



# Kan de efficiëntie van karteren worden vergroot met behoud van kwaliteit?

Onderzoek naar een nieuwe karterstrategie om gewas-opbrengstderving in grondwaterwinningsgebieden te bepalen

Falentijn Assinck, Matheij's Pleijter, Martin Mulder, Martin Knotters





# Kan de efficiëntie van karteren worden vergroot met behoud van kwaliteit?

Onderzoek naar een nieuwe karterstrategie om gewas-opbrengstderving in grondwaterwinningsgebieden te bepalen

Falentijn Assinck<sup>1</sup>, Matheijs Pleijter<sup>2</sup>, Martin Mulder<sup>1</sup>, Martin Knotters<sup>1</sup>

1 Wageningen Environmental Research

2 Aequator Groen & Ruimte B.V.

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, juni 2022

---

Gereviewd door:

Kees Teuling (WENR) & Jan van Berkum (Aequator)

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack-ten Broeke, teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3164

ISSN 1566-7197

---

Falentijn Assinck, Matheijs Pleijter, Martin Mulder, Martin Knotter, 2022. *Kan de efficiëntie van karteren worden vergroot met behoud van kwaliteit?; Onderzoek naar een nieuwe karterstrategie om gewas-opbrengstderving in grondwaterwinningsgebieden te bepalen*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3164. 92 blz.; 18 fig.; 6 tab.; 18 ref.

Om de landbouwschade (in de vorm van gewas-opbrengstderving) als gevolg van grondwaterwinning te berekenen, maakt de ACSG (Adviescommissie Schade Grondwater) gebruik van onder andere een gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart. Het vervaardigen van deze kaarten is specialistenwerk en kost tijd. Omdat het aantal én de omvang van de landbouwschadeprojecten toenemen, is er behoefte aan een kartermethode met een kortere doorlooptijd. Het doel van deze opdracht is om een aantal alternatieve karterscenario's te ontwikkelen die een kortere doorlooptijd hebben en om de nauwkeurigheid en efficiëntie ten opzichte van de huidige methode te analyseren. Voor elk scenario is de opbrengstderving als gevolg van de waterwinning berekend met Waterwijzer Landbouw. De scenarioresultaten zijn vervolgens ten opzichte van de huidige methode geanalyseerd met behulp van een kosten-batenanalyse.

Trefwoorden: Bodemkaart, GHG, GLG, grondwaterwinning, Waterwijzer Landbouw, kosten-batenanalyse

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/571546> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3164 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Falentijn Assinck

---

# Inhoud

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Verantwoording</b>                                              | <b>5</b>  |
| <b>Woord vooraf</b>                                                | <b>7</b>  |
| <b>Samenvatting</b>                                                | <b>9</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                                                 | <b>13</b> |
| 1.1 Aanleiding                                                     | 13        |
| 1.2 Doel                                                           | 13        |
| 1.3 Onderzoeksvragen                                               | 14        |
| 1.4 Aanpak                                                         | 14        |
| 1.5 Projectafbakening                                              | 14        |
| 1.6 Leeswijzer                                                     | 15        |
| <b>2 Materiaal en methoden</b>                                     | <b>16</b> |
| 2.1 Scenario's                                                     | 16        |
| 2.2 Gebruikte informatie                                           | 18        |
| 2.2.1 Algemene informatie                                          | 18        |
| 2.2.2 Specifieke gebiedsinformatie                                 | 19        |
| 2.3 Methoden                                                       | 21        |
| 2.3.1 Basisscenario 1:50.000 [A]                                   | 21        |
| 2.3.2 Basisscenario uitgebreid 1:50.000 [B]                        | 21        |
| 2.3.3 Kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha) [C]          | 21        |
| 2.3.4 Gerichte kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha) [D] | 23        |
| 2.3.5 Gerichte kartering 1:25.000 (ongeveer 1 boring per 3 ha) [E] | 24        |
| 2.3.6 Gangbare kartering 1:10.000 (1 boring per ha) [F]            | 25        |
| 2.3.7 Gecorrigeerde grondwaterstandverlaging                       | 25        |
| 2.3.8 Berekeningen met Waterwijzer Landbouw                        | 26        |
| 2.3.9 Onderzoeksinspanning                                         | 28        |
| 2.3.10 Kosten-batenanalyse                                         | 29        |
| <b>3 Resultaten</b>                                                | <b>31</b> |
| 3.1 Vlakkenkaarten                                                 | 31        |
| 3.1.1 Kaarten met boorpunten                                       | 31        |
| 3.1.2 Bodemkaarten                                                 | 33        |
| 3.1.3 Gt-kaarten                                                   | 35        |
| 3.1.4 Bodem- en Gt-vlakken                                         | 37        |
| 3.1.5 Kaartvlakken en subkaartvlakken                              | 37        |
| 3.2 Schadekaarten                                                  | 38        |
| 3.2.1 Verlagsingskaarten                                           | 38        |
| 3.2.2 Totale schade en schade uitgesplitst                         | 40        |
| 3.2.3 Vergelijking schades ten opzichte van de referentie          | 45        |
| 3.2.4 Schade per subkaartvlak                                      | 47        |
| 3.2.5 Schade op perceelniveau                                      | 48        |
| 3.2.6 Schade op bedrijfsniveau                                     | 48        |
| 3.2.7 Schade zonder correctie voor weerstand biedende lagen        | 48        |
| 3.3 Onderzoeksinspanning per scenario                              | 49        |
| 3.4 Kosten-batenanalyse                                            | 50        |
| 3.4.1 Kosten-batenanalyse op bedrijfsniveau                        | 50        |
| 3.4.2 Kosten-batenanalyse op perceelniveau                         | 53        |

