRONG scenario “Handel in gas”



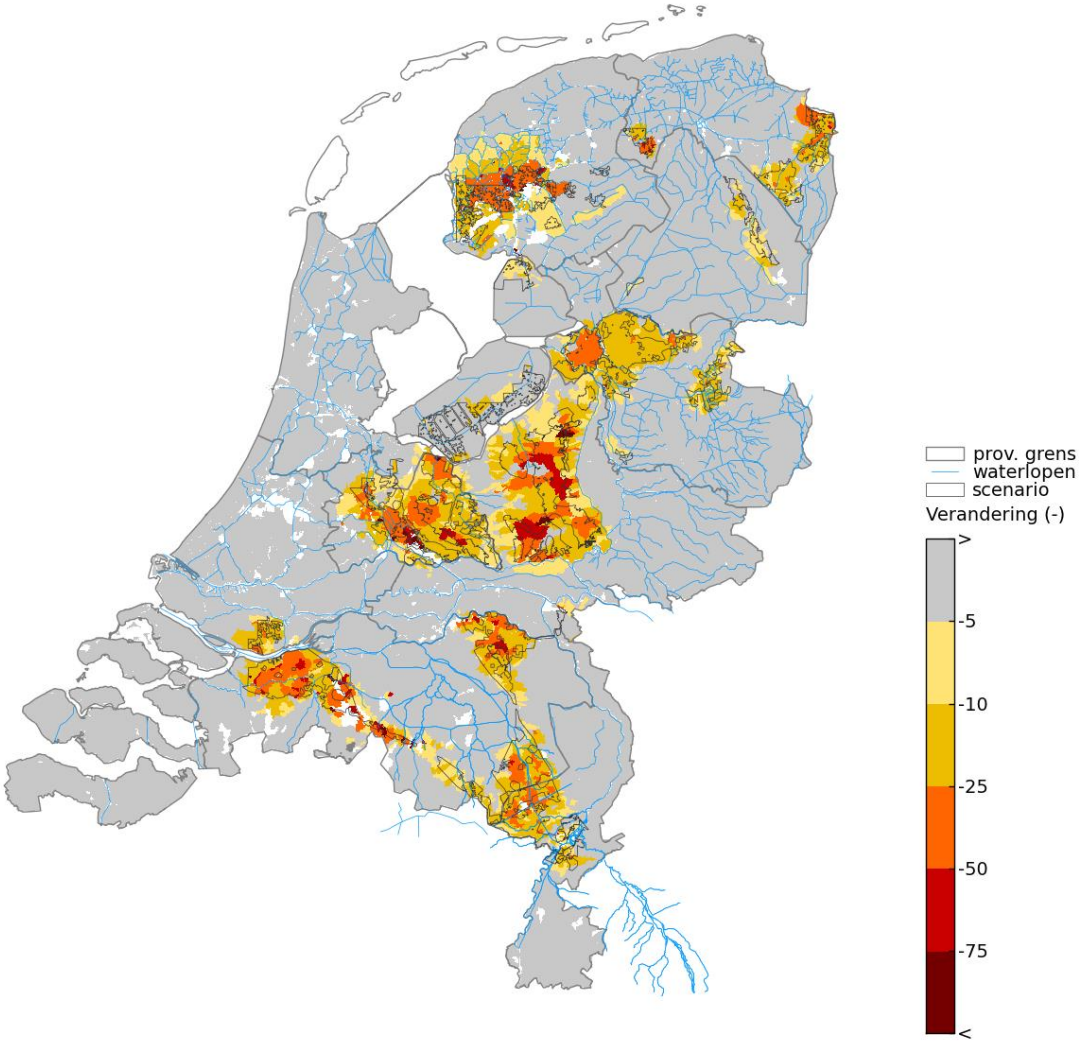
Effect op GHG - scenario 900m_handelingas



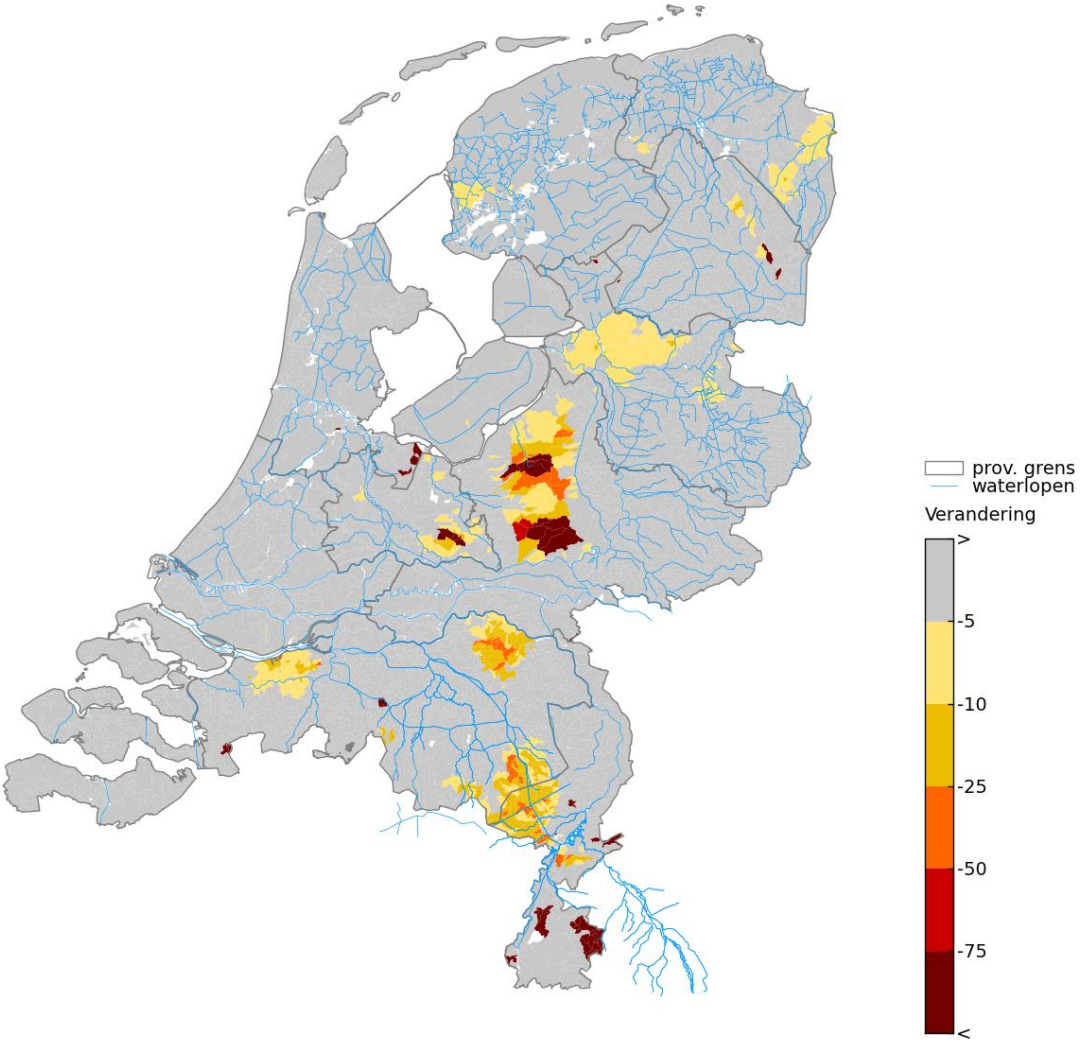
% verandering in gem. kwelflux - scenario 900m_handelingas



