

RAPPORT

Brede grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe

Klant: Provincie Groningen

Referentie: BH6827

Status: 1/Definitief

Datum: 18 augustus 2023

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Brede grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe

Ondertitel: Brede grondwaterstudie G-NDR
Referentie: BH6827
Status: 1/Definitief
Datum: 18 augustus 2023
Projectnaam: Brede grondwaterstudie Groningen-Noord Drenthe
Projectnummer: BH6827
Auteur(s): Hank Vermulst, Han Vermue, Ben van der Wal

Opgesteld door: Hank Vermulst

Gecontroleerd door: Ben van der Wal

Datum: 18 augustus 2023

Goedgekeurd door: Hank Vermulst

Datum: 18 augustus 2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond en probleemstelling	1
1.2	Doelstellingen	1
1.3	Begrenzing onderzoeksgebied	1
1.4	Onderzoeksvragen	2
1.5	Werkwijze	3
1.6	Leeswijzer	3
2	Grondwatersysteem van Groningen en Noord-Drenthe	5
2.1	Huidige situatie en ontstaansgeschiedenis	5
2.2	Oppervlaktewater	11
2.2.1	Noorderzijvest	11
2.2.2	Hunze en Aa's	12
2.3	Onttrekkingen	14
3	Modelaanpak	16
4	Waterkwantiteitsmodel	19
4.1	Algemeen	19
4.2	Opzet van het waterkwantiteitsmodel	19
4.2.1	Rekenpakket, modelgebied en gridgrootte	19
4.2.2	Afleiding van de lagenschematisatie	20
4.2.3	Verwerking aanvullende geohydrologische informatie	23
4.2.4	Opschaling van de topsysteem-parameters	26
4.2.5	Vaste dichtheidsverdeling	29
4.2.6	Grondwateraanvulling met Fluzo	30
4.3	Modelvalidatie en ijking	32
4.3.1	Algemeen	32
4.3.2	Stationaire validatie	32
4.3.3	Tijdsafhankelijke validatie	44
4.3.4	Definitieve ijkresultaat	48
4.4	Opzet grondwaterbalans	52
4.5	Doorrekening huidige situatie met waterkwantiteitsmodel	55
4.5.1	Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand	56
4.5.2	Gemiddeld hoogste grondwaterstand	57
4.5.3	Gemiddeld laagste grondwaterstand	58
4.5.4	Grondwaterbalans	59
5	Waterkwaliteitsmodel	60
5.1	Inleiding	60

5.2	Stroombanenmethode op hoofdlijnen	60
5.3	Nadere toelichting stroombanenmethode	60
5.4	Startpuntengrid	62
5.5	Aanpassingen model	62
5.5.1	Lagenmodel	62
5.5.2	Topsysteem	62
6	Paleoberekeningen	63
6.1	Inleiding	63
6.2	Uitgangspunten	64
6.2.1	Paleografische kaarten	64
6.2.2	Zeespiegel	66
6.2.3	Grondwateraanvulling	67
6.2.4	Zee-Invloed; Doorbraak Dollard	68
6.2.5	Vervening	69
6.2.6	Menselijke controle over het peilbeheer	70
6.2.7	Onttrekkingen	72
6.2.8	Bodemdaling	72
6.3	Resultaten	76
6.3.1	Per paleovak	76
6.3.1.1	Paleovak 1: 5500 BC – 4675 BC	76
6.3.1.2	Paleovak 2: 4675 BC – 3300 BC	78
6.3.1.3	Paleovak 3: 3300 BC – 2125 BC	79
6.3.1.4	Paleovak 4: 2125 BC - 1000 BC	80
6.3.1.5	Paleovak 5: 1000 BC - 0	82
6.3.1.6	Paleovak 6: 0 – 800 AD	83
6.3.1.7	Paleovak 7: 800 AD – 1100 AD	85
6.3.1.8	Paleovak 8: 1100 AD – 1500 AD	86
6.3.1.9	Paleovak 9: 1500 AD – 1700 AD	87
6.3.1.10	Paleovak 10: 1700 AD – 1800 AD	89
6.3.1.11	Paleovak 11: 1800 AD – 1900 AD	90
6.3.1.12	Paleovak 12 & 13: 1900 AD – 1970 AD	92
6.3.1.13	Paleovak 14: 1970 AD – 2020 AD	93
6.3.2	Vergelijking met huidige zoutbeeld	94
6.3.2.1	Vergelijking met geïnterpoleerd zoutbeeld	94
6.3.2.2	Vergelijking met meetgegevens Dinoloket	97
6.3.2.3	Resumé	98
7	Autonome ontwikkelingen	99
7.1	Introductie	99

7.2	Uitgangspunten	100
7.2.1	Zichtjaren	100
7.2.2	Referentie	101
7.2.3	Klimaatscenario's	101
7.2.4	Bodemdaling	104
7.2.5	Onttrekkingen	105
7.3	Resultaten	106
7.3.1	Kwantiteit	106
7.3.2	Kwaliteit	109
8	Verkennde scenario's	113
8.1	Algemeen	113
8.2	Overzicht	113
8.3	Uitgangspunten verkennende scenario's	114
8.4	Resultaten verkennende scenario's	114
8.4.1	Verkennend scenario 1 – Peilverhoging veengebied	114
8.4.1.1	Omschrijving en uitwerking	114
8.4.1.2	Waterkwantiteit	115
8.4.1.3	Waterkwaliteit	119
8.4.2	Verkennend scenario 1b – Peilverhoging veen incl. beperking bodemdaling	120
8.4.2.1	Omschrijving en uitwerking	120
8.4.2.2	Waterkwantiteit	121
8.4.2.3	Waterkwaliteit	125
8.4.3	Verkennend scenario 2 – Stoppen wateraanvoer	126
8.4.3.1	Omschrijving en uitwerking	126
8.4.3.2	Waterkwantiteit	126
8.4.3.3	Waterkwaliteit	131
8.4.4	Verkennend scenario 3 – Peilverhoging wateraanvoergebied + slootbodempverhoging vrij afwaterende zandgronden	132
8.4.4.1	Omschrijving en uitwerking	132
8.4.4.2	Waterkwantiteit	132
8.4.4.3	Waterkwaliteit	137
8.4.5	Verkennend Scenario 4 – Spaarwater	137
8.4.5.1	Omschrijving en uitwerking	137
8.4.5.2	Waterkwantiteit	139
8.4.5.3	Waterkwaliteit	144
8.4.6	Verkennend Scenario 5 – Brak & Zoutwaterwinning	145
8.4.6.1	Omschrijving en uitwerking	145
8.4.6.2	Waterkwantiteit	146
8.4.6.3	Waterkwaliteit	151

8.4.7	Verkennd Scenario 7 – Peilverhoging kuststrook	151
8.4.7.1	Omschrijving en uitwerking	151
8.4.7.2	Waterkwantiteit	152
8.4.7.3	Waterkwaliteit	157
8.4.8	Verkennd Scenario 8 – Beekdalbrede inrichting	157
8.4.8.1	Omschrijving en uitwerking	157
8.4.8.2	Waterkwantiteit	158
8.4.8.3	Waterkwaliteit	163
8.4.9	Verkennd Scenario 9 – Bosomvorming	163
8.4.9.1	Omschrijving en uitwerking	163
8.4.9.2	Waterkwantiteit	163
8.4.9.3	Waterkwaliteit	168
8.4.10	Verkennd Scenario 10 – Afkoppeling verhard oppervlak	168
8.4.10.1	Omschrijving en uitwerking	168
8.4.10.2	Waterkwantiteit	168
8.4.10.3	Waterkwaliteit	174
8.4.11	Verkennd Scenario 11 – Beperking drinkwaterwinning	174
8.4.11.1	Omschrijving en uitwerking	174
8.4.11.2	Waterkwantiteit	174
8.4.11.3	Waterkwaliteit	179
8.5	Samenvatting resultaten verkennende scenario's	179
9	Combinatiescenario's	181
9.1	Algemeen	181
9.2	Overzicht	181
9.3	Uitgangspunten	182
9.4	Resultaten	182
9.4.1	Combinatiescenario 1 – maximale stapeling maatregelen tegen verzilting	182
9.4.1.1	Uitwerking	182
9.4.1.2	Waterkwantiteit	183
9.4.1.3	Waterkwaliteit	187
9.4.2	Combinatiescenario 2 – maximale stapeling maatregelen waterconservering	188
9.4.2.1	Uitwerking	188
9.4.2.2	Waterkwantiteit	189
9.4.2.3	Waterkwaliteit	193
9.4.3	Combinatiescenario 3 – Maximale stapeling maatregelen verzilting en waterconservering	194
9.4.3.1	Uitwerking	194
9.4.3.2	Waterkwantiteit	195
9.4.3.3	Waterkwaliteit	199

9.4.4	Combinatiescenario 4 – scenario 1 water en bodem sturend	200
9.4.4.1	Uitwerking	200
9.4.4.2	Waterkwantiteit	201
9.4.4.3	Waterkwaliteit	205
9.4.5	Combinatiescenario 5 – scenario 2 water en bodem sturend	206
9.4.5.1	Uitwerking	206
9.4.5.2	Waterkwantiteit	207
9.4.5.3	Waterkwaliteit	211
9.4.6	Combinatiescenario 6 – scenario 3 water en bodem sturend	212
9.4.6.1	Uitwerking	212
9.4.6.2	Waterkwantiteit	213
9.4.7	Combinatiescenario 7 – scenario 4 water en bodem sturend	218
9.4.7.1	Uitwerking	218
9.4.7.2	Waterkwantiteit	219
9.4.7.3	Waterkwaliteit	223
9.4.8	Combinatiescenario 8 – scenario 5 water en bodem sturend	224
9.4.8.1	Uitwerking	224
9.4.8.2	Waterkwantiteit	225
9.4.8.3	Waterkwaliteit	229
9.5	Samenvatting resultaten combinatiescenario's	230
10	Conclusies en aanbevelingen	234
11	Referenties	239

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling hebben op verschillende manieren een mogelijke impact op het watersysteem, het waterbeheer en de ruimtelijke inrichting van de provincies Groningen en Drenthe. Binnen verschillende programma's onderzoeken de provincies de impact en mogelijke maatregelen om de problematiek in de toekomst zo goed mogelijk beheersbaar te houden.

Om goed invulling te kunnen geven aan de verschillende opgaven, hebben de provincies Groningen en Drenthe, de Waterschappen Hunze en Aa's en Noorderzijlvest en de Waterbedrijven in het gebied (Waterbedrijf Groningen en Waterleidingmaatschappij Drenthe) behoefte aan beter inzicht in het functioneren van het grondwatersysteem in het algemeen en specifiek ook de toename van verzilting.

1.2 Doelstellingen

Dit vormde voor de provincie Groningen aanleiding om, samen met andere deelnemende partijen (provincie Drenthe, Waterbedrijf Groningen, Waterleidingmaatschappij Drenthe en de Waterschappen Hunze en Aa's en Noorderzijlvest), aan Royal HaskoningDHV opdracht te verlenen voor het uitvoeren van een Brede Grondwaterstudie voor de provincie Groningen en het noordelijk deel van de provincie Drenthe (hierna te noemen onderzoeksgebied).

Concrete doelstellingen van deze Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe waren:

- Het analyseren van het regionale grondwatersysteem in kwantitatieve zin (grondwaterstanden, waterbalansen, kwel en infiltratie, drainage).
- Het analyseren van de chlorideverdeling in de ondergrond en het transport van chloride in het grondwatersysteem.
- Het analyseren van de toekomstige effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op het grondwaterregime (grondwaterstanden, stijghoogten en fluxen) en de chlorideverdeling in het grondwatersysteem.
- Het onderzoeken van de effecten van waterhuishoudkundige ingrepen op het grondwaterregime en de verzilting van het grondwatersysteem.

1.3 Begrenzing onderzoeksgebied

Figuur 1-1 geeft het onderzoeksgebied van de Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe weer. In globale zin komt het onderzoeksgebied overeen met de beheergebieden van de Waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa's, met een invloedszone eromheen. Het onderzoeksgebied omvat de gehele provincie Groningen en het noordelijk (en oostelijk) deel van de provincie Drenthe.



Figuur 1-1: Onderzoeksbied Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe

1.4 Onderzoeksvragen

Concrete onderzoeksvragen van de Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe waren:

- Hoe werd en wordt het grond- en oppervlaktewatersysteem in het onderzoeksgebied beïnvloed door:
 - peilbeheer en ontwatering;
 - inpolderingen en landaanwinning;
 - zeespiegelstijging;
 - klimaatverandering.

Deze vraag heeft betrekking op de periode van het begin van het Holocene tot aan de huidige situatie.

- Wat zijn de verwachte toekomstige effecten op het grondwatersysteem als gevolg van verdergaande klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling (als gevolg van ontwatering of gaswinning)?
- Wat is het effect van grootschalige maatregelen op het grondwatersysteem en in hoeverre zijn deze geschikt om de verwachte effecten als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling te mitigeren, te beperken of te vertragen?

1.5 Werkwijze

De Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe omvatte de volgende onderdelen:

- **Grondwaterkwantiteitsmodellering:**
Het opzetten en kalibreren van een gebiedsdekkend geohydrologisch model (waterkwantiteit), gebaseerd op MIPWA v4.
- **Waterkwaliteitsmodellering:**
Een op het grondwaterkwantiteitsmodel gebaseerde modellering van de chlorideconcentraties in het grondwater in het onderzoeksgebied (kwaliteit).
- **Historische doorrekening en analyse van de zoutindringing in het grondwatersysteem:**
Verificatie van het waterkwaliteitsmodel door de zoutindringing in het grondwater gedurende het Holoceen met het model te reconstrueren en het eindbeeld, de berekende chlorideverdeling in de huidige situatie, te vergelijken met het geïnterpoleerde ruimtelijke beeld op basis van chloridemetingen in het grondwater in de huidige situatie. Dit onderdeel wordt in deze rapportage verder aangeduid als de *Paleoberekening*.
- **Analyse grondwaterregime huidige situatie:**
Met het grondwaterkwantiteitsmodel is het grondwaterregime in de huidige situatie in beeld gebracht en geanalyseerd, onder meer in de vorm van kaarten met berekende GHG, GLG en GVG (gemiddeld hoogste, laagste en voorjaarsgrondwaterstand) en waterbalansen voor het gehele onderzoeksgebied en deelgebieden.
- **Scenario-analyse:**
Met beide modellen (waterkwantiteitsmodel en waterkwaliteitsmodel) is een uitgebreide scenario-analyse uitgevoerd, bestaande uit:
 - Het doorrekenen en analyseren van autonome scenario's op basis van verwachte klimaatverandering, zeespiegelrijzing en bodemdaling;
 - Het kwantificeren van het effect van afzonderlijke maatregelen op het grondwaterregime en de chlorideverdeling in de ondergrond, door het doorrekenen en analyseren van bouwsteen-scenario's ofwel elementen;
 - het kwantificeren van de effecten van samengestelde scenario's op het grondwaterregime en de chlorideverdeling in de ondergrond.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van deze rapportage volgt een toelichting op het grondwatersysteem van het onderzoeksgebied. Tevens gaat dit hoofdstuk in op het oppervlaktewatersysteem en de bestaande grondwaterwinningen.

In hoofdstuk 3 presenteren we de voor deze studie gevolgde modelaanpak. We gaan daarbij in op de modellen die zijn opgezet en gebruikt voor de studie en de samenhang tussen deze modellen. Tevens beschrijven we per model de wijze van opzet van het model, de schematisatie en de kalibratie en validatie. Tot slot beschrijven we de wijze waarop met de modellen de scenario's zijn doorgerekend.

Hoofdstuk 4 gaat in op het waterkwantiteitsmodel. Achtereenvolgens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de opzet van het model, de verwerking van nieuwe inzichten in de diepe ondergrond (Peizecomplex en de ligging van zogenoemde Peelogeulen) en de validatie van het waterkwantiteitsmodel aan de hand van gemeten grondwaterstanden, veldschattingen van de GxG en gemeten bemalingsdebieten. Tevens wordt in dit hoofdstuk het berekende grondwaterregime voor de huidige situatie gepresenteerd, in de vorm van kaarten met berekende GxG en kwel en een waterbalans.

Hoofdstuk 5 gaat in op de waterkwaliteitsmodellering, die is gebaseerd op de zogenoemde stroombanenmethode.

In hoofdstuk 6 worden de aanpak en resultaten van de Paleoberekening gepresenteerd en toegelicht.

De scenario-analyse volgt in de hoofdstukken 7, 8 en 9.

Hoofdstuk 7 gaat in op de autonome scenario's. Voor de vier KNMI-klimaatscenario's G_H , G_L , W_H en W_L zijn de effecten van veranderde neerslag en verdamping, zeespiegelstijging en bodemdaling op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalansen) en de waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) berekend en geanalyseerd.

Hoofdstuk 8 behandelt de verkennende scenario's. In totaal zijn 12 verkennende scenario's doorgerekend, waarin de effecten van individuele maatregelen op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalansen) en de waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) zijn berekend en geanalyseerd. De verkennende scenario's zijn allemaal gebaseerd op en vergeleken met het scenario Autonoom- W_H (autonome ontwikkeling met KNMI-klimaatscenario W_H).

Hoofdstuk 9 behandelt de gecombineerde scenario's. Op basis van de resultaten van de 11 verkennende scenario's zijn in totaal 8 gecombineerde scenario's gedefinieerd. Voor deze 8 gecombineerde scenario's zijn de effecten op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalansen) en de waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) berekend en geanalyseerd. Ook de gecombineerde scenario's zijn allemaal gebaseerd op en vergeleken met het scenario Autonoom- W_H (autonome ontwikkeling met KNMI-klimaatscenario W_H).

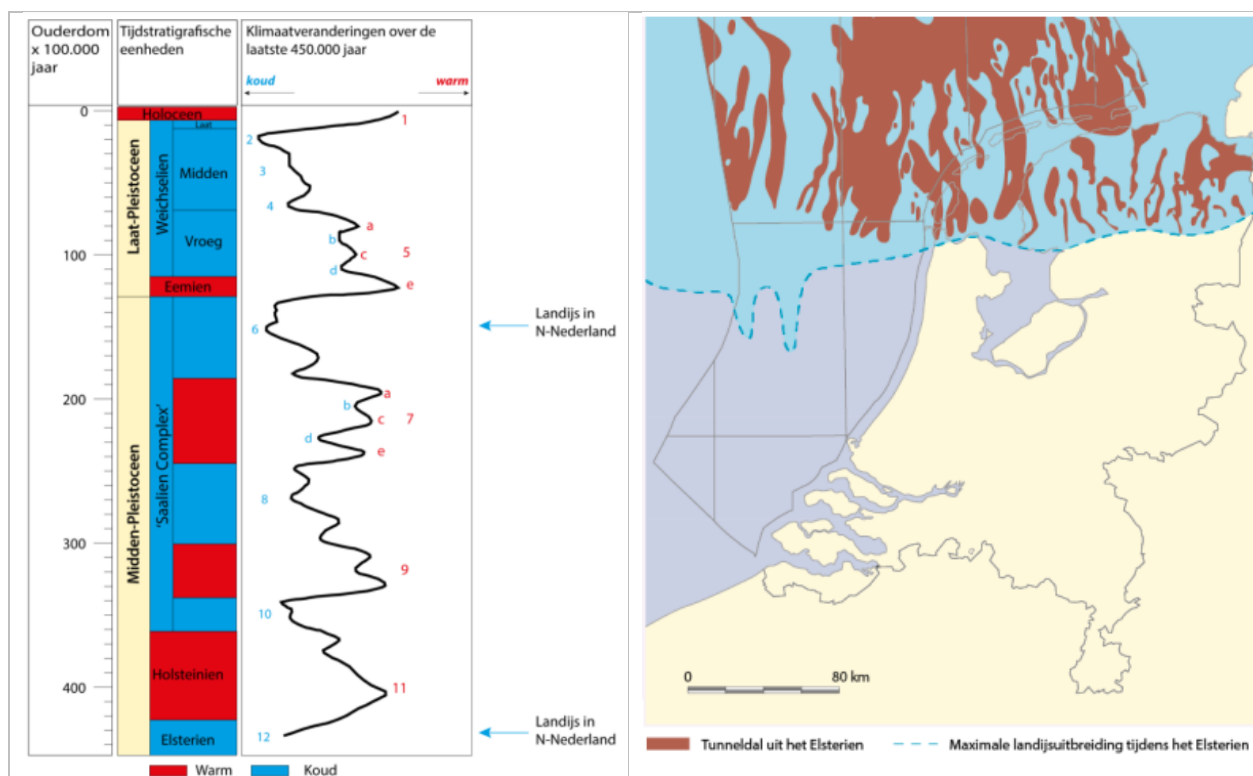
Tot slot volgen in hoofdstuk 10 de conclusies en aanbevelingen.

2 Grondwatersysteem van Groningen en Noord-Drenthe

2.1 Huidige situatie en ontstaansgeschiedenis

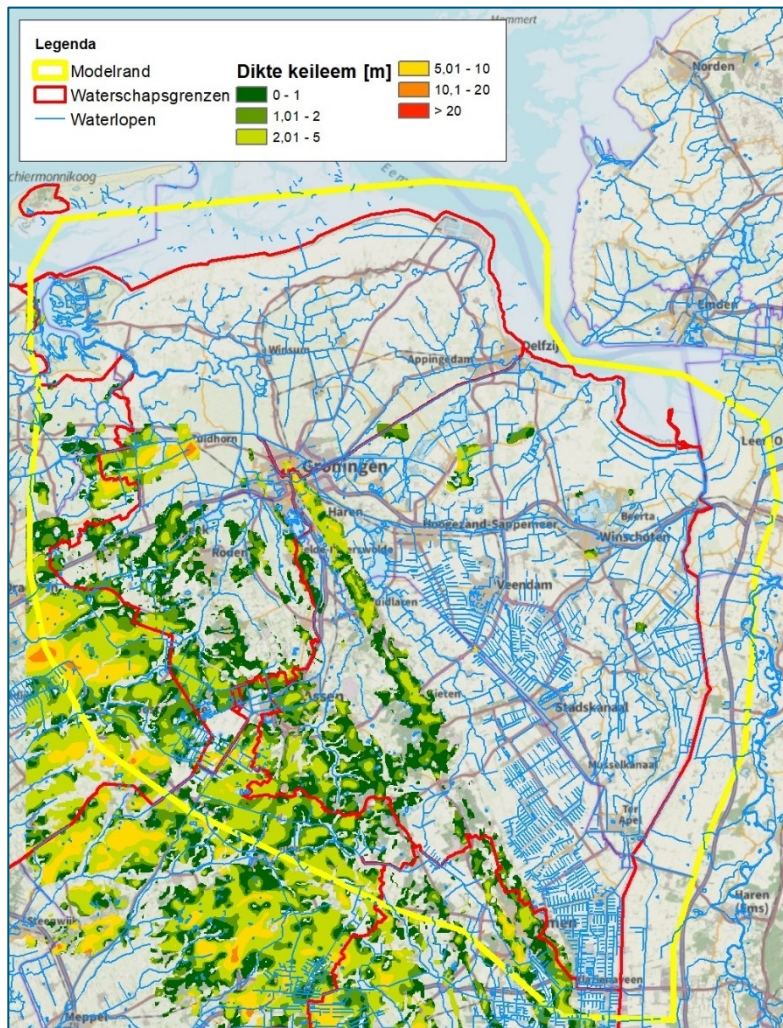
Het projectgebied wordt gekenschetst door de invloeden van wisselende zeespiegels en ijstijden. Deze mechanismen hebben tot op de dag van vandaag een groot effect op het landschap en grondwatersysteem van Groningen en Noord-Drenthe.

Op verschillende locaties zijn subglaciale geulen of tunneldalen aanwezig die tot in of zelfs door de mariene zanden reiken (zie Figuur 2-1). Deze zogenaamde Peelogeulen zijn van noord naar zuid gericht en naar verluid smeltwatergeulen van de ijskappen toen deze aanwezig waren of zich terugtrokken. De geulen kunnen tot honderden meters diep reiken, zijn tientallen kilometers lang en enkele kilometers breed. De geulen zijn onderin opgevuld met grofzandig of grindig materiaal, naar boven toe wordt dit fijner met ook dikke pakketten zware klei (ook bekend als 'potklei'). Deze geulen en potklei vormen tegelijk kortsluitingen en afsluitingen voor grondwaterstroming in de ondergrond en hebben een bijzondere invloed op het grondwatersysteem.



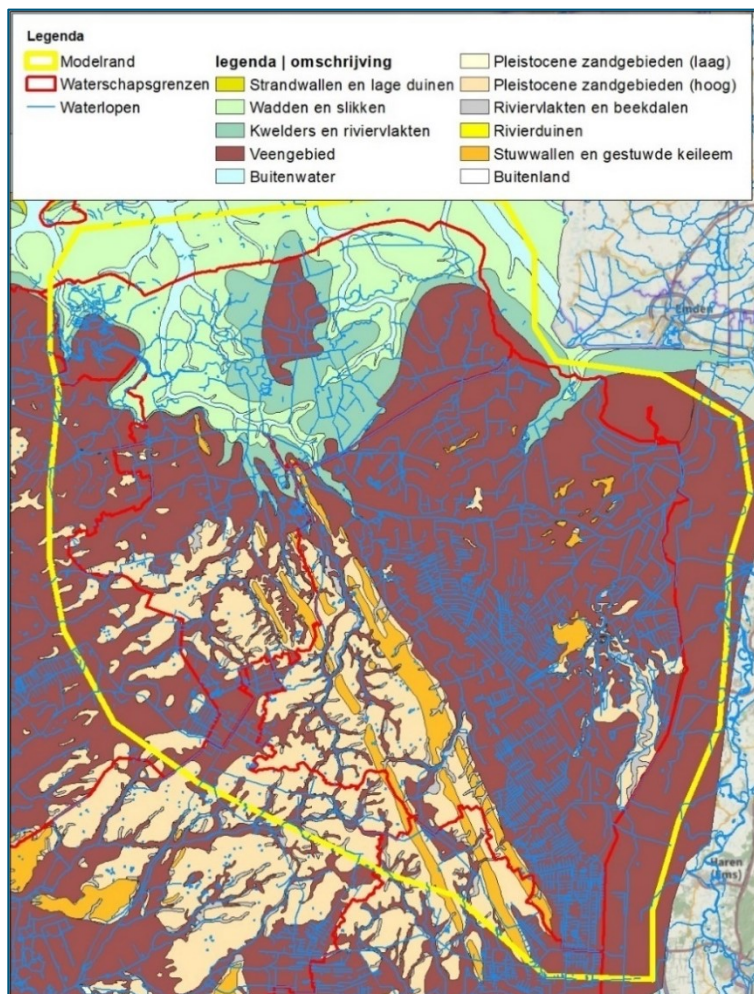
Figuur 2-1 Weergave ijstijden, aanwezigheid landijs en locatie tunneldalen (Meijjes et al., 2015)

Een ander relict van de ijstijden in dit gebied is de keileem (zie Figuur 2-2). Keileem bestaat uit een mix van klei, leem, zand, grind en ook grotere keien. Keileem laat water slecht door en is moeilijk doordringbaar voor wortels en heeft zodoende een effect op de waterhuishouding en begroeiing. De aanwezigheid van keileem heeft in het verleden op uitgebreide schaal geleid tot veenvorming. In het projectgebied wordt keileem met name aangetroffen op de Hondsrug en in het gebied ten zuiden en westen van de Hondsrug.



Figuur 2-2 Dikte keileem in projectgebied (MIPWA 2.0)

Na de ijstijden brak het Holoceen aan waarin het relatief warm was en veenvorming in grote delen van het onderzoeksgebied plaats heeft gevonden waar zee-invloed en ontwatering beperkt was. Deze veenpakketten konden tot wel 10 meter dik worden (Gerding, 1995). In Figuur 2-3 is de verspreiding van het veen weergegeven rond 1500 voor Christus.



Figuur 2-3 Paleokaart van 1500 VC met de grootschalige verspreiding van veen in beeld (Vos, P et al., 2018)

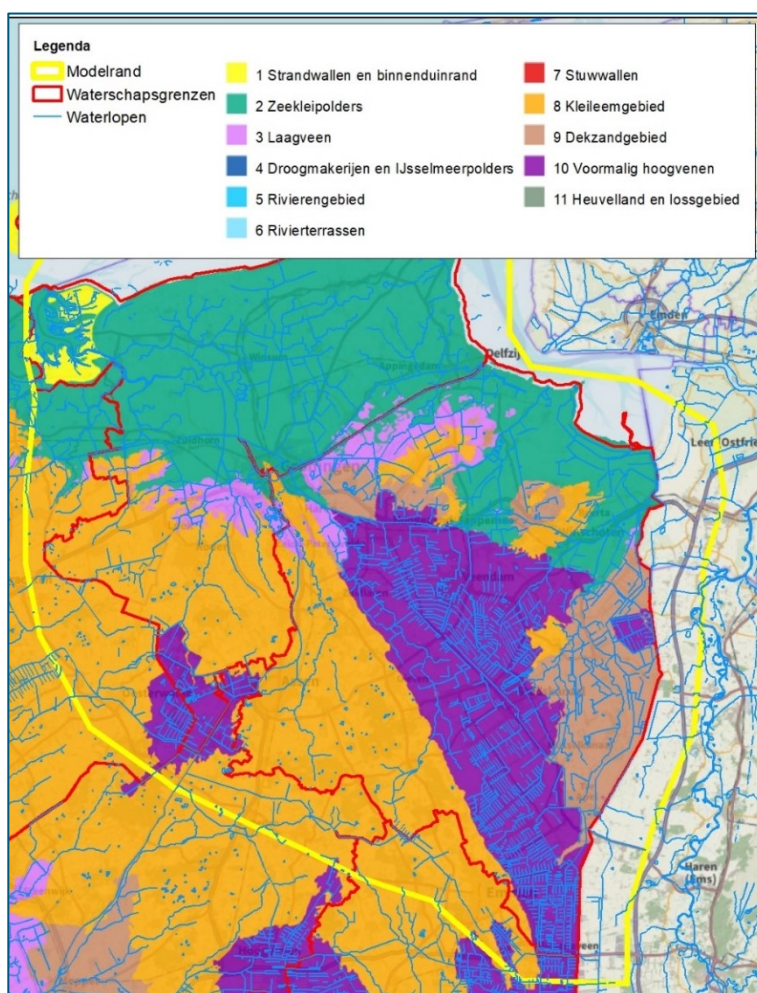
Gedurende het Holoceen is de zeespiegel flink gestegen van grofweg 10 meter onder het huidige zeeniveau omstreeks 5000 voor Christus (VC), ongeveer 5 meter onder het huidige zeeniveau omstreeks 3000 VC, ongeveer 3 meter onder het huidige zeeniveau aan het begin van de christelijke jaartelling en ongeveer 2 meter onder het huidige zeeniveau omstreeks 1000 NC (zie ook Figuur 6-2 verderop in dit rapport). De laatste eeuwen is de zeespiegel gestegen met gemiddeld 20 cm per eeuw.

Deze zeespiegelstijging heeft rond de 15^{de} eeuw onder meer geleid tot de vorming van de Dollard. Als gevolg van storminvloeden en beperkte beschermingsmaatregelen kon de zee tot ver landinwaarts doordringen en de Dollard vormen. Gedurende deze doorbraken is aanwezig veen waarschijnlijk losgeslagen en is er klei afgezet in dit gebied wat zijn eigen effect heeft op de hedendaagse waterhuishouding. In de opvolgende eeuwen is de Dollard door de aanleg van dijken teruggedrongen tot zijn huidige begrenzing.

Ook ten noorden van Groningen is door middel van dijken de zee-involed beperkt en is de aanslibbing van land gestopt. Vanaf omstreeks 500 VC werden de noordelijke kweldergebieden gekoloniseerd. De hoger liggende oeverwallen werden bewoond gedurende de zomer waarbij de bewoners hun vee lieten grazen op de vruchtbare gronden. In de winter verlieten zij de gebieden om de stormen te ontwijken. Al snel werden echter woonheuvels opgeworpen ('wierden') om zich permanent te kunnen vestigen (Meijles, 2015). Als gevolg van de groeiende bevolking werd omstreeks 900 NC ook gestart met het bevolken van

de veengebieden. De bewoners legden ontwatering aan zodat het verbouwen van rogge mogelijk werd. Als gevolg van deze afwatering begon het veen in te klinken en begon het aangevoerde water vanuit onder andere Drenthe zich te verzamelen in de ontgonnen veengebieden. Om dit overschot aan water af te kunnen voeren, zijn afwateringskanalen aangelegd. Dit vereiste samenwerking op grotere schaal en deze samenwerking ligt ten grondslag aan het ontstaan van de zijlvesten, de voorlopers van de huidige waterschappen. De zijlvesten zijn vernoemd naar de uitwateringssluizen; de 'zijlen'. Na de Middeleeuwen vond een grootschalige vervening plaats waarbij grote delen van het aanwezige veen werden gewonnen ten behoeve van brandstof voor de opkomende industrie en verwarming. Deze vervening heeft tot een fijnmazig ontwateringssysteem geleid, gecombineerd met grote afwateringskanalen die werden gebruikt voor het afvoeren van de turf.

Het projectgebied is op te delen in een aantal landschapstypes die hun oorsprong mede vinden in de beschreven ontwikkelingen. Deze landschapstypes zijn weergegeven in Figuur 2-4.



Figuur 2-4 Landschapstypes in het onderzoeksgebied

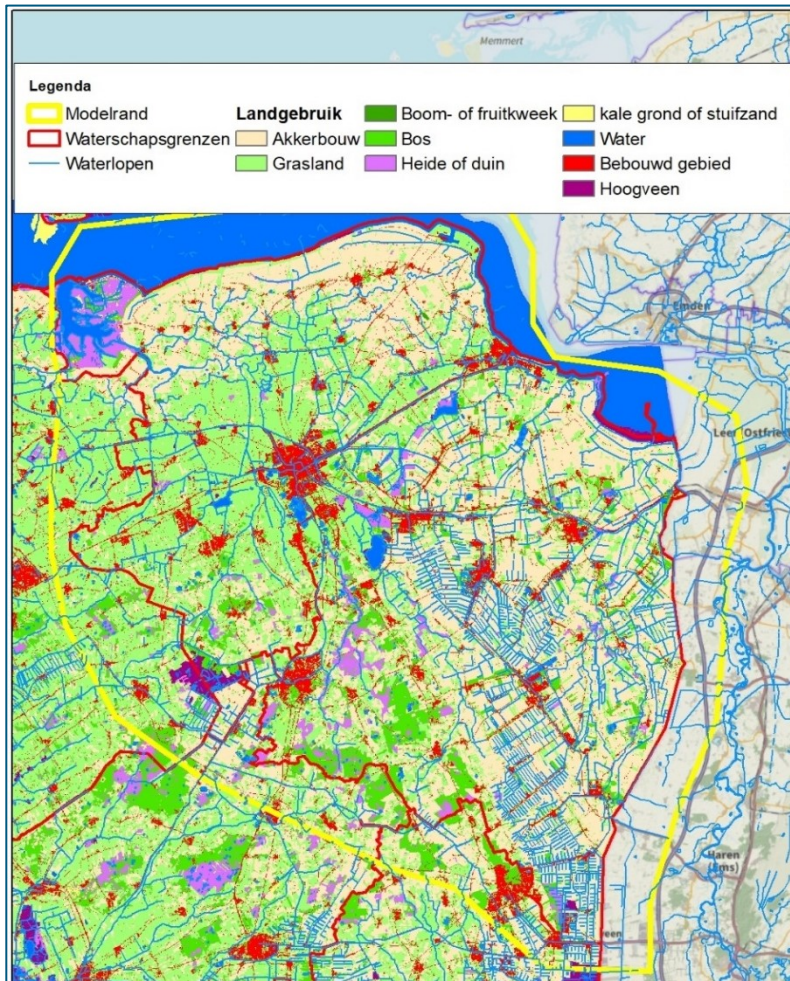
In het noorden vindt men bijvoorbeeld de zeekleigebieden waar door aanslibbing van sediment vanuit zee na verloop van tijd een dik pakket van klei en zavel is ontstaan bovenop de Pleistocene zanden. Deze zeekleigebieden liggen rond zeeniveau (0 m +NAP) en zijn vanaf de Middeleeuwen gaandeweg bedijkt en kennen veelal agrarisch landgebruik in de vorm van akkerbouw en in mindere mate grasland (Figuur 2-5).

Figuur 2-6 geeft het verloop van het maaiveld binnen het projectgebied weer. De maaiveldhoogte varieert van meer dan 10 m + NAP in het centrale en oostelijke deel van Drenthe tot minder dan 2 m – NAP in het gebied ten zuiden van het Eemskanaal (Oldambt). Verder naar het noorden, richting de Waddenzee, loopt het maaiveld weer iets op, tot maximaal 2 m +NAP in de jongste landaanwinningen in Noord-Groningen.

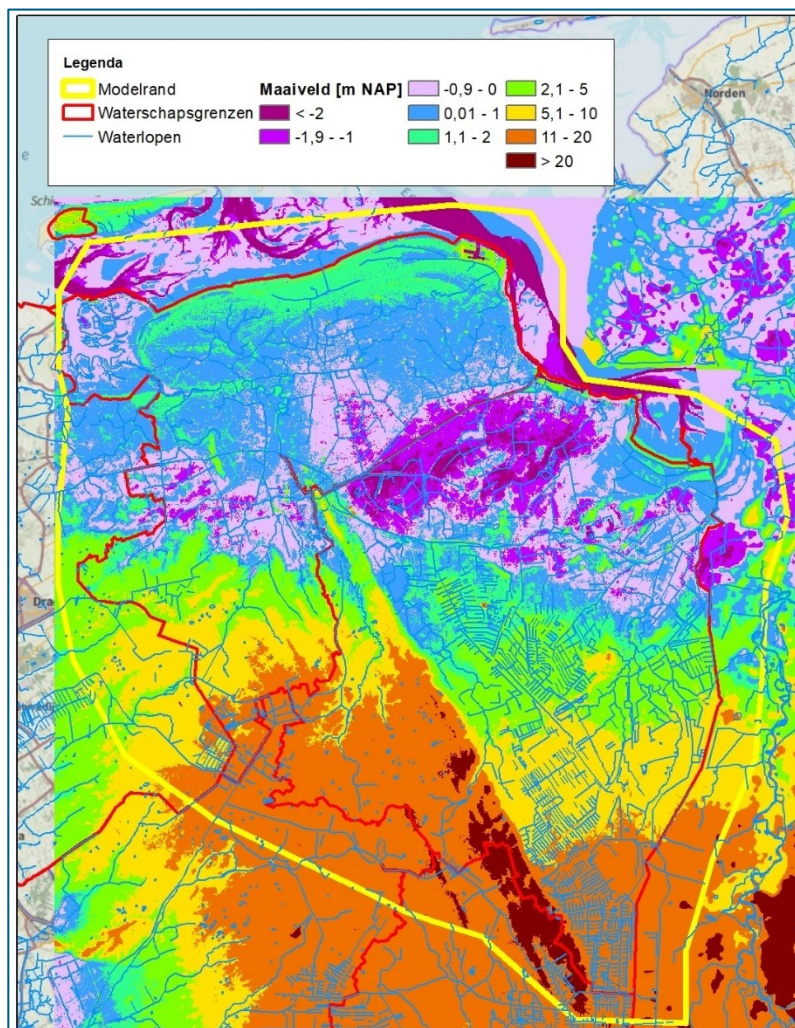
Naar het zuidoosten toe is sprake van overwegend veen- en dekzandlandschap. Het veenlandschap kenmerkt zich door lange rechte vaarten en een dicht netwerken van sloten dat is aangelegd ten behoeve van de ontginning van de veengronden. De voormalige veengronden zijn momenteel hoofdzakelijk in agrarisch gebruik. In het gebied van de Veenkoloniën loopt het maaiveld op van rond 0 m +NAP nabij Veendam en Winschoten tot meer dan 10 m + NAP tussen Ter Apel en Emmen (zie Figuur 2-6).

Naar het zuidwesten toe wordt een keileemlandschap aangetroffen. Het is een soms glooiend landschap, bijvoorbeeld ter plaatse van de Hondsrug, waar het maaiveld tot meer dan 20 m +NAP reikt. Het overgrote deel van het keileemlandschap heeft een maaiveldniveau tussen de 2 en 15 m +NAP. De ondiepe afzettingen van keileem in de laatste ijstijden in het gebied zorgen veelal tot beperkte afwatering en infiltratie van neerslagwater en hebben gedurende het Holoceen geleid tot het ontstaan van uitgestrekte hoogveengebieden, waarvan het Fochtelooërveen een restant is. In het keileemlandschap is het landgebruik veelal grasland en natuurgebied (bos, veen).

Binnen de verscheidene landschappen zijn een aantal grotere stedelijke kernen te herkennen in de vorm van Groningen, Assen en Emmen. Ter plaatse van Delfzijl, Stadskanaal, Winschoten en Veendam zijn ook grotere aaneengesloten oppervlaktes bebouwd gebied te herkennen.



Figuur 2-5 Landgebruik (LGN7)



Figuur 2-6 Verloop maaiveldhoogte in projectgebied

2.2 Oppervlaktewater

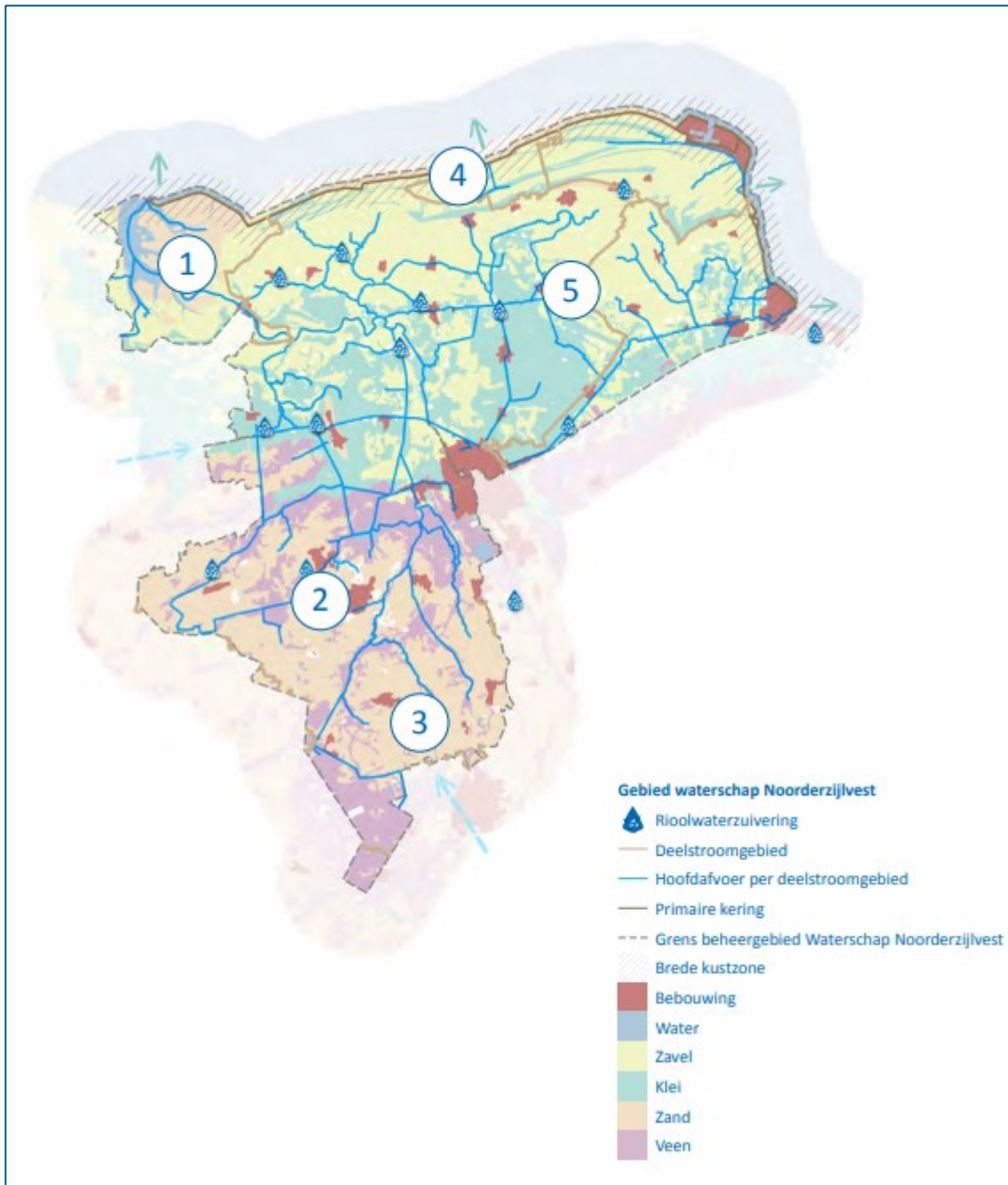
Het oppervlaktewatersysteem in het projectgebied wordt beheerd door Rijkswaterstaat, de waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa's en de gemeenten (oppervlaktewater binnen stedelijke gebieden).

2.2.1 Noorderzijlvest

Het watersysteem van waterschap Noorderzijlvest kent een aantal deelgebieden die verschillend van aard zijn qua watersysteem en beheer (Figuur 2-7). In het zuidwesten is sprake van het Drents Plateau (3) waar beken ontspringen en vrij afstromen richting het noorden, zoals het Oostervoortsche en Lieversche Diep. Noordelijk hiervan is het Zuidelijk Westerkwartier (2) gelegen waar de benedenlopen van de beken zich bevinden in een landschap met een mengeling van veen, klei en zand. Hier zijn onder meer de Onlanden en het Leekstermeer gelegen. Via onder meer het Reitdiep wordt water afgevoerd naar het Lauwersmeer (1). Vanuit het Lauwersmeer wordt water via de Cleveringssluizen gespuid naar de Waddenzee. Ten noordoosten van Groningen ligt het Mareng gebied (5) waar diepere polders tot een aantal meter onder NAP aanwezig zijn. Water wordt vanuit deze polders gemalen op de boezem. Via de boezem wordt water onder meer afgevoerd naar het Damsterdiep, ter hoogte van Appingedam en Delfzijl, vanwaar het naar de Dollard wordt afgevoerd. Noordelijk van het Mareng gebied ligt de noordelijke

kuststrook (4), die een wat hoger maaiveld heeft. In het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest liggen ook enkele grotere kanalen, te weten het Starckenborghkanaal, dat van Groningen naar het westen afbuigt richting Friesland, en het Eemskanaal dat van Groningen naar Delfzijl loopt.

Wateraanvoer is in het grootste deel van het beheergebied mogelijk, met uitzondering van het Drents Plateau.



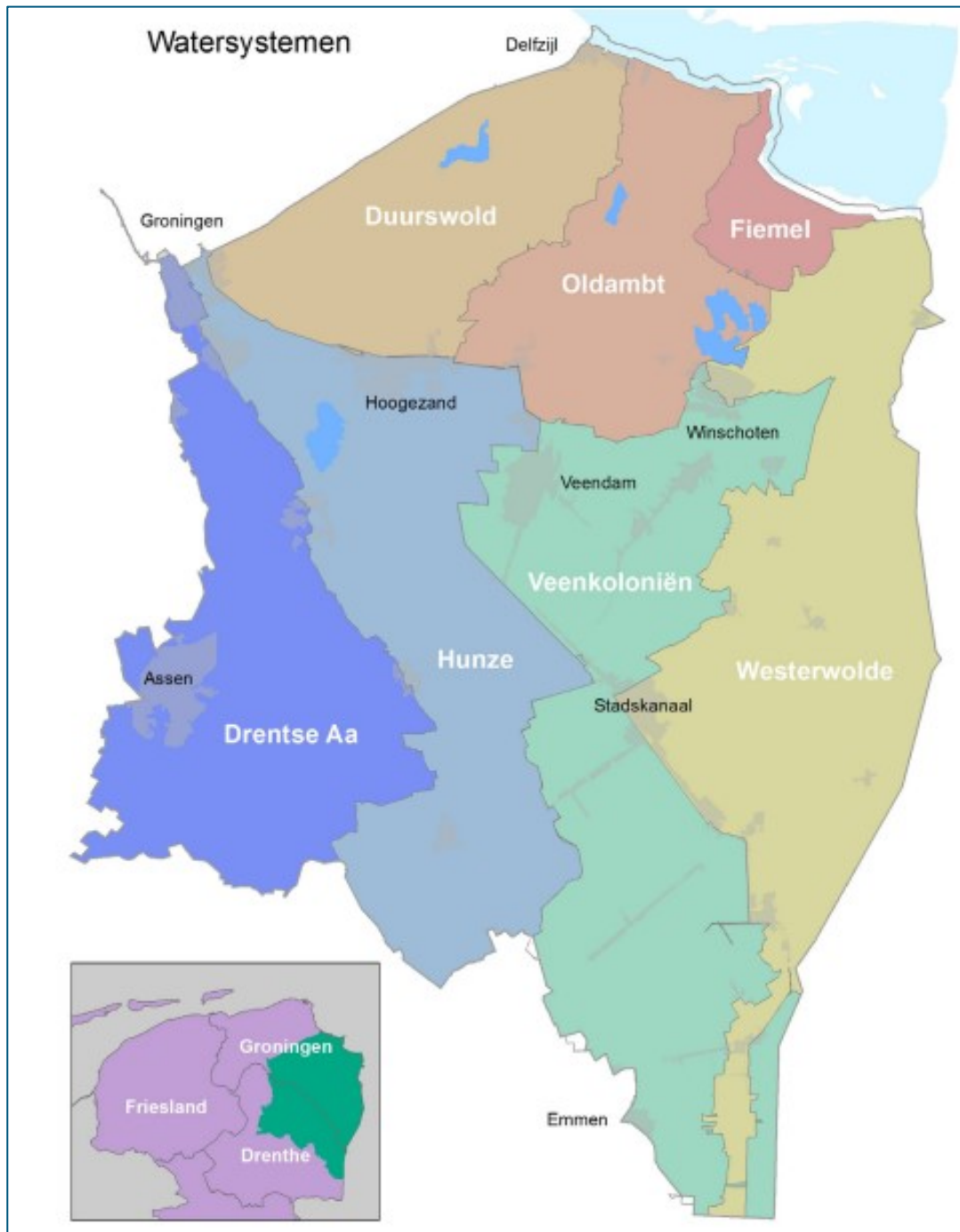
Figuur 2-7 Deelgebieden Noorderzijlvest (WBP 2022-2027)

2.2.2 Hunze en Aa's

Het watersysteem van waterschap Hunze en Aa's kenmerkt zich door de vrij afwaterende systemen in het zuiden en bemalen gebieden in het noordoosten, bijvoorbeeld het Oldambt. In Figuur 2-8 zijn de

deelgebieden weergegeven. Het vrij afwaterende systeem van de Hunze stroomt uit in het Zuidlaardermeer, de Drentsche Aa in het Noord-Willemskanaal. In de deelgebieden Drentsche Aa en Hunze is grotendeels geen wateraanvoer mogelijk. In de andere deelgebieden is dit wel mogelijk, via respectievelijk de zuidelijke en noordelijke aanvoerroute. De Runde is een vrij afwaterende veenbeek, die recentelijk terug hersteld is en die loopt van het Bargerveen in de richting van de Dollard, door het deelgebied Westerwolde. Tussen de deelgebieden Westerwolde en Hunze ligt het deelgebied de Veenkoloniën. Dit deelgebied heeft een watersysteem wat nog te herleiden is tot de vervening, een indringend samenspel van fijnmazig slotennetwerken en grotere afwateringskanalen. De deelgebieden Fiemel, Oldambt en Duurswold wordt het waterbeheer gevoerd middels boezemsystemen en gemalen. Het water wordt uiteindelijk afgevoerd naar de Dollard.

In het beheergebied van Waterschap Hunze en Aa's kan water worden aangevoerd via een zuidelijke en een noordelijke route. De zuidelijke route heeft waterinlaat bij Klazienaveen via de verlengde Hoogeveensche vaart. De noordelijke wateraanvoerroute loopt via Dorkwerd, het Winschoterdiep en het A.G.Wildevanckkanaal . Door opvoergemalen wordt deze wateraanvoer verder het gebied in gepompt. Wateraanvoer is onder meer mogelijk via het Eemskanaal.



Figuur 2-8 Deelgebieden Waterschap Hunze en Aa's (WBP 2016-2021)

2.3 Onttrekkingen

In het projectgebied wordt op verschillende locaties grondwater onttrokken. Zowel de industrie als de drinkwaterbedrijven Groningen en Drenthe (WMD) onttrekken grondwater. In Figuur 2-9 geeft de grondwateronttrekkingen weer, die in de huidige situatie in bedrijf zijn.



Figuur 2-9 Onttrekkingslocaties in projectgebied met benaming pompstations WMD (blauw) en Waterbedrijf Groningen (Geel)

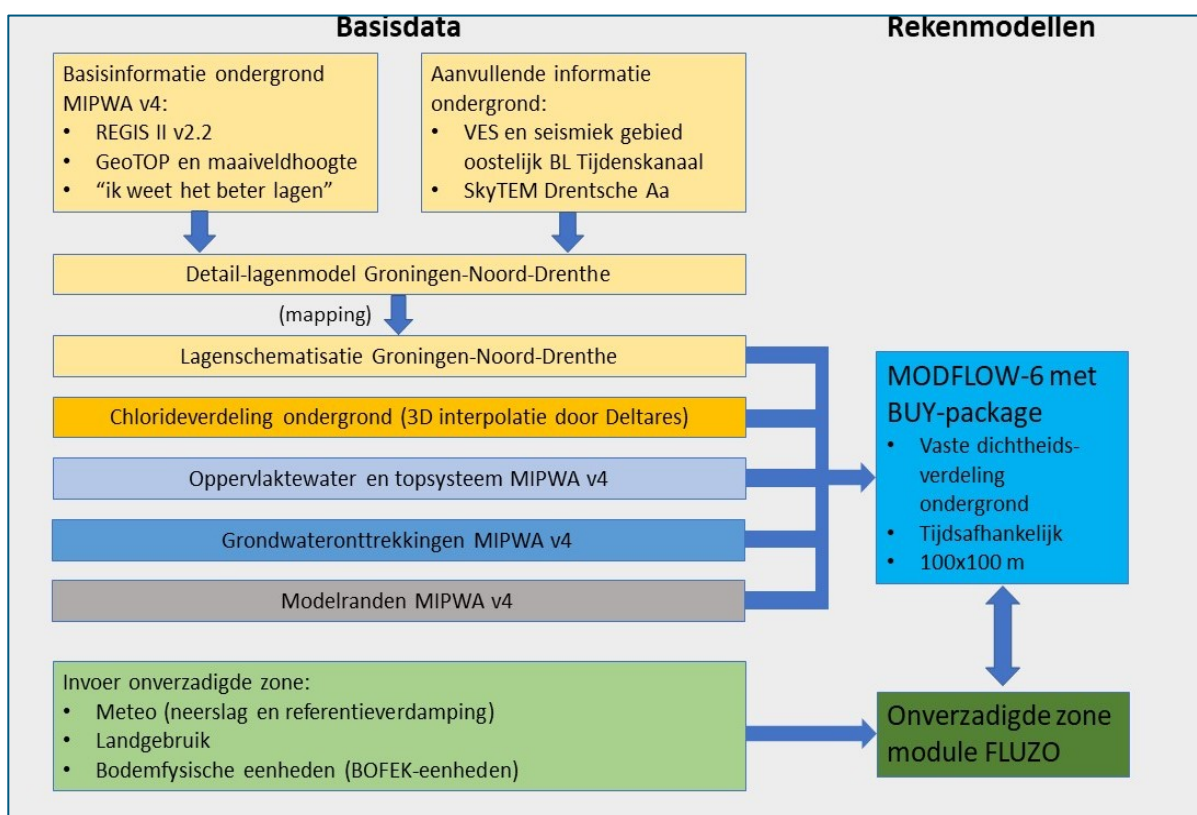
3 Modelaanpak

Modellering grondwaterkwantiteit

De modelaanpak voor grondwaterkwantiteit is schematisch weergegeven in Figuur 3-1. Met name voor de noordelijke helft van Groningen is het van belang om in de grondwatereffectberekeningen rekening te houden met variabele dichtheid in de ondergrond (als gevolg van zout grondwater). Om deze reden rekenen we met MODFLOW-6 in combinatie met de zogenoemde BUY-package, op basis van een vaste dichtheidsverdeling. De modelaanpak komt grotendeels overeen met die van de eerdere Brede Grondwaterstudie Fryslân. In plaats van SEAWAT is nu gekozen voor MODFLOW-6, dit uit oogpunt van toekomstbestendigheid (verwachting is dat de meeste hydrologische modelleers binnen afzienbare tijd overstappen op MODFLOW-6) en de gebleken robuustheid van het rekenschema.

De grondwateraanvulling en freatische bergingscoëfficiënten zijn tijdsafhankelijk berekend met de onverzadigde zone module FLUZO. In de grondwaterkwantiteitsmodellering gaan we uit van een gridgrootte van 100x100 m en tijdsafhankelijke berekening op tijdstappen van 5 dagen.

Vanuit de geologische basisgegevens die ten grondslag liggen aan MIPWA v4 (REGIS II v2.2, GeoTOP, “ik weet het beter lagen”), de aanvullende ondergrondgegevens vanuit het onderzoek in het gebied ten oosten van het BL Tijdenskanaal (VES-metingen en seismisch onderzoek) en de aanvullende informatie over het voorkomen en eigenschappen van potklei in de ondergrond vanuit het Skytem-onderzoek in het Drentsche Aa gebied is een nieuw detail-lagenmodel voor het onderzoeksgebied gegenereerd.



Figuur 3-1: Schematische weergave modelaanpak grondwaterkwantiteit

Vervolgens is vanuit het detail-lagenmodel een lagenschematisatie voor het grondwatermodel gegenereerd (zogenoemde “mapping”). Voor het genereren van het detail-lagenmodel en de mapping van

modellagen is gebruik gemaakt van een volledig geautomatiseerde workflow, die is ontwikkeld voor MIPWA v4.

De chlorideverdeling in de ondergrond is overgenomen uit de landsdekkend beschikbare 3D-interpolatie van de actuele chloridemetingen in het grondwater (in het kader van NHI uitgevoerd door Deltares). De schematisatie van het oppervlaktewater en het topsysteem is overgenomen uit MIPWA v4. Voor het verscalen van de conductances van het MIPWA v4 model op 25x25 m naar 100x100 m is de methode gebruikt, die eerder is toegepast voor de Brede Grondwaterstudie Fryslân, zie paragraaf 4.2.4.

Tot slot zijn de grondwateronttrekkingen en de stijghoogten op de modelranden overgenomen uit MIPWA v4.

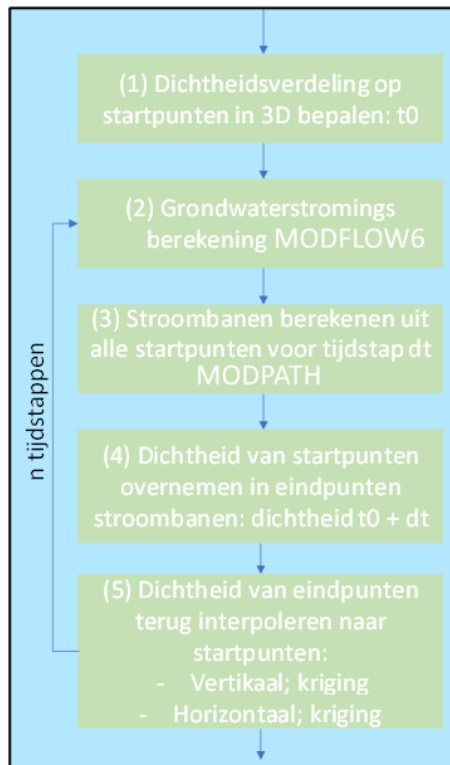
De onverzadigde zone module FLUZO rekt per tijdstap van 5 dagen de grondwateraanvulling en de freatische bergingscoëfficiënt uit. De invoer voor FLUZO komt overeen met de bestaande invoer voor MetaSWAP: neerslag en referentieverdamping, landgebruik, bodemfysische eenheden (zogenoemde BOFEK-codes) en de locaties van de percelen met beregening.

Grondwaterkwaliteitsmodellering

Voor de berekening van de verandering van de chlorideverdeling in de ondergrond is gebruik gemaakt van de stroombanenmethode. Uitgangspunt voor de stroombaanmethode is een grondwatermodelberekening met een aangenomen dichtheidsverdeling voor alle modelknopen en modellagen. Met stroombaanberekeningen is vervolgens bepaald hoe het grondwater zich verplaatst en daarmee ook hoe de dichtheid verandert.

De stroombaanmethodiek maakt gebruik van het programma MODFLOW-6 voor de grondwaterstromingsberekeningen en het programma MODPATH voor de stroombaanberekeningen. Beide programma's kunnen rekenen met een opgegeven dichtheidsverdeling. De dichtheidsstroming wordt bepaald op basis van de stroombanen. Een stroombaan wordt representatief geacht voor het advectieve transport van zout water waarbij de dichtheid aan het begin en eindpunt van de stroombaan gelijk zijn. De methode is representatief voor advectief stoftransport, waarbij de dichtheidsverdeling uitwisselbaar is met de totale hoeveelheid opgeloste deeltjes (TDS of Total Dissolved Solids). Het rekengrid heeft een dichtheid van 200x200 meter, het startpuntengrid van de stroombanen is wat grover dan dit.

Het rekenproces van de stroombanenmethode is weergegeven in Figuur 3-2.



Figuur 3-2: Rekenproces stroombanenmethode

Als eerste stap in de stroombanenmethode wordt het waterkwantiteitsmodel, opgezet in MODFLOW-6, omgezet naar FLAIRSVD. Vervolgens wordt het rekenproces gevolgd zoals uitgewerkt in Figuur 3-2. Uitgangspunt is een dichtheidsverdeling in 3D, vastgelegd in de startpunten voor de stroombaanberekeningen op tijdstip t_0 (stap 1 in het schema) in het midden van alle watervoerende lagen. De dichtheidsverdeling wordt overgenomen op de rekenknooppunten van het grondwatermodel en er wordt een berekening uitgevoerd met deze dichtheidsverdeling (stap 2). Op basis van de berekende stijghoogteverdeling worden vervolgens voor alle modellagen stroombaanberekeningen uitgevoerd met als startpunten de punten waarin de dichtheid is vastgelegd voor tijdstip t_0 . De stroombanen worden berekend voor een bepaalde tijdstap dt (stap 3).

De dichtheid die ter plaatse van de startpunten aanwezig was, wordt vervolgens overgenomen in de eindpunten van de stroombanen, waardoor een nieuwe dichtheidsverdeling in 3D voor tijdstip t_0+dt bepaald is (stap 4). De dichtheidsverdeling in de eindpunten wordt door interpolatie teruggebracht naar de startpunten (stap 5) en vervolgens wordt voor een volgende tijdstap opnieuw stap 2 t/m 5 doorlopen.

De verplaatsingen per tijdstap mogen niet te groot worden. De berekende grondwatertoestand is immers representatief voor de toestand aan het begin van de tijdstap maar wordt vervolgens ook representatief verondersteld voor de gehele tijdstap. Pas aan het eind van de tijdstap wordt de grondwatertoestand opnieuw bepaald. Bovendien kan door te grote verplaatsingen de berekening instabiel worden.

4 Waterkwantiteitsmodel

4.1 Algemeen

Dit hoofdstuk gaat in op het waterkwantiteitsmodel. Achtereenvolgens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de opzet van het model inclusief de verwerking van nieuwe inzichten in de diepe ondergrond (paragraaf 4.2) en de validatie van het waterkwantiteitsmodel aan de hand van gemeten grondwaterstanden, veldschattingen van de GxG en gemeten bemalingsdebieten (paragraaf 4.3). Paragraaf 4.4 beschrijft de opzet van de waterbalans voor het gehele onderzoeksgebied. Tot slot wordt in paragraaf 4.5 het berekende grondwaterregime voor de huidige situatie gepresenteerd, in de vorm van kaarten met berekende GxG en kwel en een waterbalans voor het gehele onderzoeksgebied.

4.2 Opzet van het waterkwantiteitsmodel

4.2.1 Rekenpakket, modelgebied en gridgrootte

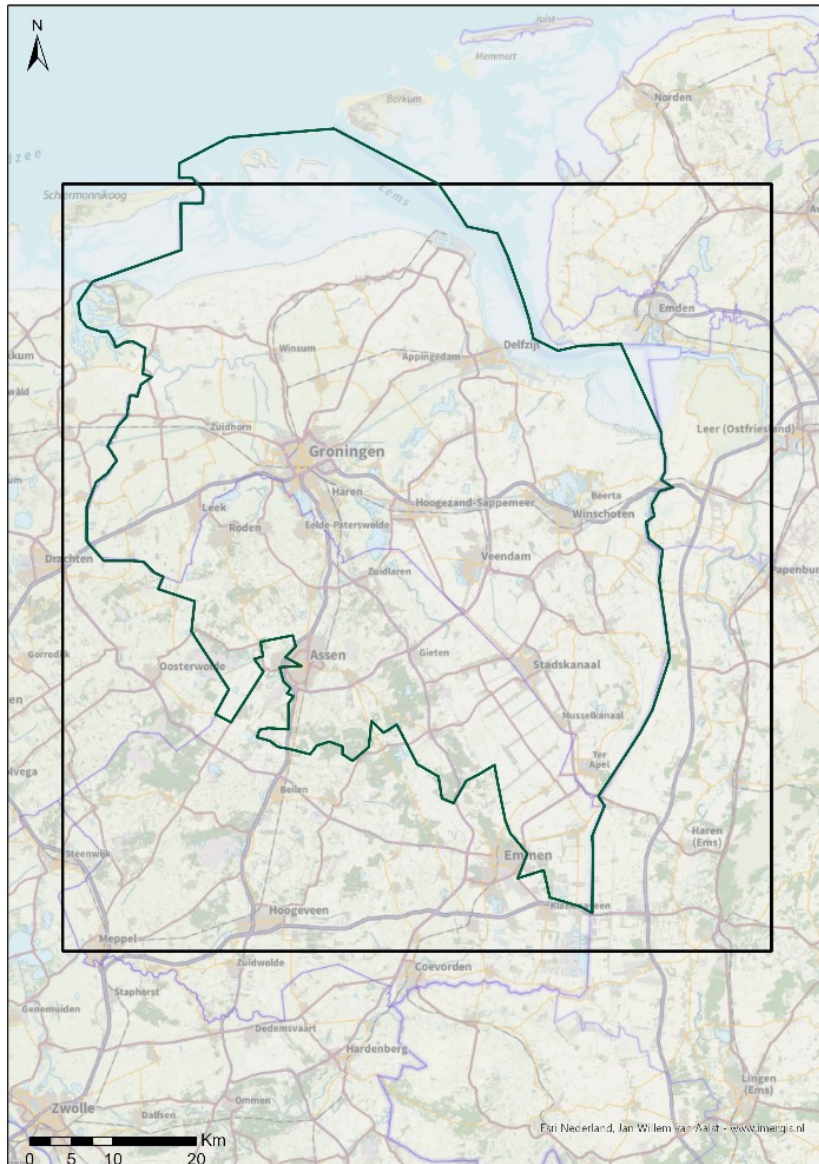
Als waterkwantiteitsmodel is een MODFLOW-6 model opgezet, dat is gebaseerd op MIPWA v4. In het noordelijk deel van de provincie Groningen wordt de grondwaterstroming beïnvloed door variaties van de dichtheid van het grondwater, als gevolg van de afwisseling van zoet, brak en zout grondwater. Om deze redenen rekenen we met MODFLOW-6 in combinatie met de zogenoemde BUY-package, op basis van een vaste dichtheidsverdeling.

MIPWA v4 is een regionaal grondwatermodel dat de provincies Drenthe, Fryslân, Groningen en Overijssel omvat. Voor de onderhavige studie is alle brondata vanaf de MIPWA-server gedownload. Vervolgens is er een ruime uitsnede gemaakt rondom het onderzoeksgebied (met een gridgrootte van 100x100 m. Er is voor deze schaal gekozen om de rektijden en grootte van de outputdata werkbaar te houden. Aanvullend is een aantal aanpassingen doorgevoerd. Figuur 4-1 geeft het modelgebied weer.

De aanpassingen die in het MODFLOW-6 model voor het onderzoeksgebied zijn doorgevoerd ten opzichte van MIPWA v4, worden in de hiernavolgende paragrafen afzonderlijk besproken.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op:

1. Opzet van het lagenmodel (paragraaf 4.2.2).
2. Verwerking van aanvullende geohydrologische informatie (paragraaf 4.2.3).
3. Opschaling van het topsysteem (paragraaf 4.2.4).
4. Opleggen van een vaste dichtheidsverdeling (paragraaf 4.2.5).
5. Grondwateraanvulling m.b.v. Fluzo (paragraaf 4.2.6).



Figuur 4-1: Modelgebied waterkwantiteitsmodel

4.2.2 Afleiding van de lagschematisatie

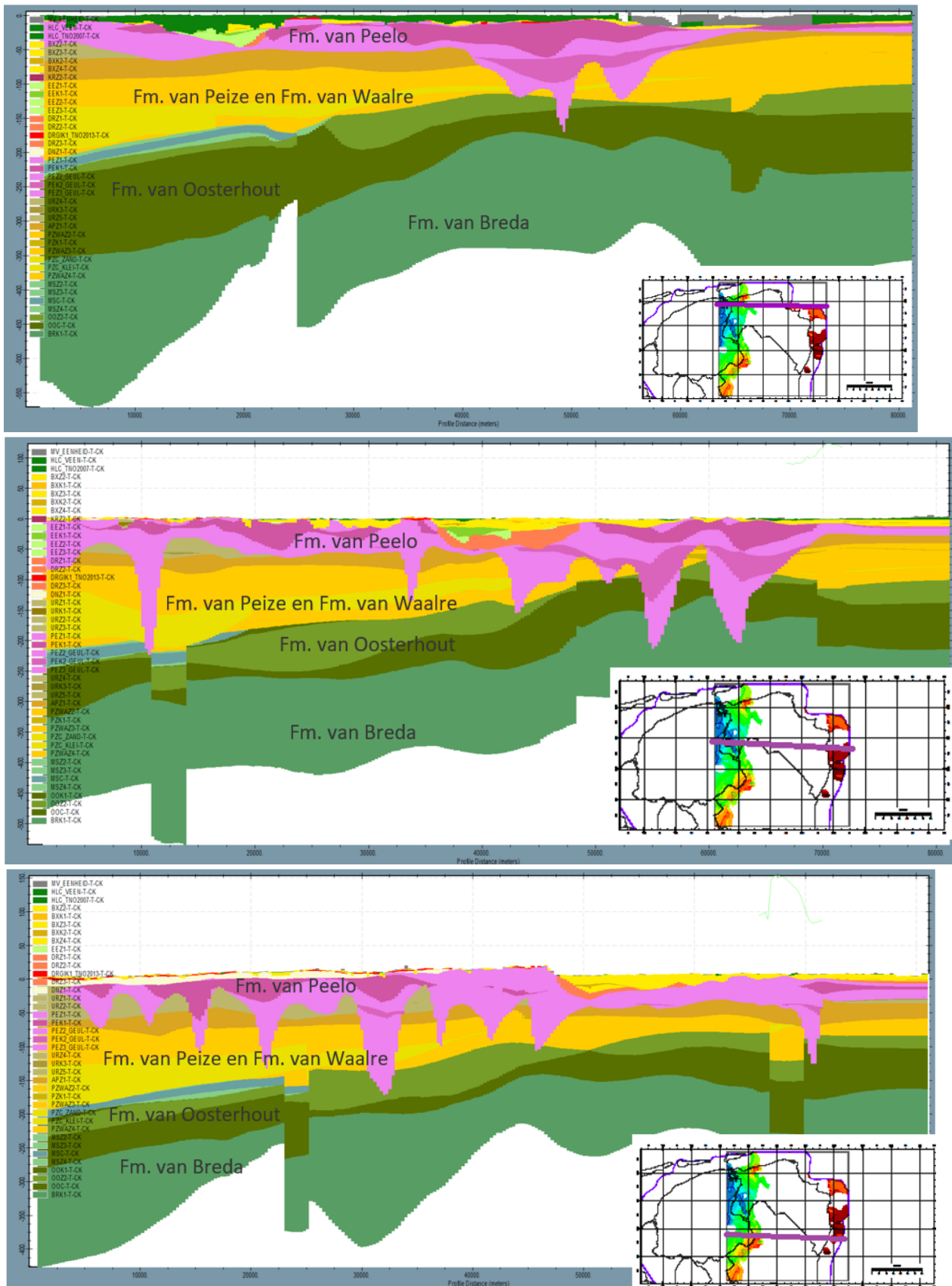
In Tabel 4-1 is de indeling van de hydrogeologische eenheden in de modellagen weergegeven. De groen weergegeven eenheden zijn toegekend aan een watervoerend pakket (aquifer) en de oranje weergegeven eenheden zijn toegekend aan een weerstandsbiedende laag (aquitards). De lagschematisatie bestaat uit in totaal 13 watervoerende lagen en 12 weerstandsbiedende lagen. De hydrologische basis wordt gevormd door de slecht doorlatende formaties van Oosterhout en Breda.

In tabel 4-1 zijn met pijlen en in rood lettertype de aandachtspunten met betrekking tot de lagschematisatie gemarkeerd. Deze worden verder toegelicht in paragraaf 4.2.3.

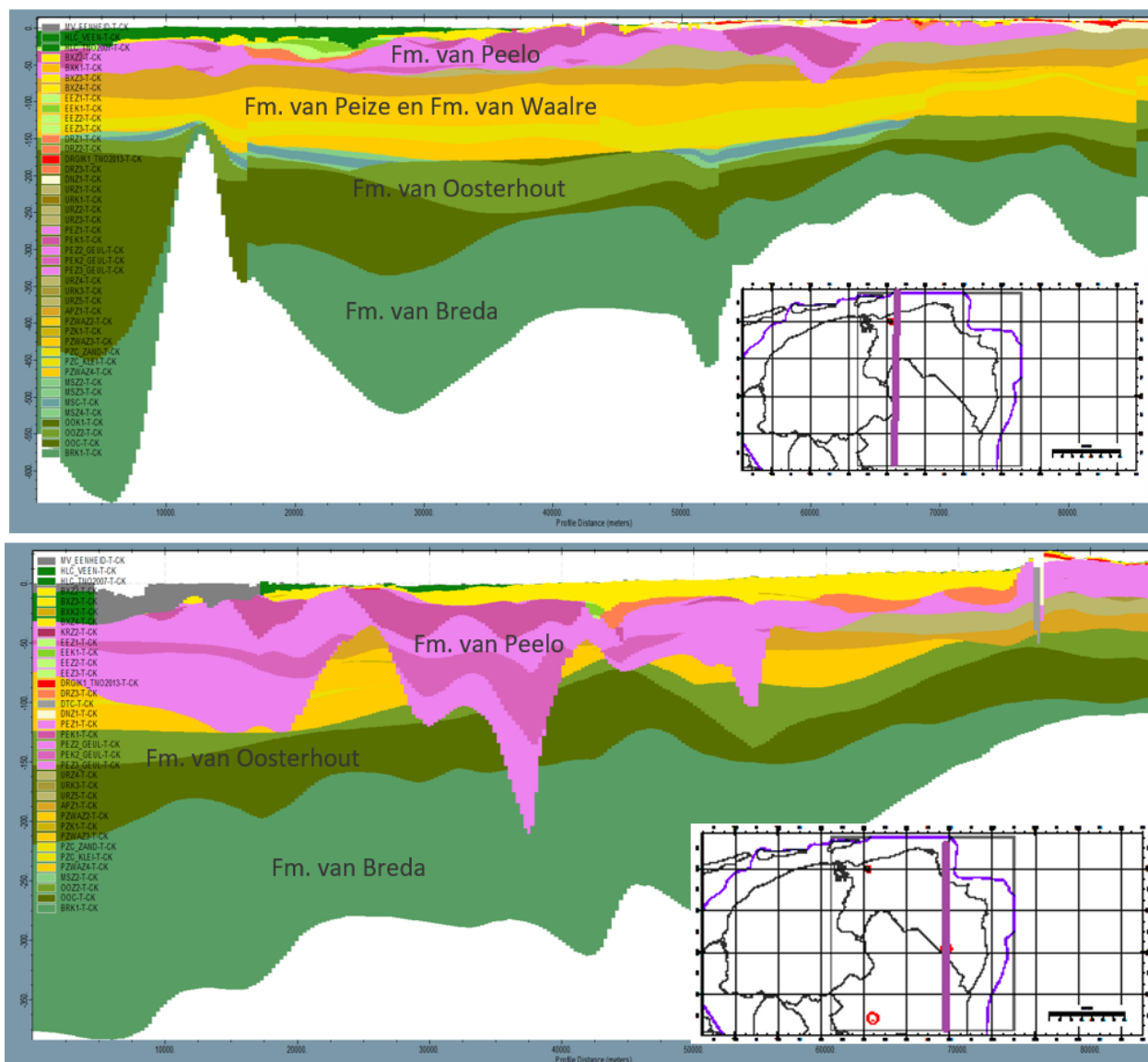
Tabel 4-1 Lagenmodel (groengrijs = laag wordt toegekend aan aquifer, oranje aan aquitard)

Modellaag	Hydrogeologische eenheid	Type	Naam	Aanpassing
1	Holocene afzettingen, complexe eenheid	Aquifer	MV_eenheid	
1	Holocene afzettingen, complexe eenheid	Aquitard	HLC_veen	
1	Holocene afzettingen, complexe eenheid	Aquitard	HLC_TNO2007	
2	Formatie van Boxtel, 2de zandige eenheid	Aquifer	bxz2	Horizontale doorlatendheid (2,5 m/dag)
2	Formatie van Boxtel, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	bxk1	
3	Formatie van Boxtel, 3de zandige eenheid	Aquifer	bxz3	Horizontale doorlatendheid (2,5 m/dag)
3	Formatie van Boxtel, 2de kleiige eenheid	Aquitard	bxk2	
4	Formatie van Boxtel, 4de zandige eenheid	Aquifer	bxz4	Horizontale doorlatendheid (2,5 m/dag)
4	Formatie van Kreftenheye, 2de zandige eenheid	Aquifer	krz2	
4	Formatie van Kreftenheye, 3de zandige eenheid	Aquifer	krz3	
4	Formatie van Eem, 1ste zandige eenheid	Aquifer	eez1	
4	Formatie van Eem, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	eeek1	
5	Formatie van Eem, 2de zandige eenheid	Aquifer	eez2	
4	Formatie van Eem, 2de kleiige eenheid	Aquitard	eeek2	Beperkt voorkomen, omgeven door zandpakket (kleine kleischol). Weerstand wordt grotendeels bij Eek1 opgeteld, klein deel genegeerd
5	Formatie van Eem, 3de zandige eenheid	Aquifer	eez3	
5	Formatie van Kreftenheye, 4de zandige eenheid	Aquifer	krz4	
5	Formatie van Kreftenheye, 5de zandige eenheid	Aquifer	krz5	
5	Formatie van Drente, 1ste zandige eenheid	Aquifer	drz1	
5	Formatie van Drente, 2de zandige eenheid	Aquifer	drz2	
5	Formatie van Drente, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	DRGk1_TNO2013	
6	Formatie van Drente, 3de zandige eenheid	Aquifer	drz3	
6	Gestuwde afzettingen, complexe eenheid	Aquifer	dtc_s1	
6	Gestuwde afzettingen, complexe eenheid	Aquitard	dtc_s2	Zeer beperkt voorkomen en aan rand model extent, weerstand wordt bij deel van Pek1 opgeteld en deels niet meegenomen (i.v.m. ontbreken overlap)
6	Formatie van Drachten, 1e zandige eenheid	Aquifer	dnz1	
6	Formatie van Urk, 1ste zandige eenheid	Aquifer	urz1	
6	Formatie van Urk, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	urk1	Beperkt voorkomen, weerstand wordt bij Pek1 opgeteld
6	Formatie van Urk, 2de zandige eenheid	Aquifer	urz2	
6	Formatie van Urk, 3de zandige eenheid	Aquifer	urz3	
6	Formatie van Peelo, 1ste zandige eenheid	Aquifer	pez1	
6	Formatie van Peelo, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	pek1	Aanpassing weerstand conform paragraaf 'aanpassing Peelowerstanden)
7	Formatie van Peelo, 2de zandige eenheid	Aquifer	PEz2_geul	
7	Formatie van Peelo, 2de kleiige eenheid	Aquitard	PEk2_geul	Aanpassing weerstand conform paragraaf 'aanpassing Peelowerstanden)
8	Formatie van Peelo, 3de zandige eenheid	Aquifer	PEz3_geul	
8	Formatie van Urk, 4de zandige eenheid	Aquifer	urz4	
8	Formatie van Urk, 2de kleiige eenheid	Aquitard	urk3	
9	Formatie van Urk, 5de zandige eenheid	Aquifer	urz5	
9	Formatie van Appelscha, 1ste zandige eenheid	Aquifer	apz1	
9	Formatie van Peize en Formatie van Waalre, 2de zandige eenheid	Aquifer	pzwaz2	
9	Formatie van Peize, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	pzk1	
10	Formatie van Peize en Formatie van Waalre, 3de zandige eenheid	Aquifer	pzwaz3	
10	Formatie van Peize, complexe eenheid	Aquifer	PZc_zand	
10	Formatie van Peize, complexe eenheid	Aquitard	PZc_klei	
11	Formatie van Peize en Formatie van Waalre, 4de zandige eenheid	Aquifer	pzwaz4	
11	Formatie van Maassluis, 2de zandige eenheid	Aquifer	msz2	
11	Formatie van Maassluis, 3de zandige eenheid	Aquifer	msz3	
11	Formatie van Maassluis, complexe eenheid	Aquifer	msc_s1	
11	Formatie van Maassluis, complexe eenheid	Aquitard	msc_s2	
12	Formatie van Maassluis, 4de zandige eenheid	Aquifer	msz4	
12	Formatie van Oosterhout, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	ook1	Aangepaste top en bodem o.b.v. seismisch onderzoek
13	Formatie van Oosterhout, 2de zandige eenheid	Aquifer	ooz2	Aangepaste top en bodem o.b.v. seismisch onderzoek
13	Formatie van Oosterhout, complexe eenheid	Aquifer	ooc_s1	Aangepaste top en bodem o.b.v. seismisch onderzoek
Hydrologische Basis	Formatie van Oosterhout, complexe eenheid	Aquitard	ooc_s2	Aangepaste top en bodem o.b.v. seismisch onderzoek
Hydrologische Basis	Formatie van Breda, 1ste kleiige eenheid	Aquitard	brk1	

In figuren 4-2 en 4-3 zijn verschillende dwarsprofielen weergegeven door het onderzoeksgebied. In de dwarsprofielen zijn de meest bepalende formaties aangestipt. Figuur 4-2 geeft een drietal west-oost dwarsprofielen door het onderzoeksgebied weer. Figuur 4-3 geeft een tweetal noord-zuid dwarsprofielen weer.



Figuur 4-2 West-oost dwarsprofielen door het onderzoeksgebied



Figuur 4-3 Noord-Zuid dwarsprofielen door het onderzoeksgebied

4.2.3 Verwerking aanvullende geohydrologische informatie

Aanpassing weerstanden van Peelo (Pek1 en Pek2)

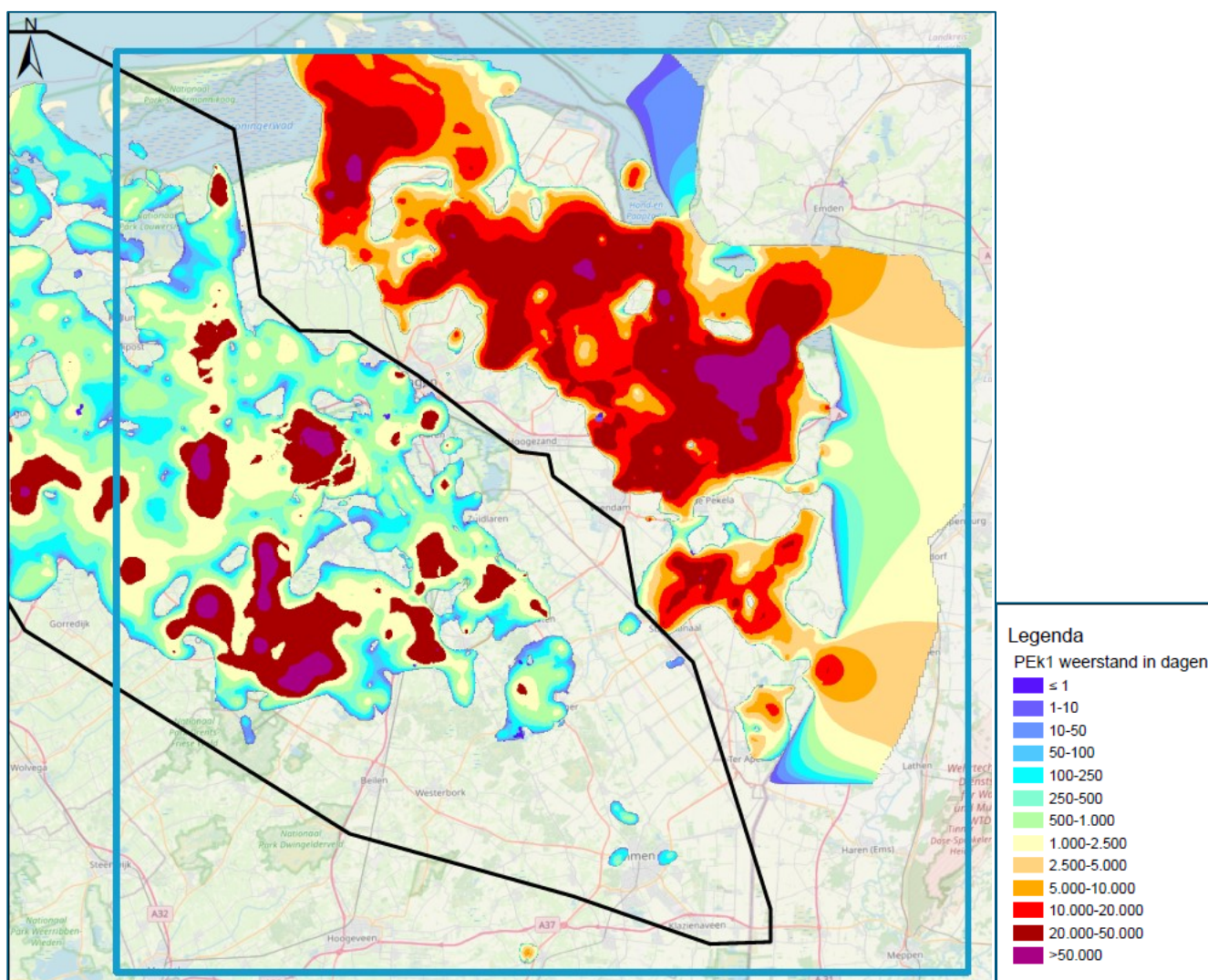
In een recent uitgevoerde studie (Sweco en Querner Consult, 2021) is met behulp van een nieuwe techniek (SkyTEM) de hydraulische weerstand van de ondergrond in een deel van Drenthe nader in kaart gebracht. De metingen hadden met name tot doel om de kleien in de Formatie van Peelo (Peeloklei 1, Pek1 en Peeloklei 2, Pek2) beter in kaart te brengen. De resultaten laten zien dat de weerstanden van beide Peelokleien (Pek1 en Pek2) op bepaalde locaties aanzienlijk lager zijn dan de waarden die zijn opgenomen in REGIS II v2.2. Lokaal bestaat de bovenste Peeloklei uit potklei, een zeer slecht doorlatende klei, vermoedelijk afgezet in een stagnant glaciaal milieu. Op andere plaatsen is de bovenste Peeloklei veel minder kleiig ontwikkeld en bestaat deze voornamelijk uit slihboudende zanden. Op deze plaatsen geven de SkyTEM-metingen veel lagere hydraulische weerstanden dan REGIS II v2.2. Hetzelfde blijkt uit aanvullend uitgevoerde boringen en gemeten stijghoogten. Mogelijk zijn in REGIS II v2.2 de zeer hoge weerstanden ter plaatse van de potkleivoorkomens door interpolatie "uitgesmeerd" naar de

tussenliggende zones waar alleen slibhoudende zanden voorkomen. Op basis hiervan is voor het SkyTEM-gebied de volgende vuistregel afgeleid voor aanpassing van de weerstand van de Peelokleien:

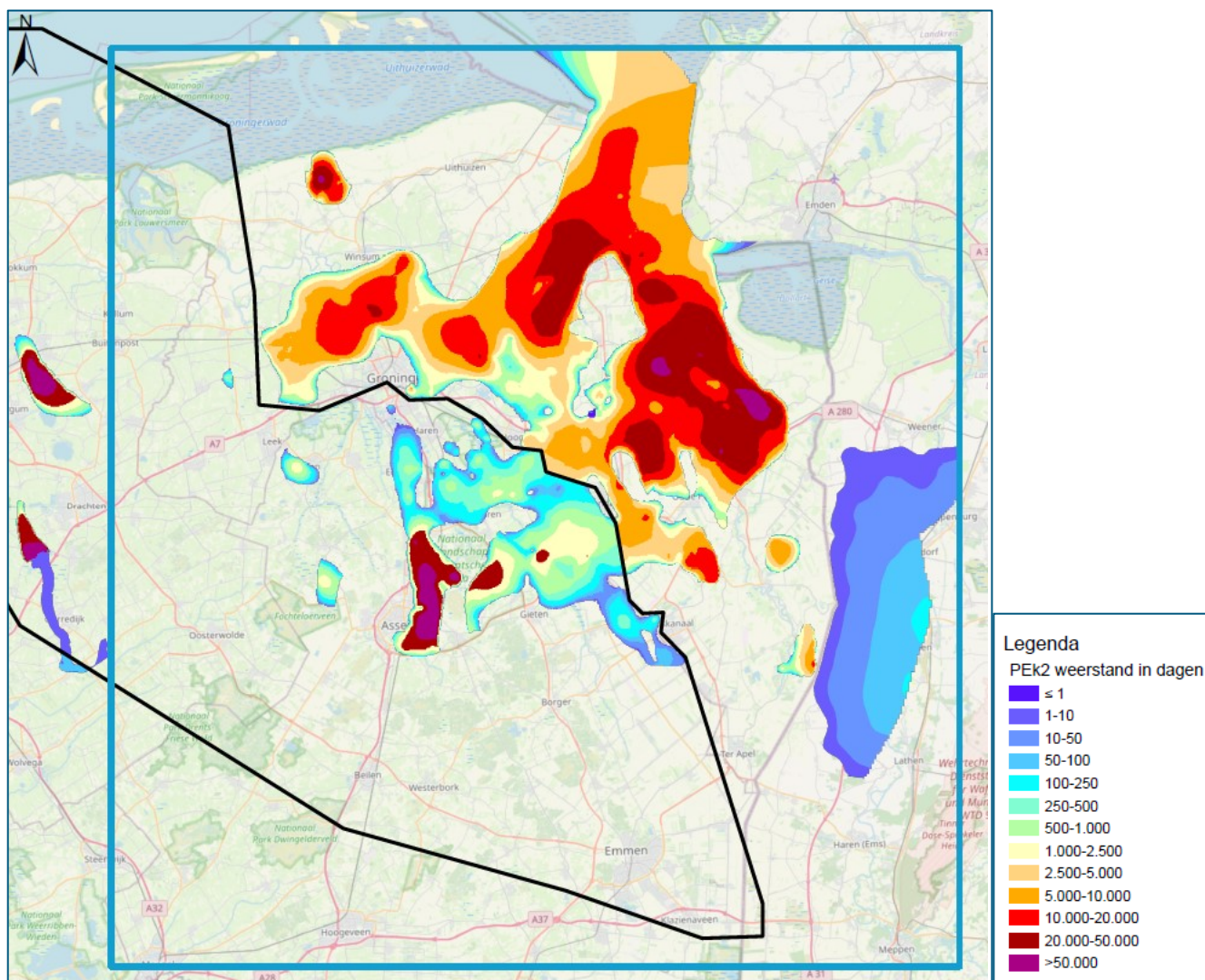
1. Als de REGIS II v2.2 weerstand groter is dan 20.000 dagen, dan wordt de REGIS 2.2 weerstand aangehouden. Dit zijn naar alle waarschijnlijkheid de locaties met potkleivoorkomens.
2. Als de REGIS II v2.2 weerstand kleiner is dan 20.000 dagen, dan wordt deze gedeeld door 10.

Deze exercitie is afzonderlijk voor Peelo klei 1 en voor Peelo Klei 2 uitgevoerd (dus niet gesommeerd). Vervolgens is deze vuistregel ook toegepast voor het stroomgebied van de Drentsche Aa. De toepassing van de vuistregel had een verbetering van het modelresultaat tot gevolg (verkleining van de afwijking tussen berekende en gemeten stijghoogten).

Bovenstaande vuistregel is doorgevoerd in het zuidelijk deel van het waterkwantiteitsmodel voor het onderzoeksgebied. De begrenzingen van toepassing van de vuistregel en toegepaste weerstandswaarden voor de Peelokleien 1 en 2 zijn weergegeven in onderstaande figuren 4-4 en 4-5.



Figuur 4-4: Deel van het modelgebied waar de vuistregel voor aanpassing van de weerstand van Peeloklei 1 (op basis van de SkyTEM-metingen) is doorgevoerd.



Figuur 4-5: Deel van het modelgebied waar de vuistregel voor aanpassing van de weerstand van Peeloklei 1 (op basis van de SkyTEM-metingen) is doorgevoerd.

De begrenzing is zodanig gekozen, dat de overgangen van de weerstanden van de Peelokleien 1 en 2 beperkt zijn.

Aanpassing doorlatendheid Boxel zanden

Op basis van de aangeleverde informatie is besloten om voor de Boxel-zanden uit te gaan van een vaste waarde voor de horizontale doorlatendheid van 2,5 m/dag.

Resultaten seismisch onderzoek

In 2020 is door TNO een seismisch onderzoek uitgevoerd voor het gebied in het oosten van Groningen, ten oosten van het BL Tijdenskanaal. Het seismisch onderzoek heeft nadere informatie over de hoogteligging van de formaties van Oosterhout en Breda opgeleverd. Deze detaillering van de hoogteligging is opgenomen in de lagenschematisatie. Dit is gedaan door ter plaatse van het uitgevoerde seismisch onderzoek de top en bodem van de Formatie van Oosterhout te wijzigen. In dit deelgebied zijn de lagen OOZ2 (2^{de} zandlaag) en OOC (complex) aanwezig. De verdeling tussen beide lagen is overgenomen uit REGIS II v2.2. OOZ2 kan dus groter of kleiner zijn geworden als gevolg van de nieuwe

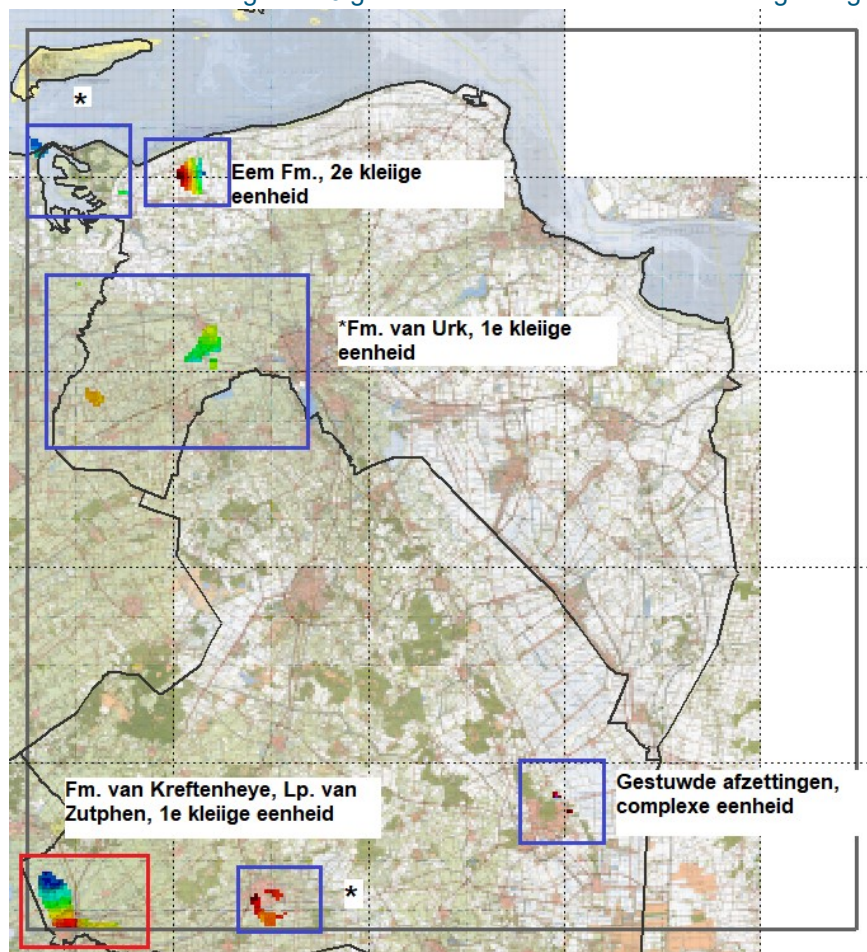
informatie op basis van de nieuwe top. Hetzelfde geldt voor het complex afhankelijk van de bodem die is geïnventariseerd (en in zekere mate ook de top).

Samenvoegen van weerstanden

Een aantal geologische formaties heeft binnen het modelgebied een zeer geringe verbreiding en daardoor een zeer beperkte invloed op het regionale grondwatersysteem. Deze formaties zijn daarom niet in het model opgenomen als aparte modellaag, maar toegekend aan een andere modellaag. Dit is gedaan voor de volgende geologische formaties:

- Eek-2 is niet expliciet opgenomen als scheidende laag; de weerstand is verwerkt in Eek-1.
- Gestuwde eenheden van complex Drente en Urk-1 zijn samengevoegd met de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Peelo (Pek-1)
- Formatie van Kreftenheye, laagpakket van Zutphen, eerste kleiige eenheid ligt buiten het modelextent en is daarom niet opgenomen in de lagenschematisatie.

De onderstaande Figuur 4-6 geeft de voorkomens van de samengevoegde geologische formaties weer.



Figuur 4-6 Geologische formaties die zijn samengevoegd met andere modellagen

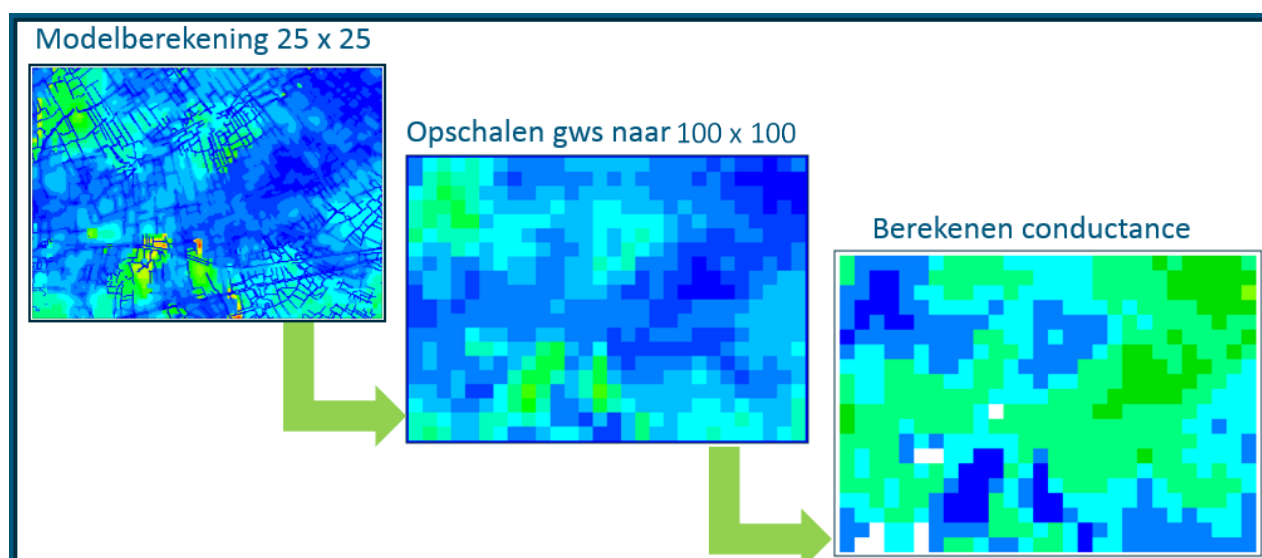
4.2.4 Opschaling van de topsysteem-parameters

De schematisatie van het oppervlaktewater en het topsysteem is overgenomen uit MIPWA v4. Bij aanpassen van de gridgrootte van het model, in dit geval van 25x25 m (MIPWA v4) naar 100x100 m (model Groningen-Noord-Drenthe), is het van belang om ook de conductances op een juiste manier op te schalen. Bij opschaling van 25x25 m resolutie naar 100x100 m resolutie volstaat het niet als alleen de

conductances van de inliggende cellen worden opgeteld. Bij grotere cellen gaat namelijk ook de horizontale weerstand van de percelen naar de ontwateringsmiddelen een rol spelen, zeker als doorlatendheid van de bodem slecht is.

Voor het opschalen van de conductances is gebruik gemaakt van de methode, die eerder ook in de Brede Grondwaterstudie Fryslân (Royal HaskoningDHV, 2020) is toegepast. Figuur 4-7 geeft de methode schematisch weer. Ten behoeve van de opschaling is het model eerst stationair doorgerekend op 25x25 m met voor alle sloten een peil op 0 m+NAP en een standaardwaarde voor de grondwateraanvulling. Dat levert een grondwaterstand en een drainageflux. Deze zijn allebei opgeschaald door de grondwaterstand en de drainageflux te middelen binnen de cellen van 100*100 m². Met de opgeschaalde afvoerflux Q_{afvoer_gem} en grondwaterstand (opbolling) gws_{gem} is eenvoudig de opgeschaalde conductance, C_{gem} , als volgt te bepalen:

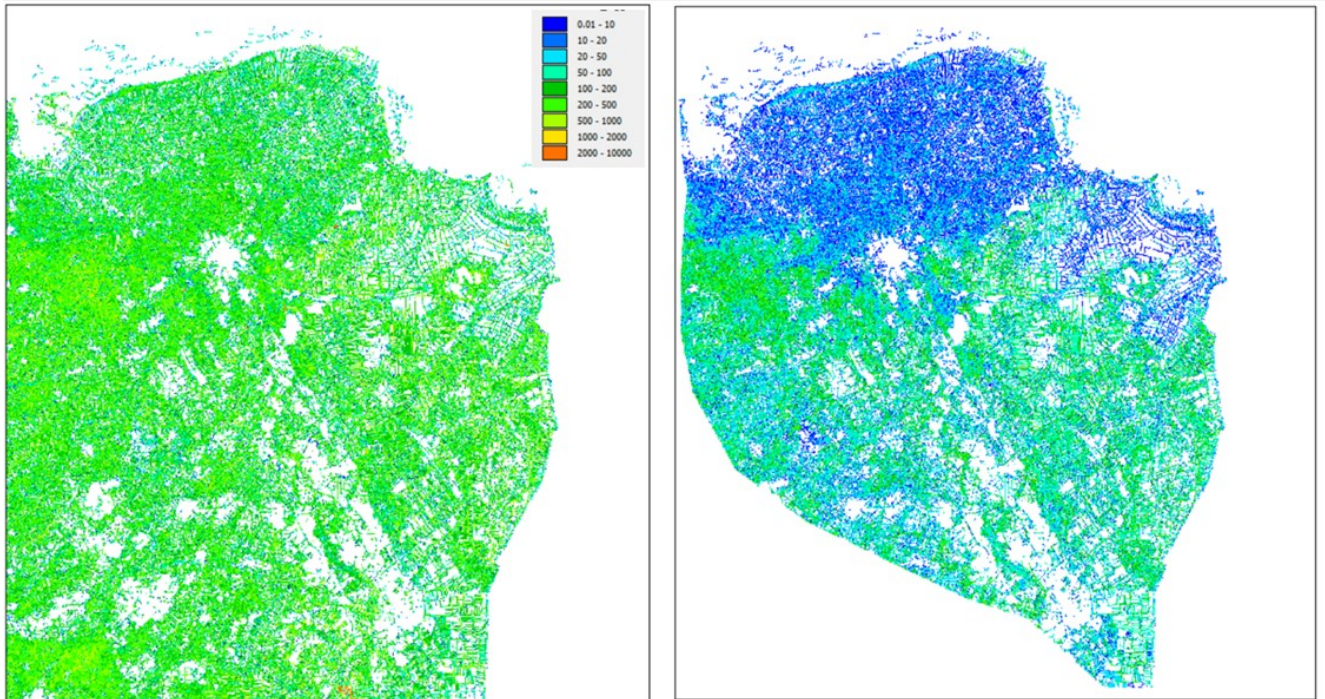
$$\text{Opgeschaalde conductance, } C_{gem} = \frac{A}{c} = \frac{100 * 100}{c} = 10000 * \frac{Q_{afvoer_gem}}{gws_{gem} - 0}$$



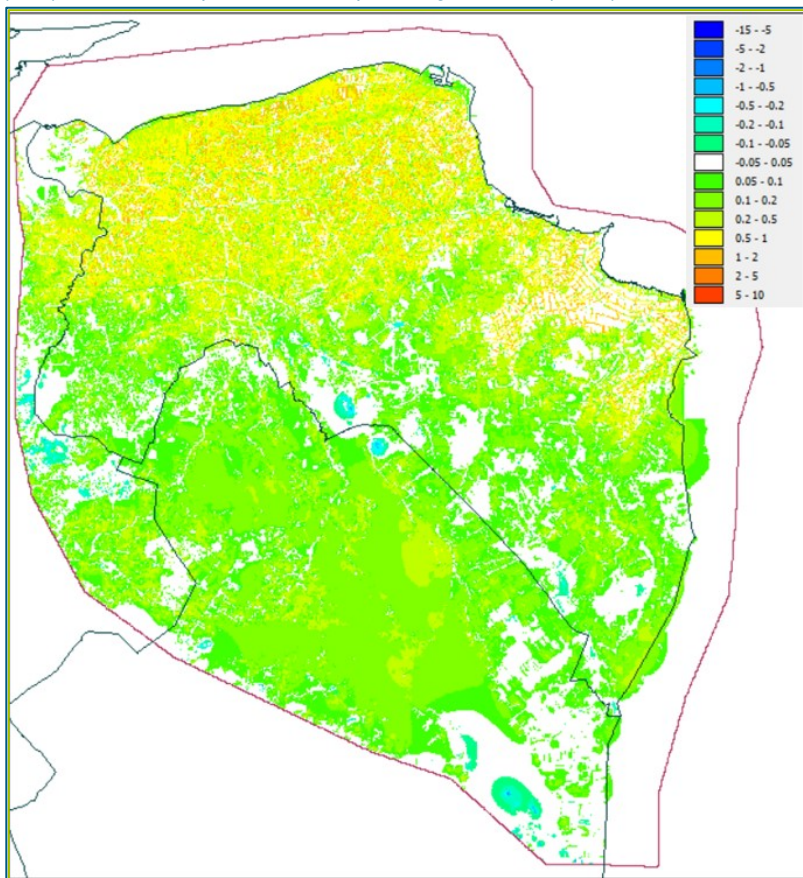
Figuur 4-7: Schematische weergave opschalingsmethode conductances

Figuur 4-8 geeft voor het modelgebied een vergelijking tussen de conductance op 100x100 m gridcellen, berekend als som van de conductance van de inliggende 25x25 m gridcellen (links) en berekend met de opschalingsmethode (rechts). De gebruikte opschalingsmethode zorgt over het gehele modelgebied voor lagere conductances. Met name het noordelijk kleigebied krijgt lagere conductances.

Figuur 4-9 geeft het stationair berekende verschil in grondwaterstand weer tussen de conductances op basis van de toegepaste opschalingsmethode en de conductances op basis van sommen van de conductances van de 25x25 m gridcellen binnen de 100x100 m gridcellen. De toegepaste opschalingsmethode zorgt vrijwel overal voor hogere grondwaterstanden, of andersom gesteld, het simpelweg sommeren van de conductances zorgt vrijwel overal voor te laag berekende grondwaterstanden. De grootste verschillen treden op in het noordelijk kleigebied: hier leidt het tot verschillen van 0,5 tot 1,0 meter en lokaal zelfs meer dan 1,0 m. Echter ook in het zandgebied in Drenthe bedragen de verschillen veelal 10 tot 20 centimeter en op verschillende plaatsen 20 tot 50 cm. Lokaal leidt de toegepaste opschaling ook tot lagere grondwaterstanden. Dit is het geval in de nabijheid van watergangen met infiltratie naar het grondwater.



Figuur 4-8: Conductances op 100x100 m gridcellen, berekend als som van de conductances van de inliggende 25x25 m gridcellen (links) en berekend op basis van de opschalingsmethode (rechts).