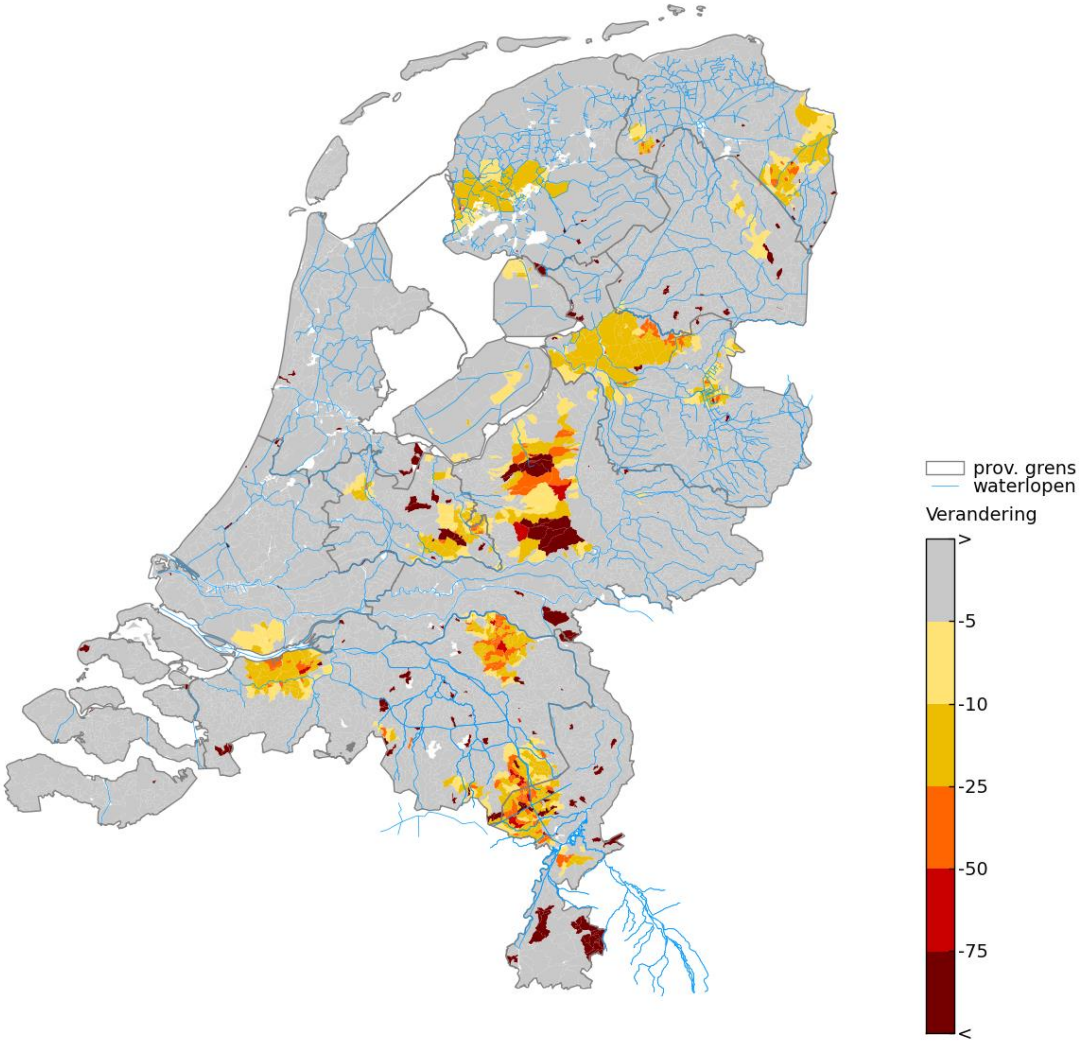
% verandering in zomer kwelflux - scenario 900m_handelingas



Verandering drainageflux gem. - scenario D_900MHA

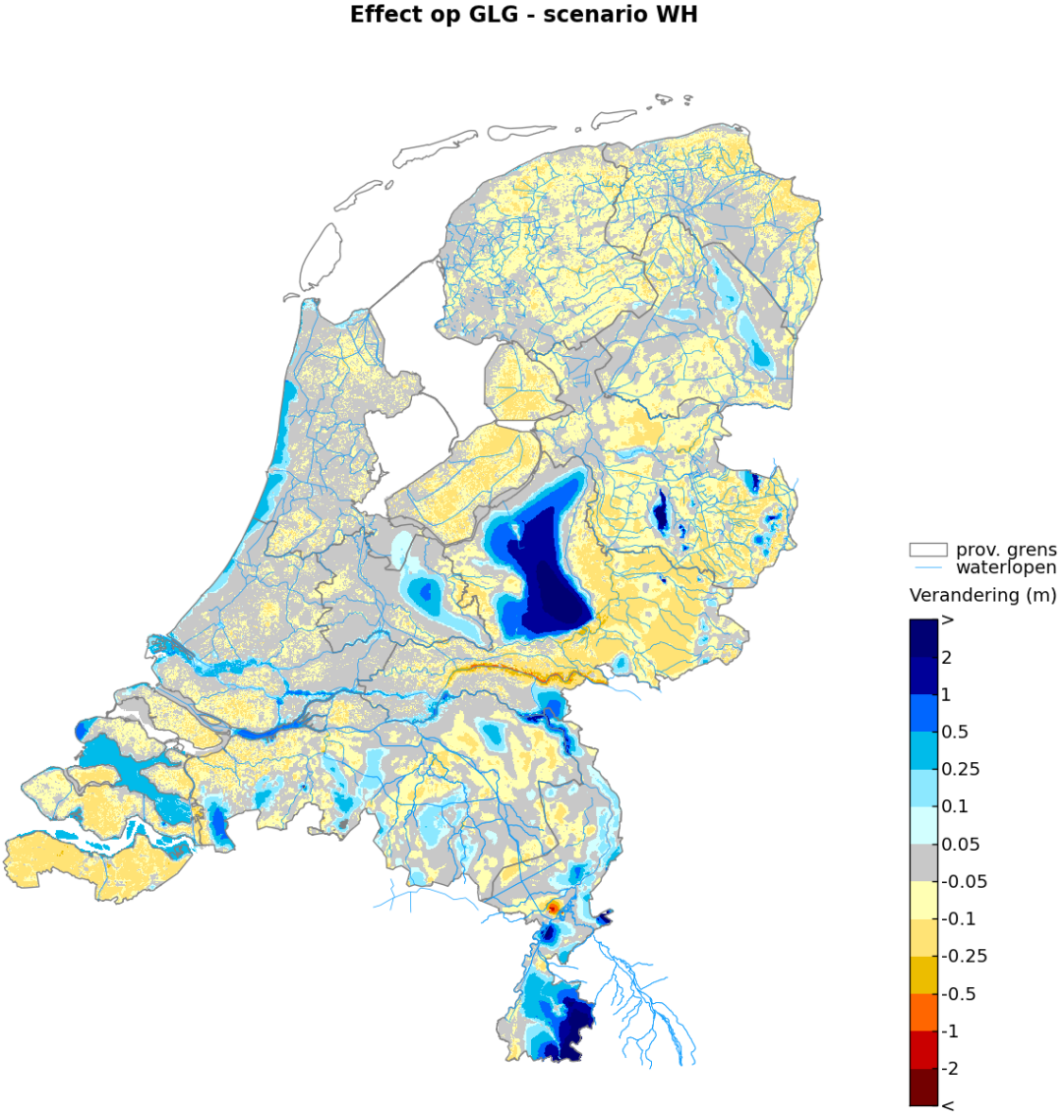


Verandering drainageflux zomer - scenario D_900MHA

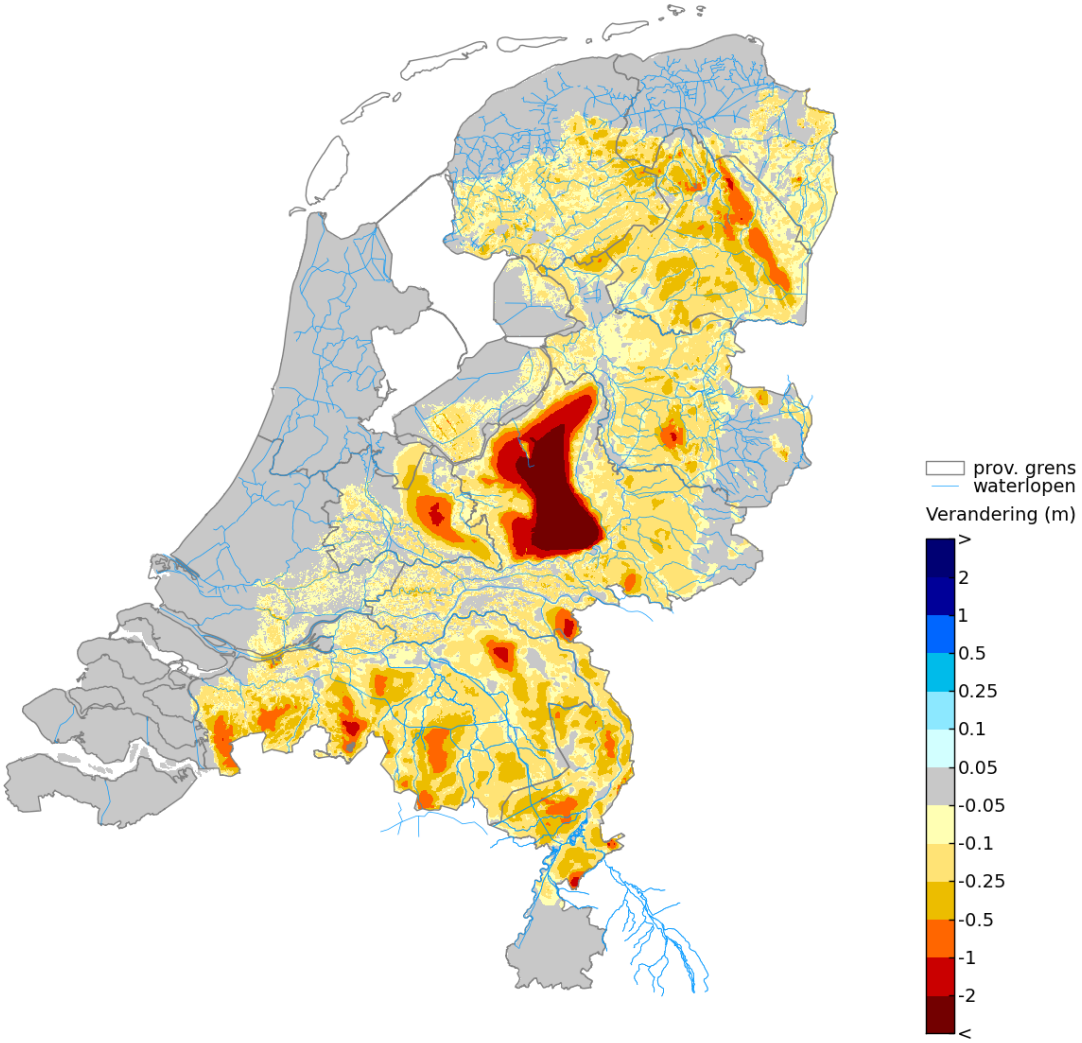


C.7 Effectberekeningen diffuse winning met klimaat-scenario

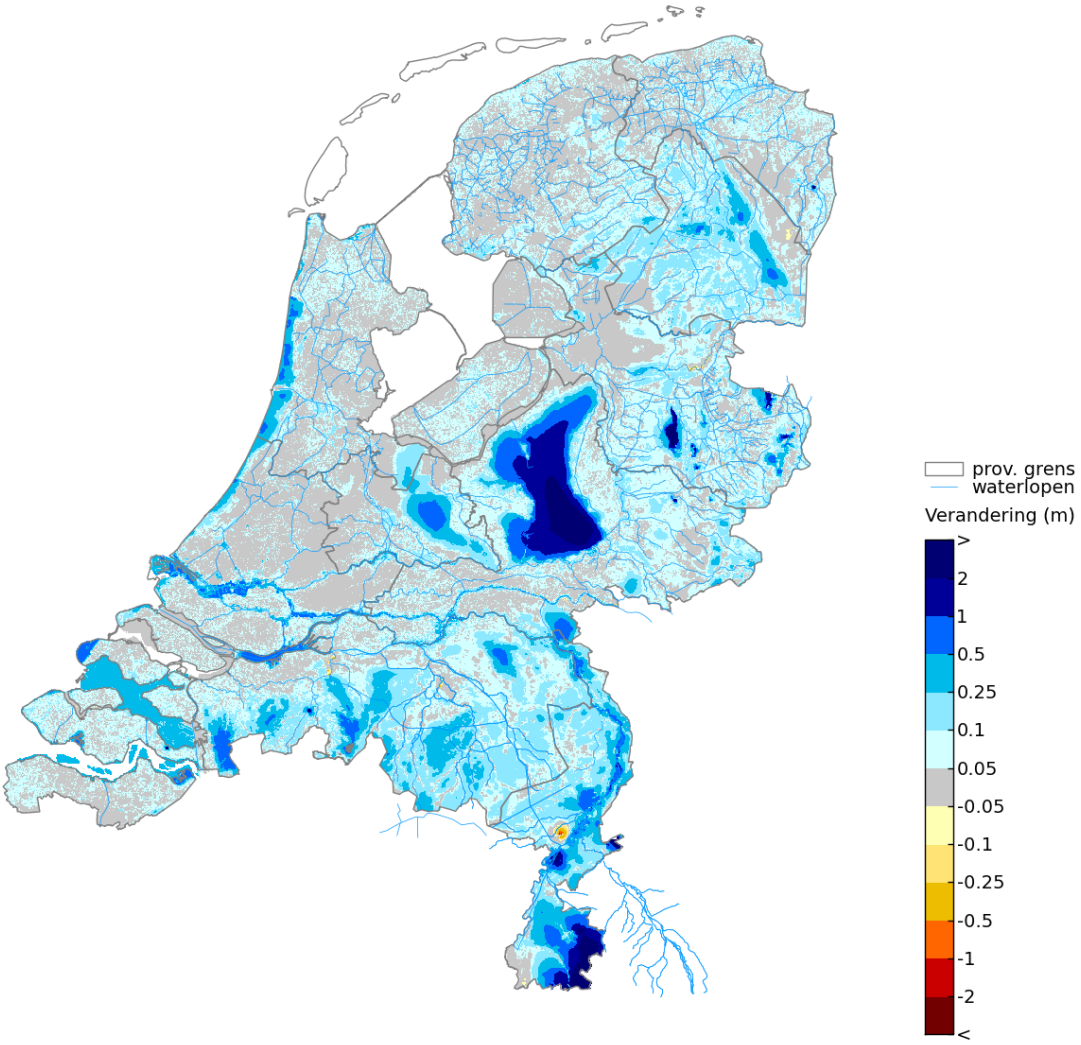
Verlaging grondwaterstand (GLG en GHG) t.g.v. klimaat (D_WH; landsdekkend) en t.g.v. klimaat plus extra onttrekking (D_1800M_WH; over grondwatervoorraden): jaargemiddelde en zomergemiddelde