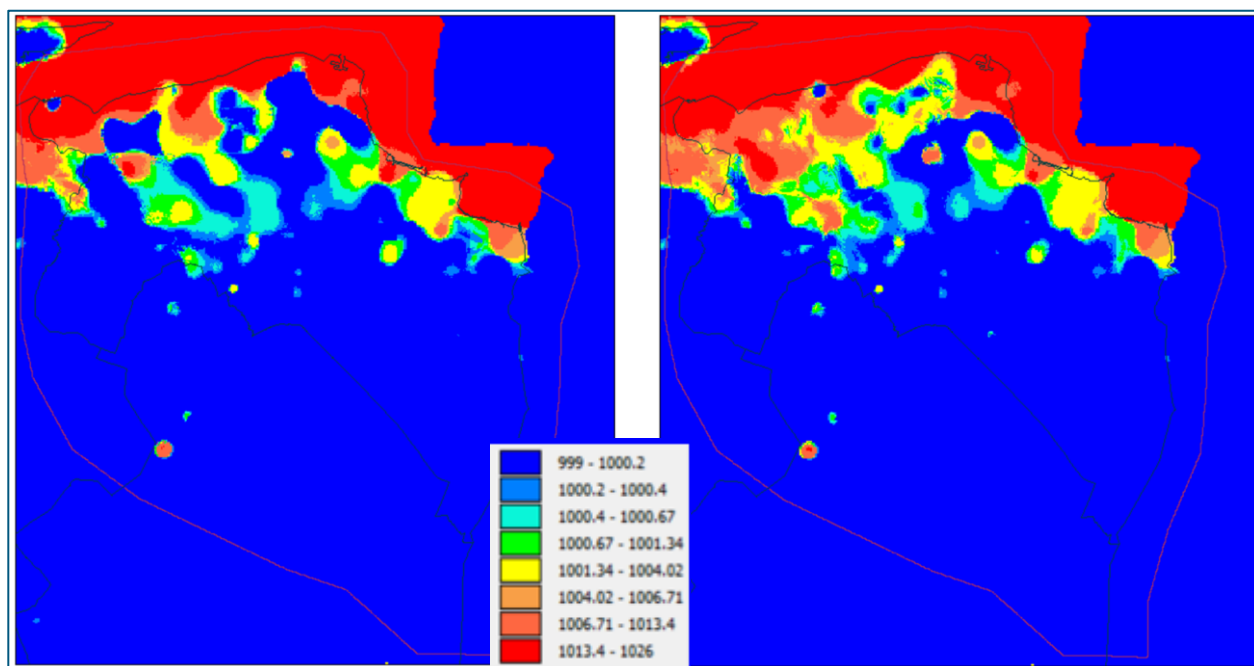
Figuur 4-9: Verschil in stationair berekende grondwaterstand als gevolg van conductances berekend met opschalingsmethode versus gesommeerde conductances

4.2.5 Vaste dichtheidsverdeling

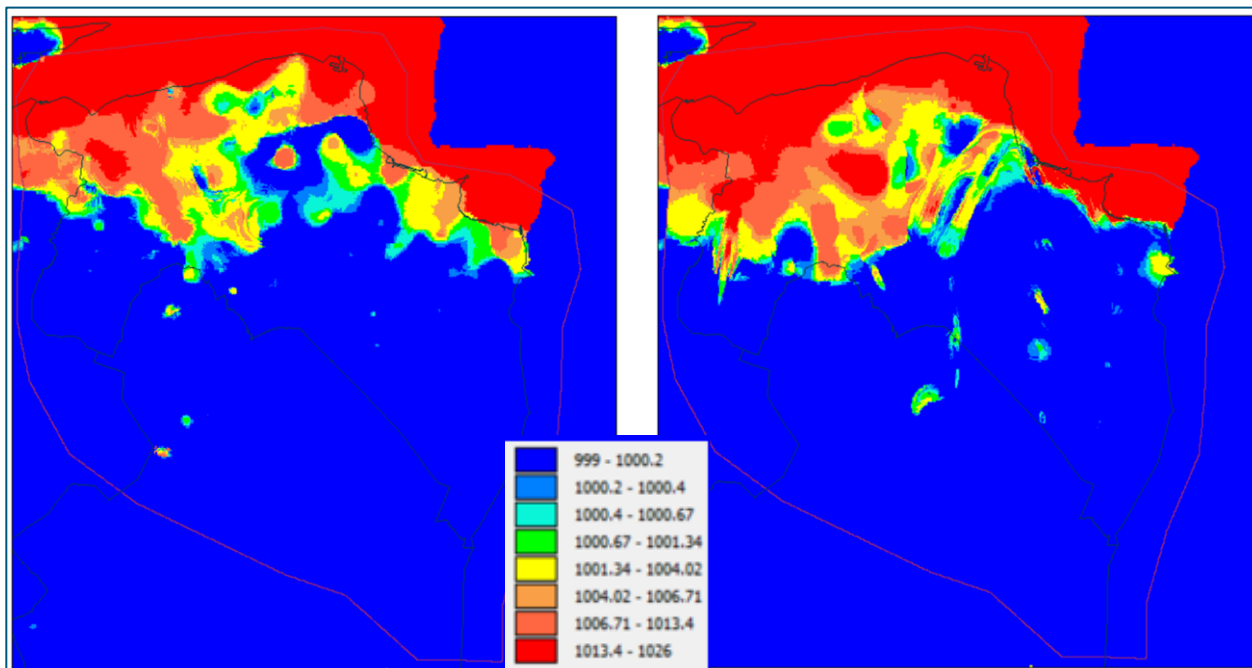
In het noordelijk deel van de provincie Groningen wordt de grondwaterstroming beïnvloed door variaties van de dichtheid van het grondwater, als gevolg van de afwisseling van zoet, brak en zout grondwater. Om deze reden rekenen we met MODFLOW-6 in combinatie met de zogenoemde BUY-package, op basis van een vaste dichtheidsverdeling.

De vaste dichtheidsverdeling, die is verwerkt in het MODFLOW-6 model, is gebaseerd op een landelijk uitgevoerde 3D-interpolatie van gemeten chlorideconcentraties in het grondwater, die is uitgevoerd door Arcadis en Deltares (Delsman et al., 2020). Figuren 4-10, 4-11 en 4-12 hieronder geven voor het modelgebied de verdeling van dichtheden weer (in kg/m^3) voor de modellagen 1, 2, 6, 9, 11 en 13, afgeleid uit de geïnterpoleerde chlorideconcentraties.

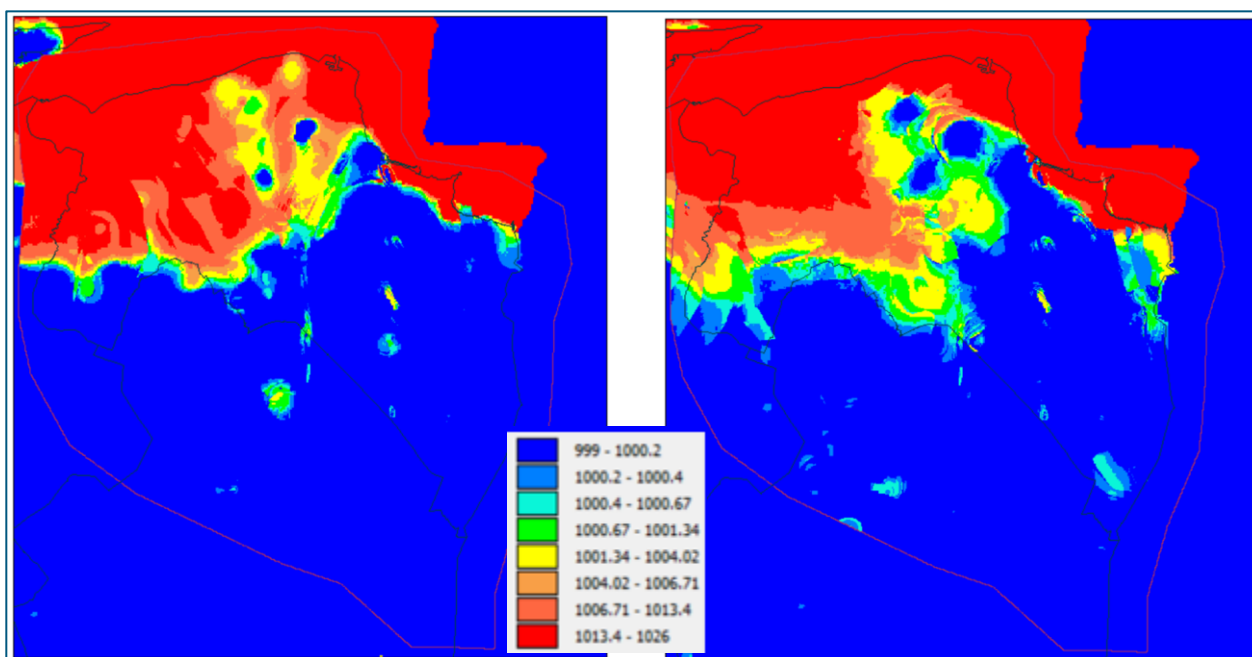
Opvallend is dat de verzilting van de diepere lagen vooral aan de orde is in de westelijke helft van Groningen. In het oostelijke deel van Groningen is alleen in de bovenste lagen sprake van zoutindringing en zijn de diepere lagen (laag 9 en dieper) grotendeels zoet. In het noordwestelijk deel heeft door de aanwezigheid van de zeearm de Lauwers over een groot deel van het Holoceen verzilting plaatsgevonden. De verzilting in het oostelijk deel van Groningen wordt veroorzaakt door het estuarium van de Eems-Dollard. Dit is pas relatief laat in het Holoceen (vanaf de Middeleeuwen) verzilt geraakt.



Figuur 4-10: Ruimtelijke verdeling van de dichtheid van het grondwater (kg/m^3) in modellagen 1 (links) en 2 (rechts). Gebaseerd op geïnterpoleerde chlorideconcentraties (Delsman et al., 2020).



Figuur 4-11: Ruimtelijke verdeling van de dichtheid van het grondwater (kg/m^3) in modellagen 6 (links) en 9 (rechts). Gebaseerd op geïnterpoleerde chlorideconcentraties (Delsman et al., 2020).



Figuur 4-12: Ruimtelijke verdeling van de dichtheid van het grondwater (kg/m^3) in modellagen 1 (links) en 2 (rechts). Gebaseerd op geïnterpoleerde chlorideconcentraties (Delsman et al., 2020).

4.2.6 Grondwateraanvulling met Fluzo

Het kwantiteitsmodel is opgezet in MODFLOW-6 met de BUY-package en rekent buiten de iMOD-schil. Hierdoor is het niet mogelijk om te werken met het onverzadigde zone model MetaSWAP. MetaSWAP is namelijk online gekoppeld aan iMODFLOW en kan niet “stand-alone” worden gedraaid. Om deze reden is de grondwateraanvulling berekend met Fluzo. Fluzo is een bakjesmodel dat met gegevens van neerslag,

gewas, bodem, referentie verdamping en grondwaterstand de waterbalans van de onverzadigde zone berekent. Een toelichting op Fluzo volgt hieronder.

Neerslag en verdampingsrasters zijn van het KNMI dataportaal gedownload en verwerkt tot reeksen ter plaatse van de meetstations. Door middel van Thiessen polygonen wordt dit toegepast op het model per rekencel als input voor Fluzo. Fluzo rekent de grondwateraanvulling uit in verticale kolommen, waarbij de bodem wordt opgedeeld in de wortelzone, ondergrond en de verzadigde zone, zie figuur 4-13.

Wortelzone

De wortelzone heeft over het algemeen een constante dikte en reduceert alleen in situaties wanneer de grondwaterstand zich in de wortelzone bevindt. De dikte van de wortelzone is afhankelijk van het type gewas of grondgebruik. Effectieve neerslag en capillaire opstijging zijn invoertermen waarmee de actuele verdamping en percolatie worden berekend. De bodemvochtbalans in de wortelzone is omschreven als:

$$V_b = P_e + Q_{cap} - ET_a - Q_{per}$$

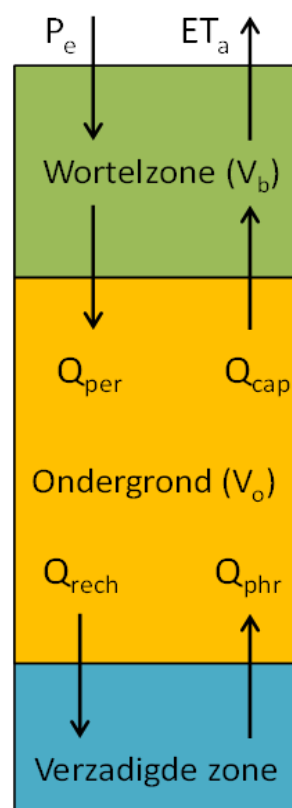
Waarbij V_b het volume van de bovengrond is, P_e de netto neerslag, Q_{cap} de capillaire flux van de ondergrond naar de wortelzone, ET_a de actuele verdamping en Q_{per} percolatie van de wortelzone naar de ondergrond.

Ondergrond

De ondergrond is gedefinieerd als het bodemsegment tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterstand. De dikte van de ondergrond varieert in de tijd, afhankelijk van de grondwaterstand. Wanneer de grondwaterstand gelijk of hoger is dan de onderkant van de wortelzone is de dikte van de ondergrond nul. Percolatie vanuit de wortelzone naar de onverzadigde zone en capillaire opstijging vanuit de verzadigde zone dienen als invoerterm in de waterbalans van de ondergrond. Grondwateraanvulling en capillaire opstijging naar de wortelzone zijn uitvoer van de waterbalans, die als volgt is uit te schrijven:

$$V_o = Q_{phr} + Q_{per} - Q_{rech} - Q_{cap}$$

Waarbij V_o het volume van de ondergrond is, Q_{phr} de flux van de verzadigde zone naar de ondergrond en Q_{rech} de grondwateraanvulling naar de verzadigde zone.



Figuur 4-13: Componenten van de waterbalans.

De verzadigde zone wordt met het grondwatermodel gemodelleerd. Het grondwatermodel levert de grondwaterstanden en daarmee de dikte van de onverzadigde zone. Fluzo levert de grondwateraanvulling/capillaire opstijging terug aan het grondwatermodel.

De eigenschappen van de ondergrond zijn per rekencel afgeleid van het BOFEK type ter plaatse.

Interceptieverdamping

In Fluzo wordt rekening gehouden met interceptieverdamping. Elk gewas heeft een eigen interceptie/reservoir met een maximumcapaciteit. Door verdamping droogt dit reservoir gedurende de dag uit. De werkelijke interceptiecapaciteit verschilt per type gewas en wordt berekend uit de bodembedekkingsfractie. Het type gewas is afgeleid uit het LGN (Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland).

Demping

In het model gaat het water dat vanuit de wortelzone naar de ondergrond percoleert direct door naar de verzadigde zone, mits het vochtgehalte in de ondergrond hoog genoeg is. Echter, bij dikke onverzadigde zones zal de neerslag vertraagd en afgevlakt bij het grondwater aankomen. In Fluzo wordt rekening gehouden met deze vertraging en demping, door te rekenen met een vertraging(sretardatie) en dempingfactor. Wanneer de onverzadigde zone groter is dan een bepaalde kritische diepte vindt in Fluzo geen capillaire opstijging meer plaats naar de wortelzone en wordt retardatie en demping berekend.

4.3 Modelvalidatie en ijking

4.3.1 Algemeen

Na het doorvoeren van de bovenstaand beschreven modelaanpassingen is het kwantiteitsmodel gevalideerd. Dit is gedaan op basis van de ijkset die beschikbaar is voor MIPWA. Deze ijkset bestaat uit peilbuizen die zijn opgenomen in DINO en is aangevuld met peilbuizen van de provincies Groningen en Drenthe en de waterbedrijven (Waterbedrijf Groningen, WBG, en Waterleidingmaatschappij Drenthe, WMD), die niet zijn opgenomen in DINO.

Aanvullend op de MIPWA-ijkset zijn door de Waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa's veldschattingen aangeleverd van de GHG en GLG. Deze veldschattingen zijn gebaseerd op boorgegevens, waarbij de GHG en GLG zijn bepaald op basis van hydromorfe kenmerken.

De modeluitkomsten zijn getoetst aan de volgende drie criteria:

1. Stationair aan mediane grondwaterstanden en stijghoogtes (P50).
2. Tijdsafhankelijk aan peilbuismetingen van de GHG en GLG.
3. Tijdsafhankelijk aan veldschattingen van de GHG en GLG.

In de volgende subparagrafen worden de uitkomsten van de modelvalidatie voor de drie verschillende criteria gepresenteerd en toegelicht. Tijdens de validatie van het tijdsafhankelijke model bleek dat er nog aanvullende ijking nodig was. Hieronder worden zowel de resultaten vóór als na ijking gepresenteerd.

Paragraaf 4.3.2 gaat in op de resultaten van de stationaire validatie en de aanpassingen en optimalisaties die tijdens de stationaire validatie zijn doorgevoerd. Paragraaf 4.3.3 gaat in op de resultaten van de tijdsafhankelijke validatie aan de hand van de GHG en GLG ter plaatse van de peilbuizen en de GHG en GLG op basis van veldschattingen. Tevens zijn in deze paragraaf de aanpassingen beschreven, die tijdens de tijdsafhankelijke validatie zijn doorgevoerd in het model.

4.3.2 Stationaire validatie

Het waterkwantiteitsmodel, opgebouwd in MODFLOW-6 (zie voorgaande paragrafen) is stationair gevalideerd aan (langjarig gemiddelde) gemeten grondwaterstanden en stijghoogten van de peilbuizen in de MIPWA-ijkset. Er is uitgegaan van het gemiddelde over de periode 2001 tot en met 2014.

Resultaten vóór aanvullende ijking

De resultaten van de stationaire validatie voorafgaand aan de aanvullend uitgevoerde ijkingsstag zijn weergegeven in tabellen 4-2 tot en met 4-6:

- De gemiddelde totale afwijking is -0.18 m. Dit betekent dat het model structureel te lage grondwaterstanden en stijghoogtes berekend. Dit manifesteert zich over alle modellagen.
- De gemiddeld absolute afwijking is 36 cm. Dit is voor een groot regionaal model een redelijke uitkomst (minder dan 30 cm is goed). De grootste afwijkingen zitten in de modellagen 4, 5 en 6 (formaties Boxtel, Kreftenheye, Eem, Drente, Drachten, Urk en Peelo).

- De grotere afwijkingen (> 1 m) zitten vooral in het relatief ondiepere systeem tot en met modellaag 6.

Tabel 4-2: Gebruikte meetpunten voor de stationaire validatie.

Aantal meetpunten	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgroep	209	220	264	175	127	372	160	120	110	39	26	2	48	1872
Meetset Dino	8	147	118	70	55	157	51	29	28	8	2		7	680
Totaal	217	367	382	244	181	526	210	148	137	47	28	2	55	2544

Tabel 4-3: Gemiddelde afwijking van de stationaire modelberekening.

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgroep	-0.23	-0.13	-0.22	-0.31	-0.38	-0.11	-0.12	-0.16	-0.05	-0.12	-0.03	-0.13	-0.14	-0.18
Meetset Dino	-0.19	-0.27	-0.29	-0.19	-0.24	-0.10	-0.12	-0.21	-0.03	-0.13	-0.06		-0.30	-0.20
Totaal	-0.23	-0.19	-0.24	-0.27	-0.34	-0.11	-0.12	-0.17	-0.04	-0.12	-0.03	-0.13	-0.16	-0.18

Tabel 4-4: Gemiddeld absolute afwijking van de stationaire modelberekening.

Absoluut gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgroep	0.36	0.30	0.35	0.38	0.48	0.40	0.36	0.36	0.31	0.37	0.34	0.41	0.22	0.36
Meetset Dino	0.23	0.43	0.37	0.34	0.45	0.34	0.36	0.26	0.23	0.10	0.18		0.14	0.36
Totaal	0.36	0.35	0.35	0.41	0.53	0.38	0.36	0.34	0.29	0.32	0.33	0.41	0.21	0.36

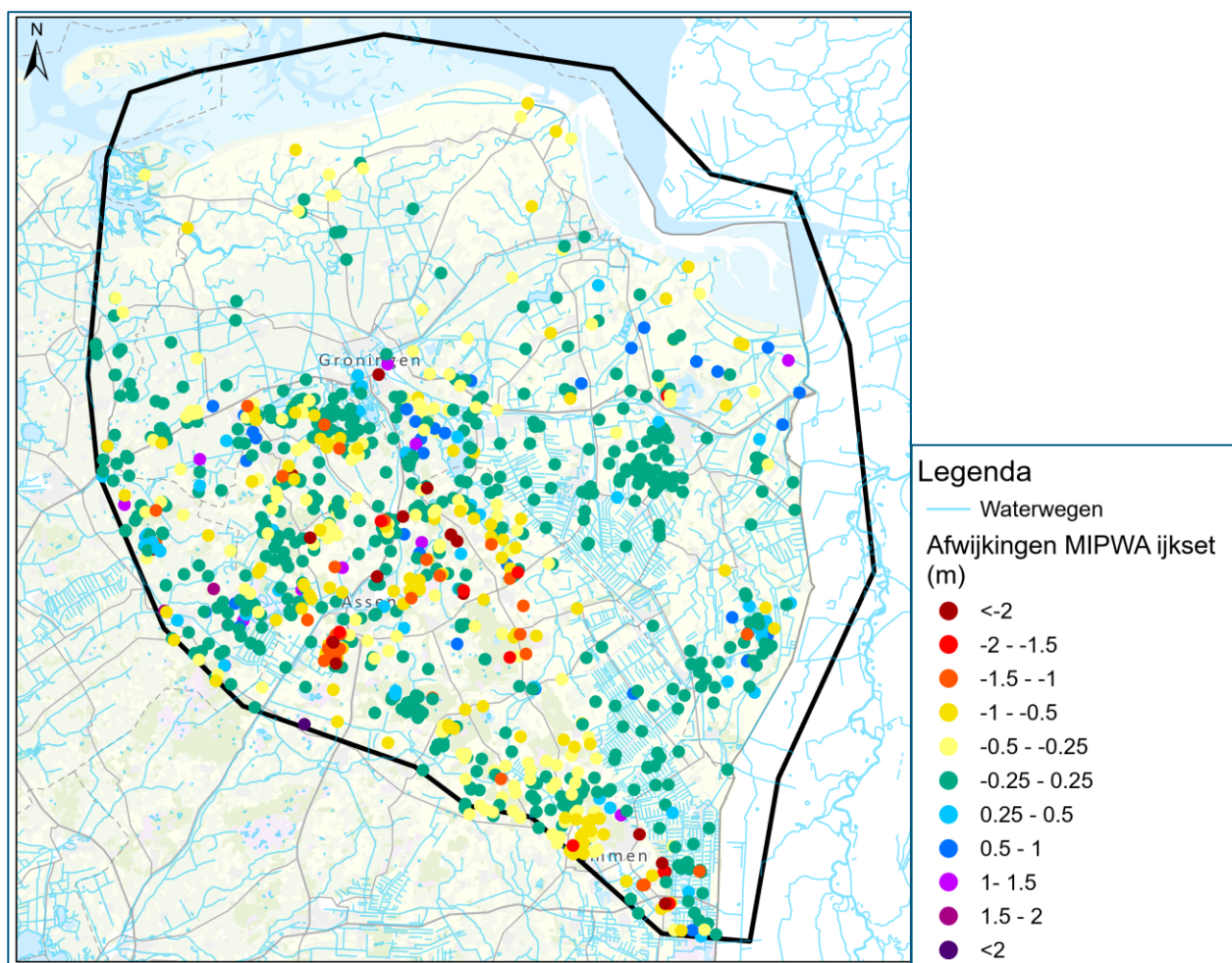
Tabel 4-5: Aantal metingen met afwijking >1m.

Afwijkingen > 1 meter	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgroep	11	13	19	14	14	36	10	6	6				2	131
Meetset Dino		15	10	6	5	10	5	1						52
Totaal	11	28	29	20	19	46	15	7	6	0	0	0	2	183

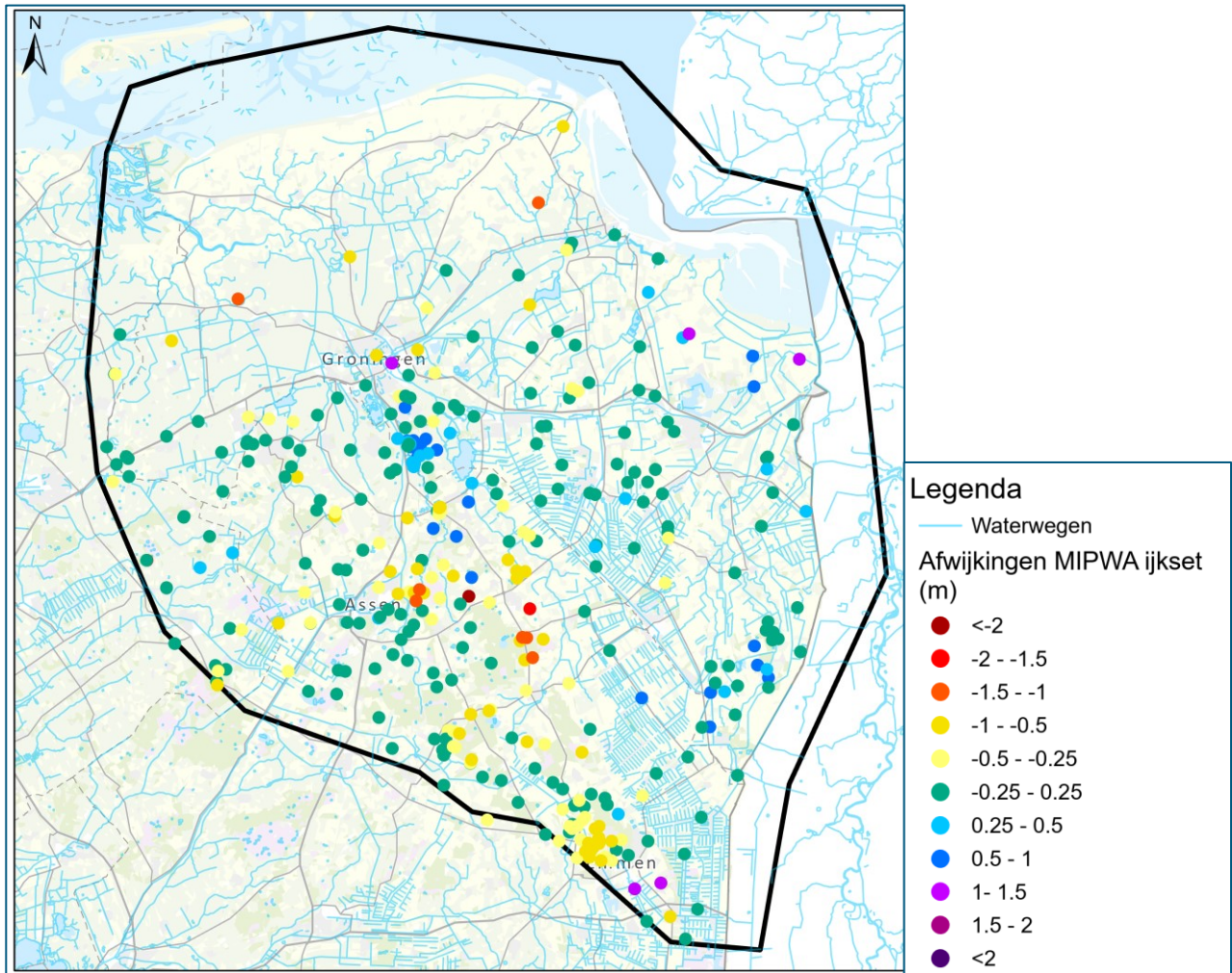
Tabel 4-6: Aantal metingen met afwijking >2m.

Afwijkingen > 2 meter	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgroep	4	1	3	3	4	3								18
Meetset Dino		5	3	1	1	1								11
Totaal	4	6	6	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	29

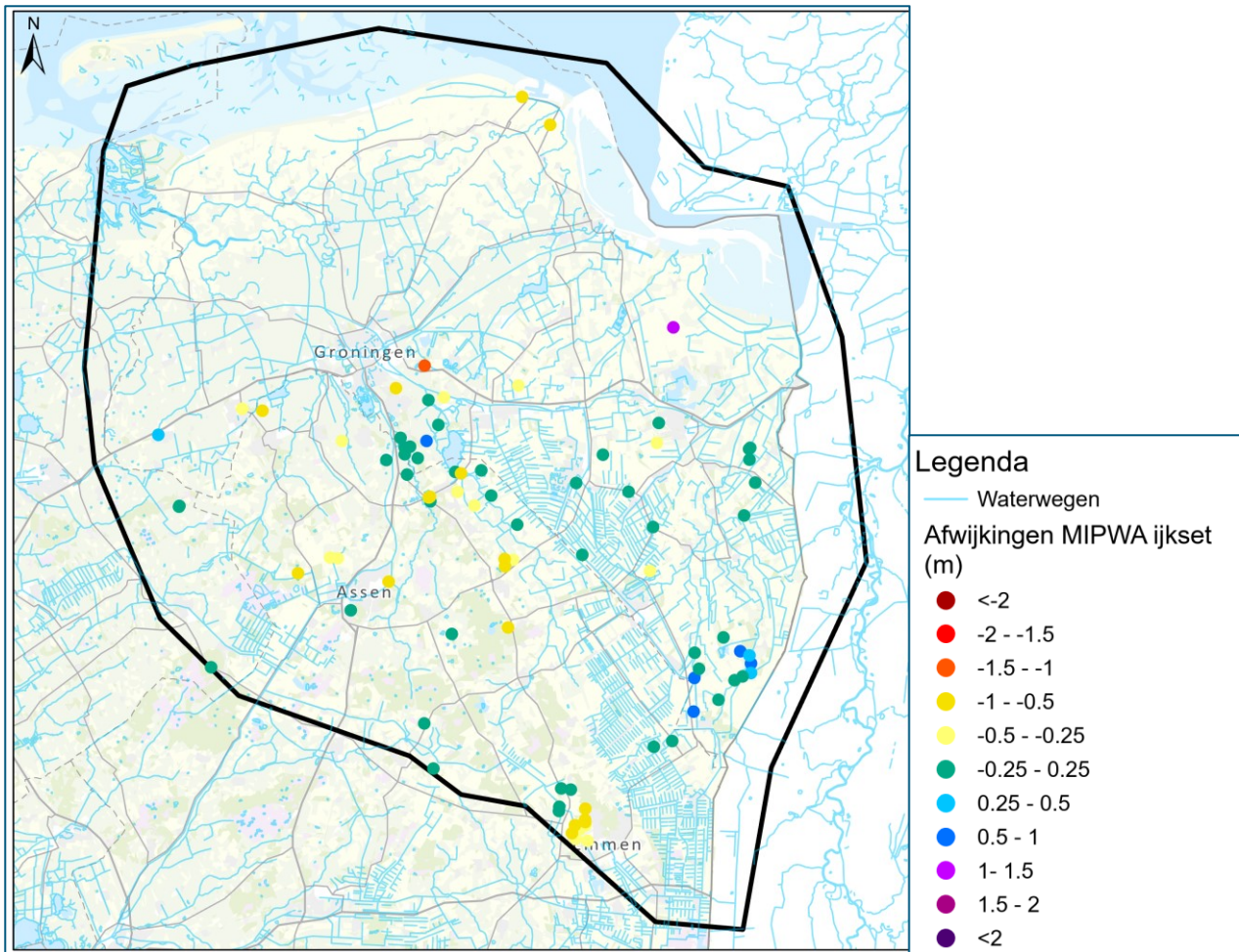
Figuren 4-14 tot en met 4-16 geven de resultaten van de stationaire validatie vóór aanvullende ijking weer in kaartvorm. Per peilbuis is het verschil tussen de berekende en gemeten stijghoogte weergegeven. In de gele en rode punten worden de stijghoogten te laag berekend, in de blauwe en paarse punten worden deze te hoog berekend. Figuur 4-14 geeft de verschillen tussen berekende en gemeten weer voor de modellagen 2 tot en met 6, figuur 4-15 voor modellagen 7 tot en met 9 en figuur 4-16 voor modellagen 10 tot en met 13.



Figuur 4-14: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, voorafgaand aan aanvullende ijking. Modellagen 2 tot en met 6.



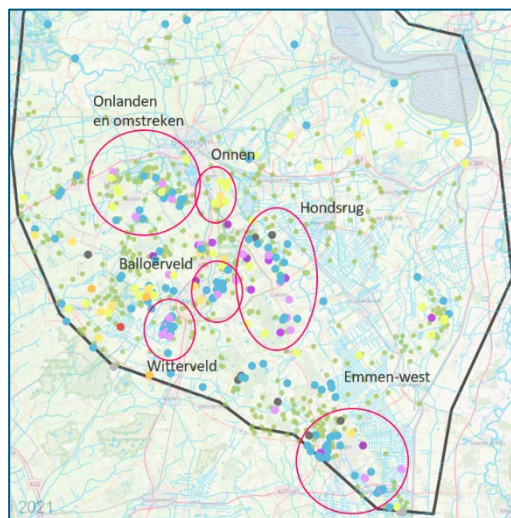
Figuur 4-15: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, voorafgaand aan aanvullende ijking. Modellen 7 tot en met 9.



Figuur 4-16: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, voorafgaand aan aanvullende ijking. Modellen 10 tot en met 13.

In de volgende deelgebieden laat het initiële stationaire model structurele afwijkingen zien, zie ook Figuur 4-17:

- Witteveld
- Balloërveld
- Hondsrug
- Onlanden en omstreken
- Drinkwaterwinning Onnen
- Emmen-west



Figuur 4-17 Clusters structurele afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten

Op basis hiervan is besloten een verbeterslag uit te voeren voor alle clusters m.u.v. Emmen-west. Emmen-west ligt aan de rand van het modelgebied en de aard van de studie is dusdanig dat op dit gebied niet wordt ingezoomd. Voor de andere clusters zijn de resultaten nader geanalyseerd en is bekeken hoe de resultaten verder verbeterd konden worden. Tabel 4-7 geeft per cluster weer welke aanvullende informatie is gebruikt en welke modelaanpassingen zijn doorgevoerd om het ijkresultaat te verbeteren.

Tabel 4-7 *Aanpassingen per cluster n.a.v. initieel rekenresultaat stationaire validatie*

Cluster	Modelaanpassing	Bron
Witterveld	Toevoegen ondiepe weerstand (Gliede/Gyttja/B-horizont)	Arcadis, 15 december 2020 ¹
Balloërveld, Hondsrug	Weerstand Keileem (x3) en Holoceen (x2)	Presentatie SWECO, Drentse Aa modellering ²
Onnen	Infiltratie conductance verlagen	Mondelinge toelichting Sjoerd Rijpkema
Onlanden en omstreken	Controle en verbetering modellering Peelo weerstand	Mondelinge toelichting Janet Hof

Hieronder volgt een nadere toelichting op de aanpassingen en de resultaten van deze aanpassingen.

Witterveld

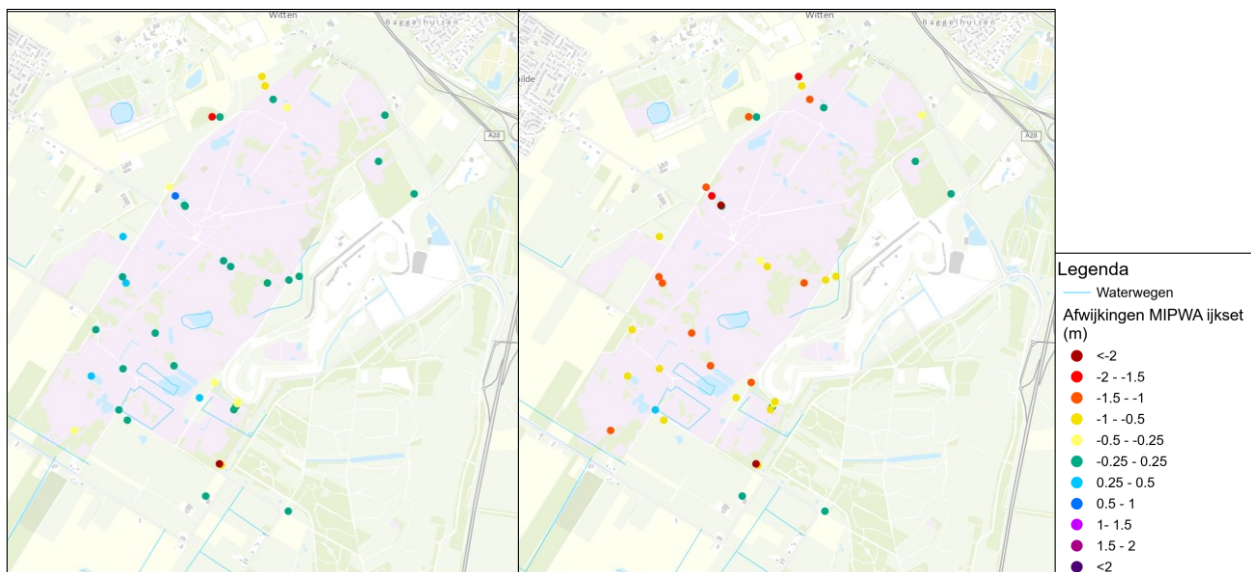
Binnen het Witterveld zijn de berekende stationaire grondwaterstanden en stijghoogten in de orde van 50 tot 100 cm te laag, met uitschieters naar ruim 1,5 meter. In een recent uitgevoerde studie door Arcadis rondom Natura2000-gebied Witterveld (Arcadis, 2020) zijn concrete aanpassingen uitgevoerd om de berekende grondwaterstanden dichterbij de gemeten waarden te krijgen. Het validatieresultaat stemt qua orde grootte overeen met de uitgangssituatie binnen deze studie. De verrichte aanpassingen zijn als volgt:

- 1) Voorkomen van veen ingebracht in 3 sublagen
- 2) Verkitten B-horizont ingebracht rondom Natura2000-gebied met 10.000 dagen weerstand
- 3) Gliede- en gyttjalagen opgenomen met resp. 500 en 75 dagen weerstand.
- 4) Vullen van gat in Peelo-weerstand ten noorden van het gebied
- 5) Beekleem ingebracht.
- 6) Top keileem gecorrigeerd.

Van bovenstaande aanpassingen is op vereenvoudigde wijze de ondiepe weerstand in dit gebied overgenomen. In totaal 10.000 dagen extra weerstand is opgenomen in het gebied. Deze extra weerstand heeft tot gevolg dat de afwijking binnen dit gebied afneemt van gemiddeld circa 1 meter te laag naar afwisselend 20 tot 30 cm te hoog of te laag. Het resultaat is weergegeven in Figuur 4-18.

¹ Arcadis (15 december 2020). Hydrologisch onderzoek N2000-gebied Witterveld. D10013487:147.

² Drentse AA_SkyTem_25012021_resultaat_Eindmodel_SkyTem_Huidig_DEF.pptx



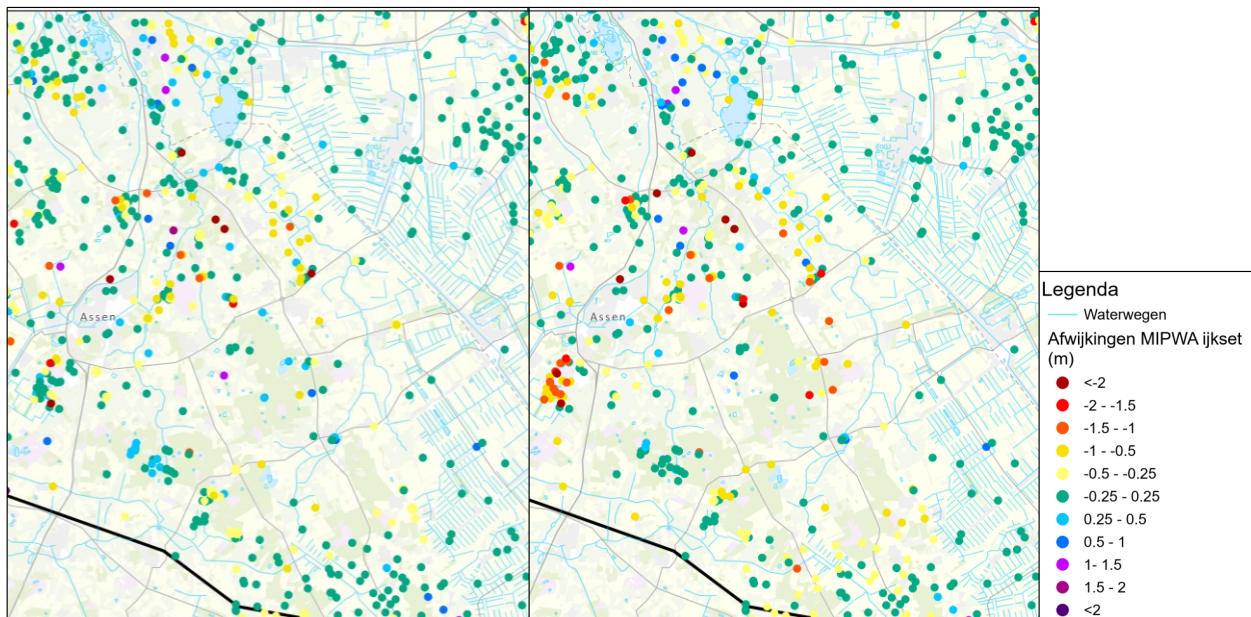
Figuur 4-18: Afwijkingen tussen stationair berekende en gemeten stijghoogten Witterveld. Modellen 2 tot en met 6. Links: na aanvullende ijking. Rechts: vóór aanvullende ijking.

Balloërveld en Hondsrug

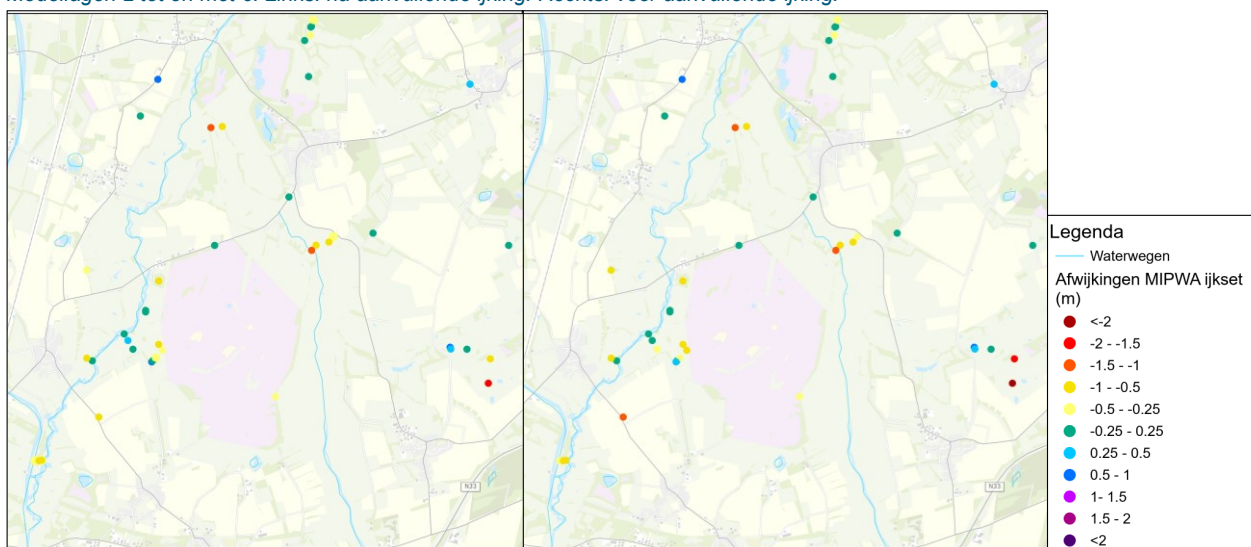
Voor zowel de Hondsrug als het Balloërveld zijn de berekende stationaire afwijkingen in de orde van 50 tot 100 cm te laag, met uitschieters naar 2 meter. Voor het stroomgebied van de Drentsche Aa is een aanvullende modelstudie uitgevoerd, waarin gebruik is gemaakt van SkyTEM-data (Sweco en Querner Consult, 2021). De clusters Hondsrug en Balloërveld liggen binnen het modelgebied. In de genoemde modelstudie voor het Drentse Aa-gebied zijn een aantal aanpassingen aan basisdata verricht teneinde een goede match te krijgen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden:

- 1) Aanpassing weerstand Peelokleien
- 2) Doorlaatvermogen Boxtel zanden verlagen
- 3) Aanpassing verbreiding Peelo o.b.v. SkyTEM binnen SkyTEM gebied
- 4) Verhogen weerstand keileem met een factor 3
- 5) Verhogen Holocene weerstand met een factor 2

Aspecten 1 tot en met 3 zijn eerder al besproken in paragraaf 4.2. Aspecten 4 en 5 zijn aanvullend opgenomen. De doorgevoerde aanpassingen zorgen voor een beperkte verbetering van het ijkresultaat. Waarschijnlijk komt dit omdat de weerstand a.g.v. keileem en het Holoceen hier relatief gering zijn, waardoor het effect op het ijkresultaat beperkt blijft. Omdat het modelresultaat niet substantieel verbeterde als gevolg van deze aanpassingen is nog nader gekeken naar de mogelijkheid om gestuwde lagen op te nemen in de modelschematisatie. Binnen het huidige modelconcept is de stuwning in de Hondsrug niet zo op te nemen zoals gewenst (a.g.v. de combinatie met de variabele dichtheid). Een andere wijze om het mechanisme van stuwning op te nemen in het model is door het doorlaatvermogen te verminderen daar waar stuwning bekend is. Voor de gestuwde modellen is het doorlaatvermogen met 50% verminderd om op deze manier tot meer opbolling op de Hondsrug te komen en de gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes beter te benaderen. Dit heeft overwegend goede resultaten tot gevolg. Het resultaat van de aanvullende ijkingslag voor de clusters Hondsrug en Balloërveld is weergegeven in Figuren 4-19 en 4-20.



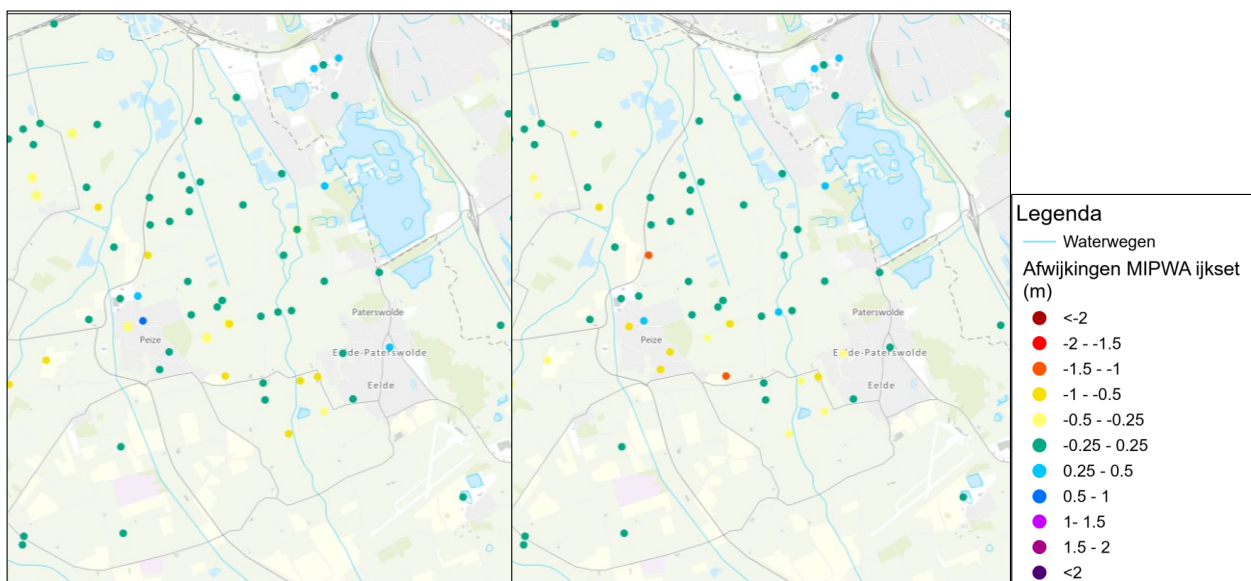
Figuur 4-19: Afwijkingen tussen stationair berekende en gemeten stijghoogten cluster Hondsrug. Modellen 2 tot en met 6. Links: na aanvullende ijking. Rechts: vóór aanvullende ijking.



Figuur 4-20: Afwijkingen tussen stationair berekende en gemeten stijghoogten cluster Balloërveld. Modellen 2 tot en met 6. Links: na aanvullende ijking. Rechts: vóór aanvullende ijking.

Onlanden en omstreken

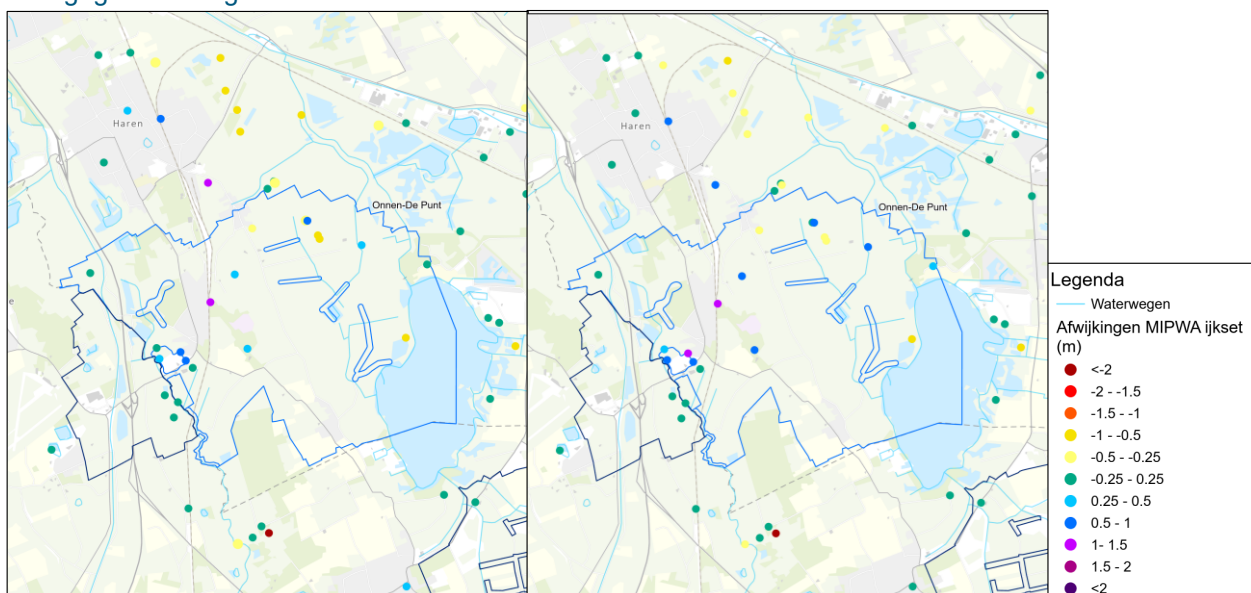
Voor het gebied de Onlanden zijn te lage grondwaterstanden en stijghoogtes berekend. Veelal liggen de afwijkingen tussen de 50 en 100 cm en hebben ze vooral betrekking op de berekende stijghoogte in de formatie van Eem, Kreftenheye en Drente (modellaag 5). Vermoedelijk is de voor de aanpassing van de Peelokleien gehanteerde vuistregel (zie paragraaf 4.2.1) voor dit deelgebied onvoldoende in overeenstemming met de werkelijke situatie. In de omgeving van de Onlanden wordt op een aantal plaatsen potklei aangetroffen, waardoor de weerstand van de Peelokleien ter plaatse zeer hoog zal zijn. Voor het deelgebied Onlanden is daarom de originele weerstand (conform REGIS II v2.2) weer in het model opgenomen. Dit heeft tot gevolg dat grondwaterstanden en stijghoogtes hier beter benaderd worden. Het resultaat van de aanvullende ijkingslag voor het cluster Onlanden is weergegeven in Figuur 4-21.



Figuur 4-21: Afwijkingen tussen stationair berekende en gemeten stijghoogten cluster Onlanden. Modellen 2 tot en met 6. Links: na aanvullende ijking. Rechts: vóór aanvullende ijking.

Onnen

Rondom Onnen en de daar bestaande drinkwaterwinning worden te hoge grondwaterstanden berekend. Een mogelijke oorzaak hiervan is een te hoge infiltratie van het oppervlaktewater in dit deelgebied. Deze infiltratie is sterk verlaagd door de infiltratie-conductance sterk te verminderen (orde 10 tot 100). Dit draagt bij aan een beter modelresultaat maar heeft niet tot gevolg dat het modelresultaat binnen de gewenste afwijkingen valt (<30 cm). Het resultaat van de aanvullende ijkingsslag voor het cluster Onnen is weergegeven in Figuur 4-22.



Figuur 4-22: Afwijkingen tussen stationair berekende en gemeten stijghoogten cluster Onnen. Modellen 2 tot en met 6. Links: na aanvullende ijking. Rechts: vóór aanvullende ijking.

Resultaten na aanvullende ijking

De resultaten van de stationaire validatie na de aanvullend uitgevoerde ijkingsslag zijn weergegeven in tabellen 4-8 tot en met 4-12:

- De gemiddelde totale afwijking is -0.11 m. Dit is een duidelijke verbetering ten opzichte van het resultaat voorafgaand aan de aanvullende ijkingsslag (-0,18 m).
- De gemiddeld absolute afwijking bedraagt 33 cm. Dit is voor een groot regionaal model een redelijke uitkomst (minder dan 30 cm is goed) en een duidelijke verbetering ten opzichte van het resultaat voorafgaand aan de aanvullende ijkingsslag (36 cm).
- De grotere afwijkingen (> 1 m) zitten vooral in het relatief ondiepere systeem tot en met modellaag 6.

Tabel 4-8: Gebruikte meetpunten voor de stationaire validatie.

Aantal meetpunten	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	209	220	264	175	127	372	160	120	110	39	26	2	48	1872
Meetsset Dino	8	147	118	70	55	157	51	29	28	8	2		7	680
Totaal	217	367	382	245	182	529	211	149	138	47	28	2	55	2552

Tabel 4-9: Gemiddelde totale afwijking tussen stationair berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Resultaat na aanvullende stationaire ijking.

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	-0.19	-0.08	-0.12	-0.11	-0.14	-0.03	-0.04	-0.17	0.01	-0.15	-0.04	-0.14	-0.16	-0.10
Meetsset Dino	-0.17	-0.25	-0.26	-0.10	-0.08	-0.04	-0.10	-0.32	-0.06	-0.02	0.14		-0.28	-0.15
Totaal	-0.19	-0.15	-0.17	-0.11	-0.12	-0.04	-0.06	-0.20	0.00	-0.13	-0.03	-0.14	-0.18	-0.11

Tabel 4-10: Gemiddeld absolute afwijking tussen stationair berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Resultaat na aanvullende stationaire ijking.

Absoluut gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	0.34	0.27	0.29	0.31	0.41	0.36	0.32	0.34	0.25	0.31	0.36	0.43	0.24	0.32
Meetsset Dino	0.22	0.42	0.33	0.32	0.45	0.33	0.37	0.34	0.29	0.10	0.14		0.27	0.35
Totaal	0.33	0.33	0.31	0.31	0.42	0.35	0.33	0.34	0.26	0.27	0.35	0.43	0.24	0.33

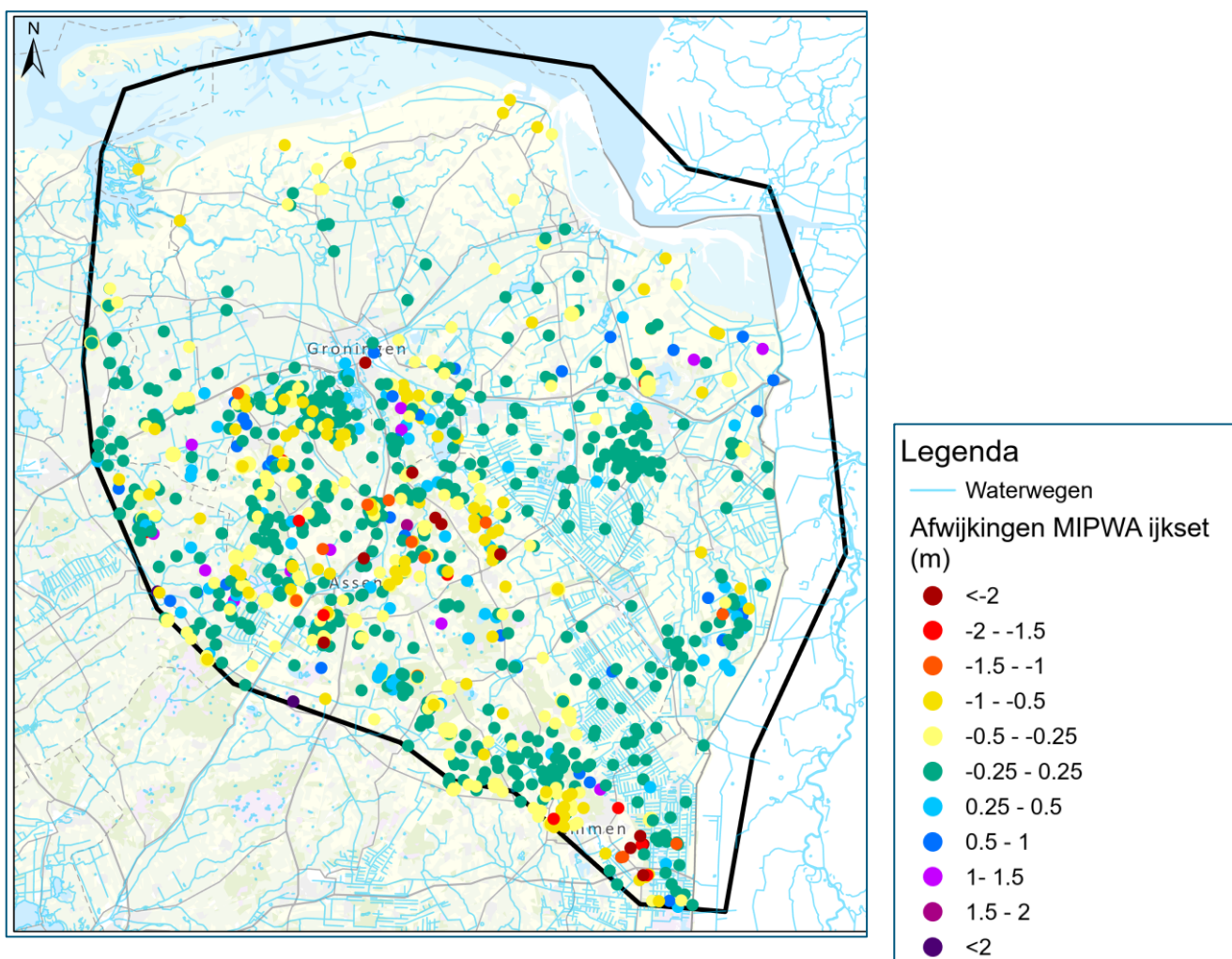
Tabel 4-11: Aantal metingen met afwijking >1m. Resultaat na aanvullende stationaire ijking

Afwijkingen > 1 meter	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	8	5	6	4	9	24	6	6	3					71
Meetsset Dino		13	8	6	6	10	3	1						47
Totaal	8	18	14	10	15	34	9	7	3	0	0	0	0	118

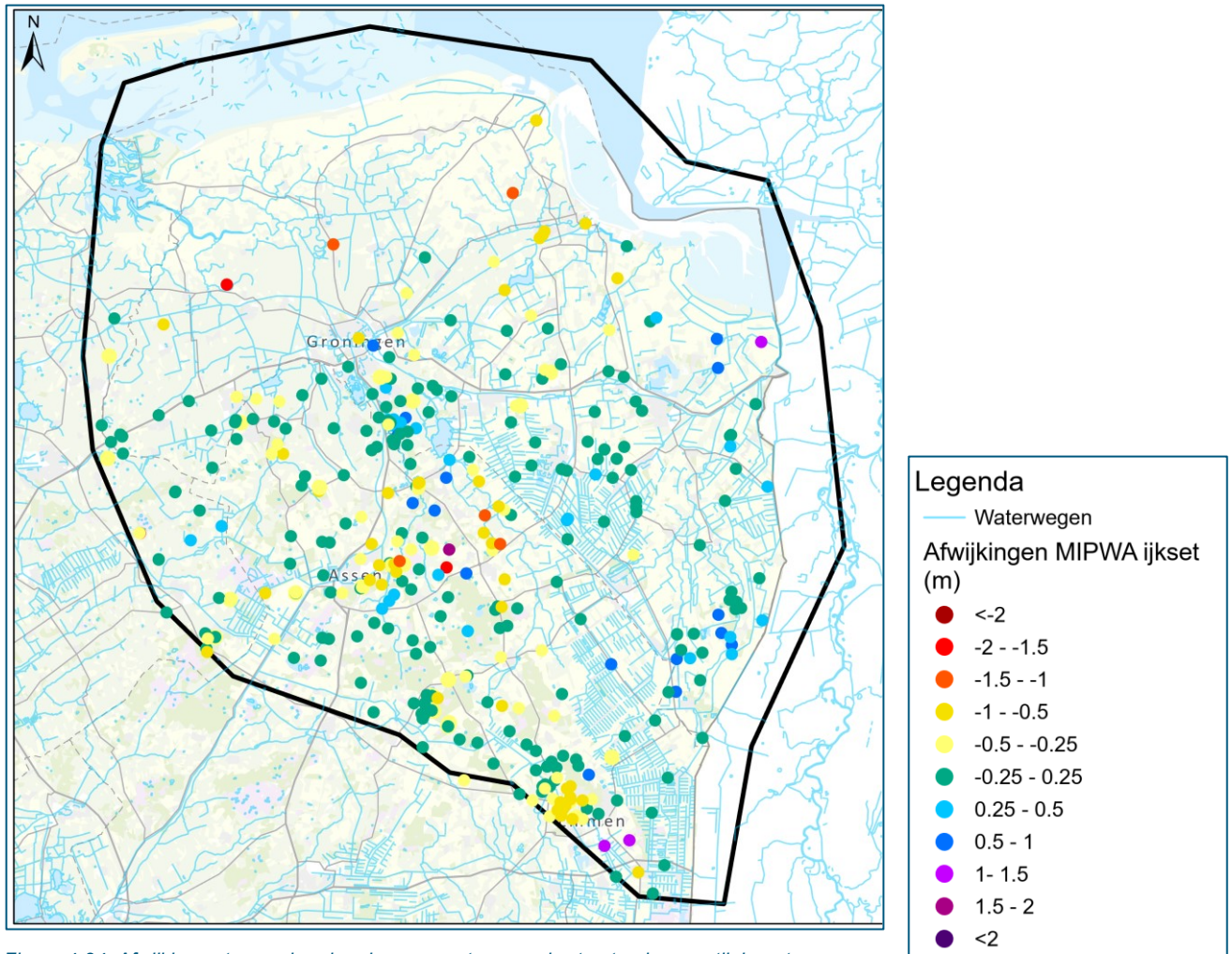
Tabel 4-12: Aantal metingen met afwijking >2m. Resultaat na aanvullende stationaire ijking

Afwijkingen > 2 meter	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	2	1	3	1	3	1	1							12
Meetsset Dino		5	2		1		1							9
Totaal	2	6	5	1	4	1	2	0	0	0	0	0	0	12

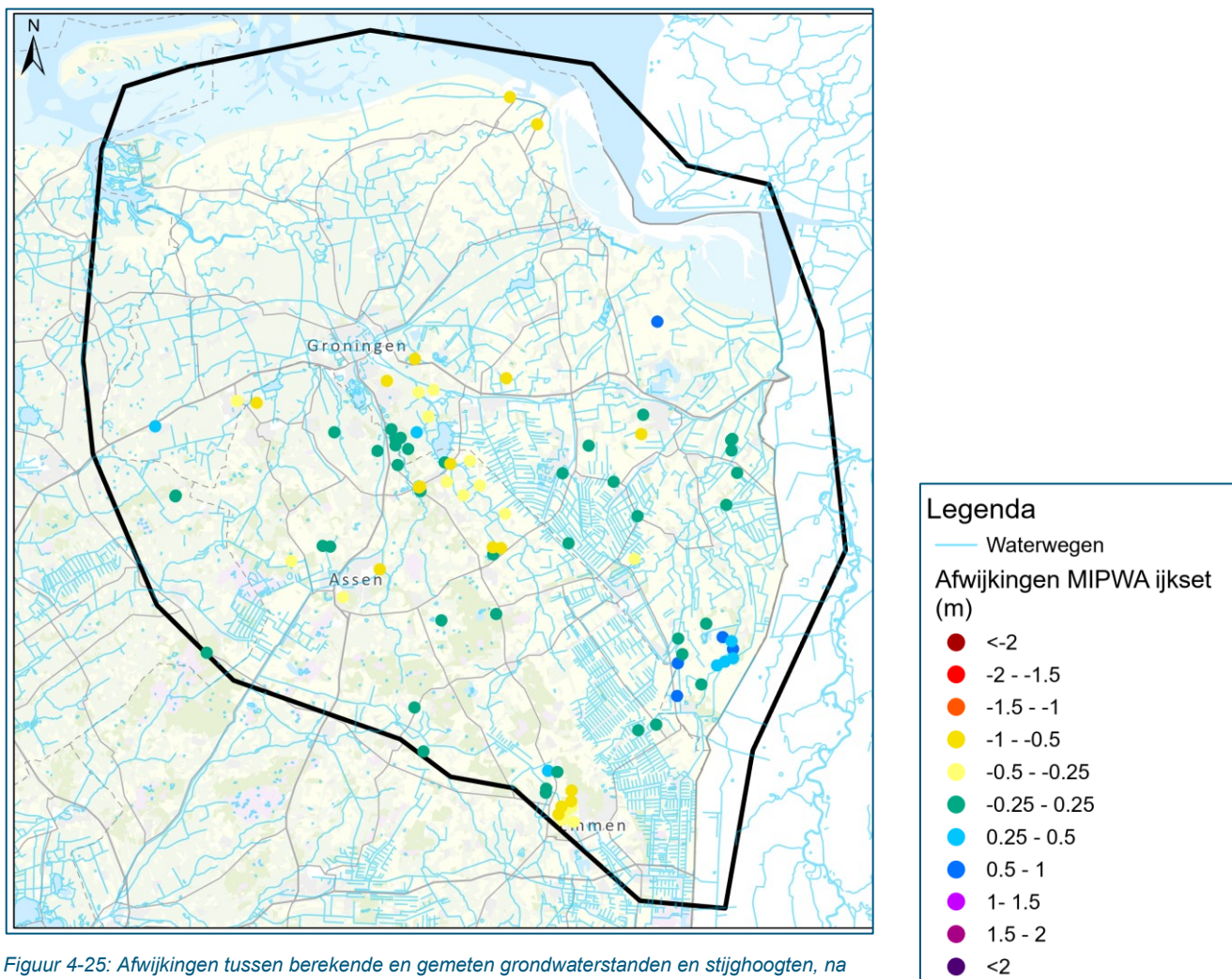
Figuren 4-23 t/m 4-25 geven de resultaten van de stationaire validatie na aanvullende ijking in kaartvorm weer en laten in vergelijking betere resultaten zien dan voor de aanvullende ijking (Figuren 4-14 t/m 4-16).



Figuur 4-23: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, na aanvullende ijking. Modellen 2 tot en met 6.



Figuur 4-24: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, na aanvullende ijking. Modellen 7 tot en met 9.



Figuur 4-25: Afwijkingen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten, na aanvullende ijking. Modellen 10 tot en met 13.

4.3.3 Tijdsafhankelijke validatie

Het grondwatermodel, dat eerst stationair is doorgerekend (zie § 4.3.2) is tijdsafhankelijk doorgerekend voor de periode 2001-2019. De resultaten ten opzichte van de statistieken op basis van meetreeksen in peilbuizen zijn weergegeven in tabellen 4-13 en 4-14. De GHG wordt door het model gemiddeld enigszins lager berekend, maar is gezien het regionale karakter van het model zeer acceptabel. De GLG wordt door het model goed berekend. Wanneer nader wordt gekeken naar de verdeling over de modellen, is te zien dat de afwijkingen sterker zijn in het diepere systeem (modellen 10-13). De hoeveelheid meetpunten in die lagen is wel beperkter en heeft dus beperkter invloed op het totale gemiddelde.

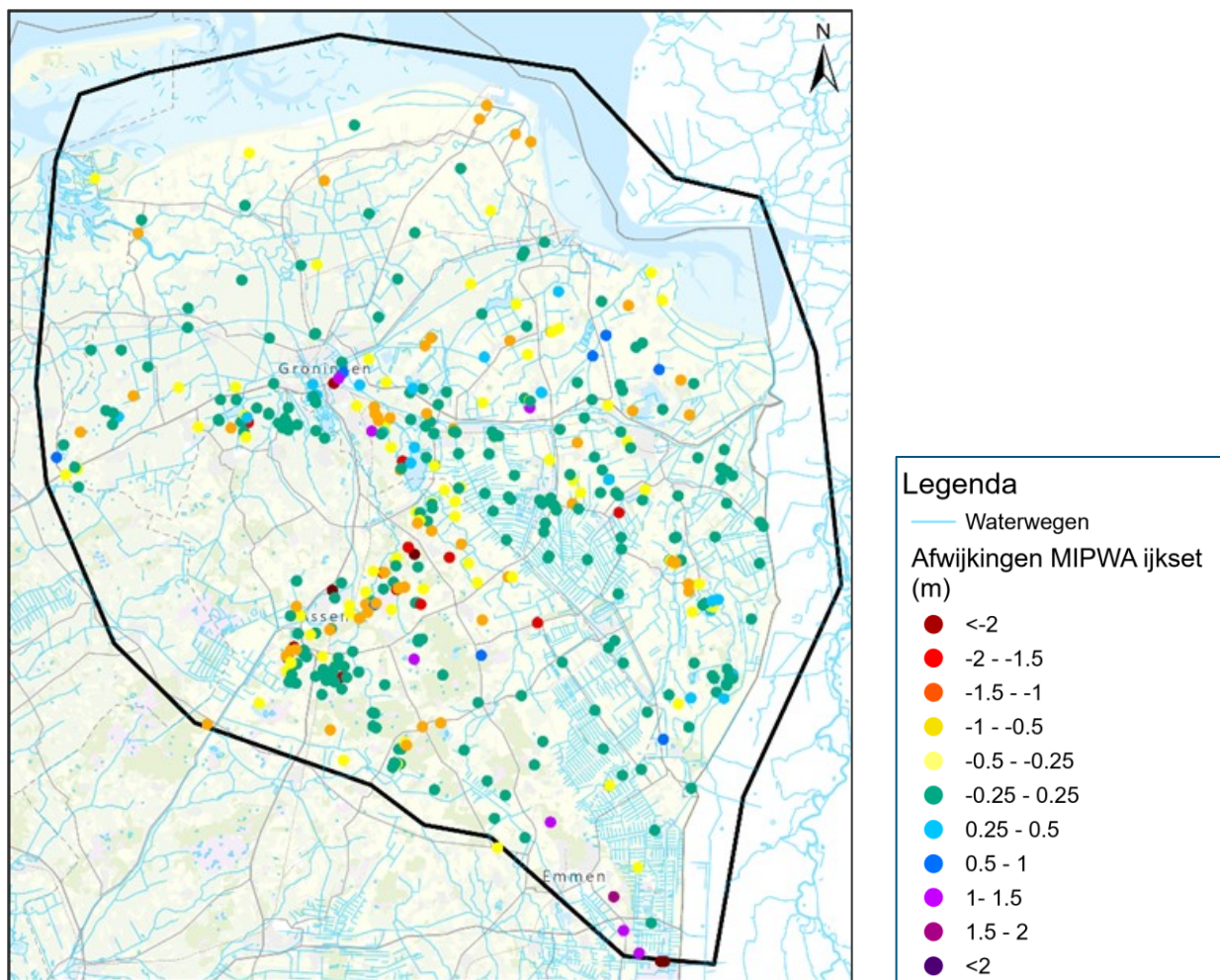
Tabel 4-13 Gemiddelde afwijking tijdsafhankelijke berekening voor in peilbuizen gemeten GxG

	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
GHG	-0.04	-0.11	-0.15	-0.11	-0.13	-0.13	-0.07	-0.09	-0.08	-0.25	-0.23	-0.25	-0.15	-0.11
GLG	-0.02	0.05	-0.03	-0.01	0.04	0.07	0.03	0.03	0.05	-0.09	-0.06	0.06	-0.04	0.02

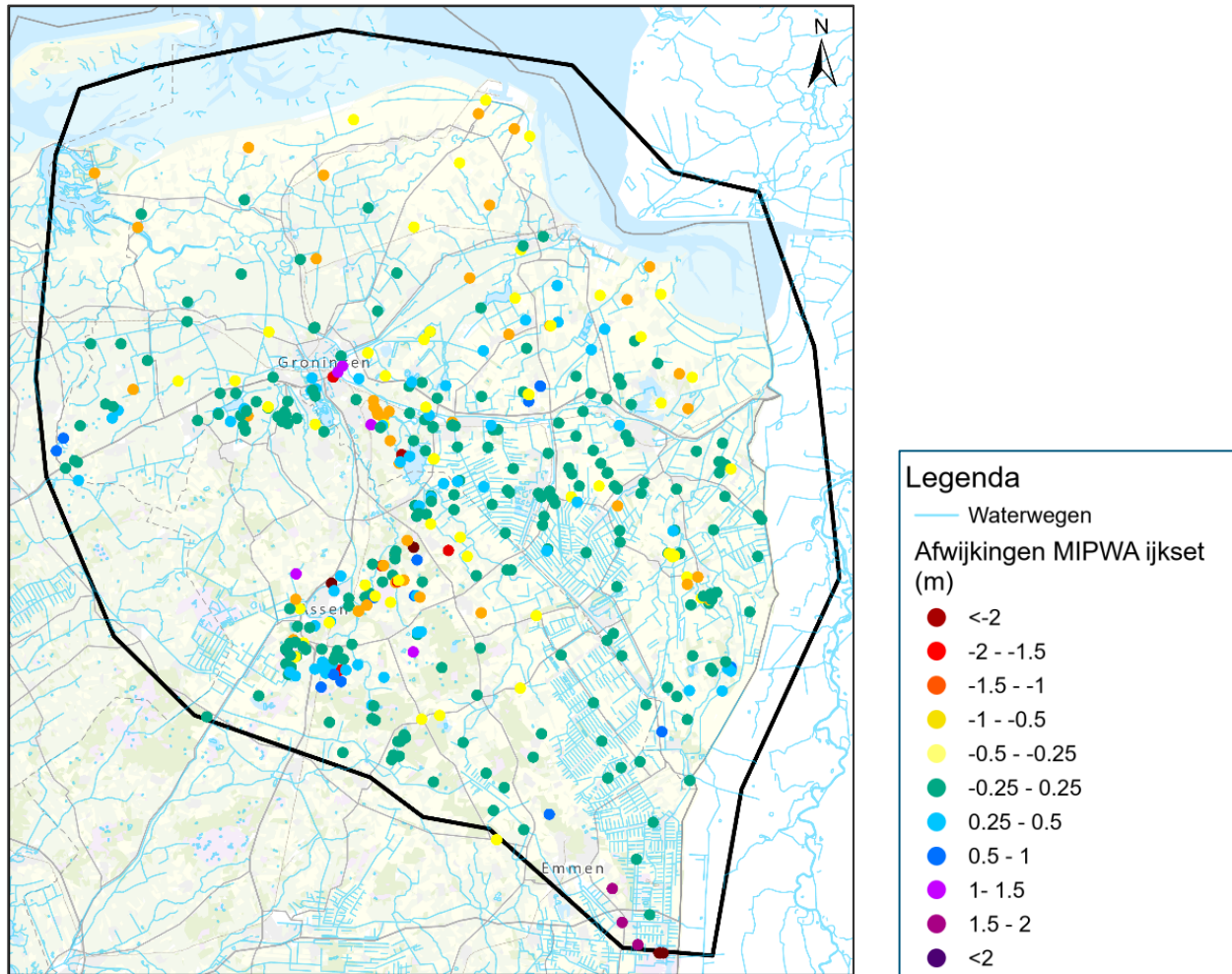
Tabel 4-14 Gemiddeld absolute afwijking tijdsafhankelijke berekening voor in peilbuizen gemeten GxG

Absoluut gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
GHG	0.42	0.32	0.30	0.36	0.48	0.31	0.31	0.24	0.24	0.25	0.13	0.00	0.25	0.32
GLG	0.46	0.38	0.32	0.36	0.47	0.31	0.32	0.24	0.22	0.27	0.13	0.00	0.22	0.34

Wanneer ruimtelijk wordt gekeken naar de afwijkingen (zie figuren 4-26 en 4-27) zijn er lokaal uitschieters zichtbaar en is een enigszins regionale afwijking in het noorden en noordoosten te zien die met name tot uiting komt in de GLG. De berekende GLG en in mindere mate GHG is lager dan gemeten voor het noordelijke en oostelijke deel van de provincie Groningen.

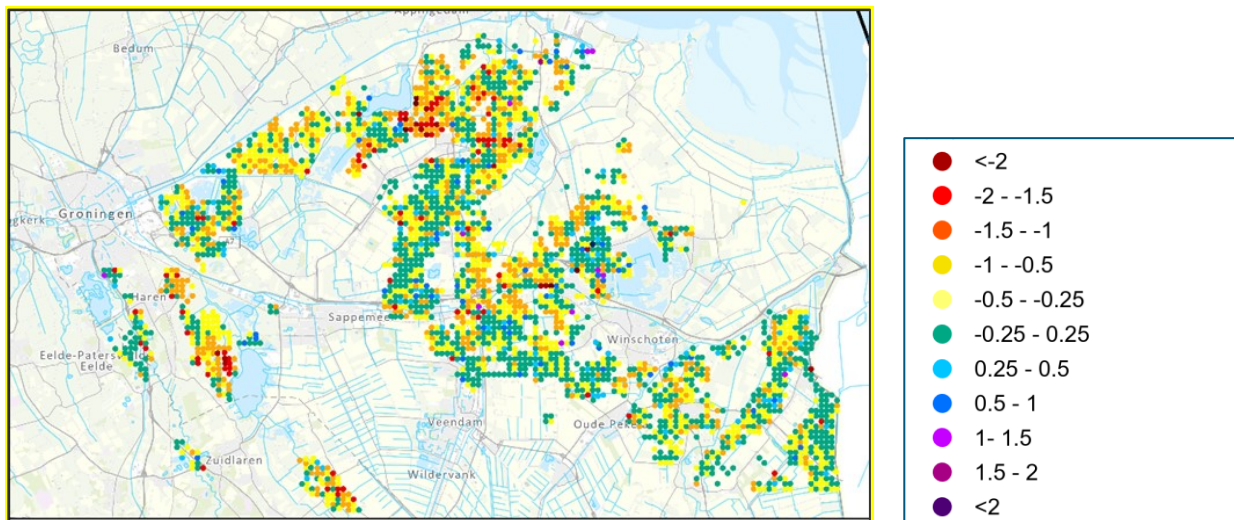


Figuur 4-26 Afwijkingen tussen berekende en gemeten GHG. Modellen 2 tot en met 6

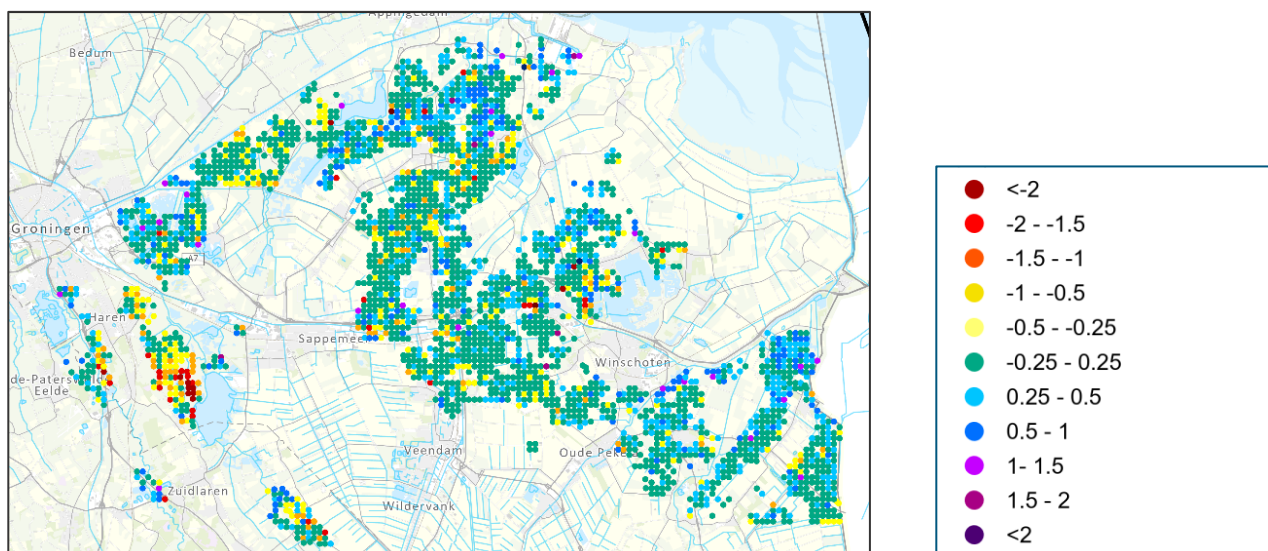


Figuur 4-27 Afwijkingen tussen berekende en gemeten GLG. Modellen 2 tot en met 6

Aanvullend op de peilbuisgegevens zijn ook gegevens beschikbaar vanuit veenkarteringen. Deze gegevens zijn minder 'hard' dan meetgegevens maar kunnen we aanvullend informatie geven of het geconstateerde beeld klopt en ook op hoger ruimtelijk detailniveau aanwezig is. De veenkarteringen zijn beschikbaar in het gebied ten oosten van Groningen en ten zuiden van het Eemskanaal. In figuren 4-28 en 4-29 zijn de resultaten weergegeven ten opzichte van het berekende resultaat. Voor de GLG zien we een goed overeenkomstig resultaat met de constatering n.a.v. de peilbuizen. De GHG wordt door het model gemiddeld ongeveer 30 cm hoger berekend dan de GHG afgeleid uit de veenkartering. Meer naar het noorden, in het gebied ten noorden van het Eemskanaal, ligt de berekende GHG juist lager dan de GHG op basis van de veenkartering.



Figuur 4-28 Afwijkingen tussen berekende GHG en GHG volgens veenkartering. Modellen 2 tot en met 6



Figuur 4-29 Afwijkingen tussen berekende GLG en GLG volgens veenkartering. Modellen 2 tot en met 6

Tabel 4-15 Gemiddelde afwijking tijdsafhankelijke berekening t.o.v. GxG veenkartering

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
GHG	-0.26	-0.31	-0.33	-0.34	-0.40	-0.23	-0.09										-0.30
GLG	-0.10	0.05	0.04	0.09	-0.09	0.09	0.31										0.02

De geconstateerde regionale afwijking in het noorden en noordoosten van het projectgebied is nader onderzocht om te kijken of hier op betrekkelijk eenvoudige wijze een verbetering in het model te bewerkstelligen is. Op basis van de samenwerkingsessies met de projectgroep zijn de volgende mogelijke oorzaken benoemd:

- Is de modelrand van de Waddenzee correct opgenomen, conform aanpak MIPWA v3 ?
- In hoeverre zijn de gemeten en berekende stijghoogten gecorrigeerd voor dichtheidsverschillen?

- Weerstand van de Holocene deklaag, keileem en Peelkleien.
- Eventuele ligging Peelgeulen.
- Is in het model buisdrainage in natuurgebieden aanwezig?
- Kloppen de ontwateringsniveaus en conductances hier ter plaatse?

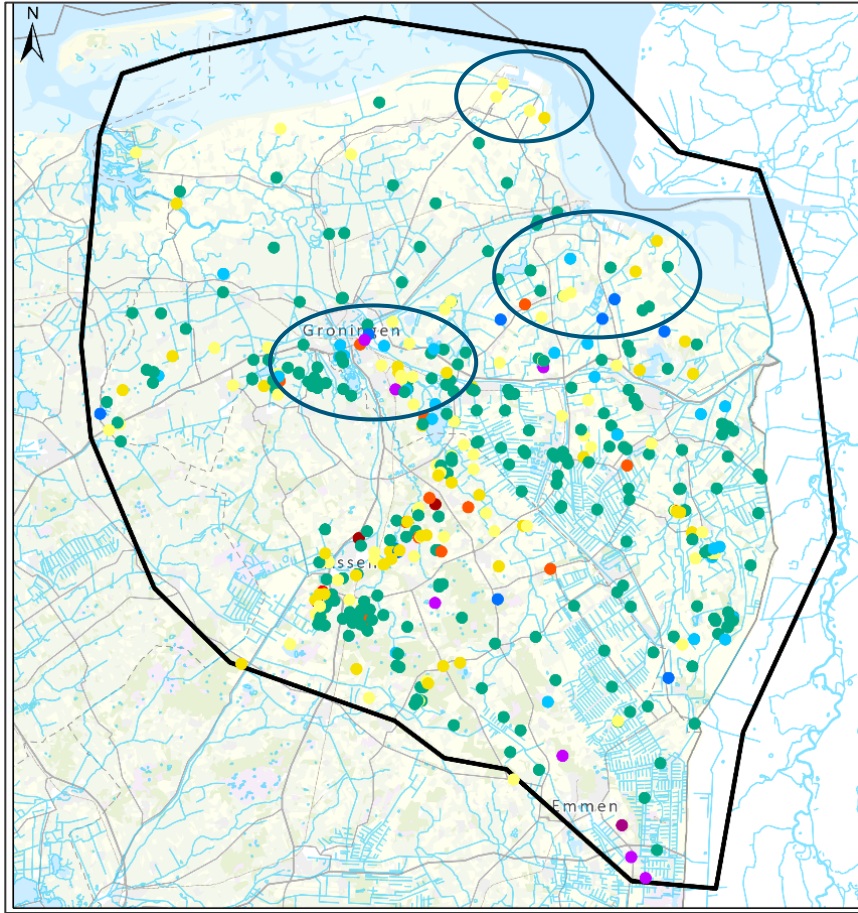
Uit bovenstaande lijst is geconcludeerd dat met name de aanwezigheid van buisdrainage, diepteligging en conductances ten grondslag kunnen liggen aan de afwijkingen. Dit is nader onderzocht en de volgende wijzigingen zijn aangebracht in het model:

- De diepteligging van de buisdrainage in het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest is beperkt tot 120 cm onder maaiveld.
- De conductance van de buisdrainage in het zeekeleigebied van Waterschap Hunze en Aa's is met 10% verminderd.
- Ter plaatse van natuurgebieden is de buisdrainage verwijderd uit het model.
- Het drainageniveau van de buisdrainage is gecorrigeerd o.b.v. het leggerpeil.
- Daarnaast zijn de aanpassingen ten aanzien van de keileem en Holoceen beperkt tot het modelgebied van de Drentsche Aa en niet meer modelbreed toegepast. Deze wijziging heeft tot gevolg dat met name de weerstand van het Holocene pakket in het noorden een stuk kleiner wordt dan in de stationaire validatie is opgenomen.

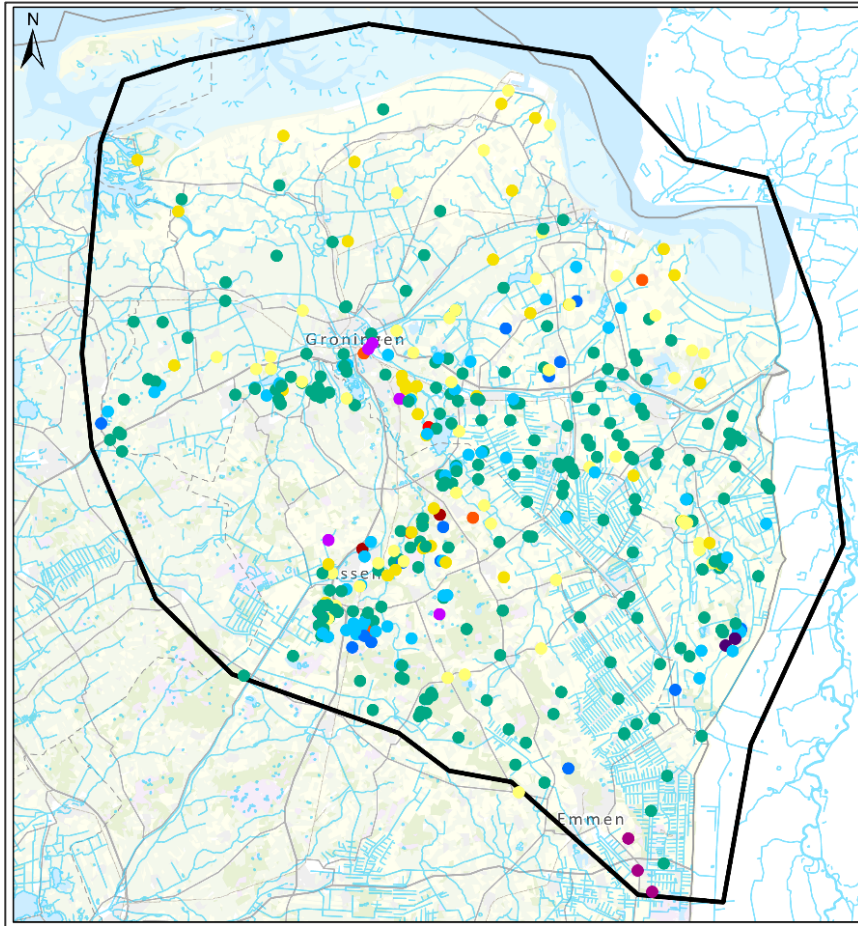
Deze aanpassingen zijn doorgerekend en hebben geleid tot de definitieve modelschematisatie. De ijkresultaten van deze definitieve modelschematisatie zijn opgenomen in § 4.3.4.

4.3.4 Definitieve ijkresultaat

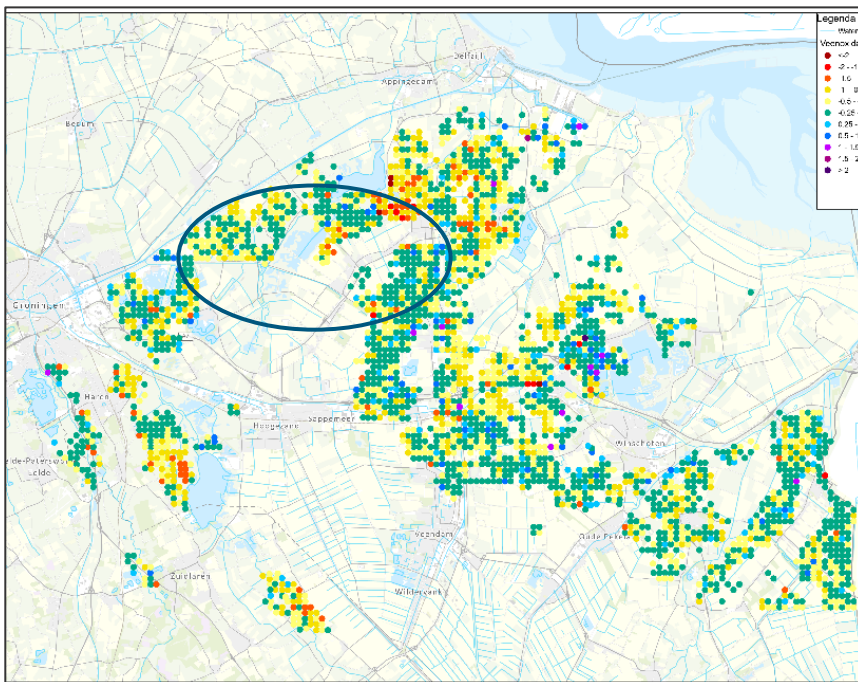
Figuren 4-30 tot en met 4-33 en tabellen 4-16 tot en met 4-20 geven de ijkresultaten weer van de definitieve modelschematisatie. De laatste aanpassingen in het model hebben geleid tot een verbetering van het ijkresultaat, zowel ten opzichte van de peilbuizen als ten opzichte van de veenkartering. Enkele aandachtsgebieden waar dit zichtbaar is, zijn in de figuren aangeduid met ellipsen.



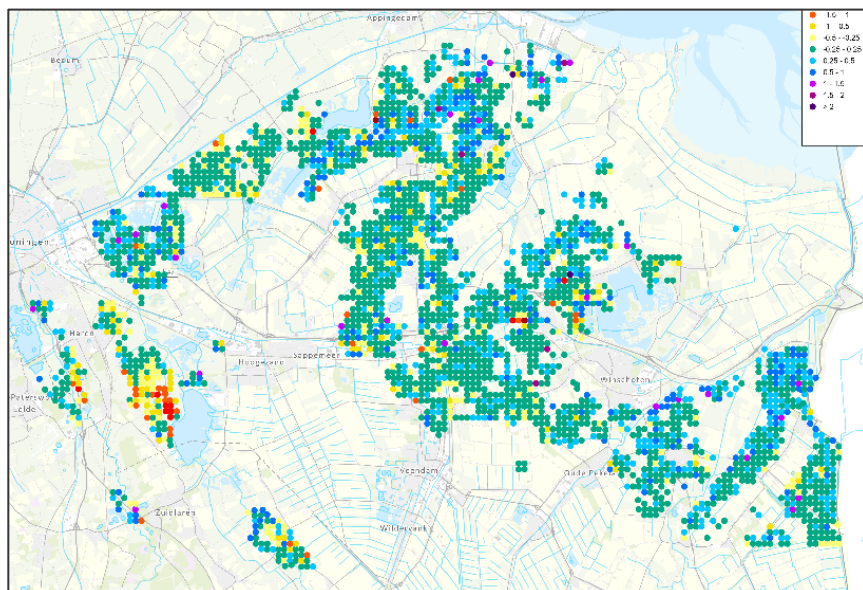
Figuur 4-30 Afwijkingen tussen berekende (definitieve model) en gemeten GHG, na aanvullende ijking. Modellen 2 t/m 6



Figuur 4-31 Afwijkingen tussen berekende (definitieve model) en gemeten GLG, na aanvullende ijking. Modellen 2 t/m 6.



Figuur 4-32 Afwijkingen tussen berekende GHG (definitieve model) en GHG volgens veenkartering. Modellen 2 t/m 6



Figuur 4-33 Afwijkingen tussen berekende GLG (definitieve model) en GL G volgens veenkartering. Modellen 2 t/m 6

Tabel 4-16 Gemiddelde afwijking tijdsafhankelijke berekening (definitieve model) voor in peilbuizen gemeten GxG

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
GHG	0.00	-0.08	-0.12	-0.07	-0.10	-0.10	-0.04	-0.06	-0.04	-0.22	-0.22	-0.24	-0.12	-0.08
GLG	-0.01	0.05	-0.03	0.00	0.05	0.07	0.03	0.03	0.06	-0.09	-0.07	0.06	-0.03	0.02

Tabel 4-17 Gemiddelde absolute afwijking tijdsafhankelijke berekening (definitieve model) voor in peilbuizen gemeten GxG

Absoluut gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
GHG	0.41	0.33	0.31	0.36	0.48	0.31	0.31	0.24	0.23	0.24	0.13	0.24	0.25	0.32
GLG	0.45	0.38	0.32	0.36	0.47	0.31	0.32	0.24	0.22	0.27	0.13	0.06	0.22	0.33

Tabel 4-18 Gemiddelde afwijking van de definitieve modelberekening (stationair).

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetset MIPWA gebruikersgoep	-0.15	-0.06	-0.11	-0.09	-0.12	-0.04	-0.06	-0.12	0.00	-0.12	-0.02	-0.12	-0.12	-0.08
Meetset Dino	-0.12	-0.24	-0.23	-0.09	-0.06	-0.03	-0.08	-0.22	-0.02	-0.03	0.06	0.00	-0.25	-0.13
Totaal	-0.15	-0.13	-0.15	-0.09	-0.10	-0.04	-0.07	-0.14	-0.01	-0.11	-0.02	-0.12	-0.13	-0.10

Tabel 4-19 Gemiddelde absolute afwijking van de definitieve modelberekening (stationair).

Absoluut gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Meetsset MIPWA gebruikersgroep	0.33	0.27	0.29	0.30	0.41	0.35	0.30	0.30	0.24	0.30	0.32	0.41	0.20	0.31
Meetsset Dino	0.26	0.42	0.34	0.32	0.45	0.33	0.35	0.24	0.22	0.09	0.18	0.00	0.16	0.35
Totaal	0.33	0.33	0.31	0.31	0.42	0.35	0.31	0.29	0.24	0.26	0.31	0.41	0.19	0.32

Tabel 4-20 Gemiddelde afwijking tijdsafhankelijke berekening (definitieve model) t.o.v. GxG veenkartering

Gemiddelde afwijking	Modellaag													Totaal	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
GHG	-0.21	-0.26	-0.28	-0.30	-0.35	-0.16	-0.08								-0.25
GLG	-0.09	0.06	0.04	0.11	-0.09	0.10	0.31								0.02

4.4 Opzet grondwaterbalans

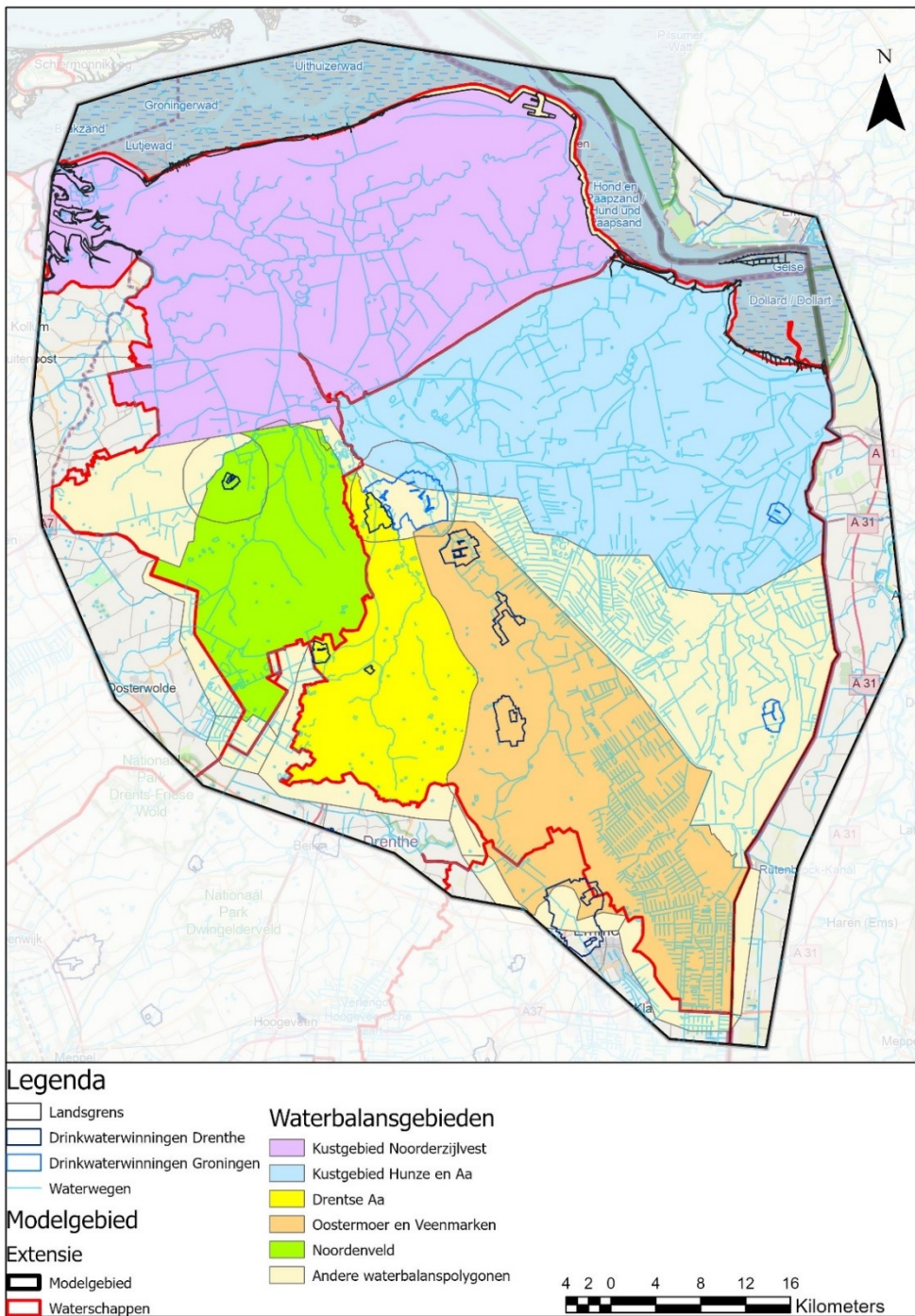
Grondwaterbalansen worden opgesteld op basis van de stationaire modellen. Dat wil zeggen dat dit een model is waar uiteindelijk een evenwichtssituatie is berekend op basis van een gemiddelde situatie. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld een gemiddelde grondwateraanvulling is gemodelleerd en gemiddelde peilen.

De balansen zijn opgesteld voor uiteindelijk een negental gebieden, te weten:

1. Volledige projectgebied³;
2. Beheergebied Waterschap Noorderzijlvest;
3. Beheergebied Waterschap Hunze en Aa's;
4. Kustgebied Waterschap Noorderzijlvest;
5. Kustgebied Hunze en Aa's;
6. Noordenveld en Zuidelijk Westerkwartier;
7. Drentse Aa-gebied;
8. Oostermoerse Vaart, Veenmarken en Zuidelijk deel Westerwolde, Veenkoloniën en Hunze;
9. Deelgebied met drinkwaterwinnings Onnen & Nietap

De waterbalansgebieden zijn weergegeven in Figuur 4-34.

³ Omvat beheergebieden van beide waterschappen

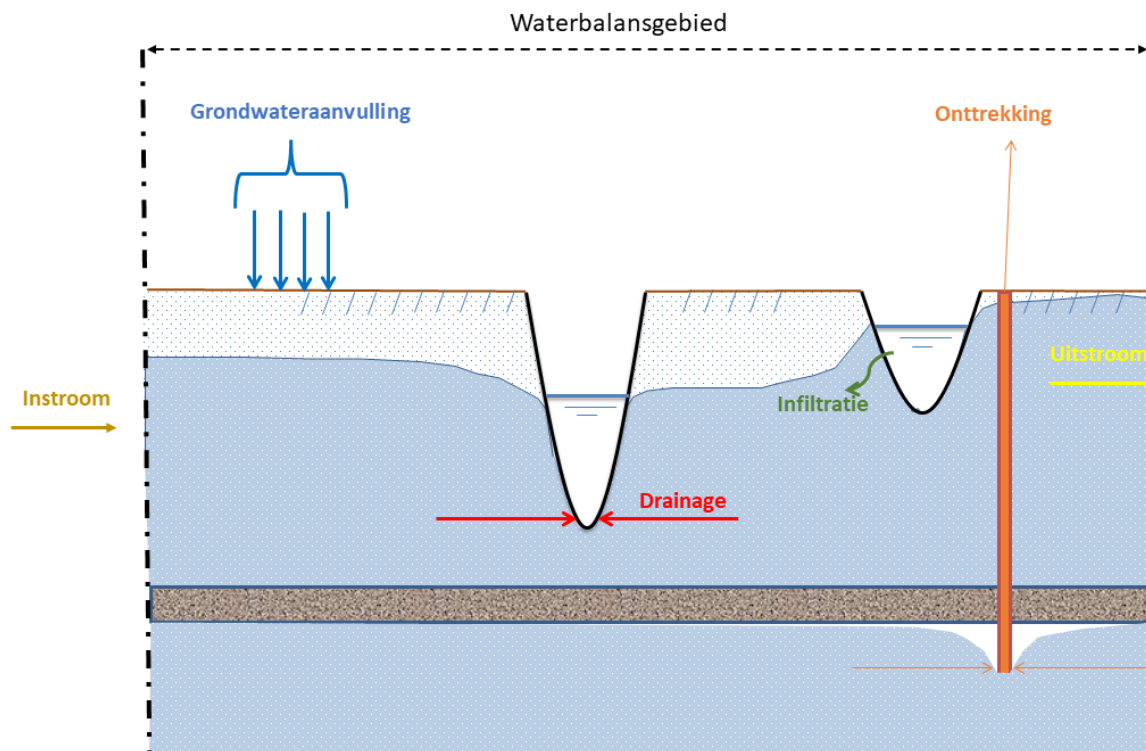


Figuur 4-34 Weergave van een aantal waterbalansgebieden

In de balansen komen de volgende termen terug:

- Instroom
- Uitstroom
- Grondwateraanvulling
- Onttrekkingshoeveelheden
- Drainage
- Infiltratie

Deze termen zijn schematisch weergegeven in Figuur 4-35.



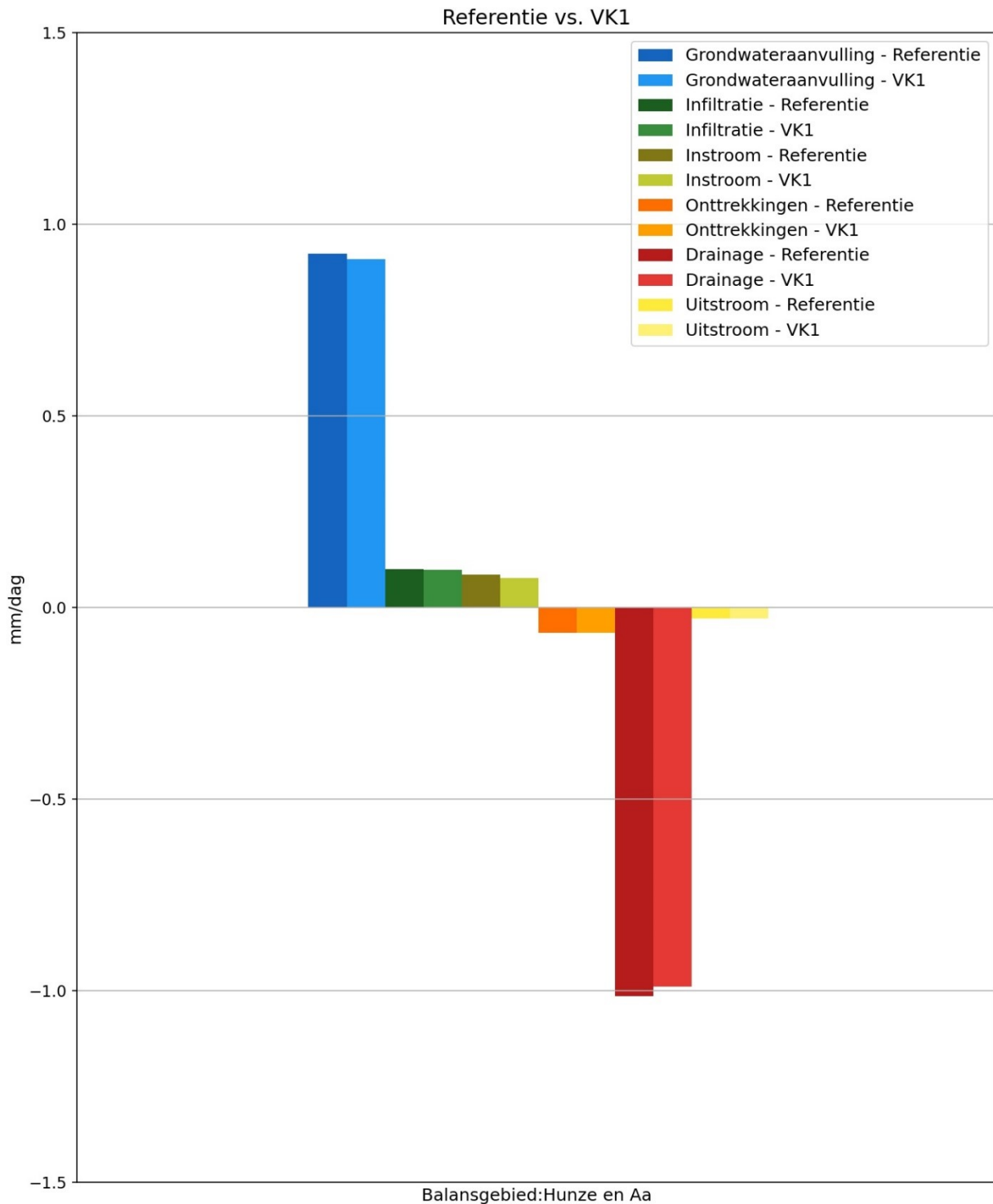
Figuur 4-35: Schematische weergave termen waterbalans

De grondwateraanvulling is de resultante van neerslag en actuele verdamping gesommeerd over het waterbalansgebied. De instroom en uitstroom is de hoeveelheid water die het waterbalansgebied respectievelijk in- of uitstroomt, ongeacht welke laag. Dit is gesommeerd over de gehele waterbalansgrens (dit is dus niet verrekend met elkaar). De onttrekkingsterm geeft de gesommeerde hoeveelheid water weer, die wordt onttrokken in het waterbalansgebied. De infiltratie en drainage geeft de gesommeerde hoeveelheid gedraineerd of geïnfilteerd water weer. De term drainage is samengesteld uit de drainage door verschillende drainerende middelen (watergangen, buisdrainage, maaiveld). Als voorbeeld zijn in Figuur 4-36 de waterbalansen weergegeven voor autonoom W_H (referentie) en verkennend scenario 1. De termen die zorgen voor een aanvulling van de grondwatervoorraad (grondwateraanvulling, infiltratie en instroom) zijn positief weergegeven. De termen die zorgen voor een afname van de grondwatervoorraad zijn negatief weergegeven (onttrekkingen, drainage en uitstroom)⁴.

De grondwateraanvulling is bepaald uit de tijdsafhankelijke berekeningen. Deze grondwateraanvulling is opgelegd aan een stationaire berekening. De stationaire berekening is vervolgens gebruikt voor de andere waterbalanstermen.

In theorie is het mogelijk dat meerdere termen in een scenario afnemen, bijvoorbeeld als de grondwateraanvulling afneemt door een landgebruiksverandering kan dit tot gevolg hebben dat ook drainage afneemt.

⁴ Deze komen niet exact overeen met de tabellen in 4.5.4 aangezien de referentie (=Autonoom W_H) niet gelijk is aan de huidige situatie



Figuur 4-36: Voorbeeld waterbalans

4.5 Doorrekening huidige situatie met waterkwantiteitsmodel

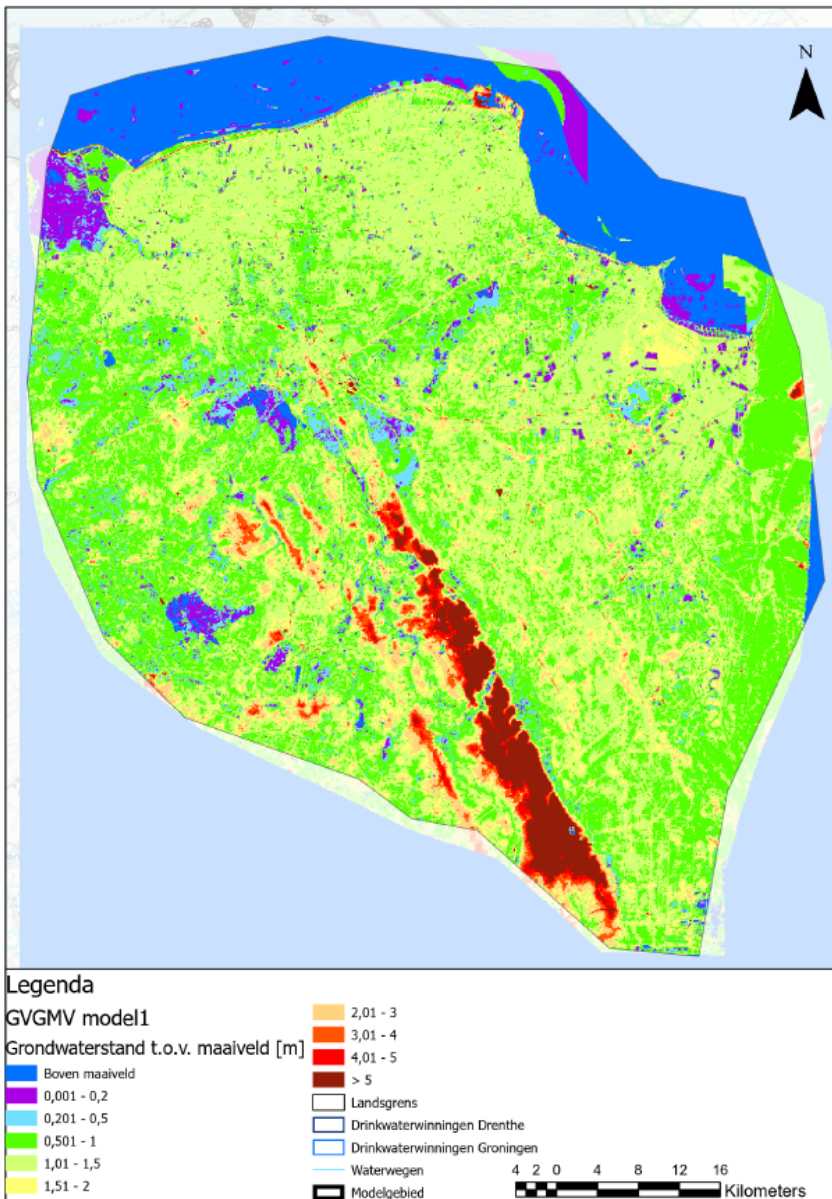
Als referentiesituatie is de huidige situatie doorgerekend voor de periode 2001 tot en met 2019. In de volgende subparagrafen worden de resultaten gepresenteerd en toegelicht. Achtereenvolgens de volgende variabelen worden gepresenteerd:

- Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG);
- Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG);
- Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG);
- Waterbalans.

De GHG, GVG en GLG zijn berekend over de periode 2012 t/m 2019. De periode 2001 t/m 2011 is steeds gebruikt als inspeelperiode voor het grondwatermodel.

4.5.1 Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand

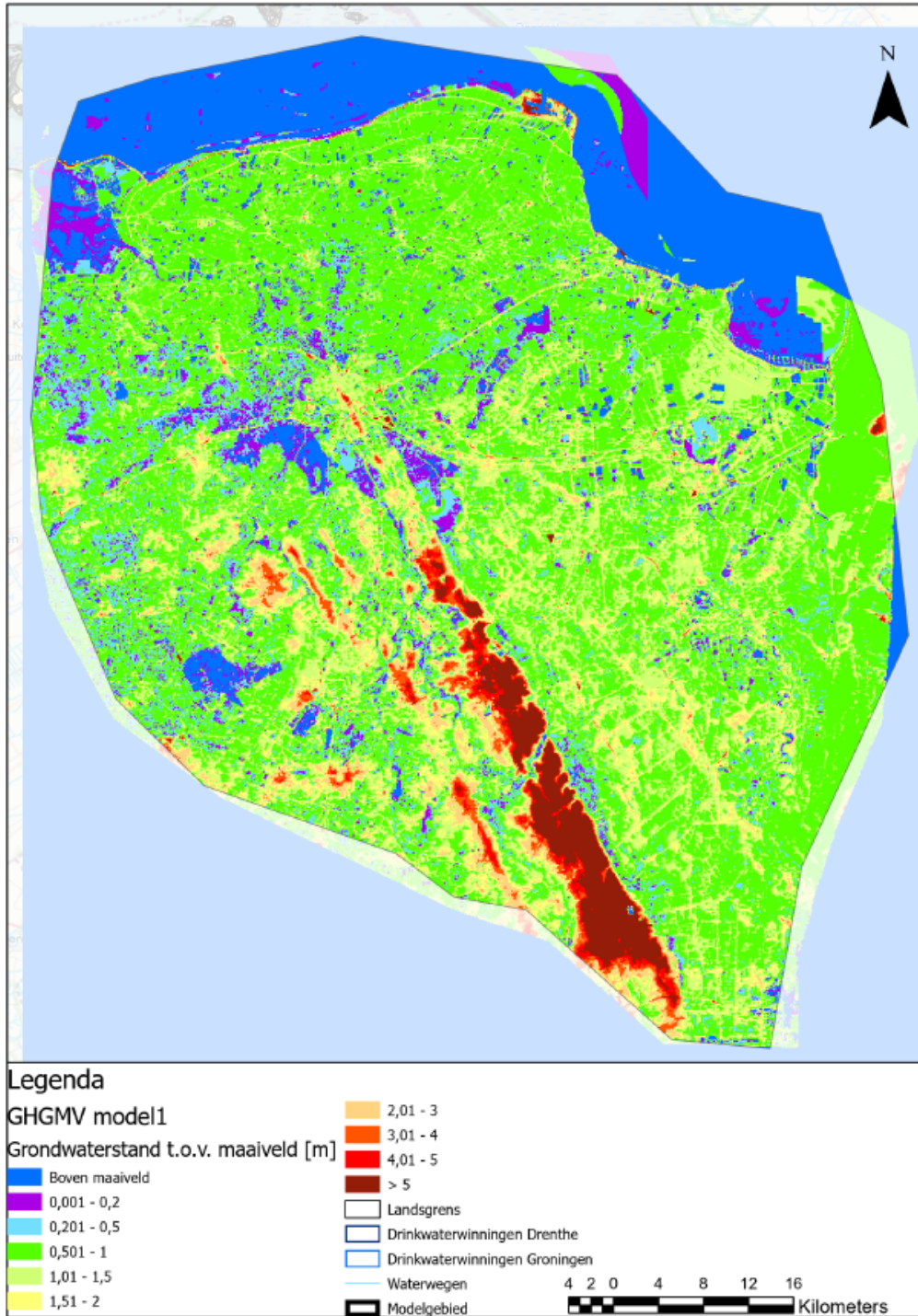
De berekende gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand is t.o.v. maaiveld weergegeven in Figuur 4-37.



Figuur 4-37: Berekende gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) t.o.v. maaiveld voor de periode 2012 - 2019.

4.5.2 Gemiddeld hoogste grondwaterstand

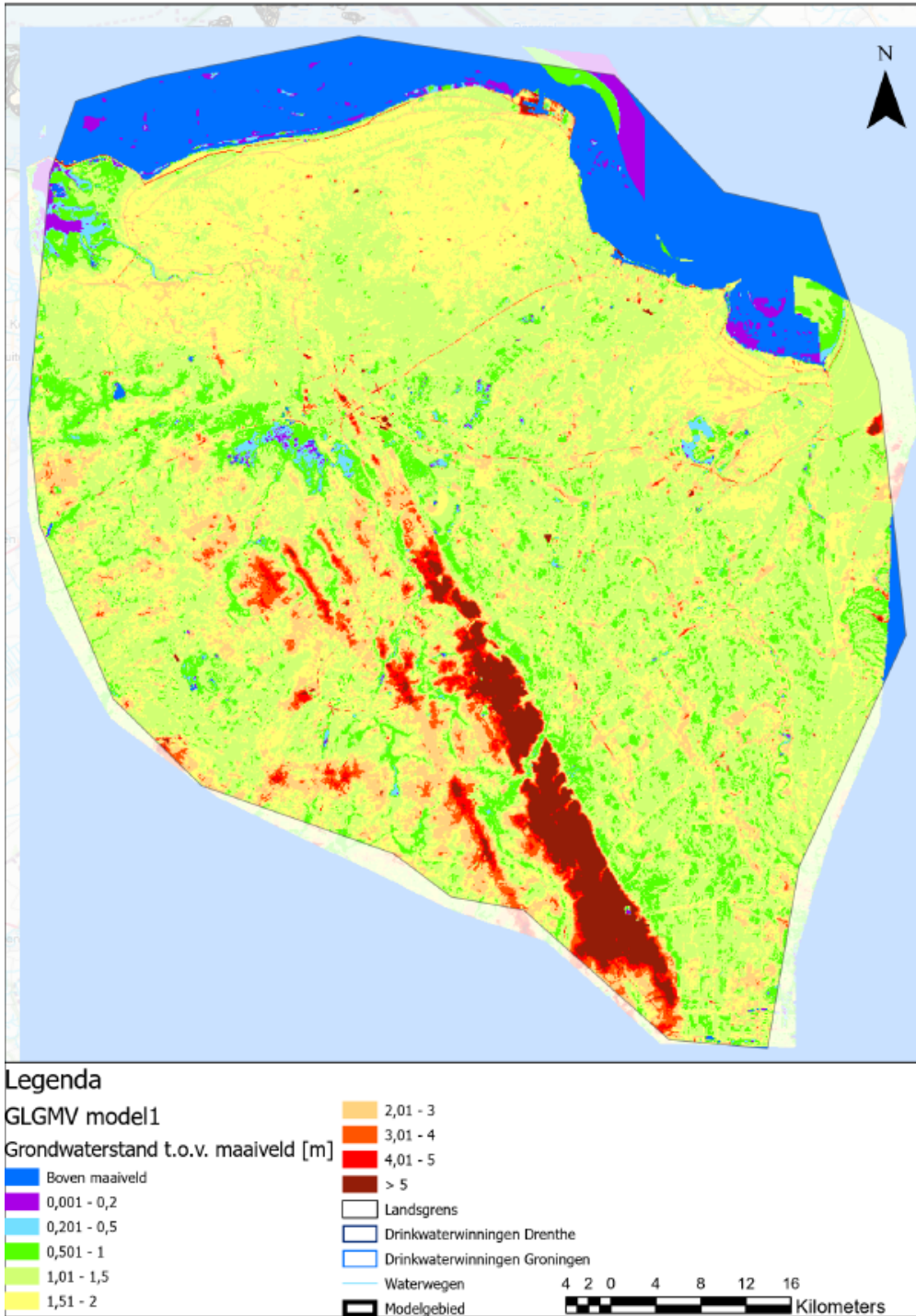
Figuur 4-38 toont de berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (GHG) zoals die doorgaans aan het eind van de winter wordt waargenomen.



Figuur 4-38 Berekende gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) t.o.v. maaiveld.

4.5.3 Gemiddeld laagste grondwaterstand

De berekende gemiddeld laagste grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (GLG) wordt weergegeven in Figuur 4-39.



Figuur 4-39: Berekende gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) t.o.v. maaiveld.

4.5.4 Grondwaterbalans

De resultaten van de grondwaterbalansen zijn per balansgebied gepresenteerd in tabellen 4-21 en 4-22. Tabel 4-21 geeft per gebied de balansposten weer in m³ per dag. Tabel 4-22 geeft per gebied de balansposten weer in mm per dag.

Tabel 4-21 Grondwaterbalansen per balansgebied (m³/dag)

Naam	Grondwateraanvulling	Instroom	Infiltratie	Onttrekkingen	Drainage	Uitstroom
modelgebied	2,9E+06	2,8E+05	2,3E+05	1,3E+05	3,1E+06	1,3E+05
Noorderzijvest	1,2E+06	1,7E+05	6,2E+04	3,1E+04	1,3E+06	1,2E+05
Hunze en Aa	1,7E+06	1,6E+05	1,7E+05	1,0E+05	1,9E+06	6,0E+04
Kustgebied NZV	8,5E+05	1,2E+05	5,3E+04	0,0E+00	9,7E+05	6,5E+04
Kustgebied HA	6,4E+05	7,9E+04	6,7E+04	2,4E+03	7,7E+05	1,9E+04
Noordenveld	2,4E+05	5,5E+04	4,1E+03	3,1E+04	2,1E+05	6,0E+04
Drentse Aa	2,2E+05	4,2E+04	1,7E+03	8,8E+03	2,0E+05	5,8E+04
Oostermoer en Veenmarken	5,4E+05	6,9E+04	3,9E+04	5,6E+04	5,6E+05	2,6E+04
Nietap	3,8E+04	3,2E+04	3,8E+03	3,1E+04	3,3E+04	1,0E+04
Onnen	5,5E+04	1,8E+04	1,9E+04	4,7E+04	2,9E+04	1,6E+04

Tabel 4-22 Grondwaterbalansen per balansgebied (mm/dag)

Naam	Grondwateraanvulling	Instroom	Infiltratie	Onttrekkingen	Drainage	Uitstroom
modelgebied	0,83	0,08	0,07	0,04	0,90	0,04
Noorderzijvest	0,85	0,12	0,04	0,02	0,91	0,09
Hunze en Aa	0,83	0,08	0,08	0,05	0,91	0,03
Kustgebied NZV	0,86	0,12	0,05	0,00	0,97	0,07
Kustgebied HA	0,81	0,10	0,08	0,00	0,97	0,02
Noordenveld	0,83	0,19	0,01	0,11	0,72	0,21
Drentse Aa	0,85	0,16	0,01	0,03	0,76	0,22
Oostermoer en Veenmarken	0,89	0,11	0,06	0,09	0,93	0,04
Nietap	0,78	0,64	0,08	0,62	0,66	0,20
Onnen	0,75	0,25	0,27	0,65	0,40	0,22

De grondwateraanvulling en drainage zijn in alle balansgebieden de overheersende termen in de waterbalans. In de gebieden rond de onttrekkingen Nietap en Onnen is ook de instroom van water over de randen van de balansgebieden een belangrijke term in de waterbalans.

5 Waterkwaliteitsmodel

5.1 Inleiding

Het waterkwaliteitsmodel heeft tot doel te bepalen hoe de huidige verdeling van zoet en zout grondwater in de ondergrond tot stand is gekomen en hoe deze verdeling zich in de toekomst zal ontwikkelen. De huidige verdeling van zoet en zout grondwater is met het model gereproduceerd door met het model de gehele periode van het Holoceen door te rekenen (Paleoberekeningen, zie hoofdstuk 6) en de voor het jaar 2015 berekende verdeling van zoet en zout grondwater te vergelijken met de verdeling gebaseerd op metingen van chlorideconcentraties in het grondwater (Oude Essink & Forzoni, 2017). De berekende toestand van de huidige situatie geeft startwaarden voor de berekeningen waarin de verandering van de chlorideverdeling in de toekomst wordt bepaald onder invloed van autonome ontwikkelingen en maatregelenscenario's.

Het is mogelijk de gemeten chlorideverdeling te gebruiken als startwaarden voor scenario's. Echter, het aantal meetpunten is beperkt, waardoor het 3D-beeld op basis van de metingen niet overal goed zal passen bij de berekende grondwaterstroming. Dit zal ervoor zorgen dat aan het begin van elke scenarioberekening flinke wijzigingen in de chlorideverdeling worden berekend, die niet zijn toe te schrijven aan de maatregelen of autonome ontwikkelingen, maar aan het vinden van het evenwicht op basis van de potentiaalverdeling in de ondergrond. Vanwege dit inspeleffect is ervoor gekozen om de autonome ontwikkelingen en scenario's te starten met de berekende chlorideverdeling in de ondergrond, het eindresultaat van de paleoberekeningen, ondanks dat de paleoberekening lokaal afwijkt van de meetresultaten.

De methode die is toegepast voor het berekenen van de dichtheidsstroming wordt de stroombanenmethode genoemd. De uitgangspunten van deze rekenmethode en de benodigde modelaanpassingen worden in onderstaande paragrafen toegelicht.

5.2 Stroombanenmethode op hoofdlijnen

De stroombanenmethode is meer dan 10 jaar geleden ontwikkeld voor een studie in de Kop van Schouwen (Royal HaskoningDHV, 2014). De methodiek maakt gebruik van een grondwaterstromingsprogramma (FlairsVD of MODFLOW met de Variable Density Flow package zoals in SEAWAT geïmplementeerd) en een stroombanen-programma (TraceVD of MODPATH) die beide kunnen rekenen met een vaste opgegeven variabele dichtheid. MODFLOW6 heeft een transportmodule ingebouwd, zodat het rekenen met variabele dichtheid ook volledig met MODFLOW6 mogelijk is.

Voor deze studie is uiteindelijk gekozen voor het toepassen van de programma's MODFLOW6 en MODPATH. MODFLOW6 berekent de grondwaterstromingstoestand, rekeninghoudend met een variabele dichtheid. Daartoe rekent een stoftransportmodel met een vast variabel chloridegehalte. MODPATH berekent de stroombanen.

5.3 Nadere toelichting stroombanenmethode

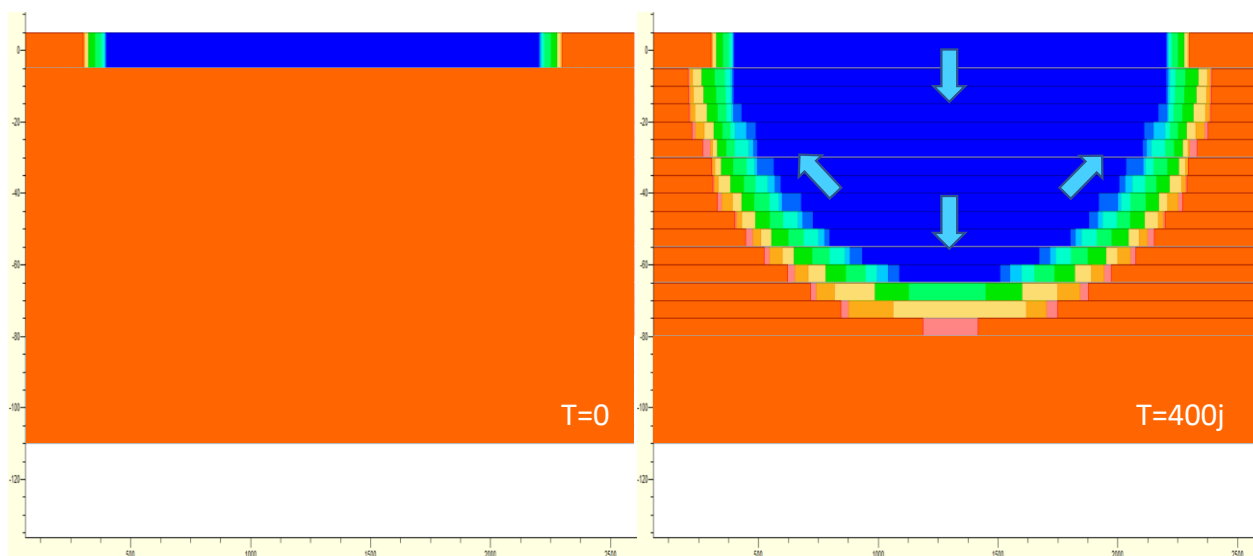
Uitgangspunt is een grondwatermodelberekening met een aangenomen dichtheidsverdeling voor alle modelknopen en modellagen. Met stroombaanberekeningen wordt berekend hoe de dichtheid onder invloed van de grondwaterstroming zich verplaatst. Voor elke modellaag worden daartoe uit een groot aantal startpunten stroombanen gestart en de verplaatsingen ervan doorgerekend voor een bepaalde periode. Aangenomen wordt dat de dichtheid in het startpunt van een stroombaan aan het eind van de rekenperiode in het eindpunt van de stroombaan aanwezig zal zijn. Hiermee wordt dus conservatief transport gesimuleerd.

De dichtheid ter plaatse van de startpunten wordt vervolgens overgenomen op de eindpunten, waardoor een nieuwe dichtheidsverdeling ontstaat. Deze nieuwe dichtheidsverdeling ligt echter niet vast op de modelknopen maar op de eindpunten van de stroombanen. Het 3D-beeld van de dichtheid wordt zowel verticaal als horizontaal terug geïnterpoleerd naar de modelknopen, waarna een nieuwe grondwaterstromingberekening volgt. Het interpoleren gebeurt eerst verticaal en vervolgens per laag horizontaal, met kriging-interpolatie (zonder nuggetvariantie, zodat de interpolator exact is).

De stroombaanmethode modelleert alleen het advectief transport van het zoute water expliciet, dit is de stroming volgens de gemiddelde snelheid van het grondwater. Dispersie (door verschillen in snelheid binnen het korrelskelet of tussen sublagen binnen een pakket) en diffusie worden niet expliciet meegenomen. De resultaten laten wel een mengzone zien, maar deze is het gevolg van numerieke dispersie.

De transversale dispersie is over het algemeen gering en het is verdedigbaar deze te verwaarlozen in een grootschalige studie als deze. Door het mogelijk onderschatten van de longitudinale dispersie zal het zijn dat in de richting van de zoute stroming het front in het model te scherp is en dat zout water dus eerder een bepaalde locatie kan bereiken. Bij het interpreteren van de resultaten dient hier rekening mee gehouden te worden. Daarbij moet worden opgemerkt dat bij het rekenen met een dispersiecoëfficiënt ook onzekerheden ontstaan, omdat de grootte van deze coëfficiënt zeer lastig te ijken is.

Daar waar stroombanen met verschillende dichtheid bij elkaar komen zal door de ruimtelijke discretisatie en het interpoleren menging ontstaan van het water met verschillende dichtheden. In het theoretische geval van een rond eiland met zoete neerslag in een zout grondwatersysteem ontstaat na enkele honderden jaren de toestand met de zoete bel zoals weergegeven in Figuur 5-1. Door het interpolatie-effect ontstaat tussen de zoete bel en het zoute grondwater eromheen een mengzone met brak water.



Figuur 5-1: Resultaat stroombaanberekening voor de berekening van een zoetwaterbel onder een rond eiland.

In de stroombaanberekeningen wordt geen rekening gehouden met seizoensfluctuaties. Er wordt steeds gerekend met stationaire situaties, die representatief zijn voor bepaalde tijdvakken. Er is daarom in werkelijkheid meer variatie in de advectieve stroming, dan waarmee in het model wordt berekend. Dit is echter geen beperking van de stroombaanmethodiek, maar het gevolg van de keuze om geen onderscheid te maken in seizoensfluctuatie.

De berekeningen zijn zeer robuust en worden alleen instabiel als de stroombanen in een tijdstap te lang worden ten opzichte van de horizontale en verticale discretisatie. Door de relatief hoge weerstanden van de kleilagen zijn tijdstappen van 5 tot 10 jaar mogelijk.

5.4 Startpuntengrid

Het is niet noodzakelijk voor de stroombanen de modelknopen als startpunten te kiezen. Voor de grondwaterstromingsberekeningen wordt een grid gebruikt met celgrootte van 200 meter. Voor de paleo-berekening over de periode van het Holoceen is een grover grid met startpunten voor de stroombanen gebruikt om de rekentijd beheersbaar te houden. Hier is een grid met startpunten met een knooppuntsafstand van 800 meter toegepast.

5.5 Aanpassingen model

5.5.1 Lagenmodel

Het lagenmodel is aangepast ten behoeve van het berekenen van de chlorideverdeling in de ondergrond binnen pakketten. Hiertoe zijn de pakketten opgesplitst indien deze zeer dik zijn. Als stelregel is een maximale dikte gehanteerd van 35 meter. Hierbij is vooral gelet op de dikte in het noordelijke deel van het modelgebied aangezien daar zoutindringing plaatsvindt. Als randvoorwaarde is gehanteerd dat het aantal lagen in totaal niet meer dan 20 mag worden in verband met het beperken van de rekentijd.

De dikkere pakketten zijn vooral dieper gelegen. Deze pakketten zijn opgesplitst binnen de randvoorwaarde van 20 lagen. Uiteindelijk is de opsplitsing doorgevoerd zoals weergegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Opsplitsing modellagen

Modellaag	Naam	Opgesplitst in hoeveel lagen
7	Peelo	2
8	Peelo & Urk	2
9	Urk & appelscha & Peize	2
10	Peize & Waalre	2
11	Peize & Waalre & Maassluis	2
12	Maassluis	Niet opgesplitst
13	Oosterhout	3

5.5.2 Topsysteem

Het topsysteem van het kwaliteitsmodel is gelijk aan het topsysteem van het kwantiteitsmodel, waarbij de peilen en de conductances zijn opgeschaald naar cellen van 200*200 meter in plaats van naar cellen van 100*100 meter.

6 Paleoberekeningen

6.1 Inleiding

Het is van belang inzicht te krijgen in de historische ontwikkeling van de zoet-zoutverdeling in het onderzoeksgebied. De gedachte hierachter is dat de sleutel tot de toekomst in het verleden ligt. Het is nodig om goed te begrijpen in hoeverre landschappelijke ontwikkelingen en vroegere menselijke ingrepen in het watersysteem van invloed zijn (geweest) op de huidige zoet-zoutverdeling. Daarnaast gaan de veranderingen in de ondergrond dusdanig langzaam dat het systeem nog steeds niet in evenwicht is (en zeer waarschijnlijk ook nooit in evenwicht zal geraken). Bovendien biedt de historische doorrekening een kans om de gemodelleerde processen te valideren ten opzichte van het momentane zoutbeeld in de ondergrond. Om een juiste beginsituatie te krijgen voor de scenarioberekeningen zijn daarom met het kwaliteitsmodel (zie hoofdstuk 5) alle relevante paleogeografische ontwikkelingen vanaf het begin van het Holoceen (5500 BC) tot aan nu (2020 AD) doorgerekend.

De paleoberekening bestaat uit een historische doorrekening voor verschillende tijdvakken ('paleovakken') waarvoor de grondwaterstanden en het zouttransport wordt doorgerekend op basis van de relevante ontwikkelingen in dat tijdvak. In Tabel 6-1 zijn de paleovakken weergegeven. De paleovakken zijn zo gekozen dat ze goed passen bij de beschikbare gegevens op basis waarvan onderscheid in ontwikkelingen gemaakt kan worden, dit betreft met name de ontwikkeling van het landschap welke is beschreven in paleografische kaarten.

Tabel 6-1 Paleovakken en selectie van invulling

Paleo vak	Tijdvak	Subtijd vakken	Zeespiegel	Grondwater aanvulling	Maaiveldgroei	Peil	Onttrekking	Bodemdaling
1	5500 BC – 4675 BC	10	-10.62	1.5	ja	Vrij	nee	nee
2	4675 BC – 3300 BC	10	-7.60	1.5	ja	Vrij	nee	nee
3	3300 BC – 2125 BC	10	-4.15	0.5	ja	Vrij	nee	nee
4	2125 BC – 1000 BC	5	-2.45	0.5	ja	Vrij	nee	nee
5	1000 BC – 0	1	-1.33	0.5	ja	Vrij	nee	nee
6	0 – 800 AD	1	-0.96	1	ja	Vrij	nee	nee
7	800 AD – 1100 AD	1	-0.23	1	ja	Vrij	nee	nee
8	1100 AD – 1500 AD	1	-0.10	1	ja*	Vrij	nee	nee
9	1500 AD – 1700 AD	1	0	1	ja*	Vrij	nee	nee
10	1700 AD – 1800 AD	1	0	1	ja*	Beheerst	nee	nee
11	1800 AD – 1900 AD	1	-0.27	1	nee	Beheerst	nee	nee
12a	1900 AD – 1920 AD	1	-0.18	1	nee	Beheerst	Ja	nee
12b	1920 AD – 1930 AD	1	-0.14	1	nee	Beheerst	Ja	nee
13a	1930 AD – 1940 AD	1	-0.13	1	nee	Beheerst	Ja	nee
13b	1940 AD – 1970 AD	1	-0.11	1	nee	Beheerst	Ja	Ja
14	1970 AD – 2020 AD	1	-0.05	1	nee	Beheerst	Ja	Ja

6.2 Uitgangspunten

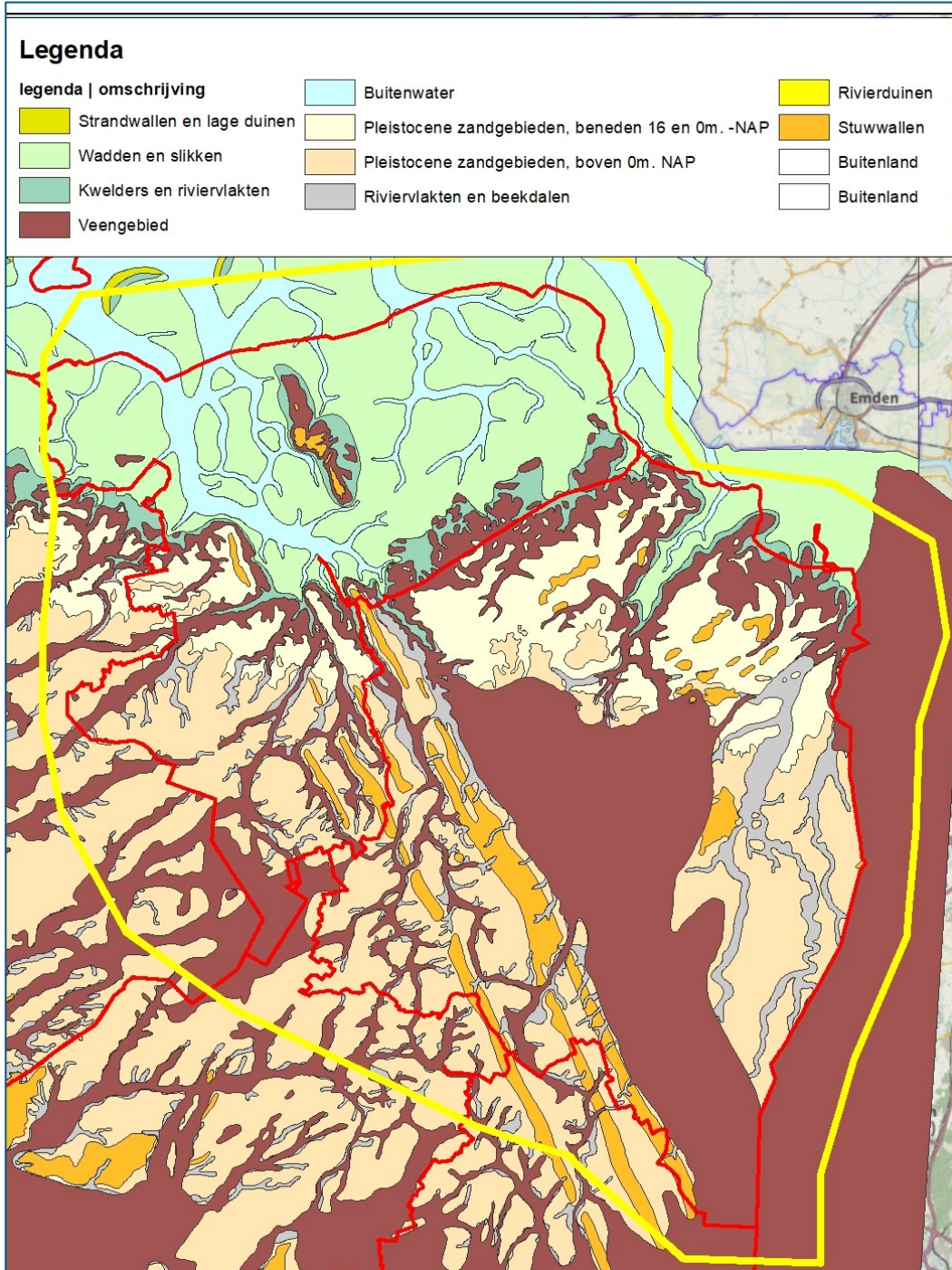
6.2.1 Paleografische kaarten

De paleografische ontwikkelingen zijn gemodelleerd aan de hand van de beschikbare paleografische kaarten (Vos, P., M. van der Meulen, H. Weerts en J. Bazelmans, 2018). De paleografische kaarten geven voor bepaalde momenten in de historie de ligging van verschillende typen landschappen weer, bijvoorbeeld de kustlijn, veengebieden en kwelders. In Tabel 6-2 zijn de gebruikte paleografische kaarten per tijdvak weergegeven.

Tabel 6-2 Gebruikte paleografische kaarten

Paleografische kaart	Paleovak	Tijdvak
5500 v Chr	1	5500 – 4675
3850 v Chr	2	4675 – 3300
2750 v Chr	3	3300 – 2125
1500 v Chr	4	2125 - 1000
500 v Chr	5	1000 – 0
100 n Chr	6	0 – 800
800 n Chr	7	800 – 1100
1250 n Chr	8	1100 – 1500
1500 n Chr	9	1500 – 1700
1850 n Chr	10 tot 12	1700 - 1930
2000 n Chr	13 & 14	1930 - 2020

In Figuur 6-1 is een voorbeeld weergegeven van de paleografische kaart van 2750VC.



Figuur 6-1 Paleografische kaart van 2750 VC

De landschapstypes zijn vertaald naar vier categorieën, te weten:

- Water
- Zand
- Veen
- Klei

Voor de types veen en klei is een groei van dikte per paleovak opgenomen. Voor veen is dit gedaan op basis van de wetenschap dat grote diktes veen voorkwamen in het projectgebied. De groei van veen is geschematiseerd als zijnde 15 cm/eeuw o.b.v. dit genoemde kental in de studie van M.A.W. Gerding (1995). De groei van de kleidikte is opgenomen o.b.v. het aanslibben vanuit zee. De aanslibbing is gemodelleerd afhankelijk van de afstand tot de kustlijn. Hoe dichterbij de kustlijn, hoe meer aanslibbing plaatsvindt tot een maximum van 75 cm per paleovak. In de latere tijdvakken wordt deze groei niet meer toegepast als sprake is van vervening of bedijking.

Met behulp van deze gemodelleerde diktes is ook de weerstand en transmissiviteit van de deklaag in het Holoceen opgebouwd. Per categorie is ook een drainageweerstand en diepte aangenomen weergegeven in Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Aangenomen parameters per categorie

Landschapstype	Drainagediepte [m]	Drainageweerstand [dagen]	Doorlatendheid [m/dag]	Weerstand [dag/m]
Water	n.v.t.	1	n.v.t.	n.v.t.
Zand	0.25	50	5	0.2
Veen	0.25	200	0.01	100
Klei	0.5	100	0.005	200

De drainagedieptes zijn afgetrokken van het maaiveldniveau in het paleotijdvak om tot een drainageniveau te komen. Lokaal is gecorrigeerd voor dit drainageniveau als dit logischerwijs niet mogelijk is, bijvoorbeeld doordat het zeepeil in dit paleovak hoger is dan het drainageniveau.

6.2.2 Zeespiegel

De zeespiegelverandering in de tijd is overgenomen van Meijles (2018). In deze publicatie is specifiek voor Noord-Nederland de zeespiegelstand over de tijd onderzocht en gerapporteerd. In Figuur 6-2 is de zeespiegelverandering over de tijd weergegeven voor Noord-Nederland. Hieruit blijkt dat de zeespiegel 7,5 duizend jaar geleden ruim 10 meter lager lag dan huidig en tot 6 duizend jaar geleden snel steeg. Daarna nam de zeespiegelstijging qua snelheid wat af. In de publicatie wordt onderkend dat de gepresenteerde zeespiegel in het tijdvak 2500 tot 1000 jaar voor huidig waarschijnlijk te hoog wordt gepresenteerd (zie rode pijltjes in figuur die naar beneden wijzen). Het figuur is uitgelezen en vertaald naar de waarden te vinden in Tabel 6-1, waarbij is gecorrigeerd voor de rode pijltjes.

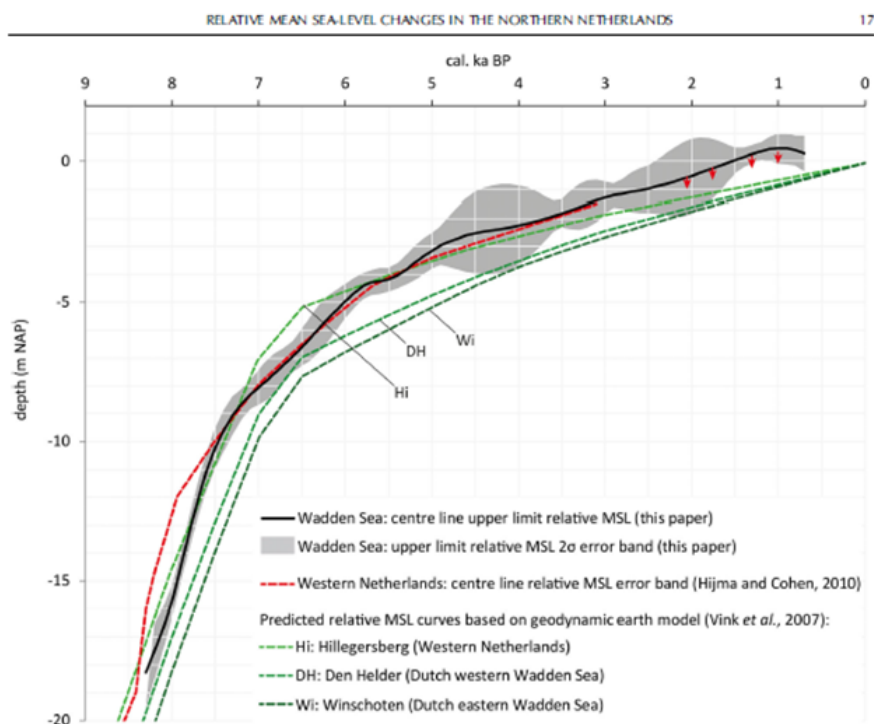


Figure 12. Reconstructed Wadden Sea curve from this study compared to the GIA model predictions of Vink *et al.* (2007).

Figuur 6-2 Zeespiegelverandering t.o.v. NAP (Meijles, 2018)

In de laatste 1000 jaar is geen informatie beschikbaar over de zeespiegelstand vanuit deze publicatie. Van andere bronnen is gebruik gemaakt om het verloop in de laatste duizend jaar te schematiseren (www.waddenzee.nl, bezocht op 30 september 2021).

Deze twee bronnen gezamenlijk hebben geleid tot de gemodelleerde zeespiegel zoals weergegeven in Tabel 6-1.

6.2.3 Grondwateraanvulling

Betrouwbare informatie over de grondwateraanvulling in de verschillende paleovakken ontbreekt. Daarom zijn (grove) aannames gedaan op basis van het klimaat gedurende het Holocene tijdvak. In Tabel 6-4 is het klimaat in verschillende periodes in het Holoceen beschreven en de aangenomen grondwateraanvulling. De vertaalslag naar de paleovakken is weergegeven in Tabel 6-1.

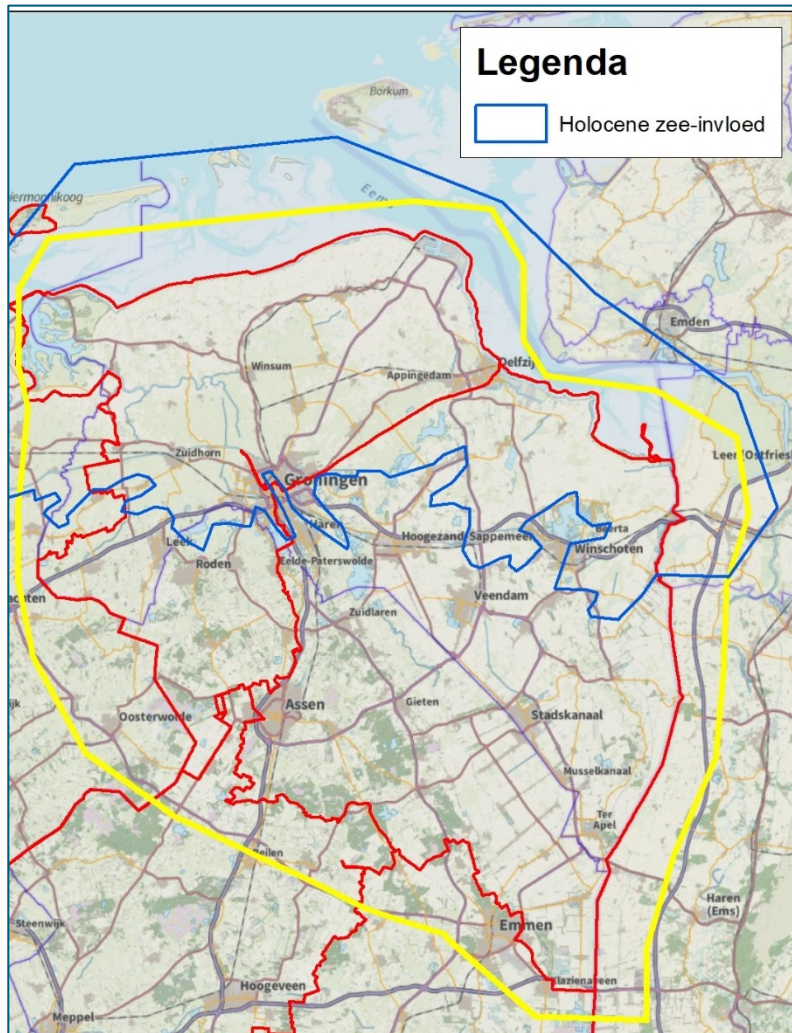
Tabel 6-4 Schematisatie grondwateraanvulling

Holocene Chronozone	Tijd (BP)	Omschrijving	Grondwateraanvulling
Preboreaal	11560 - 10640	Koud en droog	n.v.t
Boreaal	10640 - 9220	Minder koud. maar nog wel kouder dan nu. weinig neerslag	n.v.t
Atlanticum	9220 - 5660	Warmer dan nu. nat	1.5 x huidig
Subboreaal	5660 - 2400	Koeler (wel warmer dan nu) en droger	0.5 x huidig
Subatlanticum	2400 – 0	Gemiddeld vergelijkbaar met nu	Huidig

6.2.4 Zee-invloed; Doorbraak Dollard

In de eerdere paleovakken is terug te zien dat het veen wijdverspreid is en ook ver naar het noorden toe aanwezig. In de opvolgende paleovakken tot 1500 AD is te zien dat het veen in het noorden niet meer wordt weergegeven. Rond 1500 vindt bovendien de doorbraak van de Dollard plaats, een grote zeearm vormt zich en deze reikt een groot stuk landinwaarts. Een aantal bronnen geeft weer dat de Dollard is gevormd gedurende verschillende zeevloed, die in periode 1400 tot 1600 hebben plaatsgevonden. Eén van deze zeevloed is bijvoorbeeld de Cosmas- en Damianusvloed van 1509 (<https://www.kunstbusgroningen.nl/cosmas-en-damianusvloed.html>, bezocht in december 2021). Gedurende deze periode zijn stukken veen door de getijde- en stormvloed losgeslagen en door de zee opgeslokt.

In de modellering is met bovenstaande invloed van de zee rekening gehouden door in het paleovak 9 (1500 - 1700NC) daar waar zee-invloed heeft plaatsgevonden over te gaan naar het huidige bekende opbouw van de Holocene deklaag qua maaiveldniveau, doorlatendheden en weerstanden zoals gekalibreerd. De ruimtelijke zee-invloed is afgeleid uit de aanwezigheid van sedimenten van de formatie van Naaldwijk in het gebied en is weergegeven in Figuur 6-3.

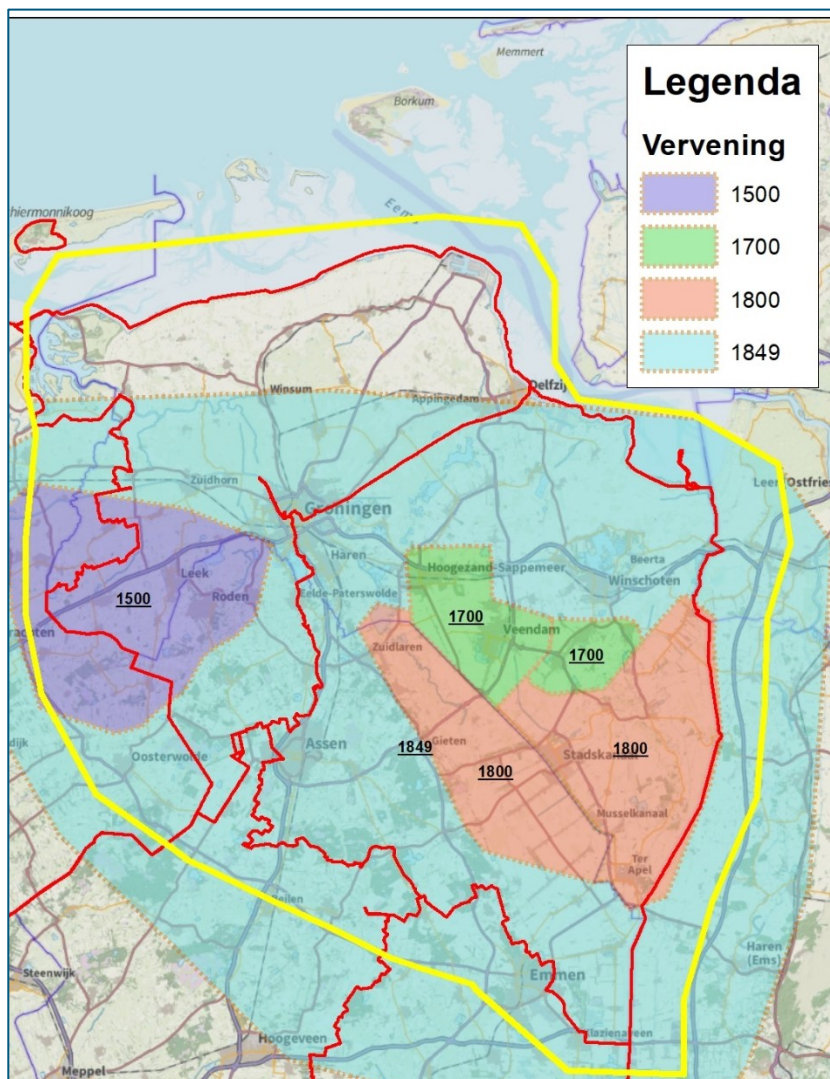


Figuur 6-3 Maximale holocene zee-Invloed

6.2.5 Vervening

Vanaf de 17^e eeuw begon op grote schaal de vervening in Noord-Nederland. Door middel van de vervening werd turf verkregen die gebruikt werd als brandstof voor de opkomende industrie en als huisbrandstof voor verwarming. In het projectgebied vond de vervening eerst plaats rondom de stad Groningen. Toen in de omgeving de winbare hoeveelheid turf terugliep verplaatste de vervening zich ook naar Drenthe waar grote diktes aan veen nog aanwezig waren. De vervening in Drenthe vond op grote schaal plaats tussen 1850 en 1950.

Op basis van de rapportage van Gerding (1995) is een ruimtelijke kaart gemaakt van de vervening. Deze is weergegeven in Figuur 6-4. Indien voor het betreffende vlak geldt dat die in een bepaald paleovak valt, dan is voor dat vlak aangenomen dat het veen is gewonnen en het maaiveld zoals we dat nu kennen is overgebleven (gecorrigeerd voor bodemdaling). De weerstanden en doorlatendheden zijn ook overgenomen van het referentiemodel.



Figuur 6-4 Tijdstip van vervening

6.2.6 Menselijke controle over het peilbeheer

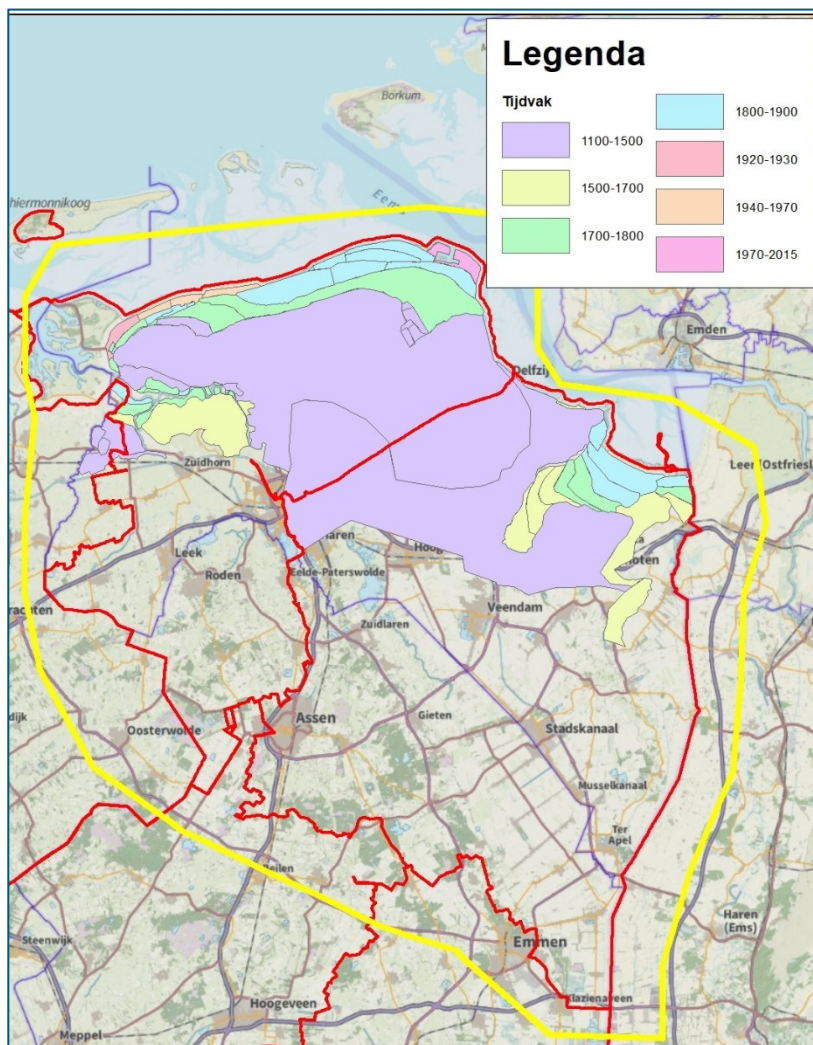
Gedurende de laatste honderden jaren is de menselijke invloed op het watersysteem steeds signifikanter geworden. In eerste instantie door bedijking, de vervening en graven van kanalen o.m. voor de ontwatering van de veengebieden en het ontstaan van zijlvesten, de voorlopers van de waterschappen. Met behulp van sluisen, dijkes en andere kunstwerken werd het eerste peilbeheer gevoerd om de zee buiten te houden en het land droog. Aan het einde van de 18^{de} eeuw komen ook de eerste vermeldingen van watermolens waarmee 'actief' peilbeheer wordt gevoerd (<https://historie-bellingwedde.realsite.nl/algemeen/waterbeheer/waterschappen>, bezocht op 23 december 2021). Gaandeweg de 19^{de} eeuw nam de hoeveelheid van dit soort kunstwerken toe en werden de instituties ook groter van opzet. Halverwege deze eeuw werd in de Grondwet vastgelegd dat de Provinciale Staten voortaan het wetgevende gezag met betrekking tot de Waterschappen vormden. Vervolgens werden de zijlvesten vervangen door Waterschappen, bijvoorbeeld waterschappen Reiderland en Westerwolde.

De menselijke invloed op het waterbeheer is in verschillende stappen in het model verwerkt. Zo is onder meer aangenomen dat daar waar vervening heeft plaatsgevonden of land is ingedijkt, dat daar het

drainageniveau is verlaagd tot 70 cm onder maaiveld (in cultuur brengen land). In Figuur 6-5 is een kaart weergegeven van het moment van bedijken. Daarnaast is vanaf 1700 aangenomen dat er tot een halve meter onder het gemiddelde zeepeil kan worden afgewaterd a.g.v. kunstwerken als molens en pompen. Vanaf 1800 NC is aangenomen dat de drooglegging toeneemt a.g.v. het in cultuur brengen van het land. Vanaf 1900 NC is op basis van de categorie afgeleid uit de paleografische kaart een ontwateringsdiepte opgelegd, die vanaf 1930 NC verder toeneemt om de sterkere invloed van de mens op het waterbeheer te modelleren. In het laatste tijdvak is de ontwatering zoals in het referentiemodel opgenomen. In Tabel 6-5 is per tijdvak weergegeven hoe de menselijke invloed is opgenomen.

Tabel 6-5 ontwateringsdiepte (in m onder maaiveld) per tijdvak in de Paleoberekening

Paleovak	Tijdvak	Bedijkt	Verveend	Klei	Veen	Zand
8	1100 AD – 1500 AD	0,70	0,70	0,50	0,25	0,25
9	1500 AD – 1700 AD	0,70	0,70	0,50	0,25	0,25
10	1700 AD – 1800 AD	0,70	0,70	0,50	0,25	0,25
11	1800 AD – 1900 AD	0,70	0,70	0,70	0,40	0,40
12a	1900 AD – 1920 AD	n.v.t.	n.v.t.	0,70	0,40	0,40
12b	1920 AD – 1930 AD	n.v.t.	n.v.t.	0,70	0,40	0,40
13a	1930 AD – 1940 AD	n.v.t.	n.v.t.	0,80	0,60	0,60
13b	1940 AD – 1970 AD	n.v.t.	n.v.t.	0,80	0,60	0,60
14	1970 AD – 2020 AD	Referentiemodel				



Figuur 6-5 Bedijkingen ingedeeld naar tijdvak

6.2.7 Onttrekkingen

De drinkwatervoorziening in het projectgebied kwam op gang gedurende het einde van de 19^e eeuw en werd fors doorontwikkeld in het begin van de 20^{ste} eeuw met de oprichting van de waterbedrijven Groningen (1918⁵) en Drenthe (1937⁶). Eind 19^e en begin 20^{ste} eeuw werden de grotere steden in de regio voorzien van drinkwater, waarna kleinere dorpen en het platteland volgden in de periode 1930-1960.

In de modellering is aangenomen dat in het paleovak 1940-1970 de onttrekkingshoeveelheid de helft is van die in het referentiemodel. In het opvolgende paleovak is de huidige, gemodelleerde, onttrekkingshoeveelheid opgenomen.

6.2.8 Bodemdaling

In het projectgebied is in sprake van bodemdaling die het gevolg is van de volgende drie oorzaken:

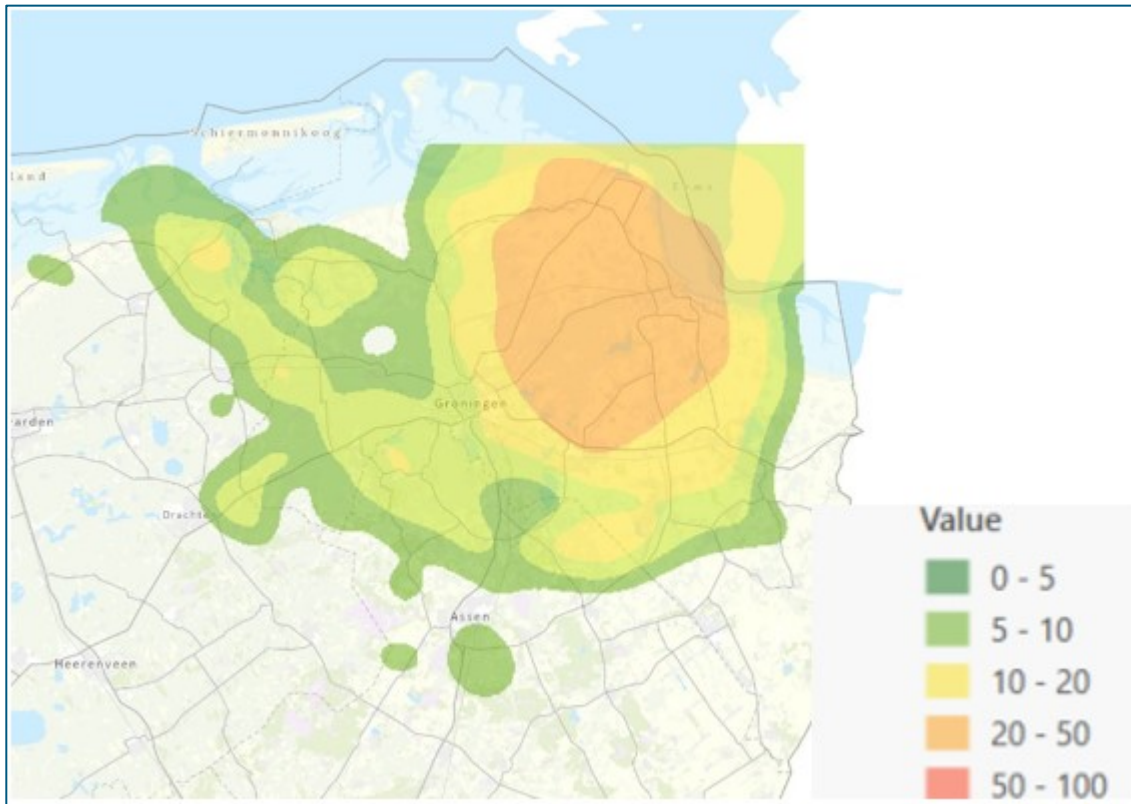
- Gaswinning

⁵ <https://waterbedrijfgroningen.nl/over-ons/wat-we-doen/>

⁶ <https://wmd.nl/wmd/over-wmd/onze-geschiedenis/>

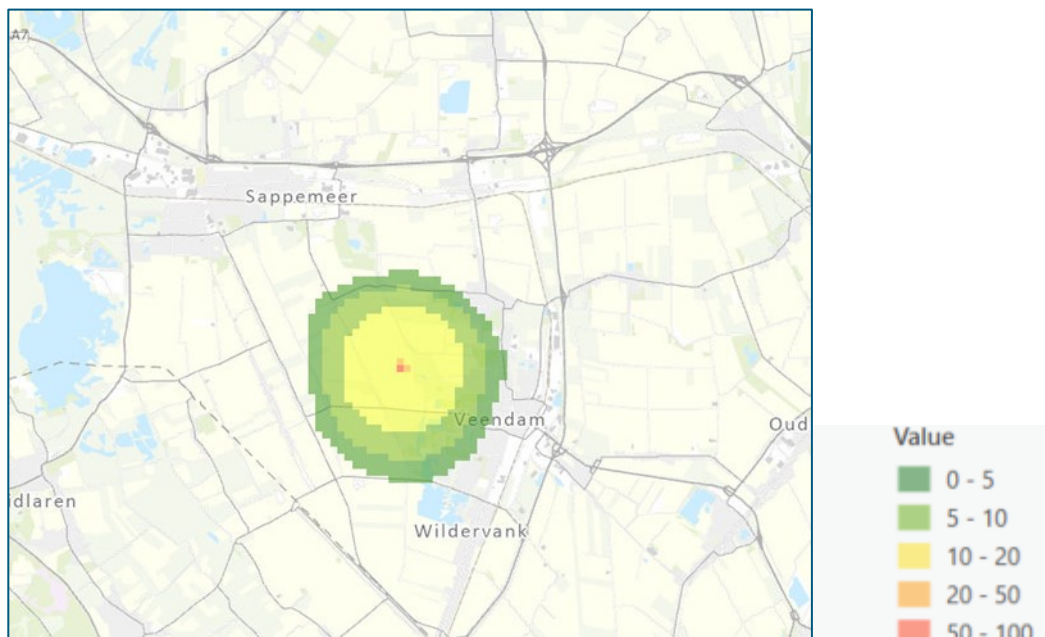
- Zoutwinning
- Veenoxidatie

Gaswinning vindt plaats in de omgeving van Slochteren sinds de ontdekking van het Groninger gasveld in 1959. Kaarten met bodemdaling als gevolg van de gaswinning zijn beschikbaar vanuit de NAM en gerapporteerd (NAM, december 2020). In Figuur 6-6 is de kaart met bodemdaling door de NAM weergegeven.



Figuur 6-6 Bodemdaling als gevolg van aardgaswinning door de NAM in de periode 1972 – 2018

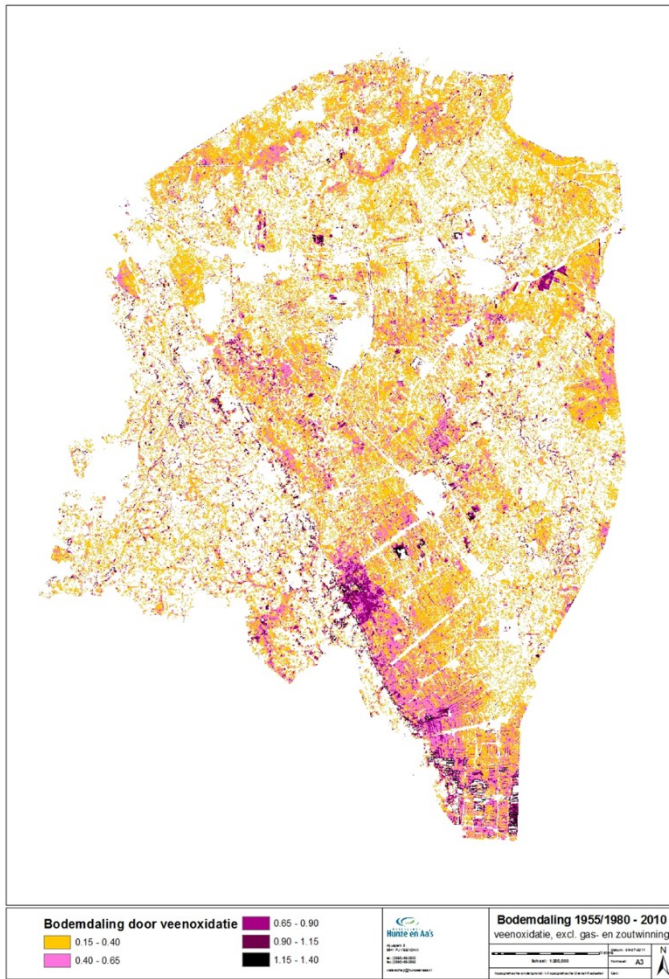
Zoutwinning vindt sinds 1972 plaats door Nedmag in de omgeving van Veendam. Vanuit Nedmag zijn er kaarten beschikbaar met de bodemdaling a.g.v. de zoutwinning over de periode 1993-2020. De totale maximale bodemdaling gerapporteerd door Nedmag bedraagt iets minder dan 60 cm. De ruimtelijke verspreiding van de bodemdaling door de zoutwinning door Nedmag is weergegeven in Figuur 6-7.



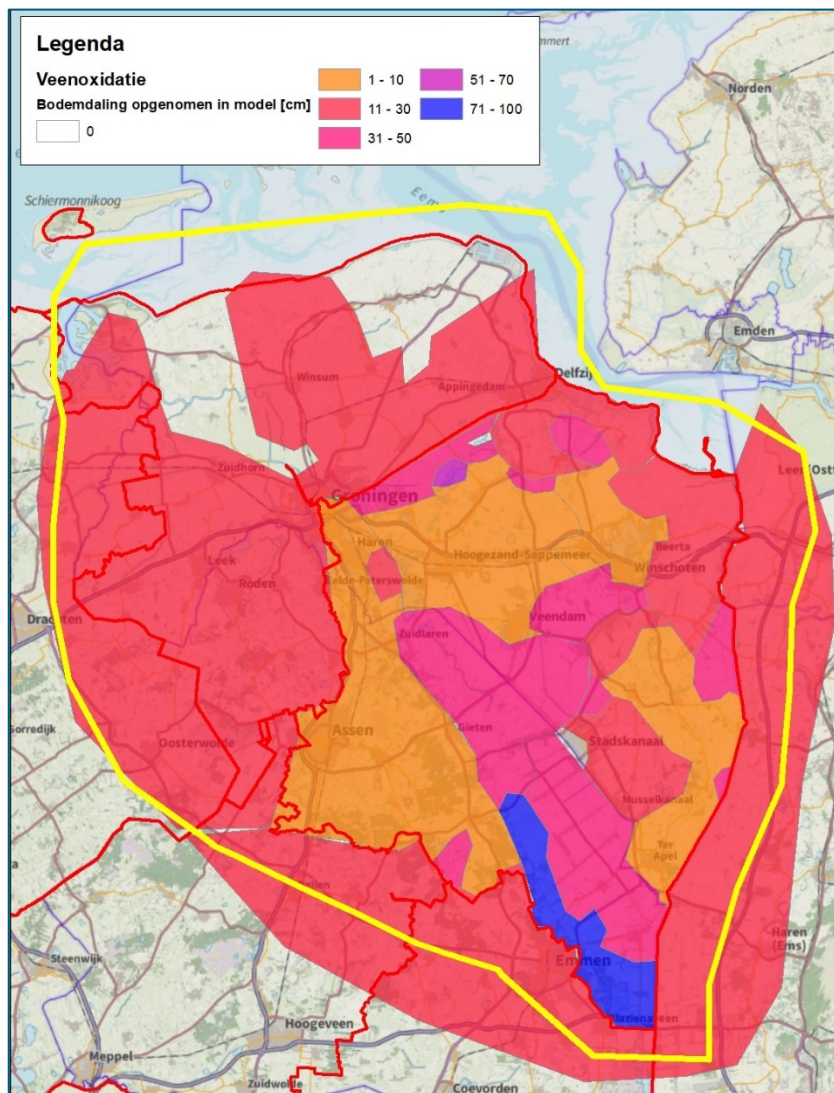
Figuur 6-7 Bodemdaling door zoutwinning Nedmag

De bodemdaling door veenoxidatie is door waterschap Hunze en Aa's in beeld gebracht. De hoogtekarten uit 1950-1960 zijn vergeleken met de actuele hoogtekaart van 2010. Hieruit is een hoogteverschilkaart gemaakt, welke is gecorrigeerd voor bodemdaling door gaswinning en zoutwinning (Figuur 6-8). Uit deze verschilkaart komt naar voren dat op sommige plaatsen een forse daling van de bodem is opgetreden tot ca. 70-90 cm in een periode van 50 tot 60 jaar. Deze waarden komen overeen met ervaringen elders in het land van 1-2 cm bodemdaling door veenoxidatie per jaar. Een dergelijke sterke bodemdaling komt vooral voor ten oosten van de Hondsrug (midden-bovenloop Hunzedal en de Veenkoloniën). Daarnaast zien we een meer lokale daling van de bodem op een groot aantal verspreide plekken. Omdat de beginmetingen in verschillende jaren zijn uitgevoerd, geeft de kaart slechts een indicatie van de opgetreden bodemdaling door veenoxidatie. De digitale bestanden onderliggend aan deze kaart zijn helaas verloren geraakt en zijn dus niet te gebruiken. Daarom is een inschatting (Figuur 6-9) gemaakt per regio van de bodemdaling a.g.v. veenoxidatie door de kaart te geo-refereren en zones te bepalen. Voor het gebied van waterschap Noorderzijlvest waar veen is aangetroffen in de ondiepe ondergrond (o.b.v. Geotop) is een historische bodemdaling van 20 cm aangenomen.

De bodemdaling is verwerkt door een historisch maaiveld te construeren waarin deze bodemdaling nog niet is opgetreden. Dit historische maaiveld wordt toegepast in de paleovakken voorafgaand aan het laatste tijdvak. Dit heeft zijn effect op onder meer de ontwateringsdiepte.



Figuur 6-8 Bodemdaling 1955/1960-2010 gecorrigeerd voor gas- en zoutwinning



Figuur 6-9 Modelling historische veenoxidatie

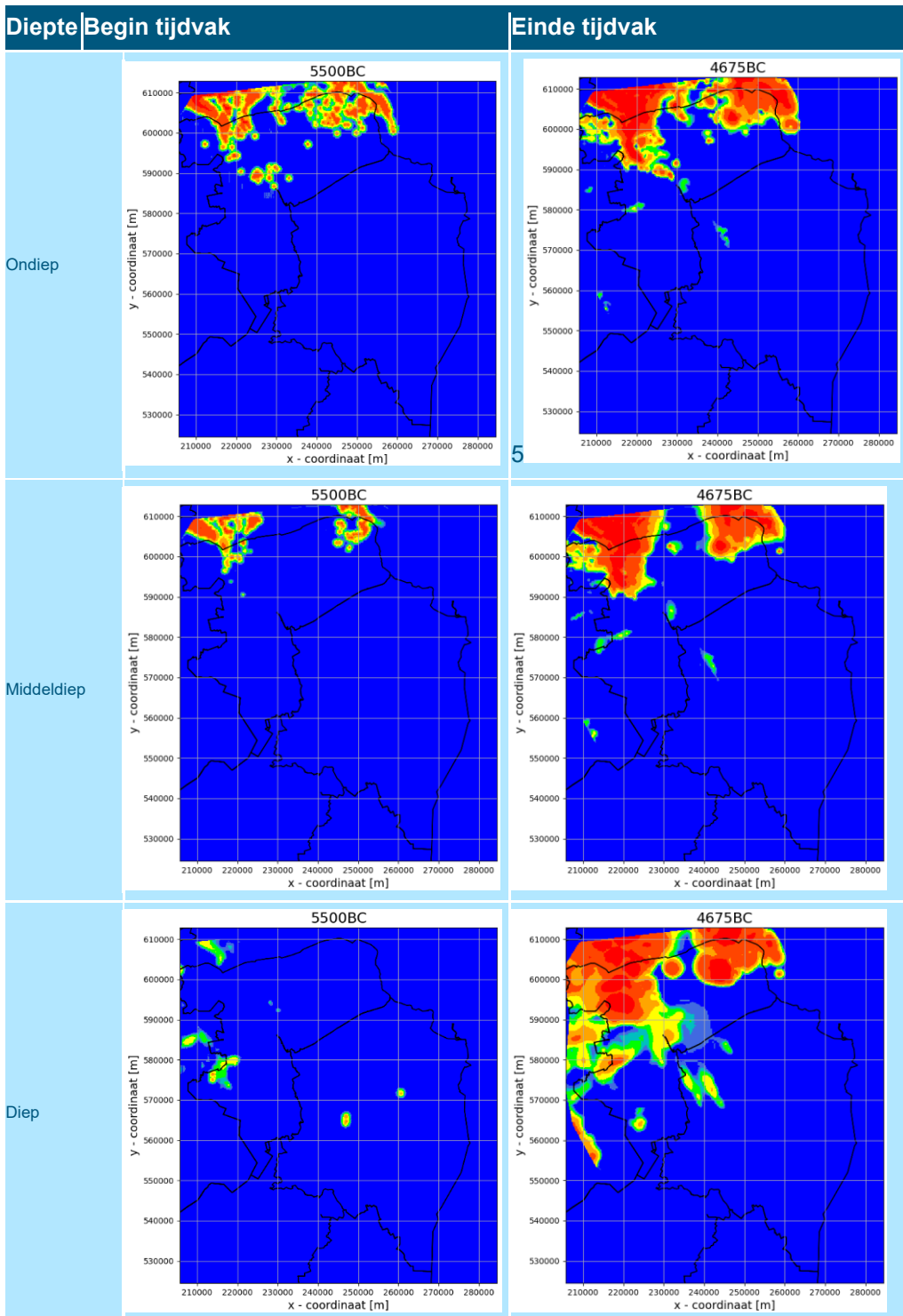
6.3 Resultaten

6.3.1 Per paleovak

6.3.1.1 Paleovak 1: 5500 BC – 4675 BC

In het eerste paleovak is sprake van een lage zeespiegel, komen zeearmen nog relatief ver het gebied in ten opzichte van de huidige kustlijn en is hoofdzakelijk sprake van Pleistocene zandgebieden. In het overgangsgebied van land naar zee komen grootschalig kwelders voor. De huidige Dollard bestaat nog niet en het grondwater is veelal zoeter dan in de huidige situatie. De grondwateraanvulling is groter dan nu als gevolg van het warme klimaat. In het tijdvak stijgt de zeespiegel relatief hard met 3 meter tussen het begin en het einde van het tijdvak.

In Figuur 6-10 zijn de resultaten weergegeven van het eerste tijdvak.



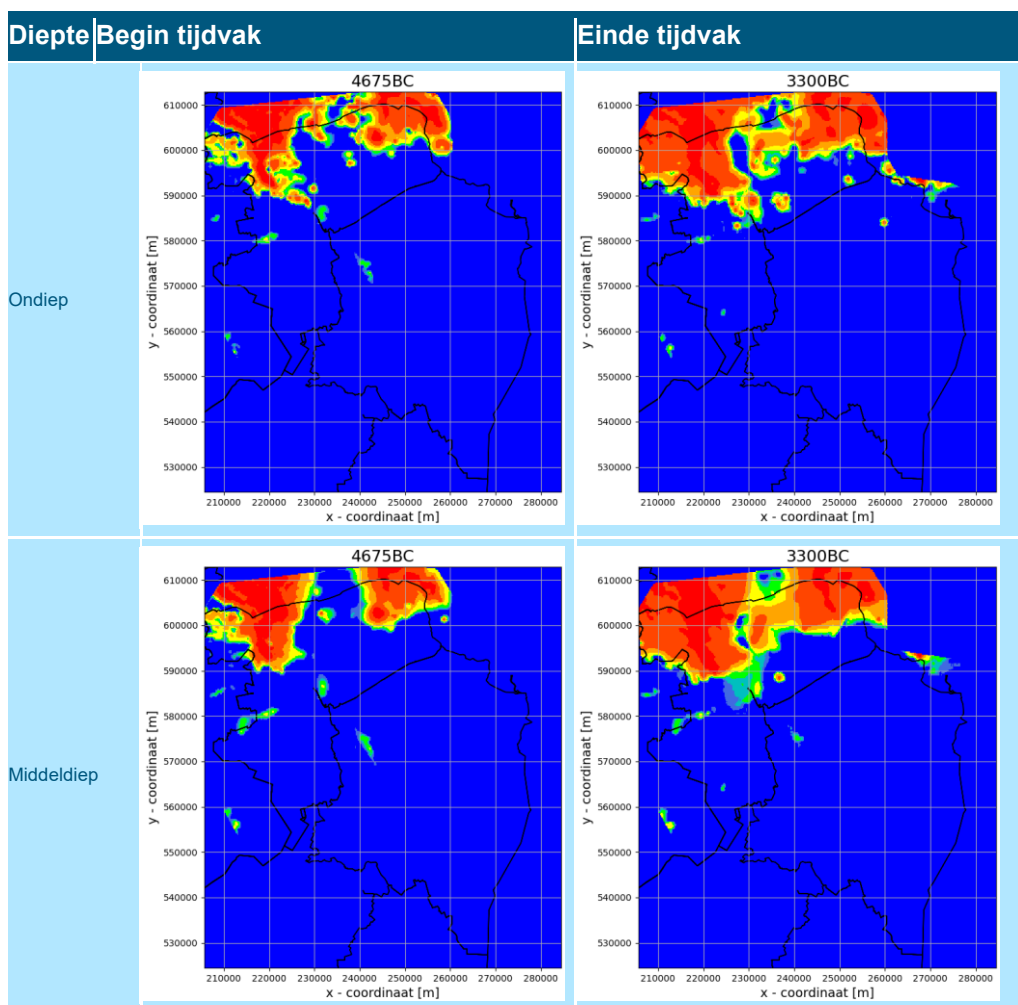
Figuur 6-10 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 1

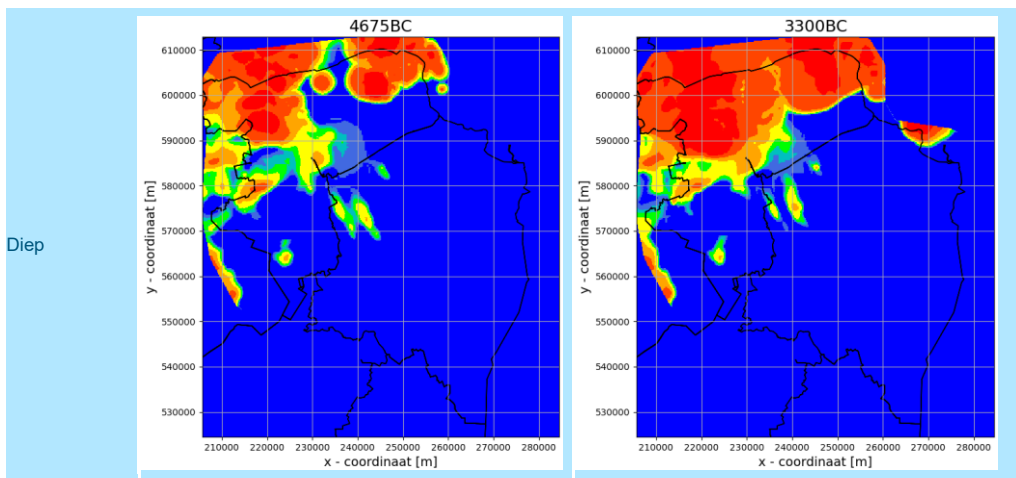
In dit tijdvak wordt een flinke intrusie van zout grondwater berekend, als gevolg van de sterk stijgende zeespiegel en het ontstaan van zeearmen.

6.3.1.2 Paleovak 2: 4675 BC – 3300 BC

In dit paleovak stijgt de zeespiegel nog fors door. De kwelders die de overgang vormen van zee naar land liggen zuidelijker dan in het voorgaande tijdvak. De zeearmen reiken verder naar het zuiden waardoor de zee verder naar het zuiden ook invloed kan hebben. Ten oosten van de Hondsrug ontwikkelt zich een fors veengebied. De grondwateraanvulling is gelijk aan het voorgaande tijdvak door het nog altijd warme klimaat.

In Figuur 6-11 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





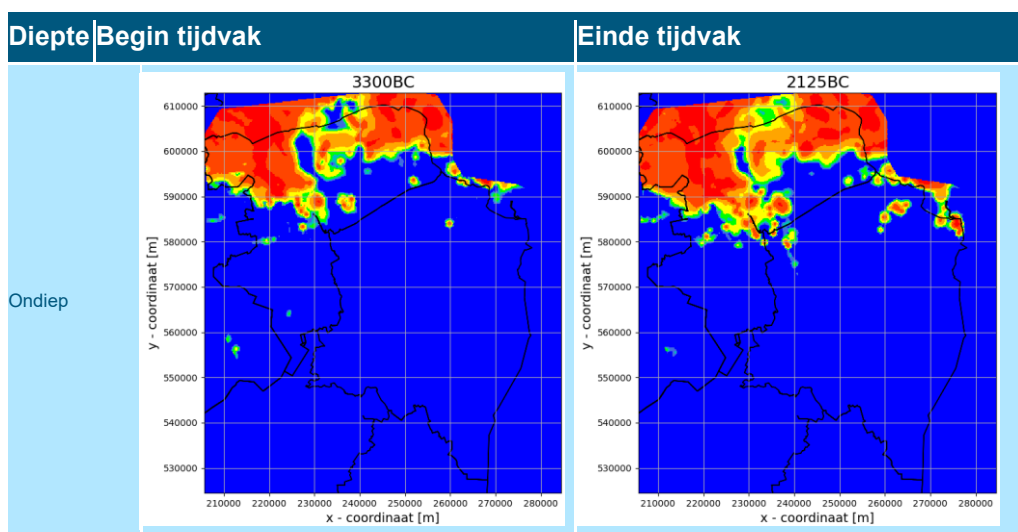
Figuur 6-11 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 2

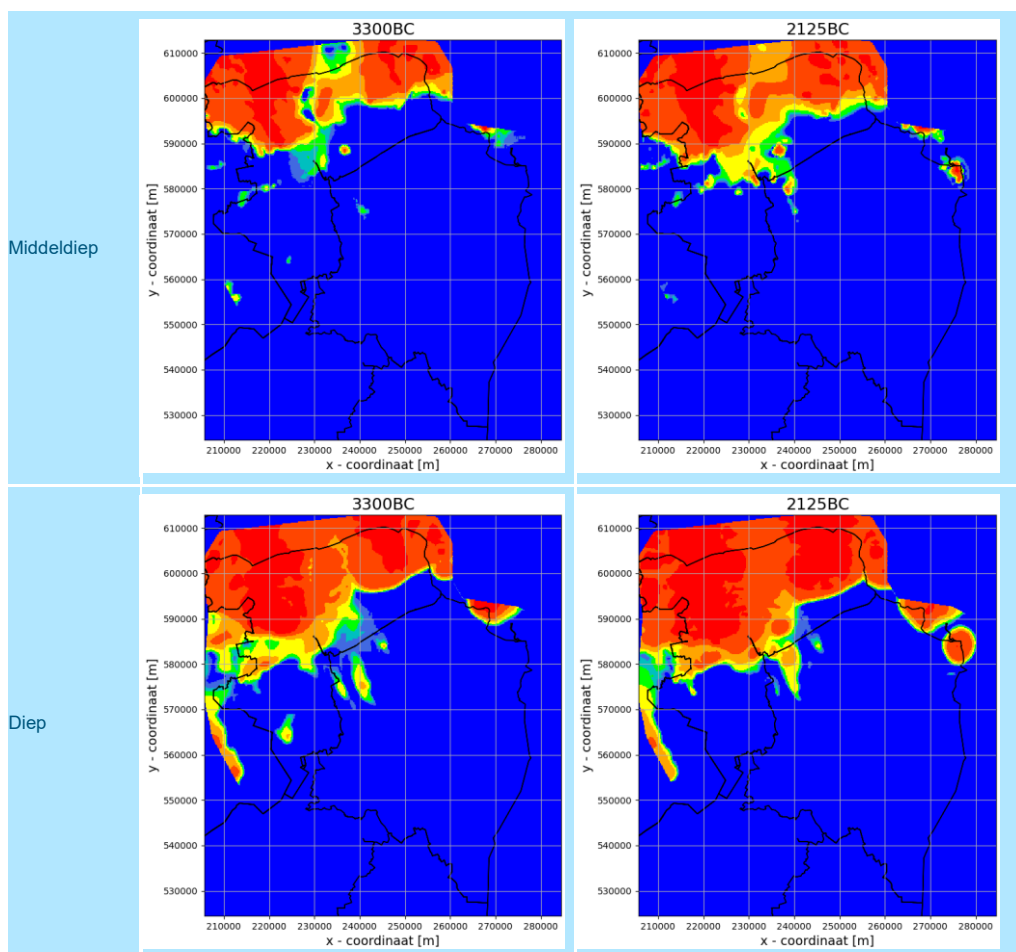
De verspreiding van zout breidt zich in dit tijdvak uit als gevolg van de stijgende zeespiegel en de infiltratie van zout water vanuit de zeearmen en kwelders. Zowel diep als ondiep is een uitbreiding van de aanwezigheid van het zout zichtbaar. In het diepere pakket gaat de intrusie nog sneller dan ondiep, onder meer door de grotere doorlatendheid in de diepe pakketten.

6.3.1.3 Paleovak 3: 3300 BC – 2125 BC

In dit paleovak stijgt de zeespiegel nog altijd door. De kwelders die de overgang vormen van zee naar land zijn zuidelijker dan in het voorgaande tijdvak. De zeearmen worden breder en reiken nog verder naar het zuiden. De kustlijn bevindt zich ter hoogte van de huidige ligging van Groningen. Tegelijkertijd breidt het veengebied verder uit naar het noorden en oosten. Het klimaat is in dit tijdvak afgekoeld. Op basis daarvan is aangenomen dat de grondwateraanvulling afgenomen is en ook lager is dan die in de huidige situatie.

In Figuur 6-12 zijn de resultaten van dit tijdvak weergegeven.





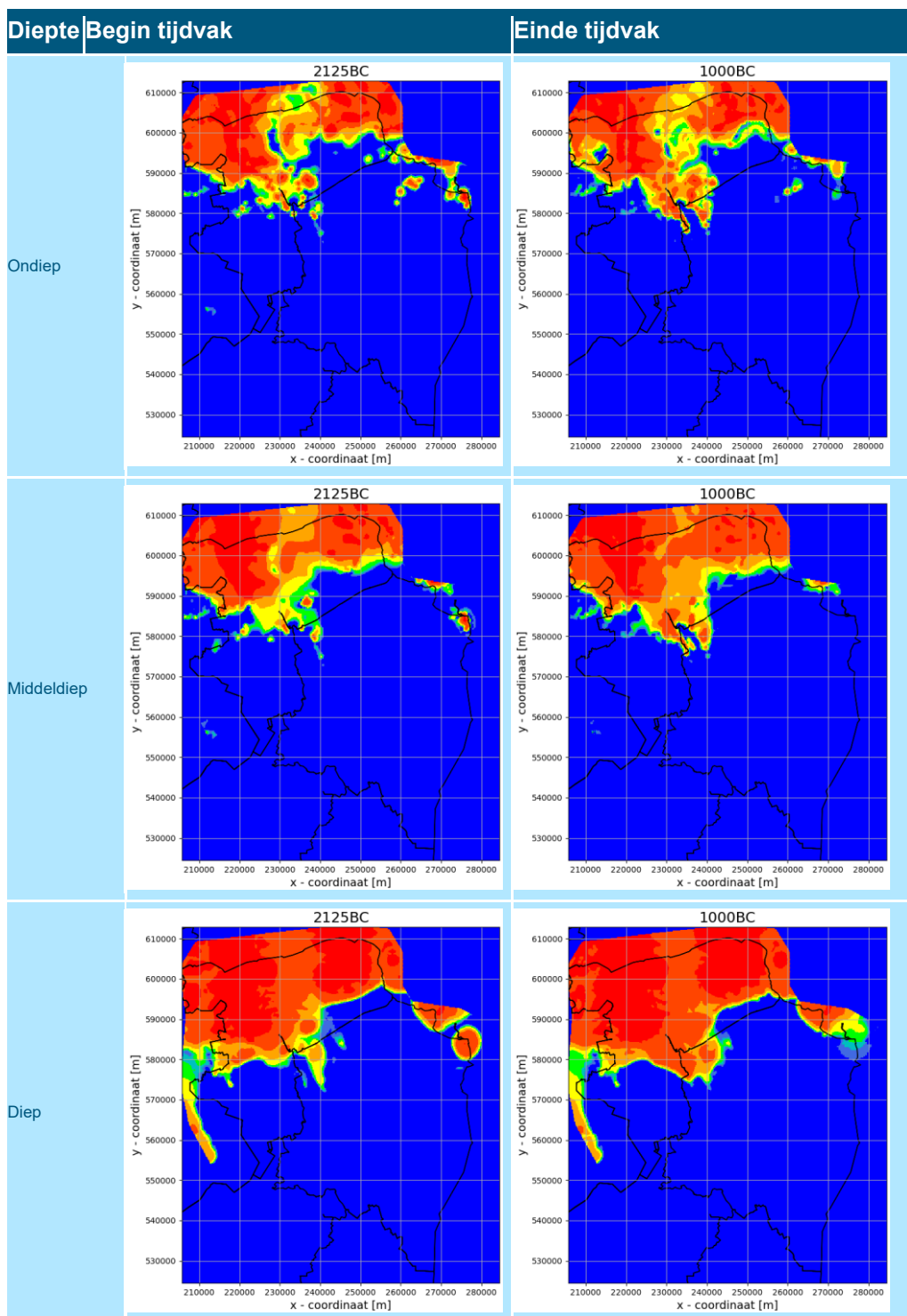
Figuur 6-12 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 3

De verspreiding van zout breidt zich nog wel uit in dit tijdvak, maar de zoutindringing gaat minder snel dan in de voorgaande tijdvakken. Rondom de huidige ligging van Groningen en in het oosten, in het huidige Oldambt, is nieuwe verspreiding van zout zichtbaar. Dit is het gevolg van zearmen en kwelders die verder zuidelijk reiken dan in voorgaand tijdvak. Aanvullend hierop is zichtbaar dat in het ondiepe en middeldiepe pakket de zoete bellen grotendeels zijn verdwenen door het zout. In het diepe pakket heeft verdere verzilting plaatsgevonden door de toenemende druk vanuit de zee.

6.3.1.4 Paleovak 4: 2125 BC - 1000 BC

In dit paleovak stijgt de zeespiegel nog altijd door, maar de toename begint af te nemen. Grootschalige veenvorming heeft plaatsgevonden en groeit nog altijd door qua dikte en verspreiding. De kustlijn trekt niet verder op naar het zuiden, ondanks de zeespiegelstijging. Op een aantal plekken wordt de kustlijn zelfs meer naar het noorden gevonden. De zearmen zijn kleiner dan in voorgaand tijdvak. Door de grote verspreiding en groei van het veen is het maaiveld op veel locaties een stuk hoger dan in het voorgaande tijdvak. De grondwateraanvulling is gelijk aan voorgaand tijdvak.

In Figuur 6-13 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.



Figuur 6-13 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 4

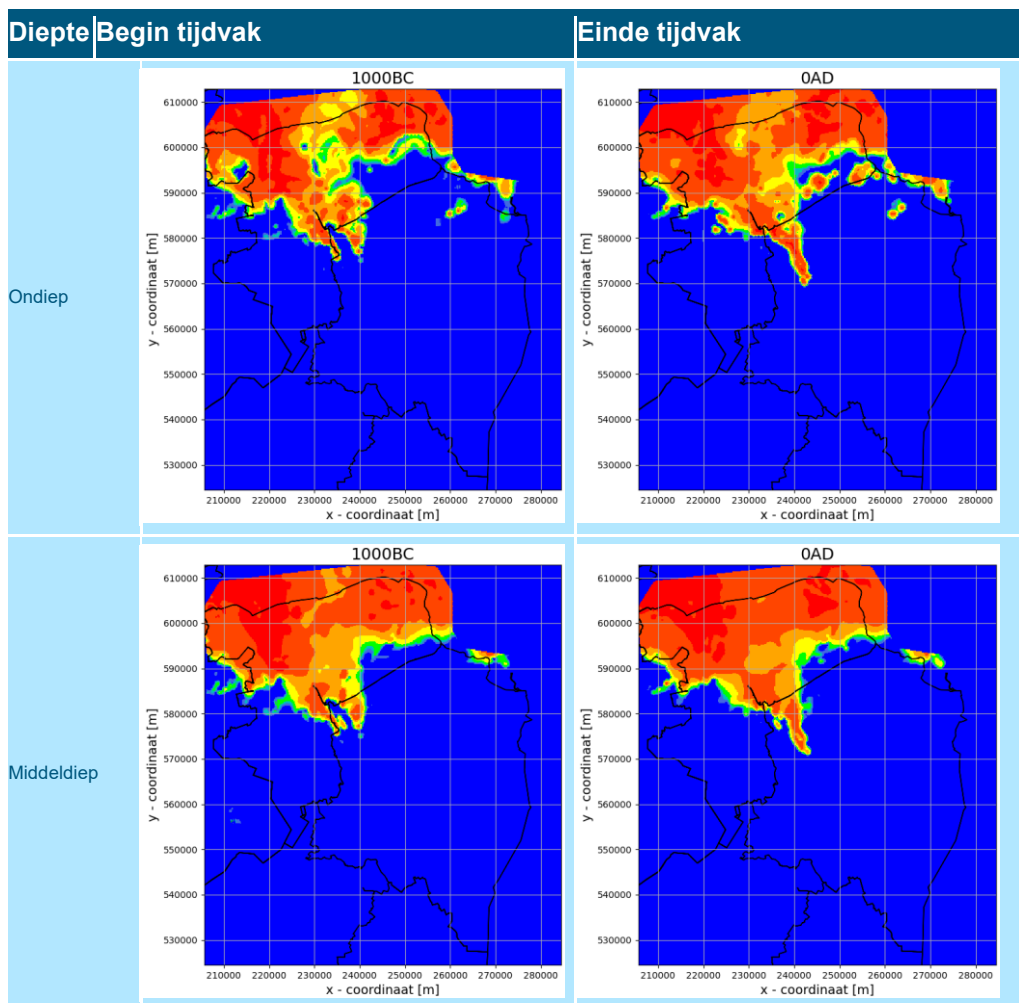
De verspreiding van zout is grotendeels gelijk aan het voorgaande tijdvak. Ten zuiden van Groningen is in het diepe pakket nog enige verzilting berekend. Ter hoogte van de huidige Dollard is verzoeting berekend door het terugtrekken van de kustlijn ter plaatse als gevolg van, vermoedelijk, de veenvorming. In het middeldiepe pakket zijn relatief beperkte veranderingen zichtbaar, die in mindere mate lijken op de ontwikkelingen in het diepe pakket. Ondiep is meer variatie zichtbaar als gevolg van de veenvorming en

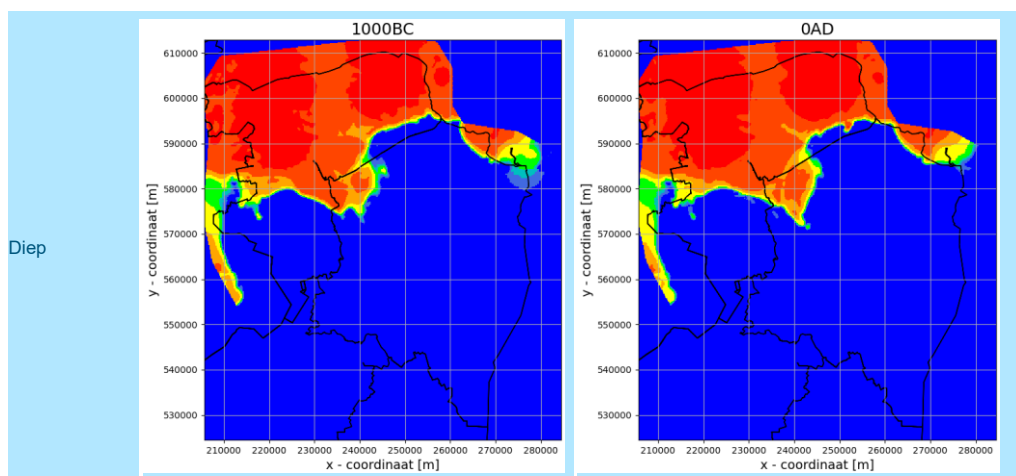
daardoor de zoete aanvulling van bovenaf waar in voorgaand tijdvak nog kwelders of zeearmen aanwezig waren. Dit leidt op een aantal locaties tot ontwikkeling van zoete bellen. Op andere locaties is echter ook verzilting zichtbaar.

6.3.1.5 Paleovak 5: 1000 BC - 0

In dit paleovak stijgt de zeespiegel nog enigszins door maar deze is een stuk geringer dan in voorgaande tijdvakken. Grootschalige veenvorming heeft in voorgaande tijdvakken plaatsgevonden, in dit tijdvak verandert dit nog enigszins, maar een grote toename is niet meer aan de orde. Dit zorgt voor een relatief vergelijkbare situatie met het voorgaande tijdvak voor wat betreft de verbreiding van veen en de ligging van de kustlijn. Aangenomen is dat het veen nog wel in dikte is gegroeid, waardoor ook het maaiveld hoger is komen te liggen. De zeearmen zijn gelijk aan het vorige tijdvak of wat meer noordelijker. Tegelijkertijd is er wel een 'uitstulpende' kwelder die zich uitrekt het huidige Hunze dal in ten zuidoosten van Groningen. De aangenomen grondwateraanvulling is gelijk aan die in het voorgaande tijdvak.

In Figuur 6-14 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





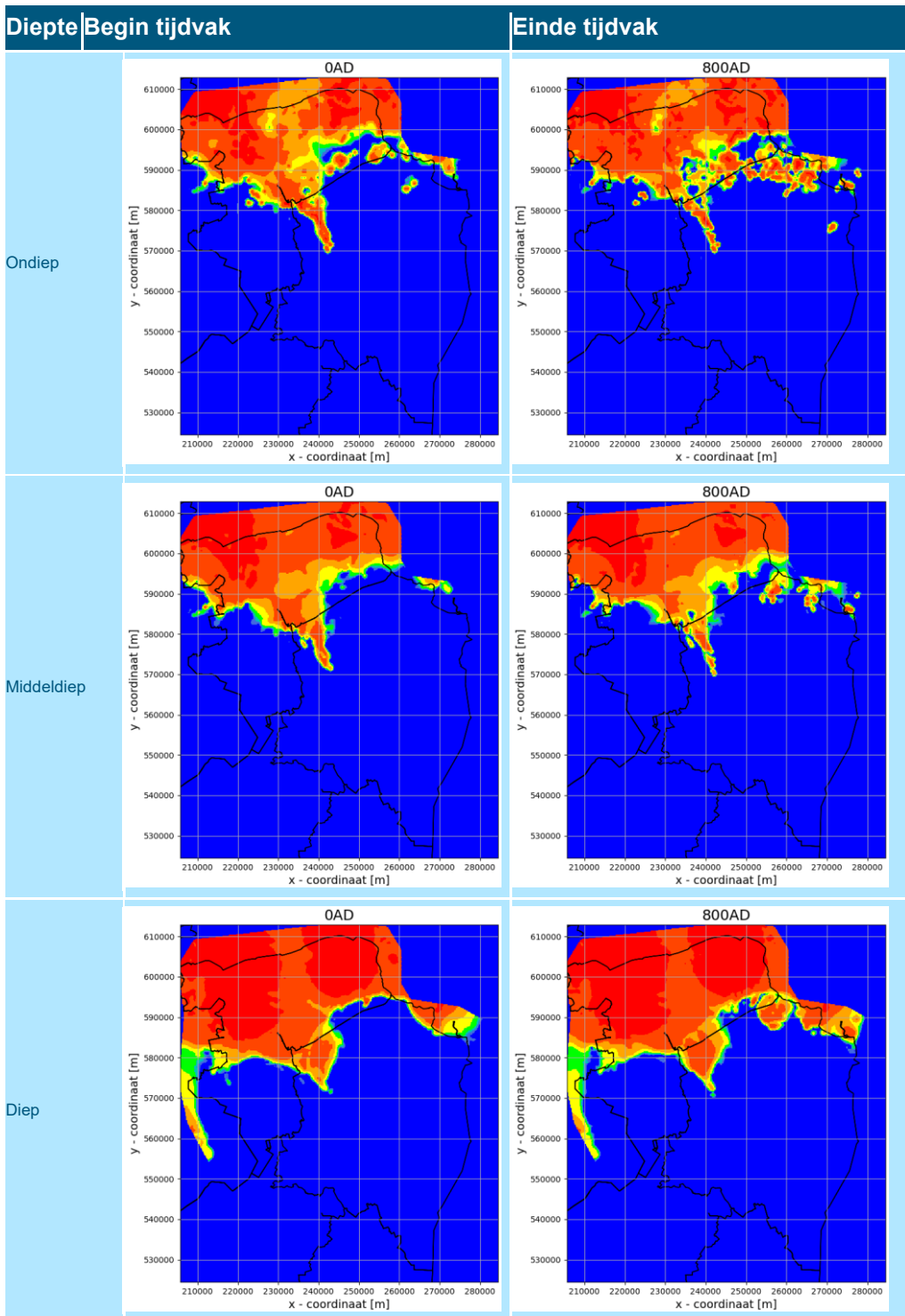
Figuur 6-14 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 5

Grote wijzigingen in het chloridebeeld zijn in dit tijdvak niet berekend. Het lijkt erop dat een soort evenwicht is bereikt in de zoutindringing vanaf zee. De uitstulpende kwelder zorgt wel voor aanvullende ondiepe en middeldiepe verzilting. Net ten westen van deze nieuwe verziltingsplek, vindt juist verzoeting plaats als gevolg van het 'ontbreken' van een eerdere kwelder in het voorgaande tijdvak. Waar in het voorgaande tijdvak nog zoete bellen ontstonden als gevolg van 'veeneilanden' temidden van zeearmen en kwelders, zijn deze bellen nu verzilt doordat het veen hier is verdwenen en zodoende zout(er) water infiltreert van bovenaf.

6.3.1.6 Paleovak 6: 0 – 800 AD

In dit tijdvak zijn zeespiegel en de landschapstypes grofweg gelijk aan het voorgaande tijdvak. De veenvorming en daarmee de groei van het maaiveld is wel doorgegaan. De ligging van kwelders en zeearmen is redelijk gelijk aan het voorgaande tijdvak, al is wel te zien dat met name in het oostelijke deel van Groningen de kustlijn wat verder naar het zuiden wordt gevonden. Ook de kwelders en zeearmen dringen het land (ver) in. In de huidige Dollard is een zeearm zichtbaar in dit tijdvak, die er in het voorgaande tijdvak nog niet zo duidelijk aanwezig was. De aangenomen grondwateraanvulling is gelijk aan die in de huidige situatie en daarmee duidelijk hoger dan in het voorgaande tijdvak.

In Figuur 6-15 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.



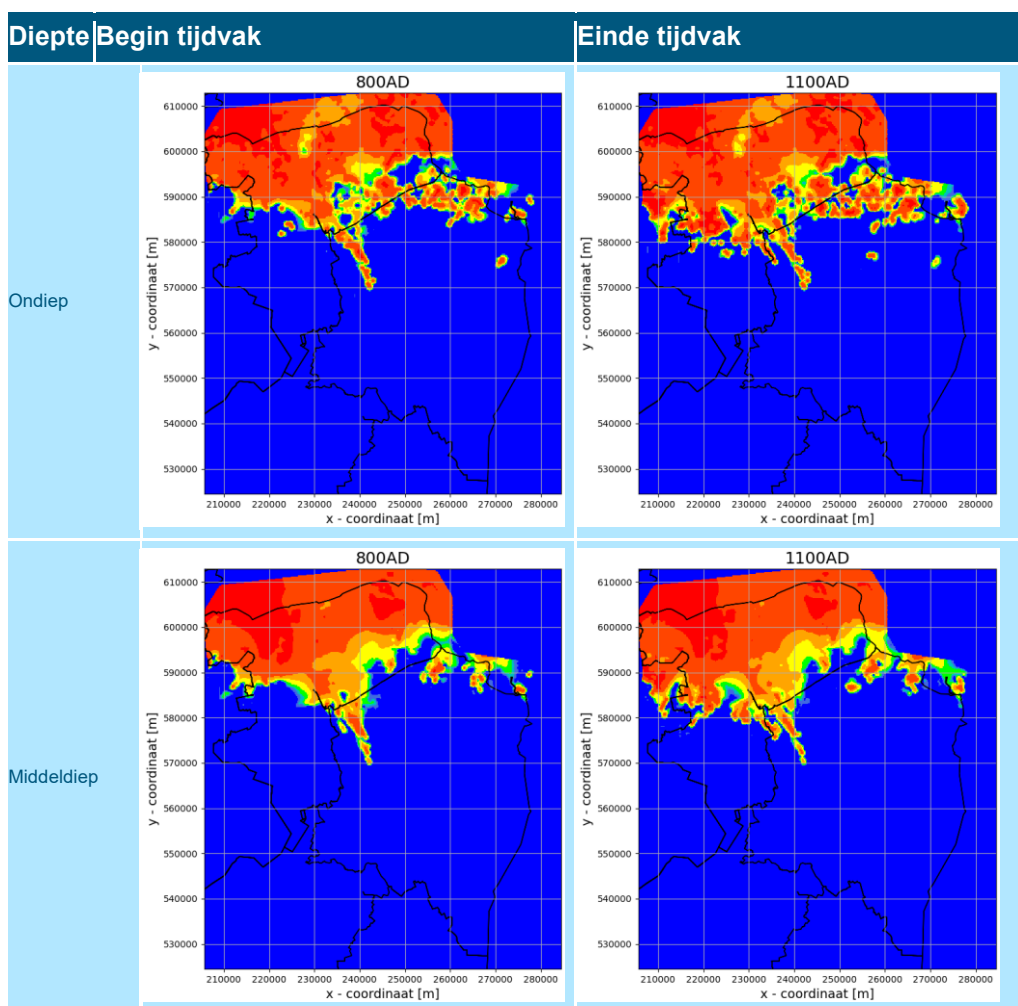
Figuur 6-15 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 6

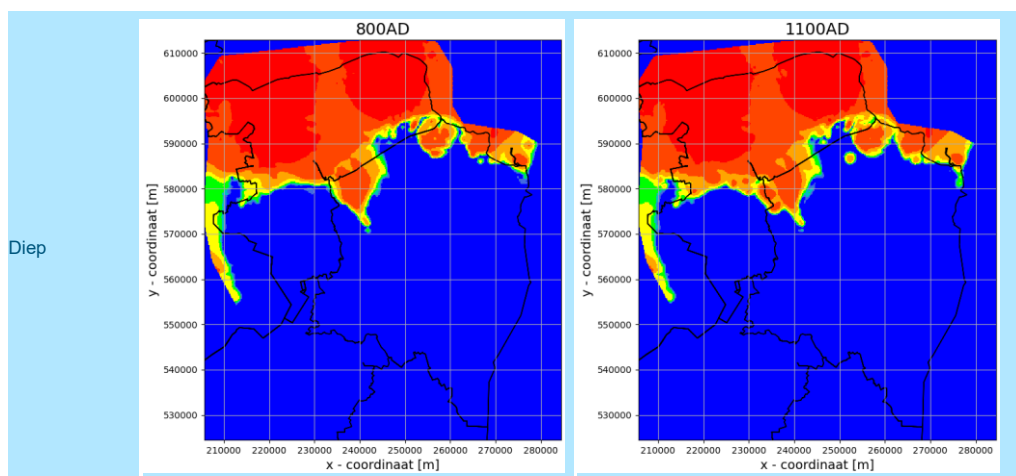
In de resultaten is met name de indringen van zout in het oosten zichtbaar in het ondiepe pakket. Dit is het gevolg van de kustlijn die is opgeschoven en de zeearmen en kwelders die het land in reiken. In het middeldiepe en diepe pakket is ook in de omgeving van de huidige kustlijn van Oldambt verzilting zichtbaar.

6.3.1.7 Paleovak 7: 800 AD – 1100 AD

In dit tijdvak neemt de zeespiegel toe ten opzichte van het voorgaande tijdvak, grofweg 70 cm, de landschapstypes blijven gelijk aan het voorgaande tijdvak. De ligging van de zeearmen is redelijk gelijk aan het voorgaande tijdvak. De kustlijn en kwelders zijn zowel in het oostelijke als westelijke deel van Groningen verder naar het zuiden verschoven. Het veen heeft hier dus plaatsgemaakt voor een getijdegebied met zand- en kleiafzettingen. De veenvorming en daarmee de groei van het maaiveld is wel doorgegaan. De aangenomen grondwateraanvulling is gelijk aan die in de huidige situatie.

In Figuur 6-16 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





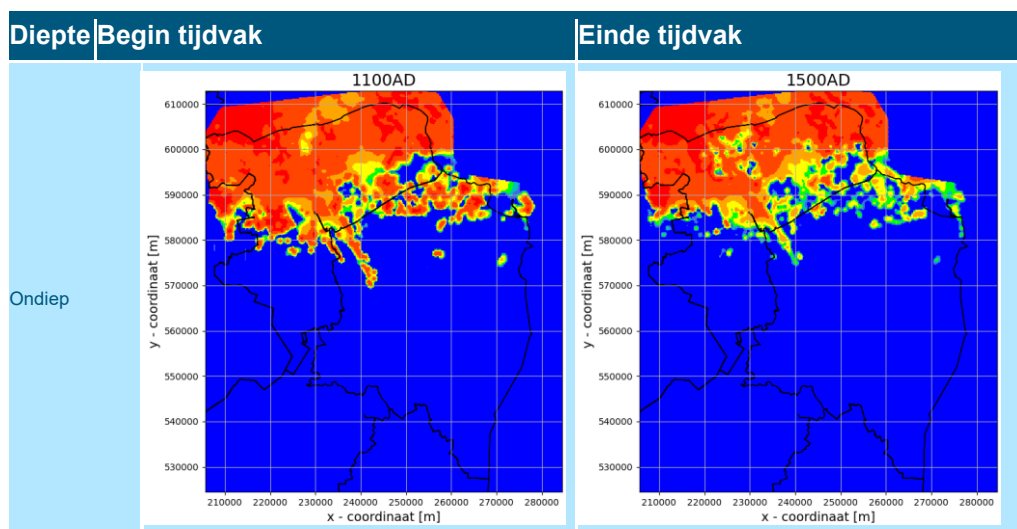
Figuur 6-16 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 7

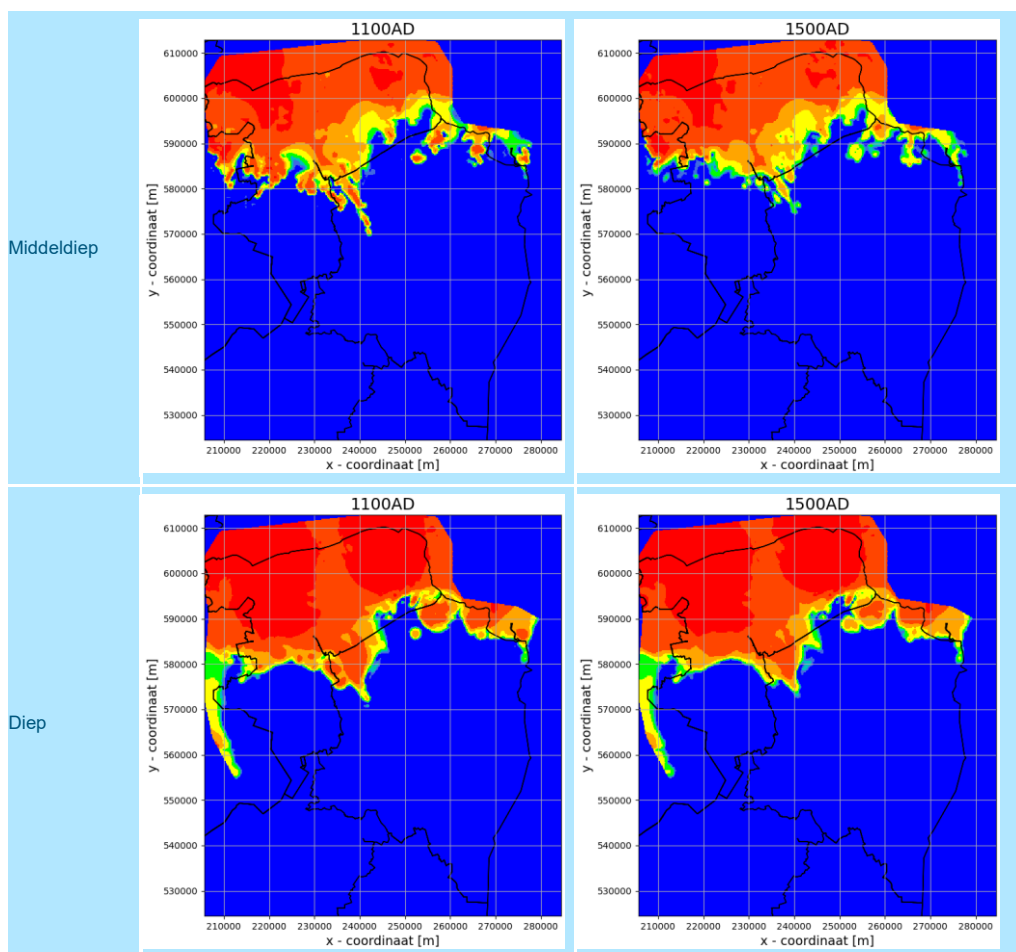
In de resultaten is in het diepe pakket betrekkelijk weinig veranderd ten opzichte van het voorgaande tijdvak. Voor het ondiepe en middeldiepe pakket geldt dit ook voor het oostelijke deel, waar weinig verschillen ten opzichte van het begin van het tijdvak zichtbaar zijn. Ten westen van de stad Groningen, nabij de grens en in Friesland is wel een duidelijke verzilting zichtbaar als gevolg van de kustlijn die in zuidelijke richting is opgeschoven en kwelders die het land in reiken.

6.3.1.8 Paleovak 8: 1100 AD – 1500 AD

In dit tijdvak blijft, ten opzichte van voorgaande tijdvak, de zeespiegel grofweg gelijk. Het (grootschalige) waterbeheer door de mens start in dit tijdvak met de realisatie van de eerste dijken. Dit zorgt voor een forse wijziging in de kustlijn en invloed van de zee. Door de bedijking is de zee-invoel een stuk teruggedrongen naar het noorden. Daardoor zijn ook de kwelders en de zeearmen niet meer zo ver landinwaarts meer te vinden. De veenvorming en daarmee de groei van het maaiveld zijn in dit tijdvak doorgegaan. De aangenomen grondwateraanvulling is gelijk aan die in de huidige situatie.