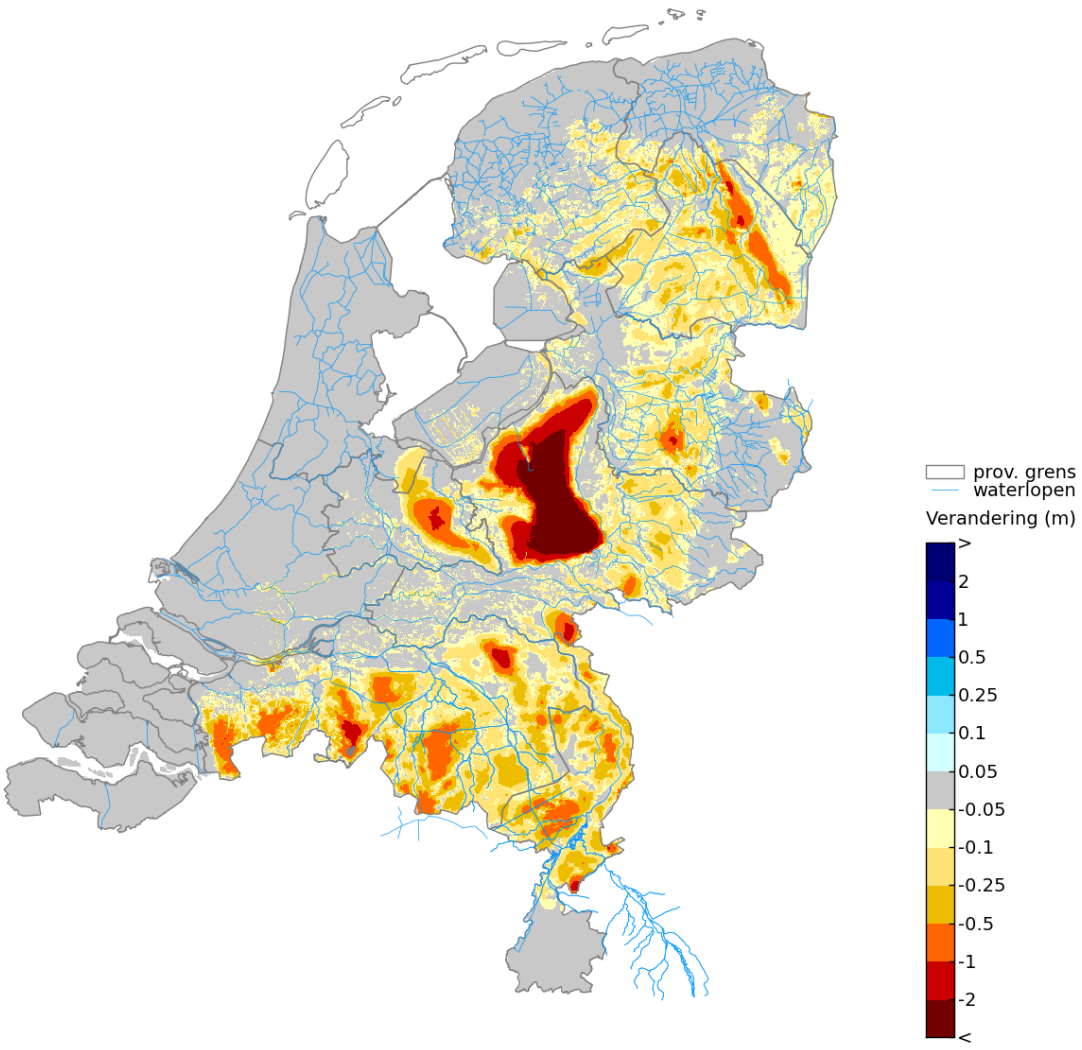
Effect op GLG - scenario 1800m_WH



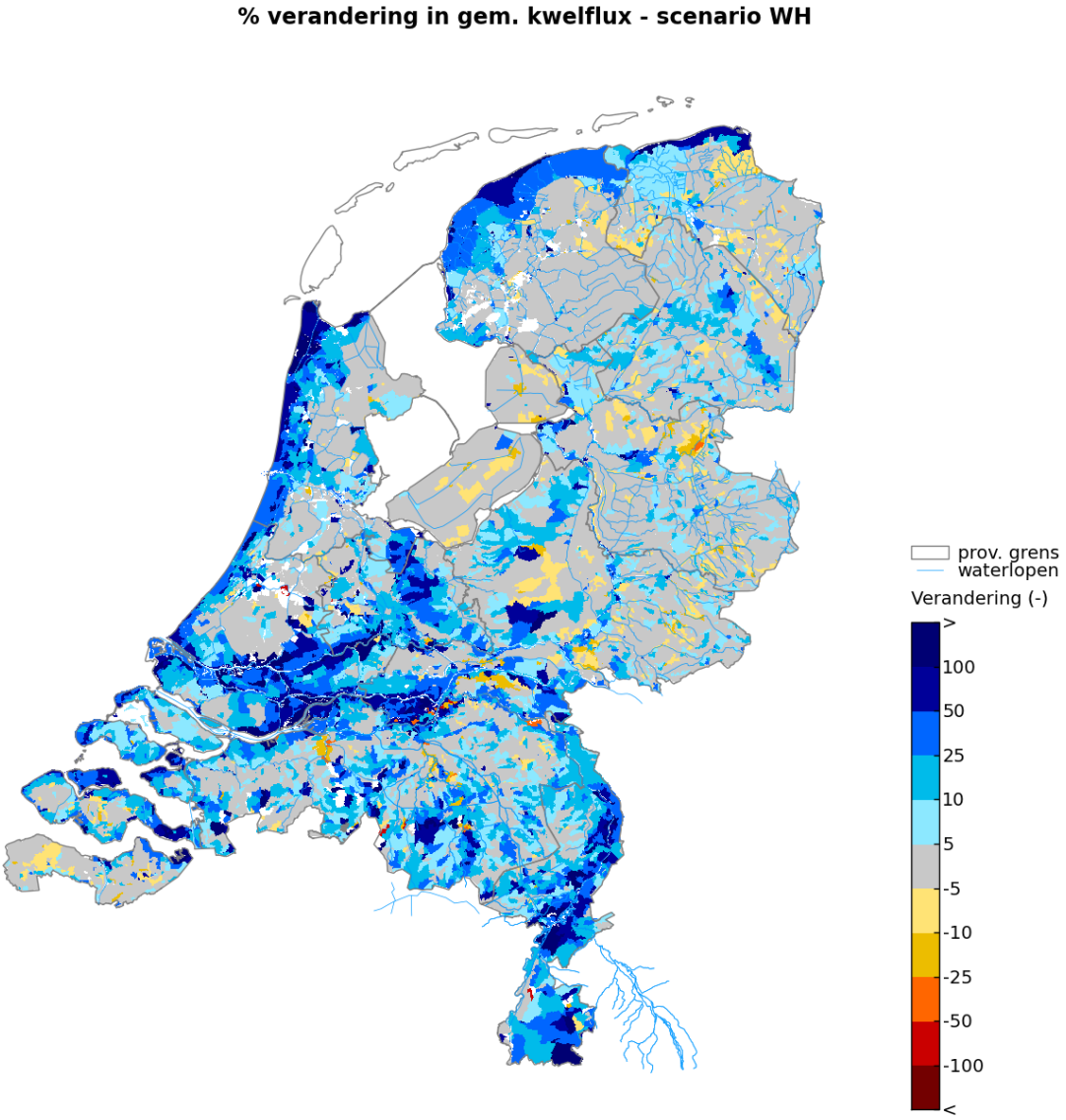
Effect op GHG - scenario WH



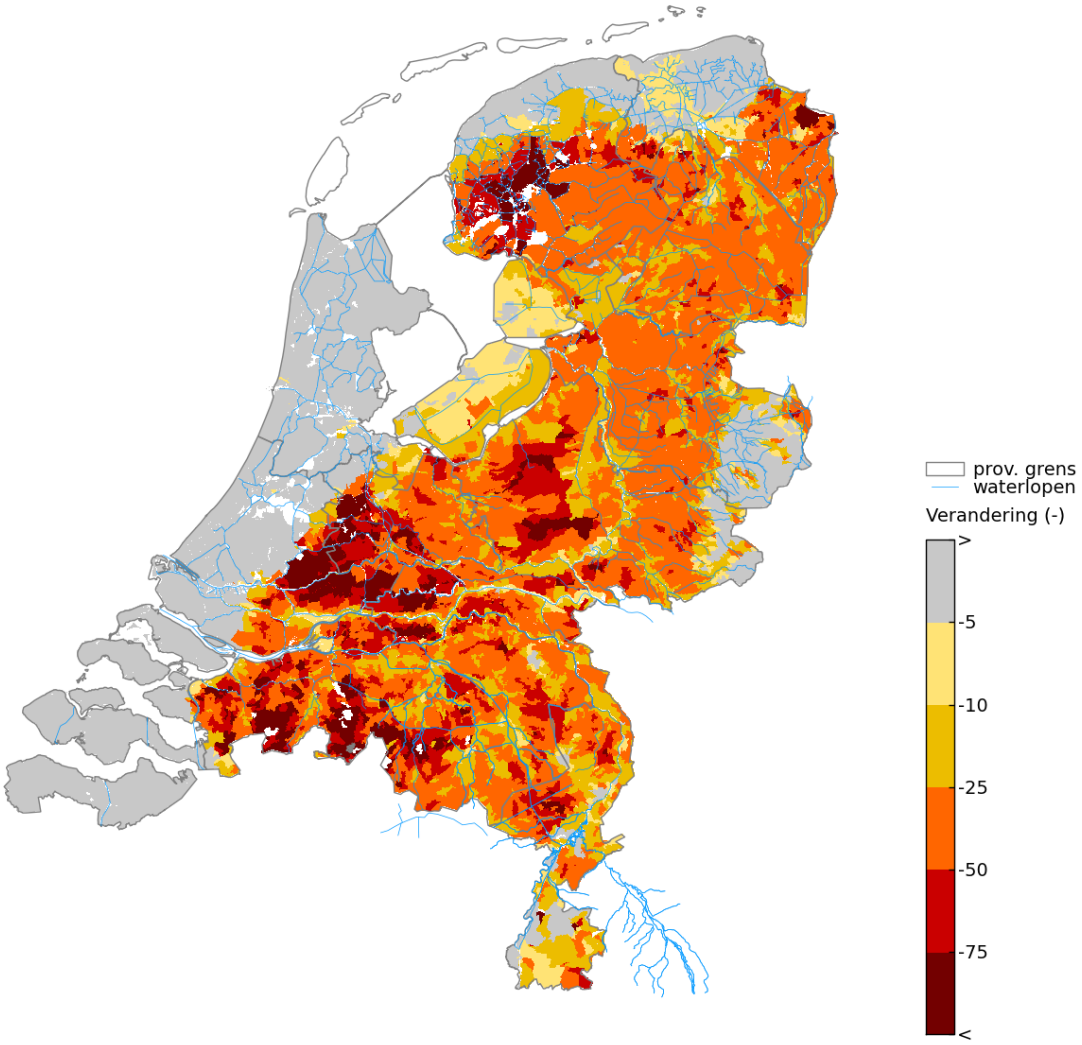