In Figuur 6-17 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





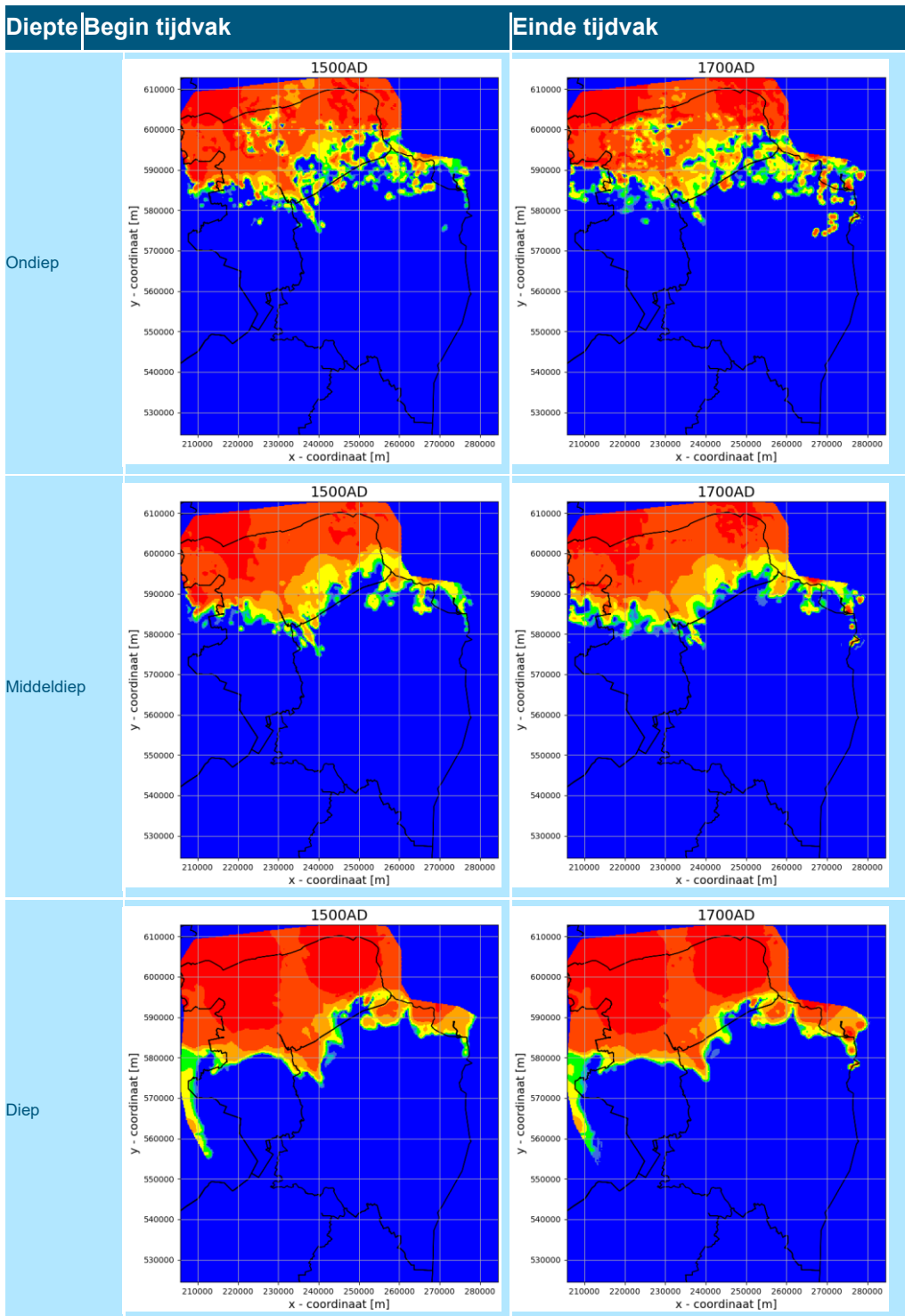
Figuur 6-17 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 8

In de resultaten is in het diepe pakket betrekkelijk weinig veranderd ten opzichte van het voorgaande tijdvak. In het ondiepe pakket is te zien dat verzoeting plaatsvindt, als gevolg van het indijken. Het 'zoutfront' trekt terug of verzoet, goed zichtbaar rondom de huidige waterschapsgrens ten oosten van de stad Groningen. De uitstulping van het zout ten zuidoosten van de stad Groningen begint ook te verzoeten. In het voorgaande tijdvak was hier nog een kwelder aanwezig, die in dit tijdvak verdwenen is. Ook zijn er zoete bellen ontstaan temidden van het zout in het noorden. Dit is het gevolg van zoete grondwateraanvulling, waar voorheen zee-invloed was. In het middeldiepe pakket zijn beperkte wijzigingen zichtbaar die het gevolg zijn van de wijzigingen in het ondiepe systeem.

6.3.1.9 Paleovak 9: 1500 AD – 1700 AD

In dit tijdvak blijft, ten opzichte van voorgaande tijdvak, de zeespiegel grofweg gelijk. De doorbraak van de Dollard vindt in dit tijdvak plaats, inclusief de grootschalige veenafslag als gevolg hiervan. De doorbraak van de Dollard zorgt voor een flinke wijziging van de invloed van de zee ten oosten van Oldambt. Ook ten westen van Groningen vindt een grote verandering in het voorkomen van veen plaats als gevolg van het winnen van turf; de vervening. Dit zorgt voor een flinke wijziging in maaiveld, doorlatendheden en weerstanden. De aangenomen grondwateraanvulling is gelijk aan die in de huidige situatie.

In Figuur 6-18 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.



Figuur 6-18 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 9

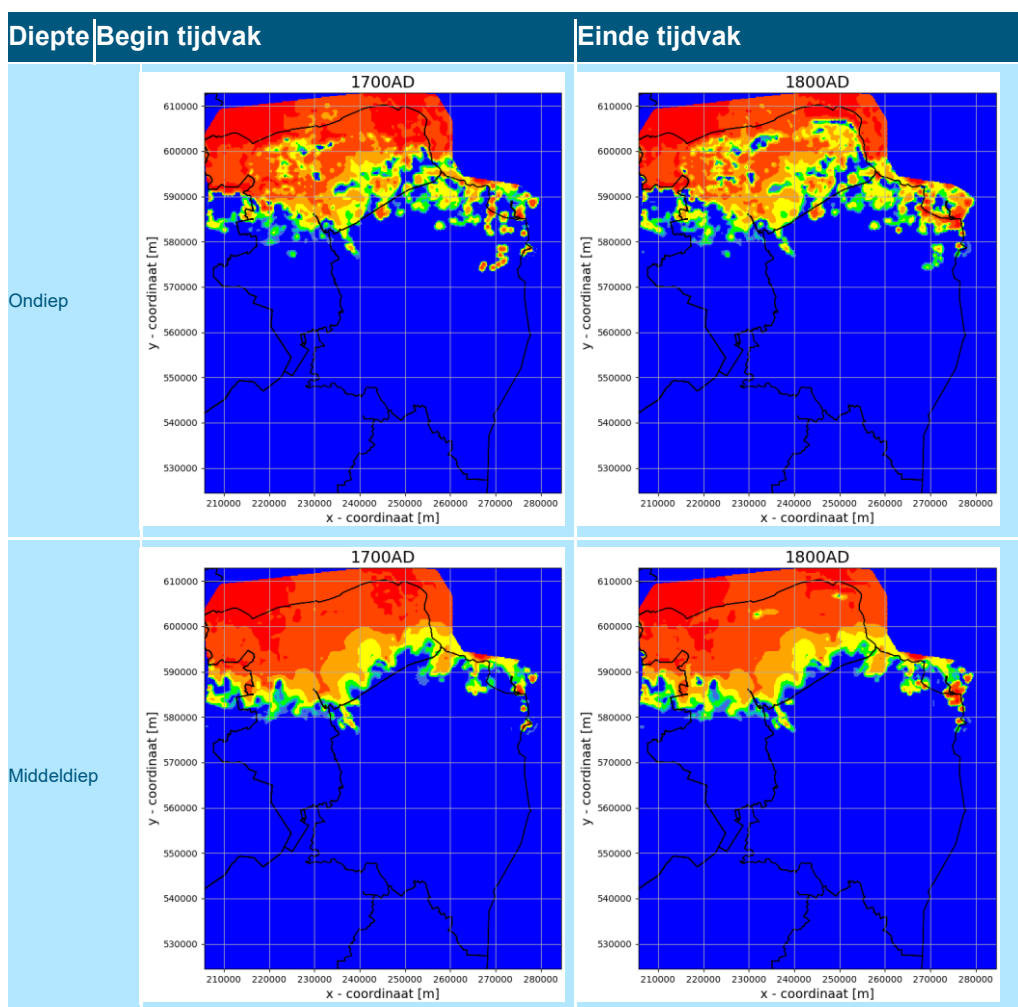
In de resultaten is in het diepe pakket betrekkelijk weinig veranderd ten opzichte van het voorgaande tijdvak. In het ondiepe pakket is te zien dat ten westen van de stad Groningen verzoeting plaatsvindt. Door de afgraving van het veen en de zoete grondwateraanvulling wordt aanwezig zout water afgevoerd en vindt verzoeting van bovenaf plaats. Ten oosten van de stad Groningen vindt afwisselend verzoeting en verzilting plaats. Door de grootschalige veenafslag is het maaiveld en lokale drainage drastisch veranderd waardoor op verschillende plaatsen verplaatsing van zout plaatsvindt. Ter plaatse van de doorbraak van

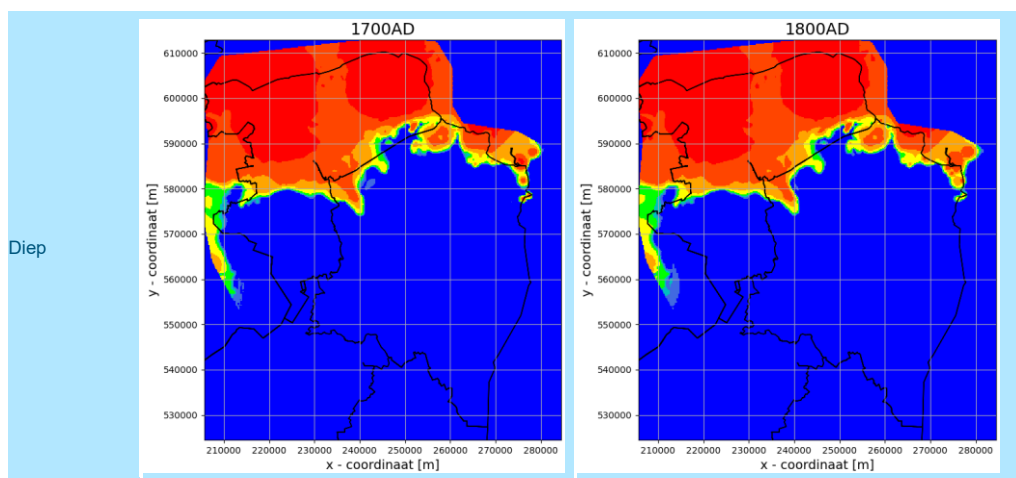
de Dollard is verzilting te zien als gevolg van de infiltratie van zout aan het oppervlak. In het middeldiepe pakket zijn beperkte wijzigingen zichtbaar die het gevolg zijn van de wijzigingen in het ondiepe systeem.

6.3.1.10 Paleovak 10: 1700 AD – 1800 AD

In dit tijdvak blijft, ten opzichte van voorgaande tijdvak, de zeespiegel grofweg gelijk. Door de bedijking wordt de huidige kustlijn benaderd. De doorbraak van de Dollard is deels weer ingepolderd, waardoor lokaal de zee-invoed is verminderd. De verveening vindt steeds grootschaliger plaats, waardoor in oost Groningen het landschap, maaiveld en bodem fors wijzigen. Peilbeheersing begint in dit tijdvak ook in de bedijkte en verveende gebieden.

In Figuur 6-19 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





Figuur 6-19 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 10

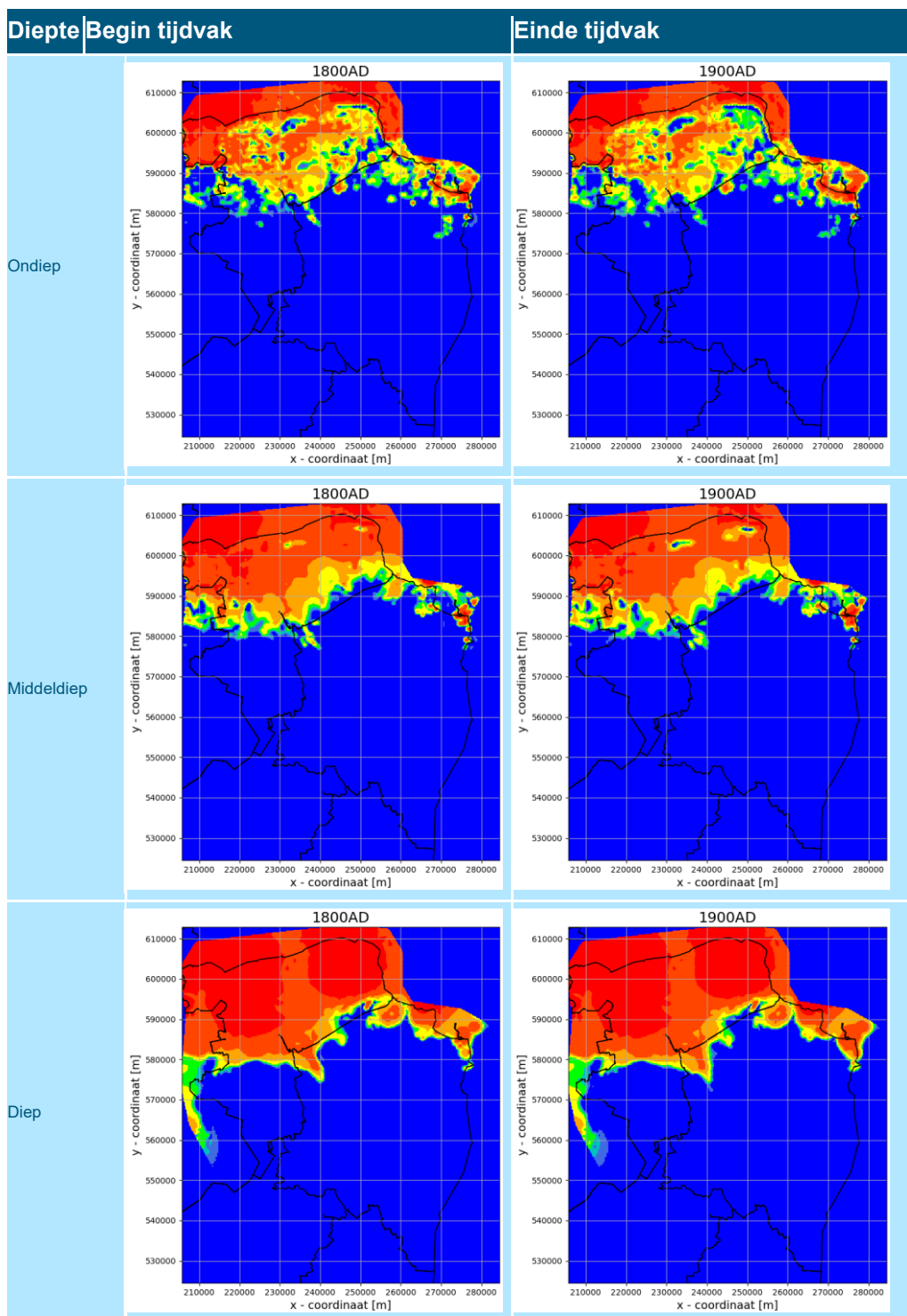
In de resultaten is in het diepe pakket betrekkelijk weinig veranderd ten opzichte van het voorgaande tijdvak. In het oosten begint de verzilting als gevolg van de doorbraak van Dollard door te dringen in het diepere pakket. Dit is ook zichtbaar in het middeldiepe pakket.

In het ondiepe pakket is verzoeting in het noorden zichtbaar. De peilbeheersing zorgt ervoor dat (zout) grondwater wordt afgevoerd. Door de zoete grondwateraanvulling ontstaan zoete bellen en vindt ook op andere plekken verzoeting plaats. In een aantal locaties is de invloed op het middeldiepe pakket ook zichtbaar van dit proces. Door de afvoer van (ondiep) grondwater vindt ook verplaatsing en optrekken van (zout) grondwater uit diepere pakketten plaats, waardoor sommige plekken in het ondiepe pakket juist wat zouter worden.

6.3.1.11 Paleovak 11: 1800 AD – 1900 AD

In dit tijdvak blijft, ten opzichte van voorgaande tijdvak, de zeespiegel grofweg gelijk. Door de bedijking is de huidige kustlijn zo goed als bereikt. De vervening is in volle vaart dit tijdvak waardoor veen in nagenoeg het gehele projectgebied is afgegraven en het landschap, maaiveld en bodem ingrijpend is gewijzigd. De grootschalige vervening is mede gepaard gegaan met grote ingrepen in het waterbeheer, waardoor veel intensievere afwatering plaatsvindt dan in voorgaand tijdvak.

In Figuur 6-20 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.



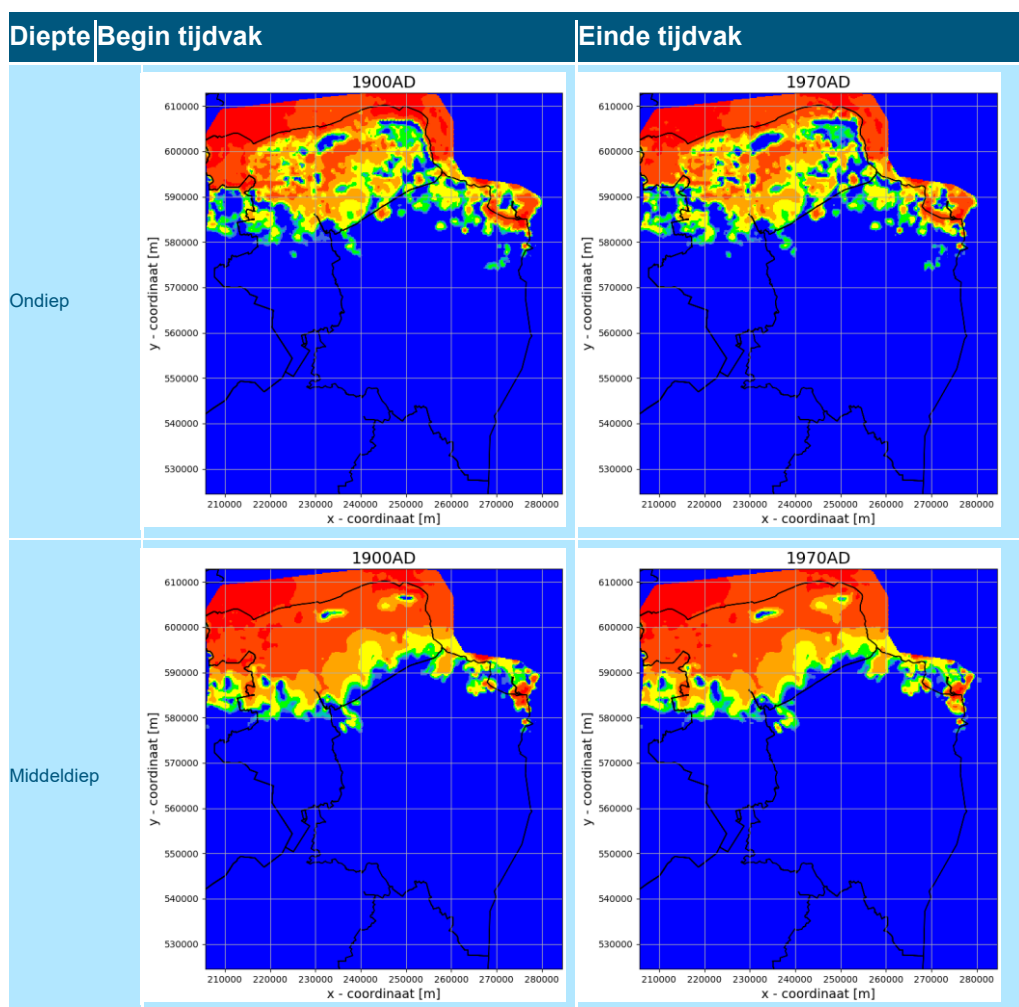
Figuur 6-20 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 11

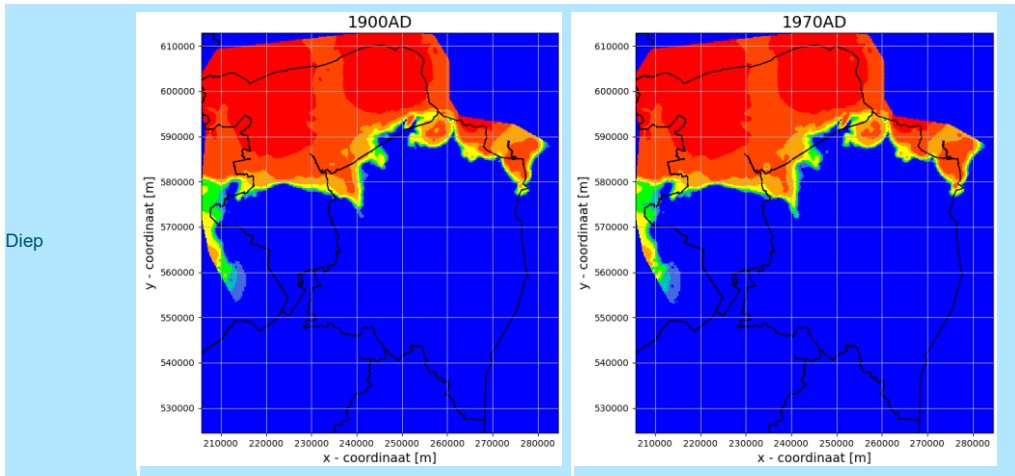
In het ondiepe pakket is, gelijk aan voorgaand tijdvak, aanvullende verzoeting in het noorden zichtbaar. Redelijke aaneengesloten zoete bellen worden zichtbaar, ook relatief dichtbij de kustlijn. Dit zijn waarschijnlijk infiltratiegronden waar zoete bellen zich opbouwen op zoutere grondwaterlagen (zie bijvoorbeeld het middeldiepe pakket ter plaatse). In het oosten vindt indringing van zout in het grondwater plaats. Dit is een vertraagd effect van de doorbraak van de Dollard omstreeks de 16^e eeuw.

6.3.1.12 Paleovak 12 & 13: 1900 AD – 1970 AD

In deze tijdvakken neemt de menselijke invloed op het peilbeheer en het grondwater sterk toe. Grotere droogleggingen worden gaandeweg gehanteerd in het peilbeheer en de grondwateronttrekkingen starten op.

In Figuur 6-21 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





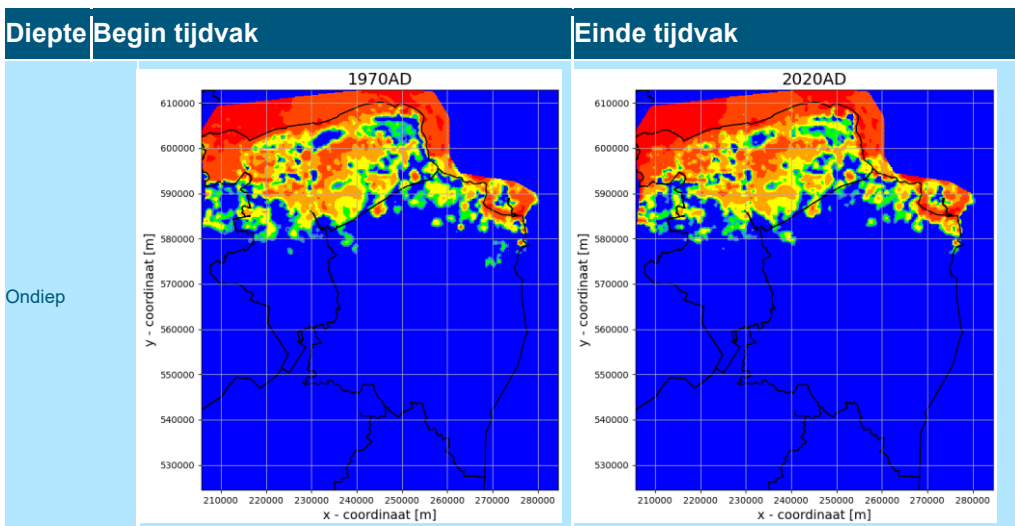
Figuur 6-21 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 12 & 13

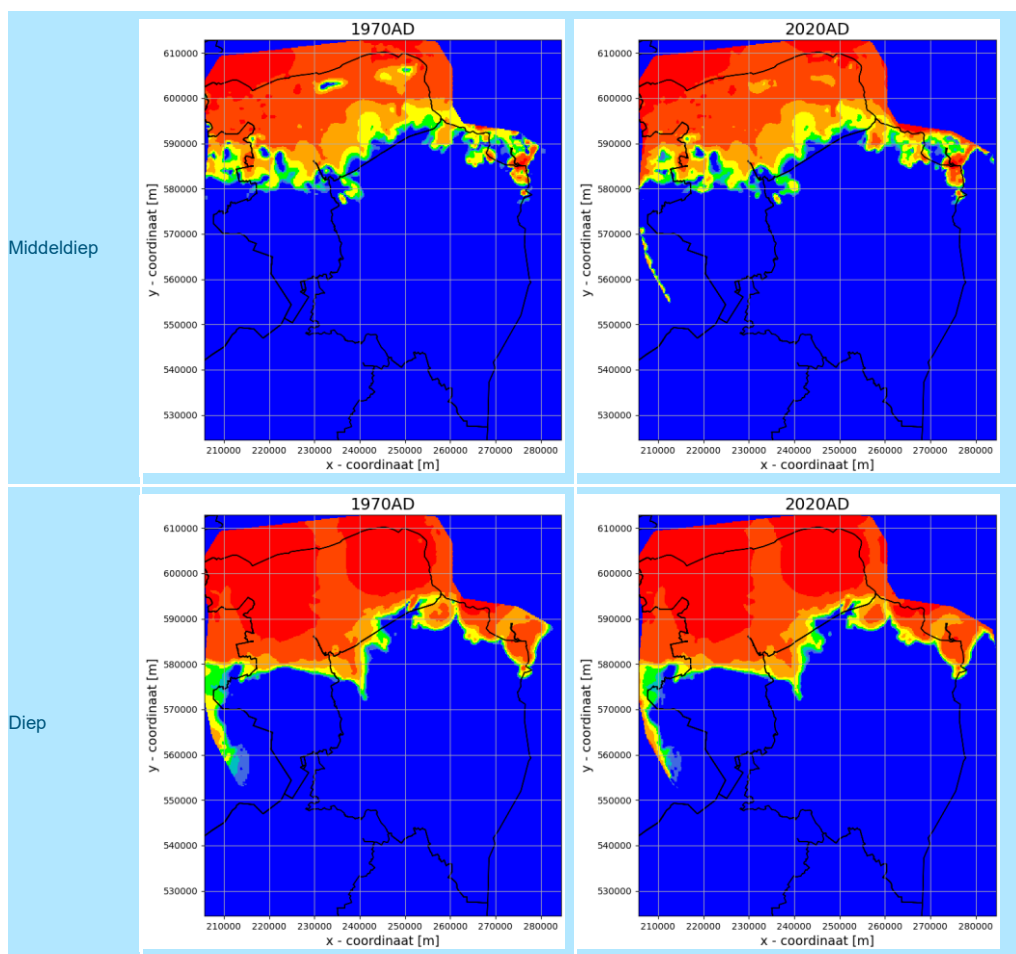
De verzoeting in het ondiepe pakket zet veelal door al zijn de verschillen niet heel groot met het begin van het tijdvak. De verschillen voor het middeldiepe en diepe pakket zijn gering.

6.3.1.13 Paleovak 14: 1970 AD – 2020 AD

In dit tijdvak zijn het landgebruik, het peilbeheer en de grondwateronttrekkingen gelijk verondersteld aan de huidige situatie.

In Figuur 6-22 zijn de resultaten weergegeven van dit tijdvak.





Figuur 6-22 Weergave resultaten paleoberekening tijdvak 14

De indringing van het zout neemt in alle gepresenteerde pakketten toe in dit tijdvak. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de diepere ontwatering waardoor meer water wordt afgevoerd en meer zout grondwater het gebied 'ingetrokken' wordt.

6.3.2 Vergelijking met huidige zoutbeeld

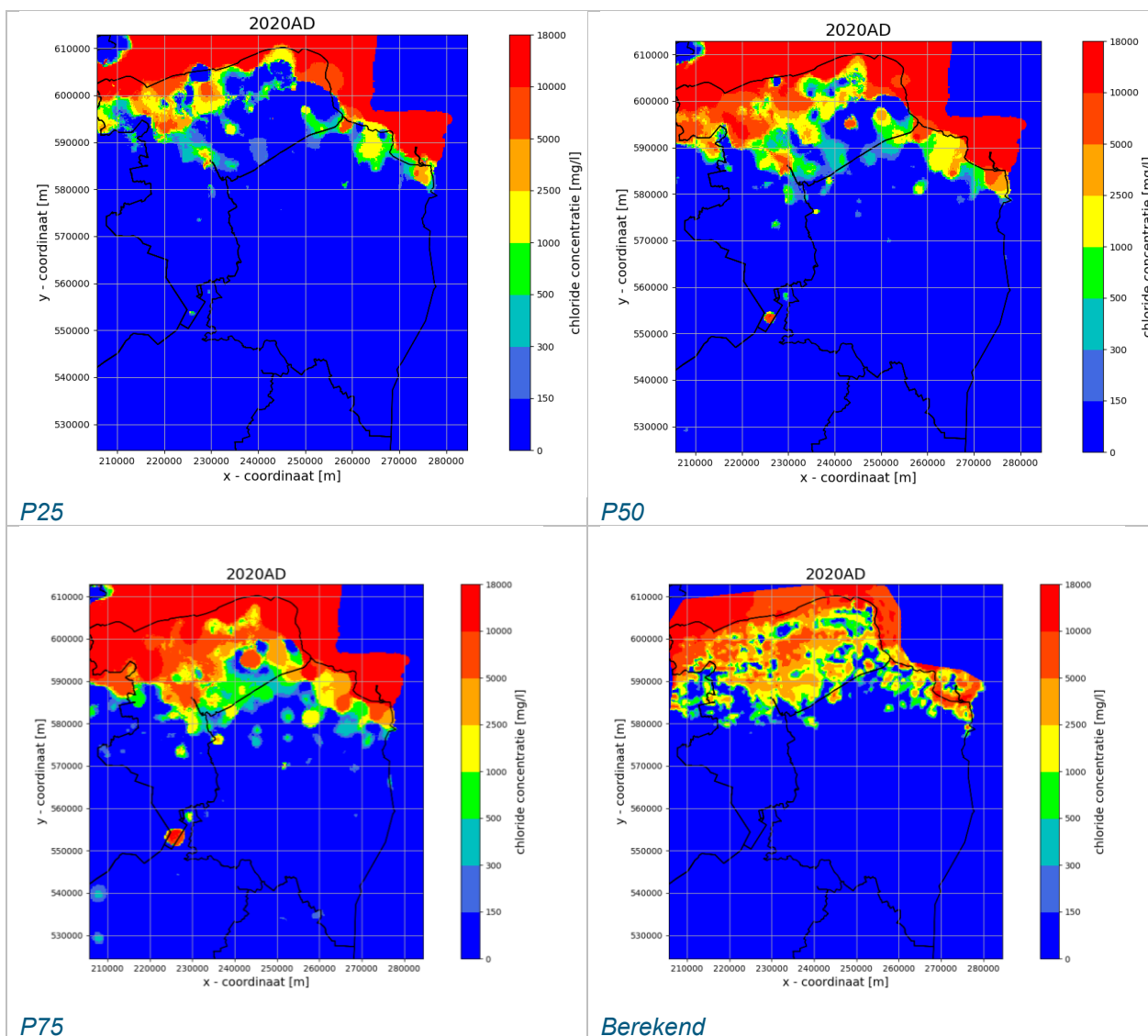
6.3.2.1 Vergelijking met geïnterpoleerd zoutbeeld

Vanuit het dataportaal NHI (data.nhi.nu, bezocht op 3 mei 2021) is het geïnterpoleerde, vlakdekkend, zoutbeeld opgehaald. Dit zoutbeeld is op verschillende dieptes beschikbaar en voor deze studie gebruikt om het uiteindelijke berekeningsresultaat, de berekende chlorideverdeling aan het einde van de paleoberekening, tegen af te zetten. Dit zoutbeeld en de totstandkoming daarvan is gerapporteerd in de studie 'Actualisatie zout in het NHI' (Delsman et al., 2020). Aanvullend hierop is vanuit de projectgroep een analyse gedaan op basis van de meetgegevens beschikbaar vanuit Dinoloket.

Voor een drietal lagen is een vergelijking gemaakt met het geïnterpoleerde zoutbeeld.

Figuur 6-23 geeft de resultaten van de vergelijking weer voor modellaag 2. In de figuur zijn de 25%, 50% en 75% percentielen van het geïnterpoleerde zoutbeeld weergegeven en het eindresultaat van de paleoberekening. De percentielen van het geïnterpoleerde zoutbeeld geven een indruk van de bandbreedte in het geïnterpoleerde zoutbeeld als gevolg van de onzekerheden in de meetdata en de hoeveelheid meetpunten. Het verschil tussen de p25 en p75 zoutverdeling is groot; dit impliceert dat de

onzekerheid van het geïnterpoleerde zoutbeeld fors is. Het 50% percentiel geeft de meest aannemelijke ruimtelijke zoutverdeling weer. Het eindresultaat van de paleoberekening valt binnen de bandbreedtes van de geïnterpoleerde metingen, tussen de 50% en 75% percentielwaarde van de geïnterpoleerde chloridemetingen. De grens van het zoutfront, grofweg tot het Eemskanaal bijvoorbeeld, komt redelijk goed overeen.

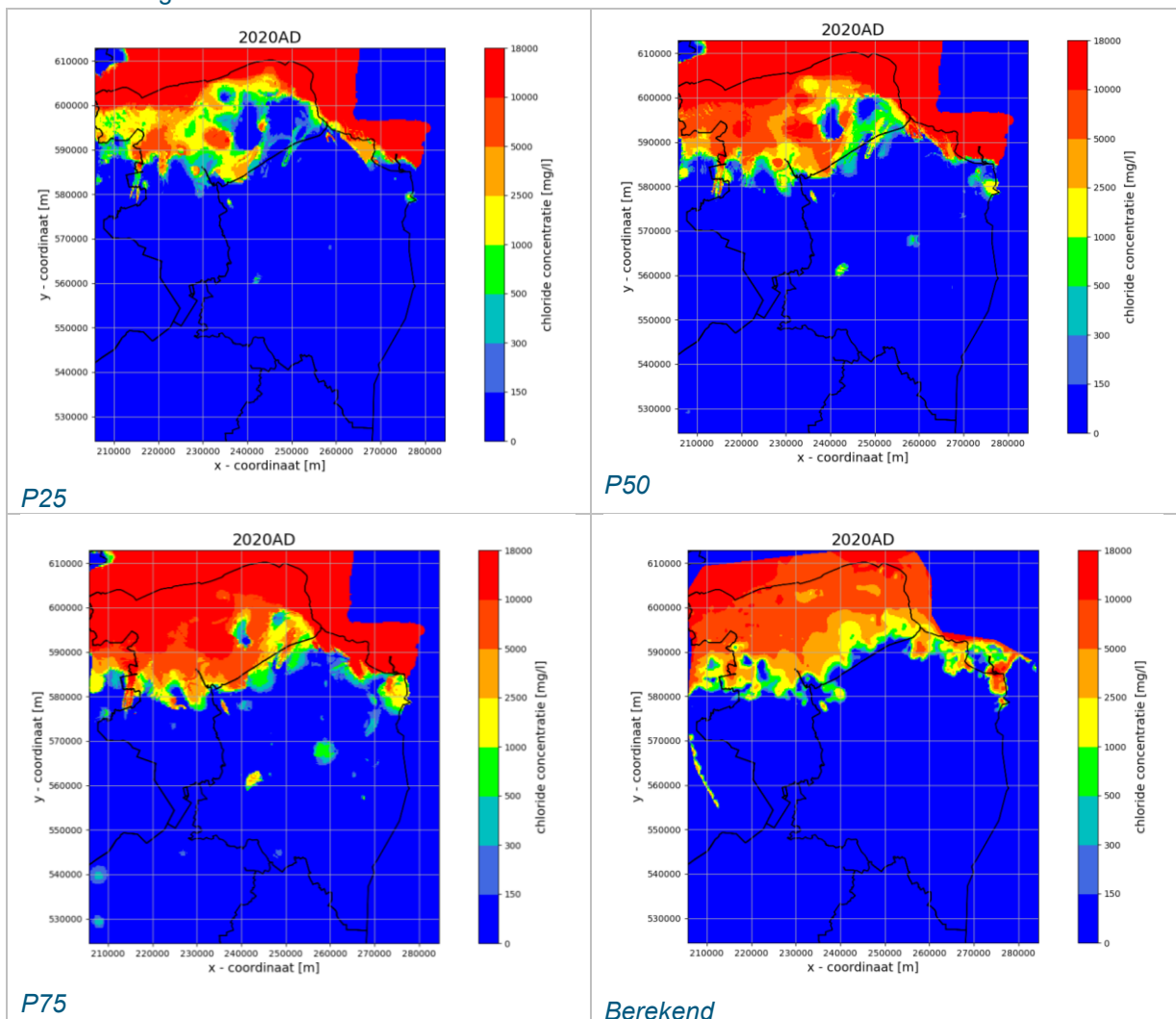


Figuur 6-23 Vergelijking geïnterpoleerde zoutbeeld met berekende eindsituatie Paleo - modellaag 2

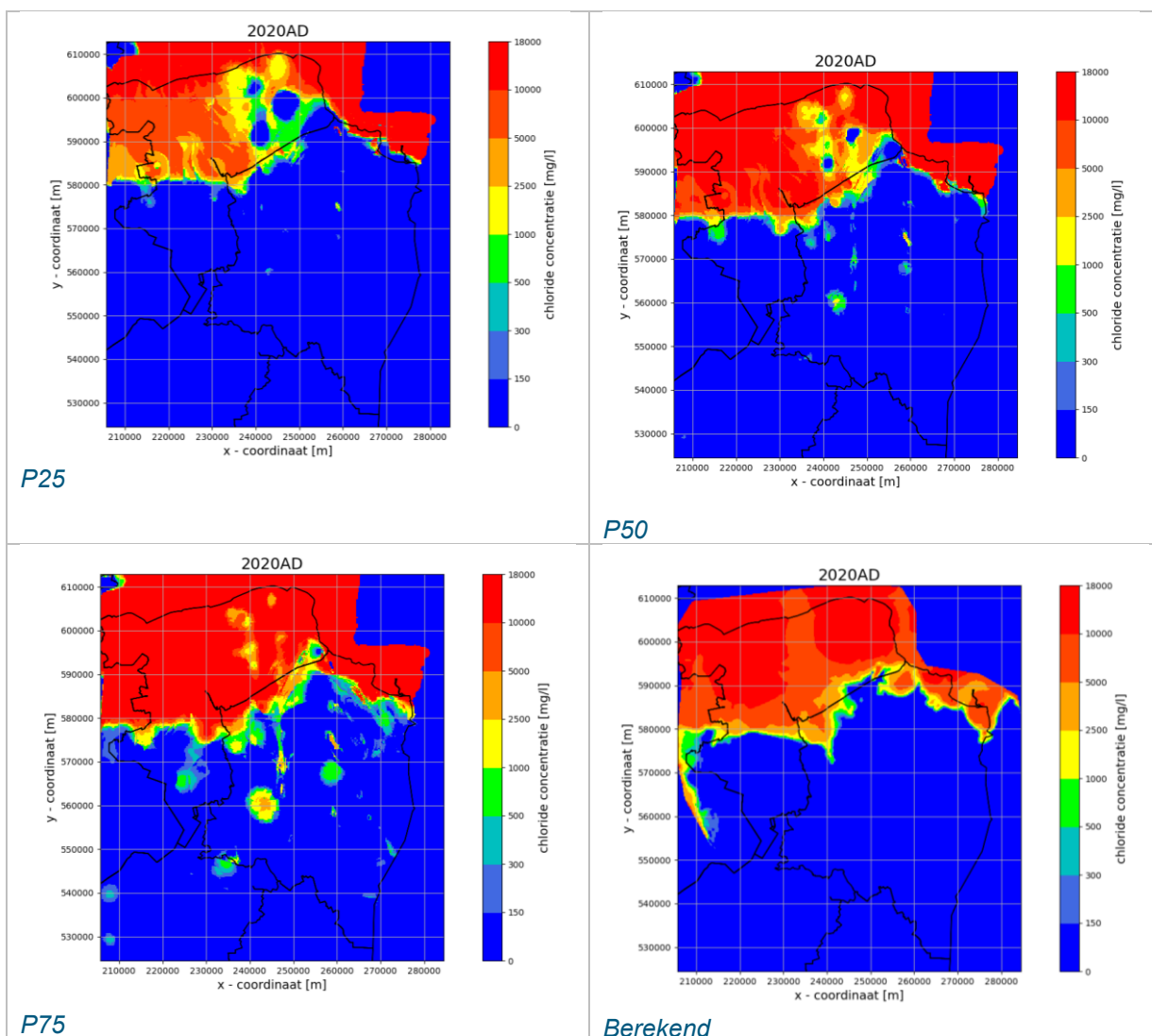
In Figuur 6-24 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en Figuur 6-25 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het resultaat weergegeven voor resp. modellaag 9 en 16. Voor deze modellagen geldt grofweg hetzelfde als voor modellaag 2. De bandbreedte in het geïnterpoleerde zoutbeeld is ook hier fors. Het resultaat van de paleoberekening valt tussen het 50% en 75% percentiel. De grens van het zoutfront komt redelijk goed overeen met het geïnterpoleerde beeld.

Ook voor andere lagen komt de grote bandbreedte in het geïnterpoleerde zoutbeeld naar voren en ook dat het rekenresultaat tussen het 50 en 75 percentiel valt. In de diepste modellagen (18 t/m 20) liggen

de berekende concentraties lokaal iets hoger dan de 75% percentielwaarde van de geïnterpoleerde chloridemetingen.



Figuur 6-24 Vergelijking geïnterpoleerde zoutbeeld met berekende eindsituatie Paleo - modellaag 9



Figuur 6-25 Vergelijking geïnterpoleerde zoutbeeld met berekende eindsituatie Paleo - modellaag 16

6.3.2.2 Vergelijking met meetgegevens Dinoloket

Een aanvullende vergelijking is uitgevoerd met meetgegevens beschikbaar vanuit Dinoloket⁷. De volgende conclusies zijn uit deze vergelijking getrokken:

- Ondiep (ondieper dan 10 m - NAP) laten de metingen een veel zoeter beeld zien dan het model. De chloridemetingen laten, afgezien van langs de kust en Appingedam-Delfzijl, geen hele zoute plekken zien terwijl in het model wel grote zoute eilanden voorkomen. De intrusie vanuit de Dollard is wel weer terug te zien in de metingen.

⁷ De individuele meetpunten gebruikt voor het geïnterpoleerde zoutbeeld konden niet, zonder betaling, aangeleverd worden door Deltares.

- Middeldiep (20 tot 100 m - NAP): de grens van intrusie tot het Eemskanaal komt goed overeen met de metingen. De intrusiegrens Haren-Grootegast lijkt iets mee landinwaarts te liggen dan de metingen.
- Diep (dieper dan 100 m -NAP), op deze diepte lijkt de grens Haren-Grootegast juist wel goed te liggen. Echter laten de metingen zien dat de intrusie onder het Eemskanaal is doorgedaan op deze diepte en in ieder geval loopt tot aan het Schildmeer. Het model laat hier juist een zoet stuk zien.

6.3.2.3 Resumé

Het eindresultaat van de paleoberekening is door de projectgroep vastgesteld en als geschikt beoordeeld voor deze studie. Verdere aanpassing werd niet haalbaar geacht en gezien de geringe meetdichtheid (vooral in de diepere lagen) ook niet zinvol.

Relevante processen en ontwikkelingen en de gekozen schematisatie lijken gezamenlijk in staat tot het, tot op zekere hoogte, reproduceren van het huidige zoutbeeld voor zover dat goed bekend is. De grens van het zoutfront op verschillende dieptes wordt goed berekend.

7 Autonome ontwikkelingen

7.1 Introductie

In de toekomst zijn verschillende autonome ontwikkelingen aan de orde, die invloed zullen hebben op het hydrologische systeem in Groningen en Drenthe. We noemen dit autonome ontwikkelingen omdat ze (grotendeels) buiten de invloedssfeer en handelingsperspectief van provincies, waterschappen en drinkwaterbedrijven in de provincies Groningen en Drenthe liggen. Een belangrijke doelstelling van de studie is om inzicht te geven in de effecten van de autonome ontwikkelingen op zowel grondwaterkwantiteit als grondwaterkwaliteit. In dit hoofdstuk beschrijven en onderbouwen we de autonome ontwikkelingen en de wijze waarop die zijn meegenomen in de modellering. Vervolgens beschrijven we in paragraaf 7.3 de berekende effecten van de autonome ontwikkelingen op het grondwatersysteem.

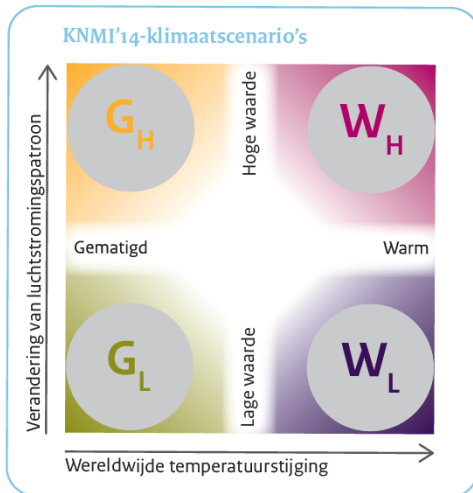
De belangrijkste autonome ontwikkelingen met invloed op het hydrologische systeem zijn:

- 1) Klimaatverandering
- 2) Bodemdaling

Klimaatverandering

De aarde warmt op als gevolg van toename van broeikasgassen in de atmosfeer. Deze opwarming zorgt voor een verandering van het klimaat, die op verschillende manieren gevolgen heeft voor de hydrologie in het projectgebied. Het meest in het oog springend daarbij zijn de effecten op de zeespiegel en de weersomstandigheden. De zeespiegel zal stijgen door het smelten van ijs dat is opgeslagen in de poolkappen en gletsjers en het uitzetten van het zeewater als gevolg van de opwarming. De weersomstandigheden wijzigen doordat klimaatverandering ook zorgt voor veranderingen in weerpatronen en daardoor neerslaghoeveelheden, neerslagpatronen en verdamping beïnvloedt. Op welke wijze de klimaatverandering zich zal voordoen is geen gegeven, omdat dit onder meer afhankelijk is van de uitstoot van broeikasgassen in de toekomst en omdat de complexe interacties tussen bodem, water en atmosfeer niet volledig bekend zijn en begrepen worden.

In Nederland werken we doorgaans met de klimaatscenario's zoals uitgegeven door het KNMI. De vigerende klimaatscenario's tijdens deze studie zijn de klimaatscenario's van 2014. Hierin worden vier scenario's onderscheiden: G_H , G_L , W_H en W_L . In Figuur 7-1 zijn op de assen de temperatuurstijging en de verandering van luchtstromingspatronen uitgezet. Elk scenario beschrijft een bepaalde samenstelling; zo beschrijft het klimaatscenario W_H het klimaat in Nederland bij een hoge temperatuurstijging en een grote verandering van het luchtstromingspatroon. Het klimaatscenario G_L beschrijft het klimaat bij een beperkte verandering in luchtstromingspatroon en beperkte temperatuurstijging.



Figuur 7-1 *Klimaatscenario's en hun betekenis*

Elk klimaatscenario is voor een aantal zichtjaren vertaald naar effecten op een aantal parameters. In paragraaf 7.2.3 wordt dit verder toegelicht.

Bodemdaling

Door gas- en delfstofwinning in de ondergrond in het projectgebied vindt bodemdaling plaats. De toekomst van gas- en delfstofwinning in Groningen is onzeker, maar dat de bodemdaling niet direct stopt staat wel vast.

Overig

Een autonome ontwikkeling die niet is meegenomen betreft een eventuele landgebruiksverandering als gevolg van demografische ontwikkeling en ruimtelijke ordening. Dit is niet volledig in het handelingsperspectief van bovengenoemde partijen, maar deze studie beoogt wel daarvoor bouwstenen aan te leveren.

7.2 Uitgangspunten

7.2.1 Zichtjaren

De effecten van de autonome ontwikkelingen wijzigen naarmate de tijd vordert. Dit heeft tot gevolg dat de effecten op het grondwatersysteem, zowel qua kwantiteit als kwaliteit, verschillen voor verschillende zichtjaren. Voor een aantal zichtjaren is informatie beschikbaar binnen elk klimaatscenario voor relevante parameters zoals neerslag en verdamping. Twee zichtjaren zijn geselecteerd, te weten 2050 en 2085, waarvoor het kwantiteitsmodel is doorgerekend. Deze zichtjaren liggen ver genoeg in de toekomst zodat effecten van autonome ontwikkelingen relevant zijn om in beeld te brengen.

Voor het kwaliteitsmodel geldt dat de chlorideverdeling die hiermee in beeld wordt gebracht een bepaalde traagheid heeft ten opzichte van de grondwaterstanden. De chlorideverdeling reageert op de wijzigingen van de grondwaterstanden en zeespiegel en is een relatief traag proces. Met deze kennis in het achterhoofd is gekozen om het kwaliteitsmodel voor een langere periode door te rekenen, namelijk tot het jaar 3000.

7.2.2 Referentie

Het referentiemodel waarop is voortgebouwd is het gekalibreerde model zoals beschreven in hoofdstuk 4 van dit rapport. Aan dit model zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd om tot een bruikbaar model voor het doorrekenen van de autonome ontwikkelingen te komen:

- Als initiële chlorideverdeling is uitgegaan van het eindresultaat van de paleoberekening (einde tijdvak 1970-2020).
- Onttrekkingshoeveelheden zijn gemodelleerd op basis van de aangeleverde hoeveelheden in de periode 2014-2020.

Om de volgende redenen is ervoor gekozen om als initiële chlorideverdeling voor de scenario's uit te gaan van het eindresultaat van de paleoberekening en niet de chlorideverdeling op basis van interpolateerde metingen:

- De geïnterpoleerde chlorideverdeling vanuit de metingen is niet in evenwicht met het stijghoogteverloop in de huidige situatie. Als beginnen wordt met de geïnterpoleerde metingen, zorgt dat in het eerste deel van de scenarioberekeningen voor aanzienlijke aanpassingen in de berekende chlorideverdeling, die een artefact zijn en logischerwijs niet samenhangen met ingrepen of maatregelen. De betrouwbaarheid van de meetgegevens laat -gezien de beperkte hoeveelheid meetpunten- sterk te wensen over, zeker in de diepere modellagen. Daarom is ervoor gekozen om de uitkomsten van de paleoberekening te gebruiken.
- De studie is bedoeld om inzicht te krijgen in het functioneren van het grondwatersysteem. De precieze chlorideverdeling is daarbij minder relevant, zolang trends en effecten maar duidelijk zijn.

7.2.3 Klimaatscenario's

In Tabel 7-1 zijn de effecten op neerslag, verdamping, zeespiegel en temperatuur weergegeven per klimaatscenario en zichtjaar.

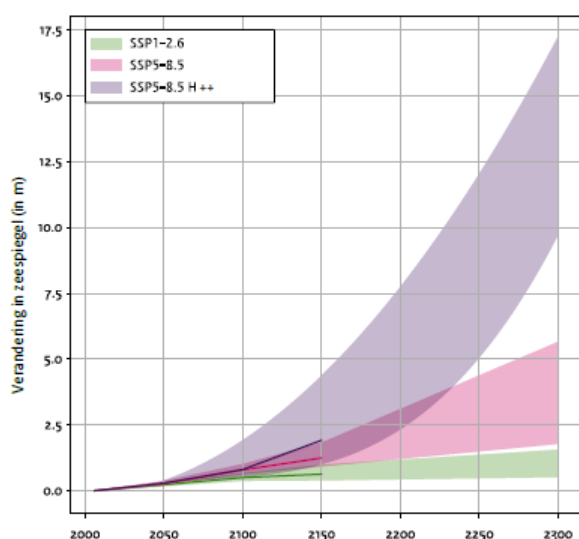
Tabel 7-1 Effecten klimaatscenario per zichtjaar voor een aantal parameters

	Zichtjaar 2050				Zichtjaar 2085			
	G _L	G _H	W _L	W _H	G _L	G _H	W _L	W _H
Δ neerslag - jaar	+4%	+2,5%	+5,5%	+5%	+5%	+5%	+7%	+7%
Δ verdamping - jaar	+3%	+5%	+4%	+7%	+2,5%	+5,5%	+6%	+10%
Δ neerslag – winter	+3%	+8%	+8%	+17%	+4,5%	+12%	+13%	+30%
Δ verdamping - winter	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ neerslag – zomer	+1,2%	-8%	+1,4%	-13%	+1,0%	-8%	-5%	-23%
Δ verdamping - zomer	+4%	+7%	+4%	+11%	+3,5%	+8,5%	+9%	+15%
Zeespiegelstijging	+22,5 cm	+22,5 cm	+30 cm	+30 cm	+42,5 cm	+42,5 cm	+62,5 cm	+62,5 cm
Temperatuur	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C	+1,5°C	+1,5°C	+3,5°C	+3,5°C

De temperatuur neemt in elk scenario toe, waarbij tussen G en W onderscheid is in de grootte van de toename per zichtjaar. In 2050 is de toename resp. 1 of 2 graden, in 2085 1,5 tot 3,5 graad. De zeespiegelstijging varieert eveneens tussen G en W. Tot 2050 is de toename redelijk gelijk met resp. 22,5 tot 30 cm. In 2085 is het verschil in toename tussen G en W groter. De neerslag neemt in alle scenario's

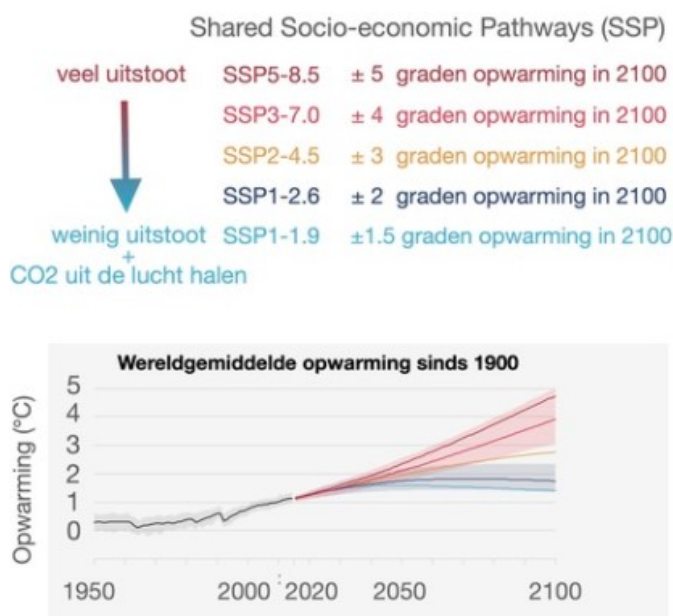
over het hele jaar gezien toe, waarbij de toename groter is voor 2085 vergeleken met 2050. Dit geldt ook voor de verdamping. De grote verschillen tussen de scenario's zijn vooral goed zichtbaar wanneer vergeleken wordt voor respectievelijk zomer en winter voor neerslag en verdamping. In klimaatscenario W_H neemt de neerslag in de winter sterk toe met 17% in 2050 en 30% in 2085. In het zomerseizoen neemt de neerslag echter af, met respectievelijk 13 en 23%. Vergeleken met bijvoorbeeld G_L zijn de verschillen groot. De neerslag in zowel winter als zomer neemt toe, zij het relatief beperkt met enkele procenten. De verdamping neemt ook enkele procenten toe.

Verder naar de toekomst is vanuit het KNMI geen klimaatscenario gedefinieerd waarop teruggevallen kan worden voor bijvoorbeeld grondwateraanvulling en zeespiegelstijging. In het Klimaatsignaal (KNMI, 2021) is wel een doorkijk gemaakt. Door het IPCC zijn verschillende 'Shared Socio Economic Pathways' (SSP) gedefinieerd. Deze SSP's zijn scenario die een verschillende toekomstige uitstoot van broeikasgassen tot gevolg hebben. Bij elk SSP scenario hoort vervolgens ook een bepaalde opwarming van de aarde in graden. Een laag SSP scenario nummer betekent weinig uitstoot of zelfs het onttrekken van broeikasgas op een gegeven moment. Voor de SSP scenario's is een verdere doorkijk in de toekomst gekeken hoe de temperatuurstijging en zeespiegelstijging zich kan voordoen. In Figuur 7-2 is bijvoorbeeld de zeespiegelstijging weergegeven voor een aantal scenario's. Zichtbaar is de grote bandbreedte binnen en tussen de scenario's.



Figuur 7-2 Zeespiegelscenario's voor de Nederlandse Kust tot 2300 voor SSP1-2.6, SSP-8.5 en SSP-8.5 H++ (meenemen van onzekere ijskap processen). De kleuren geven de 67% waarschijnlijke bandbreedte.

De temperatuurstijging per SSP scenario is weergegeven in Figuur 7-3. Voor deze studie is een koppeling gemaakt tussen de klimaatscenario's van het KNMI weergegeven in Figuur 7-1 en de SSP scenario's op basis van temperatuur.



Figuur 7-3 Temperatuurstijging per SSP (IPCC / AR6)

De G scenario's hebben in 2085 een temperatuurstijging van 1,5 graad. Dit komt ongeveer overeen met SSP1-1.9 qua temperatuurstijging. De temperatuur stijgt vervolgens niet meer in dit SSP scenario. De W scenario's hebben in 2085 een temperatuurstijging van 3,5 graad. Dit valt tussen SSP2-4.5 en SSP3-7.0 qua overeenkomstige stijging van de temperatuur. Voor deze SSP scenario's geldt dat de temperatuurstijging niet of beperkt afvlakt rond 2100, de trend is nog altijd een stijging. SSP2-4,5 lijkt wat af te vlakken, SSP3-7.0 niet.

Voor de grondwateraanvulling is aangenomen dat deze een sterk verband heeft met de temperatuur. Door deze aanname is het mogelijk om voor respectievelijk G en W scenario's de ontwikkeling van de grondwateraanvulling te koppelen aan de temperatuur. Dit leidt ertoe dat we de grondwateraanvulling voor de G scenario's vanaf 2085 constant aannemen. De temperatuur stijgt niet meer, dus de grondwateraanvulling ook niet. Voor de W scenario's geldt dat de temperatuur nog wel stijgt. Aangenomen is dat de stijging in 2200 is afgevlakt. Dit is voor de grondwateraanvulling vertaald door de trend in 2085 door te zetten en vanaf 2200 een constante grondwateraanvulling te veronderstellen.

Per SSP is verder naar de toekomst weergegeven wat de zeespiegel mogelijk gaat doen bij bepaalde SSP scenario's (zie voorbeeld in Figuur 7-2). De zeespiegelstijging zet nog langer door na het eventuele stagneren van de temperatuurstijging. Dit is het gevolg van langzamere processen die nog lang invloed hebben op -onder meer- het smelten van ijs.

Van het KNMI dataportaal zijn per klimaatscenario per zichtjaar de rasterbestanden voor respectievelijk neerslag en verdamping gedownload. Deze rasterbestanden beschrijven gezamenlijk respectievelijk de getransformeerde neerslag en verdamping per tijdstap representatief voor het klimaatscenario. De referentie hierbij is de periode 1981-2010. Vanuit deze rasterbestanden zijn reeksen opgebouwd voor de neerslagstations. Deze reeksen zijn vervolgens gebruikt om FLUZO mee te voeden. Vanuit deze exercitie zijn databanken opgebouwd (Fluzo-databank). Per zichtjaar en klimaatscenario is een fluzo-databank opgebouwd waarin per tijdstap en per neerslagstation een grondwateraanvulling per bodemtype, landgebruik en grondwaterstand is berekend. In de grondwatermodelberekeningen wordt vervolgens per rekenpunt op basis van het representatieve neerslagstation, bodemtype, landgebruik, tijdstap en de grondwaterstand de grondwateraanvulling opgehaald uit de databank. Voor het kwaliteitsmodel is een

stationaire grondwateraanvulling berekend, die representatief is voor elk tijdvak wat is doorgerekend op basis van de aannames beschreven en passend bij Tabel 7-2.

Tabel 7-2 Implementatie zeespiegelstijging en grondwateraanvulling

	2300				3000			
	G _L	G _H	W _L	W _H	G _L	G _H	W _L	W _H
Temperatuur	+1,5°C	+1,5°C	>3,5°C	>3,5°C	+1,5°C	+1,5°C	>3,5°C	>3,5°C
Zeespiegelstijging	+100 cm	+100 cm	+200 cm	+200 cm	+150 cm	+150 cm	+300 cm	+300 cm
Grondwateraanvulling	Zoals zichtjaar 2085	Zoals zichtjaar 2085	Extrapolatie tot 2200, daarna constant	Extrapolatie tot 2200, daarna constant	Zoals zichtjaar 2085	Zoals zichtjaar 2085	Extrapolatie tot 2200, daarna constant	Extrapolatie tot 2200, daarna constant

De overige karakteristieken van het grondwateraanvullingsproces zijn niet gewijzigd. Dit is niet per definitie terecht. Door klimaatverandering kunnen ook de gewasverdampingsfactoren in de tijd veranderen. Door bijvoorbeeld hogere temperaturen in een bepaald klimaatscenario kan het zijn dat voor bepaalde gewassen een langer groeiseizoen mogelijk is. Het gewas zou dan eerder beginnen met groeien en dus ook eerder en langer transpiratie en interceptie kunnen hebben. In de studie is dit nu niet meegenomen omdat een goede onderbouwing en implementatie binnen de scope van het de studie niet inpasbaar was.

7.2.4 Bodemdaling

De totale bodemdaling bestaat uit een aantal deelprocessen, die elk hun eigen bijdrage hebben in de mate en locatie van bodemdaling (zie ook 6.2.8). De volgende processen zijn opgenomen in de beschouwing en modellering voor autonome ontwikkeling:

- Bodemdaling als gevolg van gaswinning;
- Bodemdaling als gevolg van zoutwinning;
- Bodemdaling als gevolg van veenoxidatie.

Voor de bodemdaling als gevolg van gaswinning zijn prognoses beschikbaar voor 2030, 2050 en 2080 (NAM, december 2020). Deze zijn gebruikt om de bodemdaling in de toekomst mee te schematiseren.

Voor de zoutwinning van NEDMAG B.V. is geen prognose beschikbaar. NEDMAG B.V. geeft als indicatie af dat de daling 1,5 tot 2,5 cm/jaar bedraagt. Royal HaskoningDHV (RHDHV, 2018) heeft onderzoek verricht naar de toekomstige bodemdaling. Geconcludeerd is dat de maximale totale bodemdaling, vanaf 1972, in het centrum van dit specifieke bodemdalingsgebied 95 cm bedraagt. Deze prognose is gebruikt om de bodemdaling van dit proces mee te schematiseren. Hierbij is het huidige verlagingsgebied gehanteerd en is een interpolatie uitgevoerd waarbij voor het meest gedaalde punt in 2018 is opgelegd dat deze in de toekomst 95 cm daalt. Naar de randen van de deze deelverlagingscontour is geïnterpoleerd tussen 0 en 95 cm. De verwachting is dat deze bodemdaling al bereikt wordt voor 2050 (vanuit indicatie bodemdaling bepaald), dus deze bodemdaling is voor zowel 2050 als 2085 gelijk opgenomen.

Voor de veendiktes in het gebied van Waterschap Hunze en Aa's zijn berekende veendiktes op kaart beschikbaar voor 2011 en 2050 (Grontmij, 2011). Door Grontmij is ook het verschil bepaald tussen beide tijdstippen. Dit bestand is gebruikt om de bodemdaling tot 2050 in beeld te brengen, waarbij één aanpassing is opgenomen. Deze bodemdaling is namelijk soms groter dan de veendikte boven de GLG,

wat gevoelsmatig niet klopt. Daar waar dit van toepassing is, is dit gecorrigeerd door de veendikte boven de GLG als limiterend te zien. Voor 2085 is geen prognose beschikbaar. De trend van de veenoxidatie tussen 2011 en 2050 is berekend en vervolgens geëxtrapoleerd naar 2085 om dit handen en voeten te geven. Dit is wederom gelimiteerd aan de hand van de veendikte boven de GLG (indien noodzakelijk). Voor het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest is geen prognose beschikbaar en is voor het eerder geïnventariseerde gebied, zie Figuur 6-8, aangenomen dat de veenoxidatie respectievelijk 10 en 20 cm is voor 2050 en 2085.

De bodemdaling en afname van het veen is in het model verwerkt in het gemodelleerde maaiveld, de peilen en een afname van de weerstand in de bodem door het oxideren van veen. Voor de peilen is het uitgangspunt genomen dat de drooglegging gelijk blijft, ongeacht de bodemdaling. De peilen zakken dus ten opzichte van NAP mee met de bodem.

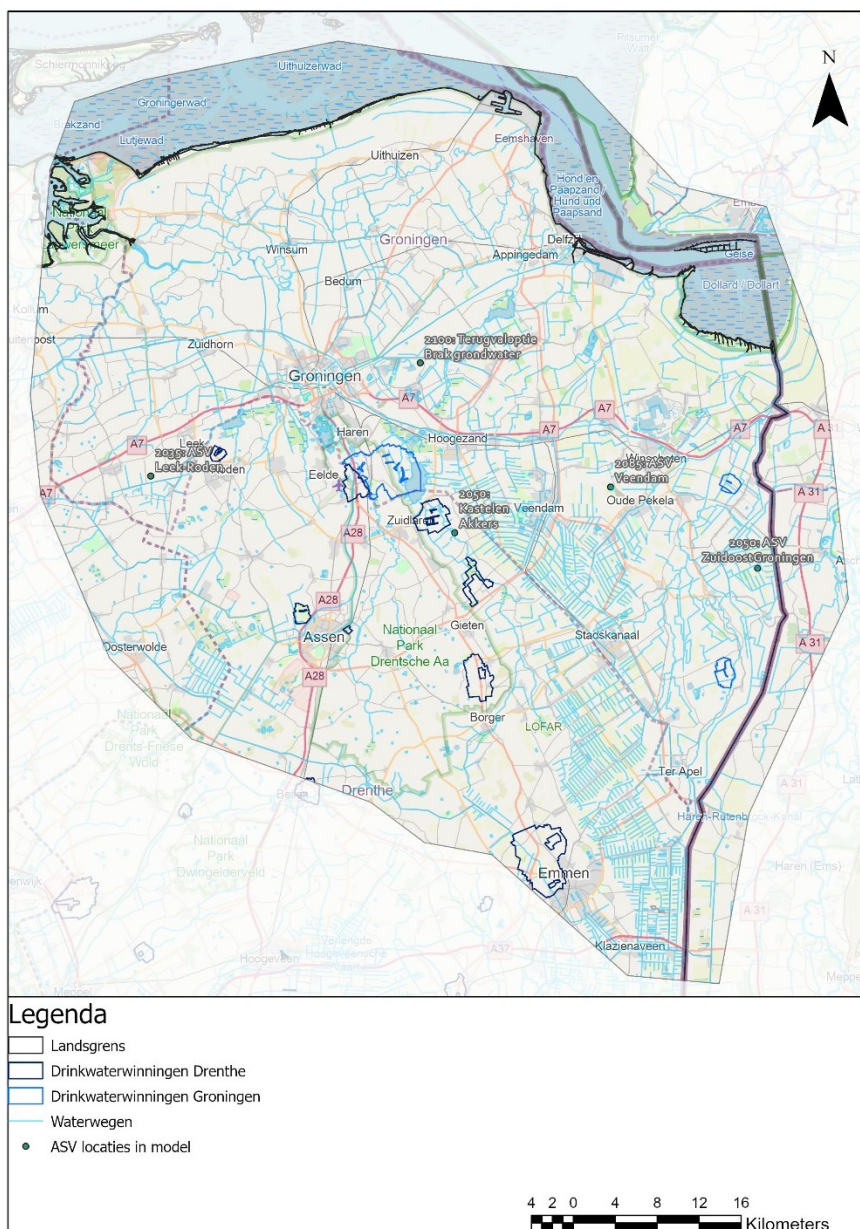
7.2.5 Onttrekkingen

De onttrekkingshoeveelheden zijn alleen voor klimaatscenario W_H gewijzigd. Voor dit scenario is op basis van de geprognosticeerde stijging van de drinkwatervraag een wijziging opgelegd. De onderbouwing hiervoor is dat deze stijging van de drinkwatervraag gerelateerd is aan dit klimaatscenario. De drinkwatervraag zal dus met name een stijging doorgaan indien dit klimaatscenario realiteit wordt. Deze stijging van de drinkwatervraag bedraagt grofweg 25 miljoen m^3 /jaar tot 2050 en nogmaals een stijging van 25 miljoen m^3 /jaar tot 2100. De allocatie van deze stijging is door de projectgroep aangeleverd en weergegeven in Tabel 7-3. Hieronder vallen dus onder meer een aantal locaties die nu nog geen operationele winning betreffen, de zogeheten Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's). Deze ASV-locaties, onttrekkingshoeveelheden en allocatie van de hoeveelheden zijn geen bestaand beleid. Dit dient in oenschouw genomen te worden bij het beoordelen van de resultaten.

Tabel 7-3 Onttrekkingshoeveelheden in miljoen m^3 /jaar per zichtjaar voor klimaatscenario W_H

Naam	x	y	debiet [miljoen m^3 /jaar]			diepte
			2050	2085	>2100	
ASV Leek-Roden	217250	572650	6	6	6	60
ASV Zuidoost Groningen	275150	563850	6	6	6	100
ASV Veendam	261100	571600	0	6	6	60
ASV Terugvaloptie brak grondwater	242950	583475	0	0	6	60
Assen Oost	n.v.t.	n.v.t.	5	5	5	30-100
Annen	n.v.t.	n.v.t.	8,4	9,66	9,66	55-120
ASV Kastelenakkers	246250	567250	5	6,5	6,5	30-100
Gasselte	n.v.t.	n.v.t.	2,5	2,875	2,875	55-70
NoordBargeres	n.v.t.	n.v.t.	5	5,75	5,75	45-60
Valtherbos	n.v.t.	n.v.t.	8,5	9,775	9,775	30-50
Beilen	n.v.t.	n.v.t.	6,5	8,05	8,05	44-72

In Figuur 7-4 zijn de geschematiseerde ASV locaties weergegeven, met de aantekening dat deze ten behoeve van deze studie als zodanig zijn geschematiseerd, maar nog niet middels besluitvorming zijn vastgelegd.



Figuur 7-4 Geschematiseerde ASV locaties en start onttrekking in modellering

7.3 Resultaten

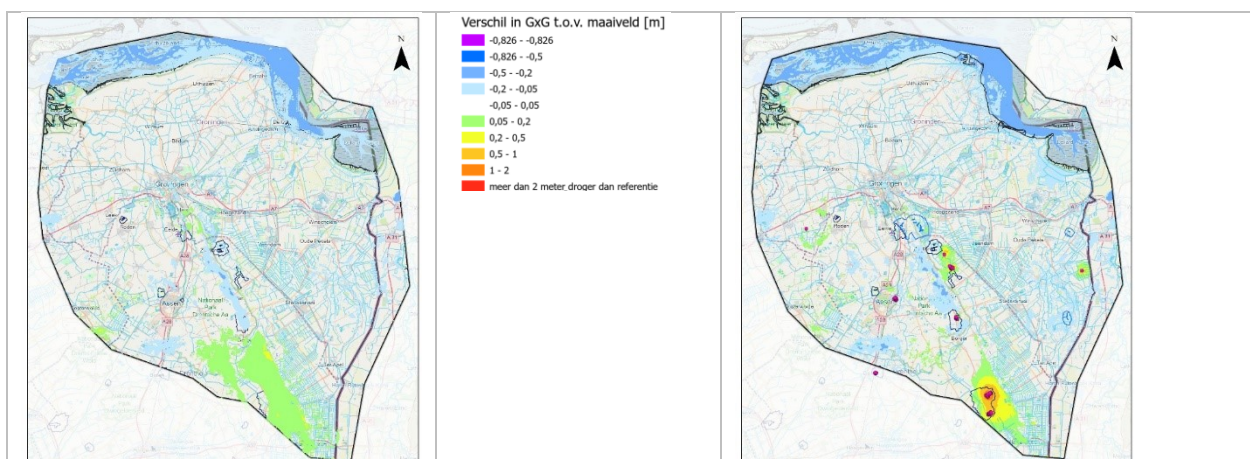
Het kwantiteits- en kwaliteitsmodel zijn doorgerekend voor de klimaatscenario's G_L, G_H, W_L en W_H . Het kwantiteitsmodel is daarbij doorgerekend voor de zichtjaren 2050 en 2085. Het kwaliteitsmodel is doorgerekend tot 3000.

7.3.1 Kwantiteit

In deze paragraaf zijn de effecten beschreven van de autonome ontwikkelingen op het grondwaterregime.

Zichtjaar 2050

De effecten zijn gepresenteerd aan de hand van de effectkaarten⁸ GHG (Figuur 7-5) en GLG (Figuur 7-6) ten opzichte van referentie en maaiveld voor klimaatscenario's G_L en W_H . Deze twee klimaatscenario's betreffen de uitersten van de doorgerekende klimaatscenario's en geven daarmee de uitersten van de effecten weer.

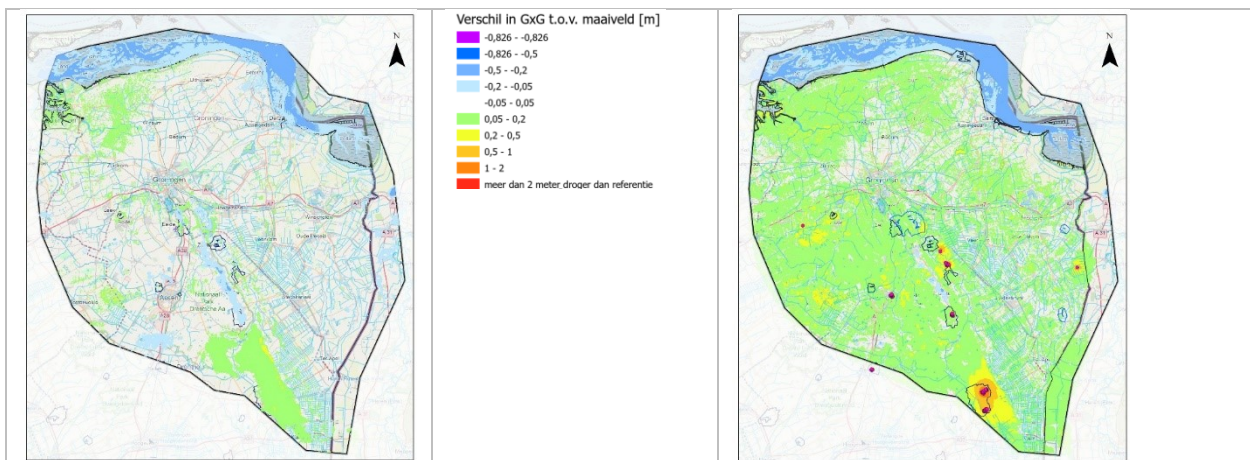


Figuur 7-5 Effecten GHG 2050 t.o.v. maaiveld en referentie (links: G_L , rechts: W_H)

De effecten op GHG zijn voor beide klimaatscenario's relatief beperkt. Lokaal worden verhogingen berekend van 5 tot 20 cm, met name in het noordelijk deel van de Hondsrug. Ten westen van de Hondsrug worden ook verlagingen van de GHG berekend, van 5 tot 20 cm. Ondanks de hogere neerslag in de winter leiden de klimaatscenario's G_L en W_H niet tot grootschalige vernatting.

De effecten op de GLG zijn uitgebreider, zie Figuur 7-6. Het G_L scenario leidt vooral tot verlagingen van de GLG in het zuidelijk deel van de Hondsrug, het gebied ten westen van de Hondsrug en het noordwestelijk deel van Groningen en tot verhogingen van de GLG in onder meer het noordelijk deel van de Hondsrug. Het W_H -scenario zorgt over vrijwel het gehele projectgebied voor verlagingen van de GLG in de orde van 5 tot 20 cm. In beide klimaatscenario's neemt de grondwateraanvulling in de zomer af. In klimaatscenario G_L neemt de neerslag in de zomer toe, maar neemt tegelijk de verdamping toe. Het netto resultaat is een beperkte afname van de grondwateraanvulling. Deze beperkte afname van de grondwateraanvulling zorgt in grote gebieden voor enige verlaging van de GLG, alleen in traag reagerende systemen zoals het noordelijk deel van de Hondsrug wordt nog enige verhoging van de GLG berekend (vertraagd effect van het hogere neerslagoverschot in de winter). In klimaatscenario W_H neemt de neerslag in de zomer af en neemt de verdamping toe. Netto resultaat is een forse vermindering van de grondwateraanvulling in de zomerperiode, waardoor over vrijwel het gehele projectgebied verlagingen van de GLG worden berekend.

⁸ Betreft de effecten op de berekende grondwaterstanden

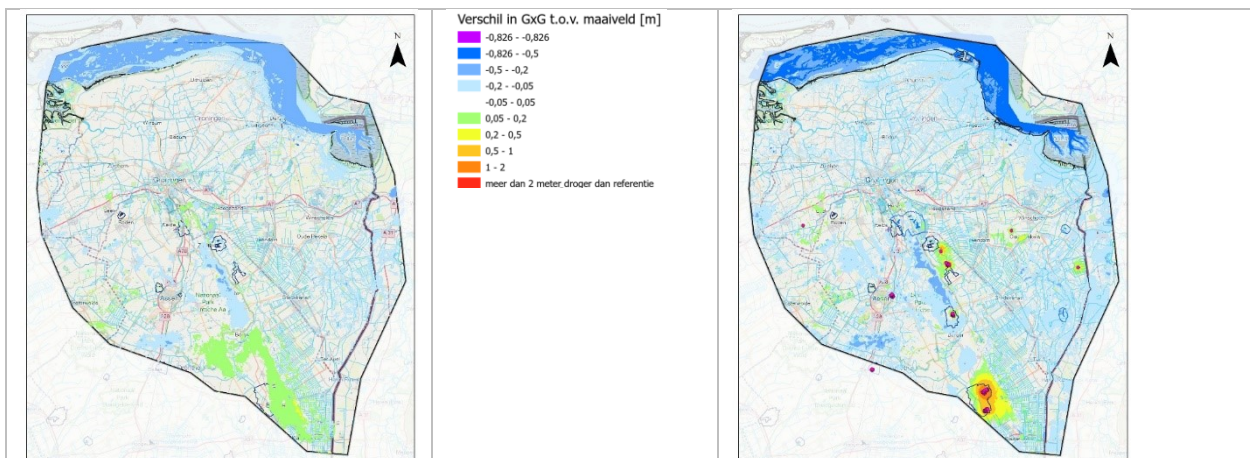


Figuur 7-6 Effecten GLG 2050 t.o.v. maaiveld en referentie (links: G_L , rechts: W_H)

In het W_H -scenario is uitgegaan van vergroting van de grondwaterwinningen, zie Tabel 7-3. Daardoor worden in het W_H -scenario verlagingen van de GHG en de GLG rond de winningen berekend, tot maximaal ongeveer 1 meter. De zeespiegelstijging heeft voor dit zichtjaar nog weinig grondwatereffecten tot gevolg in het projectgebied, zowel in geval van de GHG als de GLG.

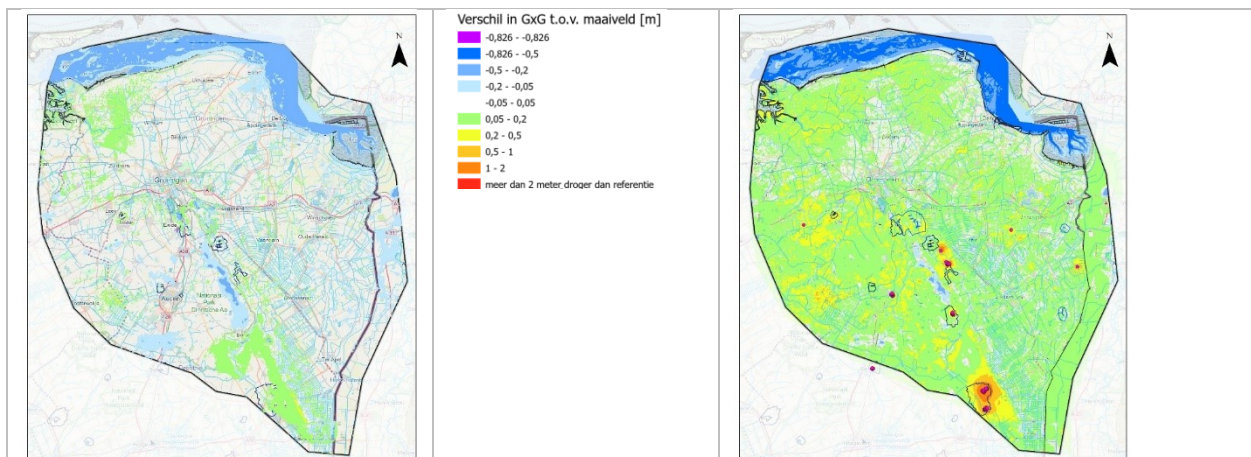
Zichtjaar 2085

De berekende effecten op de GHG en GLG zijn weergegeven in Figuur 7-7 en Figuur 7-8.



Figuur 7-7 Effecten GHG 2085 t.o.v. maaiveld en referentie (links: G_L , rechts: W_H)

De effecten op de GHG zijn, evenals voor zichtjaar 2050, voor beide klimaatscenario's relatief beperkt, in de orde van lokaal 5 tot 20 cm. Het G_L scenario zorgt lokaal voor verhogingen van de GHG van 5 tot 20 cm, met name in het noordelijk deel van de Hondsrug. Ten westen van de Hondsrug worden ook verlagingen van de GHG berekend, van 5 tot 20 cm. In het W_H scenario worden over vrijwel het gehele projectgebied, met uitzondering van de gebieden rond de drinkwaterwinningen, verhogingen van de GHG berekend, meestal tussen 5 en 20 cm.



Figuur 7-8 Effecten GLG 2085 t.o.v. maaiveld en referentie (links: G_L , rechts: W_H)

De berekende effecten op de GLG (zie Figuur 7-8) zijn vergelijkbaar met die voor zichtjaar 2050. Het G_L scenario leidt vooral tot verlagingen van de GLG in het zuidelijk deel van de Hondsrug, het gebied ten westen van de Hondsrug en het noordwestelijk deel van Groningen en tot verhogingen van de GLG in onder meer het noordelijk deel van de Hondsrug. Het W_H -scenario zorgt over vrijwel het gehele projectgebied voor verlagingen van de GLG in de orde van 5 tot 20 cm.

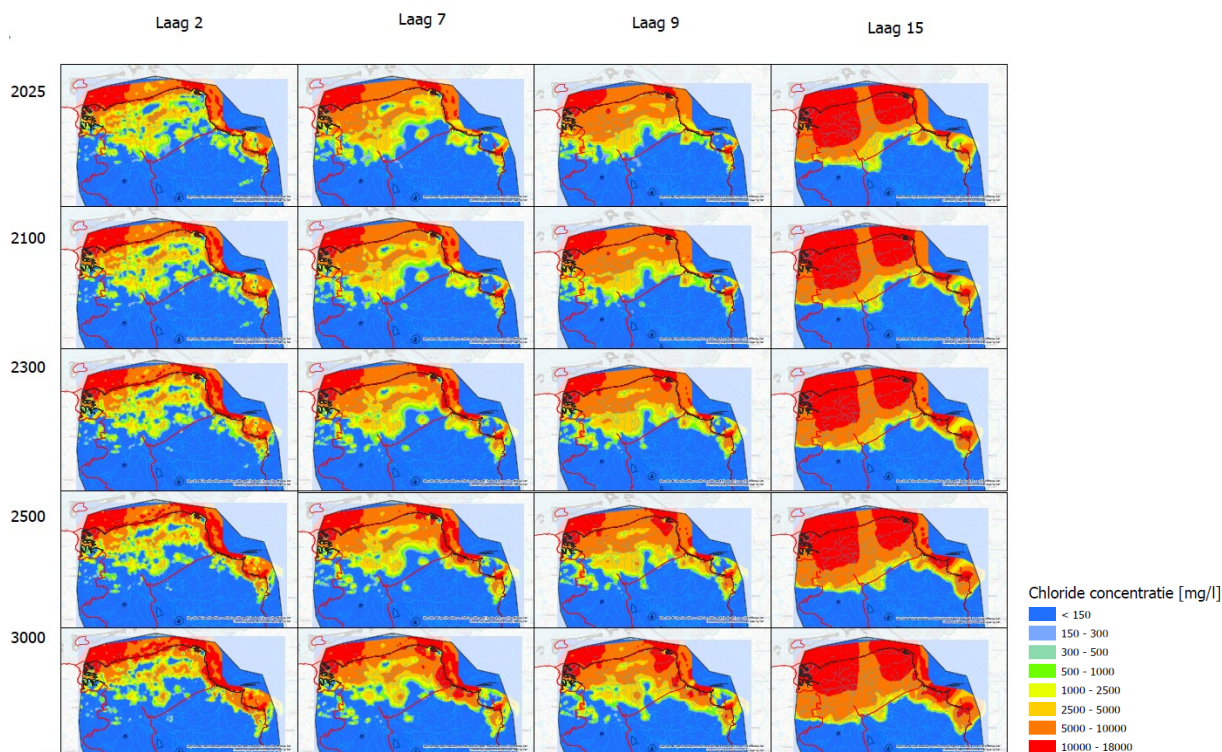
In het W_H -scenario is uitgegaan van vergroting van de grondwaterwinningen, zie Tabel 7-3. Daardoor worden in het W_H -scenario verlagingen van de GHG en de GLG rond de winningen berekend, tot maximaal ongeveer 1 meter. Ook is te zien in dit zichtjaar dat, t.o.v. 2050, enige verdroging rondom ASV Veendam is berekend. Deze ASV is nieuw ten opzichte van 2050 qua onttrekking.

De zeespiegelstijging als effect is duidelijker zichtbaar als gevolg van de grotere stijging in dit zichtjaar ten opzichte van de referentie. De extra zeespiegelstijging zorgt echter niet voor grote effecten op de grondwaterstanden.

7.3.2 Kwaliteit

Referentie

De effecten op de chlorideverdeling zijn in eerste instantie voor de referentie doorgerekend. In deze referentieberekening zijn maaiveld, zeespiegel, grondwateraanvulling etc. gelijk gehouden aan de huidige situatie. Vervolgens is het model doorgerekend voor een periode gelijk aan een doorrekening tot 3000. Deze berekening is uitgevoerd omdat de chlorideverdeling niet in evenwicht is en dus ook ongeacht van wijzigingen in grondwaterstanden (a.g.v. autonome ontwikkelingen) zal wijzigen. Het is dus relevant om deze beweging in chlorideverdeling door te rekenen, zodat vervolgens de effecten van de autonome ontwikkelingen op de chlorideverdeling gescheiden kan worden van de effecten als gevolg van het niet in evenwicht zijn van de chlorideverdeling. Dit is weergegeven in Figuur 7-9.



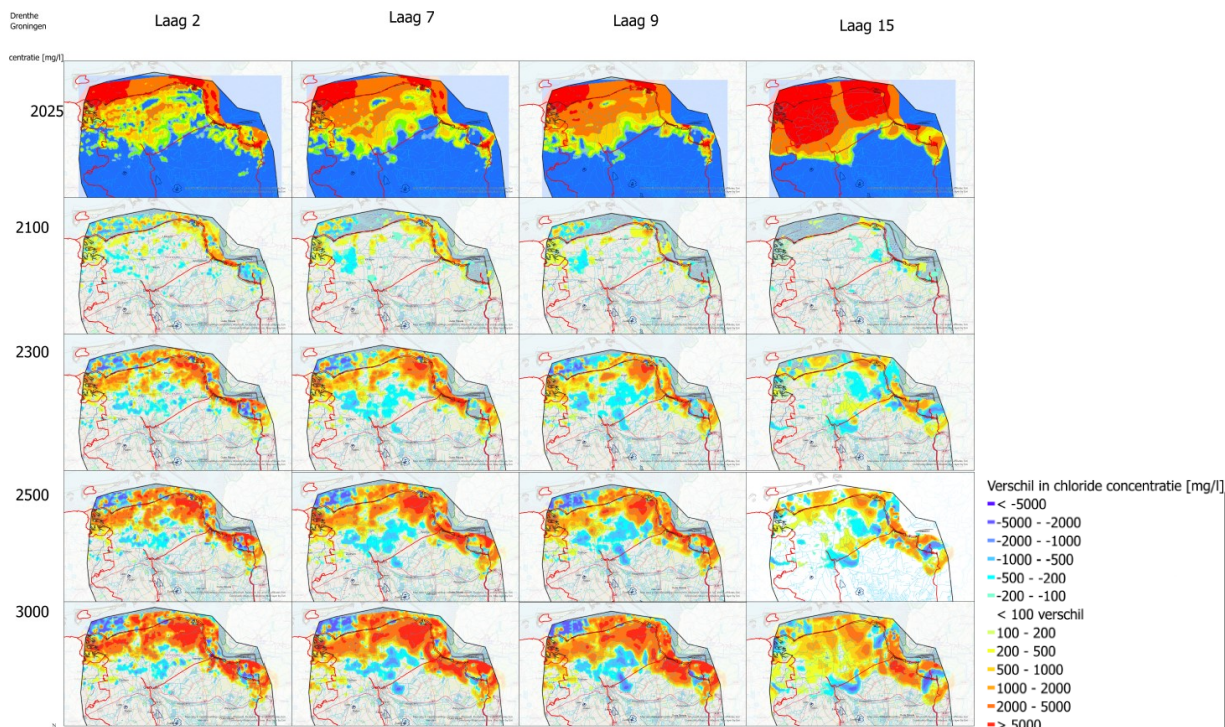
Figuur 7-9 Ontwikkeling chlorideverdeling bij huidig watersysteem.

Van links naar rechts is elke keer wat dieper in de ondergrond de chlorideverdeling weergegeven. Van boven naar beneden is telkens verder naar de toekomst de chlorideverdeling voor betreffende laag weergegeven. Ondiep (laag 2) is te zien dat naar de toekomst toe in Oldambt nabij de Dollard verzilting plaatsvindt. De zoutindringing ter plaatse wordt aangedreven door de aanwezigheid van de, relatief jonge, Dollard. Ten noorden van het Eemskanaal en ten westen van de stad Groningen vindt juist een verzoeting plaats. In het noordwestelijke deel van Groningen is vooral verzoeting berekend. In het verleden heeft hier tot Groningen een zeearm gelegen (de Lauwers), die heeft gezorgd voor aanzienlijke verzilting. De zeearm is gaandeweg de eeuwen ingepolderd. Door infiltratie van het neerslagoverschot treedt hier geleidelijke verzoeting op.

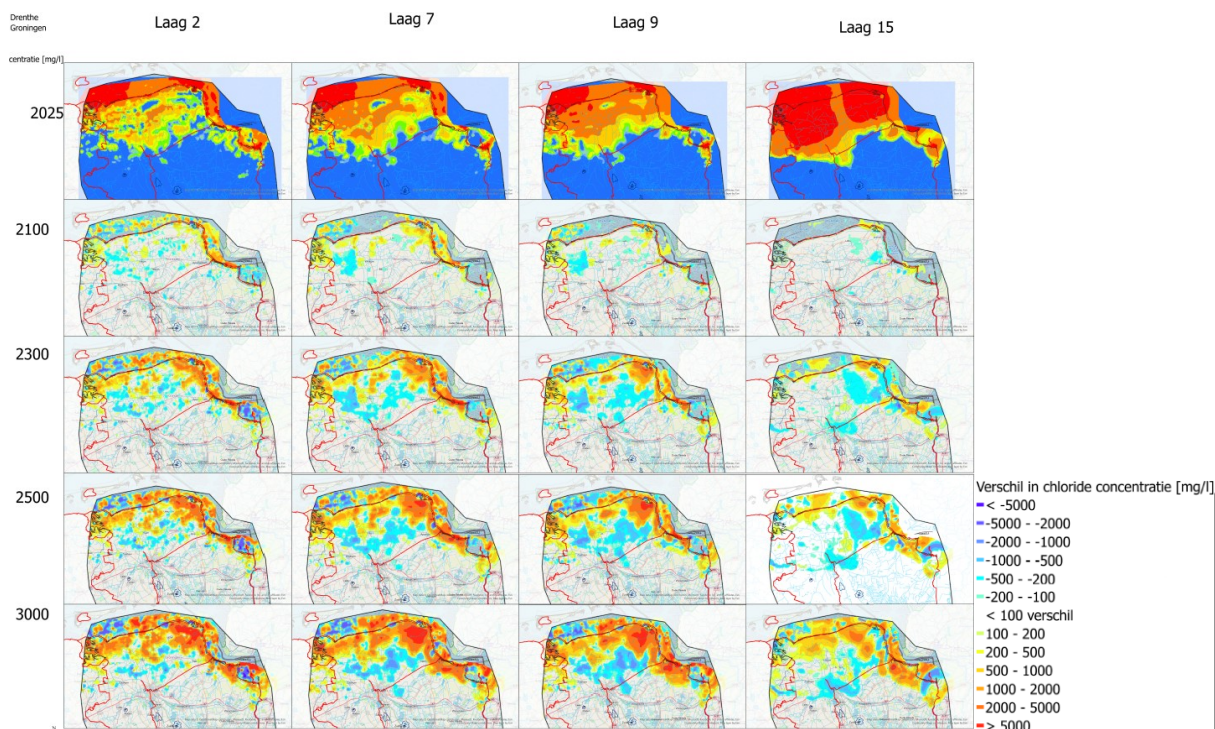
In de diepere pakketten is nabij de Dollard in alle pakketten verzilting berekend. In het noordwestelijke deel is in de diepere pakketten meestal ook verzoeting berekend, maar in het diepste (gepresenteerde) pakket is dit minder goed zichtbaar. De rode contour maakt echter wel een 'terugtrekkende' beweging.

Effecten Klimaatscenario's

De resultaten van de twee klimaatscenario's G_H en G_L lijken sterk op elkaar. Even goed lijken ook de effecten van klimaatscenario's W_H en W_L sterk op elkaar. Tussen G en W worden wel verschillen berekend, voornamelijk door het verschil in zeespiegelstijging. Het verschil in grondwateraanvulling tussen de klimaatscenario's komt minder tot uiting. In Figuur 7-10 is het effect op de chlorideverdeling van klimaatscenario W_H weergegeven. Het eerste zichtjaar 2025 geeft de chlorideverdeling weer in de eerste tijdstap. Vervolgens is weergegeven welk effect ten opzichte van de referentie het klimaatscenario teweeg brengt (dus ten opzichte van Figuur 7-9). In Figuur 7-11 is ditzelfde weergegeven voor klimaatscenario G_L .



Figuur 7-10 Effect van klimaatscenario W_H op chlorideverdeling voor zichtjaren 2100 en verder



Figuur 7-11 Effect van klimaatscenario G_L op chlorideverdeling voor zichtjaren 2100 en verder

Te zien is dat de richting van de veranderingen (verzoeting of verzilting) tussen beide grofweg gelijk is. Nabij de kustlijn vindt in beide gevallen verzilting plaats onder druk van de stijgende zeespiegel. De mate van verzilting is in het W_H scenario groter, te zien aan de roedere kleuren. De verzoeting is in het G_L scenario wat sterker, waarschijnlijk doordat de zeespiegelstijging hier beperkter is en dus minder

tegendruk geeft aan de verzoeting. In het diepste pakket in de verre toekomst (3000) is in het W_H scenario de verzilting dieper landinwaarts dan in het G_L scenario.

8 Verkennde scenario's

8.1 Algemeen

In totaal zijn 12 verkennde scenario's doorgerekend, waarin de effecten van individuele maatregelen op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalansen) en de waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) zijn berekend en geanalyseerd. De verkennde scenario's zijn allemaal gebaseerd op en vergeleken met het scenario Autonom-W_H (autonome ontwikkeling met KNMI-klimaatscenario W_H).

In paragraaf 8.2 volgt een beschrijving van de 12 verkennde scenario's. De uitgangspunten voor de doorrekening van de verkennde scenario's zijn beschreven in paragraaf 8.3. De resultaten van de verkennde scenario's volgen in paragraaf 8.4. Per verkennd scenario wordt kort ingegaan op de uitwerking (de wijze waarop de maatregelen zijn verwerkt in de modelschematisatie) en worden de effecten op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalans) en waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) gepresenteerd en toegelicht. Tot slot volgt in paragraaf 8.5 een samenvattend overzicht van de resultaten van de verkennde scenario's.

8.2 Overzicht

Tabel 8-1 geeft een overzicht van de 12 verkennde scenario's. Voor elk verkennd scenario is een korte toelichting opgenomen en is de doelstelling beknopt verwoord.

Tabel 8-1 Overzicht en toelichting doorgerekende verkennde scenario's

Verkennd scenario	Toelichting	Doelstelling scenario
1 – Peilverhoging veengebied	Vermindering drooglegging in de veengebieden. Geen rekening houden met verminderde bodemdaling.	Vernatten veengebieden t.b.v. CO ₂ -reductie, uitstraling naar omgeving verkennen.
1b – Peilverhoging veengebied incl. beperking bodemdaling	Vermindering drooglegging in de veengebieden. Rekening houden met verminderde bodemdaling door vermindering drooglegging.	Vernatten veengebieden t.b.v. CO ₂ reductie, uitstraling naar omgeving verkennen, gevolgen beperking bodemdaling verkennen.
2 – Stoppen wateraanvoer	Stoppen wateraanvoermogelijkheid en infiltratie vanuit watergangen in deelgebied waar nu wateraanvoer mogelijk is.	Verkennen afhankelijkheid van wateraanvoer en bepalen effecten van het stopzetten van wateraanvoer.
3 - Peilverhoging wateraanvoergebied + slootboderverhoging vrij afwaterende zandgronden	Verhogen van de oppervlaktewaterpeilen in het gebied waar wateraanvoer mogelijk is. In vrij afwaterende gebieden verondiepen van sloten en watergangen door verhoging van de bodem.	Verkenning van aanvullende wateraanvoerbehoefte, gevolgen op grondwaterstanden ter plaatse van hoge zandgronden.
4 - Spaarwater	Doorvoeren zogenoemde spaarwatermaatregelen in noordelijk kleigebied Groningen.	Verkenning van regionaal waterconserverend effect en langjarig effect op verzilting.
5 – Brak- en zoutwaterwinning	Nieuwe grondwateronttrekkingen brak en zout grondwater nabij de Eemshaven en Groningen.	Verkenning effect op verzilting en waterkwantiteit.
6 – Effecten berekening	<i>Is komen te vervallen, zie hieronder.</i>	<i>Is komen te vervallen, zie hieronder.</i>
7 – Peilverhoging kuststrook	Peilverhoging in kuststrook van Groningen.	Tegengaan van verziltingseffecten a.g.v. zeespiegelstijging.
8 – Beekdalbrede inrichting	Beekdalvlaktes reserveren voor optimaal ecologisch herstel van de beken. Omzetten van intensieve landbouw naar natuur of natuurinclusieve landbouw. Beperking detailontwatering in de beekdalvlaktes.	Berekenen effecten beekdalbrede inrichting op grondwaterregime in de Pleistocene delen van het modelgebied.

Verkennd scenario	Toelichting	Doelstelling scenario
9 - Bosomvorming	Volledig areaal bos omvormen naar heide.	Verkenning effect extra grondwateraanvulling op grondwaterstanden.
10 – Afkoppeling verhard oppervlak	Afkoppelen en in de bodem infiltreren van hemelwaterafvoer van stedelijk gebied.	Verkenning effect van afkoppelen verhard oppervlak op grondwaterregime.
11 – Beperken drinkwaterwinning	Vermindering van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater.	Verkenning van effect van verminderen van de drinkwaterwinning uit grondwater op het grondwaterregime.

In de studie is ook getracht de effecten van berekening en het instellen van een beregeningsplafond in beeld te brengen (scenario 6). Een waarheidsgetrouwe weergave van deze effecten bleek echter niet mogelijk, als gevolg van het ontbreken van betrouwbare gegevens omtrent bestaande beregeningsinstallaties ten aanzien van locatie, onttrekkingsdebiet en moment van onttrekken. De resultaten van scenario 6 zijn daarom niet gepresenteerd in dit rapport.

8.3 Uitgangspunten verkennende scenario's

Alle verkennende scenario's zijn gebaseerd op het autonome scenario W_H (Autonoom- W_H). Dat betekent dat de maatregelen zijn verwerkt in de modelschematisatie van Autonoom- W_H . De veranderingen in berekende grondwaterstanden en chlorideverdeling in de ondergrond zijn per scenario uitgedrukt ten opzichte van Autonoom- W_H .

Net als het scenario Autonoom- W_H is het grondwaterkwantiteitsmodel per verkennend scenario doorgerekend voor de weerjaren 2001 tot en met 2019, waarbij de GxG steeds is berekend over de periode van 2012 tot en met 2019. De kwantiteitsberekeningen van alle verkennende scenario's zijn uitgevoerd voor het zichtjaar 2085.

De berekeningen met het grondwaterkwaliteitsmodel zijn per verkennend scenario gestart met de berekende chlorideverdeling aan het eind van de paleoberekening als startvoorwaarden. Vervolgens is per verkennend scenario de periode tot het jaar 3000 doorgerekend, met dezelfde tijdsintervallen als het scenario Autonoom- W_H .

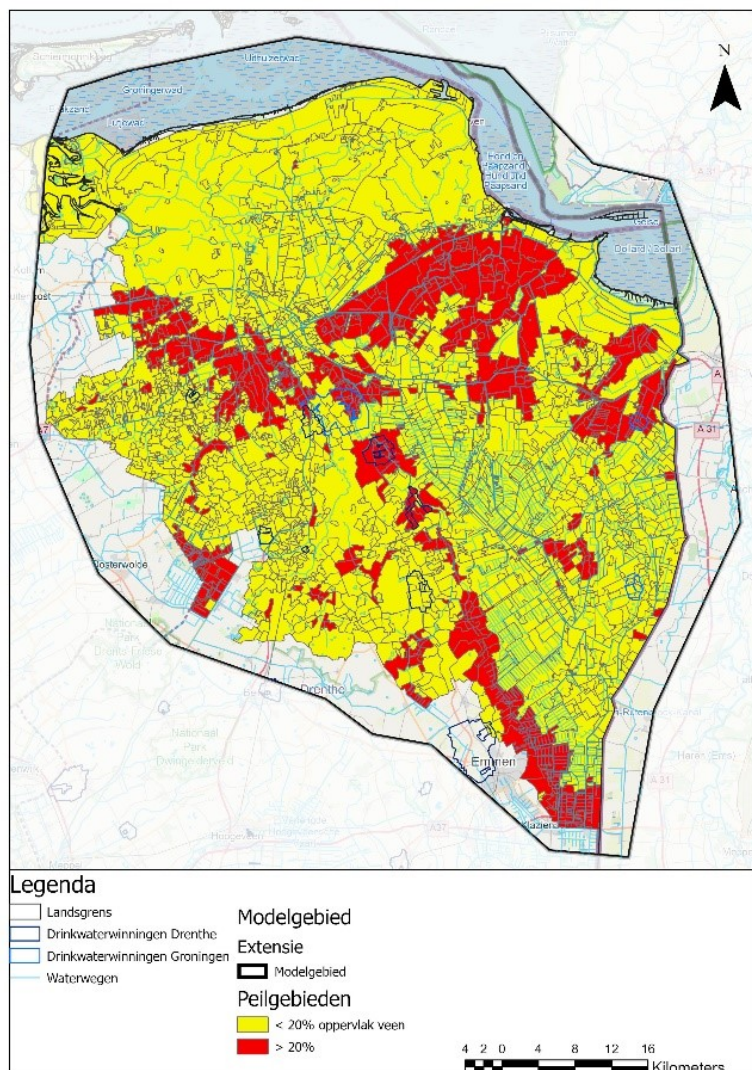
8.4 Resultaten verkennende scenario's

8.4.1 Verkennend scenario 1 – Peilverhoging veengebied

8.4.1.1 Omschrijving en uitwerking

In dit scenario is het effect van vermindering van de drooglegging in de veengebieden berekend. In alle veengebieden is de drooglegging verminderd tot 20 cm onder maaiveld. Concreet zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er is uitgegaan van de maaiveldshoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085;
- Alle peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1) zijn aangemerkt als veengebied;
- Per veengebied is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld;
- In peilgebieden met minder dan 20% veengrond (geel weergegeven in Figuur 8-1) is de drooglegging niet aangepast.

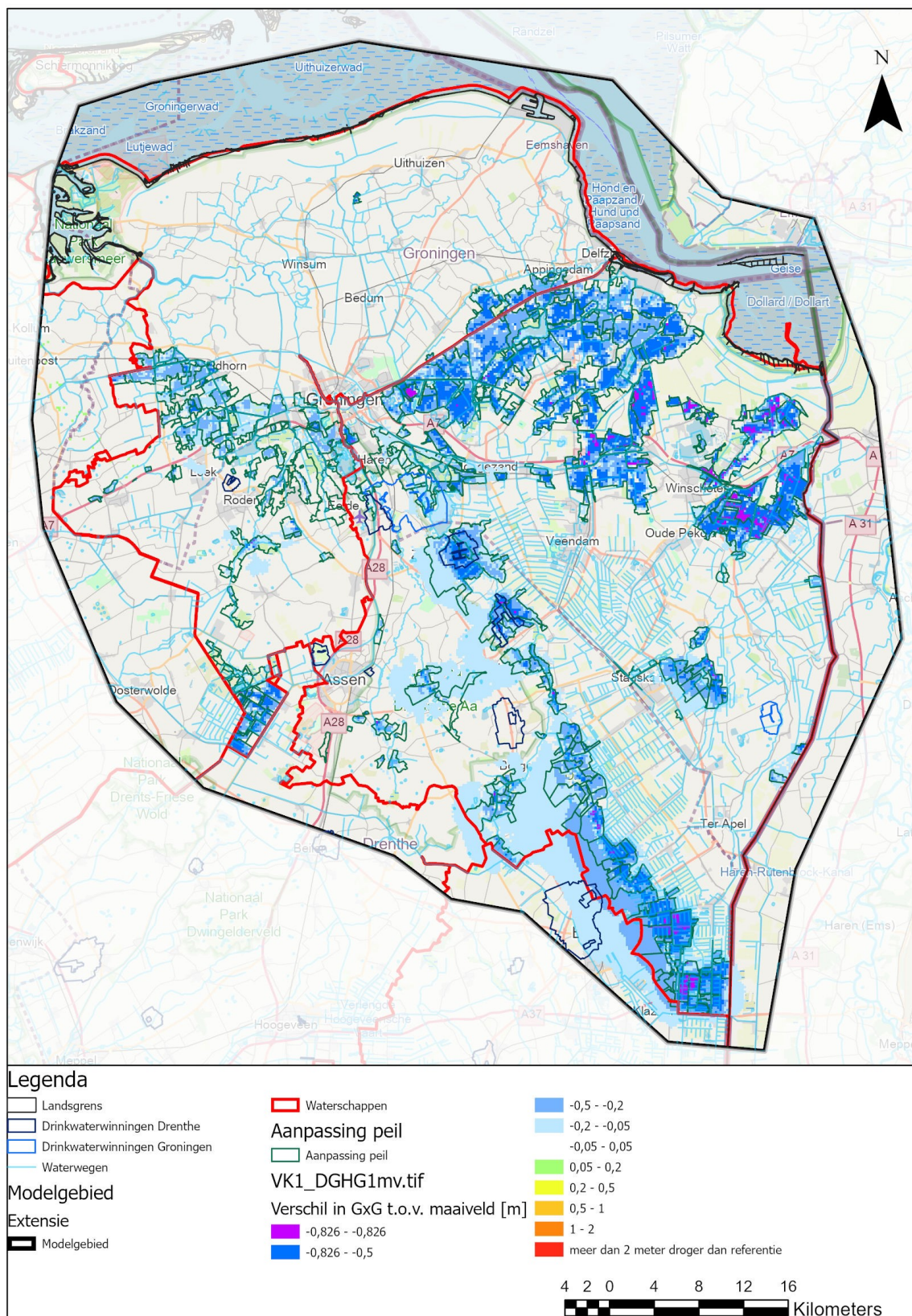


Figuur 8-1: Veengebieden binnen het modelgebied Groningen-Noord-Drenthe

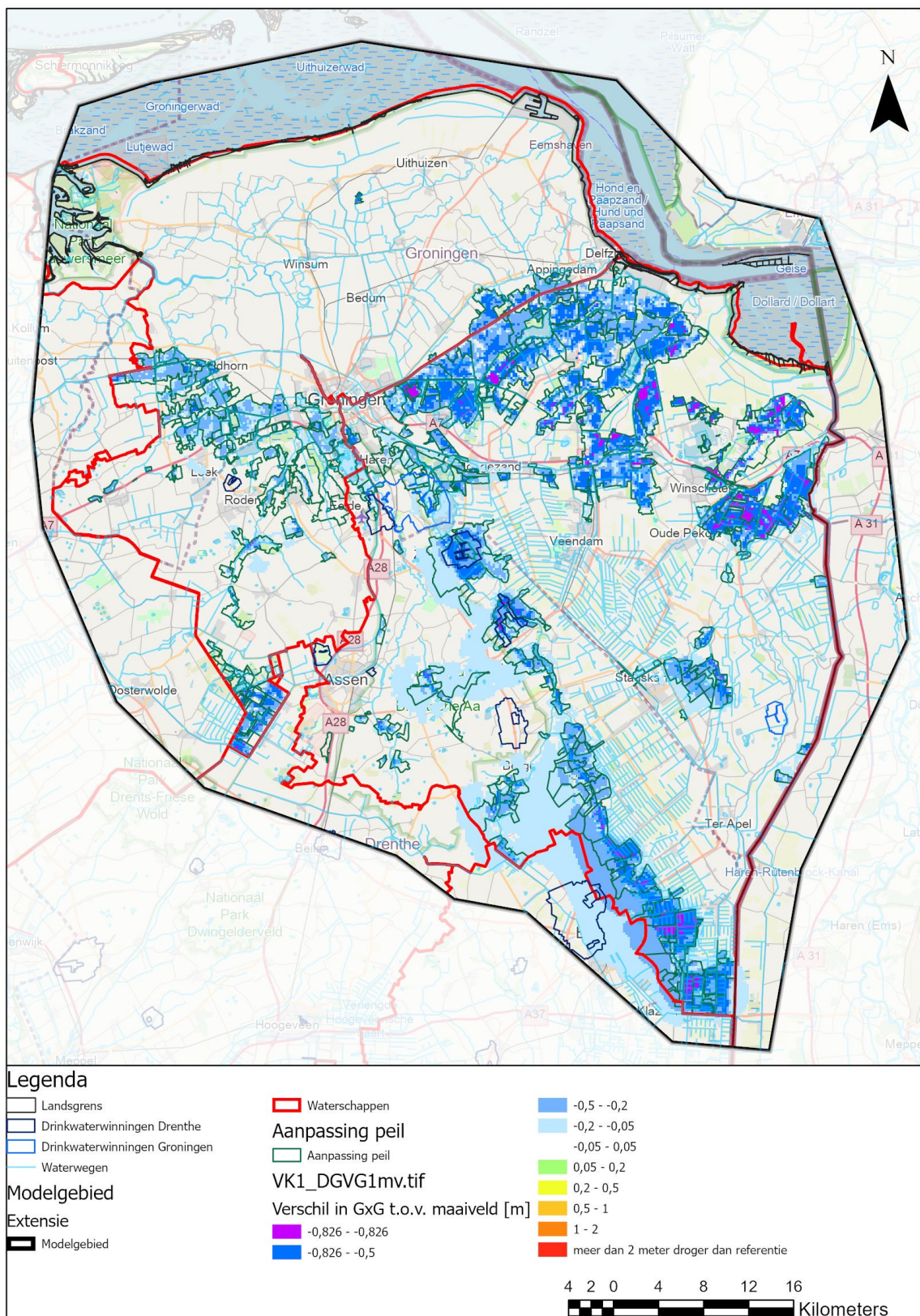
8.4.1.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-2 tot en met Figuur 8-4. De GHG en GVG stijgen in de meeste veengebieden van 10 à 20 cm en lokaal 50 tot maximaal 85 cm. De stijgingen van de GLG zijn duidelijk minder: in de meeste veengebieden 5 tot maximaal 50 cm en zeer lokaal 50 tot maximaal 85 cm.

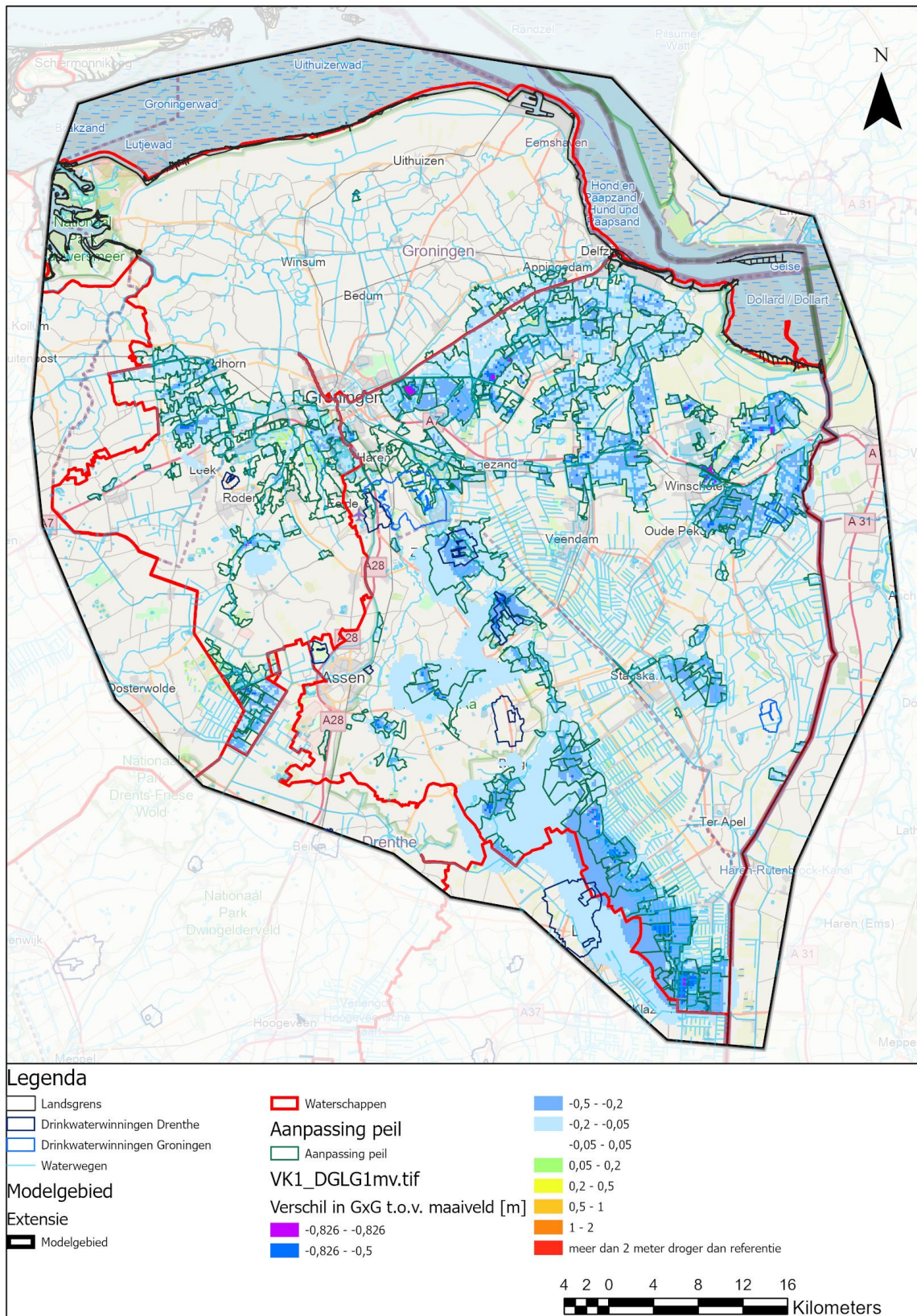
Figuur 8-5 geeft berekende verandering in de waterbalans voor het gebied Oostermoer en Veenmarken weer, waar een significant aandeel veengebied betreft. De vermindering van de drooglegging in de veengebieden zorgt voor een vermindering van drainage en instroom. Ook de grondwateraanvulling neemt in de veengebieden af. Door de vermindering van de drooglegging treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



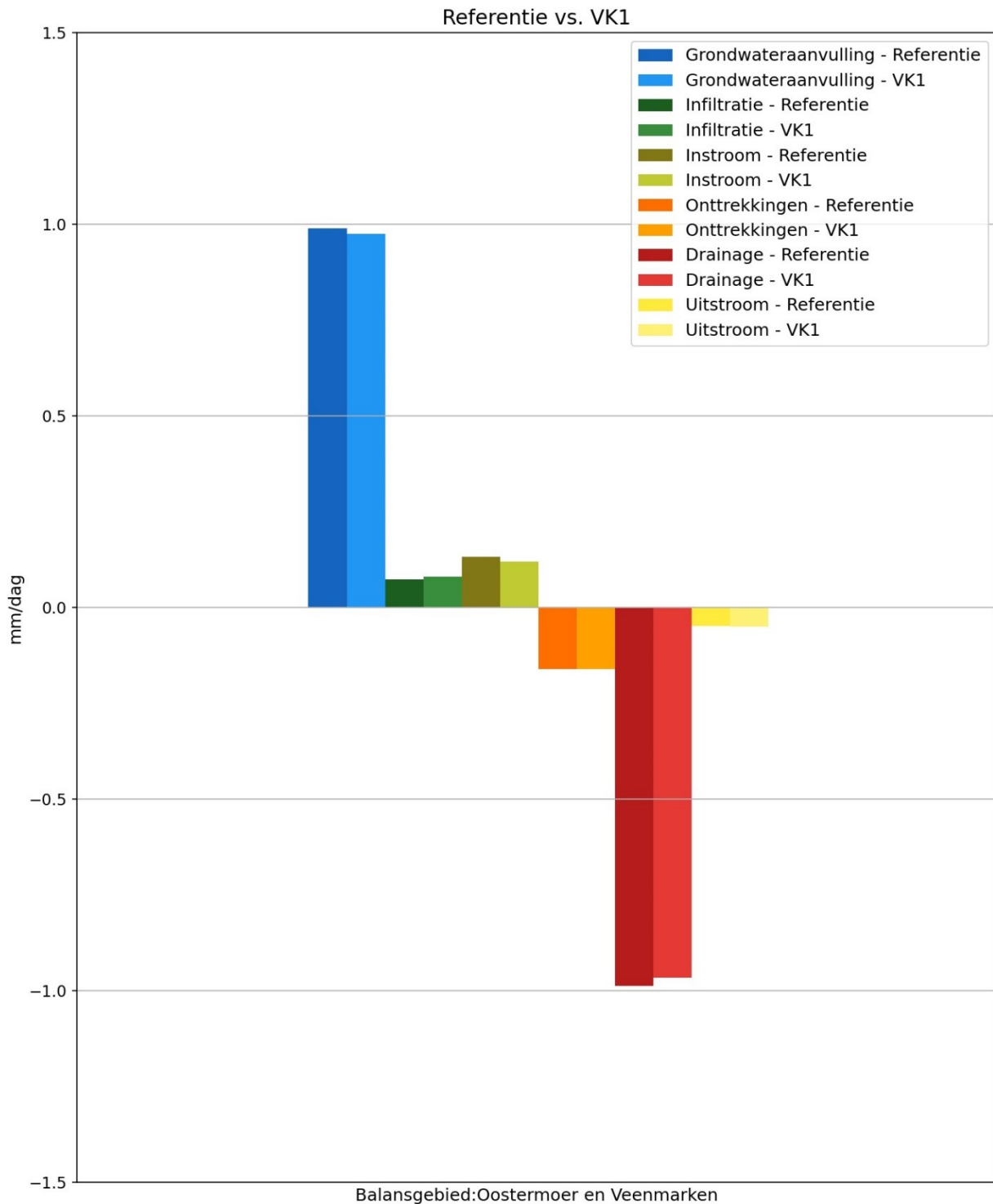
Figuur 8-2: Verkennend scenario 1, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-3: Verkennend scenario 1, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-4: Verkennd scenario 1, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

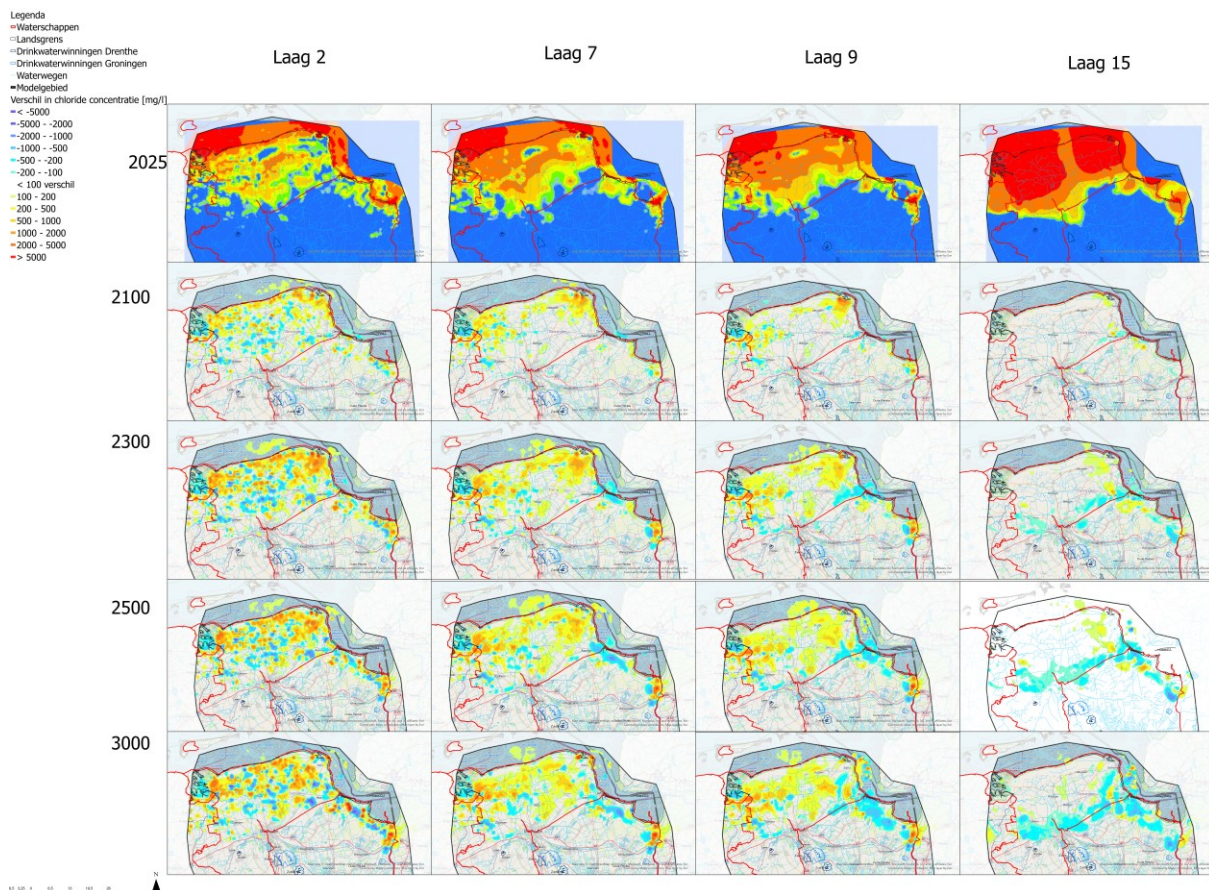


Figuur 8-5: Verkennend scenario 1, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Oostermoer en Veenmarken

8.4.1.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-6 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. In de zone met veengronden direct ten zuiden van het zeeleigebied (globaal gemarkeerd door het

Eemskanaal) zorgen de peilverhogingen voor een afname van de chlorideconcentraties. In de noordelijke zeeleigebieden wordt juist een toename van de chlorideconcentraties berekend. Door de peilverhoging in de veen-zone wordt de intrusie van zout grondwater vanaf het noorden geremd en wordt het zoute grondwater meer afgevangen door de watergangen en drains in het noordelijk zeeleigebied.



Figuur 8-6: Verkennend scenario 1: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

8.4.2 Verkennend scenario 1b – Peilverhoging veen incl. beperking bodemdaling

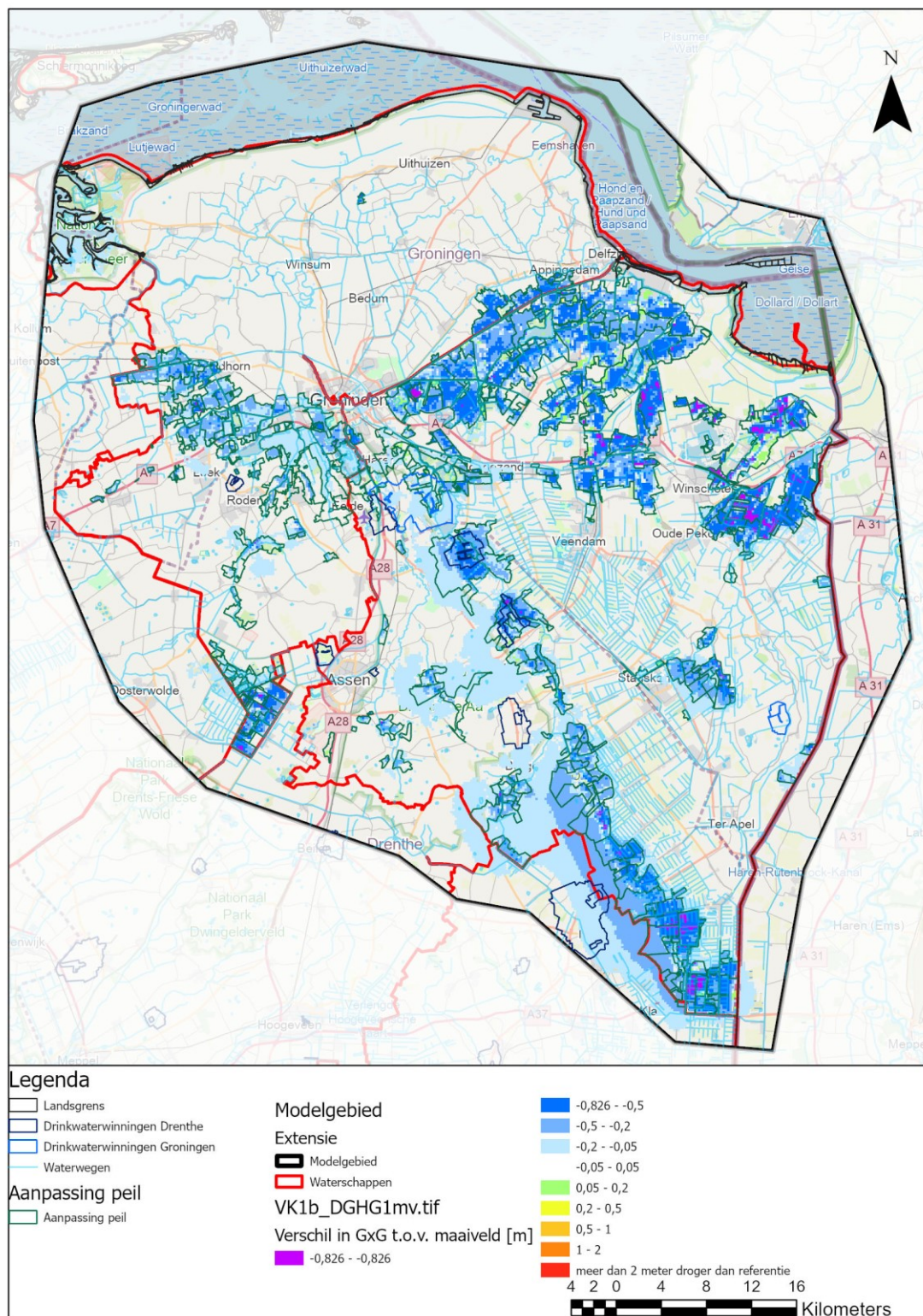
8.4.2.1 Omschrijving en uitwerking

In dit scenario is eveneens het effect van vermindering van de drooglegging in de veengebieden berekend. Aanvullend op verkennend scenario 1 is ook rekening gehouden met verminderde bodemdaling als gevolg van de hogere peilen in de veengebieden. Concreet zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

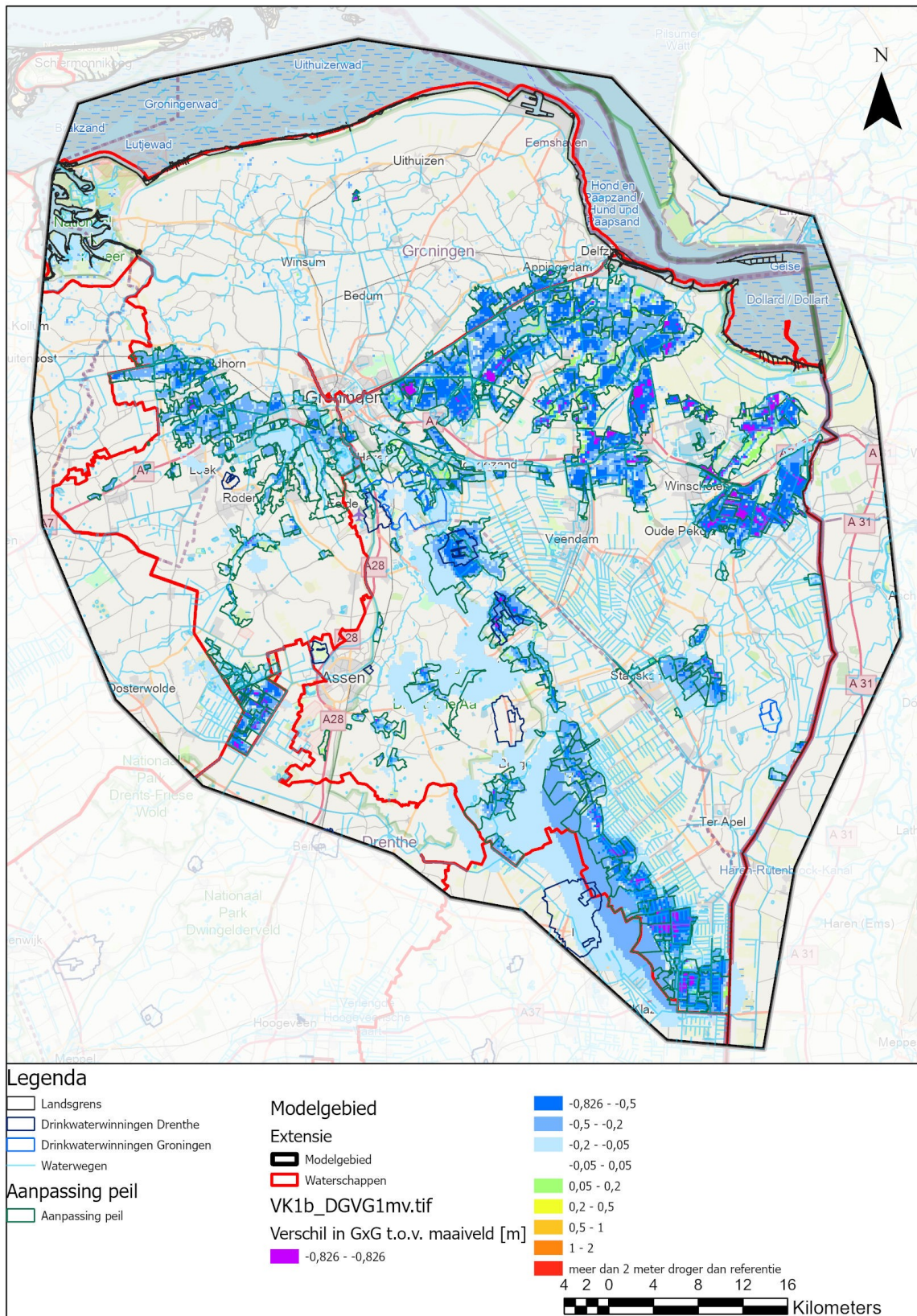
- Er is uitgegaan van de maaiveldhoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085. In de veengebieden is de bodemdaling door de hogere peilen beperkt ten opzichte van Autonom-W_H.
- Alle peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1) zijn aangemerkt als veengebied;
- Per veengebied is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld;
- In peilgebieden met minder dan 20% veengrond (geel weergegeven in Figuur 8-1) is de drooglegging niet aangepast.

8.4.2.2 Waterkwantiteit

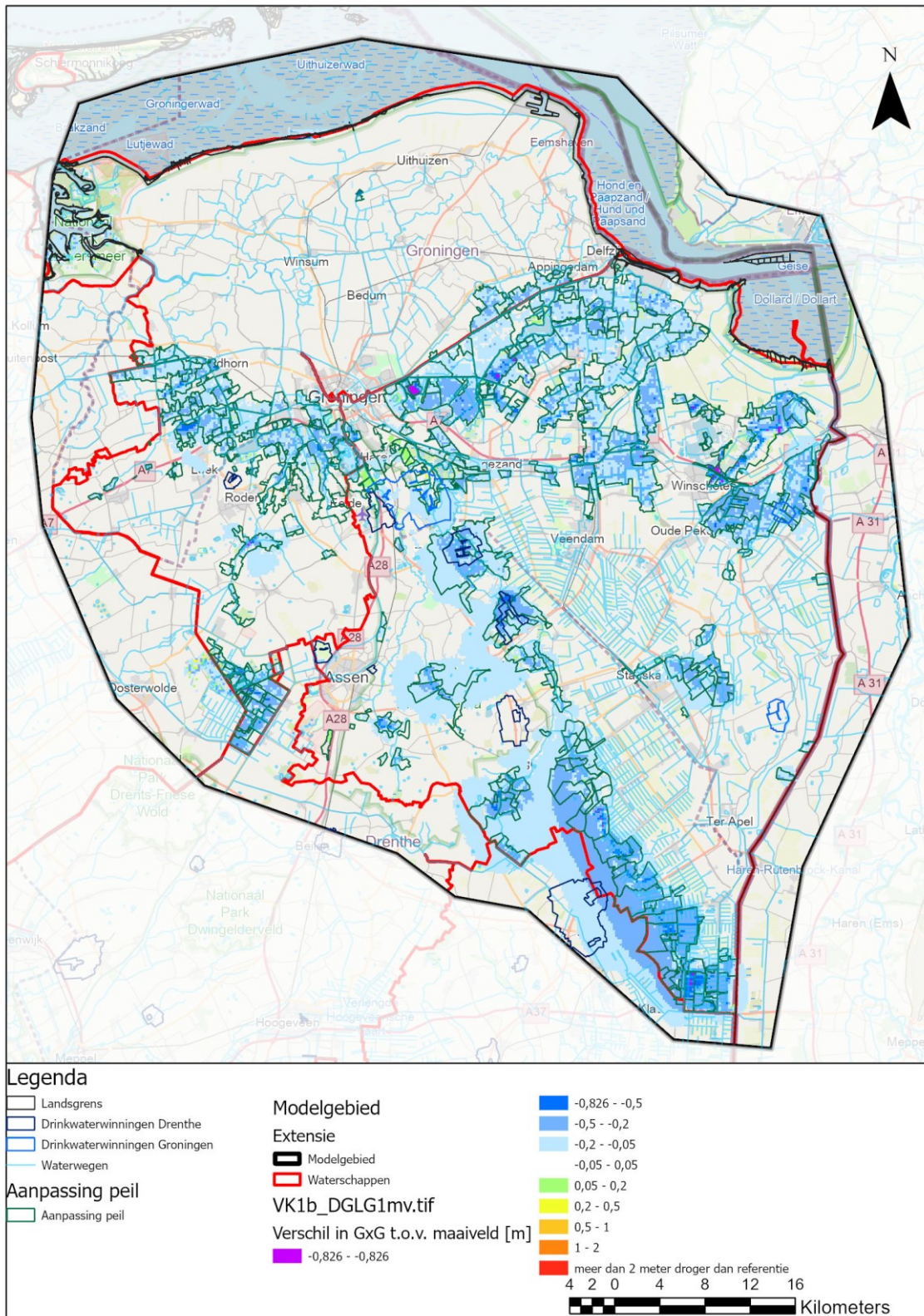
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-7 tot en met Figuur 8-9.



Figuur 8-7: Verkennend scenario 1b, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

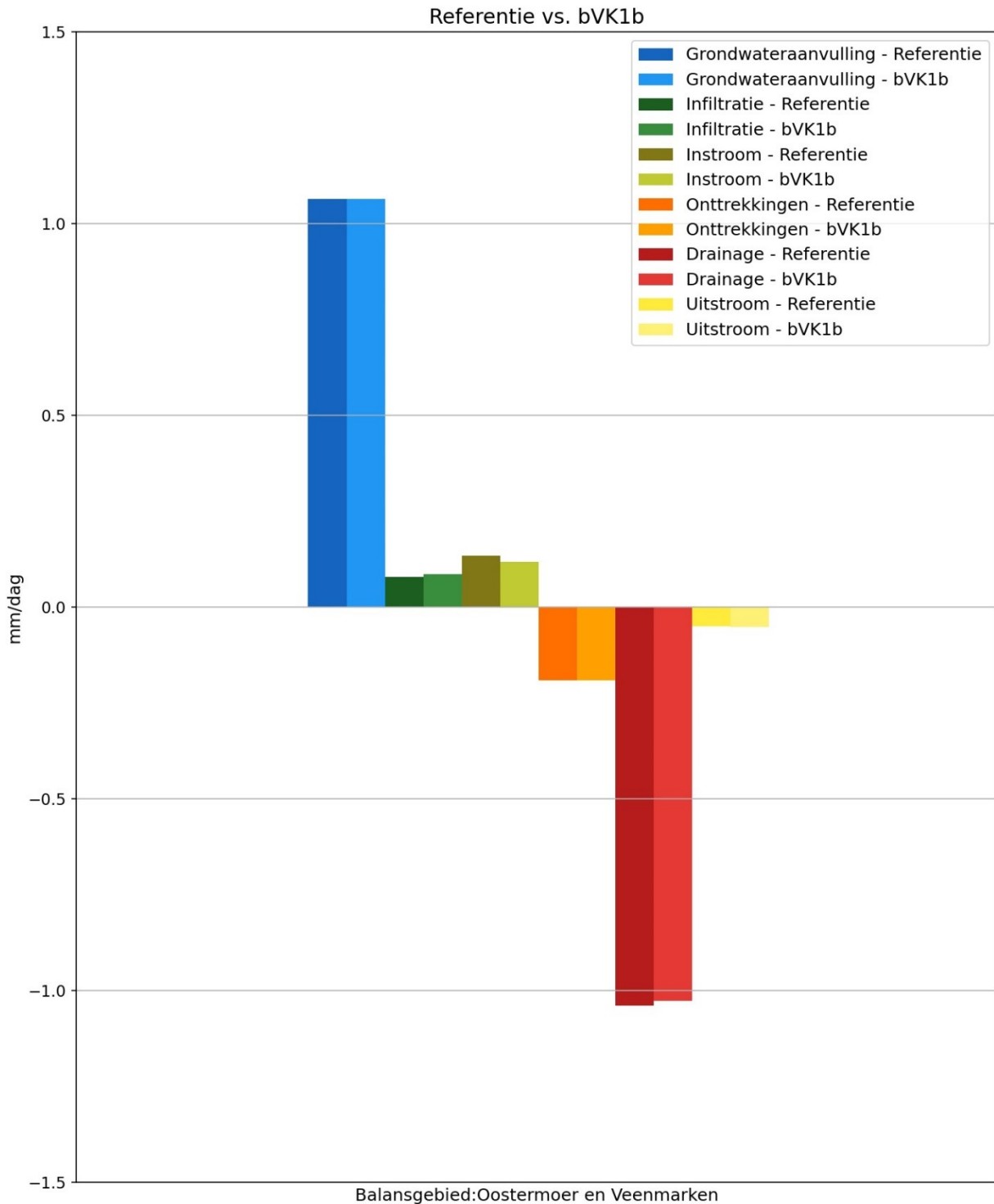


Figuur 8-8: Verkennend scenario 1b, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085)



Figur 8-9: Verkennend scenario 1b, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Ten opzichte van verkennend scenario 1 zijn de grondwaterstandsstijgingen in de veengebieden iets sterker. De GHG en GVG stijgen in een groter deel van de veengebieden 50 tot 85 cm. Ten opzichte van verkennend scenario 1 stijgt de GLG in een groter deel van de veengebieden met meer dan 50 cm.

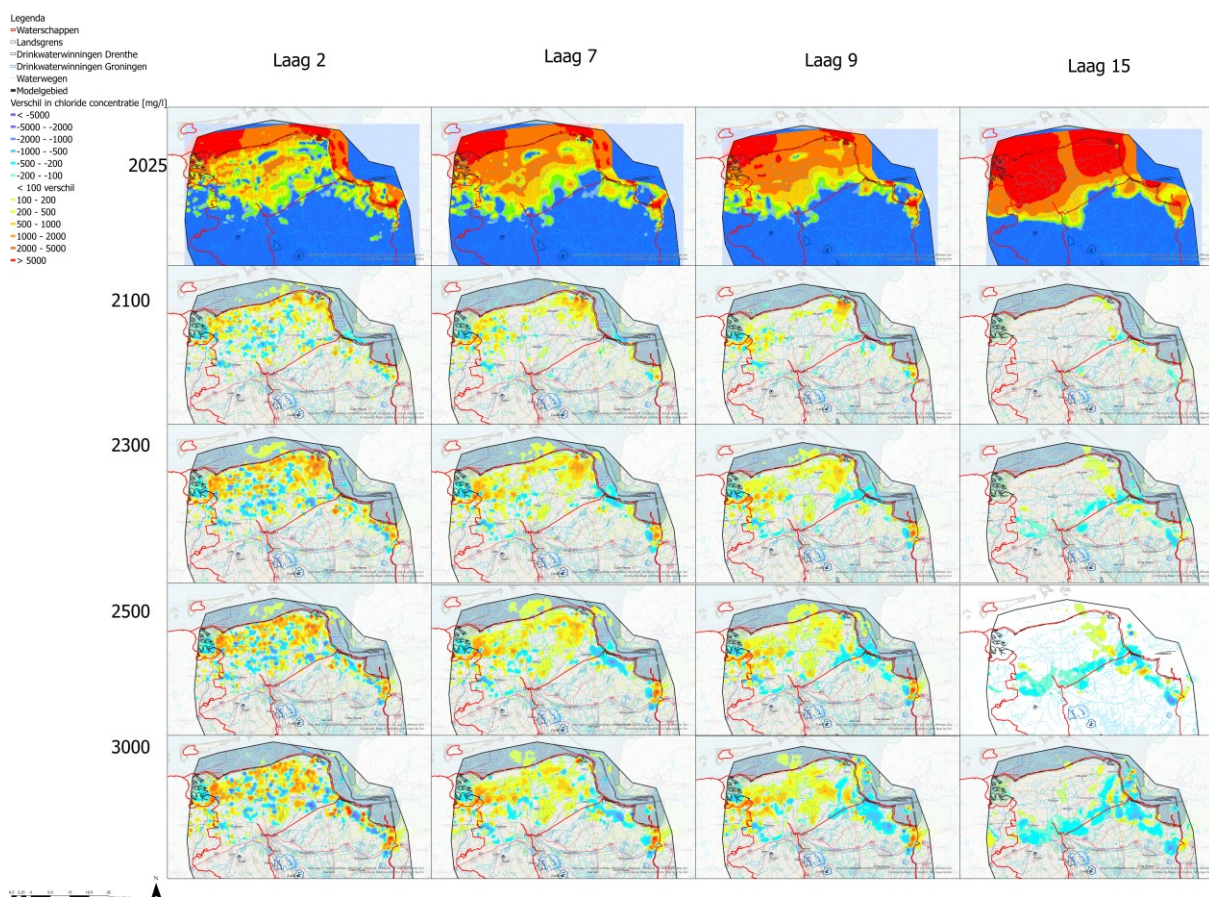


Figuur 8-10: Verkennend scenario 1b, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Oostermoer en Veenmarken

In Figuur 8-10 is wederom voor balansgebied Oostermoer en Veenmarken de waterbalans weergegeven. De vermindering van de drooglegging in de veengebieden zorgt met name voor een vermindering van de drainage en ook instroom (a.g.v. hogere grondwaterstanden). De grondwateraanvulling wijzigt t.o.v. de referentie nauwelijks i.t.t. VK1. Dit is het gevolg van het minder gedaalde maaiveld, waardoor de oppervlakkige afstroming kleiner is in vergelijking met VK1.

8.4.2.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-11 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. De berekende effecten komen grotendeels overeen met die van verkennend scenario 1. In de zone met veengronden direct ten zuiden van het zeeleigebied (globaal gemarkeerd door het Eemskanaal) zorgen de peilverhogingen voor een afname van de chlorideconcentraties. In de noordelijke zeeleigebieden wordt juist een toename van de chlorideconcentraties berekend. Door de peilverhoging in de veen-zone wordt de intrusie van zout grondwater vanaf het noorden geremd en wordt het zoute grondwater meer afgevangen door de watergangen en drains in het noordelijk zeeleigebied.



Figuur 8-11: Verkennend scenario 1b: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.3 Verkennend scenario 2 – Stoppen wateraanvoer

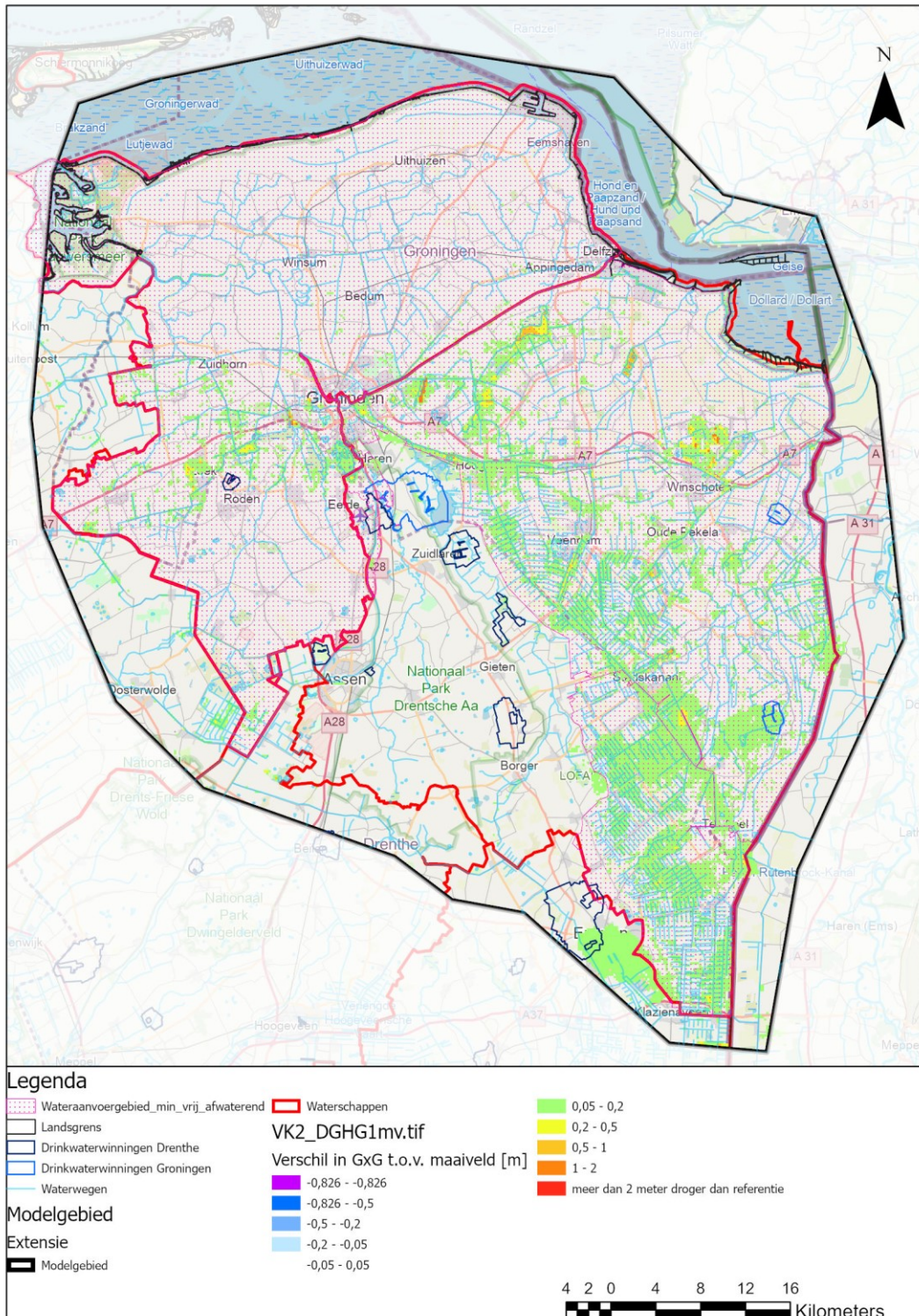
8.4.3.1 Omschrijving en uitwerking

Dit verkennend scenario omvat het stoppen van wateraanvoer in de deelgebieden waar in de huidige situatie wateraanvoer plaatsvindt. Om de effecten van het stopzetten van wateraanvoer te modelleren, is in het gehele modelgebied de infiltratiemogelijkheid vanuit oppervlaktewater opgeheven. Uitzondering hierop zijn de beken zoals de Hunze en de Drentse Aa, die jaarrond watervoerend zijn door kwel vanuit hoger gelegen gebieden.

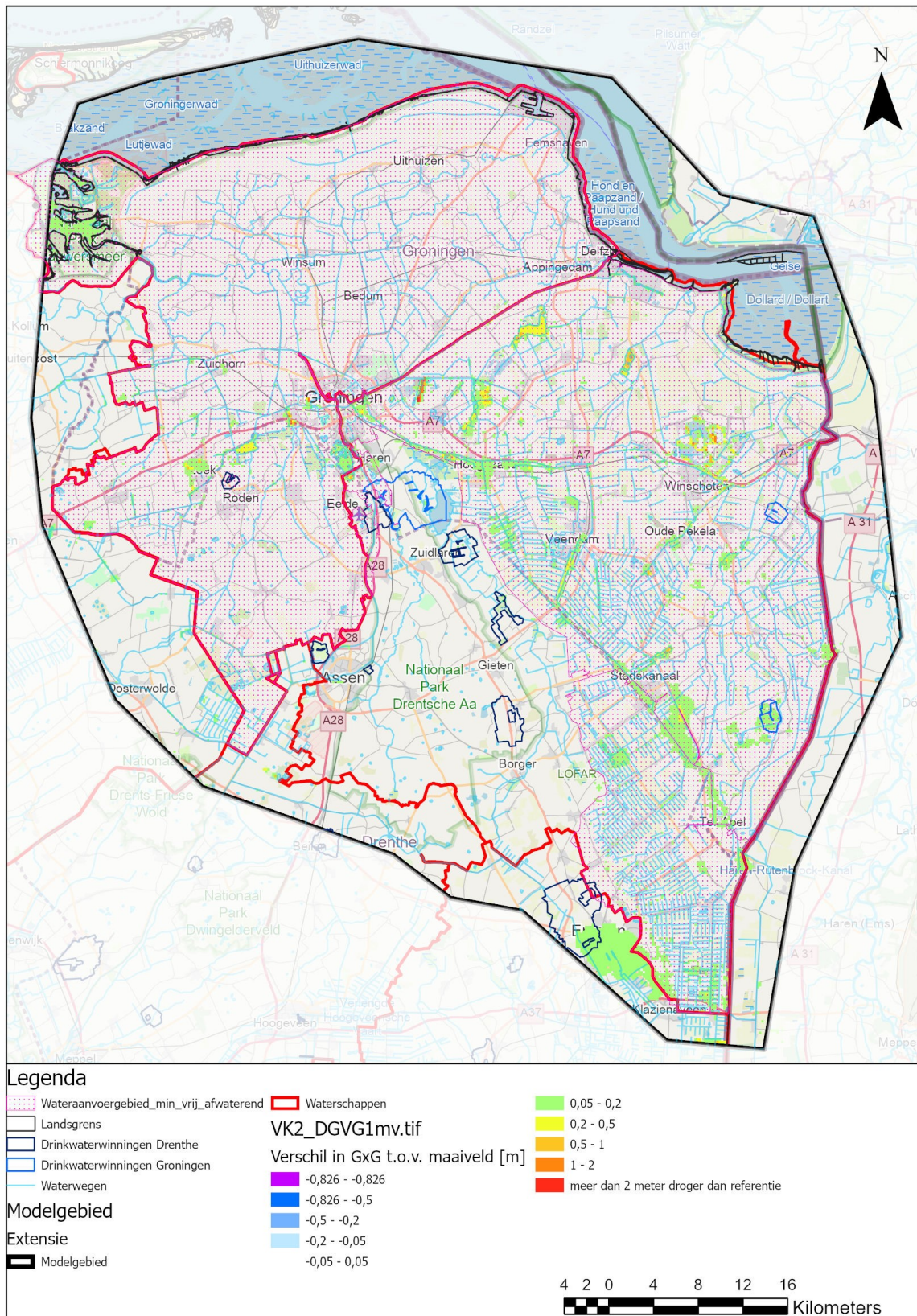
8.4.3.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-12 tot en met Figuur 8-14. In de kaarten is het gebied, waar de wateraanvoer is stopgezet, met een arcering weergegeven. De effecten voor de GHG en de GVG zijn relatief beperkt; lokaal worden verlagingen berekend van 5 tot maximaal 20 cm. Omdat de wateraanvoer vooral in de zomerperiode voor aanvulling van het grondwater zorgt, zijn de effecten op de GLG aanzienlijk groter. In vrijwel het gehele gebied met wateraanvoer zorgt het stopzetten ervan voor verlagingen van de GLG van 5 tot 20 cm. In een aantal gebieden, zoals ten zuidwesten van de stad Groningen, een gebied ten noorden van Winschoten en de veen-zone ten zuidoosten van het Eemskanaal, zorgt het stopzetten van de wateraanvoermogelijkheid voor veel sterkere dalingen van de GLG, van 20 cm tot lokaal meer dan 1 meter.

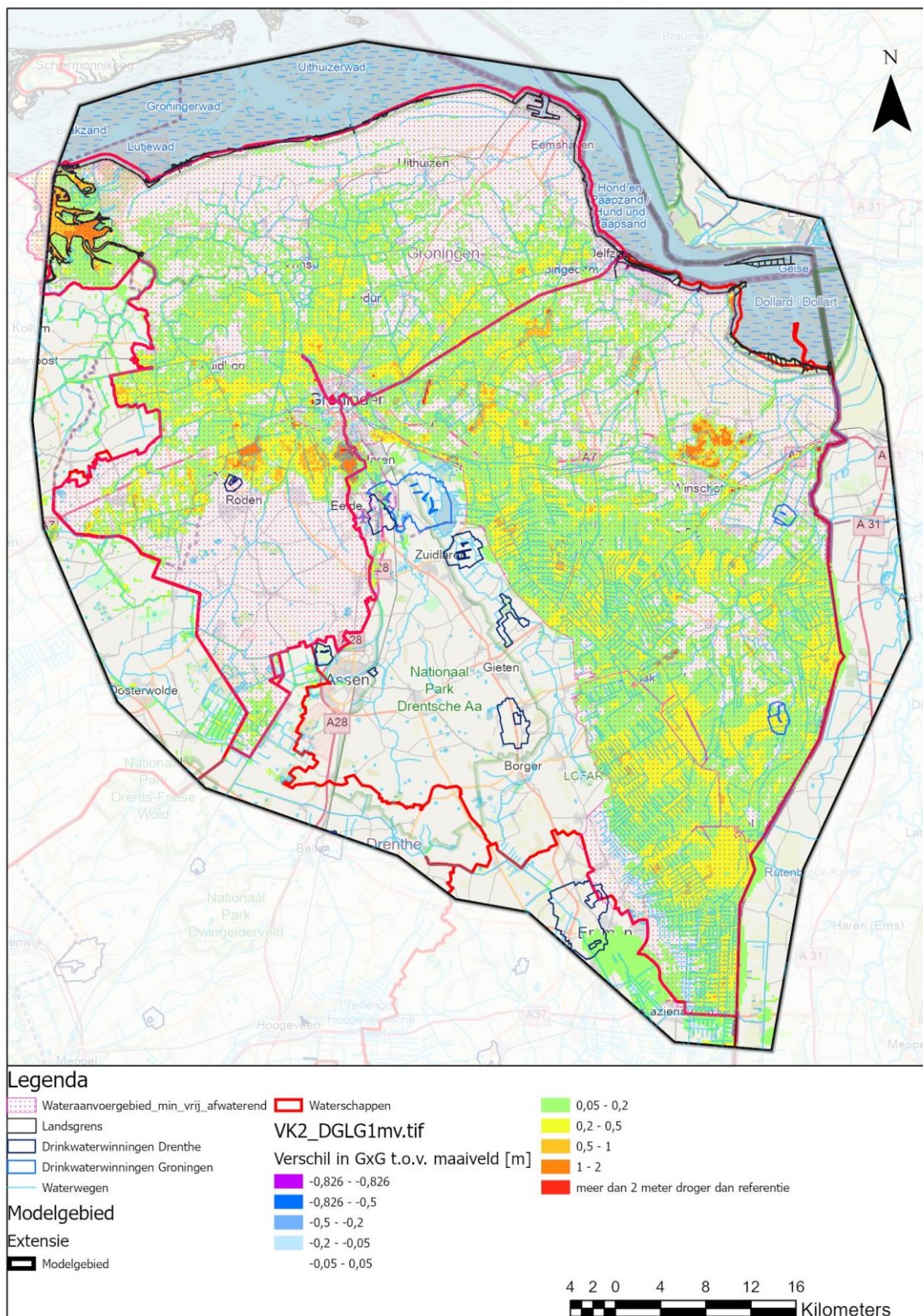
De gepresenteerde grondwatereffecten zijn uitgedrukt ten opzichte van het scenario Autonoom- W_H . Ten opzichte van de huidige situatie zijn de GLG-verlagingen sterker, omdat het klimaatscenario W_H ten opzichte van de huidige situatie al over grote delen van het projectgebied leidt tot verlagingen van de GLG (zie paragraaf 7.3.1).



Figuur 8-12: Verkennend scenario 2, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



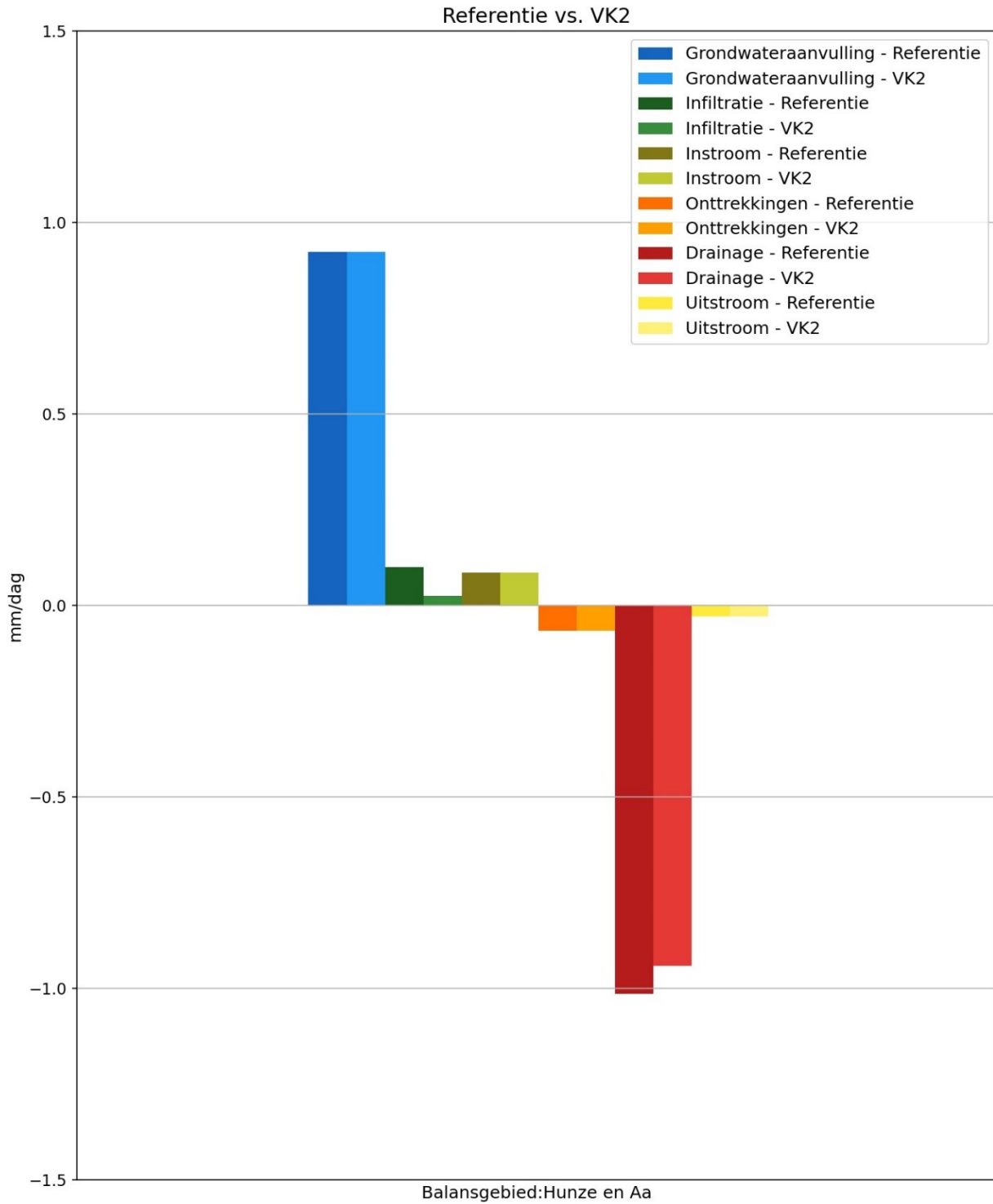
Figuur 8-13: Verkennend scenario 2, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-14: Verkennend scenario 2, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-15 geeft voor balansgebied Hunze en Aa's de berekende waterbalans weer. In het gebied van Hunze en Aa's zijn forse effecten berekend, wat dit een interessant gebied maakt om de waterbalans van

te analyseren. In de deelgebieden waar wateraanvoer mogelijk is, nemen zowel de infiltratie vanuit oppervlaktewater als de drainage sterk af. De infiltratie neemt af als gevolg van de ingreep, waardoor de grondwaterstand zakt en bijgevolg de drainage afneemt.

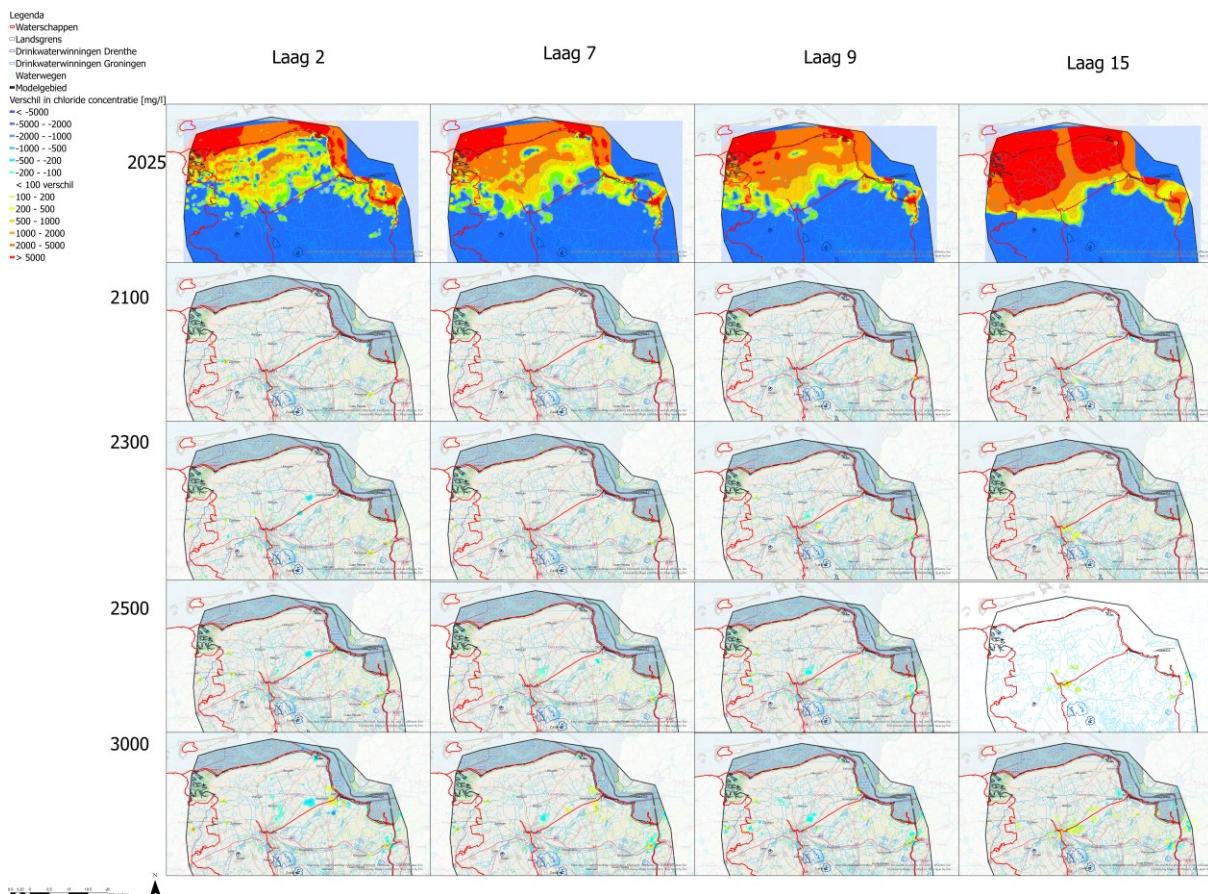


Figuur 8-15: Verkennend scenario 2, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Hunze en Aa's

8.4.3.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-16 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. De effecten van het stopzetten van de wateraanvoer op de chlorideverdeling in de ondergrond zijn zeer gering. De intrusie van zout water in het grondwatersysteem vanuit de Waddenzee wordt slechts in geringe mate beïnvloed. Op perceelsniveau kan de verzilting wel toenemen. Het stopzetten van de infiltratie van zoet aanvoerwater zorgt voor verlagingen van de GLG en een vergroting van het risico op capillaire nalevering met brak of zout grondwater.

Het model laat geen toename van verzilting in het diepere grondwater zien. Dit hoeft echter niet te betekenen dat het oppervlaktewater als gevolg van het stopzetten van de (zoete) wateraanvoer geen effecten hiervan ondervindt. Het gebruik van zoet, doorgespoeld oppervlaktewater als beregeningsbron is niet opgenomen in het model. Het is goed voorstelbaar dat door het stoppen met doorspoelen van het systeem het oppervlaktewater zal verzilten en daarmee deze gebruiksvorm mogelijk gehinderd wordt.



Figuur 8-16: Verkennend scenario 2: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.4 Verkennend scenario 3 – Peilverhoging wateraanvoergebied + slootboderverhoging vrij afwaterende zandgronden

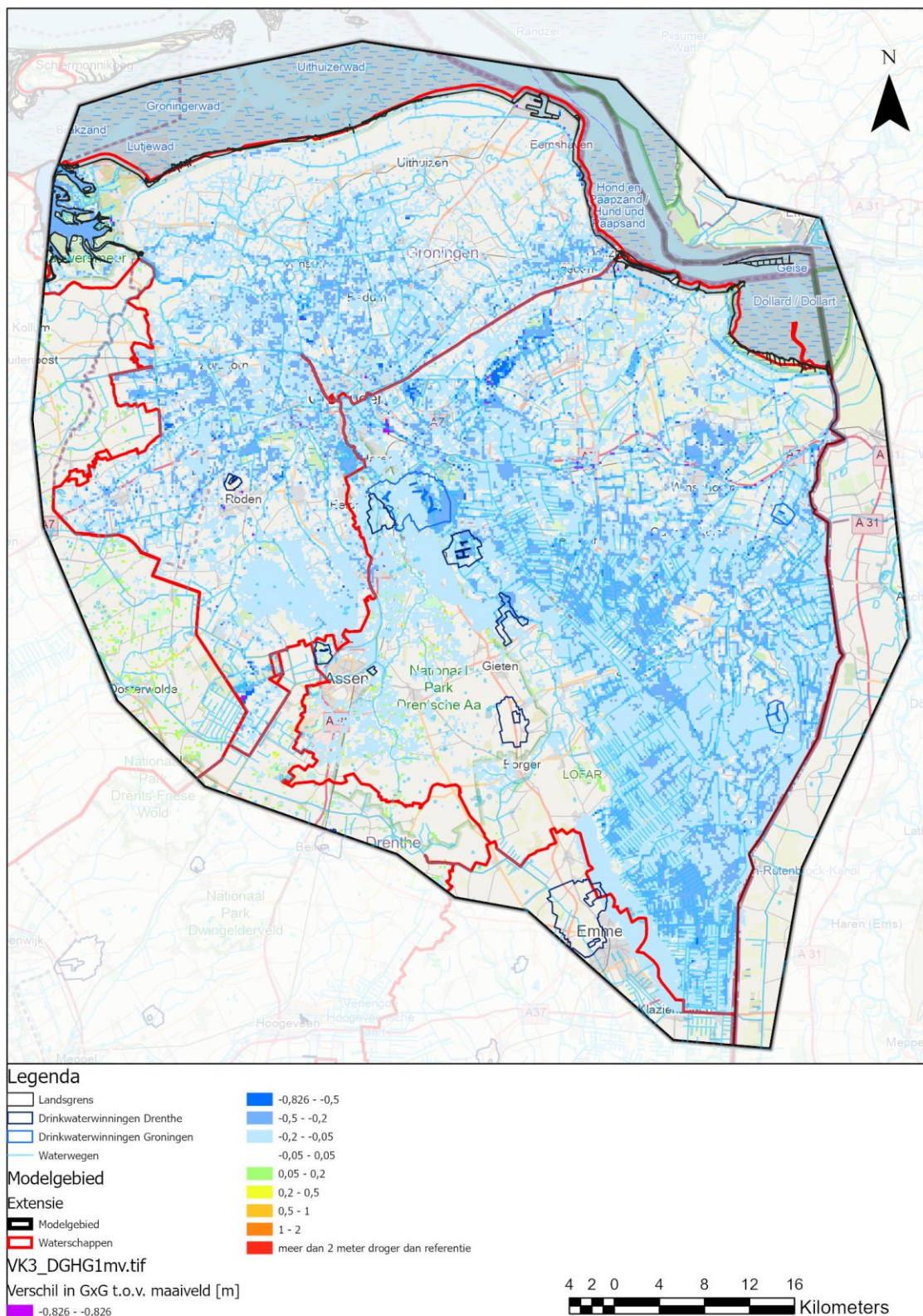
8.4.4.1 Omschrijving en uitwerking

Dit verkennend scenario omvat het verhogen van de oppervlaktewaterpeilen in de gebieden waar wateraanvoer mogelijk is. In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoermogelijkheid worden de sloten en watergangen verondiept door bodemverhoging. Concreet zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

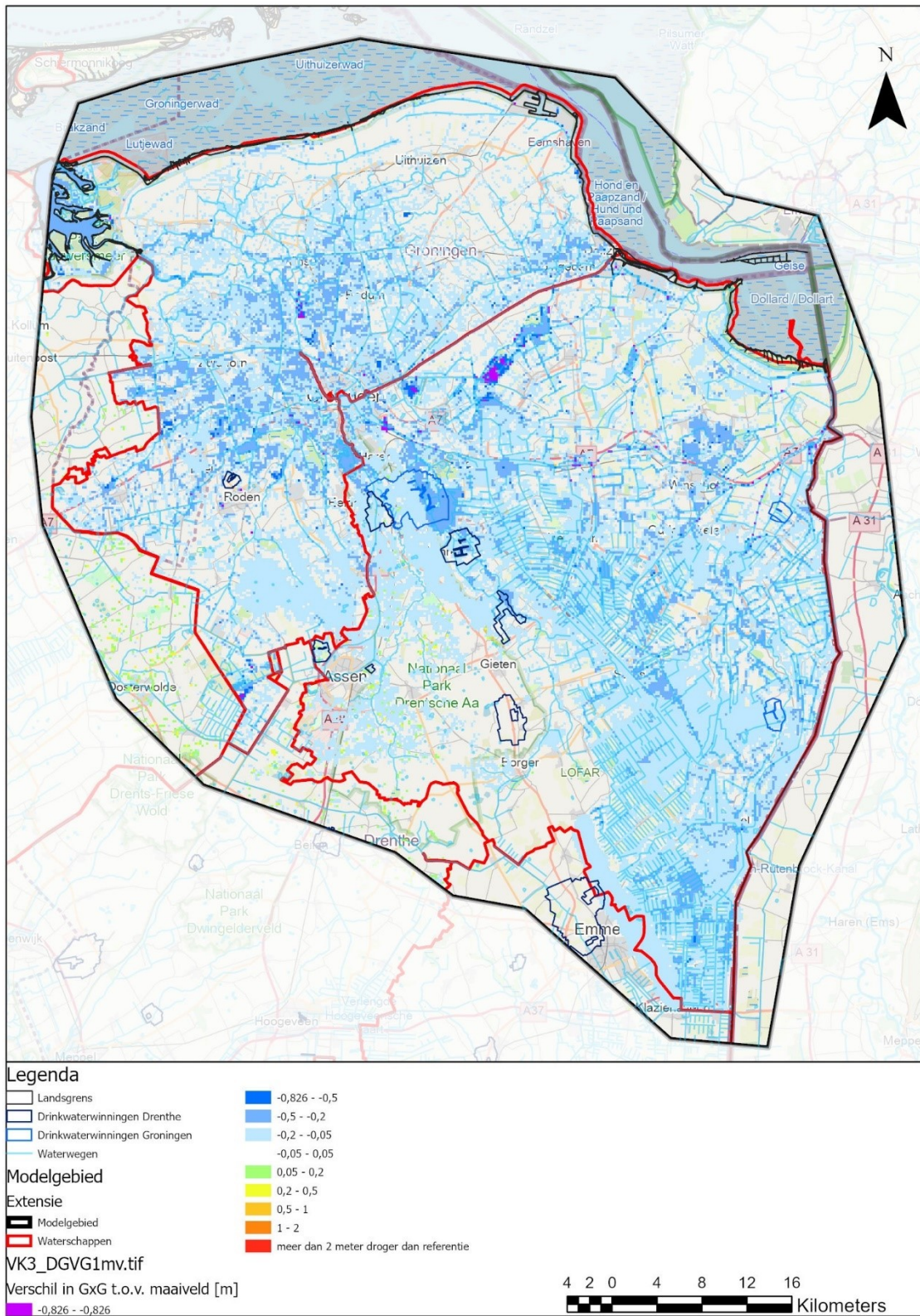
- In de wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.
- De drainageniveaus van sloten, greppels en drains zijn aangepast op de verhoogde peilen. Als het verhoogde oppervlaktewaterpeil hoger is dan het oorspronkelijke drainageniveau, is ook het drainageniveau verhoogd.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.

8.4.4.2 Waterkwantiteit

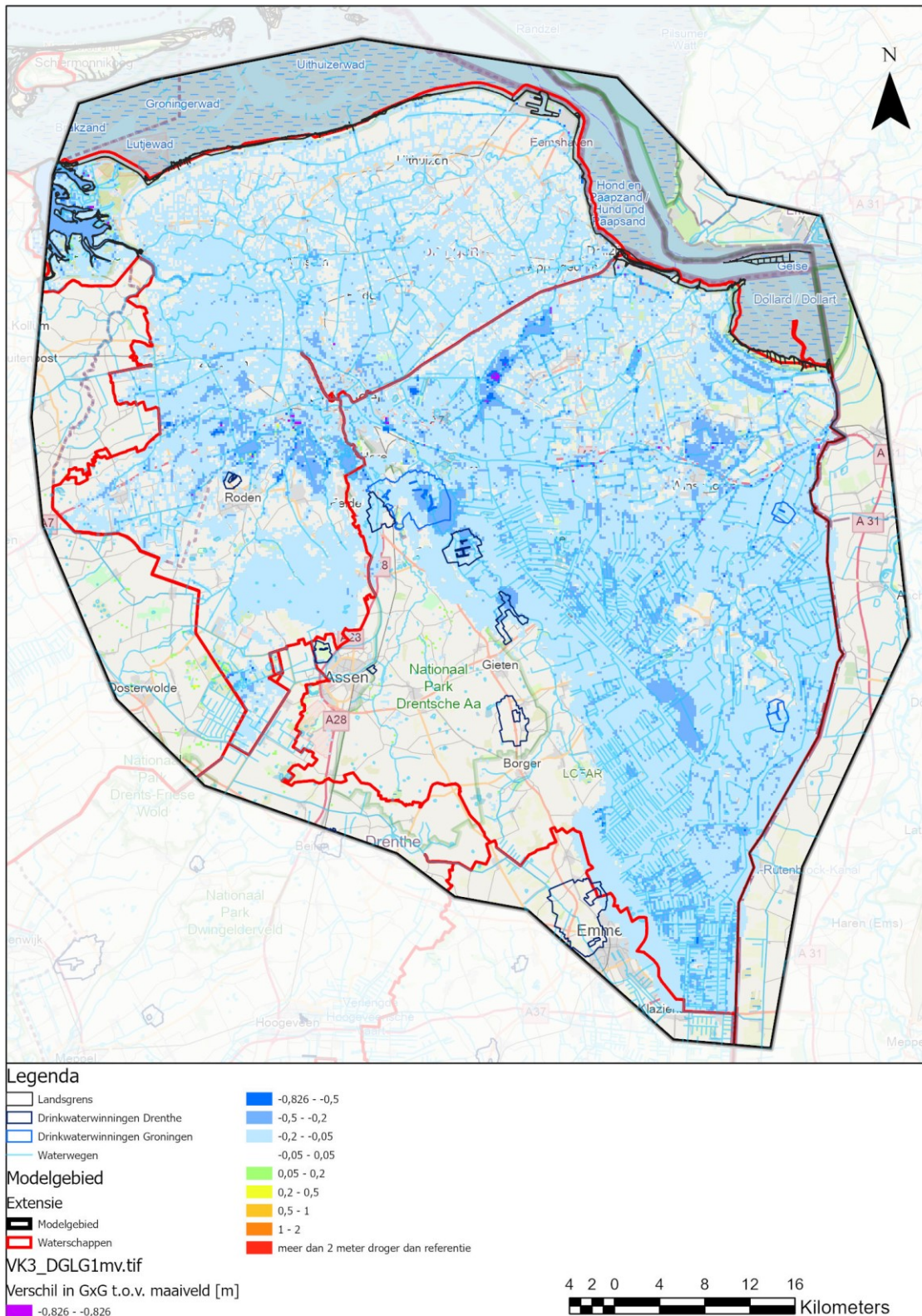
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-17 tot en met Figuur 8-19. In de meeste gebieden variëren de stijgingen van de GHG, GVG en GLG tussen enkele centimeters en 30 cm (de peilverhoging en/of verhoging van de drainagebasis). Lokaal worden sterkere verhogingen van met name de GVG en GLG berekend, tot maximaal ongeveer 80 cm. Deze treden op in gebieden waar door de peilverhoging meer watergangen, sloten en greppels watervoerend en infiltrerend zijn, eventueel ook over een langere periode in het jaar. De extra infiltratie van oppervlaktewater zorgt hier voor extra grondwaterstandsverhoging.



Figur 8-17: Verkennend scenario 3, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



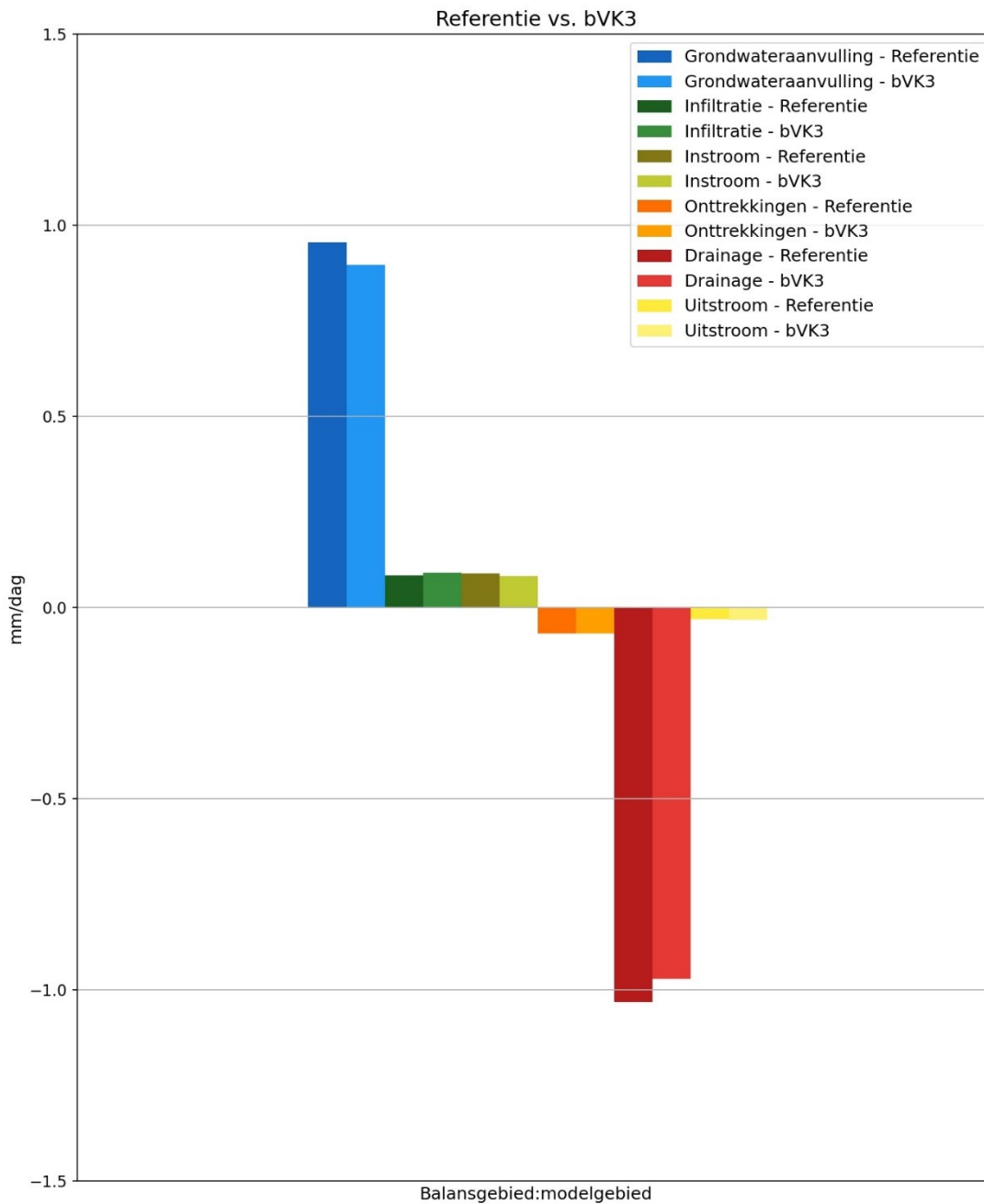
Figuur 8-18: Verkennend scenario 3, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-19: Verkennend scenario 3, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom- W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-20 geeft voor het modelgebied de waterbalans weer. De peilverhoging in de wateraanvoergebieden zorgt voor enige toename van de infiltratie vanuit oppervlaktewater, vooral omdat

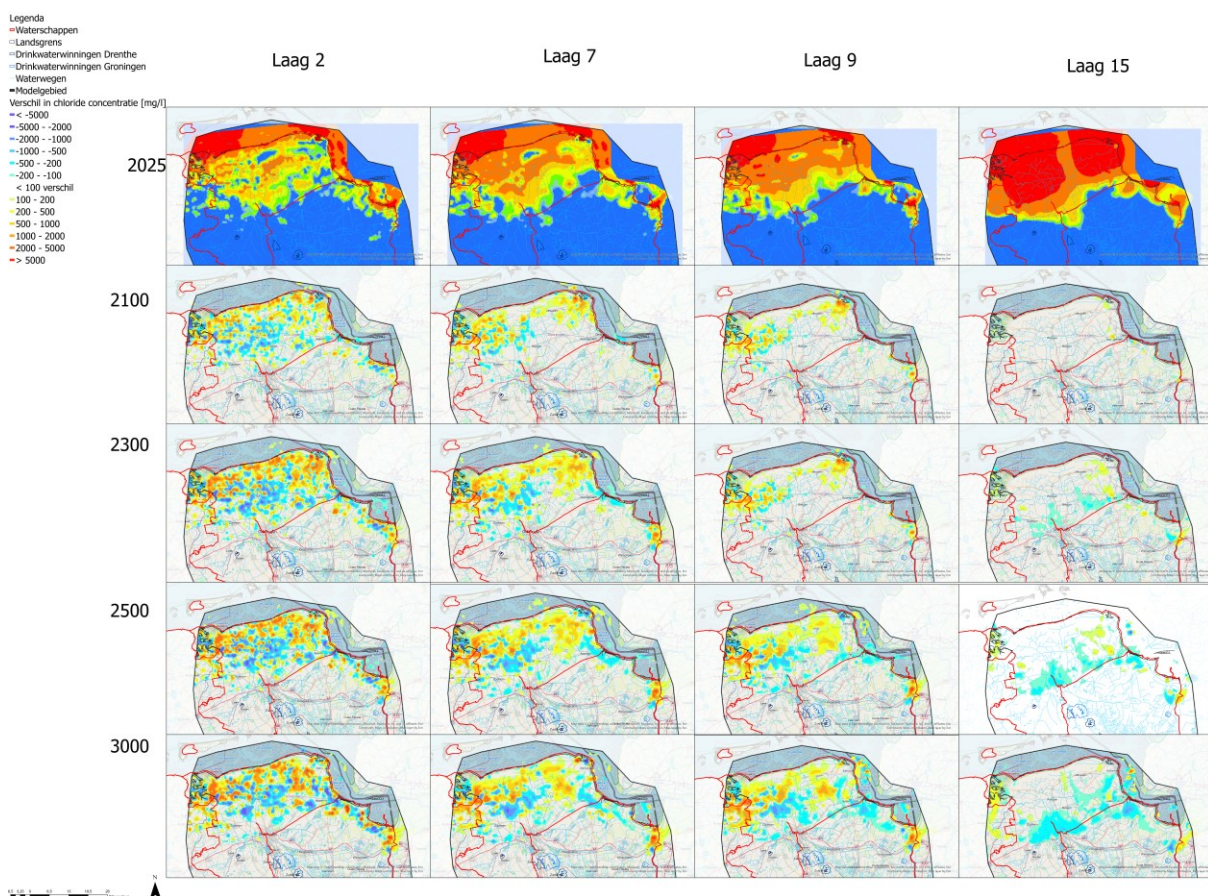
het verschil tussen het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand groter wordt, maar in sommige gebieden ook omdat een groter deel van de sloten gedurende een langere periode in het jaar watervoerend zijn en kunnen zorgen voor aanvulling van het grondwater. Door de peilverhoging en verondieping van sloten neemt de drainage in veel gebieden af. In alle balansgebieden neemt ook de grondwateraanvulling af. De peilverhoging zorgt lokaal voor grondwaterstanden aan maaiveld, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



Figuur 8-20: Verkennend scenario 3, waterbalans (mm/d) voor balansgebied modelgebied

8.4.4.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-21 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. De peilverhogingen zorgen over het gehele gebied gezien voor een vermindering van de intrusie van zout water vanuit de Waddenzee naar het grondwatersysteem. In de gebieden waar door de peilverhoging de grondwaterstanden relatief het meest stijgen (vooral gebied ten noordwesten van de stad Groningen en een brede zone aan weerszijden van het Eemskanaal) nemen de chlorideconcentraties af ten opzichte van Autonoom-W_H. In het noordelijk kleigebied zorgt de peilverhoging voor relatief minder sterke grondwaterstandsstijgingen en nemen de chlorideconcentraties toe.

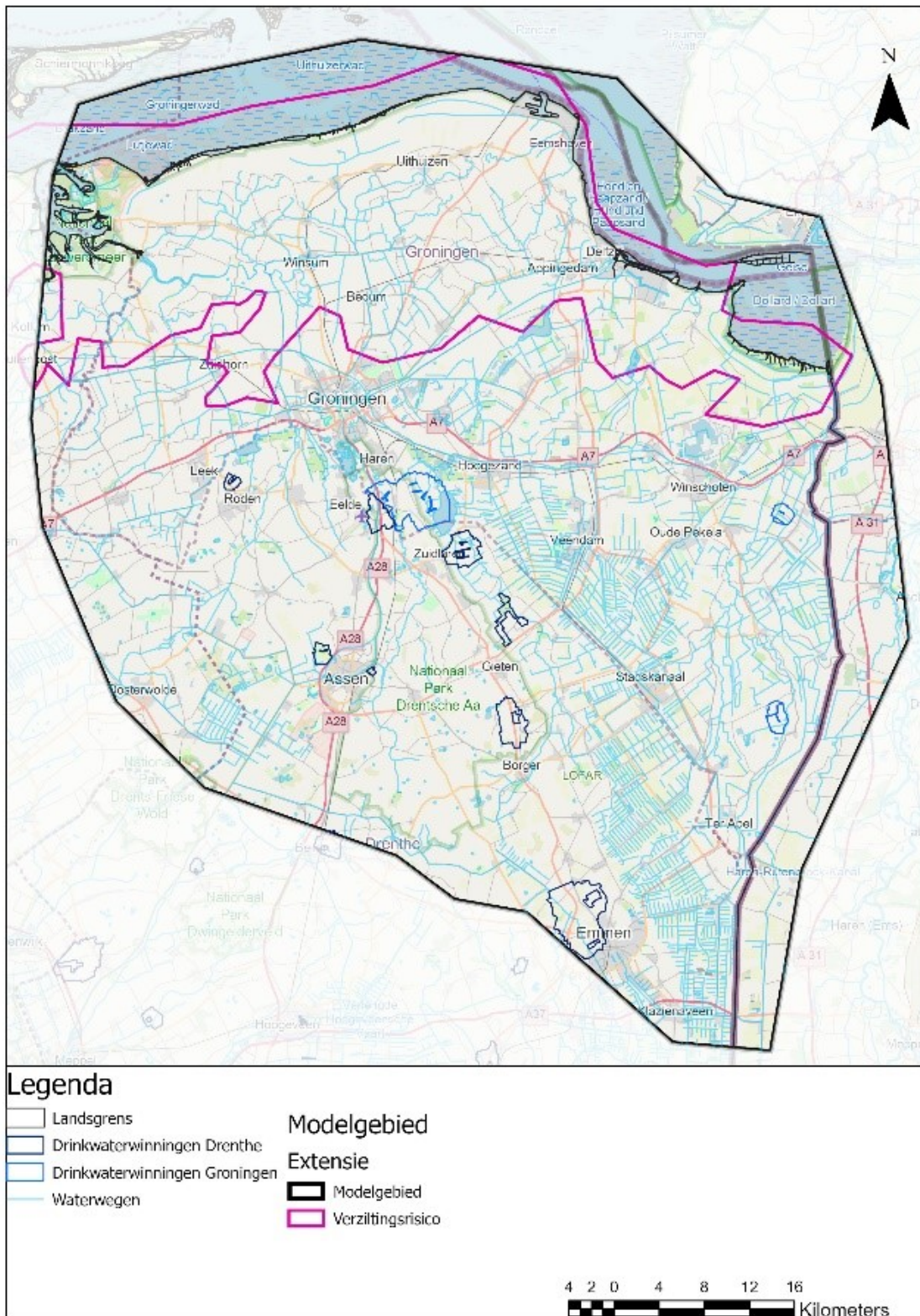


Figuur 8-21: Verkennend scenario 3: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.5 Verkennend Scenario 4 – Spaarwater

8.4.5.1 Omschrijving en uitwerking

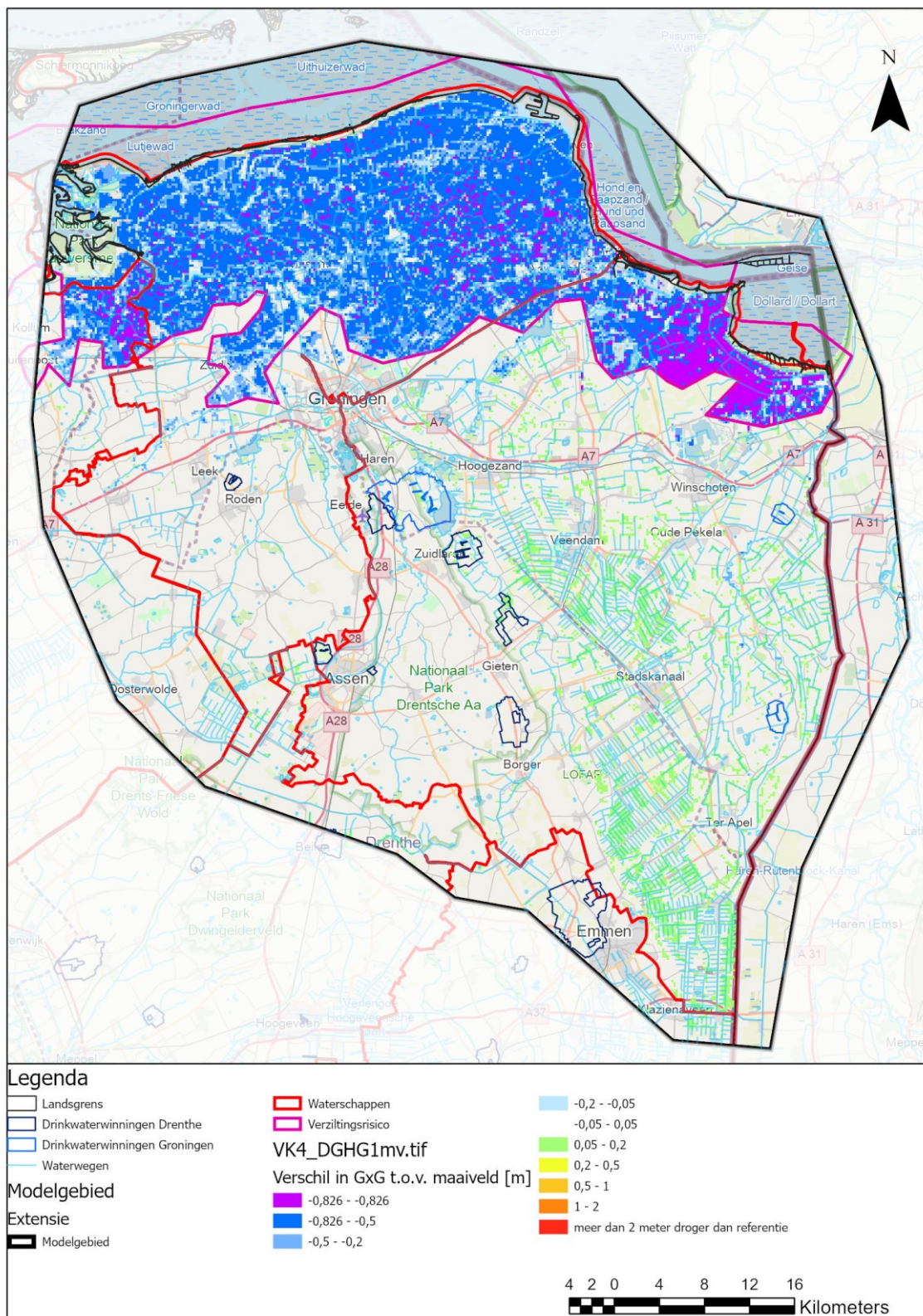
Dit verkennend scenario omvat het toepassen van het concept spaarwater in het noordelijk kleigebied, waar verzilting een risico vormt voor de landbouw. Spaarwater houdt in dat alle aanwezige buisdrainage peilgestuurd wordt gemaakt en uitgeschakeld wordt in de winter- en voorjaarsperiode. Dit zorgt voor het opbouwen van een zoetwatervoorraad bovenop het diepere brakke en zoute grondwater, waardoor de capillaire nalevering van zout of brak grondwater (en daardoor veroorzaakte verziltingsschade) gedurende het groeiseizoen wordt verminderd. Onderstaande Figuur 8-22 geeft het gebied weer, waar in dit verkennende scenario het spaarwater-concept is toegepast (paarse contour).



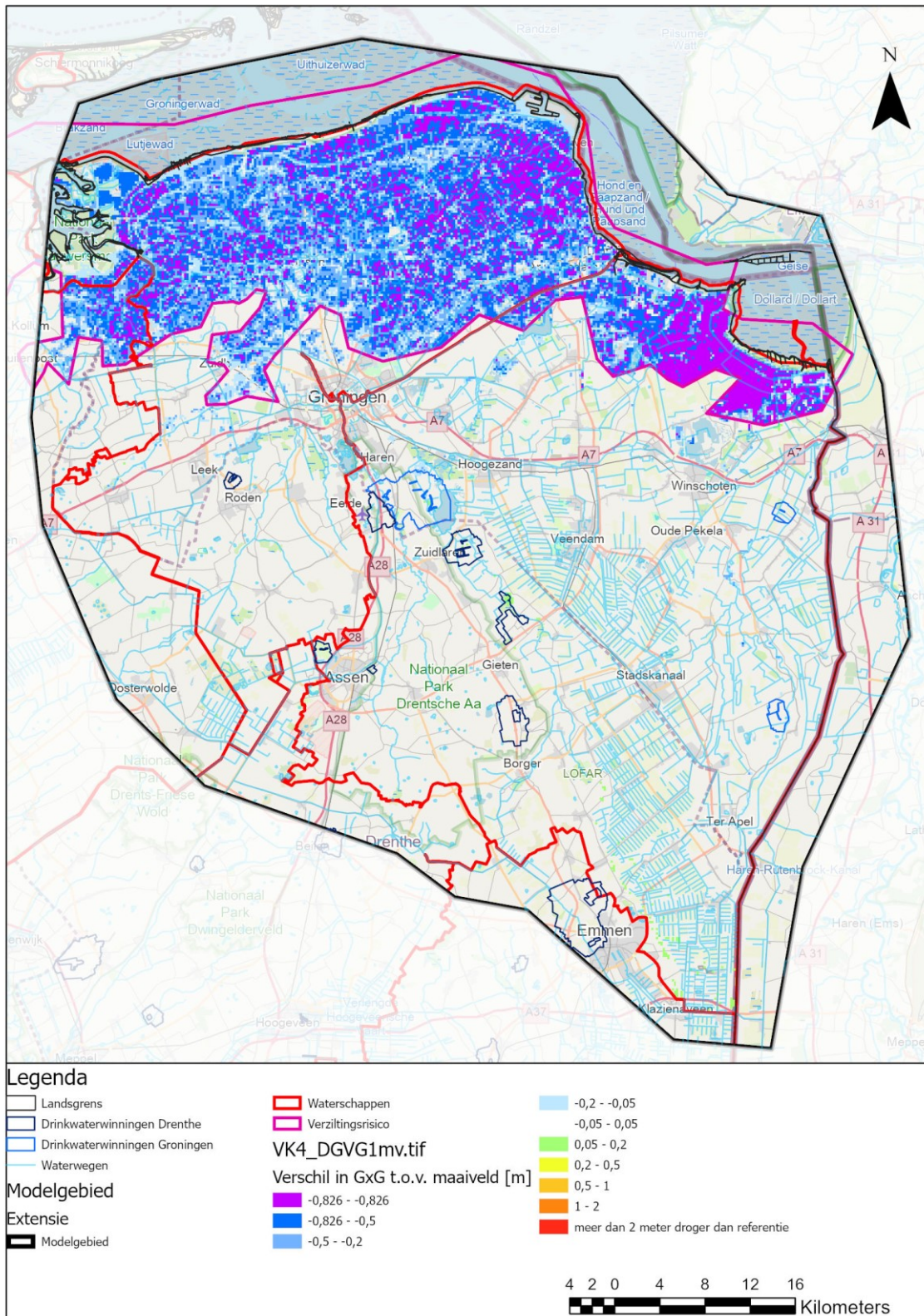
Figuur 8-22: Deelgebied waar in verkennend scenario 4 het spaarwater-concept is toegepast

8.4.5.2 Waterkwantiteit

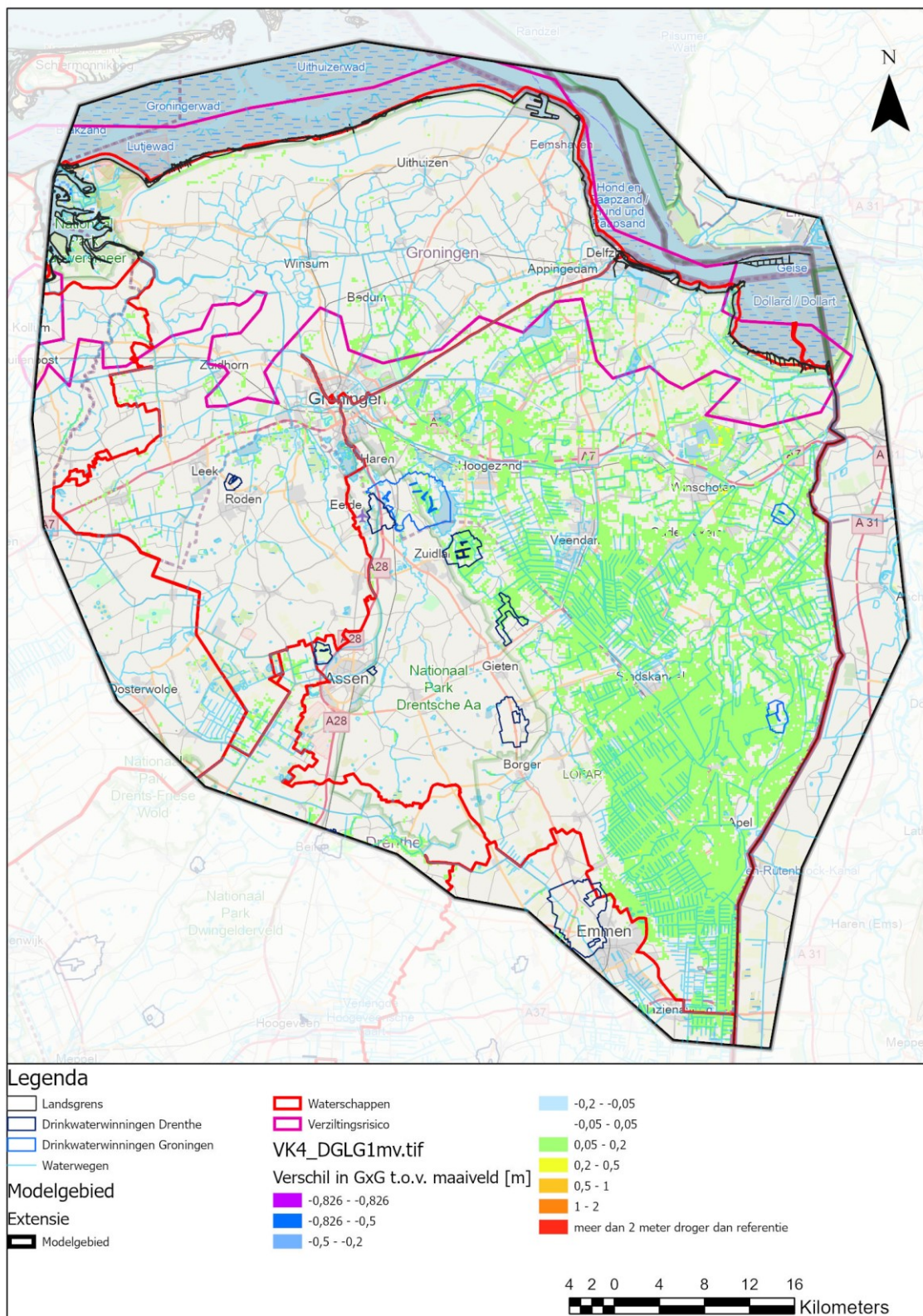
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-23 tot en met Figuur 8-25. Toepassing van het concept spaarwater zorgt in het noordelijk kleigebied voor zeer sterke stijgingen van de GHG en GVG, van 50 cm tot lokaal meer dan 80 cm. Buiten het noordelijk kleigebied blijven de stijgingen van de GHG en GVG beperkt tot enkele centimeters. Deze stijgingen zijn een uitstralingseffect van de forse grondwatereffecten binnen het noordelijk kleigebied. Het spaarwater-concept wordt alleen in de winter- en voorjaarsperiode toegepast en niet in het zomerhalfjaar. De effecten op de GLG zijn daarom zeer gering.



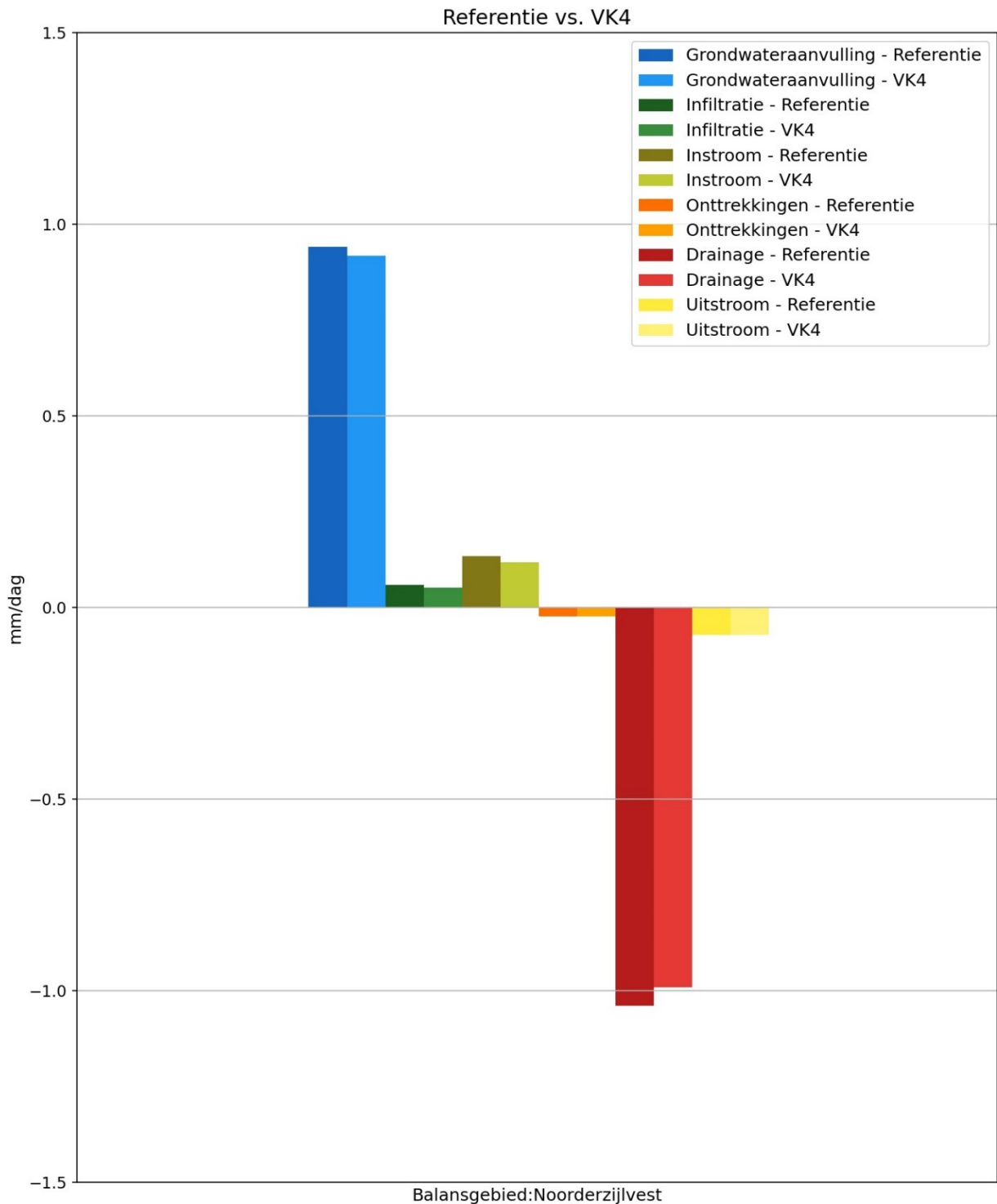
Figur 8-23: Verkennend scenario 4, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



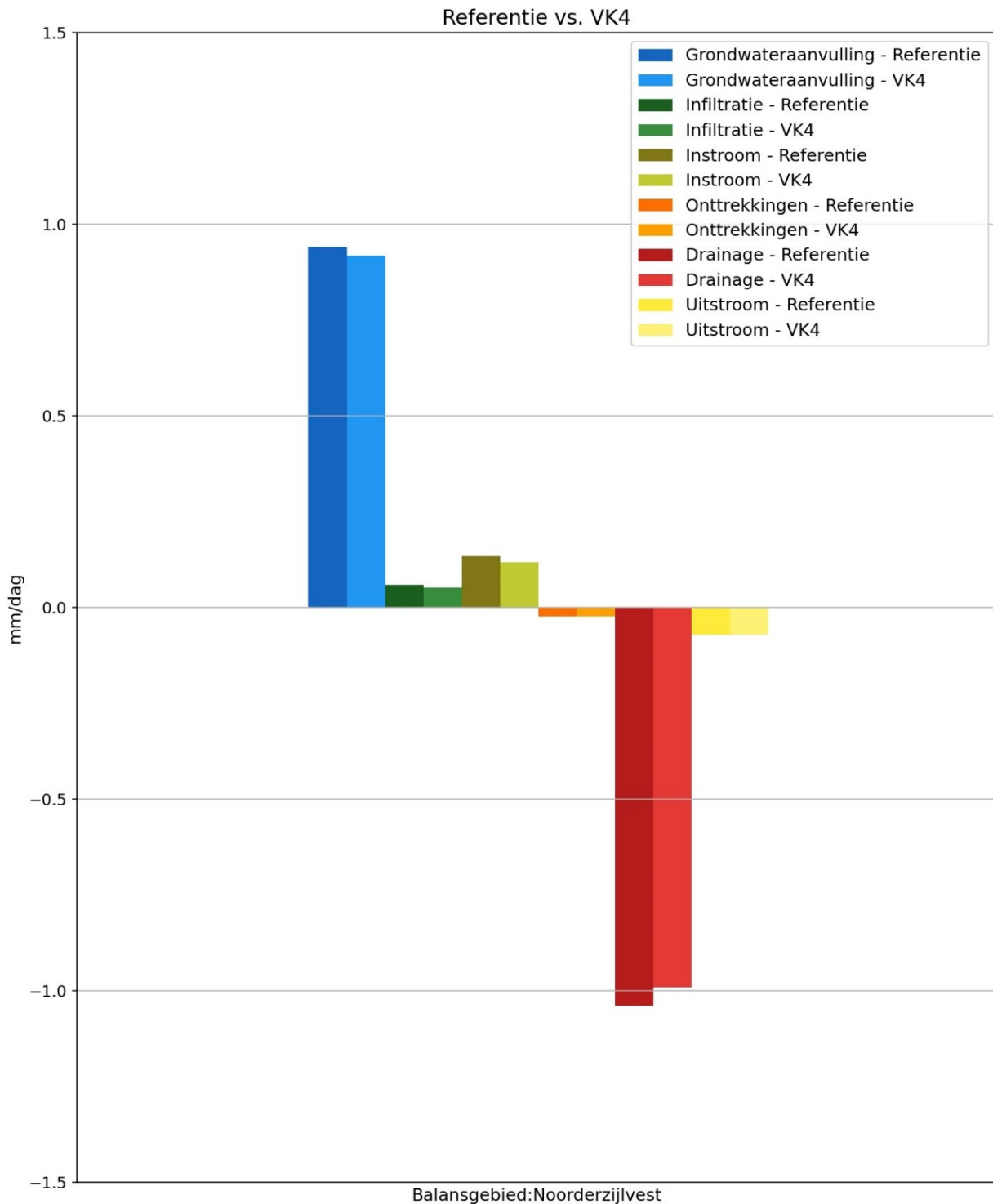
Figur 8-24: Verkennend scenario 4, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 8-25: Verkennend scenario 4, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-26 geeft voor het balansgebied kust Noorderzijlvest de effecten op de berekende waterbalans weer. Veranderingen van de waterbalans worden voornamelijk in het noordelijk kleigebied berekend. Door toepassing van het spaarwater-concept neemt hier de drainage af. Dit vertaalt zich mede in een afgenomen grondwateraanvulling, waarschijnlijk als gevolg van een toename in actuele verdamping.

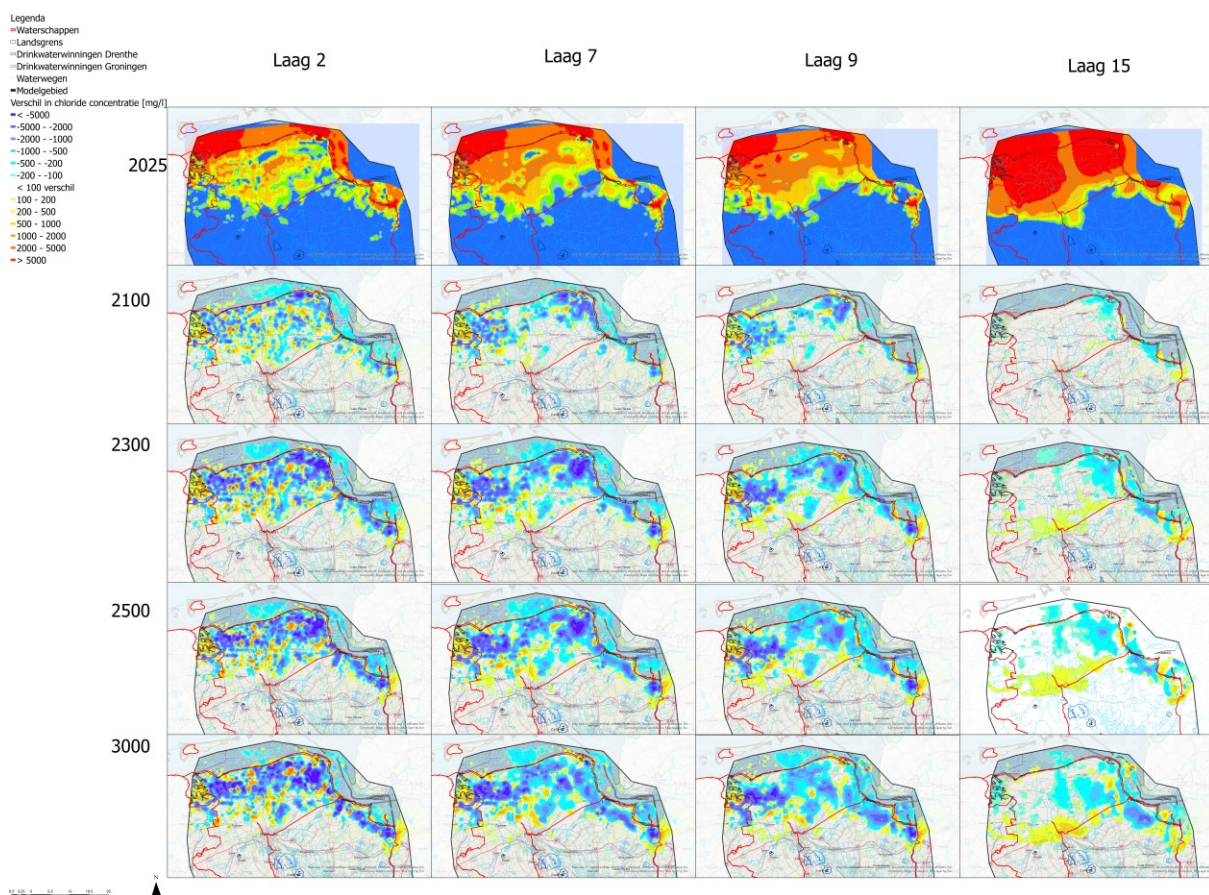


Figuur 8-26: Verkennend scenario 4, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Kust Noorderzijlvest

8.4.5.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-27 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

Toepassing van het spaarwater-concept zorgt in het noordelijk kleigebied voor minder intrusie van zout water vanaf de Waddenzee naar het grondwatersysteem en een forse verlaging van de chlorideconcentraties in het grondwater. Buiten het toepassingsgebied van het spaarwater-concept zijn de veranderingen van de chlorideconcentraties beperkt.



Figuur 8-27: Verkennend scenario 4: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.6 Verkennend Scenario 5 – Brak & Zoutwaterwinning

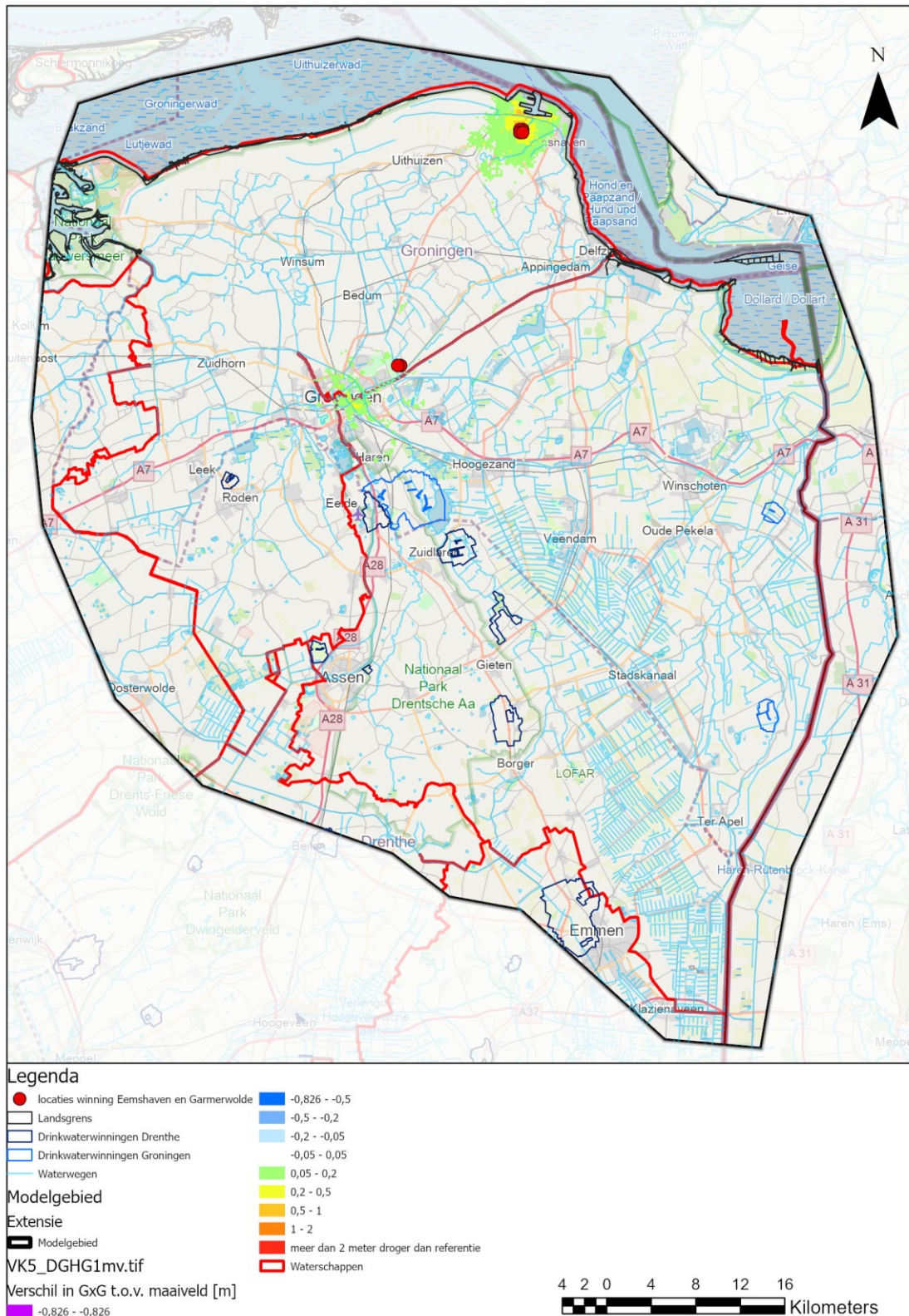
8.4.6.1 Omschrijving en uitwerking

Dit verkennend scenario bestaat uit het realiseren van een zoutwaterwinning bij de Eemshaven en een brakwaterwinning bij Garmerwolde, iets ten noordoosten van de stad Groningen.

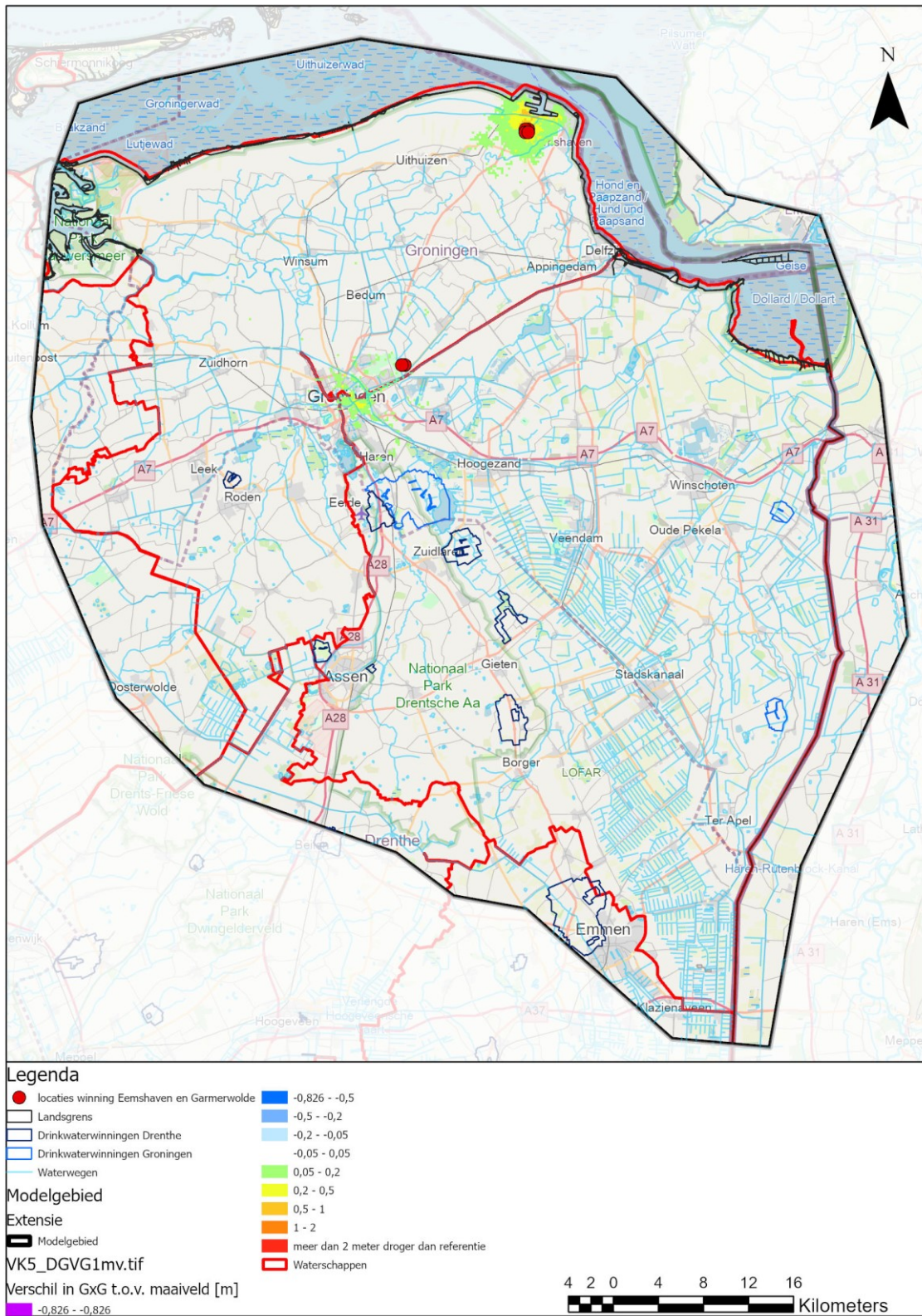
De zoutwateronttrekking bij de Eemshaven is bedoeld voor de productie van waterstof. In het scenario is uitgegaan van een onttrekking van 18 miljoen m³ per jaar uit de Peize-Waalrezanden (modellagen 10 en 11). De brakwaterwinning bij Garmerwolde is bedoeld voor de productie van drinkwater (met omgekeerde osmose). In het scenario is uitgegaan van een onttrekking van 9 miljoen m³ per jaar uit de formatie van Urk/Appelscha/Peize (modellaag 9).