Effect op GHG - scenario 1800m_WH



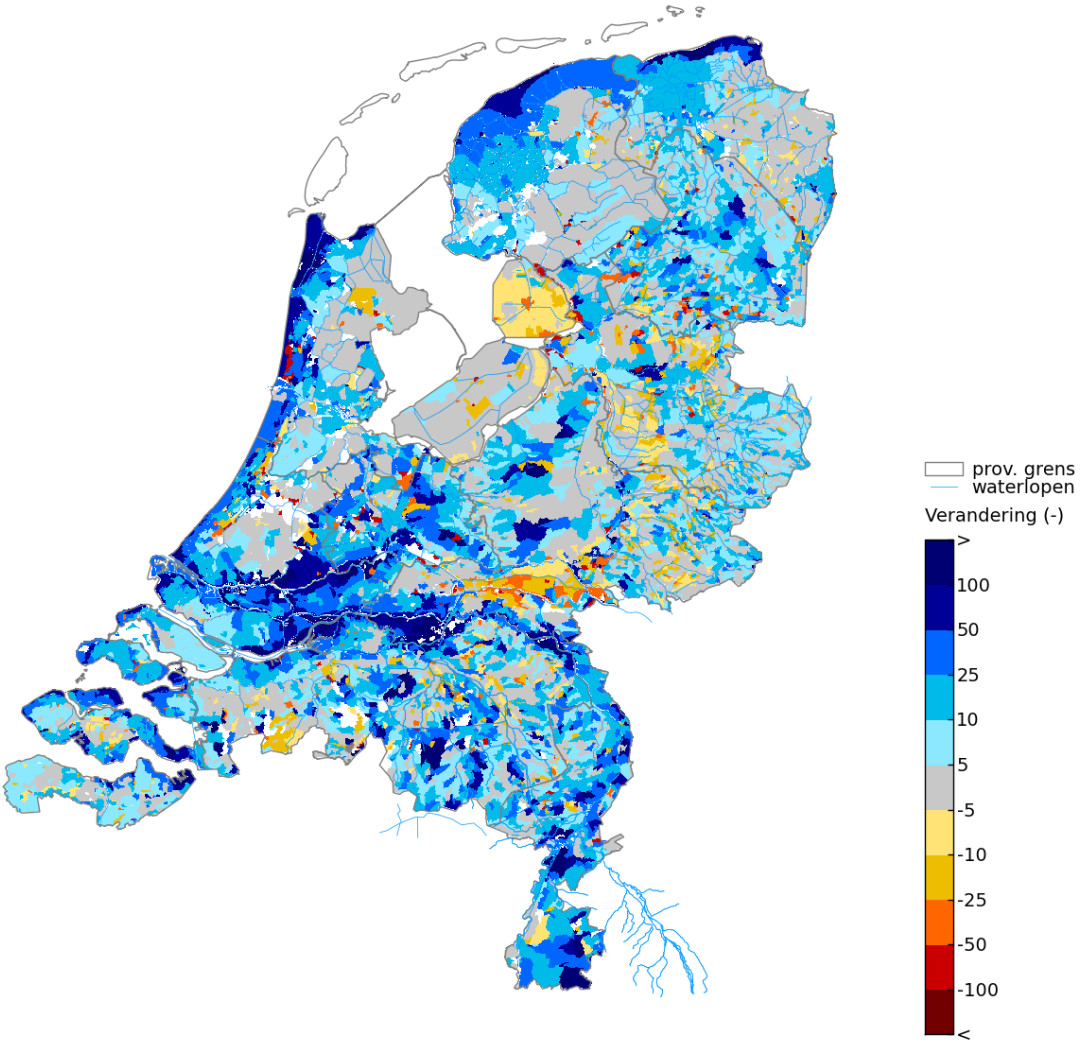
Verlaging kwelflux t.g.v. klimaat (D_WH; landsdekkend) en t.g.v. klimaat plus extra