8.4.6.2 Waterkwantiteit

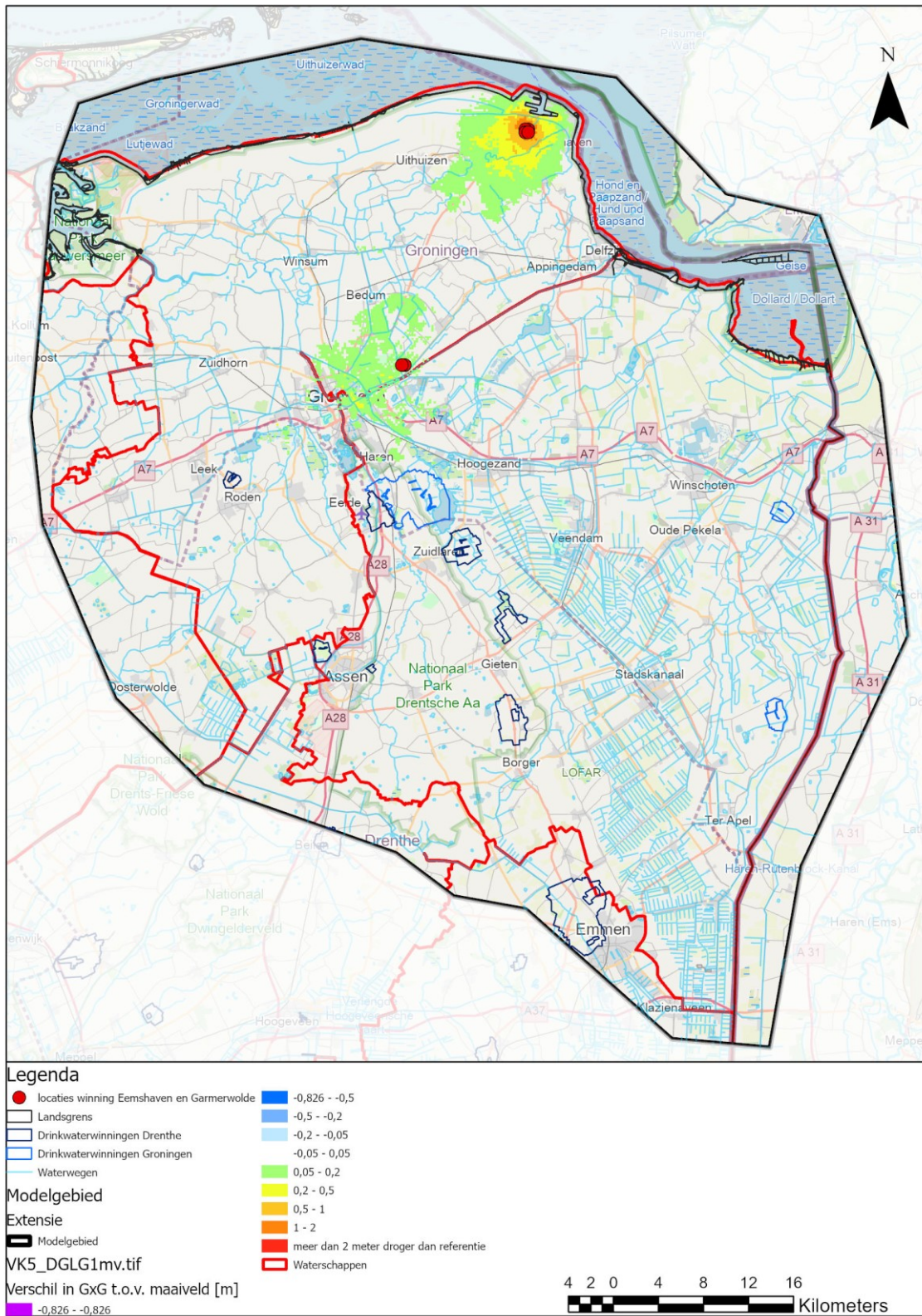
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-28 tot en met Figuur 8-30. Rond de grondwaterwinningen bij de Eemshaven en Garmerwolde worden verlagingen van de GHG en GVG berekend van enkele centimeters tot lokaal iets meer dan 20 cm. De verlagingen van de GLG spreiden zich over een groter gebied rond de winningen uit. Bij Garmerwolde worden GLG-verlagingen berekend van enkele centimeters tot maximaal 20 cm. Bij de Eemshaven worden in een relatief groot gebied verlagingen van de GLG berekend van 5 tot 20 cm. In de directe nabijheid van de zoutwaterwinning is de berekende GLG-verlaging meer dan 50 cm.



Figur 8-28: Verkennend scenario 5, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



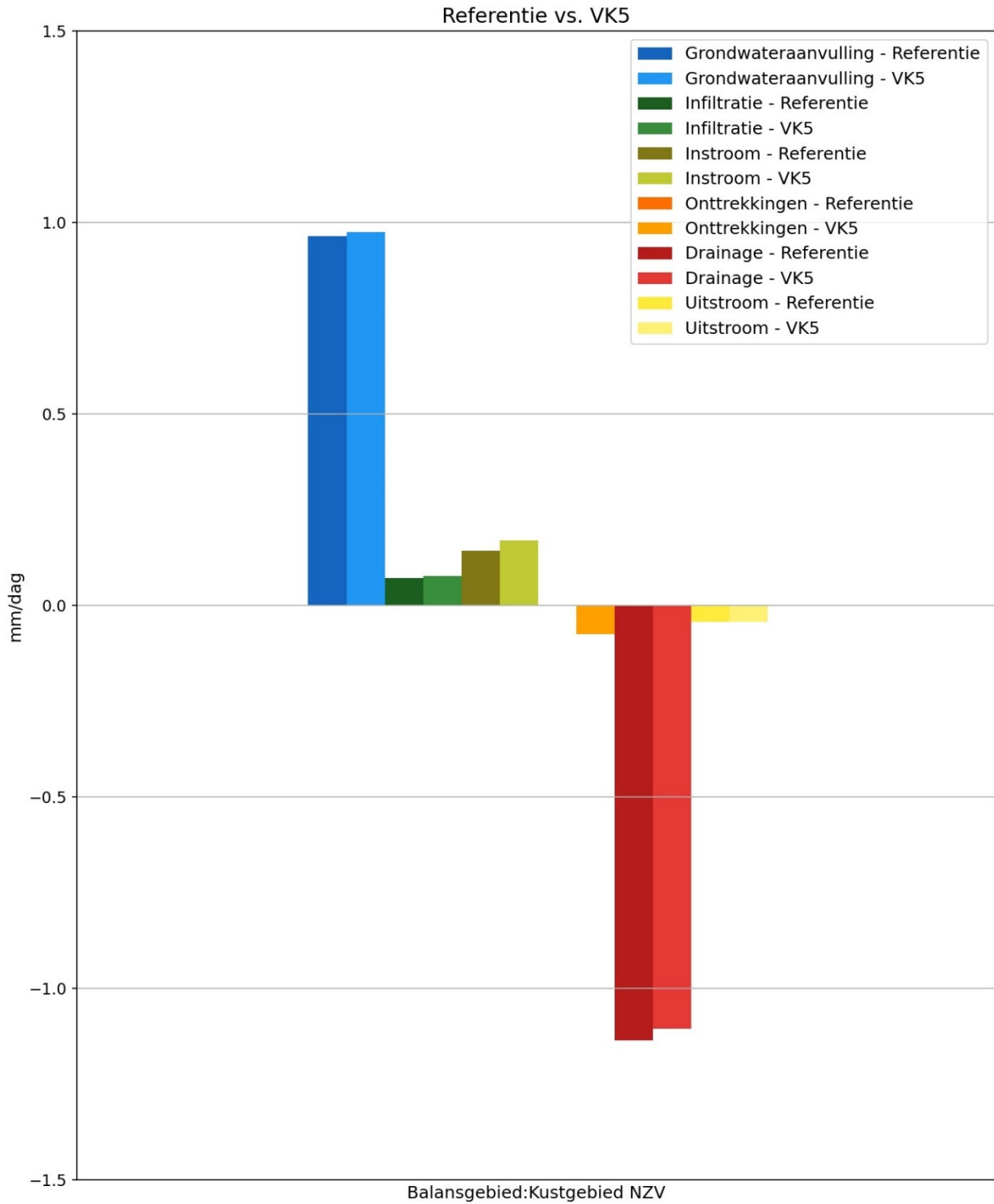
Figur 8-29: Verkennend scenario 5, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-30: Verkennend scenario 5, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-31 geeft voor het balansgebied kust Noorderzijlvest de berekende waterbalans weer. In dit balansgebied zijn de twee gemodelleerde onttrekkingen gelegen. In de balans is te zien dat de

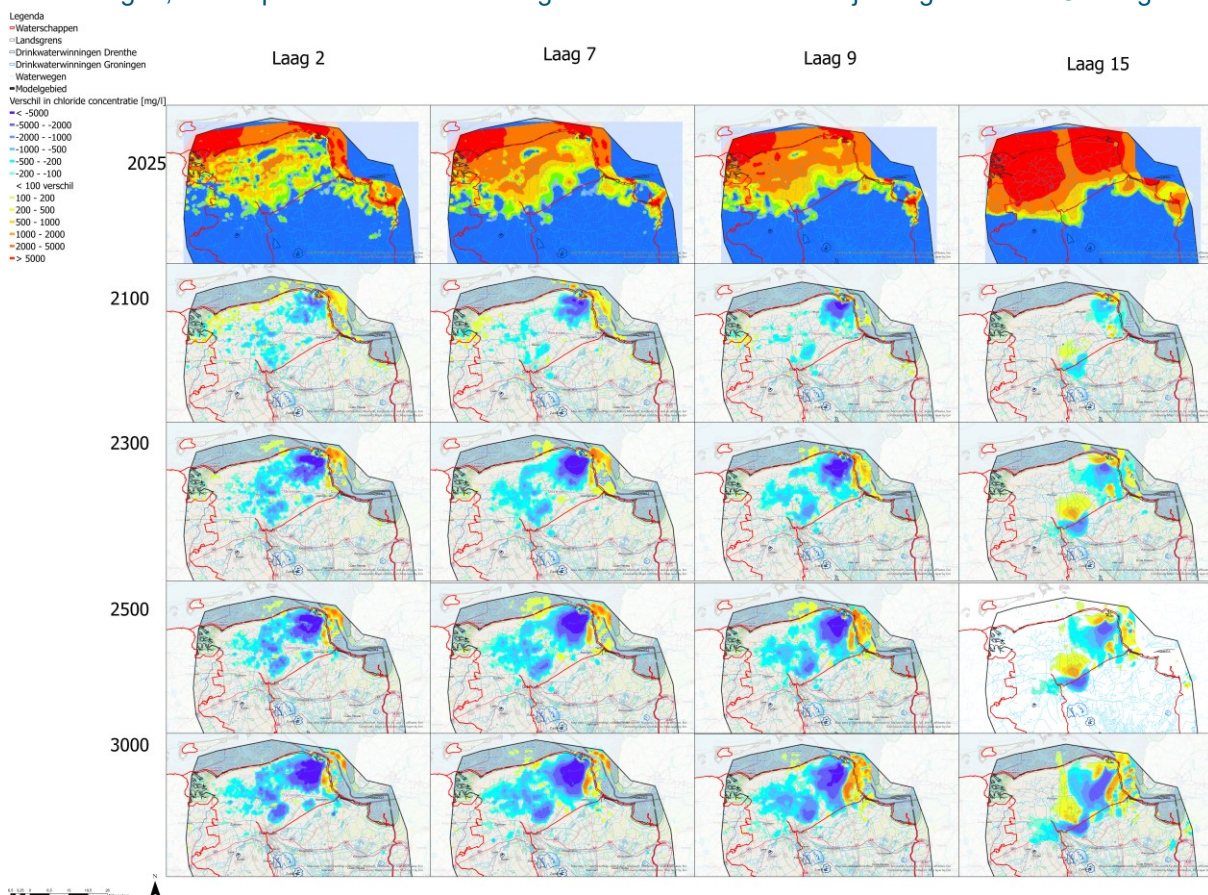
onttrekkingsterm tevoorschijn komt waar deze eerder 0 was. De gedaalde grondwaterstand leidt tot een afname in drainage en toename in grondwateraanvulling, instroom en infiltratie.



Figuur 8-31: Verkennend scenario 5, waterbalans (mm/d) voor balansgebied kustgebied Noordzijlvest

8.4.6.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-32 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. De winningen van zout en brak water bij Eemshaven en Garmerwolde zorgen voor forse verlagingen van de chlorideconcentraties in het grondwater. De verzoeting blijft niet beperkt tot de directe omgeving van de winningen, maar spreidt zich uit over een groot deel van het noordelijk kleigebied van Groningen.

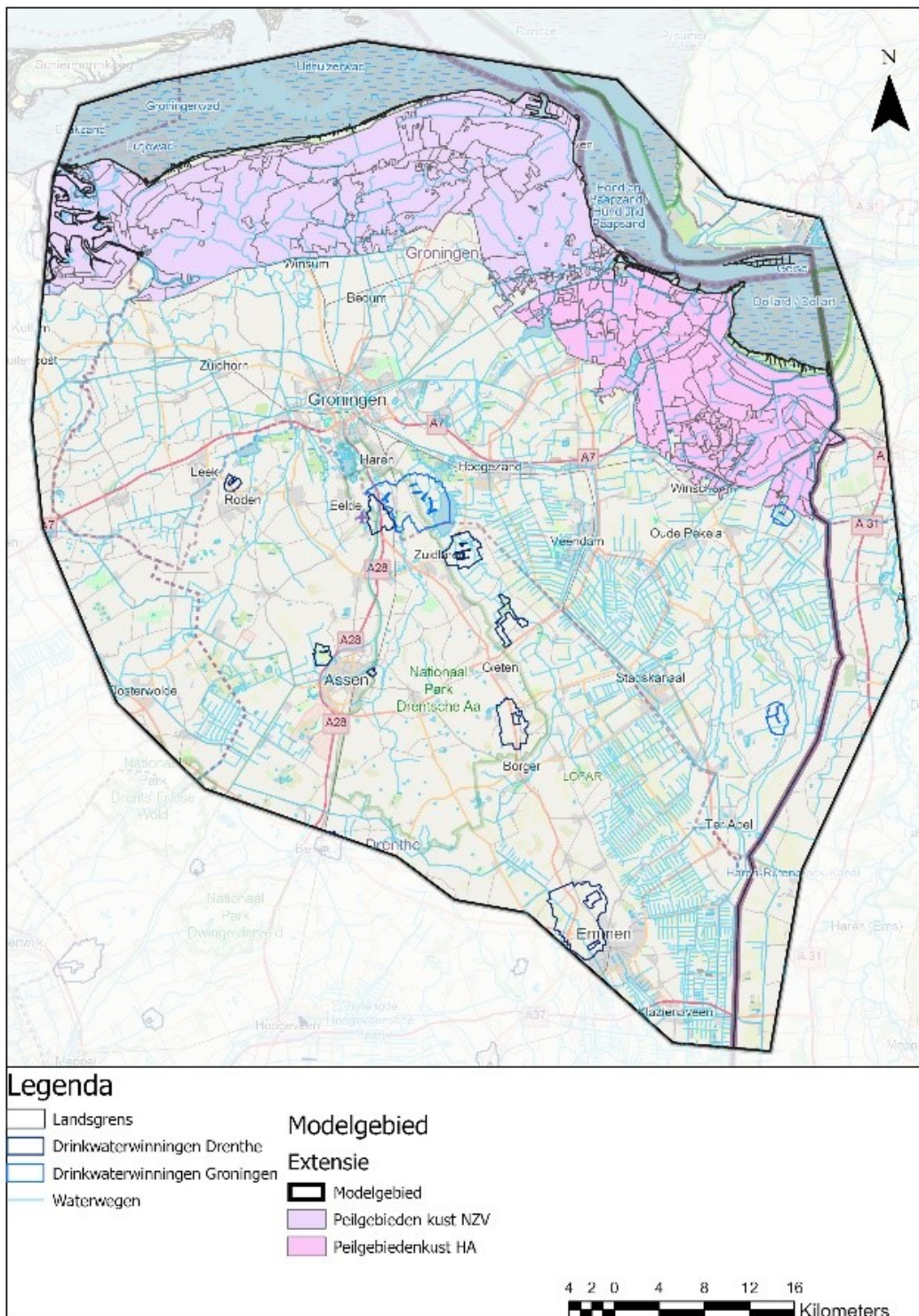


Figuur 8-32: Verkennend scenario 5: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.7 Verkennend Scenario 7 – Peilverhoging kuststrook

8.4.7.1 Omschrijving en uitwerking

In dit verkennend scenario zijn de effecten berekend van peilverhoging in het noordelijk zeeleigebied van Groningen (kuststrook). In deze kuststrook (zie gemarkeerd gebied in Figuur 8-33) is de drooglegging verminderd tot 1 meter onder maaiveld. Per peilgebied is het oppervlaktewaterpeil zodanig verhoogd, dat het 10% laagste areaal van het peilgebied een drooglegging heeft van 1 meter onder maaiveld.

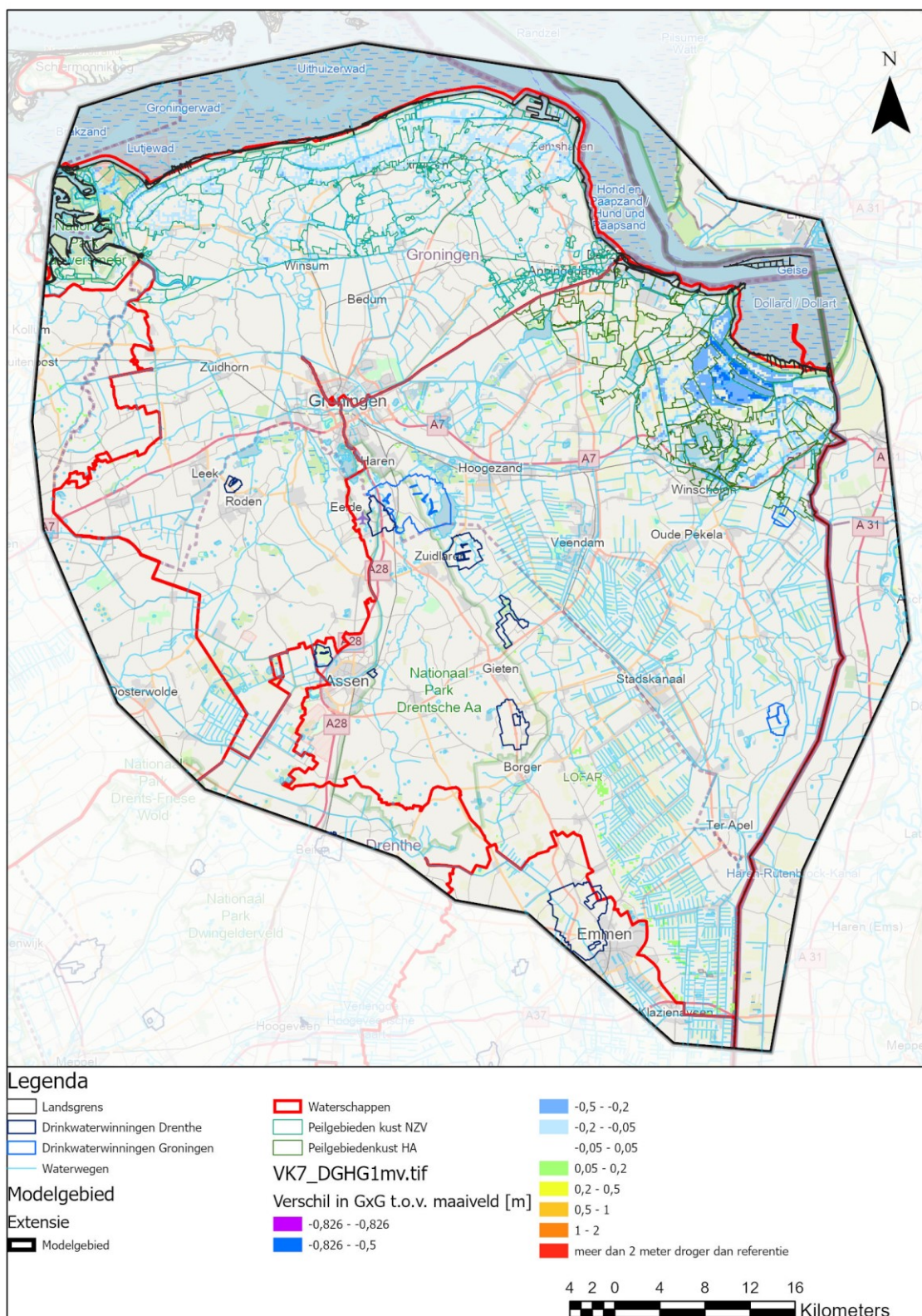


Figuur 8-33: Begrenzing kuststrook met vermindering drooglegging tot 1 m onder maaiveld (verkennend scenario 7)

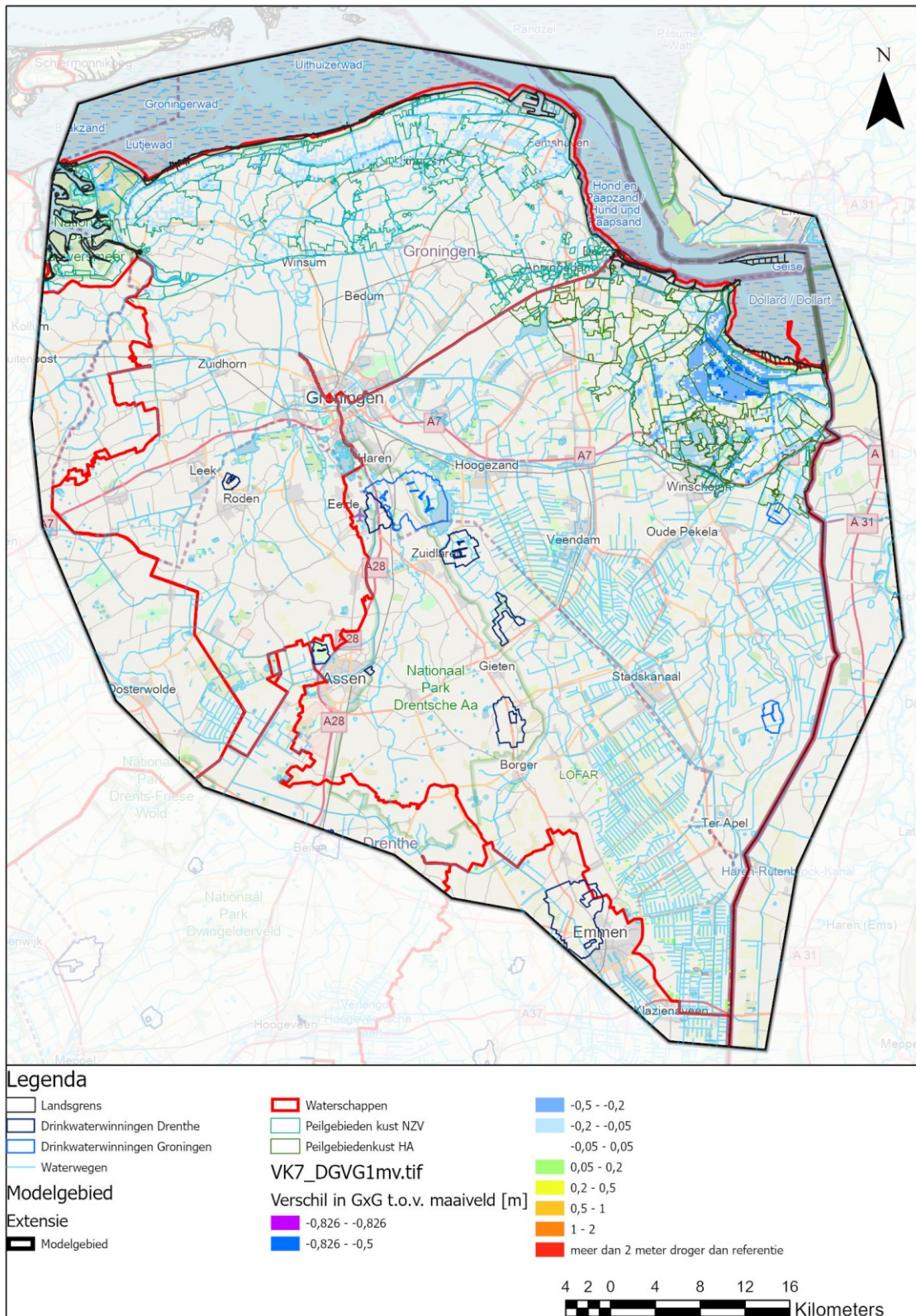
8.4.7.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-34 tot en met Figuur 8-36. De stijgingen van de GHG, GVG en GLG blijven in het grootste deel van de kuststrook beperkt van enkele centimeters tot lokaal maximaal 20 cm. Alleen in een aaneengesloten gebied tussen de Dollard, Niewolda, Beerta en Nieuweschans worden verhogingen

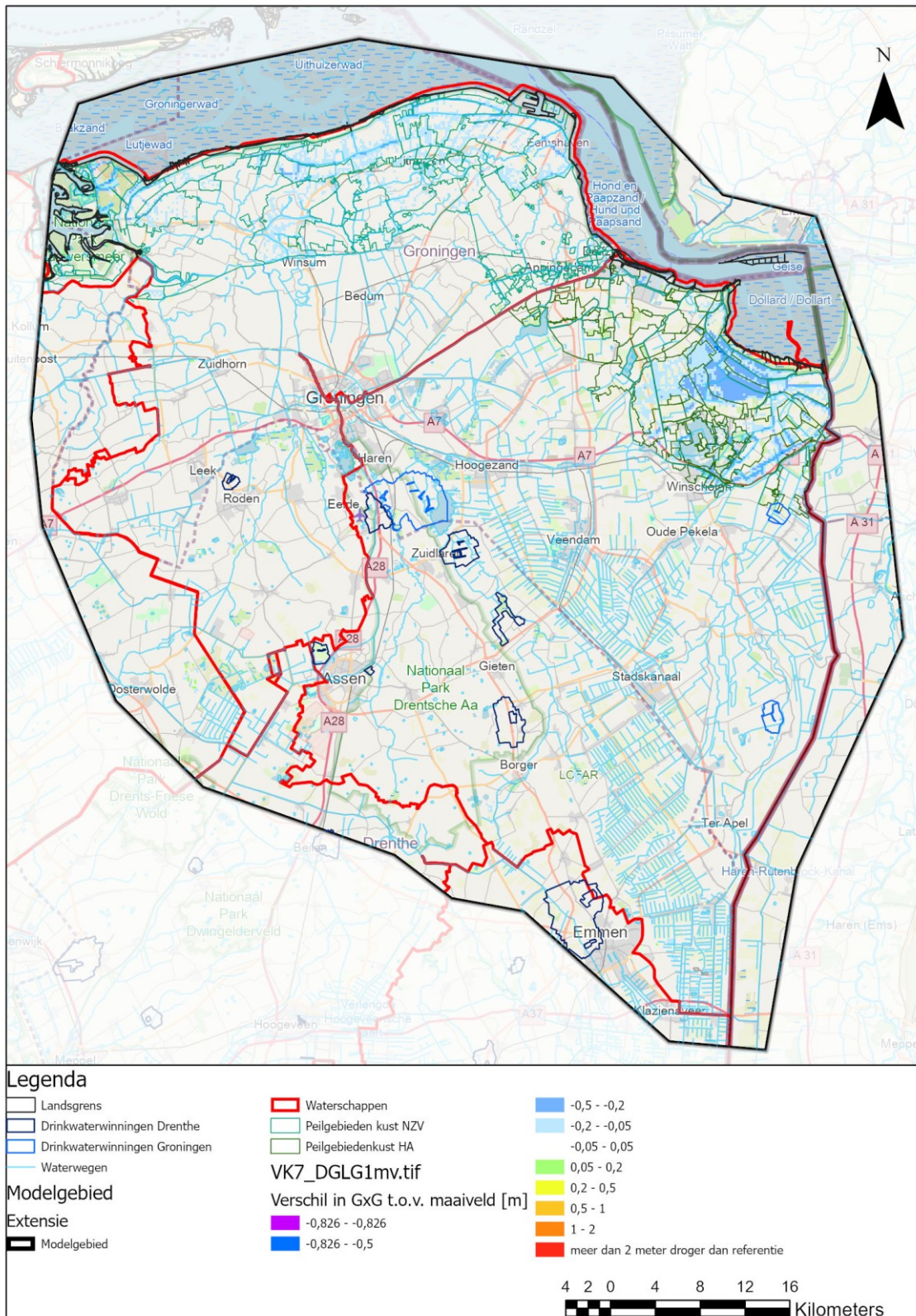
van de GLG tussen 20 en 50 cm berekend en verhogingen van de GHG en GVG van 20 cm tot lokaal meer dan 50 cm.



Figuur 8-34: Verkennend scenario 7, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

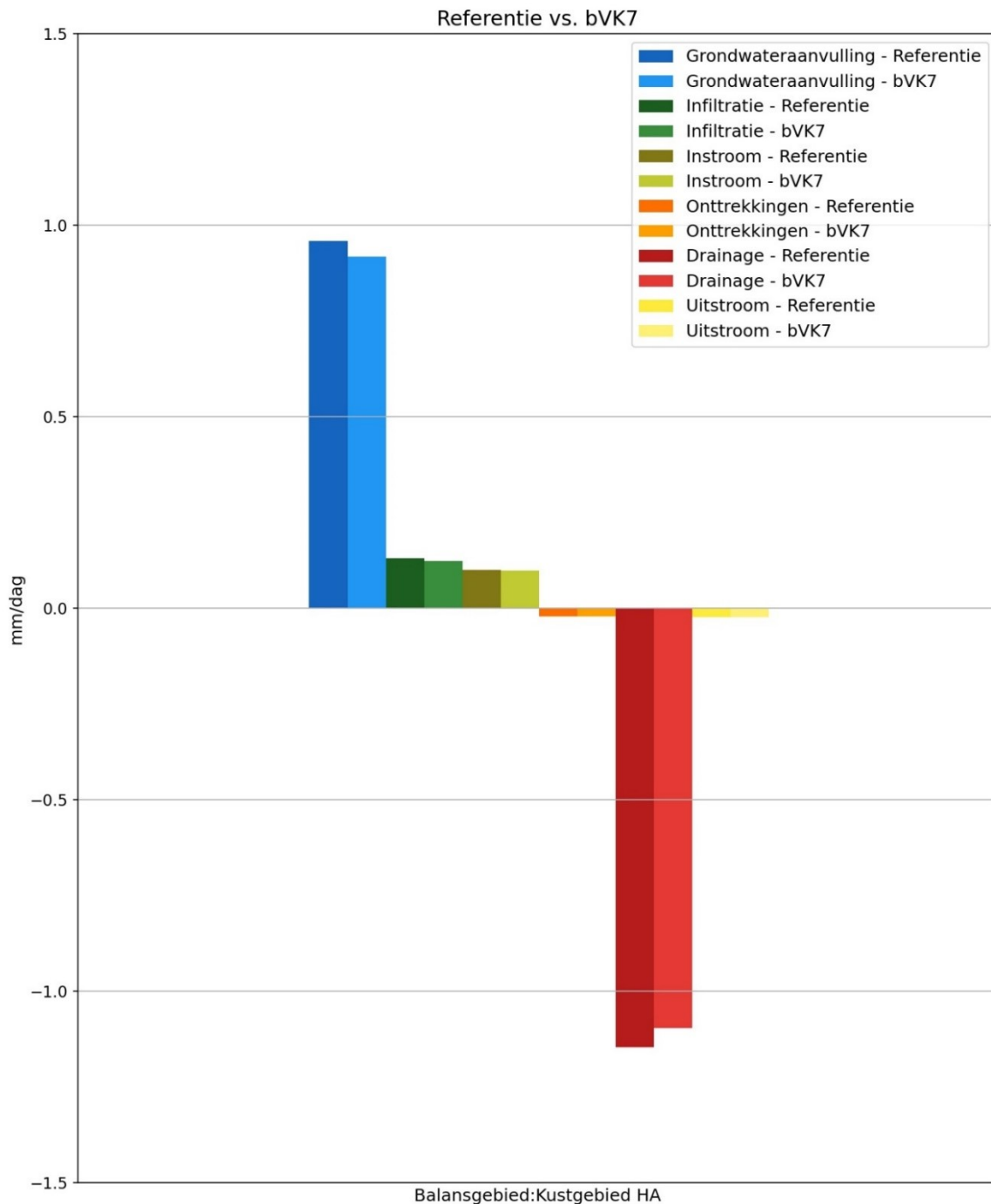


Figuur 8-35: Verkennend scenario 7, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-36: Verkennend scenario 7, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-37 geeft voor het balansgebied kustgebied Hunze en Aa's de berekende waterbalans weer. In het balansgebied kuststrook Hunze en Aa's (en ook het balansgebied kuststrook Noorderzijlvest) zorgt de vermindering van de drooglegging voor een (beperkte) afname van de drainage (maximaal 0,01 mm/d). De grondwateraanvulling neemt af, vermoedelijk als gevolg van de toegenomen, berekende, actuele verdamping⁹.

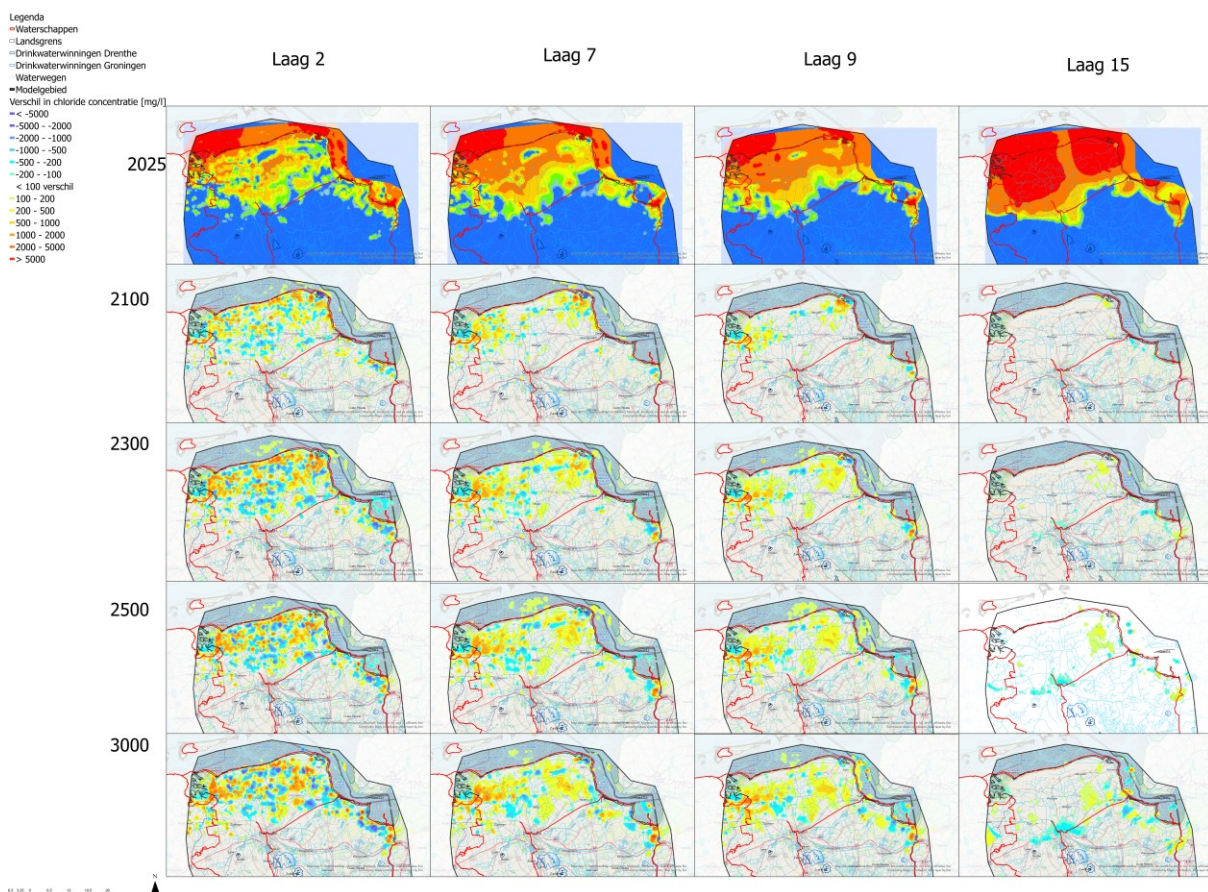


Figuur 8-37: Verkennend scenario 7, waterbalans (mm/d) voor balansgebied kustgebied Hunze en Aa's

⁹ In het model wordt geen rekening gehouden met berekening uit oppervlaktewater en de rol die dit mogelijk speelt dus met het vervullen van de verdampingsvraag. Dit is goed om te beseffen in het kader van de berekende grondwateraanvulling.

8.4.7.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-38 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer. De veranderingen van de chlorideconcentraties in de ondergrond zijn wisselend en over het algemeen beperkt.



Figuur 8-38: Verkennend scenario 7: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.8 Verkennend Scenario 8 – Beekdalbrede inrichting

8.4.8.1 Omschrijving en uitwerking

In dit scenario is voor een aantal beekdalen in Drenthe uitgegaan van beekdalbrede inrichting. Beekdalbrede inrichting houdt in dat de beekdalvlaktes worden gereserveerd voor optimaal ecologisch herstel van de beken. Hier vindt maximale vernatting plaats door de beken te verondiepen, de beekpeilen te verhogen en de detailontwatering sterk te beperken. Door de vernatting is intensieve landbouw niet meer mogelijk en vindt omschakeling plaats naar natuur, (beekbegeleidend) bos of natuurinclusieve landbouw.

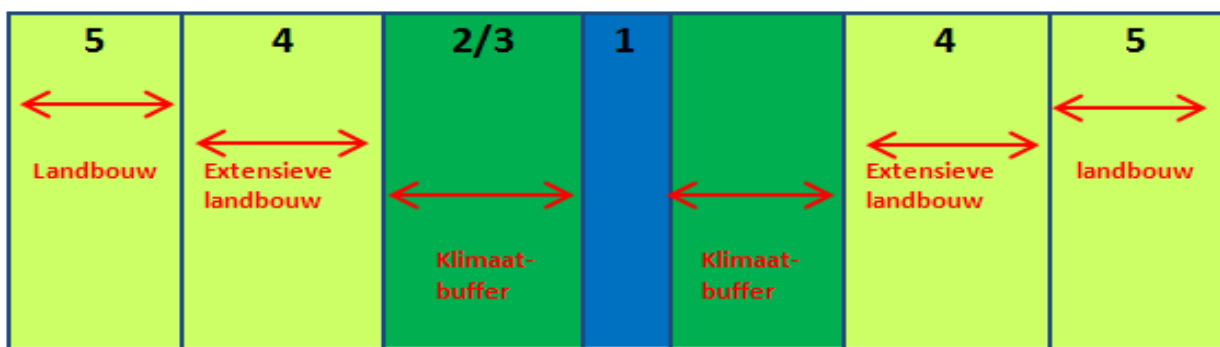
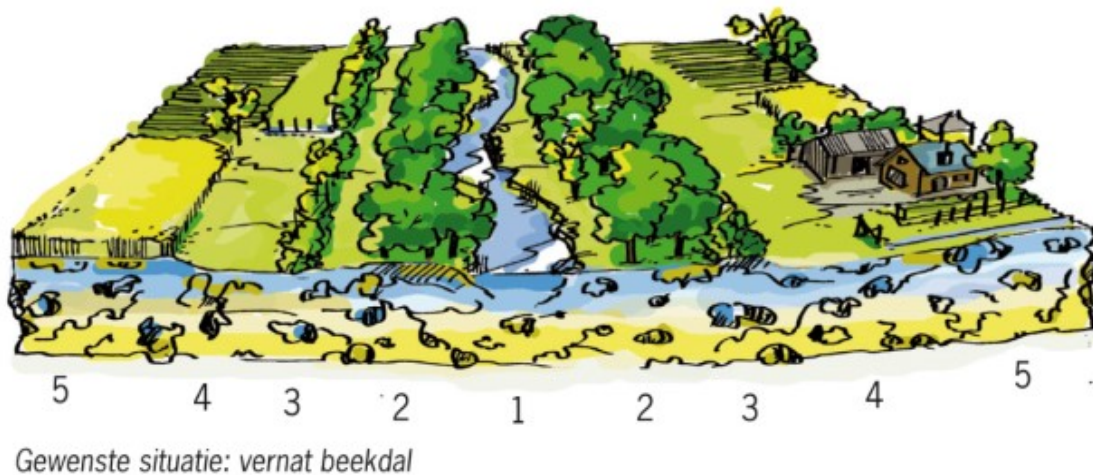
De vernatting in de beekdalen zorgt ook voor verhoging van de grondwaterstanden op de flanken van de beekdalen en in de hoger gelegen infiltratiegebieden tussen de beekdalen. Met name op de flanken van de beekdalen zal dit zorgen voor een vermindering van de droogtestress voor de landbouw en mogelijk

ook voor natuur. In de hoger gelegen infiltratiegebieden wordt de grondwatervoorraad vergroot, waardoor in droge perioden de basisafvoer van beken en de kwel in natte natuurgebieden langer op niveau blijft.

Figuur 8-39 geeft het principe van beekdalbrede inrichting schetsmatig weer.

Concreet zijn in dit scenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
- De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
- In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.

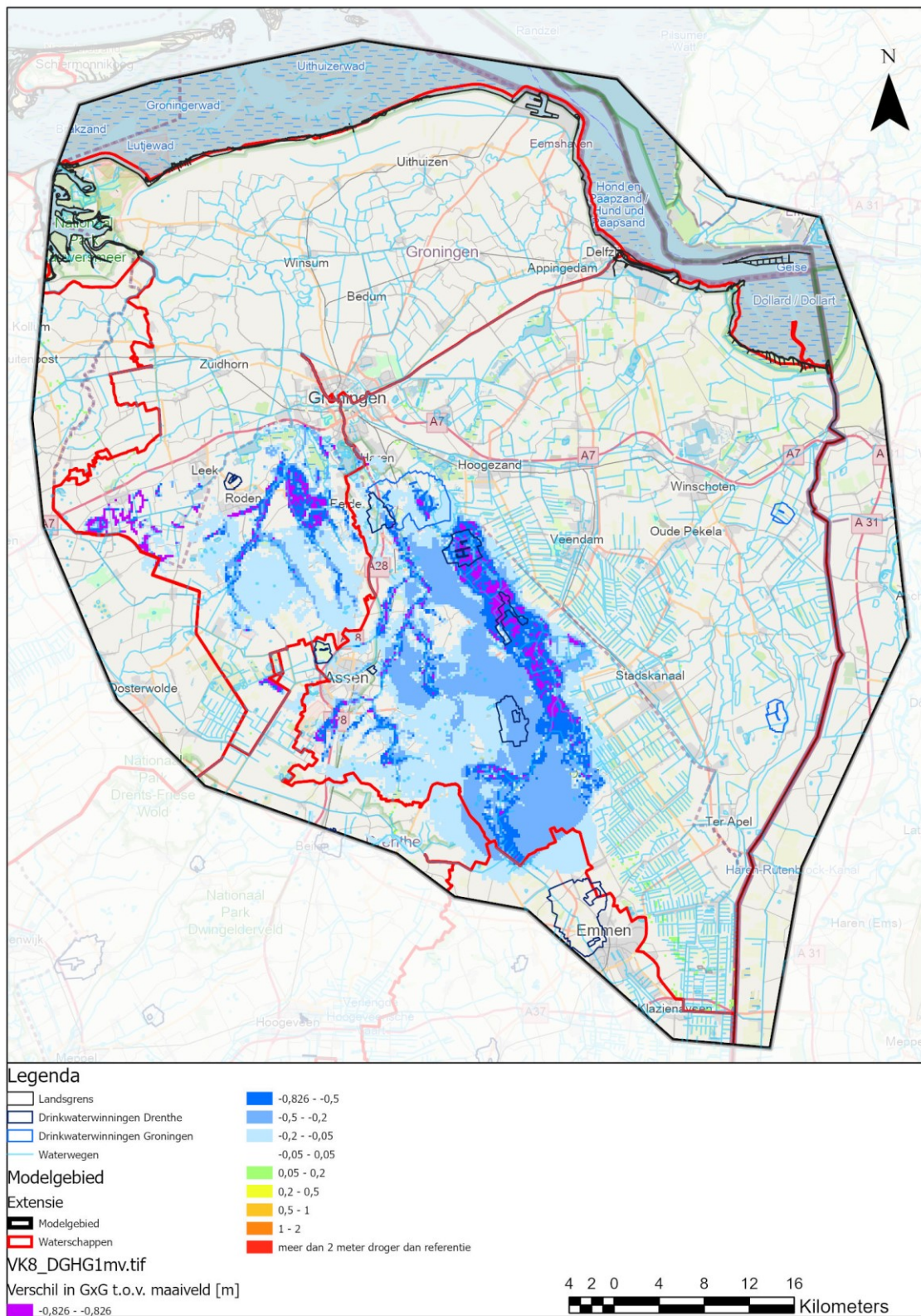


Figuur 8-39: Principeschets beekdalbrede inrichting (naar: Piet Verdonschot, 2009)

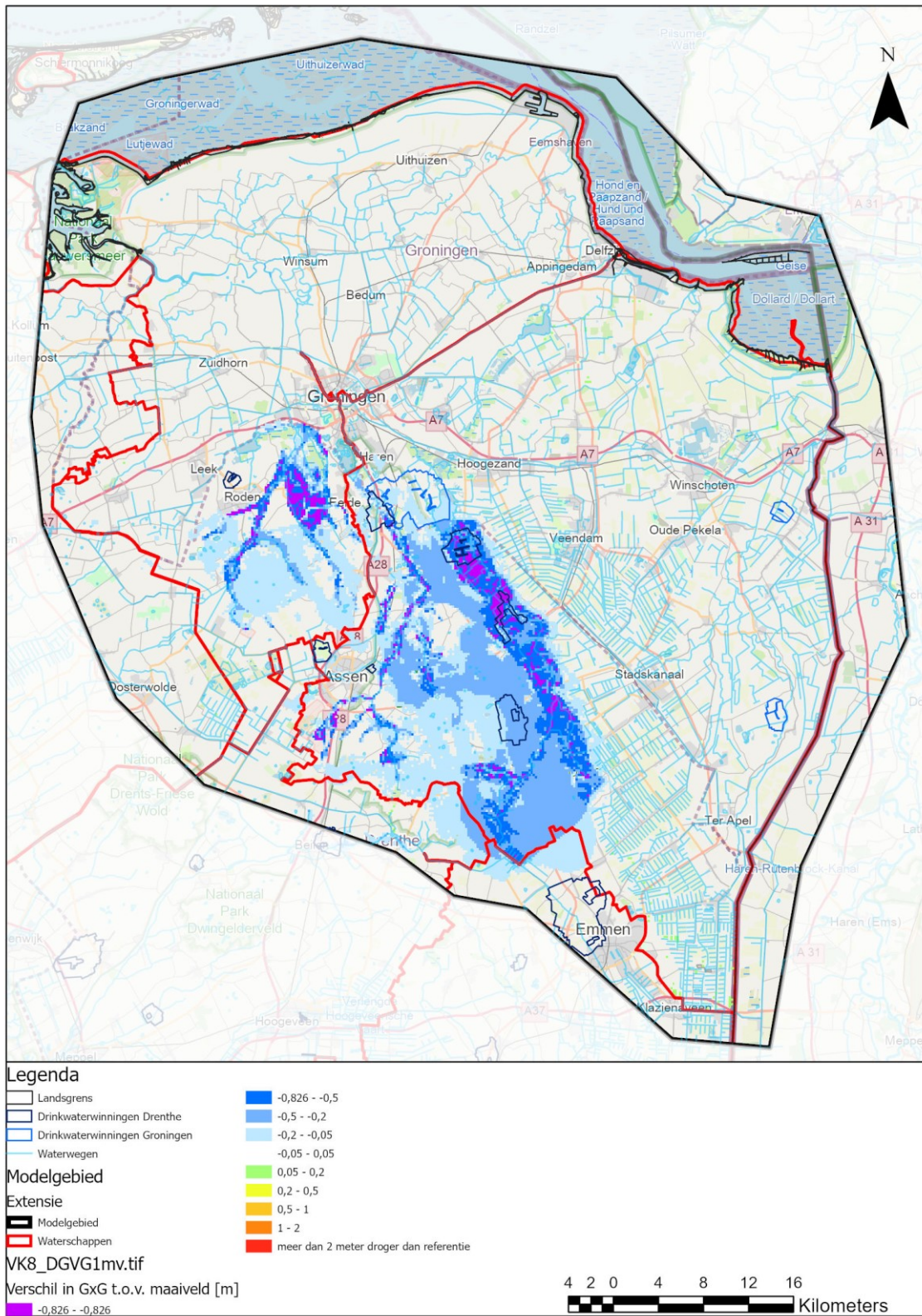
8.4.8.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-40 tot en met Figuur 8-42. De beekdalbrede inrichting zorgt met name in de beekdalen van de Hunze, de Drentsche Aa en het Peizerdiep voor flinke verhogingen van de GHG, GVG en GLG. Over grote oppervlaktes worden stijgingen berekend van 20 tot 50 cm. Lokaal in de laagste

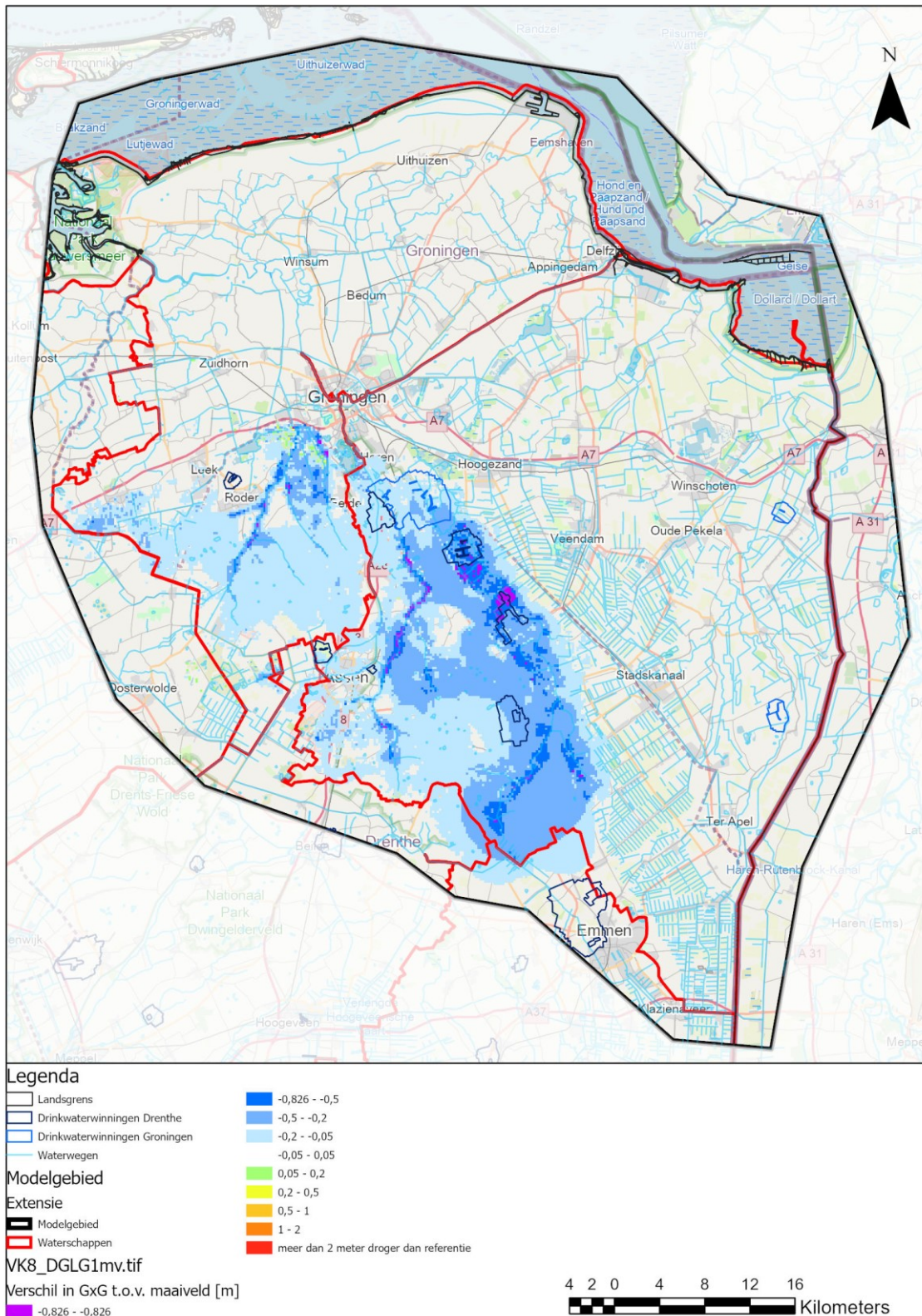
delen van de beekdalen worden stijgingen van de GHG, GVG en GLG berekend van 50 cm tot meer dan 80 cm.



Figuur 8-40: Verkennend scenario 8, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



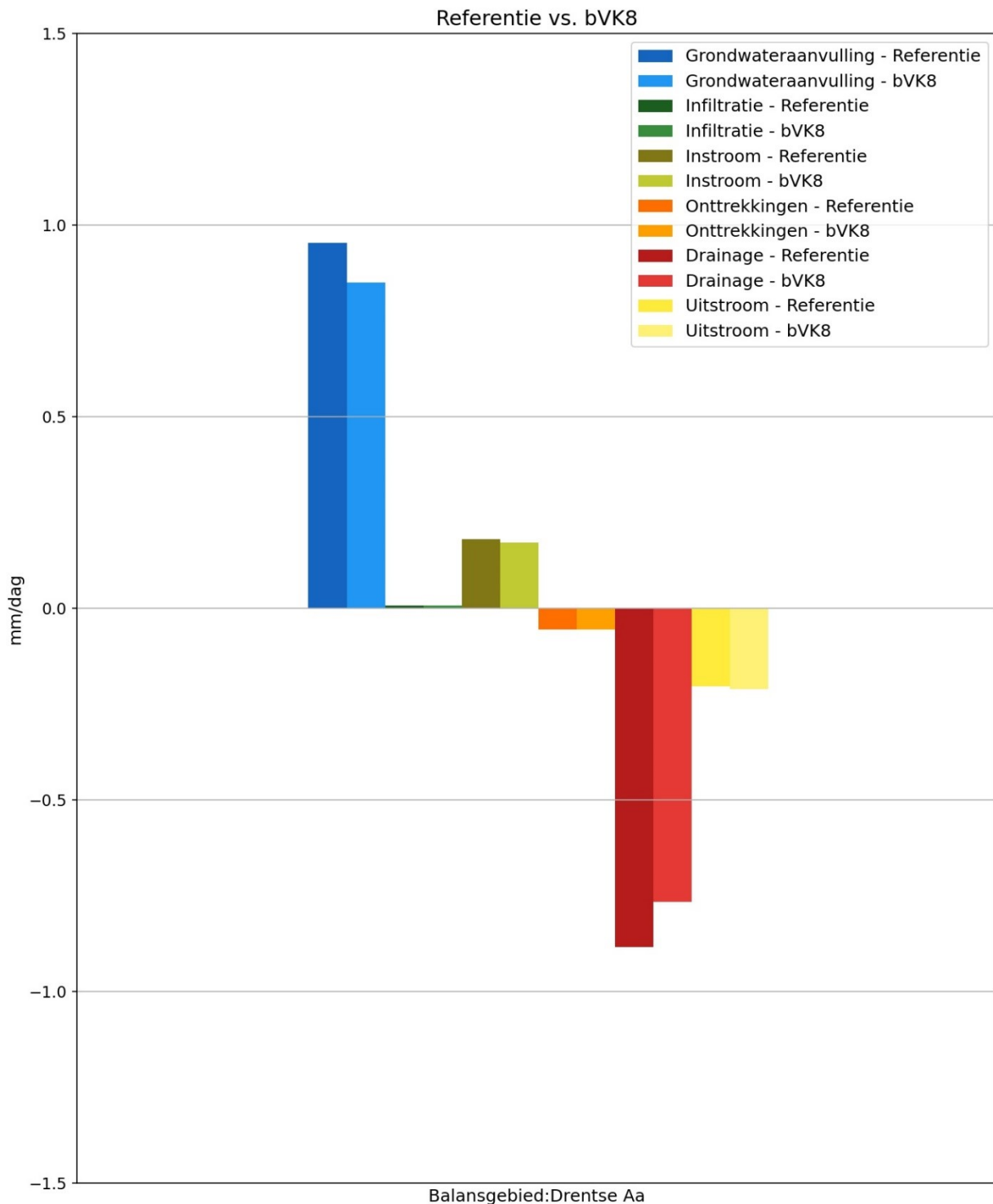
Figur 8-41: Verkennend scenario 8, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonoom- W_h (zichtjaar 2085)



Figuur 8-42: Verkennend scenario 8, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-43 geeft voor het balansgebied van de Drentse Aa de berekende waterbalans weer. In de balansgebieden in het Drentse deel van het modelgebied (waaronder Drentse Aa maar ook Noordenveld

en Oostermoer en Veenmarken) zorgt de beekdalbrede inrichting voor een aanzienlijke afname van de drainage. In grote delen van de beekdalen komen de grondwaterstanden gedurende een deel van het jaar aan maaiveld te staan. Dit zorgt hier voor een toename van de oppervlakkige afstroming en een afname van de grondwateraanvulling. De grondwateraanvulling neemt ook af als gevolg van een meer optimale verdamping (minder reductie van de verdamping door droogtestress).



Figuur 8-43: Verkennend scenario 8, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Drentse Aa

8.4.8.3 Waterkwaliteit

De beekdalbrede inrichting in verkennend scenario 8 heeft vrijwel geen grondwatereffecten tot gevolg in het peilbeheerste deel van Groningen. De effecten op de chlorideverdeling in de ondergrond zijn daardoor marginaal. Er zijn voor dit scenario daarom geen berekeningen uitgevoerd met het waterkwaliteitsmodel.

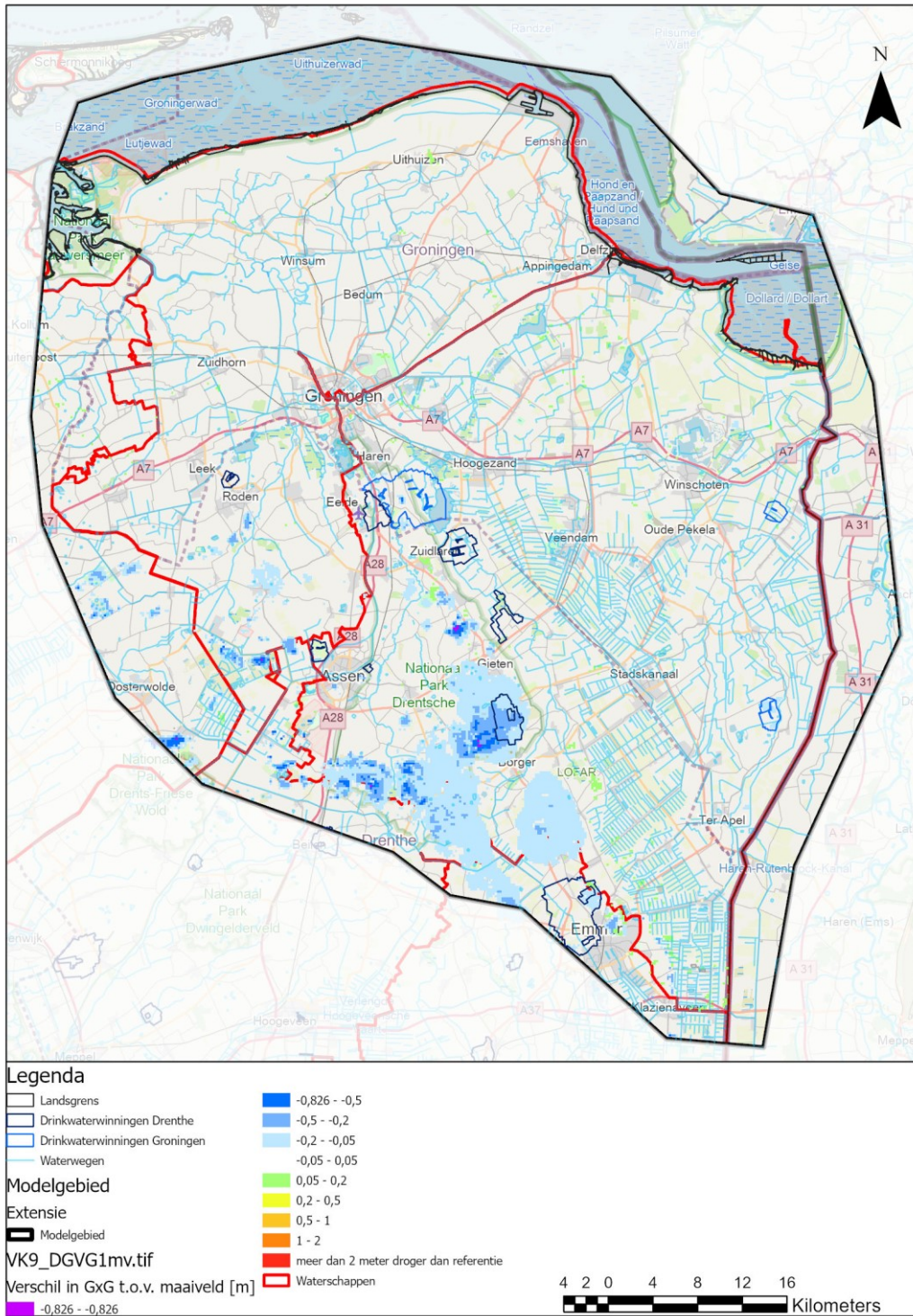
8.4.9 Verkennend Scenario 9 – Bosomvorming

8.4.9.1 Omschrijving en uitwerking

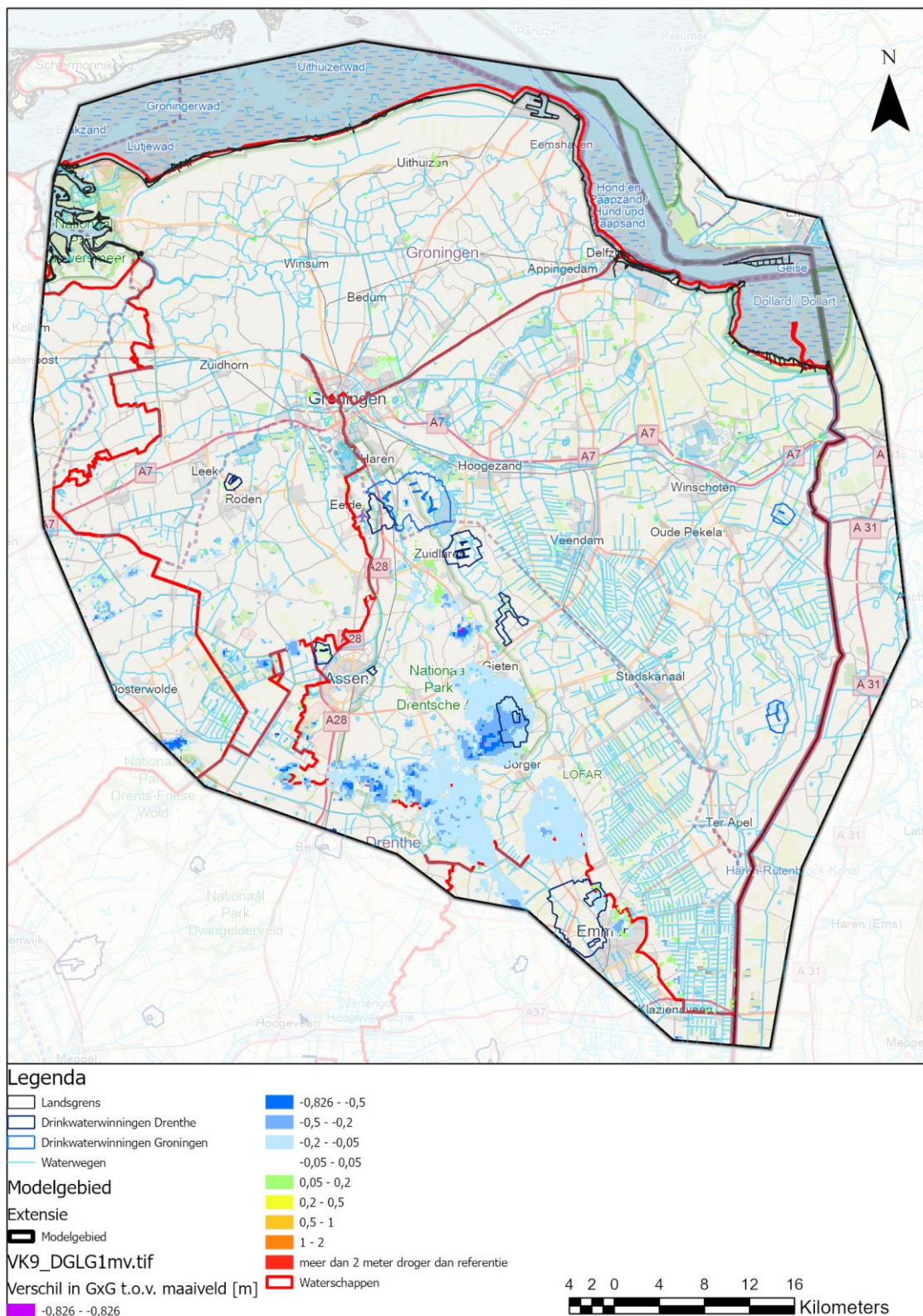
In dit verkennende scenario is het volledige areaal bos (zowel naaldbos als loofbos) binnen het modelgebied omgezet naar heide. Deze omzetting zorgt hier voor een toename van de grondwateraanvulling en daardoor stijgingen van de grondwaterstanden. Doel van dit scenario is om het theoretisch maximale effect van bosomvorming op het grondwaterregime te verkennen.

8.4.9.2 Waterkwantiteit

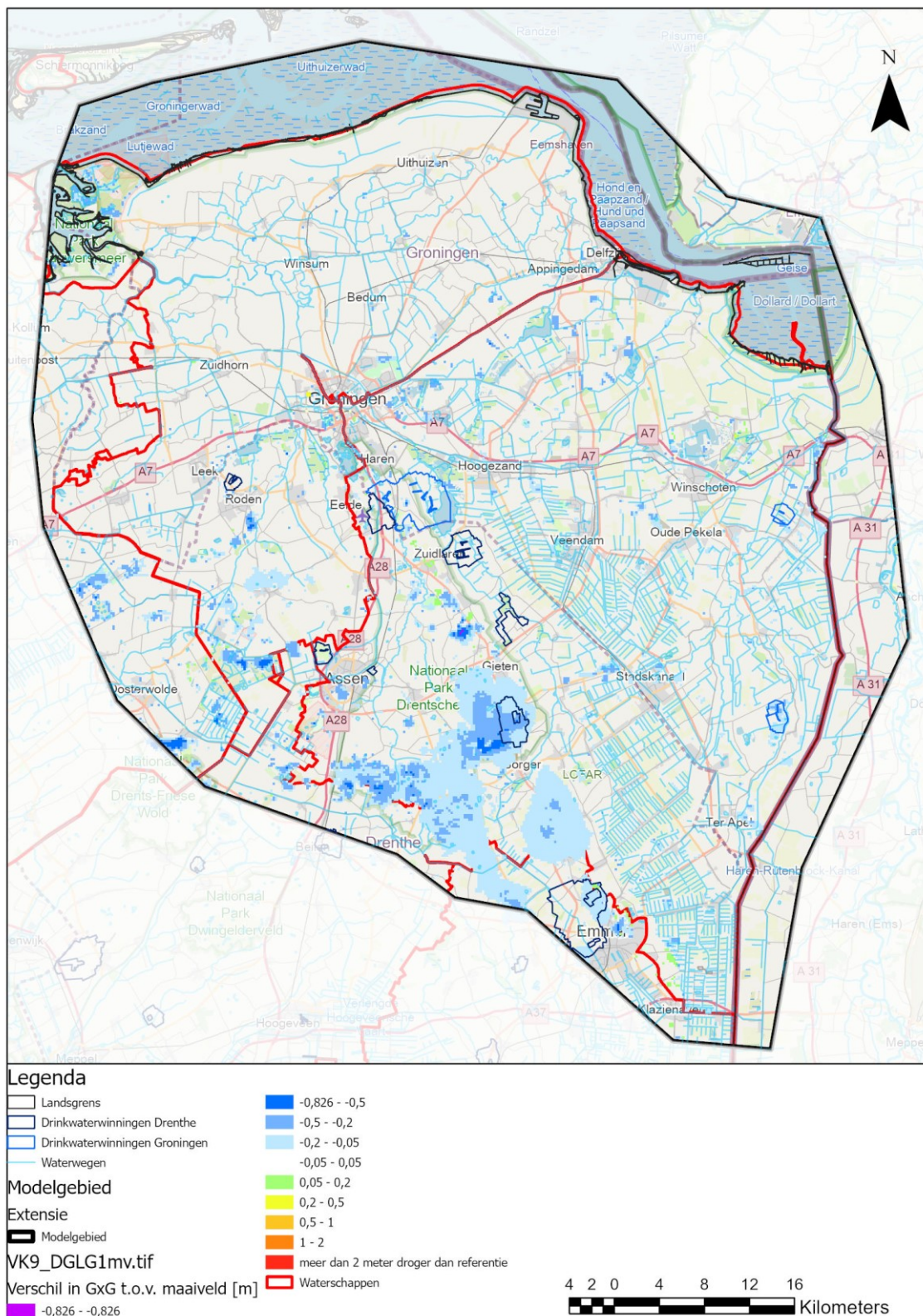
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-44 tot en met Figuur 8-46. De bosomvorming zorgt voornamelijk in de bosgebieden in het Drentse deel van het modelgebied voor stijgingen van de GHG, GVG en GLG. In de meeste bosgebieden liggen de stijgingen tussen de 5 en 20 cm. Lokaal worden grondwaterstandsverhogingen van 20 cm tot meer dan 50 cm berekend.



Figuur 8-44: Verkennend scenario 9, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



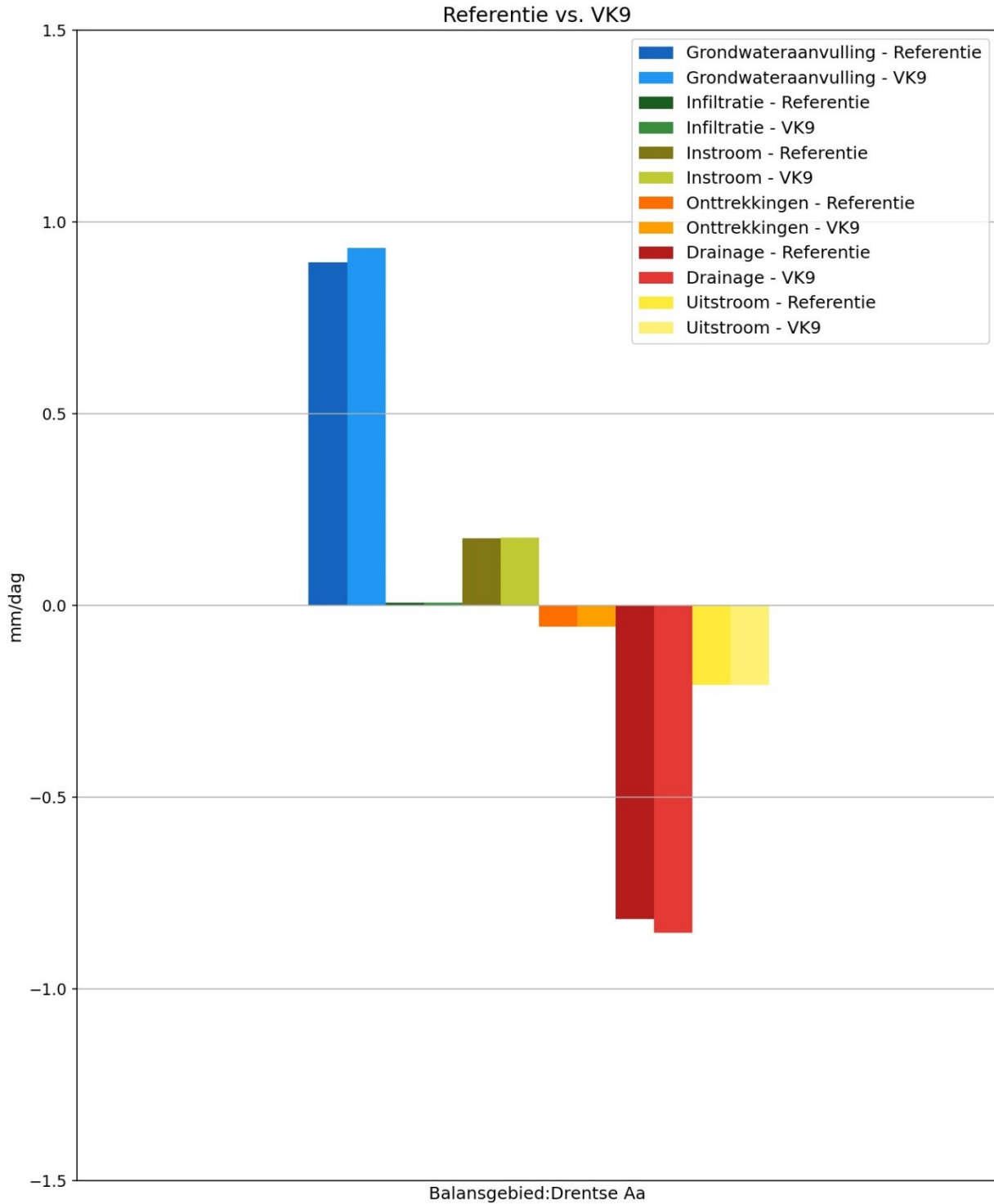
Figur 8-45: Verkennend scenario 9, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-46: Verkennend scenario 9, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom- W_H (zichtjaar 2085)

In Figuur 8-47 is voor balansgebied de Drentse Aa de berekende waterbalans weergegeven. In de balansgebieden in het Drentse deel van het modelgebied (waaronder Drentse Aa, maar ook Noordenveld

en Oostermoer en Veenmarken) zorgt de bosomvorming voor een toename van de grondwateraanvulling en een toename van de drainage (als gevolg van de hogere grondwaterstanden).

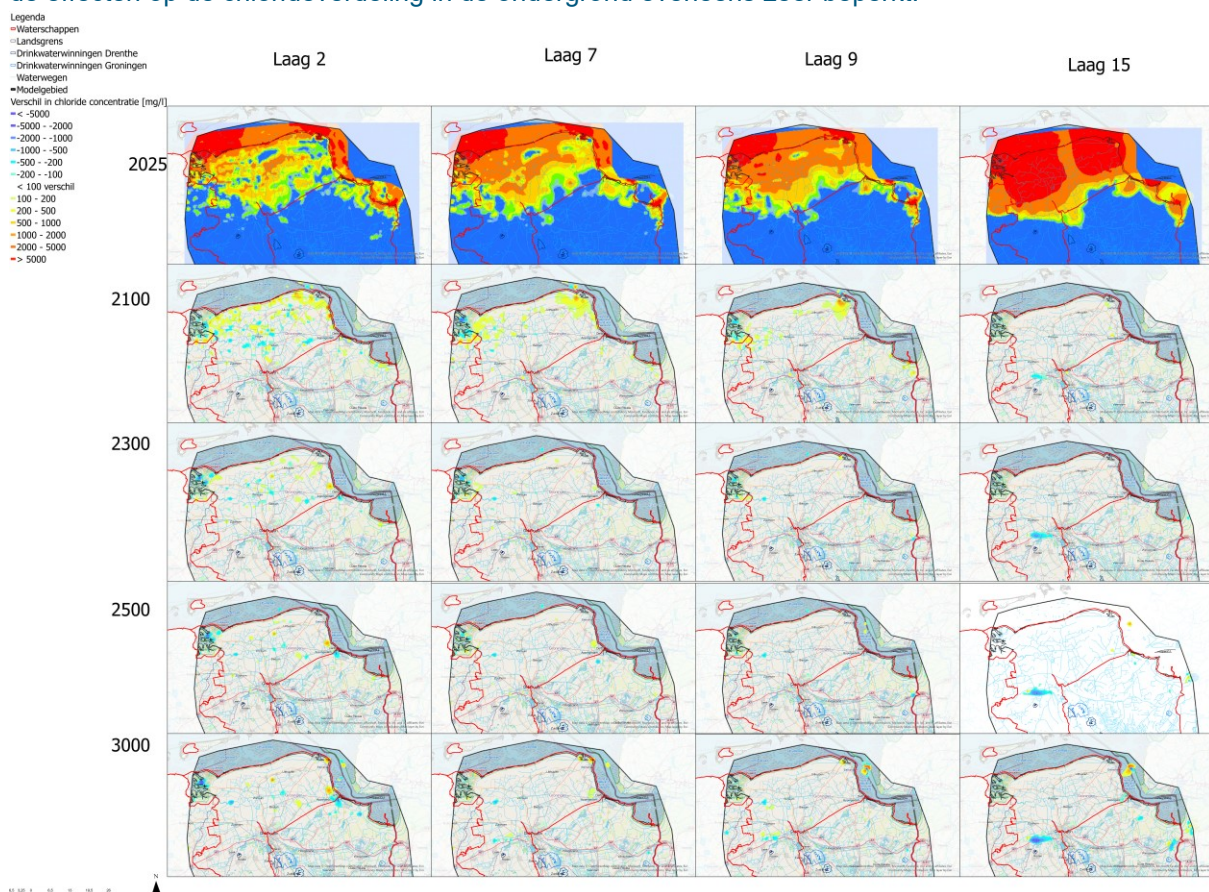


Figuur 8-47: Verkennend scenario 9, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Drentse Aa

8.4.9.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-48 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

De bosomvorming zorgt vooral in de vrij afwaterende delen van het modelgebied voor grondwatereffecten. In de peilbeheerste delen van het modelgebied zijn de grondwatereffecten minimaal. Om deze reden zijn de effecten op de chlorideverdeling in de ondergrond eveneens zeer beperkt.



Figuur 8-48: Verkennend scenario 9: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.10 Verkennend Scenario 10 – Afkoppeling verhard oppervlak

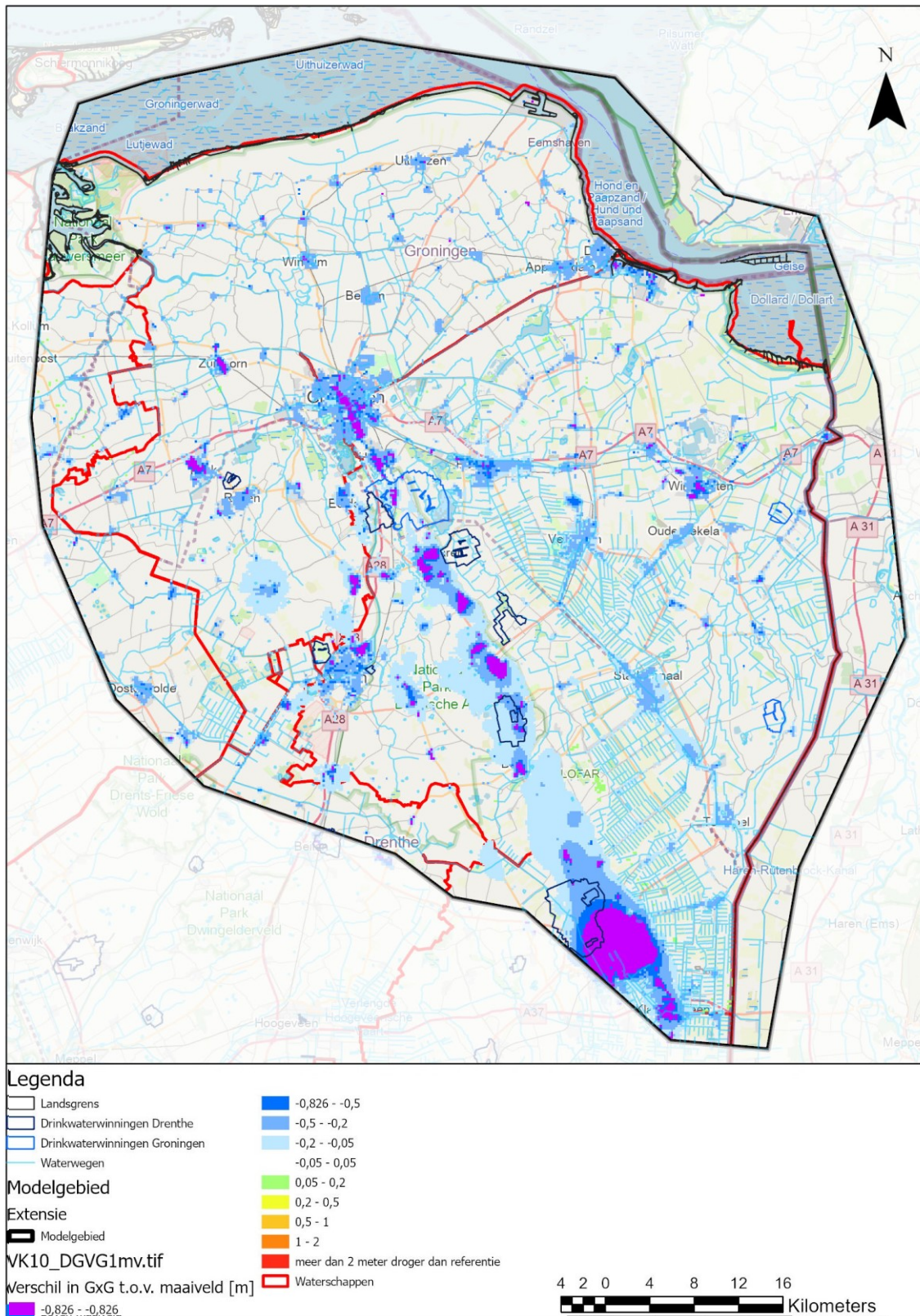
8.4.10.1 Omschrijving en uitwerking

In dit verkennende scenario is aangenomen dat over het volledige areaal verhard oppervlak de hemelwaterafvoer wordt afgekoppeld en in geïnfiltreerd in de bodem. Dit afkoppelen zorgt hier voor een toename van de grondwateraanvulling en leidt tot stijgingen van de grondwaterstanden in en om de bebouwde gebieden binnen het modelgebied. Doel van dit scenario is om het theoretisch maximale effect van afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer op het grondwaterregime te verkennen.

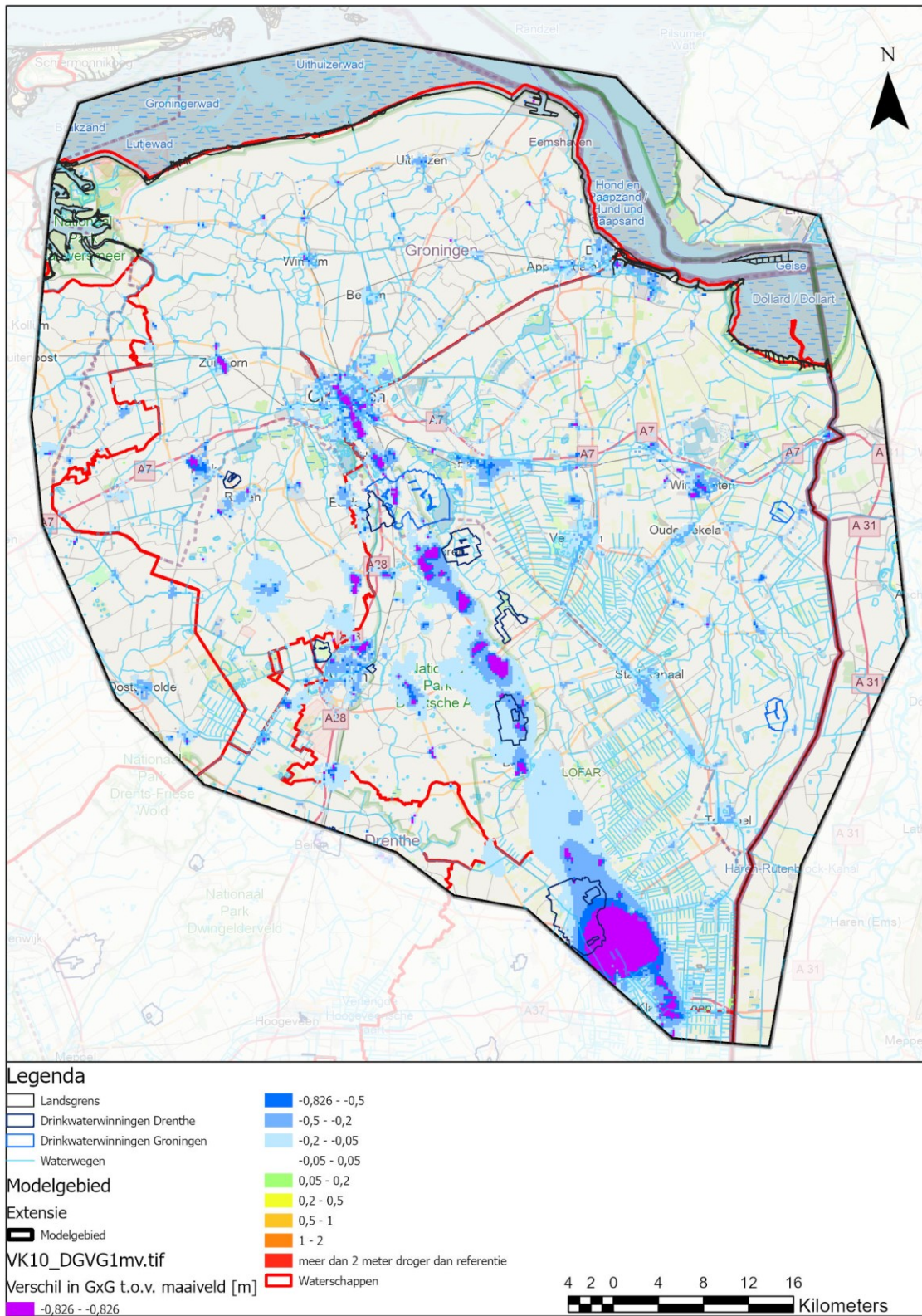
8.4.10.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-49 tot en met Figuur 8-51. Het afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer zorgt in vrijwel alle bebouwde gebieden voor stijgingen van de GHG, GVG en GLG. In de meeste

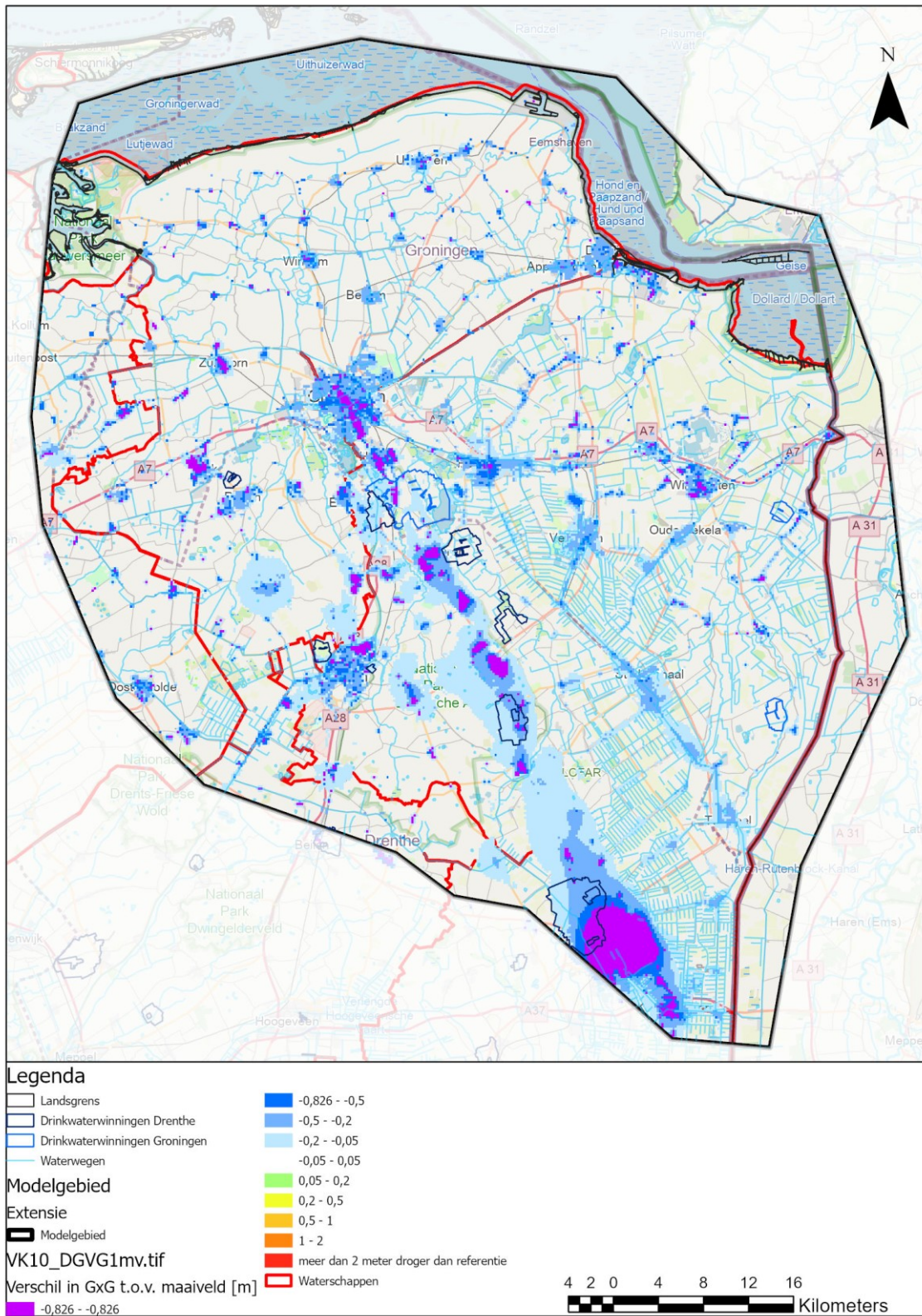
gebieden blijven de verhogingen beperkt tot enkele centimeters tot ongeveer 20 cm. Met name in bebouwde gebieden op en rond de Hondsrug en in het Noordenveld zorgt het afkoppelen van hemelwaterafvoer voor veel sterkere stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm. Deze sterkere stijgingen zijn het gevolg van de geringe hoeveelheid ontwateringsmiddelen, vaak in combinatie met de aanwezigheid van keileem op geringe diepte. De sterke stijgingen van de GHG en GVG in de bebouwde gebieden in en rond de Hondsrug en in het Noordenveld (onder meer Emmen en ook de stad Groningen) zorgen in deze bebouwde gebieden voor een substantiële verhoging van het risico op grondwateroverlast, met name in de wijken waar de drooglegging nu al kritisch is.



Figuur 8-49: Verkennend scenario 10, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

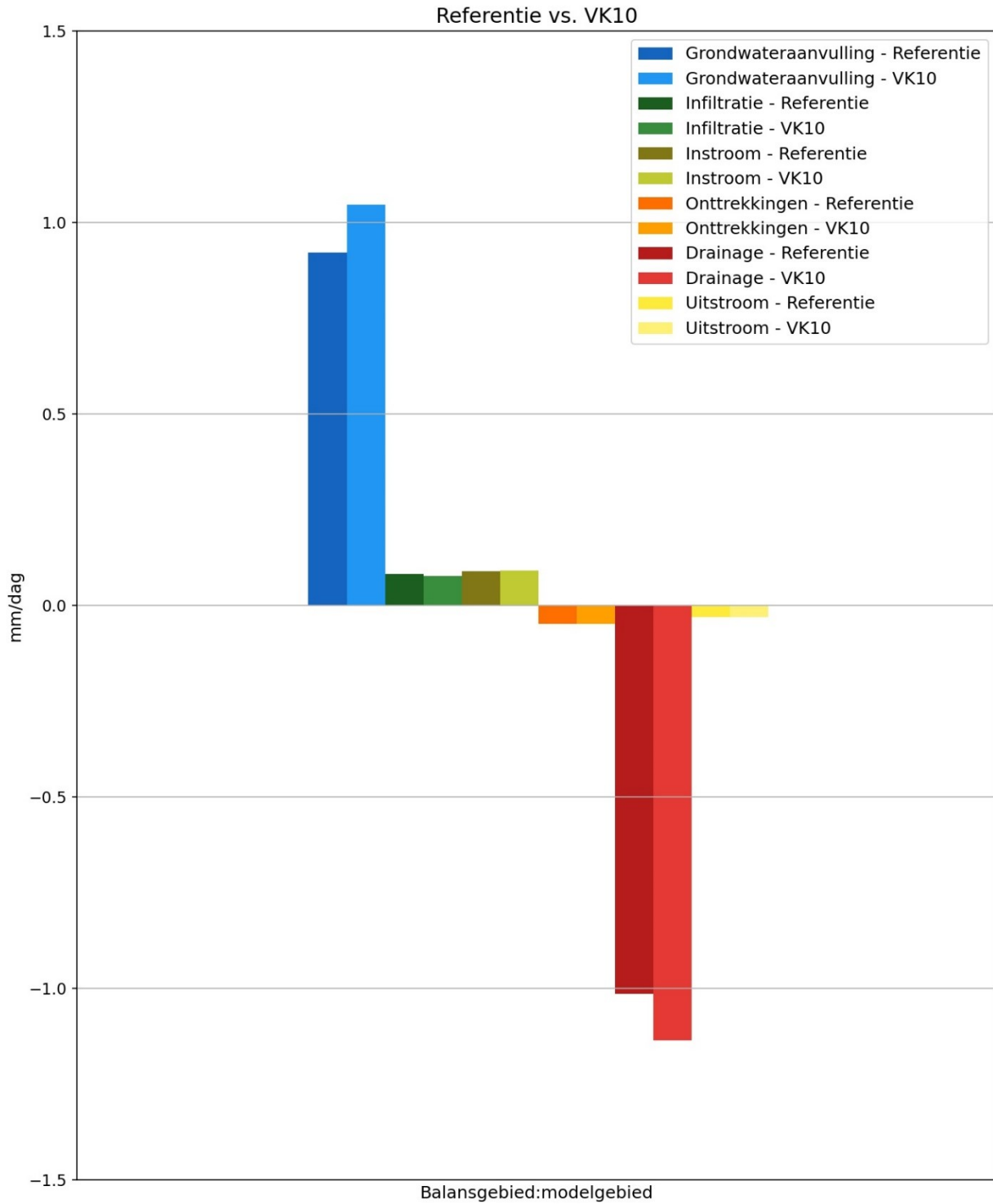


Figuur 8-50: Verkennend scenario 10, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-51: Verkennend scenario 10, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 8-52 geeft voor het gehele modelgebied de effecten op de berekende waterbalans weer. Het afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer zorgt in alle waterbalansgebieden voor een toename van de grondwateraanvulling en een toename van de drainage (in en rondom de bebouwde gebieden).

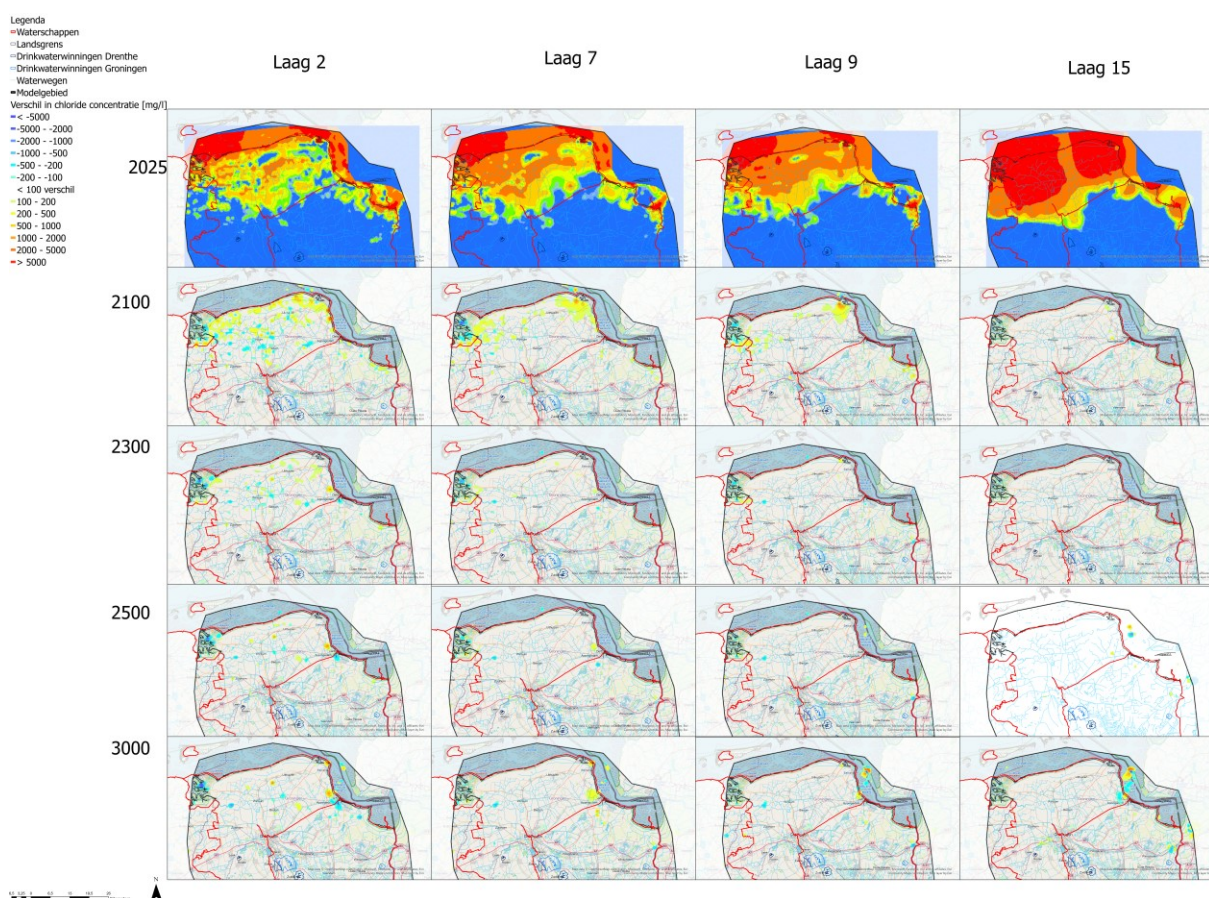


Figuur 8-52: Verkennend scenario 10, verandering waterbalans (mm/d) voor het volledige modelgebied

8.4.10.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-53 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

Het afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer zorgt vooral in de vrij afwaterende delen van het modelgebied voor grondwatereffecten, en dan vooral in de hoger gelegen gebieden met relatief weinig ontwateringsmiddelen en aanwezigheid van keileem op geringe diepte. In de peilbeheerste delen van het modelgebied zijn de grondwatereffecten veel minder. Om deze reden zijn de effecten op de chlorideverdeling in de ondergrond zeer beperkt.



Figuur 8-53: Verkennend scenario 10: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.4.11 Verkennend Scenario 11 – Beperking drinkwaterwinning

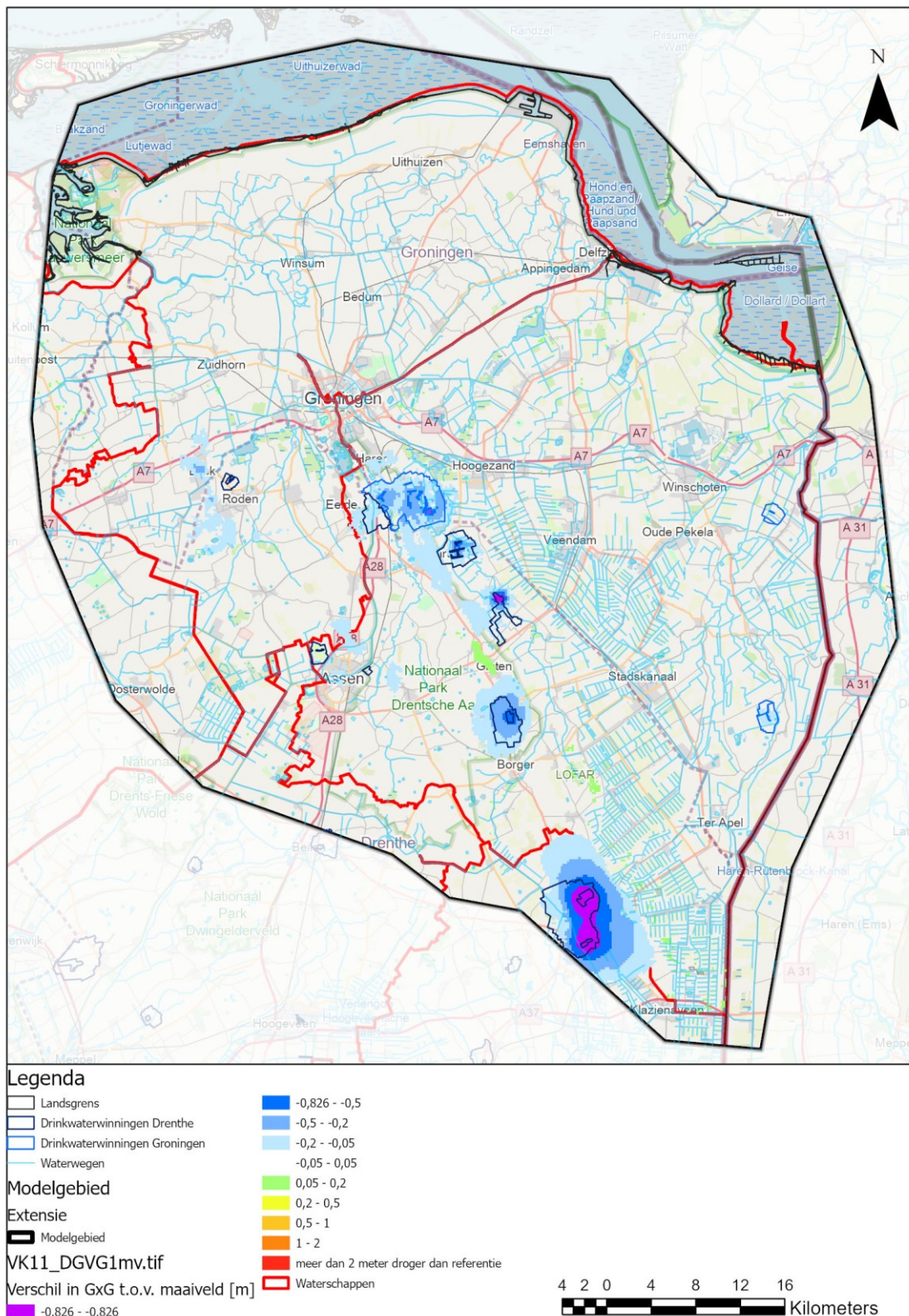
8.4.11.1 Omschrijving en uitwerking

In dit verkennende scenario zijn alle grondwateronttrekkingen ten behoeve van drinkwater verminderd met 50%. Doel van dit scenario is om het effect van het verminderen van drinkwaterwinningen op het grondwaterregime te verkennen.

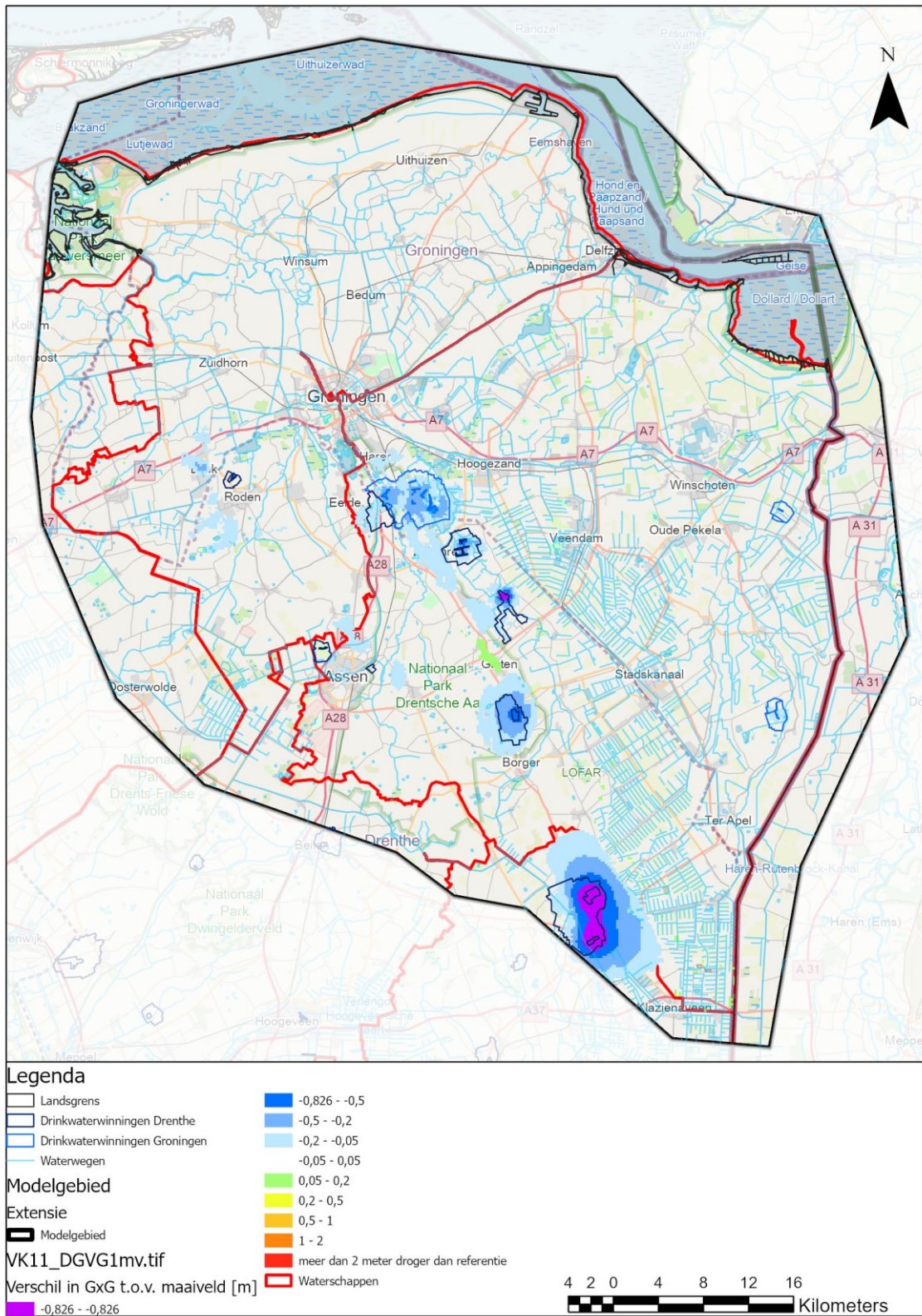
8.4.11.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085) zijn weergegeven in Figuur 8-54 tot en met Figuur 8-56. Het verminderen van de grondwateronttrekkingen

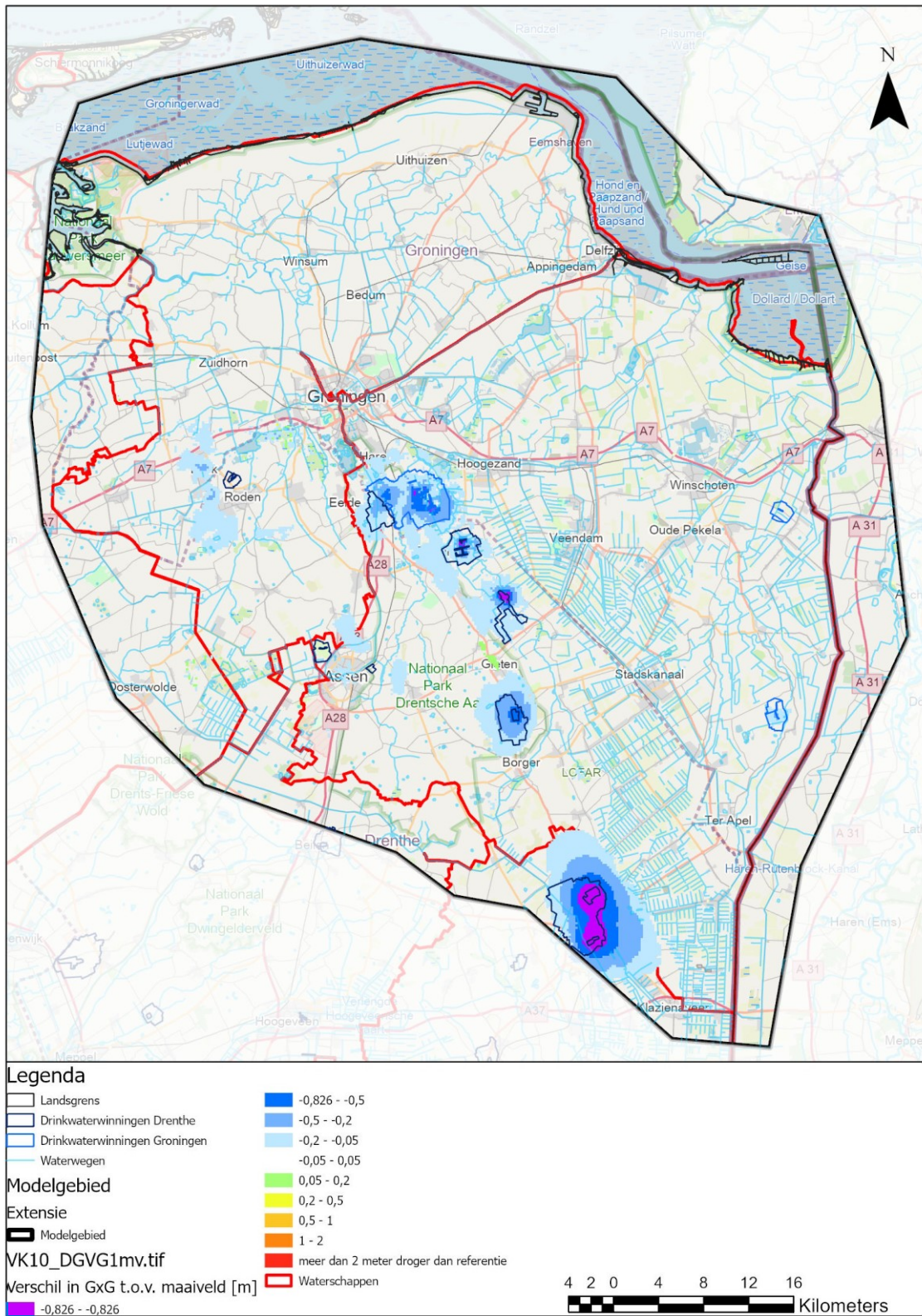
voor drinkwater zorgt voornamelijk rond de drinkwaterwinningen voor stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van enkele centimeters tot lokaal meer dan 80 cm.