onttrekking (D_1800M_WH; over grondwatervoorraden): jaargemiddelde en zomer-gemiddelde



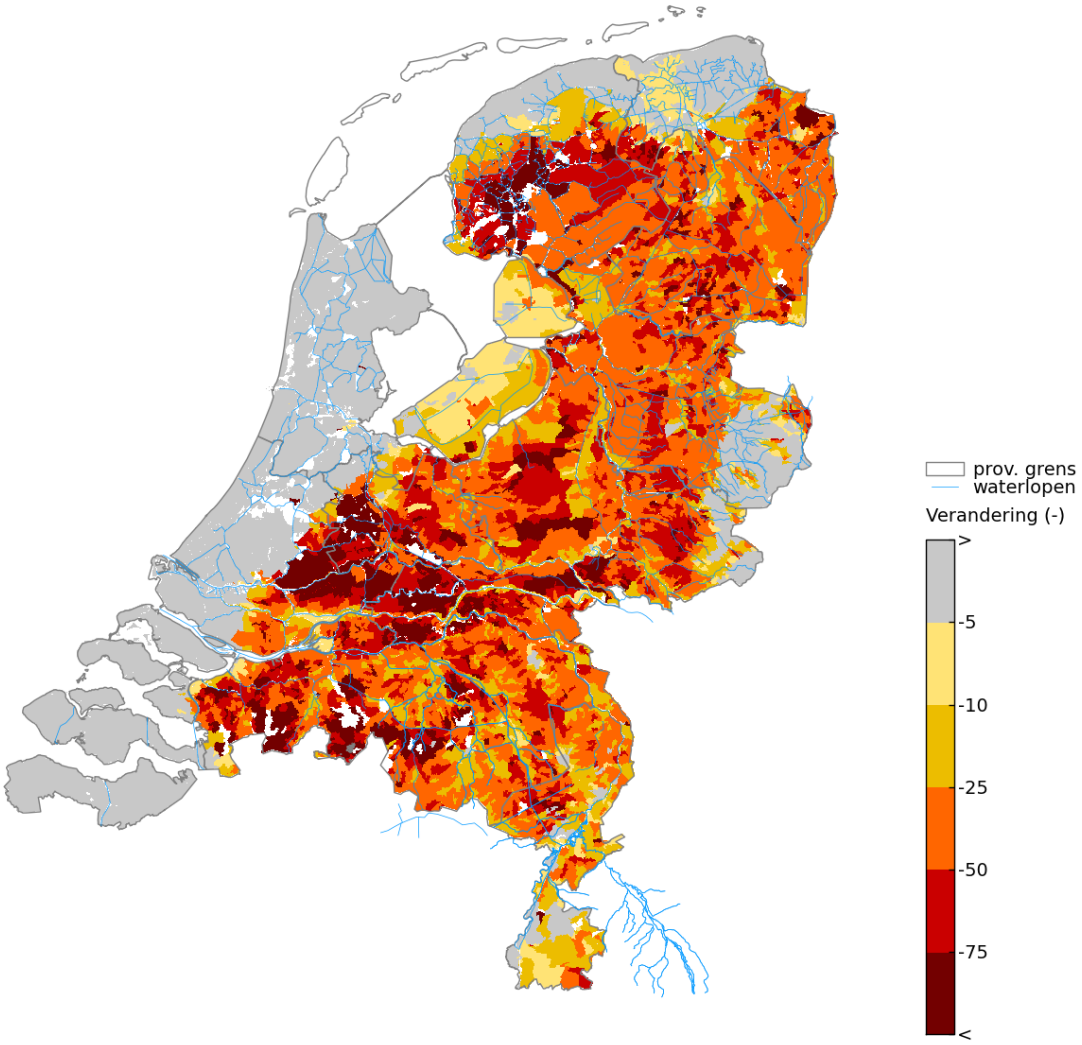
% verandering in gem. kwelflux - scenario 1800m_WH