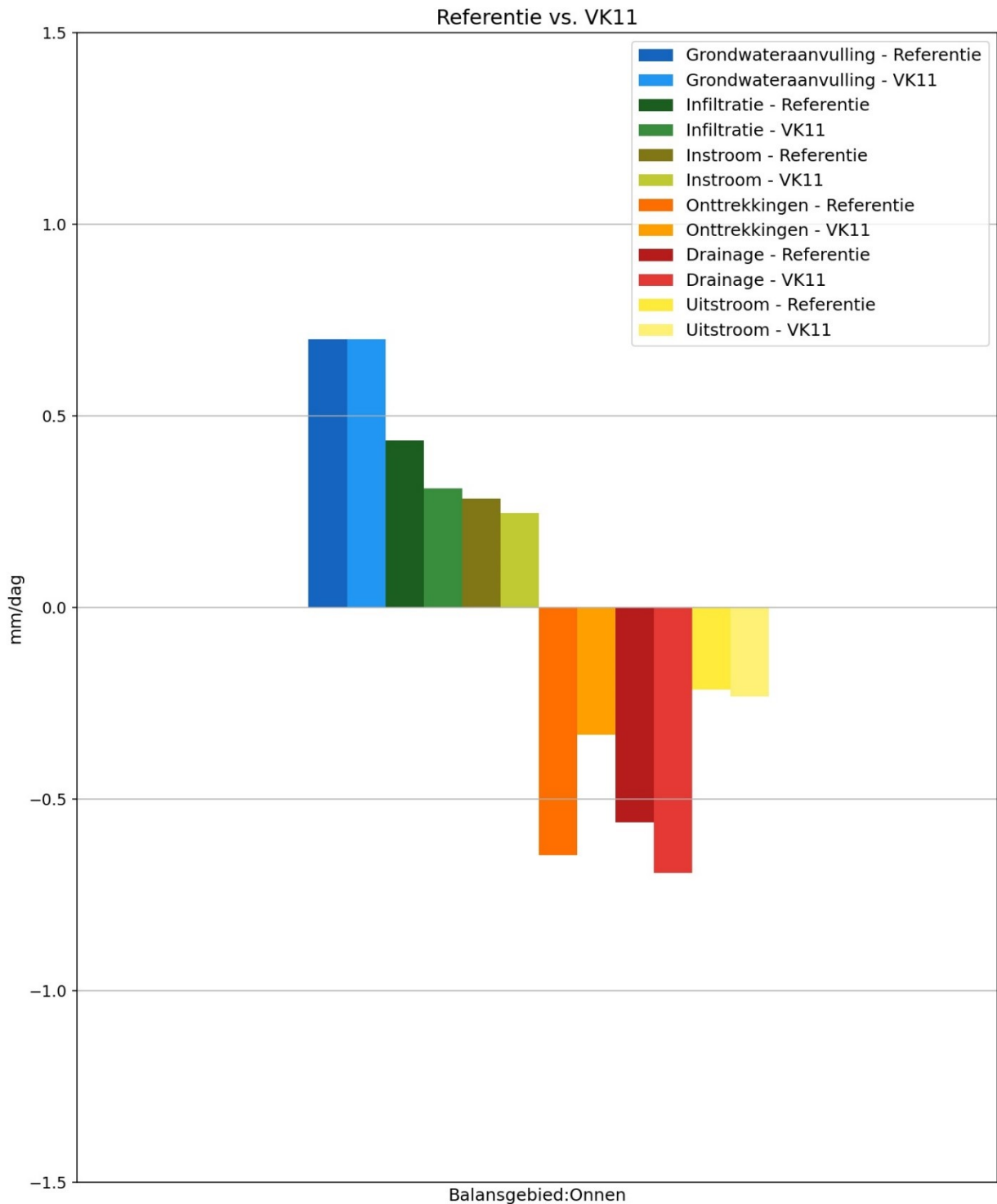
Figuur 8-54: Verkennend scenario 11, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 8-55: Verkennend scenario 11, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 8-56: Verkennend scenario 11, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



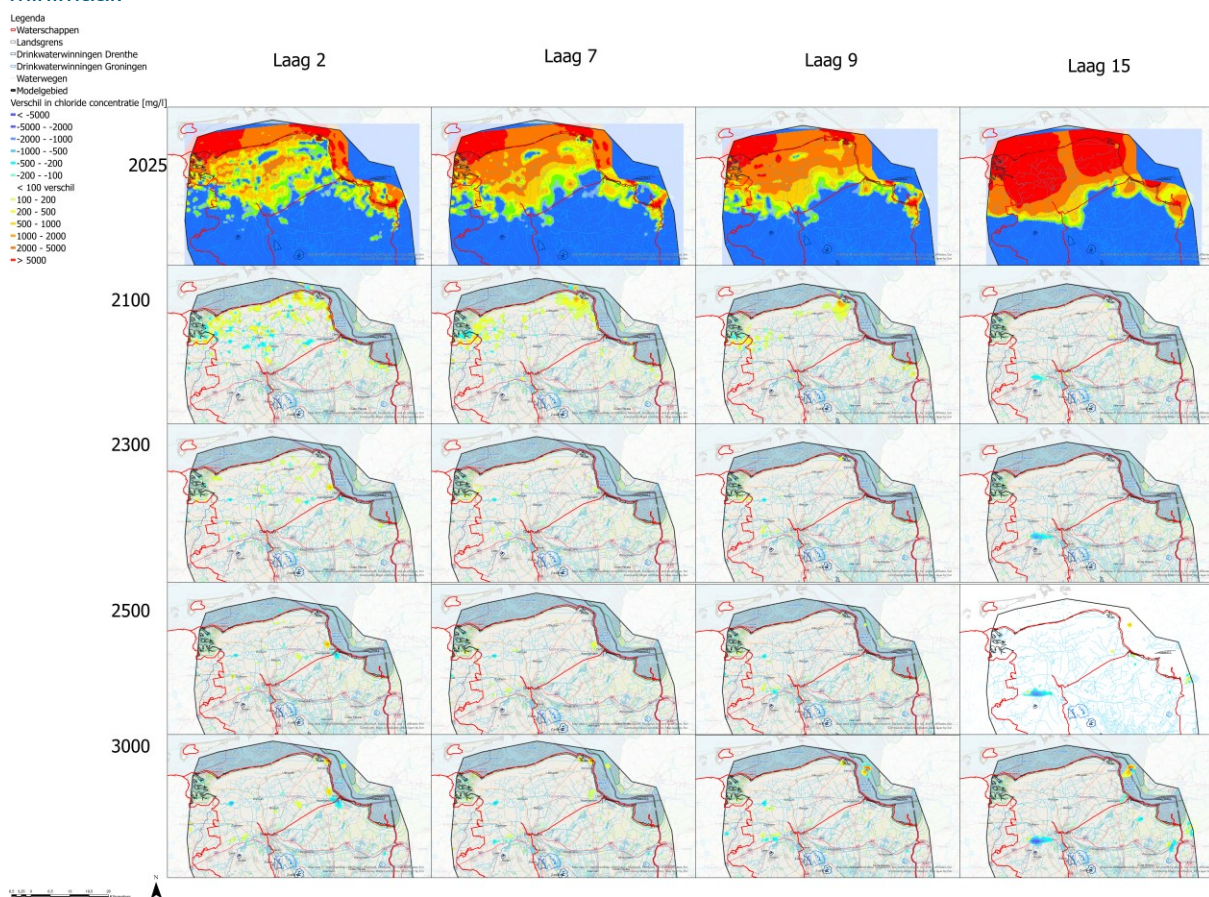
Figuur 8-57: Verkennend scenario 11, waterbalans (mm/d) voor balansgebied Onnen

Figuur 8-57 geeft voor balansgebied Onnen de berekende waterbalans weer. Uiteraard worden vooral de waterbalansen van de balansgebieden rond de winningen Onnen en Nietap beïnvloed. Hier nemen vooral de balansposten grondwateronttrekking en instroom van buiten het gebied af.

8.4.11.3 Waterkwaliteit

Figuur 8-58 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

Grondwatereffecten treden voornamelijk op rond de drinkwaterwinningen in het vrij afwaterende deel van het modelgebied. In de peilbeheerste delen van het modelgebied zijn de grondwatereffecten verwaarloosbaar. Om deze reden zijn de effecten op de chlorideverdeling in de ondergrond eveneens minimaal.



Figuur 8-58: Verkennend scenario 11: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

8.5 Samenvatting resultaten verkennende scenario's

Onderstaande Tabel 8-2 geeft een samenvatting van de resultaten van de verkennende scenario's. Per scenario zijn de effecten op het grondwaterregime en de chlorideverdeling in de ondergrond samengevat, in de vorm van een kwalitatieve score en een korte toelichting. De effecten van alle verkennende scenario's zijn bepaald ten opzichte van het scenario Autonoom-W_H. Om de effecten ten opzichte van de huidige situatie te beoordelen, moeten ook de effecten als gevolg van Autonoom-W_H in ogenschouw worden genomen. Deze zijn gepresenteerd en beschreven in Hoofdstuk 7 van dit rapport.

Tabel 8-2: Samenvatting resultaten verkennende scenario's

Verkendend scenario	Effecten grondwaterregime	Effecten chlorideverdeling ondergrond
1 – Peilverhoging veengebied	Forse stijgingen GxG veengebieden van enkele decimeters tot lokaal meer dan 80 cm.	Afname chlorideconcentraties in veen-zone. Toename chlorideconcentraties in noordelijk zeekelegebied.
1b – Peilverhoging veengebied incl. beperking bodemdaling	Forse stijgingen GxG veengebieden van enkele decimeters tot lokaal meer dan 80 cm.	Afname chlorideconcentraties in veen-zone. Toename chlorideconcentraties in noordelijk zeekelegebied.
2 – Stoppen wateraanvoer	Beperkte verlagingen van GHG en GVG. Sterke verlagingen GLG, 20 cm tot lokaal meer dan 100 cm over groot gebied.	Zeer geringe effecten op chlorideverdeling in de ondergrond.
3 - Peilverhoging wateraanvoergebied + slootbodempverhoging vrij afwaterende zandgronden	Forse stijgingen GxG over vrijwel gehele modelgebied. Variërend van enkele decimeters tot lokaal meer dan 80 cm.	Over gehele gebied flinke afname intrusie zout grondwater vanaf Waddenzee. Afname chlorideconcentraties met name in veen-zone. Toename chlorideconcentraties in noordelijk kleigebied.
4 - Spaarwater	Zeer sterke stijgingen GHG en GVG in noordelijk kleigebied: 50 cm tot lokaal meer dan 80 cm. Nauwelijks verhoging van de GLG. Vrijwel geen grondwatereffecten buiten het noordelijk kleigebied.	Minder intrusie van zout grondwater vanaf de Waddenzee. Forse verlaging chlorideconcentraties in noordelijk kleigebied. Buiten toepassingsgebied spaarwater-concept weinig verandering.
5 – Brak- en zoutwaterwinning	GxG-verlagingen rond de winningen bij Eemshaven en Garmerwolde van enkele centimeters tot lokaal meer dan 50 cm.	Forse verlagingen chlorideconcentraties in het grondwater. De verzoeting spreidt zich uit over een groot deel van het noordelijk kleigebied van Groningen.
7 – Peilverhoging kuststrook	In grootste deel kuststrook stijgingen GxG enkele cm tot lokaal 20 cm. In gebied ten zuiden van Dollard GxG-stijgingen 20 cm tot lokaal meer dan 50 cm.	Veranderingen chlorideconcentraties ondergrond wisselend en in het algemeen beperkt.
8 – Beekdalbrede inrichting	Over grote delen beekdalen GxG-stijgingen 20 tot 50 cm. Lokaal in laagste delen beekdalen GxG-stijgingen 50 cm tot meer dan 80 cm.	Vrijwel geen beïnvloeding chlorideverdeling ondergrond.
9 - Bosvorming	In meeste bosgebieden GxG- stijgingen tussen 5 en 20 cm. Lokaal GxG-stijgingen 20 cm tot meer dan 50 cm.	Vrijwel geen beïnvloeding chlorideverdeling ondergrond.
10 – Afkoppeling verhard oppervlak	In meeste bebouwde gebieden GxG-stijgingen tot ongeveer 20 cm. In gebieden met weinig ontwatering en/of ondiep aanwezige keileem GxG-stijgingen 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm.	Zeer geringe beïnvloeding chlorideverdeling ondergrond.
11 – Beperken drinkwaterwinning	Voornamelijk rond de drinkwaterwinningen voor GxG-stijgingen enkele centimeters tot lokaal meer dan 80 cm.	Vrijwel geen beïnvloeding chlorideverdeling ondergrond.

9 Combinatiescenario's

9.1 Algemeen

Na het doorrekenen en analyseren van de verkennende scenario's zijn in totaal 8 gecombineerde scenario's gedefinieerd en doorgerekend met het grondwaterkwanteitsmodel (effecten op grondwaterstanden en waterbalansen) en het grondwaterkwaliteitsmodel (effecten op chlorideverdeling in de ondergrond). Evenals de verkennende scenario's zijn de gecombineerde scenario's allemaal gebaseerd op en vergeleken met het scenario Autonoom- W_H (autonome ontwikkeling met KNMI-klimaatscenario W_H).

In paragraaf 9.2 volgt een beschrijving van de 8 combinatiescenario's. De uitgangspunten voor de doorrekening van de combinatiescenario's zijn beschreven in paragraaf 9.3. De resultaten van de combinatiescenario's volgen in paragraaf 9.4. Per combinatiescenario wordt kort ingegaan op de uitwerking (de wijze waarop de maatregelen zijn verwerkt in de modelschematisatie) en worden de effecten op het grondwaterregime (grondwaterstanden en waterbalans) en waterkwaliteit (chlorideverdeling in de ondergrond) gepresenteerd en toegelicht. Tot slot volgt in paragraaf 9.5 een samenvatting van de resultaten van de combinatiescenario's.

9.2 Overzicht

Tabel 9-1 geeft een overzicht van de 8 combinatiescenario's. Voor elk combinatiescenario is een korte toelichting opgenomen en is de doelstelling beknopt verwoord. De eerste drie gecombineerde scenario's hebben tot doel om het maximale gecombineerde effect in beeld te brengen voor wat betreft verzilting (maximale stapeling anti-verziltingsmaatregelen), waterconservering (maximale stapeling waterconservering) en totaal (maximale stapeling waterconservering en anti-verzilting). De andere 5 combinatiescenario's zijn bedoeld om concreet invulling te geven aan de doelstellingen zoals verwoord in de Kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022).

Tabel 9-1 Toelichting op doorgerekende combinatiescenario's

Combinatiescenario	Toelichting	Doelstelling scenario
1. Maximale stapeling maatregelen tegen verzilting	Maximale stapeling van verkennende scenario's die bijdragen aan het terugdringen van verzilting	Kwantificeren van het maximale handelingsperspectief ten aanzien van het terugdringen van verzilting
2. Maximale stapeling maatregelen waterconservering	Maximale stapeling van verkennende scenario's die bijdragen aan het vasthouden van water op de hoge zandgronden en in de veengebieden	Kwantificeren van het maximale handelingsperspectief ten aanzien van waterconservering
3. Maximale stapeling maatregelen waterconservering en anti-verzilting	Combinatie van combinatiescenario's 1 en 2	Kwantificeren van het maximale handelingsperspectief ten aanzien van waterconservering en tegengaan van verzilting
4. Scenario water en bodem sturend 1	<ul style="list-style-type: none"> Vrij afwaterend: beekdalbrede inrichting en slootbodems omhoog; Peilbeheerst: peilverhoging wateraanvoergebied; Drinkwaterwinning: beperkte vermindering. 	Voor het onderzoeksgebied invulling geven aan de kamerbrief Water en Bodem sturend.
5. Scenario water en bodem sturend 2	<ul style="list-style-type: none"> Vrij afwaterend: beekdalbrede inrichting en slootbodems omhoog, verwijderen buisdrainage en dempen detailontwatering; Peilbeheerst: in veengebieden geen peilbeheer en peilverhoging kustgebied; 	Voor het onderzoeksgebied invulling geven aan de kamerbrief Water en Bodem sturend.

Combinatiescenario	Toelichting	Doelstelling scenario
	<ul style="list-style-type: none"> • Drinkwaterwinning: beperkte vermindering. 	
6. Scenario water en bodem sturend 3	<ul style="list-style-type: none"> • Vrij afwaterend: slootbodems omhoog; • Peilbeheerst: in veengebieden geen peilbeheer en peilverhoging kustgebied; • Verhard gebied: gedeeltelijk afkoppelen en infiltreren hemelwaterafvoer. 	Voor het onderzoeksgebied invulling geven aan de kamerbrief Water en Bodem sturend.
7. Scenario water en bodem sturend 4	<ul style="list-style-type: none"> • Vrij afwaterend: slootbodems omhoog en beekdalbrede inrichting; • Peilbeheerst: peilverhoging veengebied incl. beperking bodemdaling, peilverhoging kustgebied en peilverhoging wateraanvoergebied; • Drinkwaterwinning: beperkte vermindering 	Voor het onderzoeksgebied invulling geven aan de kamerbrief Water en Bodem sturend.
8. Scenario water en bodem sturend 5	<ul style="list-style-type: none"> • Vrij afwaterend: slootbodems omhoog en beekdalbrede inrichting; • Peilbeheerst: veengebieden geen peilbeheer, peilverhoging kustgebied, peilverhoging wateraanvoergebied en stoppen wateraanvoer; • Drinkwaterwinning: beperkte vermindering; • Verhard gebied: gedeeltelijk afkoppelen en infiltreren hemelwaterafvoer; • Omvormen bos: gedeeltelijke omvorming bos naar heide. 	Voor het onderzoeksgebied invulling geven aan de kamerbrief Water en Bodem sturend.

9.3 Uitgangspunten

Alle combinatiescenario's zijn gebaseerd op het autonome scenario W_H (Autonoom- W_H). Dat betekent dat de maatregelen zijn verwerkt in de modelschematisatie van Autonoom- W_H . De veranderingen in berekende grondwaterstanden en chlorideverdeling in de ondergrond zijn per scenario uitgedrukt ten opzichte van Autonoom- W_H .

Net als het scenario Autonoom- W_H is het grondwaterkwantiteitsmodel per combinatiescenario doorgerekend voor de weerjaren 2001 tot en met 2019, waarbij de GxG steeds is berekend over de periode van 2012 tot en met 2019. De kwantiteitsberekeningen van alle combinatiescenario's zijn uitgevoerd voor het zichtjaar 2085.

De berekeningen met het grondwaterkwaliteitsmodel zijn per combinatiescenario gestart met de berekende chlorideverdeling aan het eind van de paleoberekening als startvoorwaarden. Vervolgens is per scenario de periode tot het jaar 3000 doorgerekend, met dezelfde tijdsintervallen als het scenario Autonoom- W_H .

9.4 Resultaten

9.4.1 Combinatiescenario 1 – maximale stapeling maatregelen tegen verzilting

9.4.1.1 Uitwerking

In dit scenario zijn alle maatregelen gecombineerd, die op basis van de verkennende scenario's effectief bleken in het verminderen van de verzilting. Doel van het scenario is om het maximale

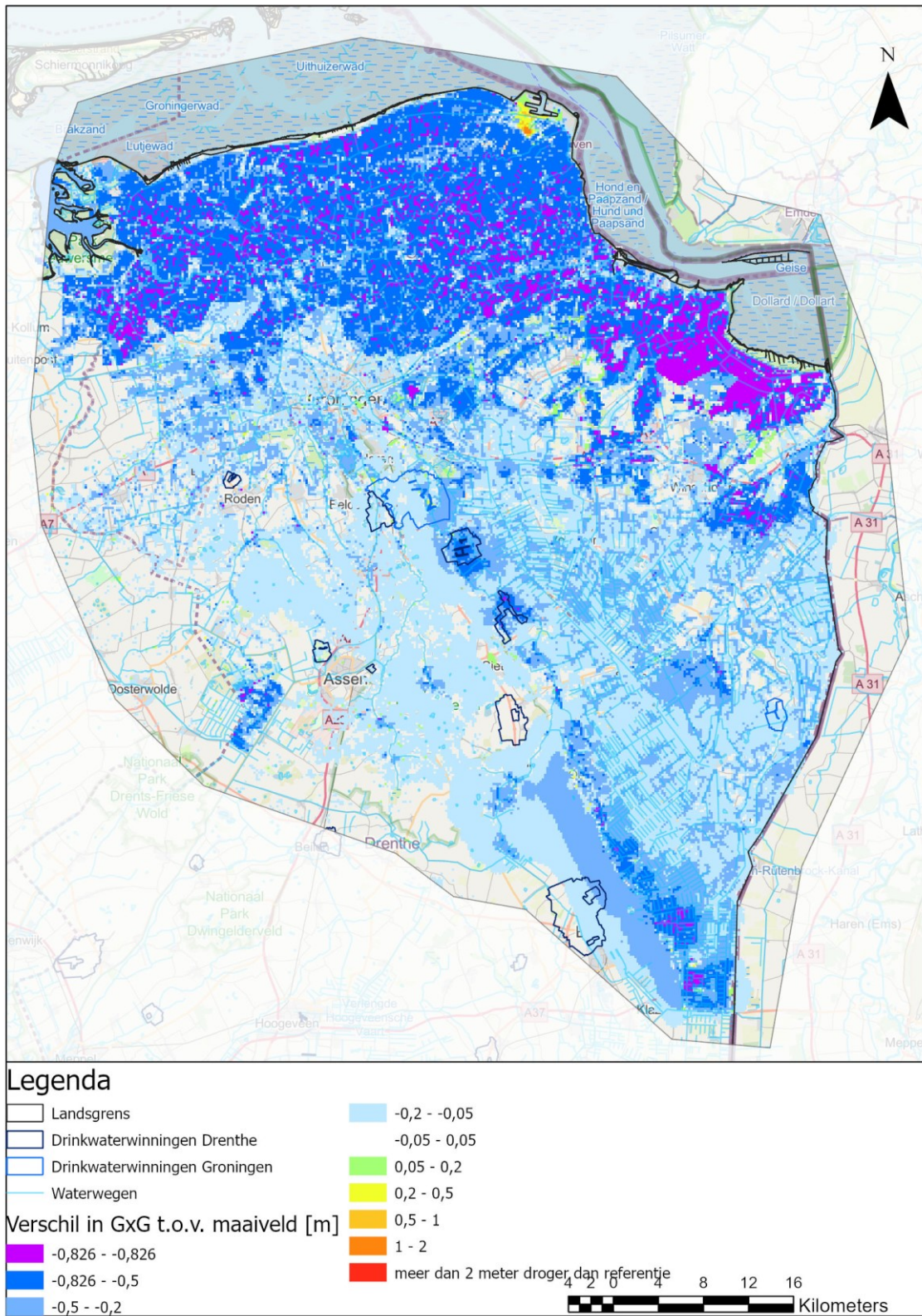
handelingsperspectief ten aanzien van het terugdringen van verzilting te kwantificeren. Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld;
- Veengebieden zijn gedefinieerd als de peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1);
- Er is uitgegaan van de maaiveldshoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085. In de veengebieden is de bodemdaling door de hogere peilen beperkt ten opzichte van Autonoom- W_H .
- In de wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.
- De drainageniveaus van sloten, greppels en drains zijn aangepast op de verhoogde peilen. Als het verhoogde oppervlaktewaterpeil hoger is dan het oorspronkelijke drainageniveau, is ook het drainageniveau verhoogd.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.
- Spaarwater maatregelen in noordelijk kleigebied (zie paarse contour in Figuur 8-22). Spaarwater houdt in dat alle aanwezige buisdrainage peilgestuurd gemaakt wordt en alleen in het zomerhalfjaar wordt ingezet. In de winter en het voorjaar wordt de drainage uitgeschakeld en wordt een maximale hoeveelheid neerslagwater vastgehouden in het bodemprofiel.
- Grondwateronttrekking zout water bij Eemshaven en brak water bij Garmerwolde. Bij de Eemshaven is uitgegaan van een grondwateronttrekking van 18 miljoen m^3 per jaar (t.b.v. waterstofproductie) uit de Peize-Waalrezanden (modellagen 10 en 11). Bij Garmerwolde is uitgegaan van een onttrekking van 9 miljoen m^3 per jaar uit de formatie van Urk/Appelscha/Peize (modellaag 9).

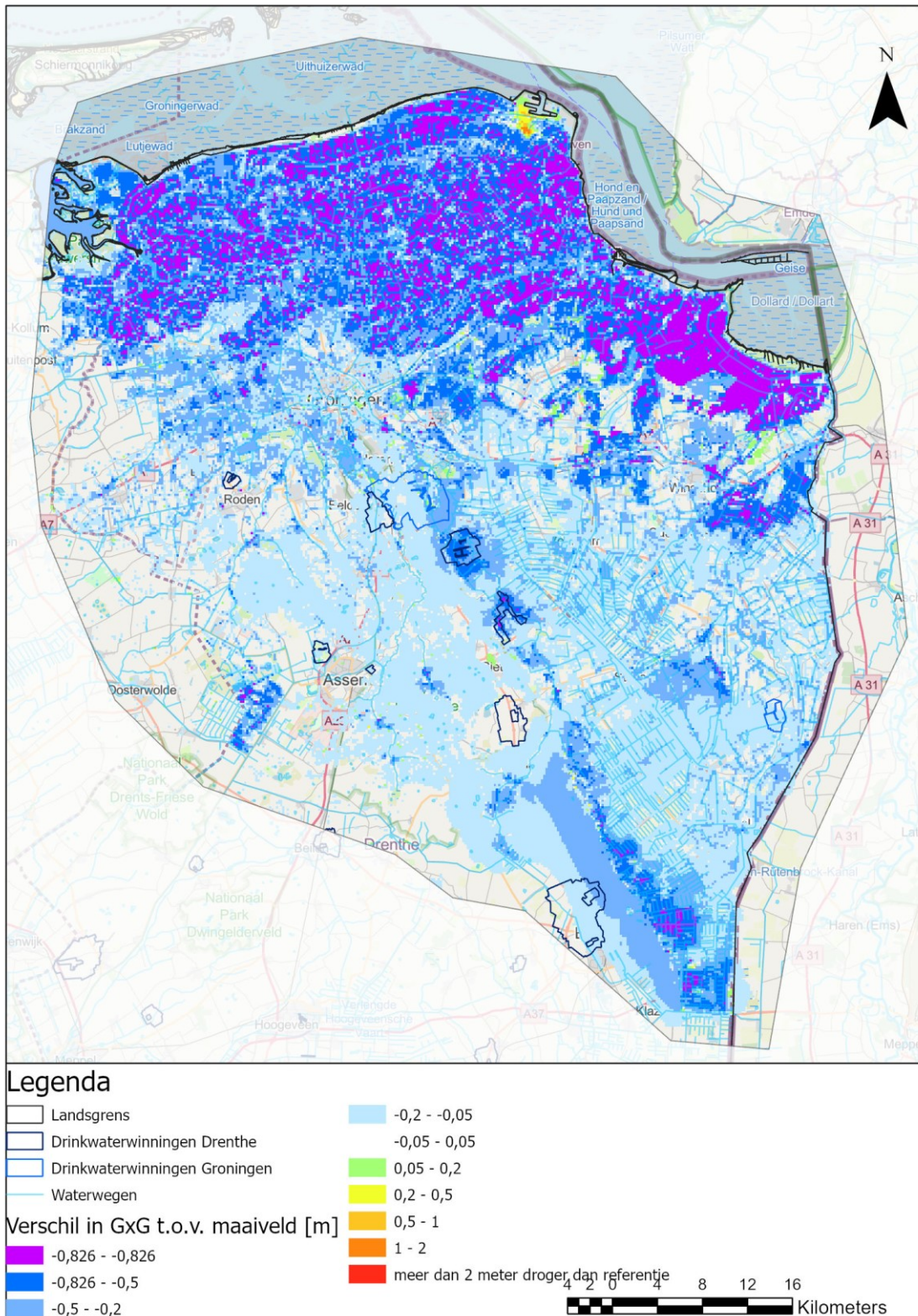
9.4.1.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-1 tot en met Figuur 9-3. De GHG, GVG en GLG stijgen over vrijwel het gehele modelgebied met enkele centimeters tot ongeveer 20 cm. In het noordelijk kustgebied zorgen de spaarwater maatregelen voor extra stijgingen van de GHG en GVG, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm. Ook in de veengebieden worden sterkere stijgingen van de GHG, GVG en GLG berekend, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm.

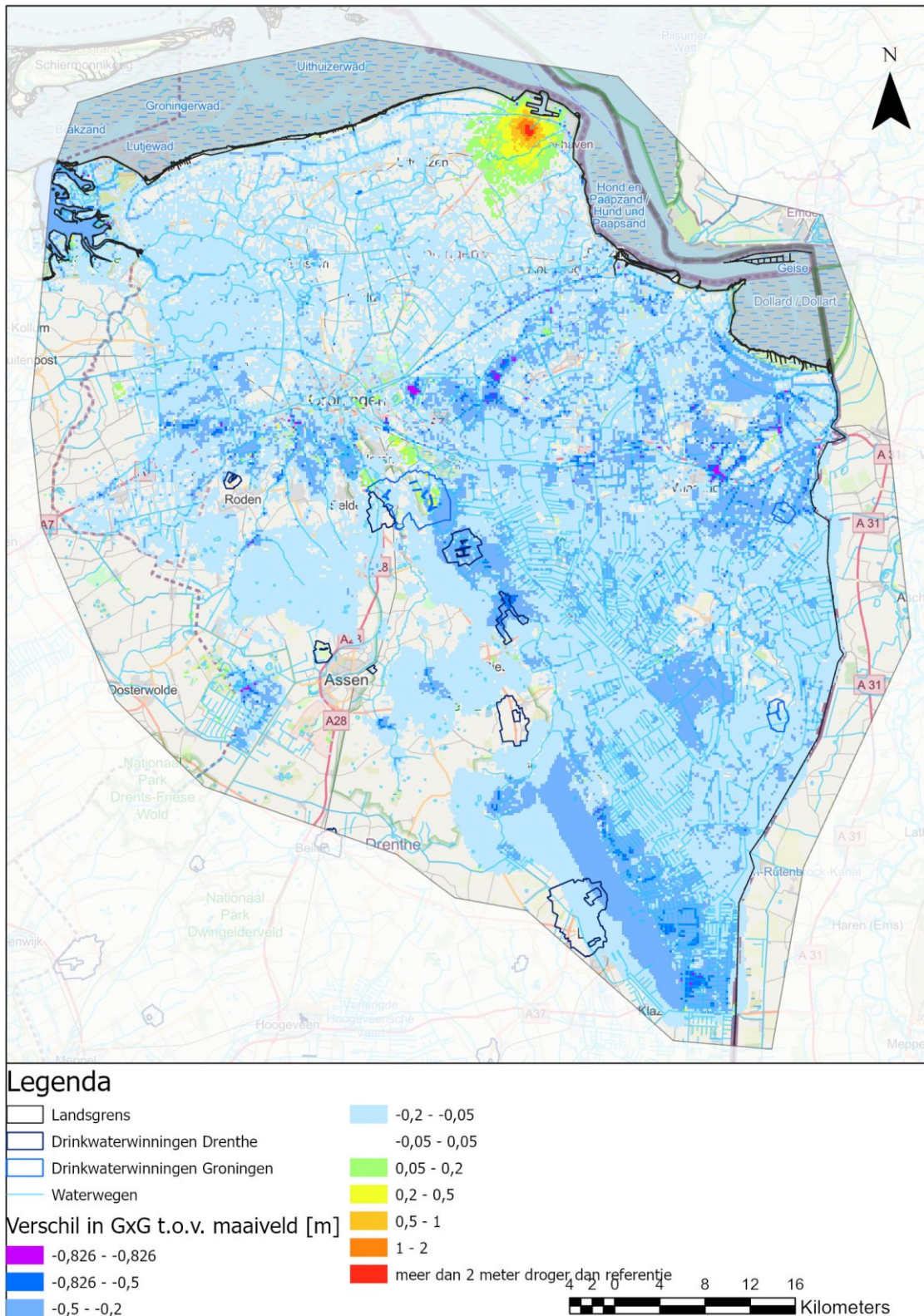
Figuur 9-4 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 1 en Autonoom- W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 10%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ongeveer 5%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



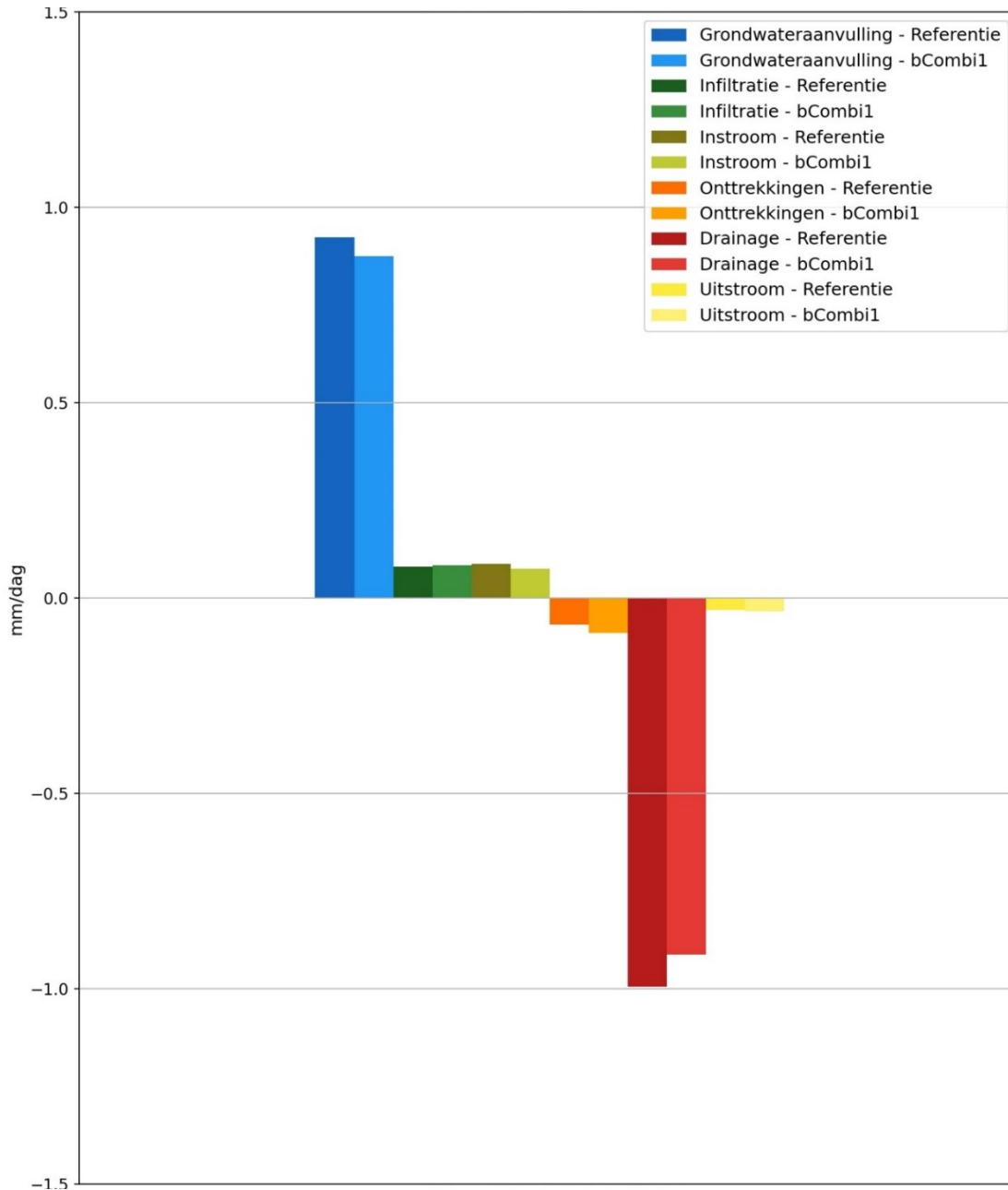
Figuur 9-1: Combinatiescenario 1, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom- W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-2: Combinatiescenario 1, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonoom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-3: Combinatiescenario 1, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom- W_H (zichtjaar 2085)



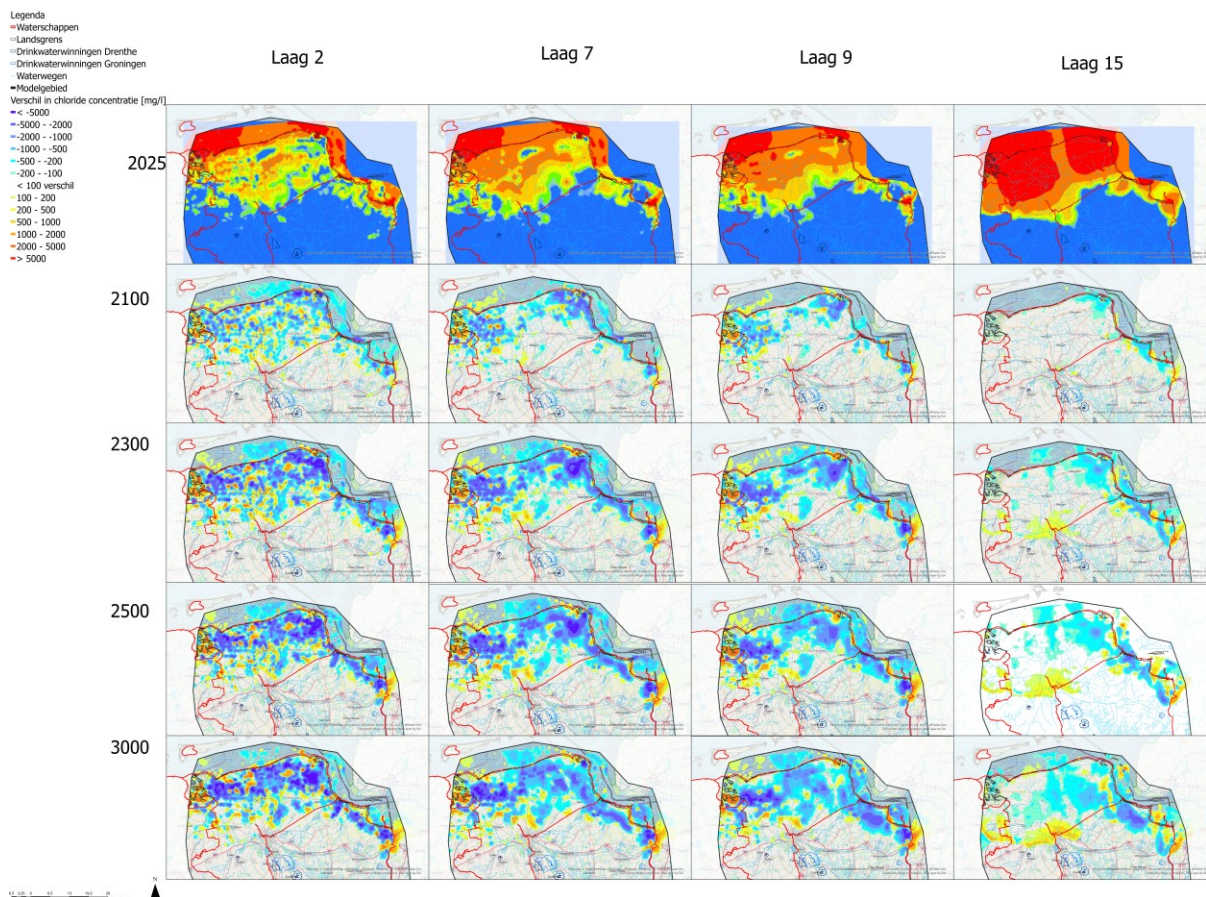
Figuur 9-4: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 1 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.1.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-5 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In vrijwel het gehele noordelijke kustgebied zorgen de maatregelen voor een verlaging van de chlorideconcentraties in de ondergrond. Omdat de grondwaterstandsverhogingen per deelgebied variëren, zijn de veranderingen in de chlorideverdeling niet uniform. In de deelgebieden met de sterkste grondwaterstands- en stijghoogteverhogingen nemen de concentraties het sterkst af, in de deelgebieden met minder stijging nemen de concentraties minder af of is zelfs sprake van een toename ten opzichte

van Autonom-W_H. Opvallend zijn de berekende toenames van de chlorideconcentraties rondom de stad Groningen, in modellaag 15. Waarschijnlijk zijn deze het gevolg van de spaarwater maatregelen in het noordelijk kustgebied. Door deze maatregelen wordt een deel van het -in de ondergrond van het noordelijk kustgebied aanwezige- zoute grondwater naar het zuiden gedrukt.



Figuur 9-5: Combinatiescenario 1: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.2 Combinatiescenario 2 – maximale stapeling maatregelen waterconservering

9.4.2.1 Uitwerking

In dit scenario zijn alle maatregelen gecombineerd, die op basis van de verkennende scenario's effectief bleken in het vasthouden van water (waterconservering). Doel van het scenario is om het maximale handelingsperspectief ten aanzien van waterconservering te kwantificeren. Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld;
- Veengebieden zijn gedefinieerd als de peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1);
- Er is uitgegaan van de maaiveldhoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085. In de veengebieden is de bodemdaling door de hogere peilen beperkt ten opzichte van Autonom-W_H.
- In de wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.

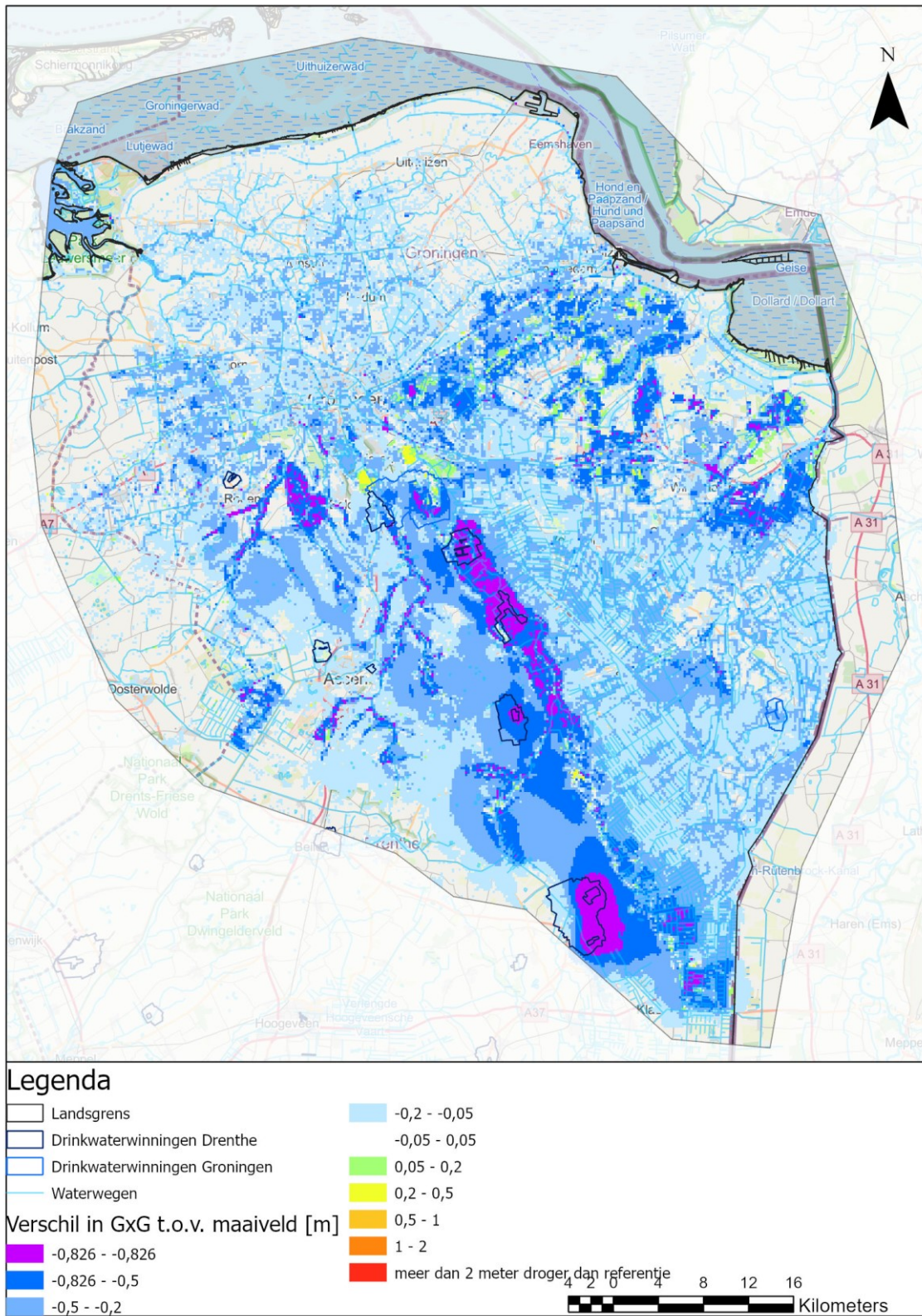
- De drainageniveaus van sloten, greppels en drains zijn aangepast op de verhoogde peilen. Als het verhoogde oppervlaktewaterpeil hoger is dan het oorspronkelijke drainageniveau, is ook het drainageniveau verhoogd.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie principeschets in Figuur 8-39):
 - De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
 - De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
 - In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Afkoppelen en infiltreren van de hemelwaterafvoer van 35% van het totale verharde oppervlak in het modelgebied (met name in infiltratiegebieden zonder keileem).
- Omvormen van 25% van het totale areaal bos naar heide (met name naaldbos in infiltratiegebieden).
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 50%.

9.4.2.2 Waterkwantiteit

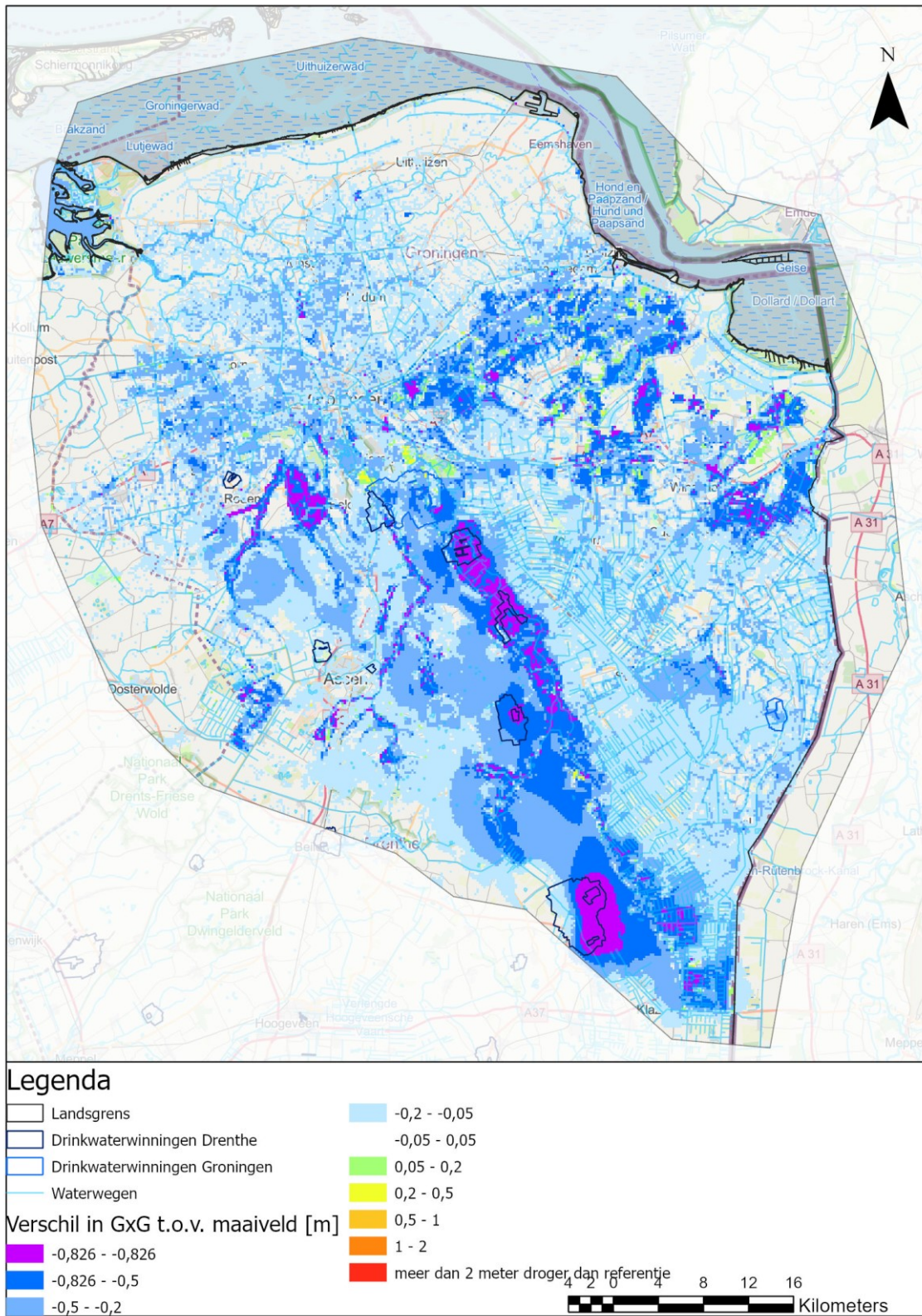
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-6 tot en met Figuur 9-8. De GHG, GVG en GLG stijgen over vrijwel het gehele modelgebied met enkele centimeters tot ongeveer 20 cm. Sterkere stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm, worden berekend in:

- De veengebieden, door vermindering van de drooglegging tot 20 cm onder maaiveld.
- De beekdalen en beekdalflanken in het Drentse deel van het modelgebied, door beekdalbrede inrichting.
- De Hondrug en het dal van de Hunze ten oosten van de Hondsrug, met name door afkoppelen verhard oppervlak, omvormen van bos naar heide en beekdalbrede inrichting (dal van de Hunze).

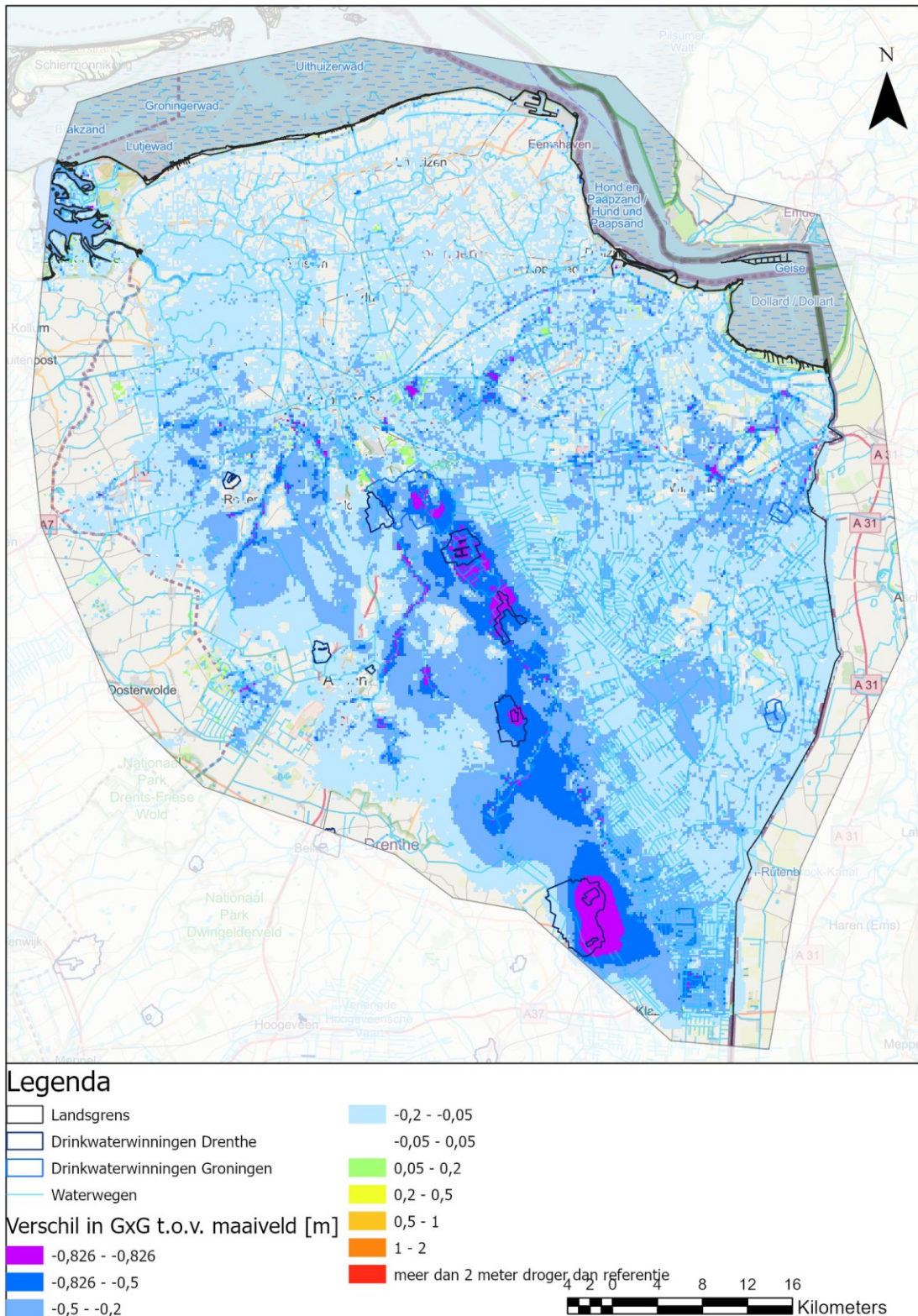
Figuur 9-9 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 2 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- slechts voor geringe veranderingen in de waterbalans. De drainage neemt iets af, met enkele procenten; hetzelfde geldt voor de grondwateraanvulling.



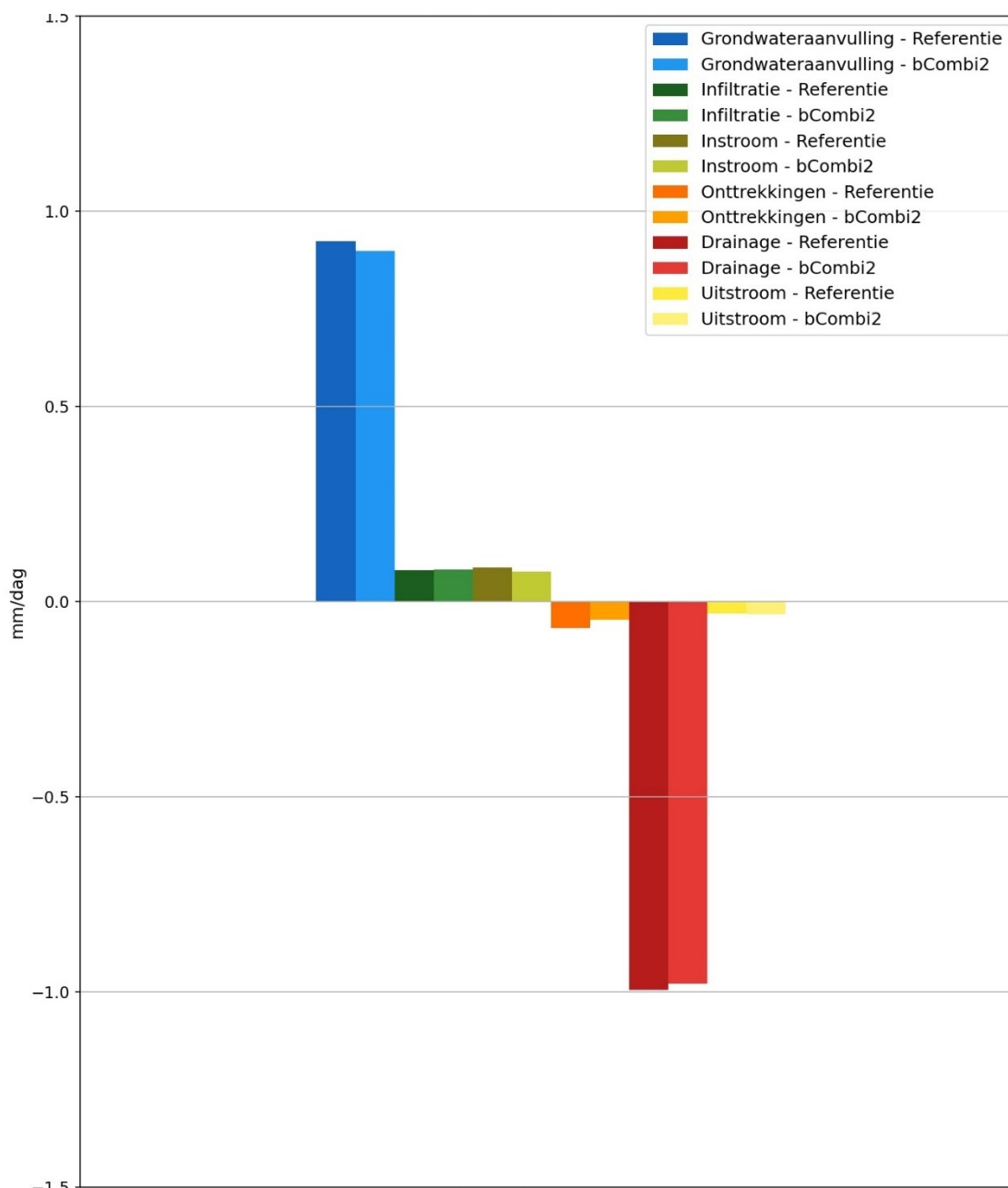
Figuur 9-6: Combinatiescenario 2, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-7: Combinatiescenario 2, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-8: Combinatiescenario 2, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

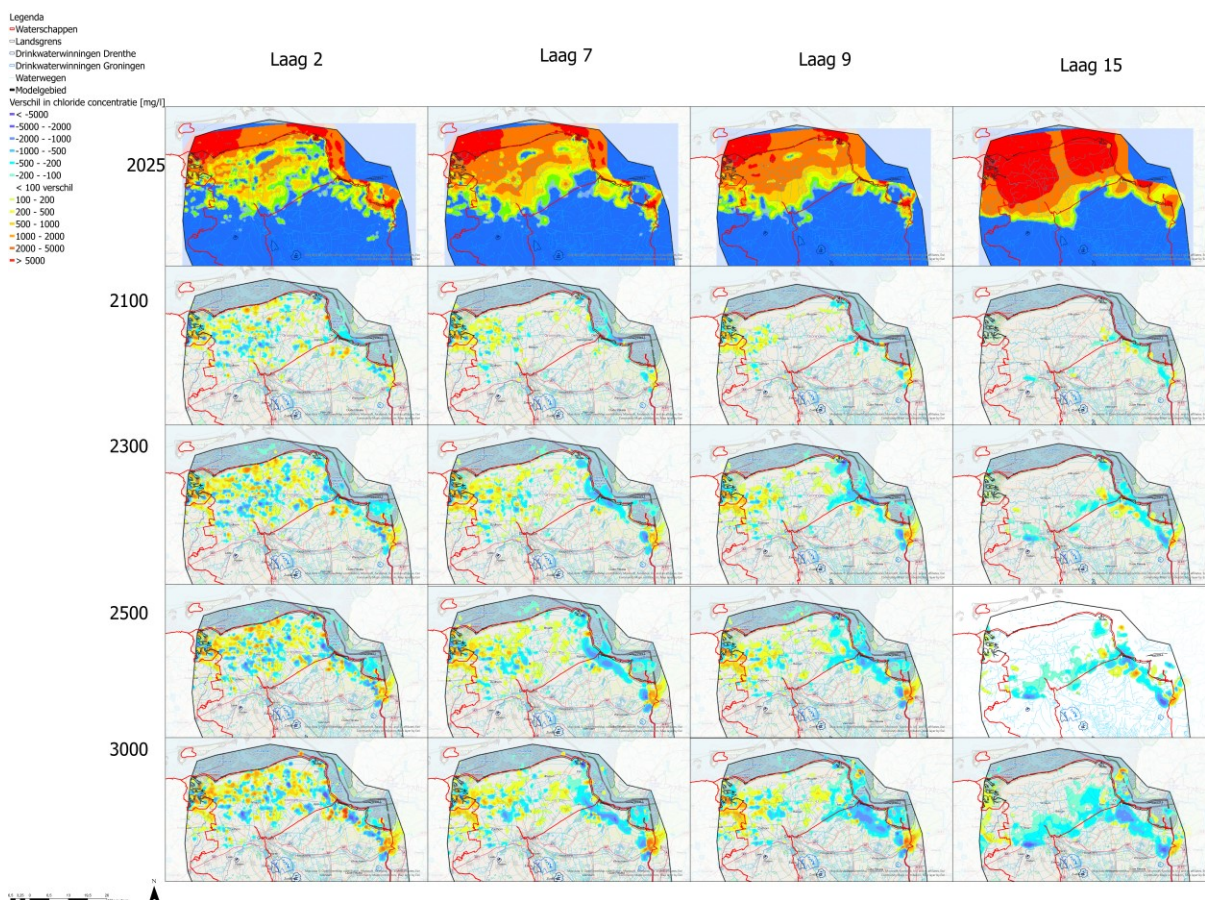


Figuur 9-9: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 2 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.2.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-10 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In het grootste deel van het noordelijke kustgebied zijn de effecten op de chlorideconcentraties in de ondergrond beperkt; afwisselend over het gebied worden beperkte toe- en afnames berekend. Een duidelijke verlaging van de chlorideconcentraties wordt berekend in de diepere modellagen (9 en 15) in de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal en in een gebied tussen Winschoten en de Dollard.



Figuur 9-10: Combinatiescenario 2: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.3 Combinatiescenario 3 – Maximale stapeling maatregelen verzilting en waterconservering

9.4.3.1 Uitwerking

In dit scenario zijn alle maatregelen gecombineerd, die op basis van de verkennende scenario's effectief bleken in het tegengaan van verzilting en het vasthouden van water (waterconservering). Doel van het scenario is om het maximale handelingsperspectief ten aanzien van tegengaan van verzilting en waterconservering te kwantificeren. Combinatiescenario's 1 en 2 zijn samengevoegd. Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld;
- Veengebieden zijn gedefinieerd als de peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1);
- Er is uitgegaan van de maaiveldhoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085. In de veengebieden is de bodemdaling door de hogere peilen beperkt ten opzichte van Autonoom-W_H.
- In de wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.
- De drainageniveaus van sloten, greppels en drains zijn aangepast op de verhoogde peilen. Als het verhoogde oppervlaktewaterpeil hoger is dan het oorspronkelijke drainageniveau, is ook het drainageniveau verhoogd.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.

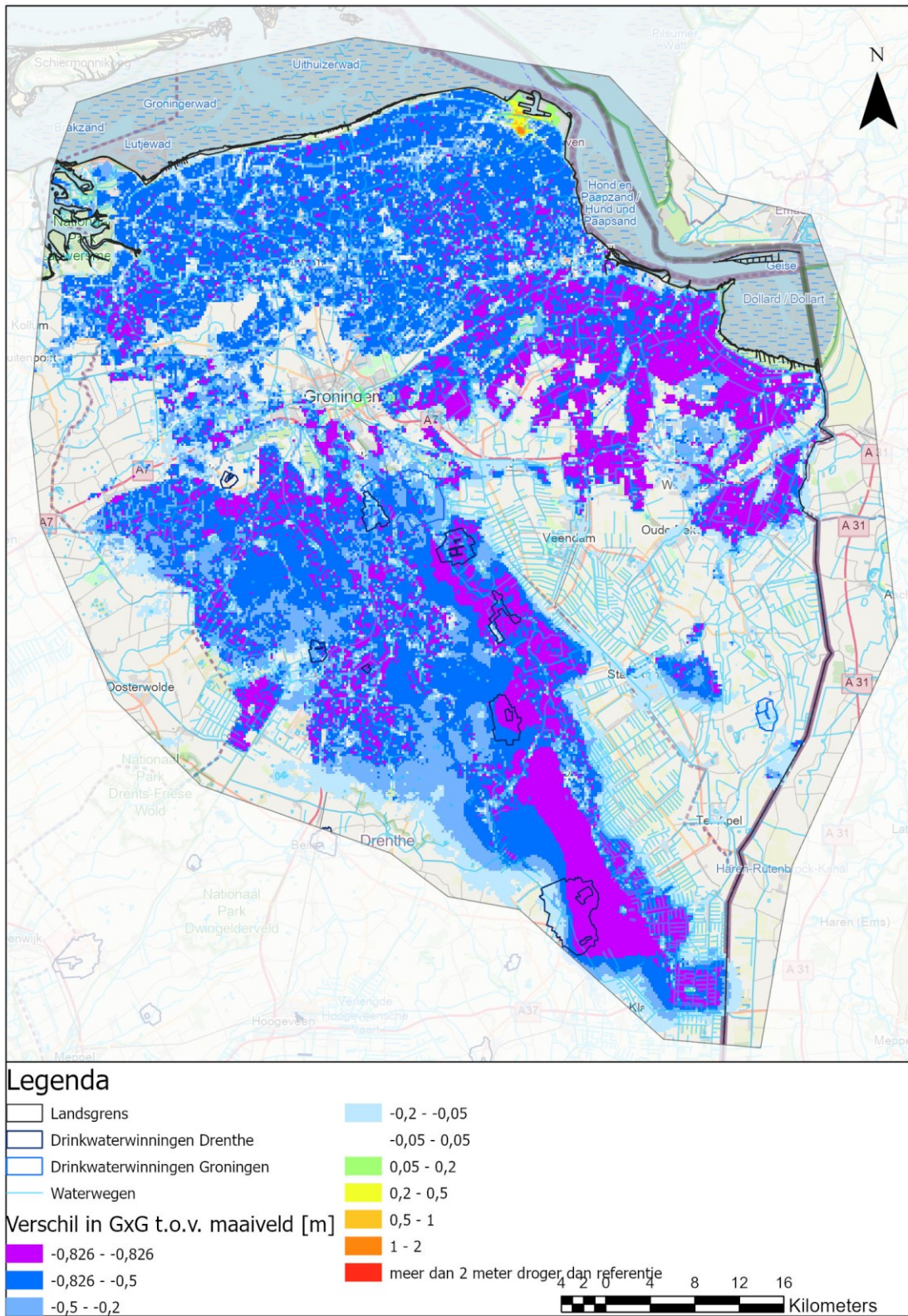
- Spaarwater maatregelen in noordelijk kleigebied (zie paarse contour in Figuur 8-22). Spaarwater houdt in dat alle aanwezige buisdrainage peilgestuurd gemaakt wordt en alleen in het zomerhalfjaar wordt ingezet. In de winter en het voorjaar wordt de drainage uitgeschakeld en wordt een maximale hoeveelheid neerslagwater vastgehouden in het bodemprofiel.
- Grondwateronttrekking zout water bij Eemshaven en brak water bij Garmerwolde. Bij de Eemshaven is uitgegaan van een grondwateronttrekking van 18 miljoen m³ per jaar (t.b.v. waterstofproductie) uit de Peize-Waalrezanden (modellagen 10 en 11). Bij Garmerwolde is uitgegaan van een onttrekking van 9 miljoen m³ per jaar uit de formatie van Urk/Appelscha/Peize (modellaag 9).
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie principeschets in Figuur 8-39):
 - De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
 - De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
 - In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Afkoppelen en infiltreren van de hemelwaterafvoer van 35% van het totale verharde oppervlak in het modelgebied (met name in infiltratiegebieden zonder keileem).
- Omvormen van 25% van het totale areaal bos naar heide (met name naaldbos in infiltratiegebieden).
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 50%.

9.4.3.2 Waterkwantiteit

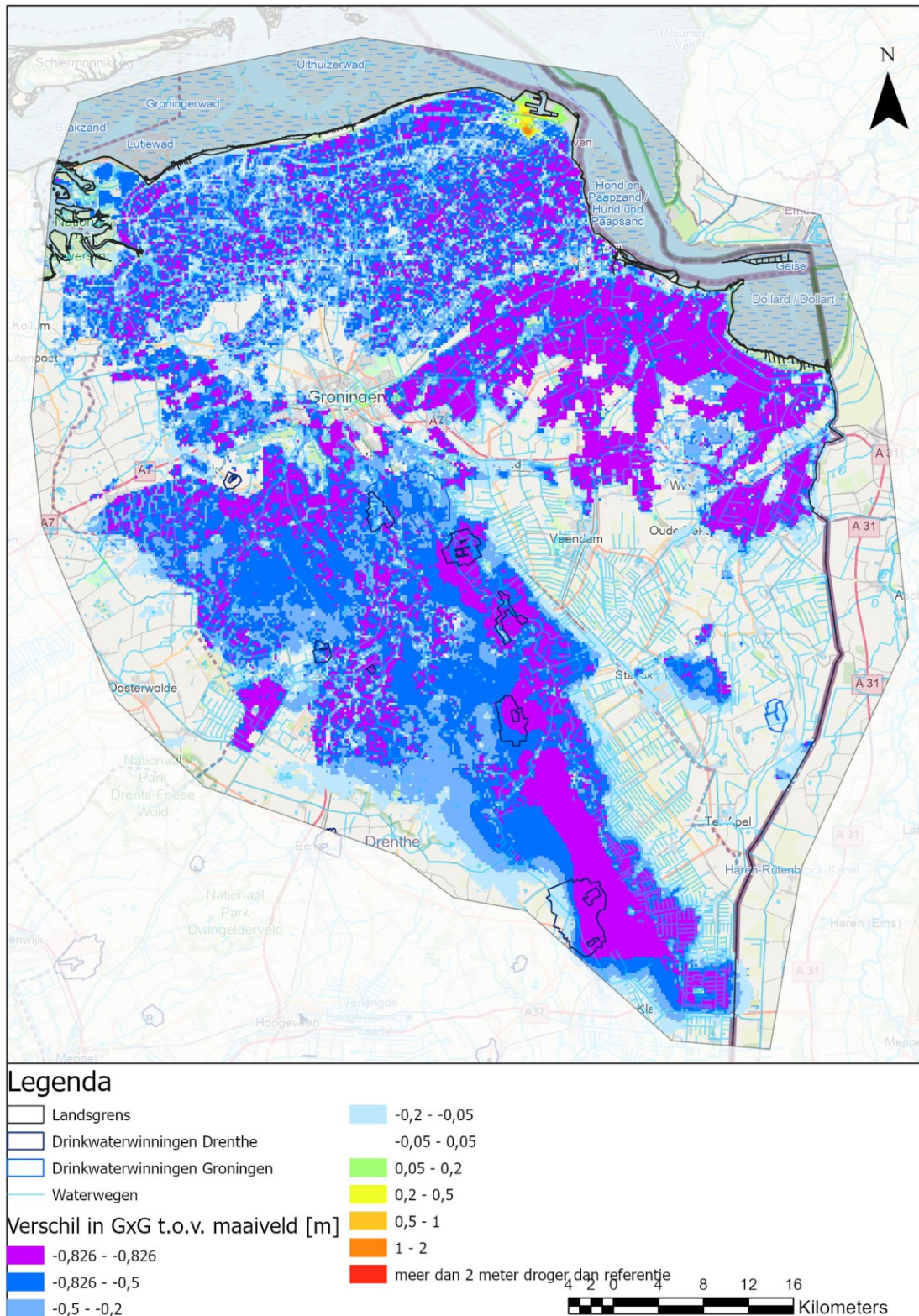
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-11 tot en met Figuur 9-13. Forse stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot -op veel locaties- meer dan 80 cm, worden berekend in:

- De veengebieden, door vermindering van de drooglegging tot 20 cm onder maaiveld.
- De beekdalen en beekdalflanken in het Drentse deel van het modelgebied, door beekdalbrede inrichting, in combinatie met verondieping van alle watergangen.
- De Hondrug en het dal van de Hunze ten oosten van de Hondsrug, met name door afkoppelen verhard oppervlak, omvormen van bos naar heide en beekdalbrede inrichting (dal van de Hunze).
- In het noordelijk kustgebied, met name door de spaarwater-maatregelen.

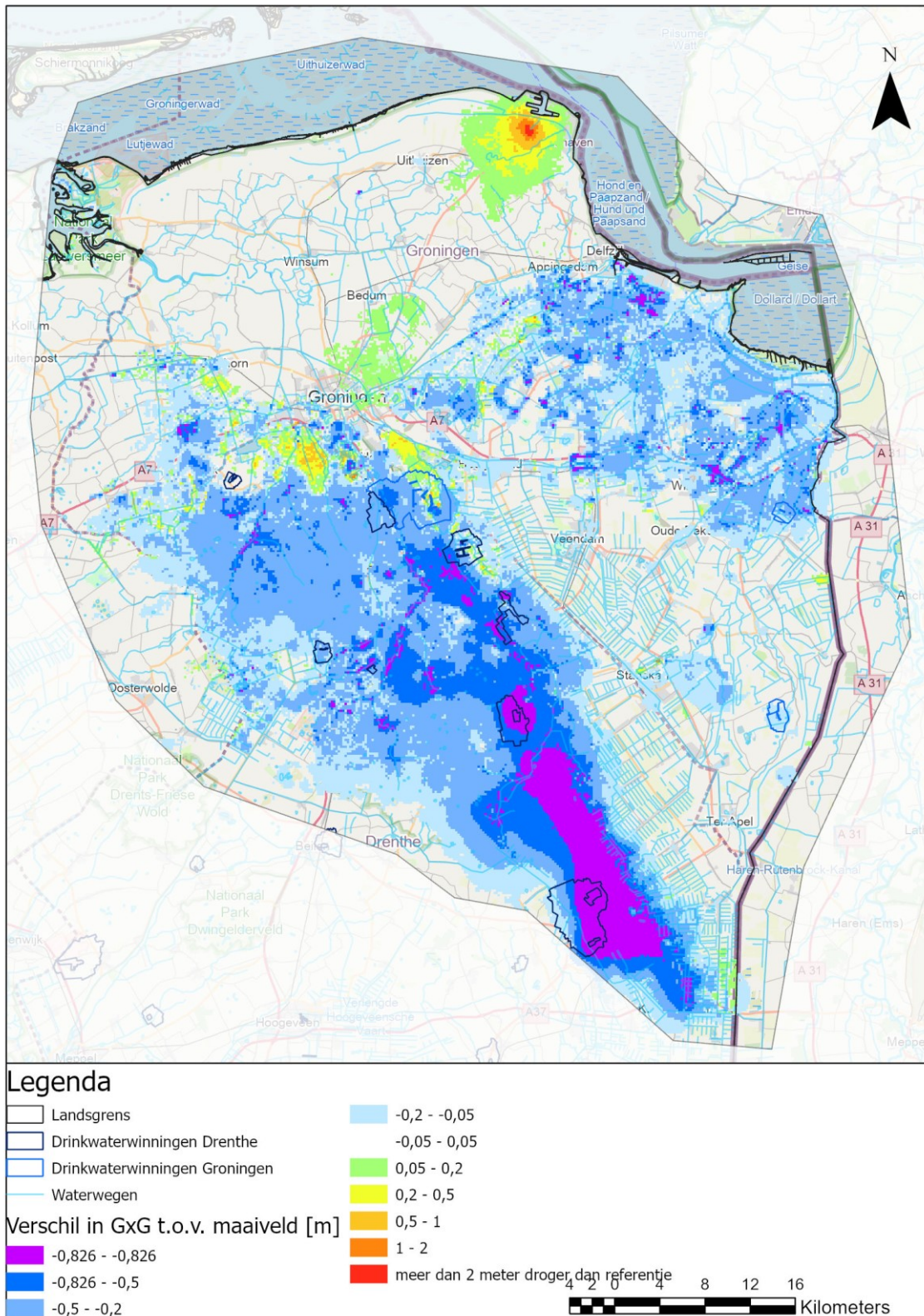
Figuur 9-14 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 3 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 10%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ruim 10%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



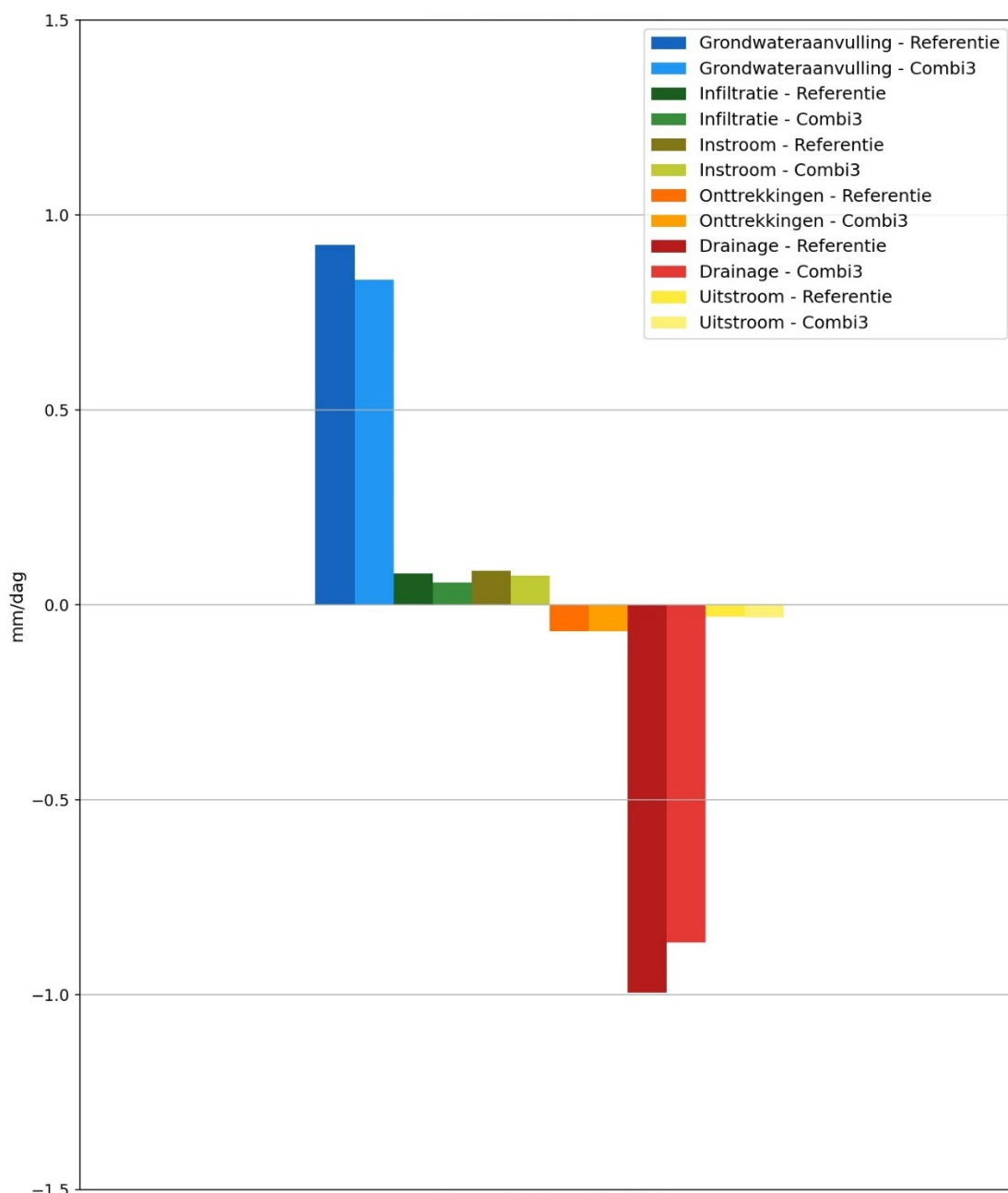
Figur 9-11: Combinatiescenario 3, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-12: Combinatiescenario 3, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-13: Combinatiescenario 3, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

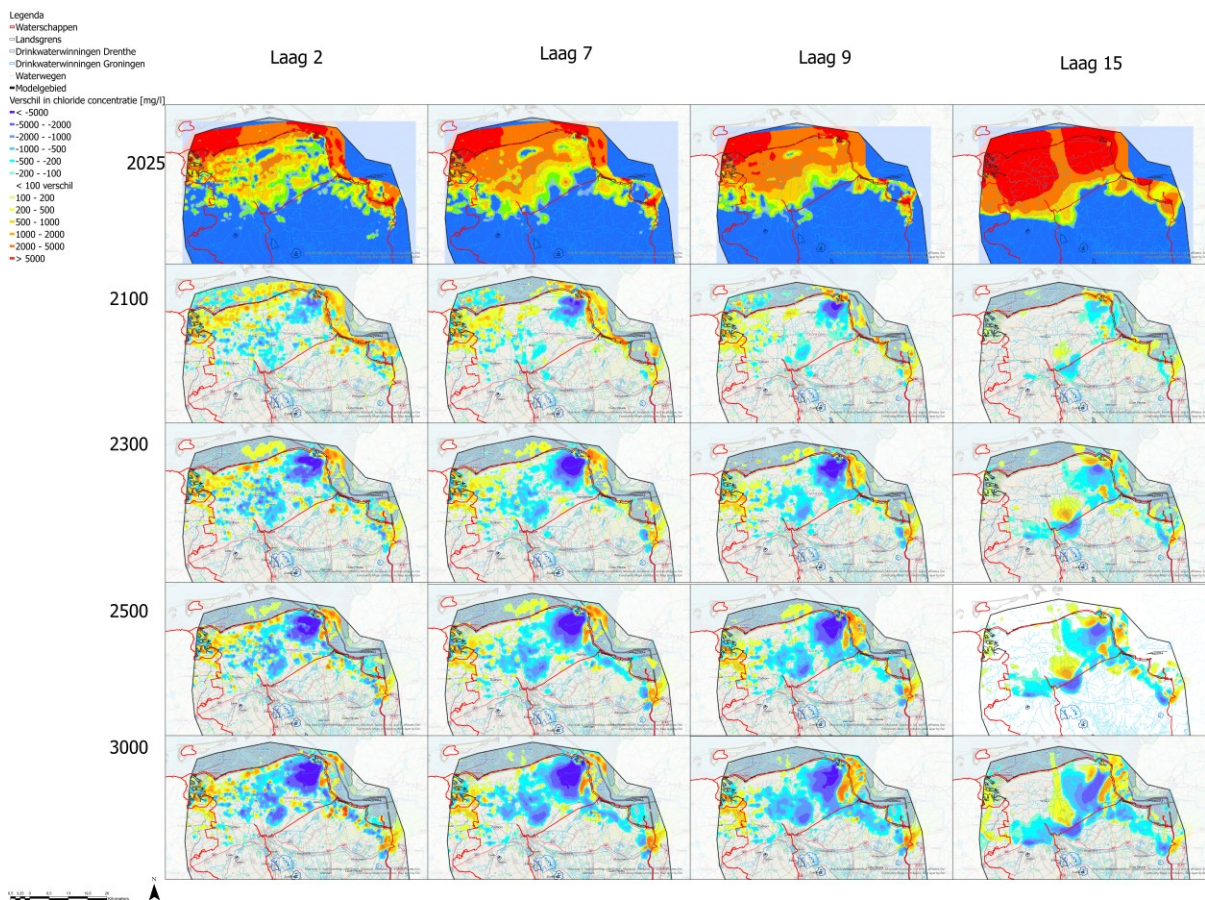


Figuur 9-14: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 3 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.3.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-15 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In vrijwel het gehele noordelijke kustgebied en de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal zorgen de maatregelen voor een verlaging van de chlorideconcentraties in de ondergrond. Omdat de grondwaterstandsverhogingen per deelgebied variëren, zijn de veranderingen in de chlorideverdeling niet uniform. In de deelgebieden met de sterkste grondwaterstands- en stijghoogteverhogingen nemen de concentraties het sterkst af, in de deelgebieden met minder stijging nemen de concentraties minder af of is zelfs sprake van een toename ten opzichte van Autonom-W_H.



Figuur 9-15: Combinatiescenario 3: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.4 Combinatiescenario 4 – scenario 1 water en bodem sturend

9.4.4.1 Uitwerking

Dit combinatiescenario is het eerste scenario waarmee invulling wordt gegeven aan de doelstellingen van de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Dit scenario omvat:

- In de vrij afwaterende gebieden: beekdalbrede inrichting en verondieping slootbodems;
- In de peilbeheerste gebieden: peilverhoging wateraanvoergebied;
- Beperkte vermindering van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater.

Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.
- De drainageniveaus van sloten, greppels en drains zijn aangepast op de verhoogde peilen. Als het verhoogde oppervlaktewaterpeil hoger is dan het oorspronkelijke drainageniveau, is ook het drainageniveau verhoogd.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie principeschets in Figuur 8-39):
 - De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.

- De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
- In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 16,4%, zie onderstaand kader.

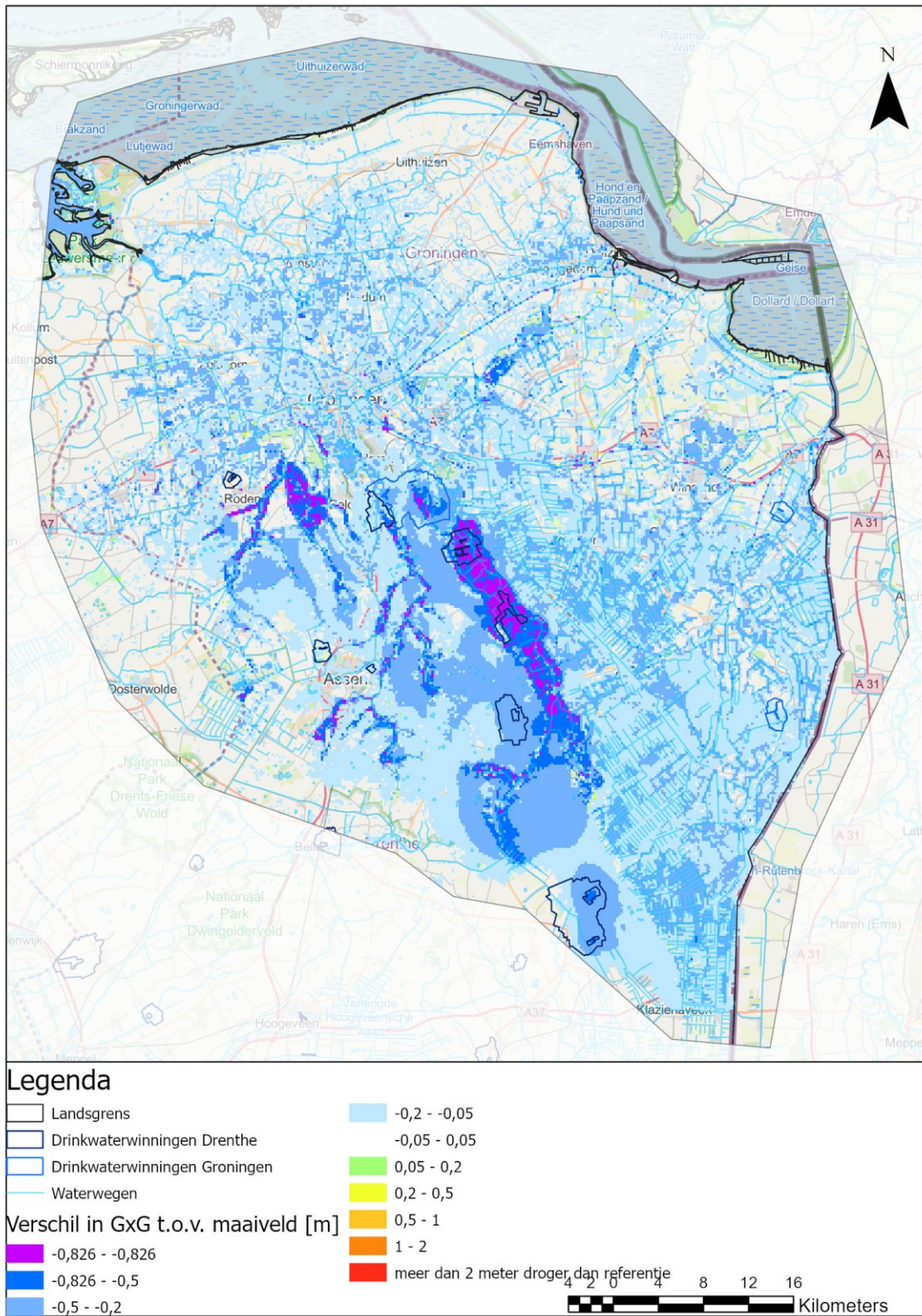
Onderbouwing reductie drinkwaterverbruik 16,4%

Het gemiddelde drinkwaterverbruik bedroeg in Nederland in 2022 134 liter per persoon per dag. In de kamerbrief Water en Bodem sturend is als doelstelling opgenomen om te komen tot een reductie tot 100 liter per persoon per dag. De totale bevolking neemt tussen 2022 en 2085 toe van 17,5 miljoen naar 19,6 miljoen. Het totale verbruik in 2085 wordt dan $(100/134) \times (19,6M/17,5M)\%$ van het gebruik in 2022. Dus 83,6%, dat is een beperking in 2085 t.o.v. 2022 van 16,4%.

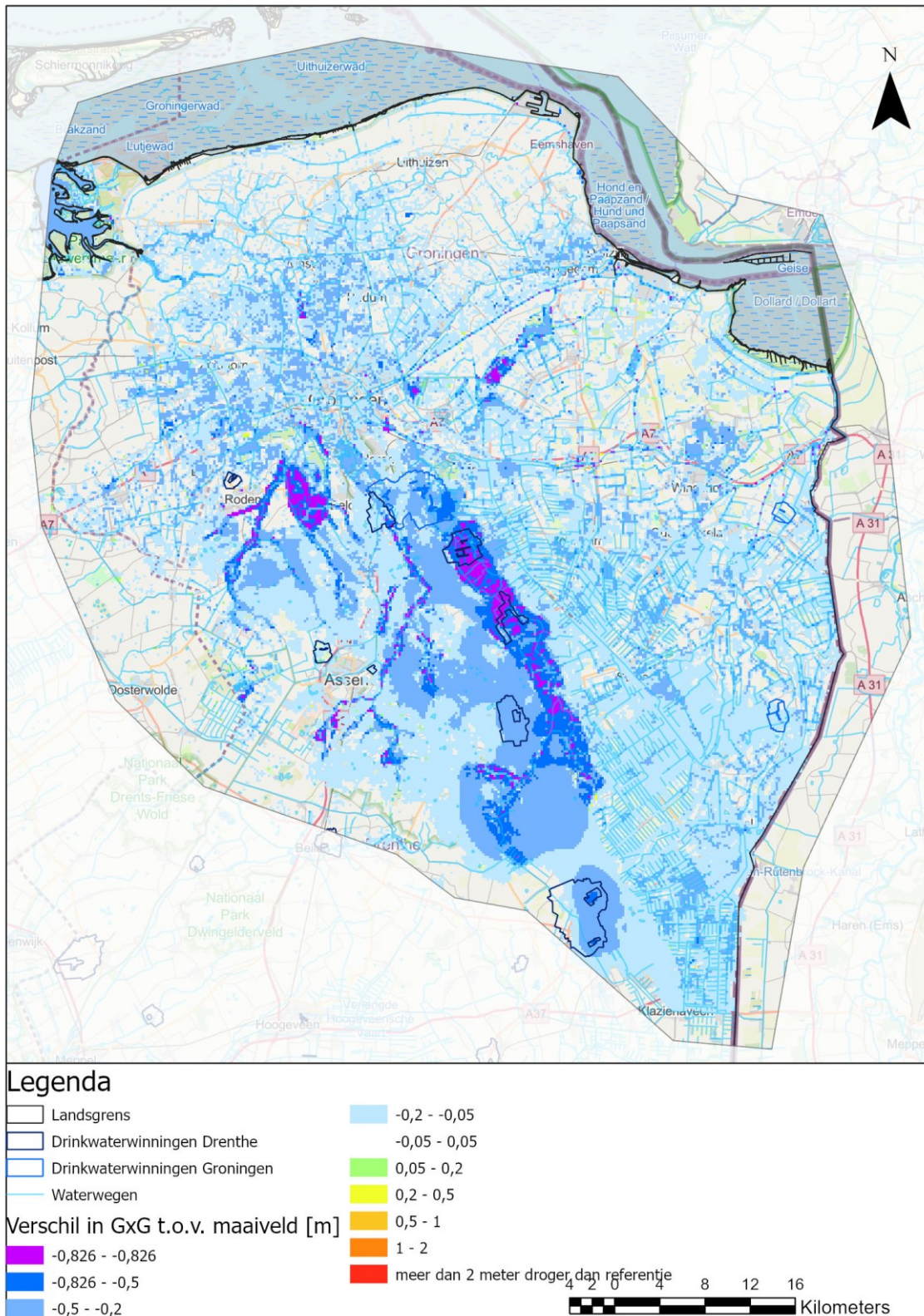
9.4.4.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-16 tot en met Figuur 9-16. De GHG, GVG en GLG stijgen over vrijwel het gehele modelgebied met enkele centimeters tot ongeveer 20 cm. Sterkere stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm, worden berekend in de beekdalen en beekdalflanken in het Drentse deel van het modelgebied, door beekdalbrede inrichting en in delen van het wateraanvoergebied. De effecten in de noordelijke kustzone zijn over het algemeen beperkt.

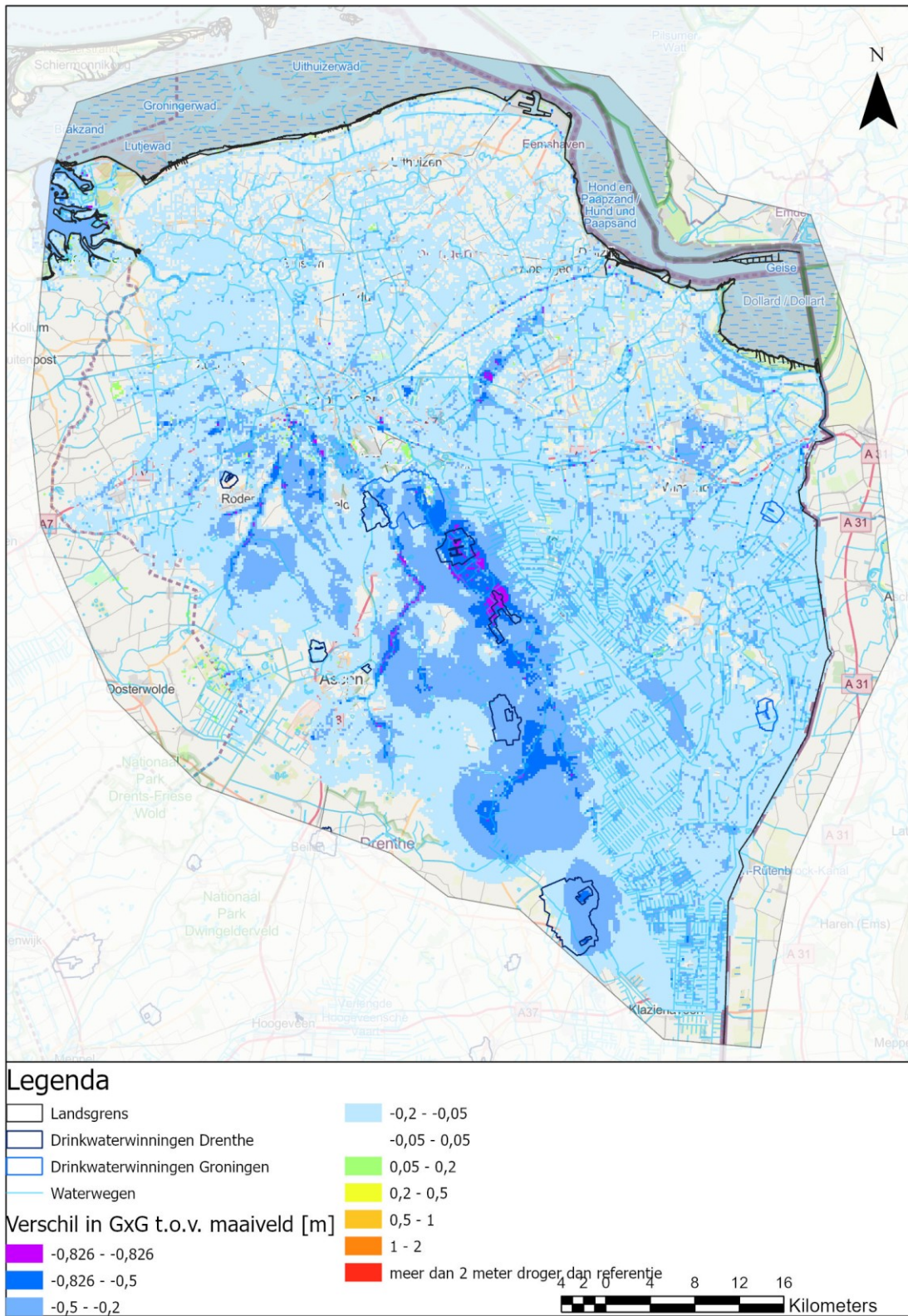
Figuur 9-19 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 4 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- slechts voor geringe veranderingen in de waterbalans. De drainage neemt iets af, met enkele procenten; hetzelfde geldt voor de grondwateraanvulling.



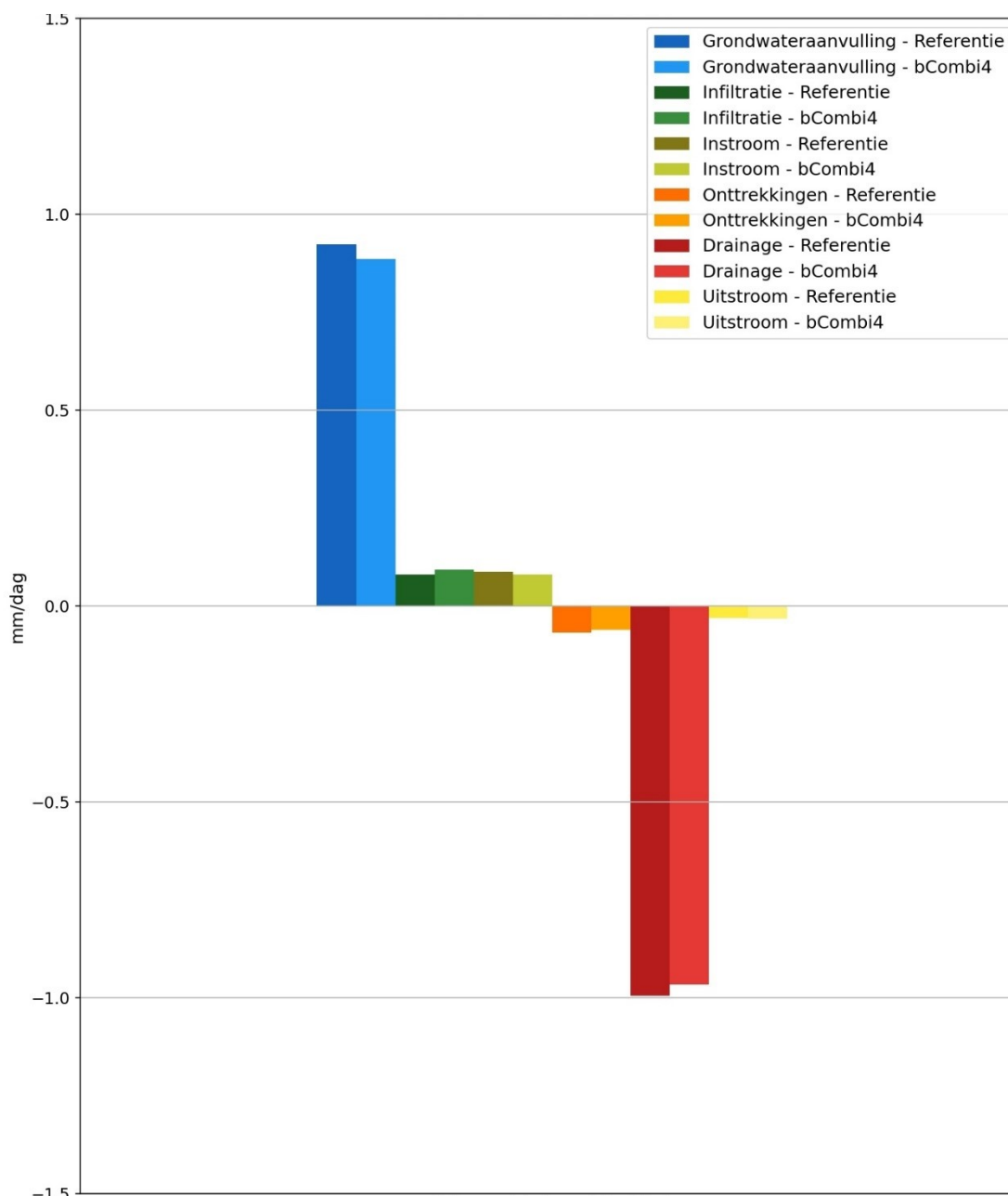
Figuur 9-16: Combinatiescenario 4, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-17: Combinatiescenario 4, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-18: Combinatiescenario 4, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

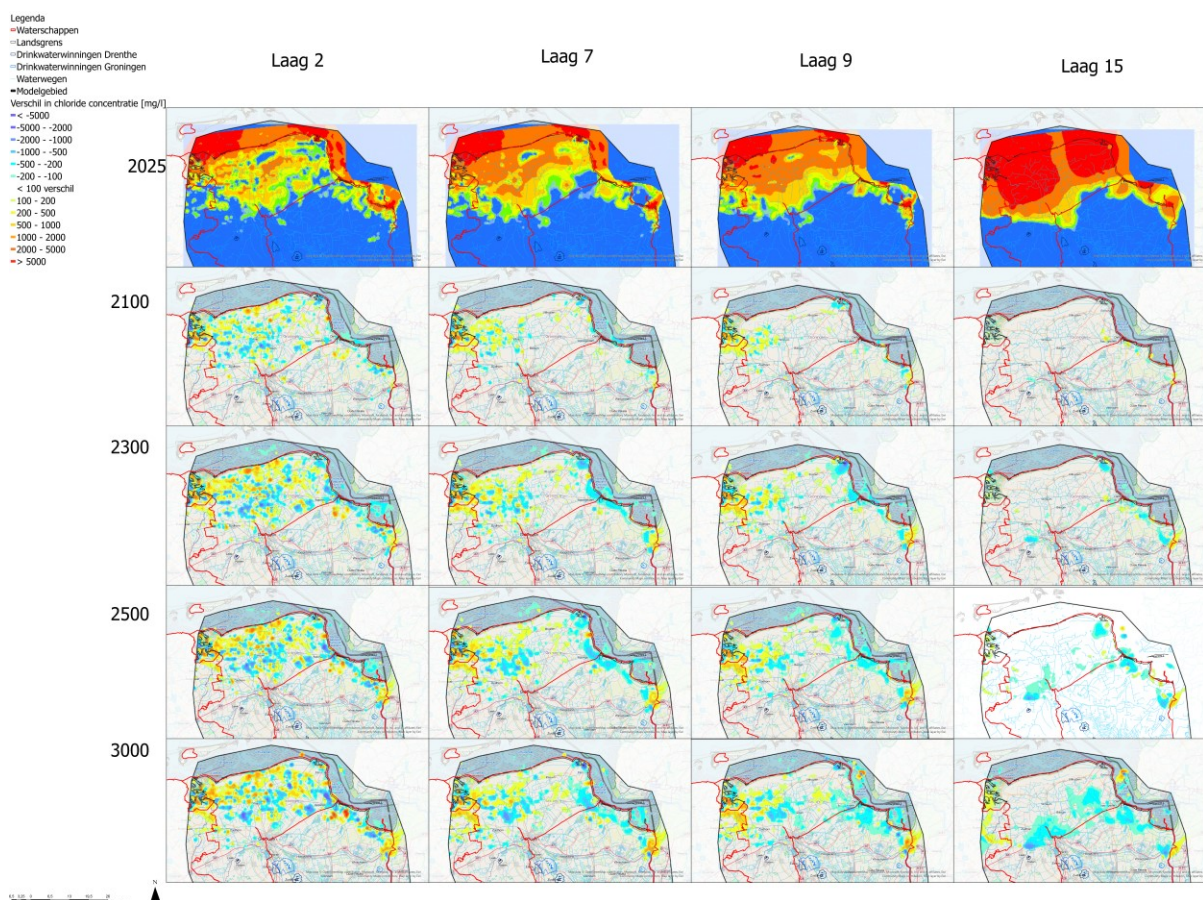


Figuur 9-19: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 4 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.4.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-20 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In het grootste deel van het noordelijke kustgebied zijn de effecten op de chlorideconcentraties in de ondergrond beperkt; afwisselend over het gebied worden beperkte toe- en afnames berekend. Structurele verlaging van de chlorideconcentraties wordt berekend in de diepere modellagen (9 en 15) in de veenzone ten zuiden van het Eemskanaal en in een gebied tussen Winschoten en de Dollard.



Figuur 9-20: Combinatiescenario 4: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.5 Combinatiescenario 5 – scenario 2 water en bodem sturend

9.4.5.1 Uitwerking

Dit combinatiescenario is het tweede scenario waarmee invulling wordt gegeven aan de doelstellingen van de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Dit scenario omvat:

- In de vrij afwaterende gebieden: beekdalbrede inrichting, verondieping slootbodems, verwijderen buisdrainage en dempen van detailontwatering;
- In de peilbeheerste gebieden: in veengebieden maximaal gebiedseigen water vasthouden (met variabel peil). Peilverhoging in delen van het kustgebied (Oldambt-gebied).
- Beperkte vermindering van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater.

Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden alle ontwatering verwijderen. Hierdoor wordt maximaal water vastgehouden, met als resultaat grondwaterstanden aan maaiveld in de winterperiode. Tevens stopzetten wateraanvoer, waardoor de grondwaterstanden in de zomerperiode kunnen uitzakken.
- Peilverhoging van 30 cm in het Oldambt-gebied.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd, wordt alle buisdrainage verwijderd en wordt alle overige detailontwatering gedempt.
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie prinsesochets in Figuur 8-39):

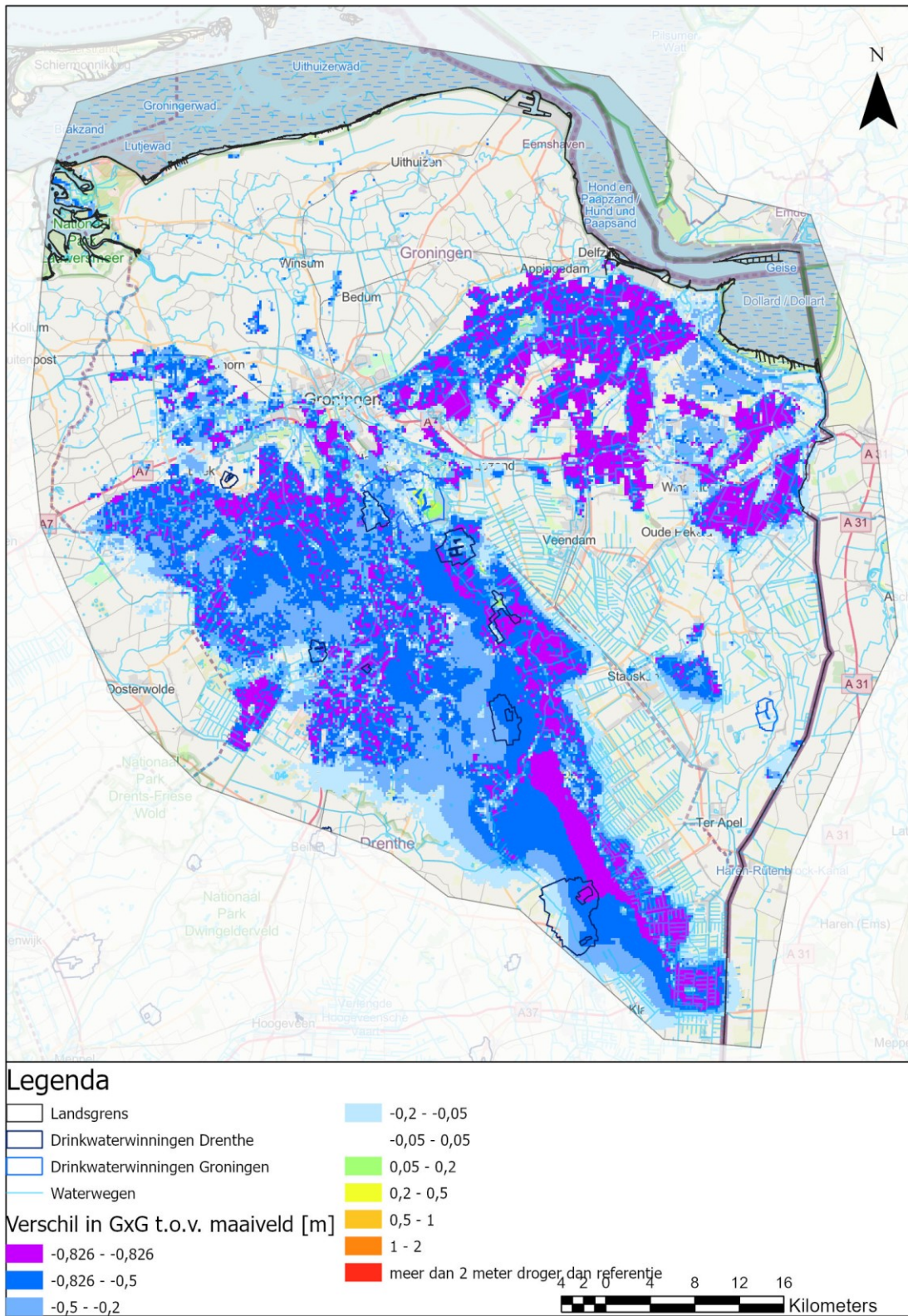
- De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
- De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
- In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 16,4%, zie kader in paragraaf 9.4.4.1.