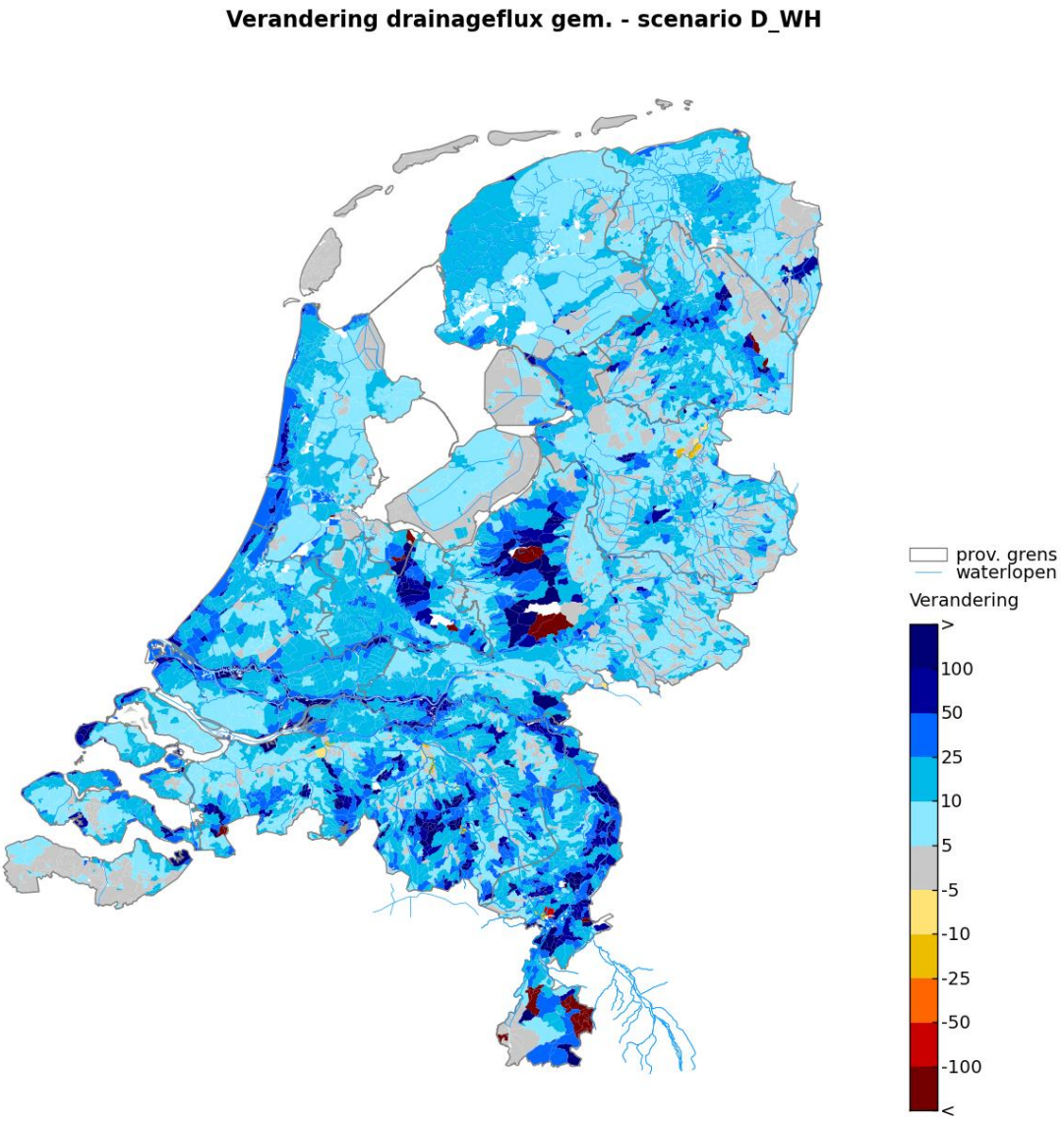
% verandering in zomer kwelflux - scenario WH



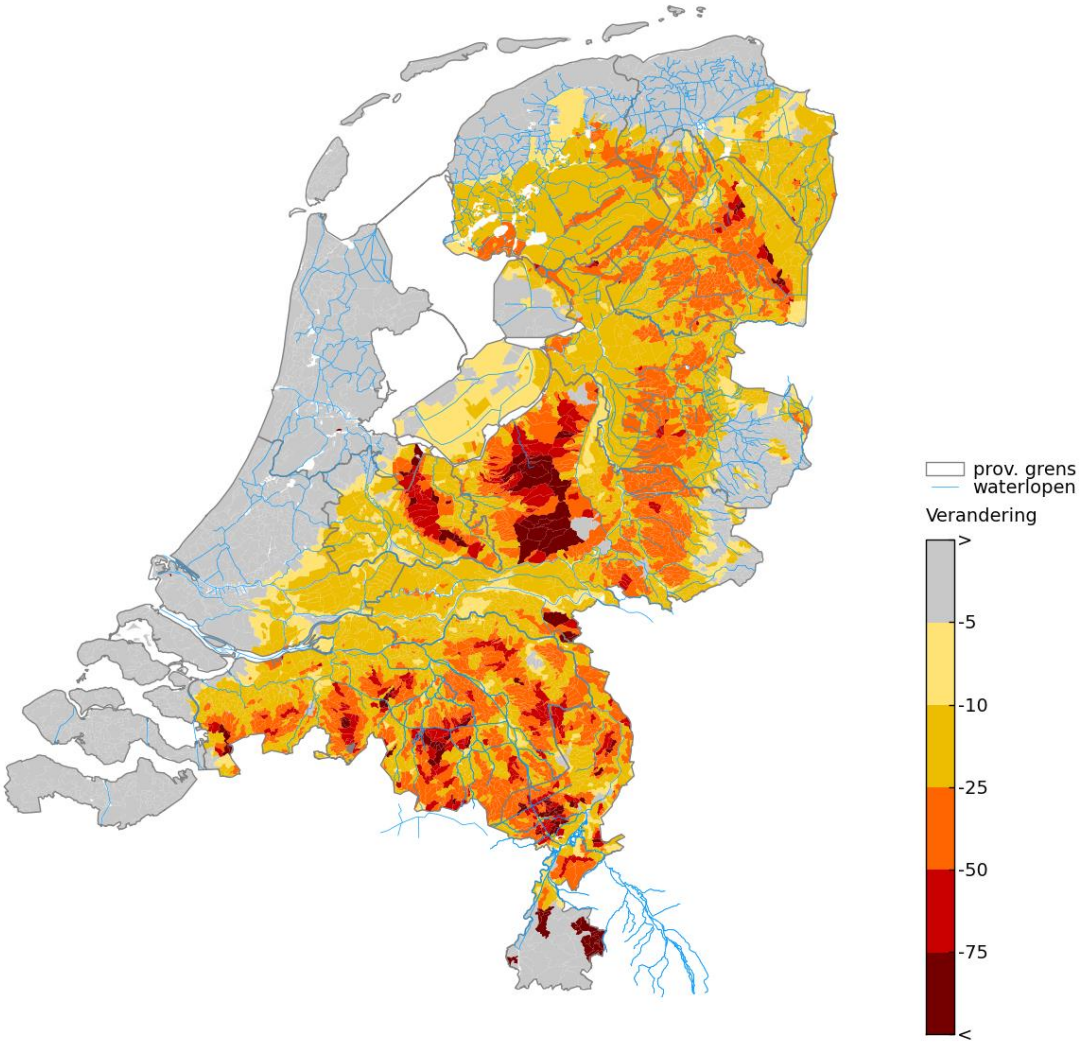
% verandering in zomer kwelflux - scenario 1800m_WH