9.4.5.2 Waterkwantiteit

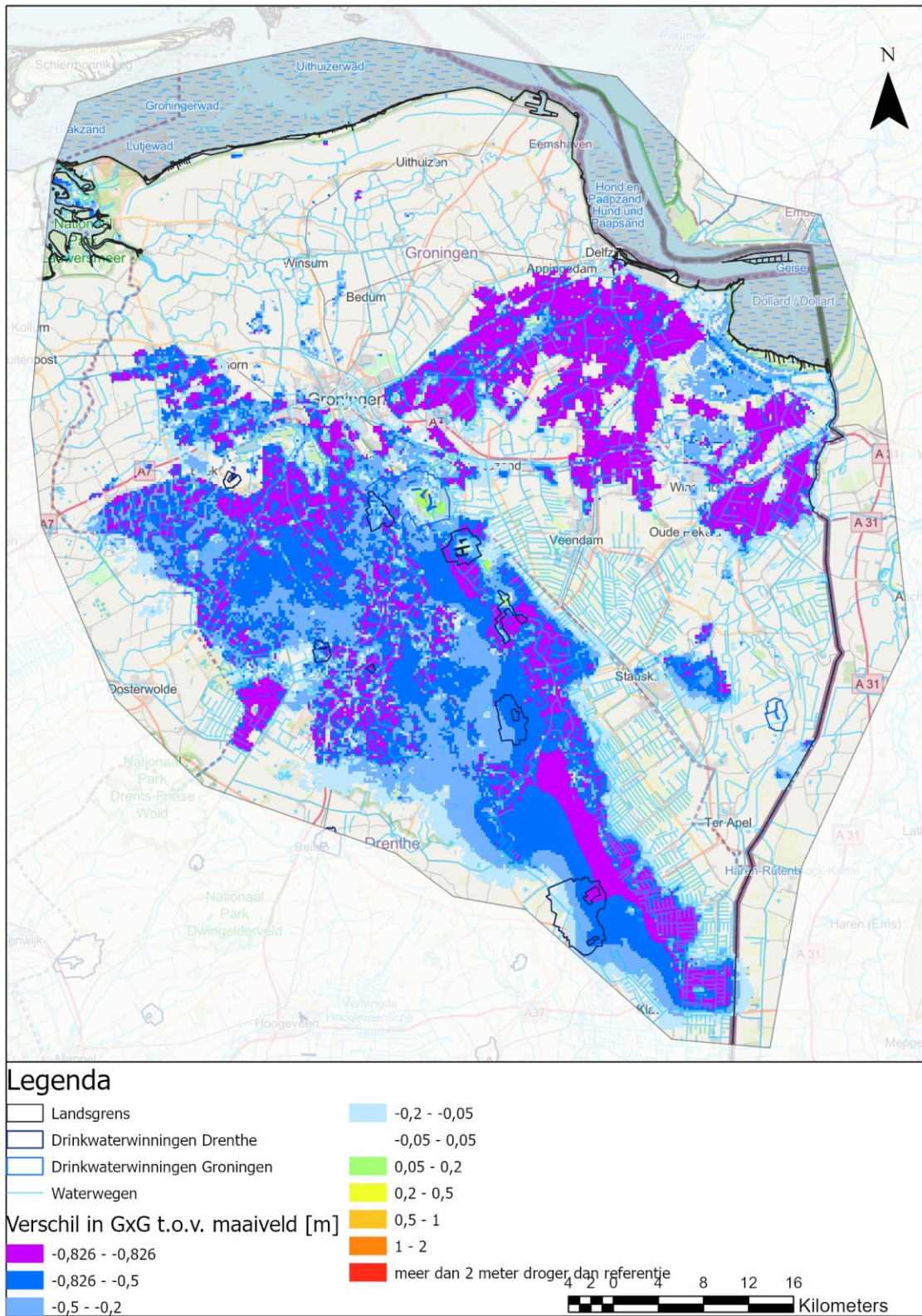
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-21 tot en met Figuur 9-23. Forse stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot -op veel locaties- meer dan 80 cm, worden berekend in:

- Vrijwel het gehele Drentse deel van het modelgebied, vooral als gevolg van de combinatie van beekdalbrede inrichting, verhogen van de slootbodems en verwijderen van alle buisdrainage en detailontwatering.
- De veengebieden. Het verwijderen van alle ontwatering en het maximaal vasthouden van het neerslagwater in het gebied zorgt voor stijgingen van de GHG en GVG van 50 tot meer dan 80 cm. Door het stopzetten van de wateraanvoer kan de GLG uitzakken. De stijgingen van de GLG ten opzichte van Autonom-W_H blijven beperkt tot enkele decimeters. Lokaal worden zelfs GLG-verlagingen berekend ten opzichte van Autonom-W_H (veengebieden waar in de huidige situatie veel wateraanvoer nodig is om de grondwaterstanden op peil te houden).

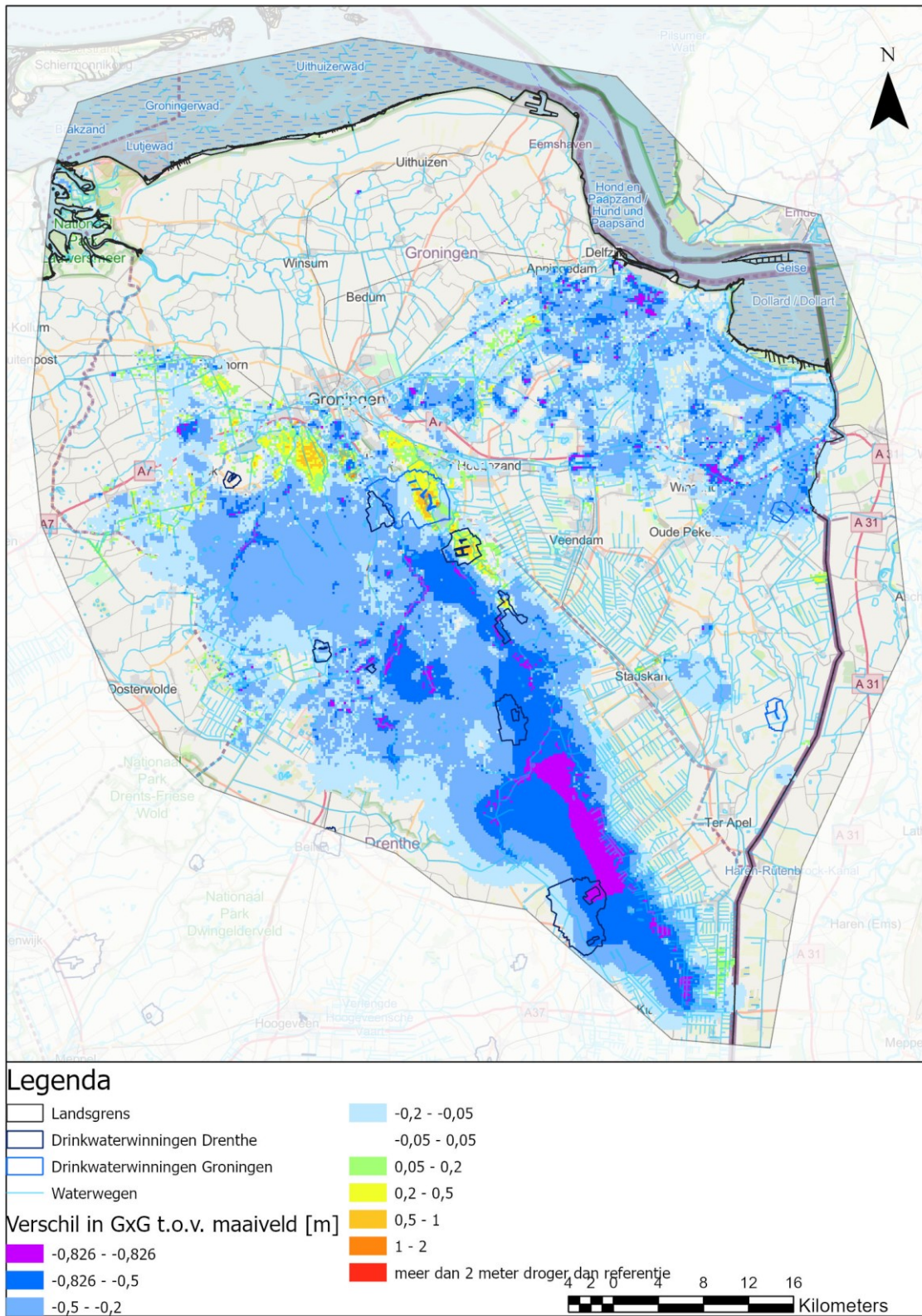
Figuur 9-24 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 5 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 10%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ongeveer 10%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



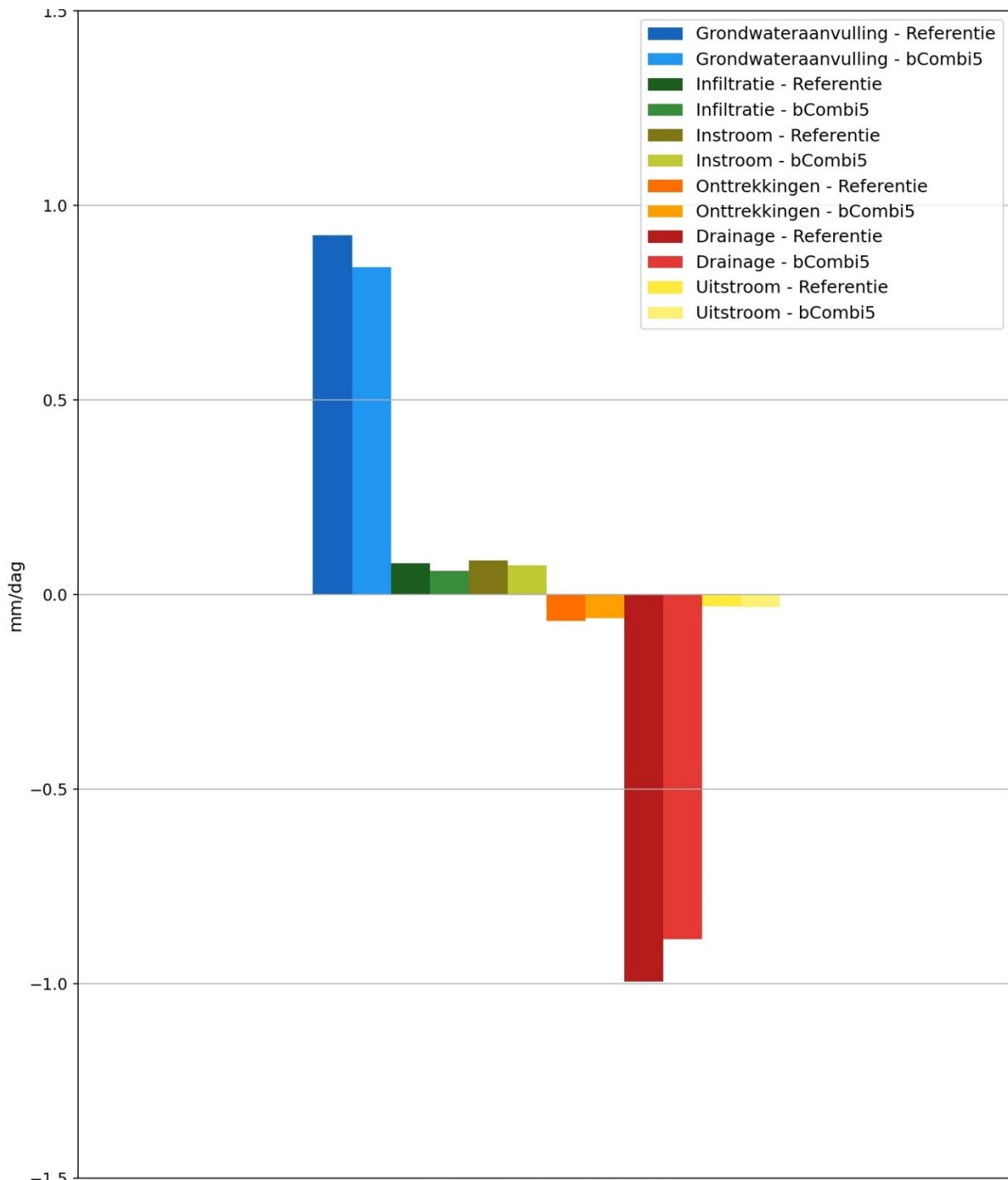
Figur 9-21: Combinatiescenario 5, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-22: Combinatiescenario 5, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-23: Combinatiescenario 5, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom- W_H (zichtjaar 2085)



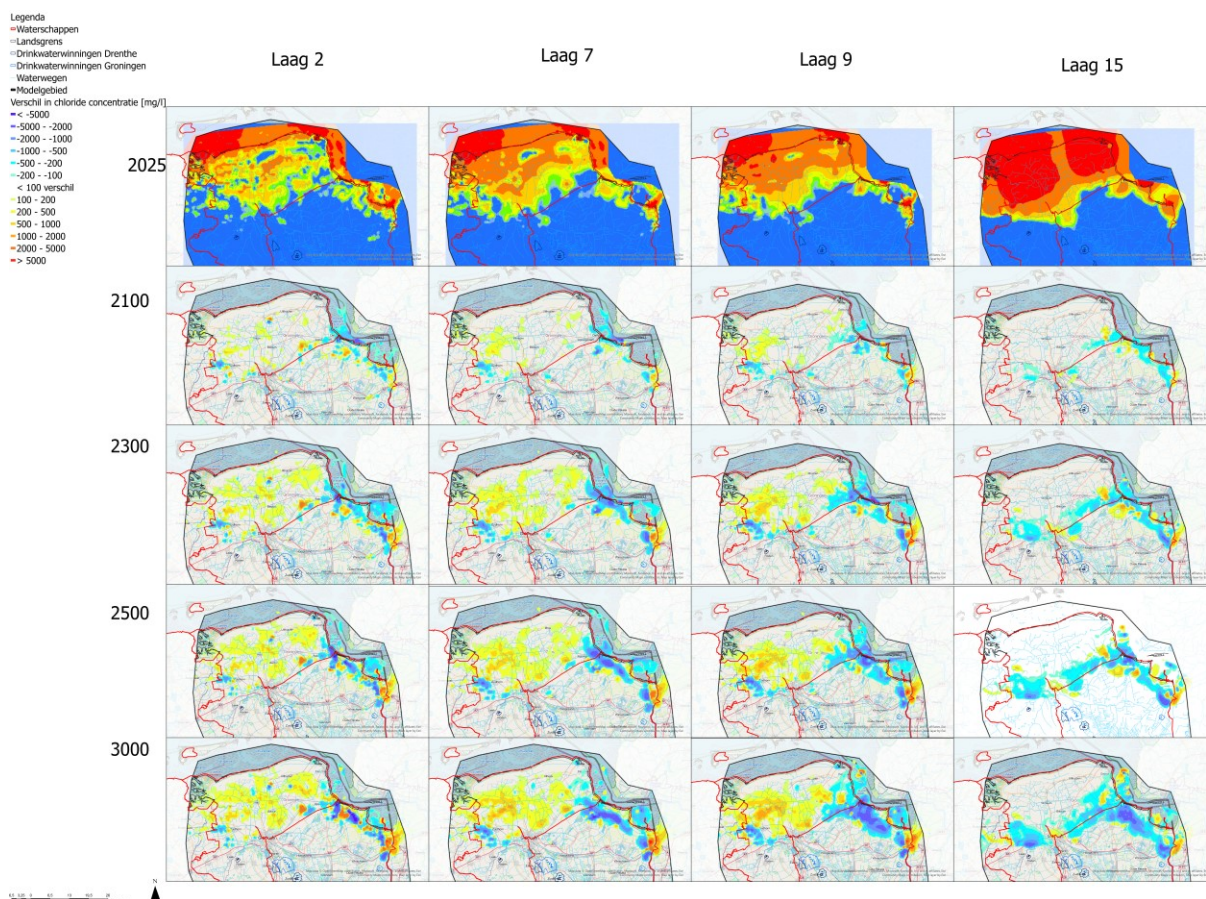
Figuur 9-24: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 5 versus Autonomoos- W_H (zichtjaar 2085)

9.4.5.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-25 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal en het gebied tussen Winschoten en de Dollard wordt flinke verzoeting berekend (afname van chlorideconcentraties in de ondergrond). In het noordelijk

kustgebied worden toenames van chlorideconcentraties in de ondergrond berekend, vooral in de ondiepere modellagen. Door de peilverhogingen in de veengebieden wordt het -vanuit de Waddenzee- instromende zoute grondwater meer naar het ontwateringsstelsel in het noordelijk kustgebied gedrukt.



Figuur 9-25: Combinatiescenario 5: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellagen en zichtjaren

9.4.6 Combinatiescenario 6 – scenario 3 water en bodem sturend

9.4.6.1 Uitwerking

Dit combinatiescenario is het derde scenario waarmee invulling wordt gegeven aan de doelstellingen van de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Dit scenario omvat:

- In de vrij afwaterende gebieden: verondieping slootbodems;
- In de peilbeheerste gebieden: in veengebieden maximaal gebiedseigen water vasthouden (met variabel peil). Peilverhoging in delen van het kustgebied (Oldambt-gebied).
- Bebouwd gebied: afkoppelen en infiltreren hemelwaterafvoer over 35% van het bebouwde areaal.

Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden alle ontwatering verwijderen. Hierdoor wordt maximaal water vastgehouden, met als resultaat grondwaterstanden aan maaiveld in de winterperiode. Tevens stopzetten wateraanvoer, waardoor de grondwaterstanden in de zomerperiode kunnen uitzakken.
- Peilverhoging van 30 cm in het Oldambt-gebied.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.

- Afkoppelen en infiltreren van 35% van het bebouwde areaal. Bij voorkeur infiltratiegebieden zonder keileem.

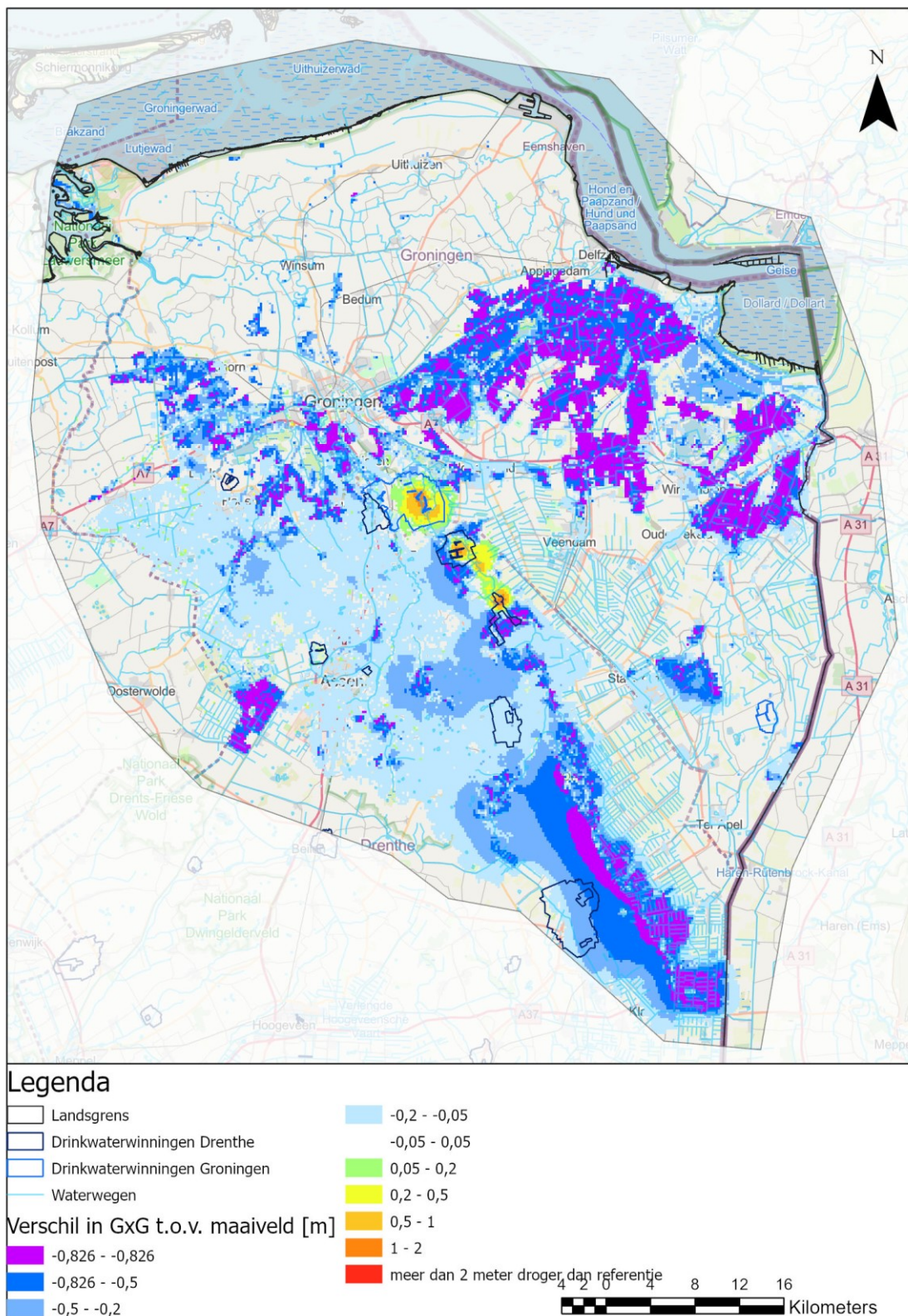
9.4.6.2 Waterkwantiteit

De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonoom- W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-26 tot en met Figuur 9-28. Forse stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot -op veel locaties- meer dan 80 cm, worden berekend in:

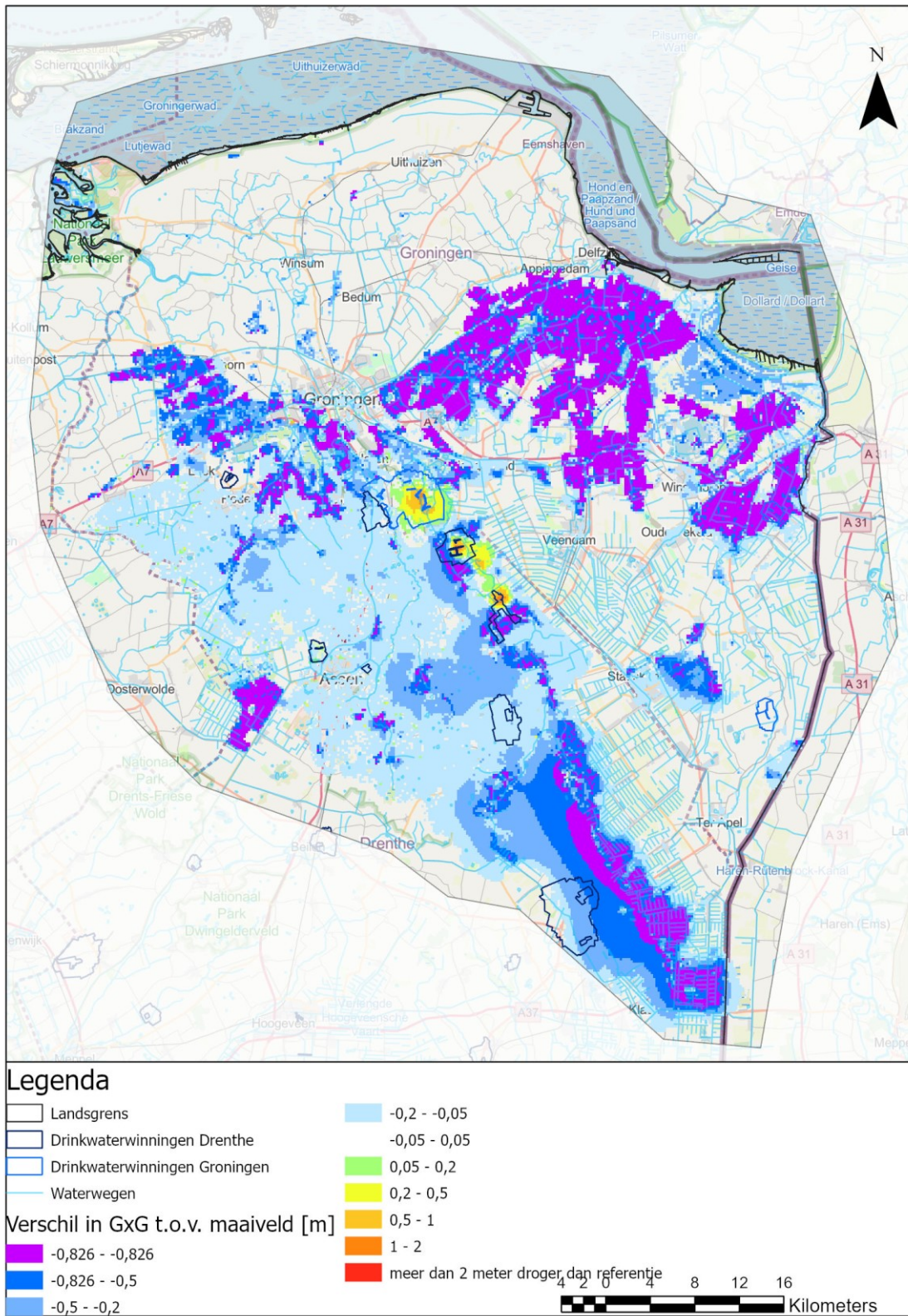
- De veengebieden. Het verwijderen van alle ontwatering en het maximaal vasthouden van het neerslagwater in het gebied zorgt voor stijgingen van de GHG en GVG van 50 tot meer dan 80 cm. Door het stopzetten van de wateraanvoer kan de GLG uitzakken. De stijgingen van de GLG ten opzichte van Autonoom- W_H blijven beperkt tot enkele decimeters. Lokaal worden zelfs GLG-verlagingen berekend ten opzichte van Autonoom- W_H (veengebieden waar in de huidige situatie veel wateraanvoer nodig is om de grondwaterstanden op peil te houden).
- Delen van het Drentse deel van het modelgebied, als gevolg van afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer in bebouwd gebied.

In het grootste deel van het Drentse deel van het modelgebied blijven de stijgingen van de GHG, GVG en GLG beperkt tot enkele decimeters. In het noordelijk kustgebied worden vrijwel geen grondwaterstandseffecten berekend.

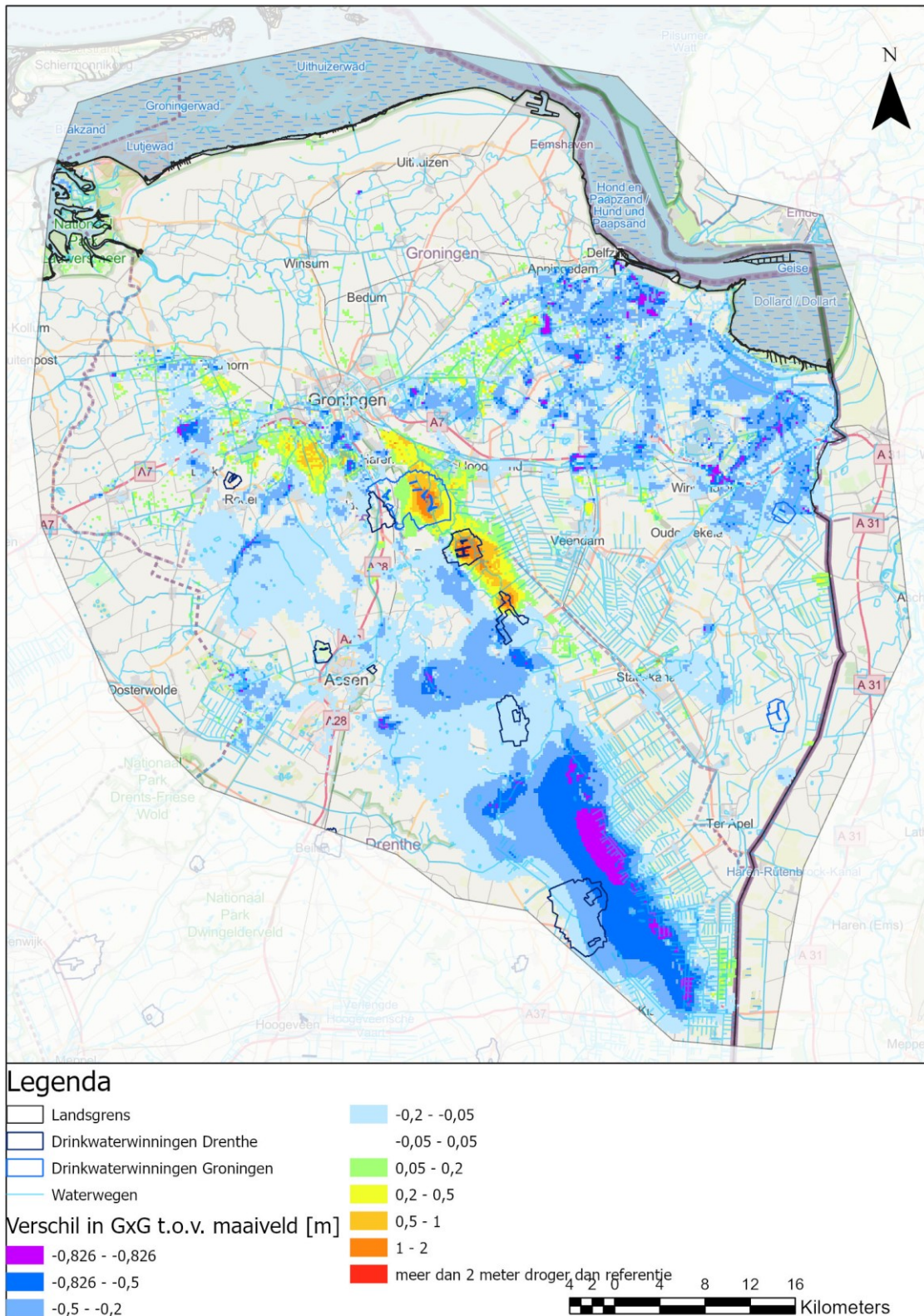
Figuur 9-29 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 6 en Autonoom- W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 10%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ongeveer 5%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



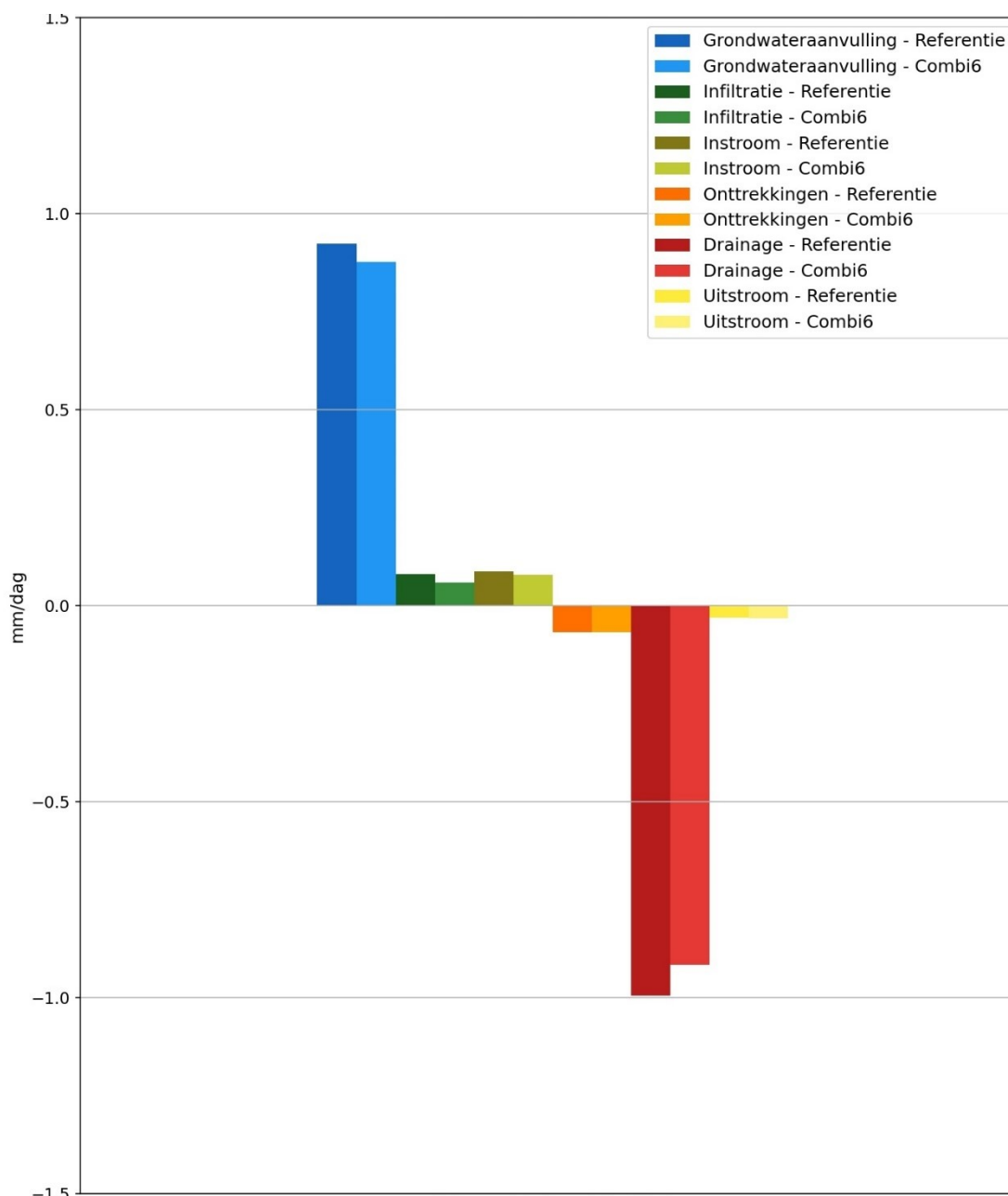
Figur 9-26: Combinatiescenario 6, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-27: Combinatiescenario 6, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_h (zichtjaar 2085)



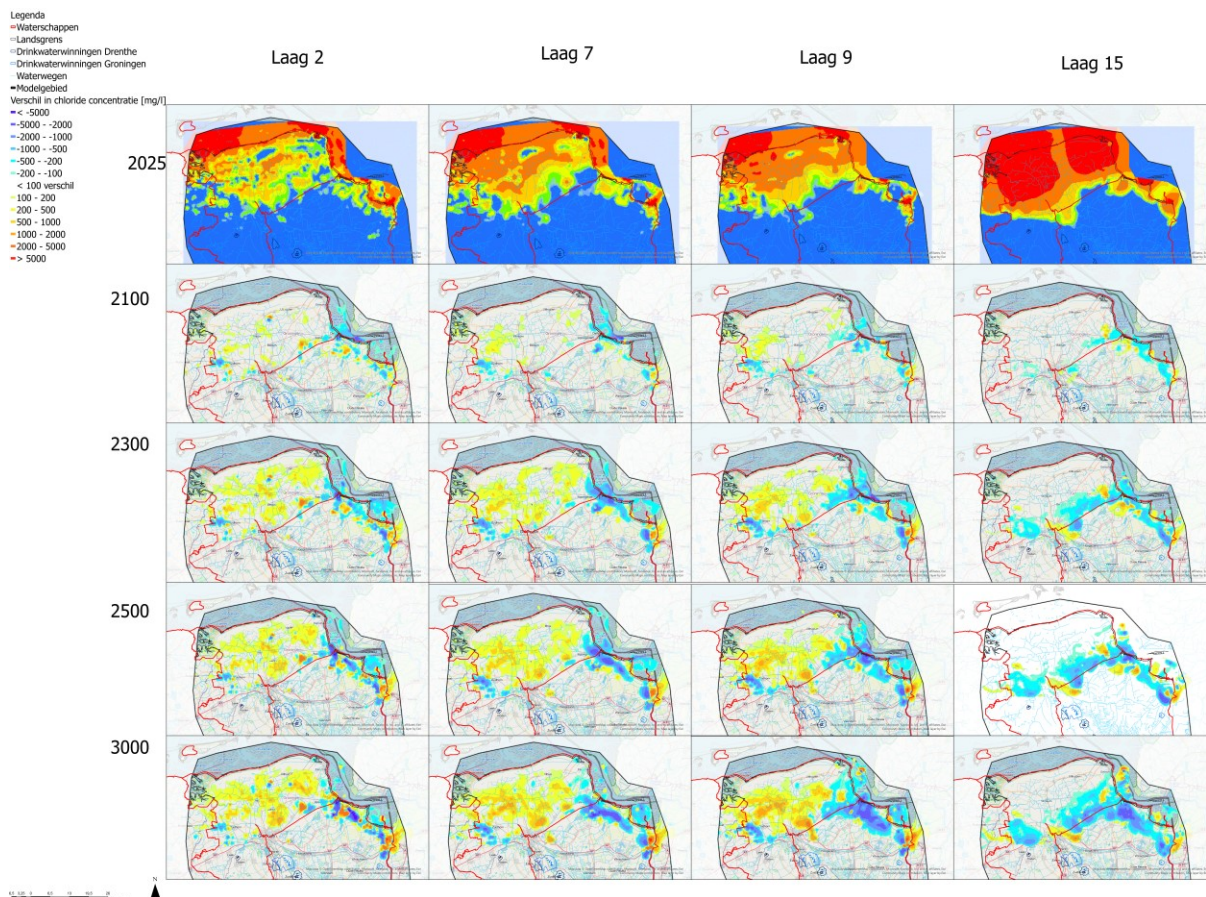
Figuur 9-28: Combinatiescenario 6, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figuur 9-29: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 6 versus Autonoom- W_H (zichtjaar 2085)

Figuur 9-30 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal en het gebied tussen Winschoten en de Dollard wordt flinke verzoeting berekend (afname van chlorideconcentraties in de ondergrond). In het noordelijk kustgebied worden toenames van chlorideconcentraties in de ondergrond berekend, vooral in de ondiepere modellagen. Door de peilverhogingen in de veengebieden wordt het -vanuit de Waddenzee- instromende zoute grondwater meer naar het ontwateringsstelsel in het noordelijk kustgebied gedrukt.



Figuur 9-30: Combinatiescenario 6: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.7 Combinatiescenario 7 – scenario 4 water en bodem sturend

9.4.7.1 Uitwerking

Dit combinatiescenario is het vierde scenario waarmee invulling wordt gegeven aan de doelstellingen van de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Dit scenario omvat:

- In de vrij afwaterende gebieden: beekdalbrede inrichting en verondieping slootbodems.
- In de peilbeheerste gebieden: peilverhoging in veengebieden en in delen van het kustgebied (Oldambt-gebied).
- Beperkte vermindering van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater (16,4%).

Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden is de drooglegging van het 10% laagste maaiveld binnen het betreffende peilgebied gelijkgesteld aan 20 cm onder maaiveld. Veengebieden zijn gedefinieerd als de peilgebieden met meer dan 20% veengrond (rood weergegeven in Figuur 8-1).
- Er is uitgegaan van de maaiveldhoogte na bodemdaling in het zichtjaar 2085. In de veengebieden is de bodemdaling door de hogere peilen beperkt ten opzichte van Autonom-W_H.
- In de overige wateraanvoergebieden zijn de oppervlaktewaterpeilen verhoogd met 30 cm.
- Peilverhoging van 30 cm in het Oldambt-gebied.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.

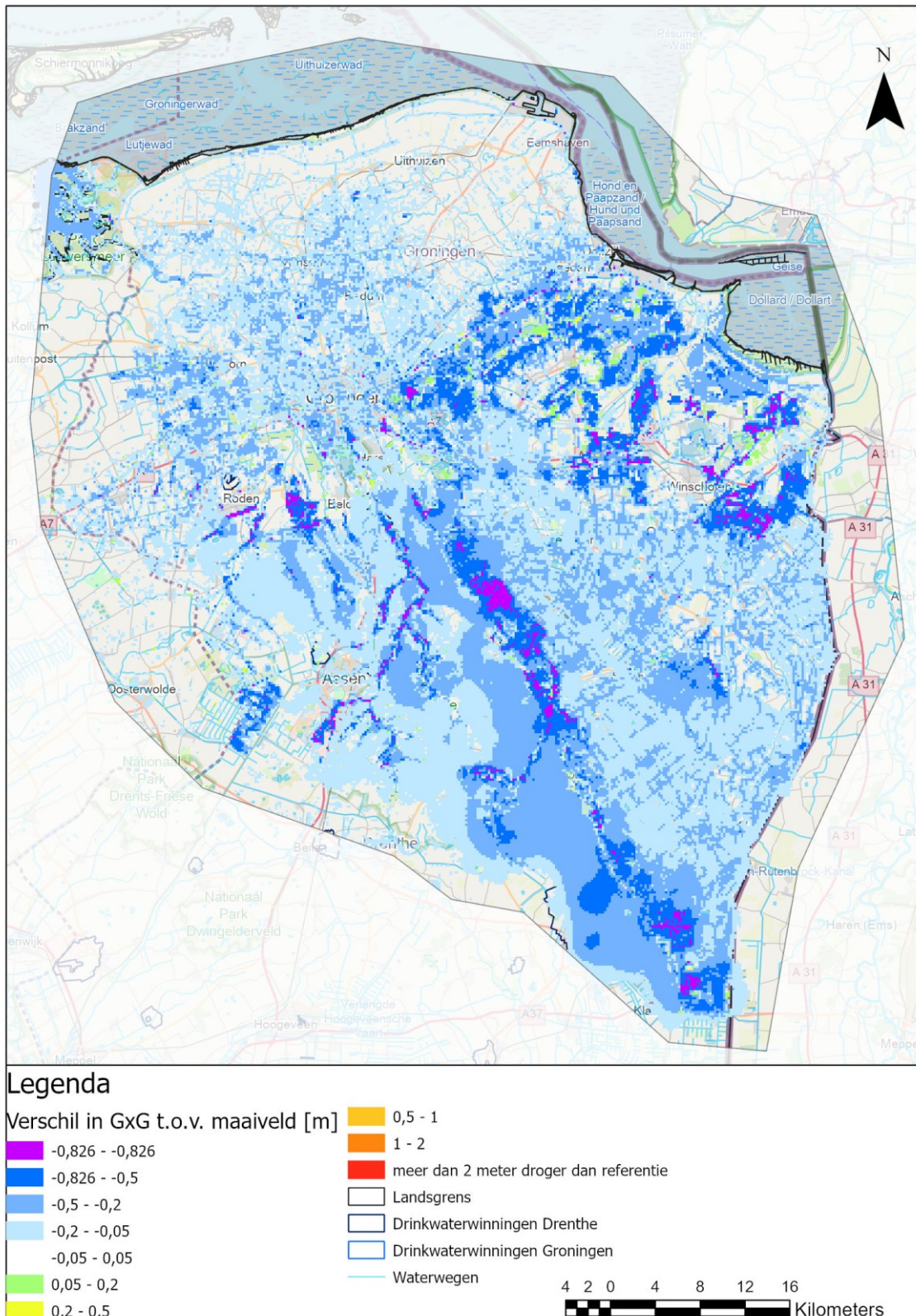
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie principeschets in Figuur 8-39):
 - De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
 - De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
 - In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 16,4%, zie kader in paragraaf 9.4.4.1.

9.4.7.2 Waterkwantiteit

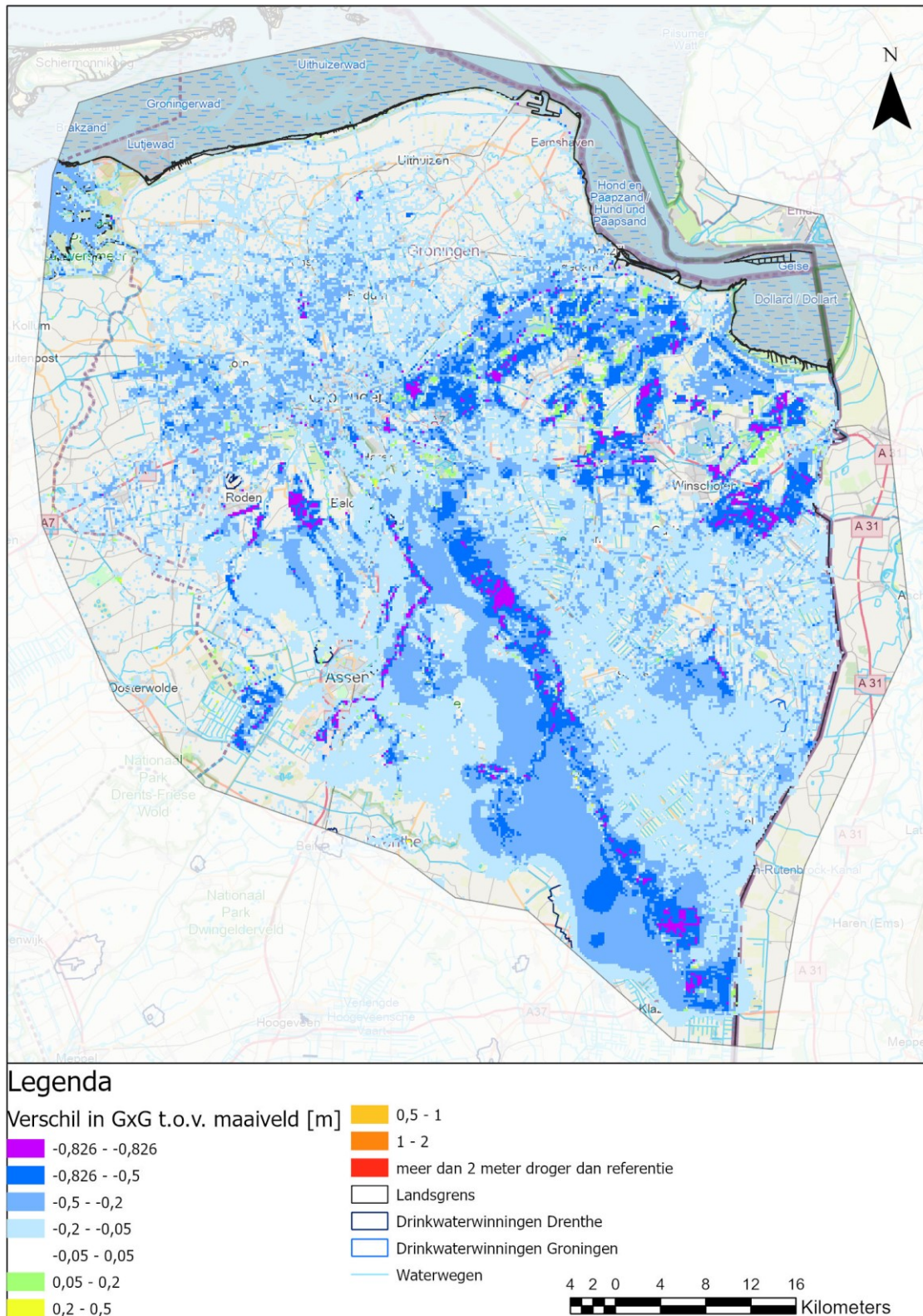
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-31 tot en met Figuur 9-33. Over het grootste deel van het modelgebied worden stijgingen van de GHG, GVG en GLG berekend van enkele centimeters tot maximaal 20 cm. Grotere stijgingen van de GHG, GVG en GLG, van 20 cm tot lokaal meer dan 80 cm, worden berekend in:

- De veengebieden. Het verminderen van de drooglegging tot 20 cm onder maaiveld zorgt op veel plaatsen voor stijgingen van de GHG, GVG en GLG van 20 cm tot meer dan 80 cm.
- De beekdalen en flanken van de beekdalen in Drenthe. De combinatie van beekdalbrede inrichting en verondieping van sloten zorgt voor stijgingen van de GHG, GVG en GLG van 20 cm tot meer dan 80 cm.

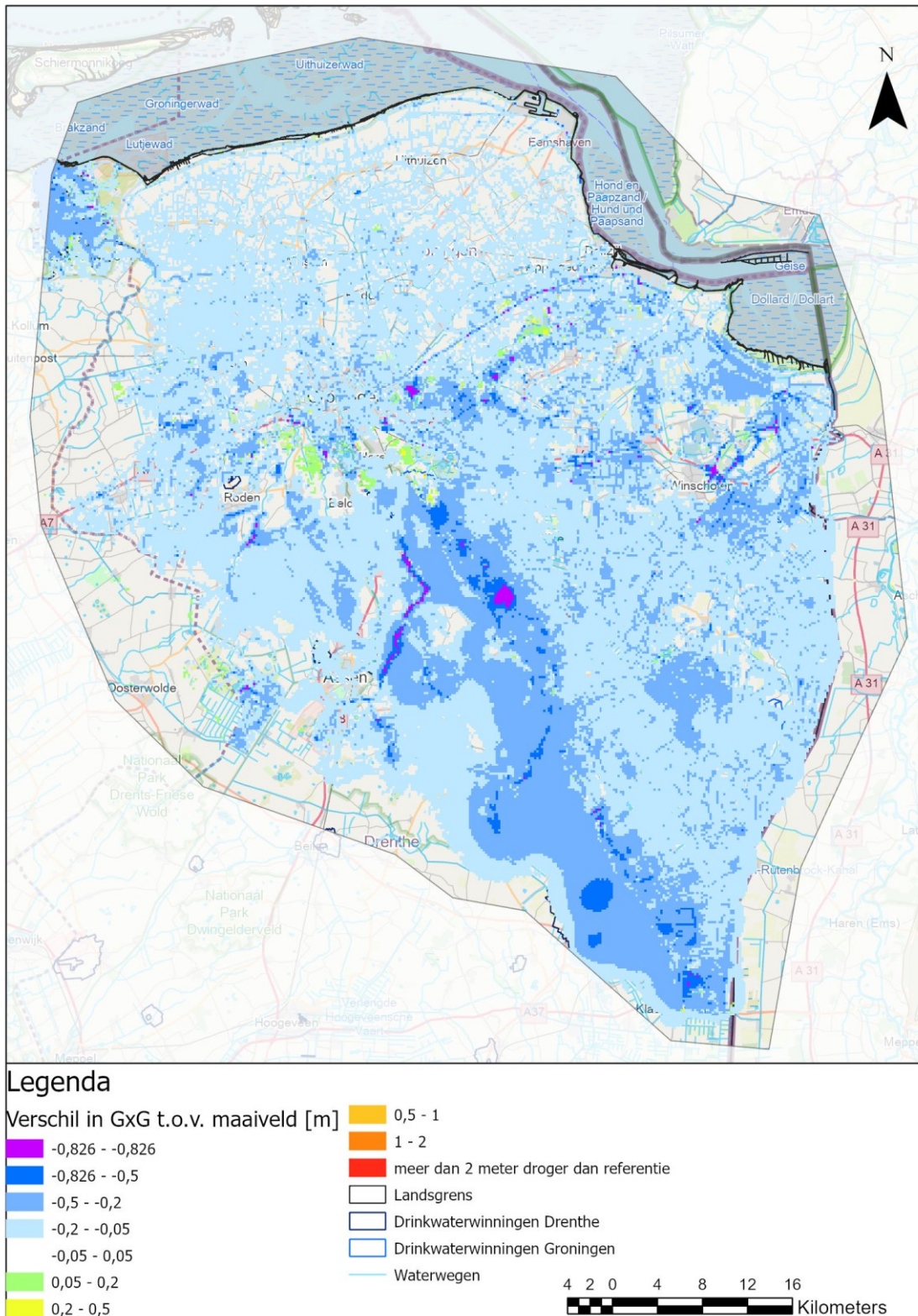
Figuur 9-34 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 7 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 5%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ongeveer 5%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater.



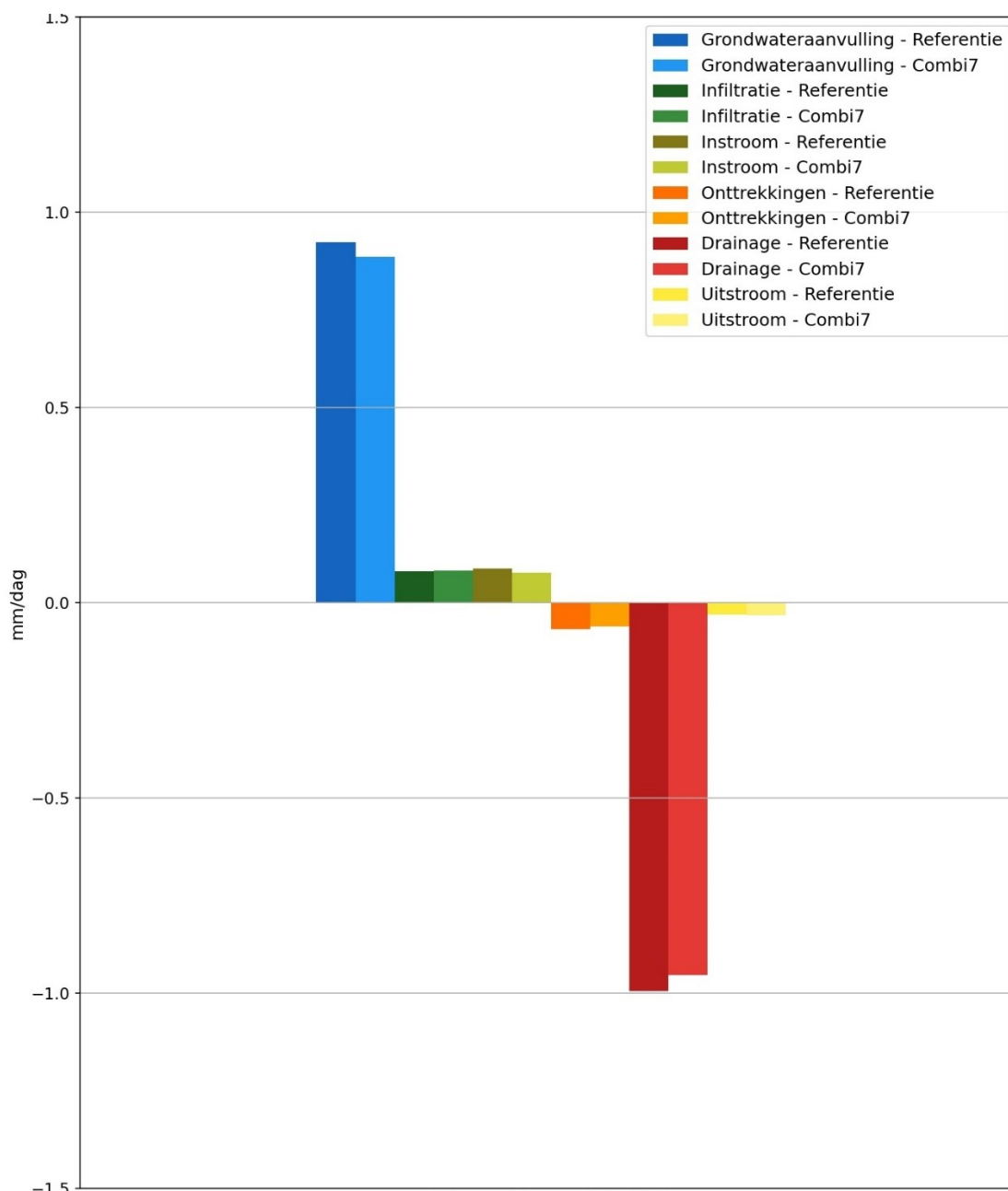
Figuur 9-31: Combinatiescenario 7, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-32: Combinatiescenario 7, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom- W_h (zichtjaar 2085)



Figuur 9-33: Combinatiescenario 7, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonoom- W_h (zichtjaar 2085)

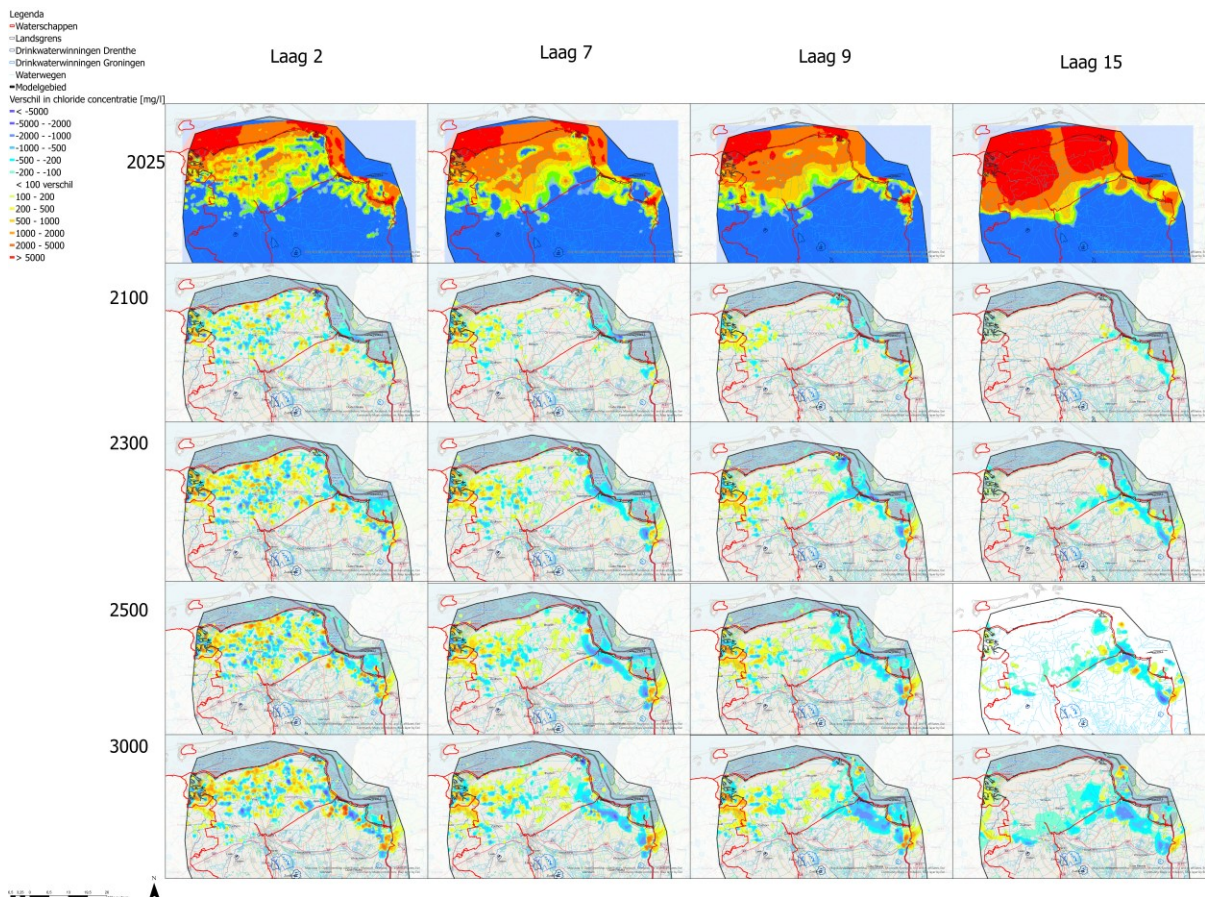


Figuur 9-34: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 7 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.7.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-35 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal en het gebied tussen Winschoten en de Dollard wordt flinke verzoeting berekend (afname van chlorideconcentraties in de ondergrond). In het noordelijk kustgebied zijn de berekende veranderingen van de chlorideconcentraties in de ondergrond wisselend. Lokaal nemen de concentraties af, lokaal juist toe.



Figuur 9-35: Combinatiescenario 7: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.4.8 Combinatiescenario 8 – scenario 5 water en bodem sturend

9.4.8.1 Uitwerking

Dit combinatiescenario is het vijfde scenario waarmee invulling wordt gegeven aan de doelstellingen van de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Dit scenario omvat:

- In de vrij afwaterende gebieden: beekdalbrede inrichting en verondieping slootbodems;
- In de peilbeheerste gebieden: in veengebieden maximaal gebiedseigen water vasthouden (met variabel peil). Peilverhoging in wateraanvoergebied buiten de veengebieden en in delen van het kustgebied (Oldambt-gebied).
- Bebouwd gebied: afkoppelen en infiltreren hemelwaterafvoer over 35% van het bebouwde areaal.
- Bosgebieden: omvormen van 25% van het areaal bos naar heide.
- Beperkte vermindering van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater.
- Stoppen van alle wateraanvoer.

Concreet zijn in dit combinatiescenario de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de veengebieden alle ontwatering verwijderen. Hierdoor wordt maximaal water vastgehouden, met als resultaat grondwaterstanden aan maaiveld in de winterperiode. Tevens stopzetten wateraanvoer, waardoor de grondwaterstanden in de zomerperiode kunnen uitzakken.

- Peilverhoging van 30 cm in de overige wateraanvoergebieden (buiten de veengebieden).
- Peilverhoging van 30 cm in het Oldambt-gebied.
- Stoppen van alle wateraanvoer. In peilbeheerste gebieden geen infiltratiemogelijkheid meer vanuit het oppervlaktewater.
- In de vrij afwaterende gebieden zonder wateraanvoer zijn de slootbodems met 30 cm verhoogd.
- Beekdalbrede inrichting van de beekdalen in het Drentse deel van het modelgebied (zie principeschets in Figuur 8-39):
 - De beekpeilen zijn in de winter en het voorjaar gelijk aan maaiveld. In de rest van het jaar zijn de peilen gelijk aan die in de huidige situatie.
 - De verhoogde peilen in de beken zetten zich door in zijwatergangen en aangetakte sloten, tot aan de flanken van de beekdalen.
 - In de beekdalvlaktes wordt alle overige detailontwatering en drainage verwijderd.
- Afkoppelen en infiltreren van 35% van het bebouwde areaal. Bij voorkeur infiltratiegebieden zonder keileem.
- Omvormen van 25% van het areaal bos naar heide. Bij voorkeur naaldbos in infiltratiegebieden.
- Beperken van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater met 16,4%, zie kader in paragraaf 9.4.4.1.

9.4.8.2 Waterkwantiteit

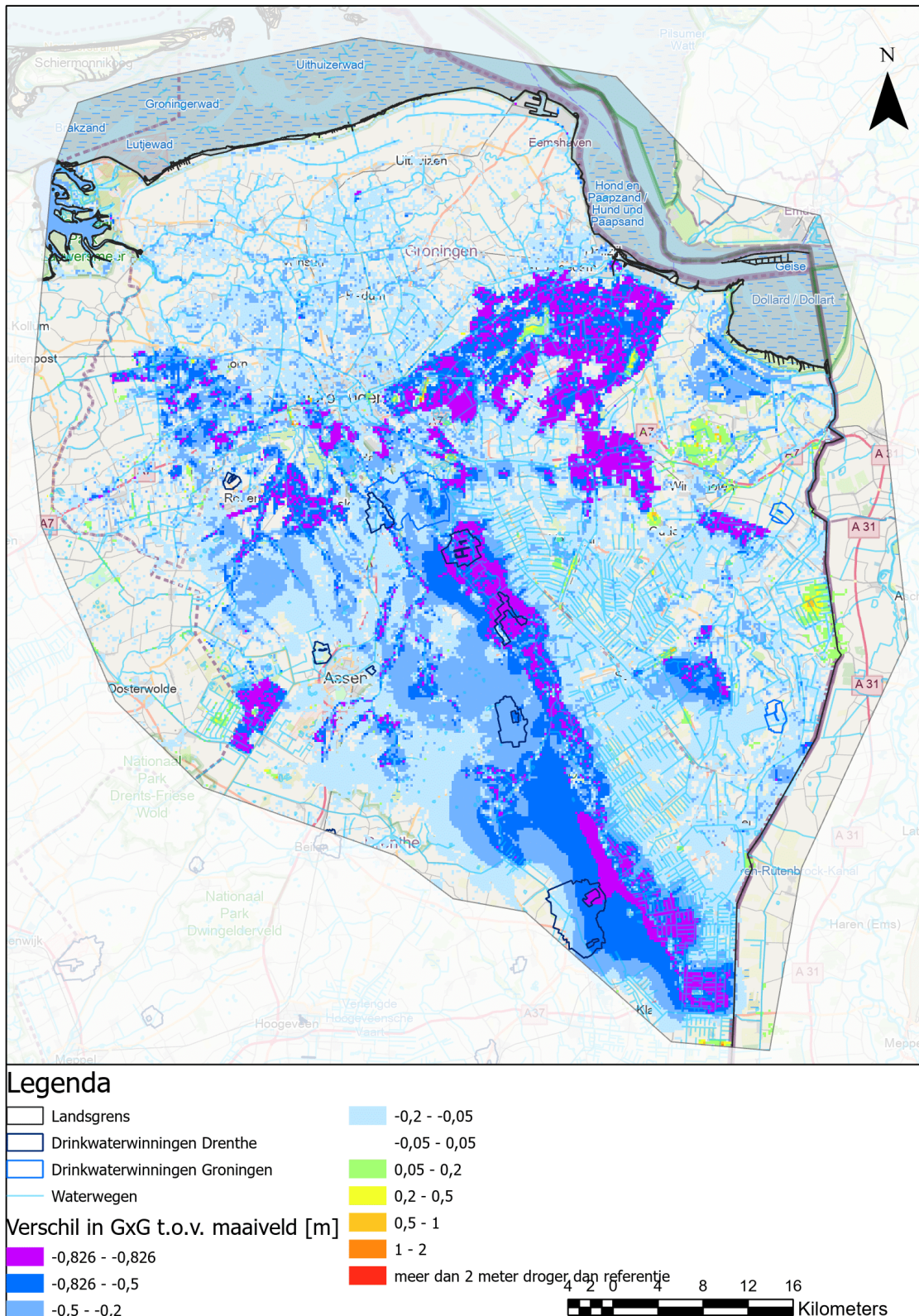
De berekende veranderingen van de GHG, GVG en GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085), zijn weergegeven in Figuur 9-36 tot en met Figuur 9-38.

Over het grootste deel van het modelgebied worden stijgingen van de GHG, GVG en GLG berekend van enkele centimeters tot maximaal 20 cm. Het volledig stopzetten van de wateraanvoer zorgt in grote delen van het peilbeheerste deel van het modelgebied juist voor verlagingen van de GLG.

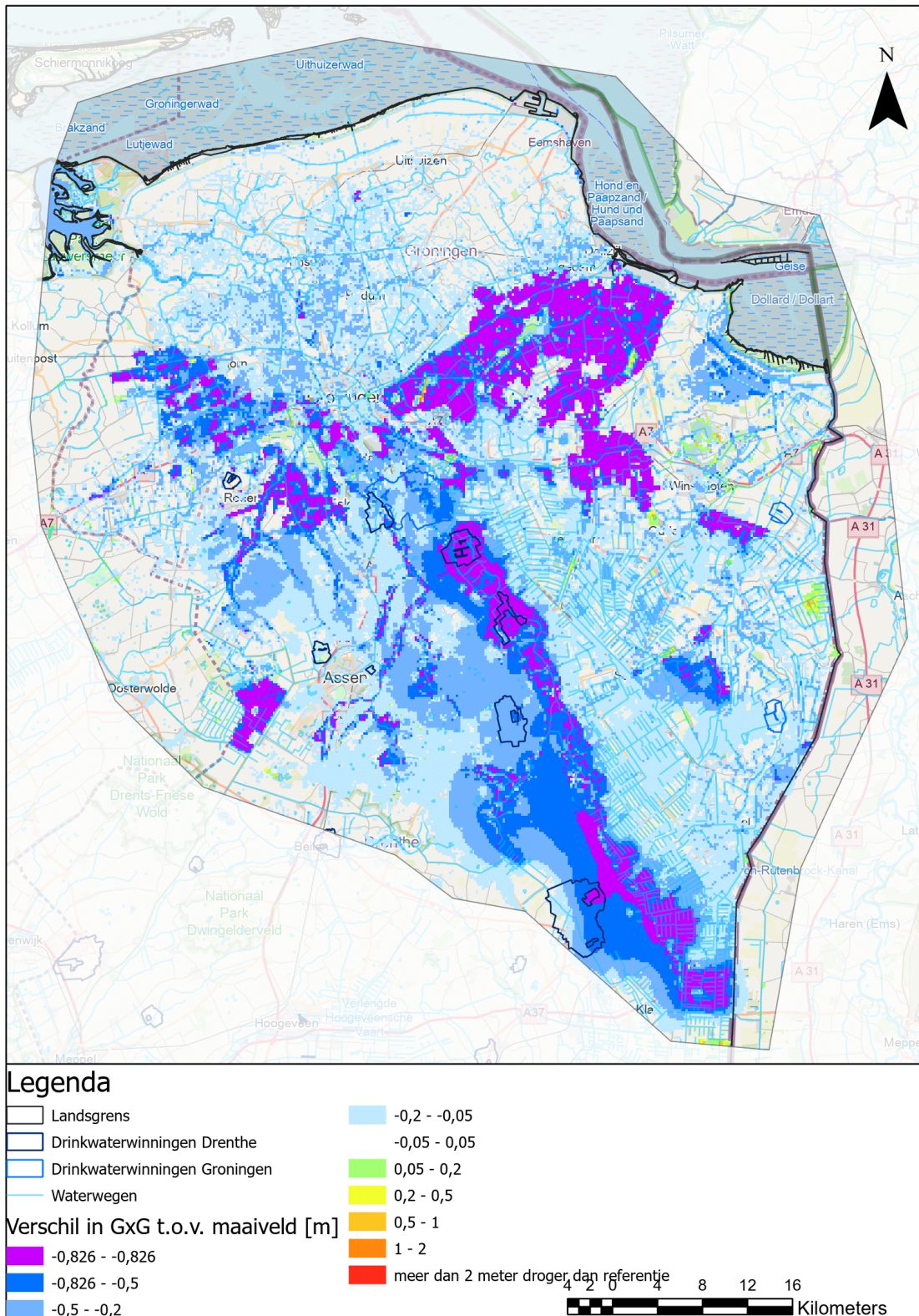
In de veengebieden zorgt het verwijderen van alle ontwatering en het maximaal vasthouden van het neerslagwater in het gebied zorgt voor stijgingen van de GHG en GVG van 50 cm tot meer dan 80 cm. Door het stopzetten van de wateraanvoer kan de GLG uitzakken. De stijgingen van de GLG ten opzichte van Autonom-W_H blijven beperkt tot enkele decimeters. Lokaal worden zelfs GLG-verlagingen berekend ten opzichte van Autonom-W_H (vooral in de veengebieden waar in de huidige situatie veel wateraanvoer nodig is om de grondwaterstanden op peil te houden).

In grote delen van het Drentse deel van het modelgebied worden stijgingen van de GHG, GVG en GLG berekend van 20 cm tot op veel plaatsen meer dan 80 cm. Deze stijgingen zijn het gevolg van de combinatie van beekdalbrede inrichting, verhoging van de slootbodems, afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer in bebouwd gebied en omvorming van bos naar heide.

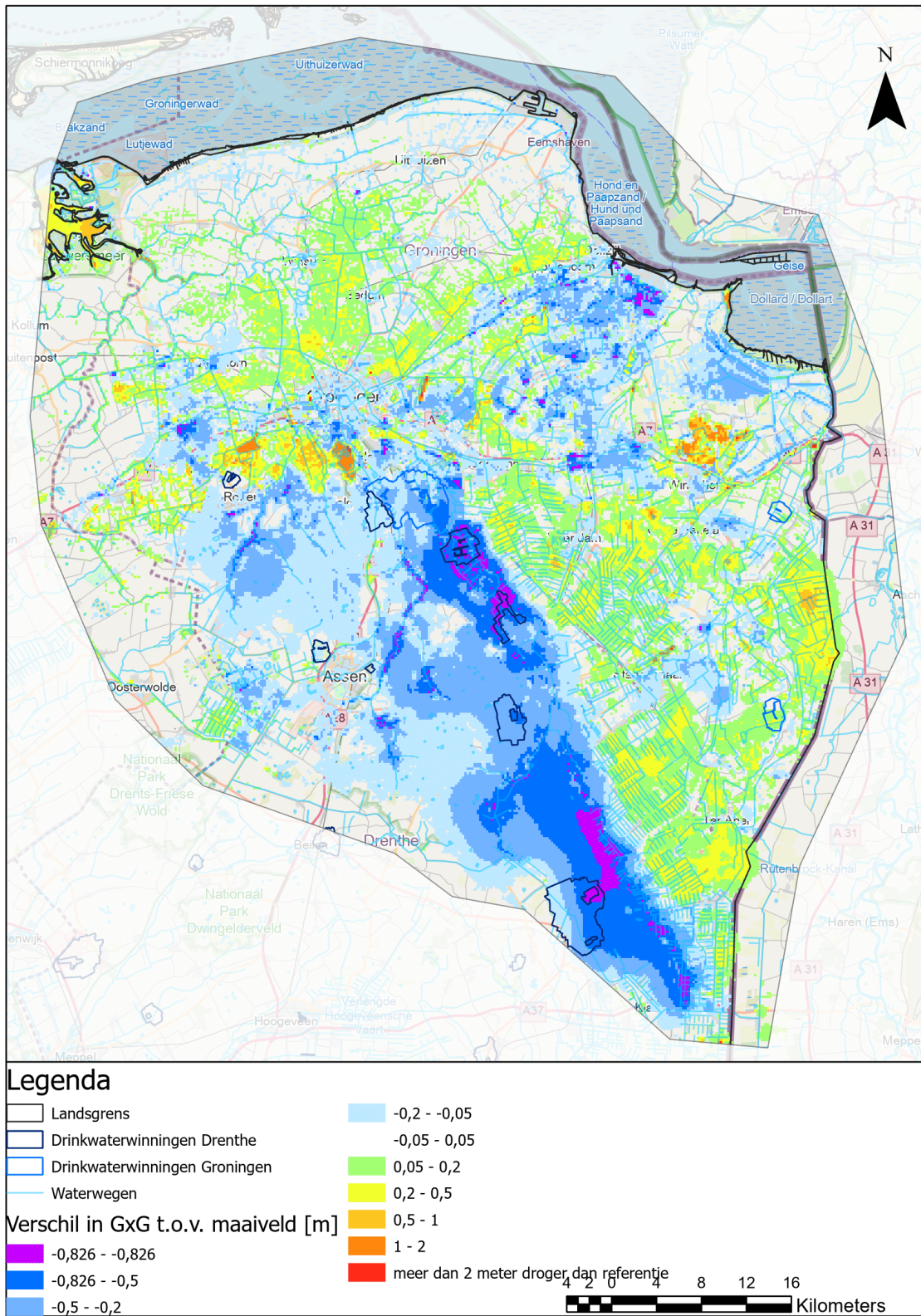
Figuur 9-39 geeft voor het gehele modelgebied de waterbalanstermen weer voor combinatiescenario 8 en Autonom-W_H (beide voor zichtjaar 2085). Het scenario zorgt -over het gehele modelgebied bezien- voor een afname van de drainage met ongeveer 10%. Ook de grondwateraanvulling neemt af, over het gehele modelgebied bezien met ongeveer 5%. Door de grondwaterstandsverhogende maatregelen treden vaker grondwaterstanden aan maaiveld op, waardoor een substantieel deel van de neerslag wordt afgevoerd als oppervlakkige afstroming en niet meer leidt tot aanvulling van het grondwater. Door het stopzetten van de wateraanvoer neemt de infiltratie van oppervlaktewater naar grondwater met ongeveer een factor 4 af.



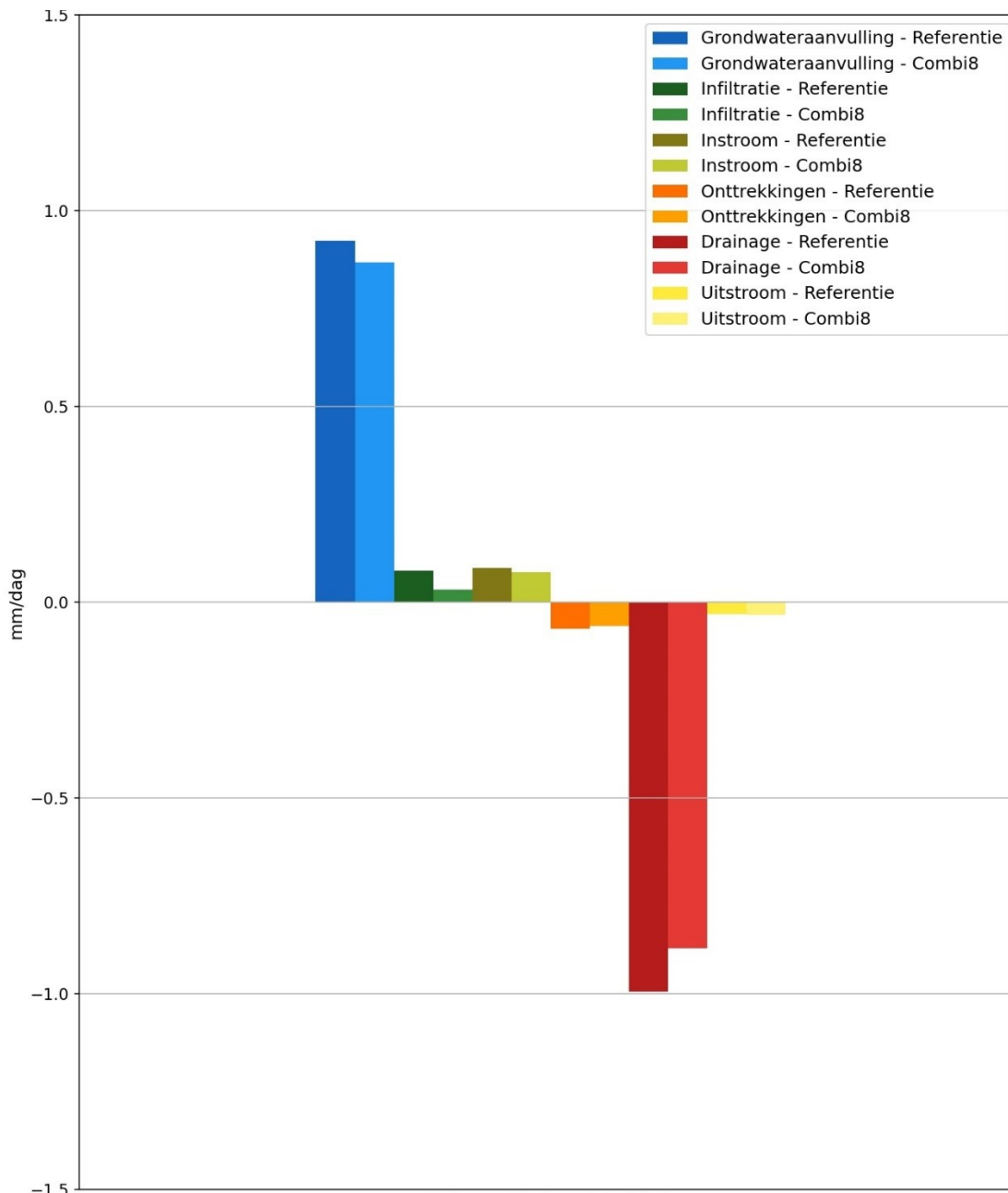
Figuur 9-36: Combinatiescenario 8, berekende verandering GHG, ten opzichte van Autonoom-W_h (zichtjaar 2085)



Figuur 9-37: Combinatiescenario 8, berekende verandering GVG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)



Figur 9-38: Combinatiescenario 8, berekende verandering GLG, ten opzichte van Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

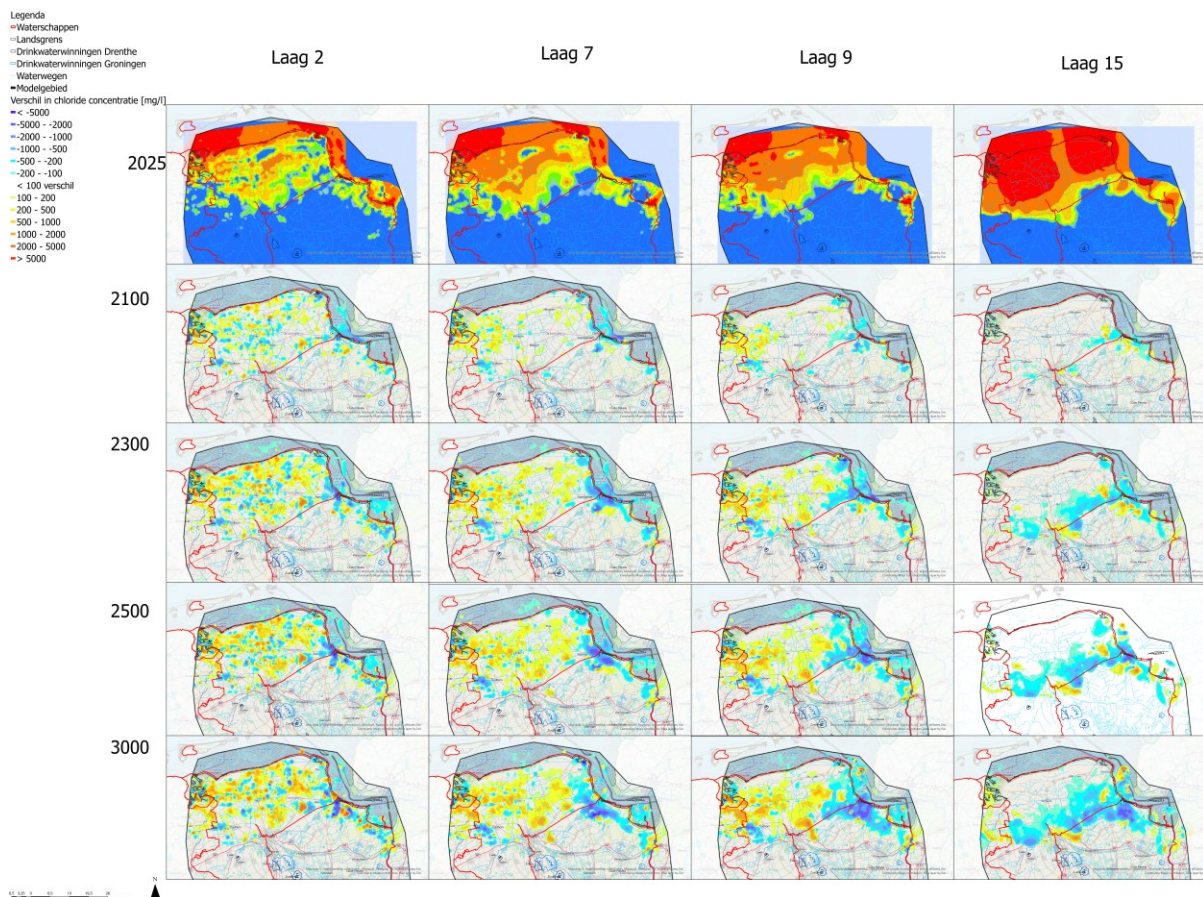


Figuur 9-39: Vergelijking waterbalans gehele modelgebied: Combinatiescenario 8 versus Autonom-W_H (zichtjaar 2085)

9.4.8.3 Waterkwaliteit

Figuur 9-40 geeft de berekende veranderingen in de chlorideconcentraties weer, voor verschillende modellagen en zichtjaren. Bovenin de figuur is voor de modellagen 2, 7, 9 en 15 de berekende chlorideverdeling in 2025 weergegeven. De figuren daaronder geven de berekende veranderingen weer.

In de veen-zone ten zuiden van het Eemskanaal en het gebied tussen Winschoten en de Dollard wordt flinke verzoeting berekend (afname van chlorideconcentraties in de ondergrond). In het noordelijk kustgebied worden toenames van chlorideconcentraties in de ondergrond berekend, vooral in de ondiepere modellagen. Door de peilverhogingen in de veengebieden wordt het -vanuit de Waddenzee- instromende zoute grondwater meer naar het ontwateringsstelsel in het noordelijk kustgebied gedrukt.



Figuur 9-40: Combinatiescenario 8: berekende verandering chlorideconcentraties in de ondergrond, voor verschillende modellen en zichtjaren

9.5 Samenvatting resultaten combinatiescenario's

In de kamerbrief Water en Bodem sturend (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) zijn de volgende opgaven geformuleerd ten aanzien van de hogere zandgronden, de veengebieden, verzilting van het grondwater en de afhankelijkheid van de aanvoer van (gebiedsvreemd) rivierwater.

Hoge zandgronden:

- Vergroting van de sponswerking en waterbeschikbaarheid door in bovenstroomse infiltratiegebieden de aanvulling van het grondwater te bevorderen, door het dempen of ondieper maken van greppels en sloten.
- Structureel verhogen van de grondwaterstanden met **10 cm tot 50 cm**, met prioriteit voor gebieden die van invloed zijn op natte, grondwaterafhankelijke natuur.

Veengebieden:

- We bewegen toe naar een grondwaterstand van **20 cm tot 40 cm** onder maaiveld, afhankelijk van de bodemcompositie, omstandigheden van het watersysteem en de behoeften van het gebied.
- We minimaliseren de aanvoer van gebiedsvreemd water en daardoor de afhankelijkheid van veengebieden voor wateraanvoer en de nadelige effecten van wateraanvoer (interne eutrofiëring, versnelde afbraak van veen).

Verzilting van het grondwater:

- Zoveel mogelijk tegengaan en verminderen van verzilting van grondwatervoorraden vanuit de zee.
- Minimaliseren van wateraanvoer.

Wateraanvoer:

Verminderen van de behoefte aan aanvoer van gebiedsvreemd rivierwater.

In Tabel 9-2 zijn de resultaten van de verschillende combinatiescenario's samengevat door elk scenario te beoordelen aan de hand van de bovengenoemde 4 opgaven vanuit de kamerbrief Water en Bodem sturend (hoge zandgronden, veengebieden, verzilting en wateraanvoer). Per scenario en per opgave is een samenvattende kwalitatieve score toegekend en een korte toelichting op deze score. De volgende kwalitatieve scores zijn onderscheiden:

- +++ het effect is aanzienlijk groter dan de doelstellingen uit de kamerbrief;
- ++ er wordt ruimschoots voldaan aan de doelstellingen uit de kamerbrief;
- + er wordt in voldoende mate voldaan aan de doelstellingen uit de kamerbrief
- +/- de doelstellingen worden slechts in een deel van het gebied gehaald
- er wordt onvoldoende voldaan aan de doelstellingen uit de kamerbrief
- er wordt in het geheel niet voldaan aan de doelstellingen uit de kamerbrief

Tabel 9-2: Samenvatting resultaten combinatiescenario's

Combinatiescenario	Hoge Zandgronden	Veengronden	Verzilting	Wateraanvoer
1. Maximale stapeling maatregelen tegen verzilting	+	+	++	--
	Gemiddelde GxG verhoging 10 cm (minimale grens)	GHG en GVG grotendeels naar 20-40 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden niet	Grootschalige verzoeting in de kustregio's	Toename behoefte aan wateraanvoer meer dan 10%
2. Maximale stapeling maatregelen waterconservering	++	+	+	--
	Gemiddelde GxG verhoging 20 cm (binnen gewenst bereik)	GHG en GVG grotendeels naar 20-40 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden niet	Verzoeting in veengebieden, wisselend effect in kustregio's	Toename behoefte aan wateraanvoer meer dan 10%
3. Maximale stapeling maatregelen waterconservering en anti-verzilting	+++	++	++	--
	Gemiddelde GxG verhoging 50 cm (maximaal bereik)	GHG en GVG ondieper dan 20 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden dieper dan 40 cm onder maaiveld	Sterke verzoeting zowel in kustregio's als in veengebieden	Toename behoefte aan wateraanvoer meer dan 10%
4. Scenario water en bodem sturend 1	++	+	+	--
	Gemiddelde GxG verhoging 10-20 cm (binnen gewenst bereik)	GHG en GVG in beperkt deel veengebied naar 20-40 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden niet	Enige verzoeting in veengebieden, wisselend effect in kustregio's	Toename behoefte aan wateraanvoer meer dan 10%
	+++	++	+	++

Combinatiescenario	Hoge Zandgronden	Veengronden	Verzilting	Wateraanvoer
5. Scenario water en bodem sturend 2	Gemiddelde GxG verhoging 50 cm (maximaal bereik)	GHG en GVG ondieper dan 20 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden dieper dan 40 cm onder maaiveld en soms ook lager dan in AutonoomW _H	Sterke verzoeting in veengebieden, toename chlorideconcentraties kustregio's	Vermindering van de behoefte aan wateraanvoer (meer dan 10% afname)
6. Scenario water en bodem sturend 3	+	++	+	++
	Gemiddelde GxG verhoging 10 cm (minimale grens)	GHG en GVG ondieper dan 20 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden dieper dan 40 cm onder maaiveld en soms ook lager dan in AutonoomW _H	Sterke verzoeting in veengebieden, toename chlorideconcentraties kustregio's	Vermindering van de behoefte aan wateraanvoer (meer dan 10% afname)
7. Scenario water en bodem sturend 4	++	+	+	-
	Gemiddelde GxG verhoging 10-20 cm (binnen gewenst bereik)	GHG en GVG grotendeels naar 20-40 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden niet	Enige verzoeting in veengebieden, wisselend effect in kustregio's	Enige toename behoefte aan wateraanvoer (enkele procenten)
8. Scenario water en bodem sturend 5	++	+	+/-	+++
	Gemiddelde GxG verhoging 20-30 cm (binnen gewenst bereik)	GHG en GVG ondieper dan 20 cm onder maaiveld. GLG in meeste veengebieden dieper dan 40 cm onder maaiveld en vaak ook lager dan in AutonoomW _H	Verzoeting in veengebieden, toename chlorideconcentraties kustregio's	Sterke vermindering van de behoefte aan wateraanvoer (meer dan 70% afname)

In algemene zin zijn per deelgebied de volgende conclusies te trekken in relatie tot de strategie van de Kamerbrief Water en Bodem Sturend.

Hoge zandgronden:

- Het doel is het realiseren van een structurele grondwaterstandsverhoging van 10 tot 50 cm
- Deze is te bereiken door gecombineerde inzet van beekdalbrede inrichting, verhoging van de slootbodems, verondiepen of verwijderen van drainage en andere detailontwatering en lokaal ook door het afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer van stedelijk gebied.

Veengebieden:

- Het doel is een jaarrond grondwaterregime van 20 tot 40 cm onder maaiveld en vermindering van de aanvoer van gebiedsvreemd water.
- Peilverhoging zorgt voor verhoging van de grondwaterstanden (vooral GHG en GVG en in mindere mate GLG), maar zorgt voor flinke toename van wateraanvoer.

- De beste strategie is het maximaal water vasthouden, door de ontwatering zoveel mogelijk te verwijderen en het stoppen van waterinlaat. Dit zorgt voor ruimschoots voldoende hoge grondwaterstanden in de winter en het voorjaar (GHG en GVG), soms nog te lage grondwaterstanden in de zomer (GLG), maar door het stopzetten van de wateraanvoer een verbetering van de waterkwaliteit (minder interne eutrofiëring) en verminderde afbraak van veen.

Kustregio's

- Het doel hier is verminderen van de verzilting van het grondwater.
- Dit doel is te realiseren door een combinatie van peilverhoging, spaarwater maatregelen en brak- en zoutwaterwinning uit de ondergrond.
- Peilverhoging zorgt voor vermindering van de intrusie van zout water vanuit de Waddenzee, maar verhoogt het risico op directe verzilting door capillaire nalevering vanuit ondiep, brak of zout grondwater.

10 Conclusies en aanbevelingen

De concrete onderzoeksvragen van de Brede Grondwaterstudie Groningen en Noord-Drenthe waren:

- Analyse grond- en oppervlaktewatersysteem:
Hoe werd en wordt het grond- en oppervlaktewatersysteem in het onderzoeksgebied beïnvloed door:
 - peilbeheer en ontwatering;
 - inpolderingen en landaanwinning;
 - zeespiegelstijging;
 - klimaatverandering.
 Deze vraag heeft betrekking op de periode van het begin van het Holoceen tot aan de huidige situatie.
- Effecten klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling:
Wat zijn de verwachte toekomstige effecten op het grondwatersysteem als gevolg van verdergaande klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling (als gevolg van ontwatering of gaswinning)?
- Scenario-analyse:
Wat is het effect van grootschalige maatregelen op het grondwatersysteem en in hoeverre zijn deze geschikt om de verwachte effecten als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling te mitigeren, te beperken of te vertragen?

Hieronder volgen voor deze drie onderzoeksvragen onze conclusies en aanbevelingen.

Analyse grond- en oppervlaktewatersysteem

Voor de analyse van het grond- en oppervlaktewatersysteem zijn een grondwaterkwantiteits- en grondwaterkwaliteitsmodel ontwikkeld:

- Het waterkwantiteitsmodel is een uitsnedemodel opgezet voor het projectgebied van het regionale grondwatermodel MIPWA v4. Dit functioneert als een tijdsafhankelijk grondwatermodel in MODFLOW-6. Om rekening te houden met variabele dichtheid in de ondergrond (voornamelijk van belang voor het noordelijk deel van Groningen) wordt gerekend met de BUY-package, uitgaande van een vaste dichtheidsverdeling.
- Het waterkwaliteitsmodel is gebaseerd op de zogenoemde stroombanenmethode. Uitgangspunt voor de stroombaanmethode is een grondwatermodelberekening met een aangenomen dichtheidsverdeling voor alle modelknopen en modellen. Met stroombaanberekeningen is vervolgens bepaald hoe het grondwater zich verplaatst en daarmee ook hoe de dichtheid verandert. Het grondwaterkwaliteitsmodel maakt gebruik van MODFLOW-6 voor de grondwaterstromingsberekeningen en het programma MODPATH voor de stroombaanberekeningen.

De schematisatie van de ondergrond van het grondwaterkwantiteits- en kwaliteitsmodel is gebaseerd op REGIS II v2.2, GeoTOP en overige verrijkinginformatie die eerder is verwerkt in het ondergrondmodel van MIPWA v4. Aanvullend zijn de weerstanden van de Peelkleien aangepast op basis van het eerder uitgevoerde SkyTEM-onderzoek en zijn de boven- en onderkant van de formaties van Breda en Oosterhout aangepast op basis van een door TNO (2020) uitgevoerd seismisch onderzoek in oostelijk Groningen.

Om tot een voldoende betrouwbaar grondwaterkwantiteitsmodel te komen, heeft een uitgebreide modelijking en -validatie plaatsgevonden aan de hand van peilbuizen en veldschattingen van de GHG en GLG, afgeleid uit ondiepe boringen. Voor de peilbuizen is uitgegaan van de MIPWA-ijkset, aangevuld met een selectie van peilbuizen van de provincies Groningen en Drenthe, Waterbedrijf Groningen en Waterleidingmaatschappij Drenthe, die niet in DINO zijn opgenomen.

Tijdens de modelijking en -validatie zijn de modeluitkomsten getoetst aan de volgende criteria:

- Stationair aan mediane grondwaterstanden en stijghoogtes (P50).

- Tijdsafhankelijk aan peilbuismetingen van de GHG en GLG.
- Tijdsafhankelijk aan veldschattingen van de GHG en GLG.

De modelijking en -validatie heeft in eerste instantie gebiedsdekkend plaatsgevonden. Aanvullend zijn gebiedsspecifieke verdere optimalisaties uitgevoerd voor de volgende deelgebieden, waar het kwantiteitsmodel structurele afwijkingen liet zien:

- Witteveld;
- Balloërveld;
- Hondsrug;
- Onlanden en omstreken;
- Drinkwaterwinning Onnen;
- Emmen-west.

Na de modelijking en validatie is het grondwaterkwantiteitsmodel door de projectgroep als voldoende betrouwbaar beoordeeld voor het doel van deze studie. Voor meer gedetailleerde analyses is aanvullende ijking en -validatie aan te bevelen, bijvoorbeeld door:

- een uitgebreidere set aan peilbuizen mee te nemen;
- strengere ijkingscriteria te hanteren;
- aanvullende meetgegevens te gebruiken, bijvoorbeeld gemeten debieten of remote sensing gegevens.

Het grondwaterkwaliteitsmodel is gevalideerd door met het model de verschillende stadia van het Holoceen door te rekenen, van ongeveer 5500 v Chr tot aan heden. Het eindresultaat van deze zogenoemde Paleoberekening is vergeleken met de actuele ruimtelijke verdeling van chloride in de ondergrond, gebaseerd op interpolatie van gemeten concentraties.

In de tijdvakken tot omstreeks 1000 na Chr laat de Paleoberekening vooral de voortschrijdende indringing van zout grondwater vanaf de Noordzee en de Waddenzee zien, onder invloed van de snelle zeespiegelstijging in de eerste periode van het Holoceen. Tegelijkertijd zorgt het geleidelijk nattere en zachtere klimaat in het Holoceen voor de vorming van uitgestrekte hoogveengebieden, die voor verzoeting van het grondwater zorgen en tegendruk geven aan het indringende zoute grondwater.

De sterkste indringing van zout water heeft plaatsgevonden in het noordwestelijke deel van de provincie Groningen, waar zeearmen zoals de Lauwers al vanaf het begin van de Christelijke jaartelling hun invloed hadden tot de omgeving van de huidige stad Groningen. In het oostelijke en noordoostelijke deel van Groningen is de indringing van zout water veel minder geweest, vooral omdat de doorbraak van de Eems-Dollard pas in de late Middeleeuwen (omstreeks 1500) heeft plaatsgevonden en vervolgens relatief snel, in de 17^e, 18^e en 19^e eeuw, herbedijking heeft plaatsgevonden.

Vanaf omstreeks 1000 na Chr laat de Paleoberekening vooral de invloed van menselijke ingrepen zien:

- Vanaf omstreeks 1100 heeft op grote schaal bedijking plaatsgevonden, die heeft gezorgd voor verzoeting van het grondwater, vooral van de bovenste lagen. Inpolderingen en landaanwinningen in de Waddenzee en de Eems-Dollard hebben plaatsgevonden tot ver in de 20^e eeuw.
- Tussen de late Middeleeuwen en de eerste helft van de 20^e eeuw is het overgrote deel van het hoogveen afgegraven en omgezet naar landbouwgrond. Dit heeft geleid tot verlaging van de grondwaterstand en meer afvoer via drainage. Daardoor is er minder tegendruk aan het indringende zoute grondwater. Op een aantal plaatsen zijn door ontvening en inpoldering diepe polders ontstaan, die een aantrekkende werking hebben op het zoute grondwater.
- In de loop van de 20^e eeuw is de ont- en afwatering dieper en intensiever geworden, om de landbouwopbrengsten te verbeteren en grondwateroverlast in landbouw- en stedelijke gebieden te

verminderen. In de veenweidegebieden en gebieden met zware klei heeft dit gezorgd voor bodemdaling en meer indringing van zout grondwater. In de zandgebieden in Drenthe heeft het gezorgd voor meer afvoer en daardoor een structurele verlaging van de grondwaterstanden. Dit heeft, in beperkte mate, dus ook tot gevolg dat er minder tegendruk vanaf het Drents Plateau aan het indringende zoute grondwater is.

- Gas- en zoutwinning hebben gedurende de 20^e eeuw gezorgd voor bodemdaling over uitgestrekte gebieden. Om de drooglegging voor de landbouw en in stedelijke gebieden te borgen hebben peilverlagingen plaatsgevonden, die een versterkend effect hebben op de indringing van zout grondwater.

Het eindresultaat van de Paleoberekening is vergeleken met de ruimtelijke verdeling van chloride in de ondergrond, die door Deltares is afgeleid uit gemeten chlorideconcentraties in de ondergrond in peilbuizen. Er zijn ruimtelijke interpolaties gemaakt op basis van de 25%, 50% en 75% percentielwaarden van de gemeten chlorideconcentraties. Deze p25, p50 en p75 interpolaties laten een relatief grote bandbreedte zien. Het eindresultaat van de Paleoberekening valt binnen de bandbreedtes van de geïnterpoleerde metingen, tussen de 50% en 75% percentielwaarde van de geïnterpoleerde chloridemetingen. De grens van het zoutfront, grofweg tot het Eemskanaal, komt redelijk goed overeen.

Een aanvullende vergelijking is uitgevoerd met meetgegevens beschikbaar vanuit Dinoloket. De volgende conclusies zijn uit deze vergelijking getrokken:

- Ondiep (ondieper dan 10 m - NAP) laten de metingen een veel zoeter beeld zien dan het model. De chloridemetingen laten, afgezien van langs de kust en Appingedam-Delfzijl, geen hele zoute plekken zien terwijl in het model wel grote zoute eilanden voorkomen. De intrusie vanuit de Dollard is wel weer terug te zien in de metingen.
- Middeldiep (20 tot 100 m - NAP): de grens van intrusie tot het Eemskanaal komt goed overeen met de metingen. De intrusiegrens Haren-Grootegast lijkt iets mee landinwaarts te liggen dan de metingen.
- Diep (dieper dan 100 m - NAP), op deze diepte lijkt de grens Haren-Grootegast juist wel goed te liggen. Echter laten de metingen zien dat de intrusie onder het Eemskanaal is doorgegaan op deze diepte en in ieder geval loopt tot aan het Schildmeer. Het model laat hier juist een zoet stuk zien.

Het eindresultaat van de Paleoberekening is door de projectgroep vastgesteld en als geschikt beoordeeld voor deze studie. Verdere aanpassing werd niet haalbaar geacht en gezien de geringe meetdichtheid (vooral in de diepere lagen) ook niet zinvol. Relevante processen en ontwikkelingen en de gekozen schematisatie lijken gezamenlijk in staat tot het, tot op zekere hoogte, reproduceren van het huidige zoutbeeld voor zover dat goed bekend is. De grens van het zoutfront op verschillende dieptes wordt goed berekend.

Effecten klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling

Met het grondwaterkwantiteits- en kwaliteitsmodel zijn de effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging en bodemdaling gekwantificeerd. Voor klimaatverandering en zeespiegelstijging is uitgegaan van de 4 KNMI-klimaatscenario's G_L, G_H, W_L en W_H (KNMI, 2014). Verder zijn de effecten van bodemdaling door gaswinning, zoutwinning en klink en oxidatie van veengronden meegenomen in de analyse.

De effecten op de grondwaterkwantiteit zijn doorgerekend voor de zichtjaren 2050 en 2085.

- De effecten op de GHG zijn voor alle klimaatscenario's relatief beperkt. Lokaal worden verhogingen berekend van 5 tot 20 cm, met name in het noordelijk deel van de Hondsrug. Ten westen van de Hondsrug worden ook verlagingen van de GHG berekend, van 5 tot 20 cm.
- De effecten op de GLG zijn uitgebreider: het G_L scenario leidt vooral tot verlagingen van de GLG in het zuidelijk deel van de Hondsrug, het gebied ten westen van de Hondsrug en het noordwestelijk

deel van Groningen en tot verhogingen van de GLG in onder meer het noordelijk deel van de Hondsrug. Het W_H-scenario zorgt over vrijwel het gehele projectgebied voor verlagingen van de GLG in de orde van 5 tot 20 cm.

De effecten op de grondwaterkwaliteit zijn doorgerekend tot aan het jaar 3000. De resultaten van de twee klimaatscenario's G_H en G_L lijken sterk op elkaar. Even goed lijken ook de effecten van klimaatscenario's W_H en W_L sterk op elkaar. Tussen G en W worden wel verschillen berekend, voornamelijk door het verschil in zeespiegelstijging; de G-scenario's laten minder zoutindringing zien dan de W-scenario's. Het verschil in grondwateraanvulling tussen de klimaatscenario's komt minder tot uiting.

Scenario-analyse

Door een scenario-analyse is in beeld gebracht in hoeverre de verwachte effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op het grondwatersysteem zijn te mitigeren, te beperken of te vertragen. Met (in totaal 12) verkennende scenario's is de effectiviteit van afzonderlijke maatregelen onderzocht. Vervolgens zijn 8 gecombineerde scenario's doorgerekend en is voor verschillende delen van het projectgebied geanalyseerd hoe de verwachte effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling zijn te mitigeren, te beperken of te vertragen door combinaties van maatregelen. De effecten van de gecombineerde scenario's zijn getoetst aan de doelstellingen die zijn verwoord in de -in 2022 verschenen- Kamerbrief Water en Bodem Sturend. Deze Kamerbrief geeft een strategie om de effecten van verwachte klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling in de toekomst beheersbaar te houden.

Algemene conclusie is dat de onderzochte combinaties van maatregelen voldoende handelingsperspectief bieden om voor het projectgebied invulling te geven aan de doelstellingen uit de Kamerbrief Water en Bodem Sturend. Per deelgebied zijn de volgende conclusies te trekken in relatie tot de strategie van de genoemde Kamerbrief.

Hoge zandgronden

- Het doel is het realiseren van een structurele grondwaterstandsverhoging van 10 tot 50 cm
- Deze is te bereiken door gecombineerde inzet van beekdalbrede inrichting, verhoging van de slootbodems, verondiepen of verwijderen van drainage en andere detailontwatering en lokaal ook door bosvorming en het afkoppelen en infiltreren van hemelwaterafvoer van stedelijk gebied.

Veengebieden

- Het doel is een jaarrond grondwaterregime van 20 tot 40 cm onder maaiveld en vermindering van de aanvoer van gebiedsvreemd water.
- Peilverhoging zorgt voor verhoging van de grondwaterstanden (vooral GHG en GVG en in mindere mate GLG), maar zorgt voor flinke toename van benodigde wateraanvoer.
- De beste strategie is het maximaal water vasthouden, door de ontwatering zoveel mogelijk te verwijderen en het stoppen van waterinlaat. Dit zorgt voor ruimschoots voldoende hoge grondwaterstanden in de winter en het voorjaar (GHG en GVG), soms nog te lage grondwaterstanden in de zomer (GLG), maar door het stopzetten van de wateraanvoer een verbetering van de waterkwaliteit (minder interne eutrofiëring) en verminderde afbraak van veen.

Kustregio's

- Het doel hier is verminderen van de verzilting van het grondwater.
- Dit doel is te realiseren door een combinatie van peilverhoging, spaarwater maatregelen en brak- en zoutwaterwinning uit de ondergrond.

- Peilverhoging zorgt voor vermindering van de intrusie van zout water vanuit de Waddenzee, maar verhoogt het risico op directe verzilting door capillaire nalevering vanuit ondiep, brak of zout grondwater.

In deze studie zijn alle scenario's gebaseerd op het scenario Autonoom-W_H (2085) en zijn de effecten berekend ten opzichte van het Autonoom-W_H scenario. Aanbevolen wordt om in een vervolgstudie de effecten van een aantal van de scenario's ook te berekenen ten opzichte van de huidige situatie. Op deze manier kan worden gekwantificeerd in hoeverre de verwachte effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling ook daadwerkelijk zijn te mitigeren, te voorkomen of te beperken door combinaties van maatregelen. In aansluiting hierop wordt aanbevolen om voor beperkt aantal gecombineerde scenario's ook de effecten te bepalen in relatie tot de andere klimaatscenario's.

Naar verwachting brengt het KNMI in de loop van 2024 nieuwe klimaatscenario's naar buiten. Als deze nieuwe scenario's beschikbaar zijn gekomen, is aan te bevelen om de scenario-analyse te updaten voor deze nieuwe klimaatscenario's. Dit kan op basis van een beperkte selectie van het totaal aantal doorgerekende scenario's.

In deze studie zijn alle scenario's generiek en globaal ingevuld. Aanbevolen wordt om de meest effectieve combinatiescenario's voor deelgebieden verder gebiedsspecifiek uit te werken, door te rekenen en te analyseren.

De scenarioberekeningen zijn in deze studie alleen gericht op hydrologische effectiviteit (zowel waterkwantiteit als -kwaliteit). Aanbevolen wordt om in een vervolgstudie op basis van een aantal scenario's een bredere afweging te doen, waarbij bijvoorbeeld ook de effecten op doelrealisatie voor verschillende landbouw, natuur, stedelijk gebied en infrastructuur en de kosten en baten worden bepaald en waarbij raakvlakken met andere thema's worden beschouwd (bijvoorbeeld wateroverlast en -beschikbaarheid, biodiversiteit, energie(transitie) en nieuwbouw/infrastructuur).

11 Referenties

- Arcadis, 2020. Hydrologisch onderzoek N2000-gebied Witterveld. Rapportnummer D10013487:147. 15 december 2020.
- Delsman, Joost, Gualbert Oude Essink, Sebastian Huizer, Huite Bootsma, Tobias Mulder, Pieter Zitman, Betsy Romero Verastegui & Gijs Jansen, 2020. Actualisatie zout in het NHI. Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model. Arcadis en Deltares. Documentnummer 11205261-003-BGS-0001. 16 juni 2020.
- Gerding, M.A.W. (1995). Vier eeuwen turfwinning; de verveningen in Groningen, Friesland, Drenthe en Overijssel tussen 1550 en 1950. Afdeling Agrarische Geschiedenis Landbouwuniversiteit Wageningen. A.A.G Bijdragen 35 (ISSN 0511-0726).
- Grontmij, 5 augustus 2011. Bodemdaling door veenoxidatie. 297486, revisie 1.
- Hunzebreed, 2017. Grondwatersysteembeschrijving Fryslân. Hunzebreed-rapport nr. 188. December 2017.
- KNMI, 2014. Klimaatscenario's voor Nederland. Herziene uitgave 2015.
- KNMI 2021: KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.
- Meijles, E. (2015). De ondergrond van Groningen: een geologische geschiedenis. NAM. <http://feitenencijfers.namplatform.nl/downloadfile/c08d872c-6df1-40f1-8a86-d2f2325cf9d0?open=true>
- Meijles, E.W. et al (2018). Holocene relative mean sea-level changes in the Wadden Sea area, northern Netherlands. *Journal of Quaternary Science*
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2018. Structuurvisie Ondergrond. Den Haag, juni 2018.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022. Water en Bodem sturend. Brief aan de Tweede Kamer der Staten Generaal. Kenmerk IENW/BSK-2022/283041. 25 november 2022
- Nederlandse Aardolie Maatschappij, december 2020. Bodemdaling door aardgaswinning in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. Statusrapport 2020 en prognose tot het jaar 2080. EP202011201629.
- NEDMAG Bodemdalingscontouren winningsplan 2018, Contour 95 cm v2 Royal HaskoningDHV, 2018
- Oude Essink, Gualbert & Andrea Forzoni, 2017. Zoet-zout grensvlakken grondwater in de provincie Fryslân. Deltares-rapport 11201095-000, december 2017.
- Royal HaskoningDHV, 2014. Effecten kustlijnverplaatsing Kop van Schouwen. RHDHV-rapport BC6732/R0005/500914/AH/Eind, 9 april 2014.

- Royal HaskoningDHV, 2020. Brede Grondwaterstudie Fryslân. RHDHV-rapport WATBF1395R001D1.0. 21 oktober 2020.
 - Stam, Jelte & Willem Jan Zaadnoordijk, 2017. Schematisatie Peize Complex voor Brede Grondwaterstudie Fryslân. TNO-rapport 2017 R11411. 27 november 2017.
 - Sweco en Querner Consult, 2021. Drentsche Aa: Implementatie SkyTEM data in het Simgro model. 1 december 2021.
 - Verdonshot, Piet. Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving. Flexibele toepassing van het 5B-concept in Peel en Maasvallei. Waterschap Peel en Maasvallei. 2009.
- Vos, P., M. van der Meulen, H. Weerts en J. Bazelmans (2018)): Atlas van Nederland in het Holoceen. Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu, Amsterdam (Prometheus)
- <https://www.waddenzee.nl/themas/klimaatverandering/zeespiegelstijging> (bezoekt op 30 september 2021).