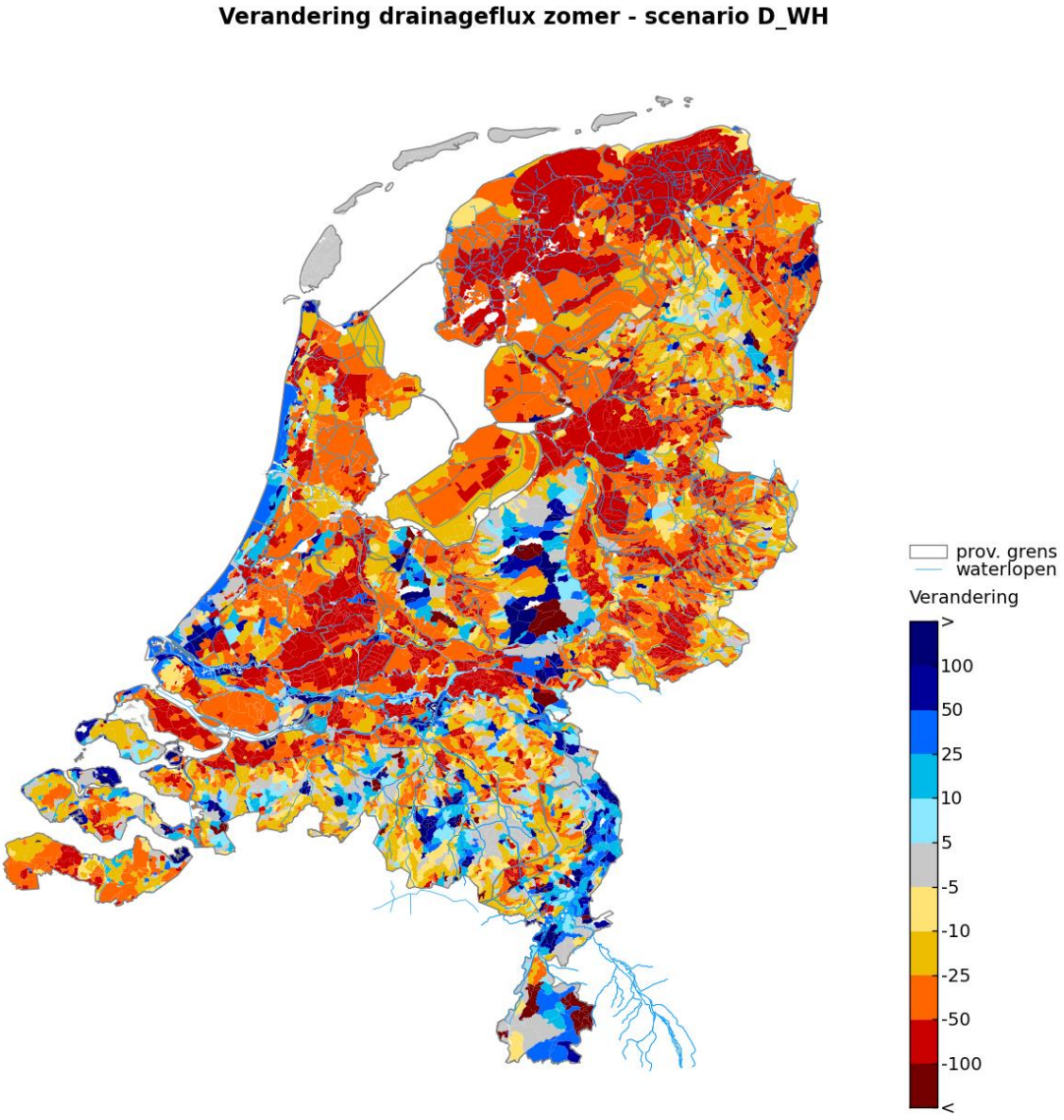
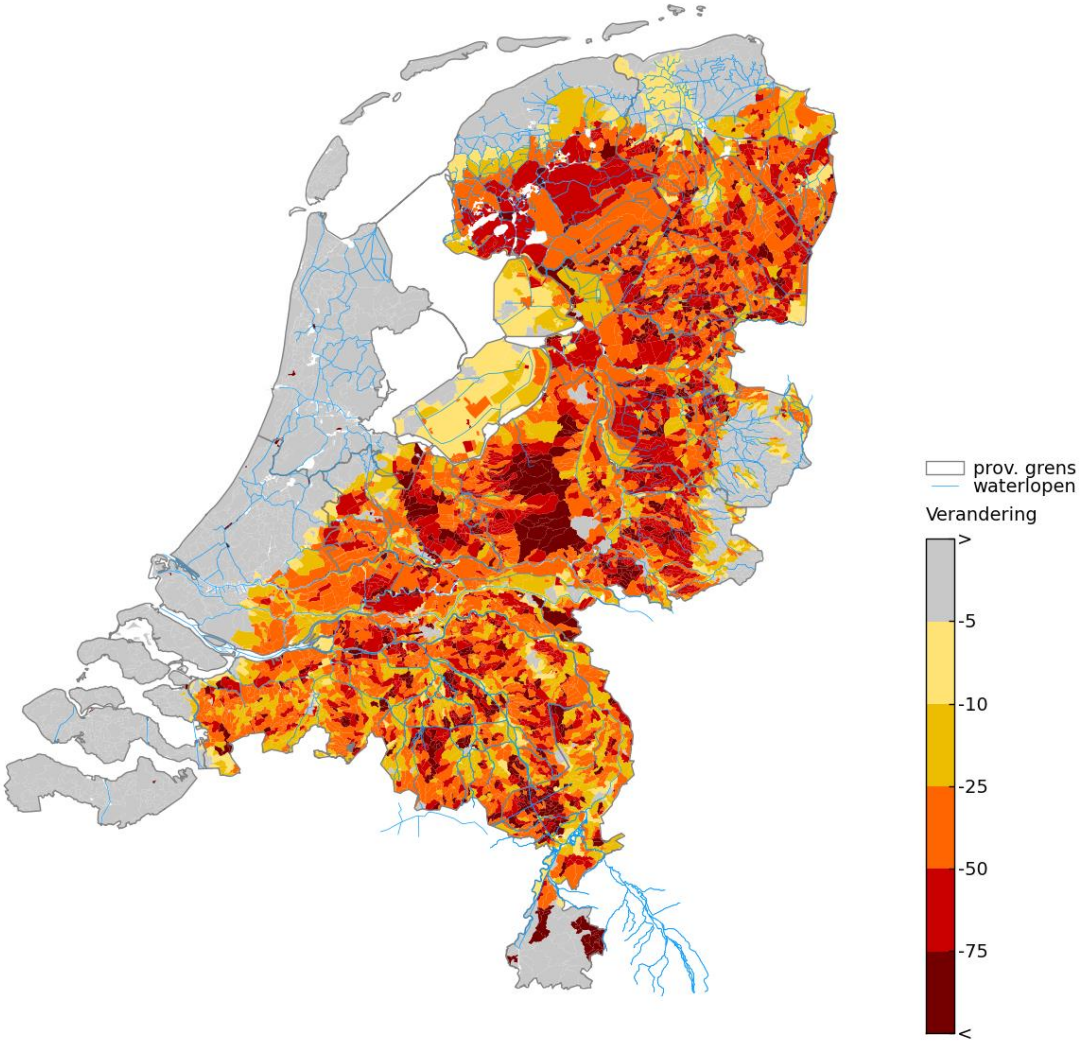


Verlaging kwelflux t.g.v. klimaat (D_WH; landsdekkend) en t.g.v. klimaat plus extra onttrekking (D_1800M_WH; over grondwatervoorraden): jaargemiddelde en zomergemiddelde.



Verandering drainageflux gem. - scenario D_1800M_WH




Verandering drainageflux zomer - scenario D_WH
prov. grens
waterlopen
Verandering
>
100
50
25
10
5
-5
-10
-25
-50
-100
<

Verandering drainageflux zomer - scenario D_1800M_WH