---

|                  |                                                          |           |
|------------------|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b>         | <b>Discussie</b>                                         | <b>56</b> |
| 4.1              | Bruikbaarheid van de informatie en methoden              | 56        |
| 4.2              | Voor- en nadelen van de scenario's                       | 60        |
| 4.3              | Toekomstig onderzoek in waterwingebieden                 | 62        |
| <b>5</b>         | <b>Conclusie en aanbevelingen</b>                        | <b>65</b> |
| 5.1              | Conclusies                                               | 65        |
| 5.2              | Advies                                                   | 67        |
| 5.3              | Vervolgstappen                                           | 68        |
|                  | <b>Literatuur</b>                                        | <b>70</b> |
| <b>Bijlage 1</b> | <b>Onderrand SWAP-WOFOST</b>                             | <b>72</b> |
| <b>Bijlage 2</b> | <b>Verlaging GxG</b>                                     | <b>78</b> |
| <b>Bijlage 3</b> | <b>Schaderesultaten bij niet-gecorrigeerde verlaging</b> | <b>83</b> |
| <b>Bijlage 4</b> | <b>Bruikbaarheid van de beschikbare peilbuizen</b>       | <b>87</b> |
| <b>Bijlage 5</b> | <b>Huidige werkwijze in onderzoeken naar gewasschade</b> | <b>89</b> |

---

# Verantwoording

Rapport: 3164

Projectnummer: 5200046869

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent (WENR) die het rapport heeft beoordeeld:

functie: Onderzoeker

naam: Kees Teuling

datum: 16-11-2021

Akkoord referent (Aequator) die het rapport heeft beoordeeld:

functie: Senior adviseur

naam: Jan van Berkum

datum: 12-11-2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 12-5-2022





---

# Woord vooraf

Aequator Groen & Ruimte en Wageningen Environmental Research hebben van begin tot eind samengewerkt in dit project. Wij bedanken de Adviescommissie Schade Grondwater voor het verlenen van deze opdracht en voor het meedenken tijdens de opzet en de uitvoering.

Onze dank gaat uit ook naar onze collega's, die tijdens de verschillende fasen van het project hebben meegewerkt:

- Dennis Walvoort
- Everhard van Essen
- Joani Kannekens
- Joost Iwema
- Mirjam Hack
- Nanny Heidema
- Willy de Groot

Daarnaast willen we onze referenten (Kees Teuling en Jan van Berkum) bedanken voor hun kritische blik op dit rapport.



---

# Samenvatting

Om de landbouwschade (in de vorm van gewas-opbrengstderving) als gevolg van grondwaterwinning te berekenen, maakt de ACSG (Adviescommissie Schade Grondwater) gebruik van onder andere een gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart. Het vervaardigen van deze kaarten is specialistenwerk en kost tijd. De laatste tijd nemen het aantal én de omvang van de landbouwschadeprojecten als gevolg van grondwaterwinningen toe. Om in de toekomst binnen een redelijke termijn een uitspraak te kunnen doen over gewas-opbrengstderving, is er behoefte aan een karteermethode met een kortere doorlooptijd.

Het doel van deze opdracht is om een aantal alternatieve karteerscenario's te ontwikkelen die een kortere doorlooptijd hebben en om de nauwkeurigheid en efficiëntie ten opzichte van de huidige methode te analyseren. De onderzoeksvragen die worden beantwoord, zijn:

- Op welke manieren kan de doorlooptijd verkort en/of de onderzoekskosten beperkt worden voor het verkrijgen van bodemkundige/hydrologische informatie voor een schadeberekening voor een grondwaterwingebied?
- Wat is het verschil tussen de schadeberekening op basis van verschillende gebruikte bodemkundige/hydrologische gegevens en de beschikbare detailkartering en hoe verhoudt dit verschil zich tot het verschil in kosten?

Bij dit onderzoek worden voor een grondwaterwingebied verschillende bodem- en grondwatertrappenkaarten vervaardigd, waarbij gebruikgemaakt wordt van beschikbare hulpinformatie en veldinformatie. De scenario's onderscheiden zich in de soort en de hoeveelheid informatie die gebruikt is. De gebruikte veldinformatie is afkomstig van de reeds uitgevoerde detailkartering.

Uitgaande van de stapsgewijze aanvulling/verfijning van de te gebruiken informatie onderscheiden we zes scenario's (A t/m F):

## **A) Basisscenario 1:50.000**

Dit scenario gaat voor het onderzoeksgebied alleen uit van basisinformatie, die openbaar beschikbaar is voor (een groot deel van) Nederland, namelijk de bodemkaart van Nederland en de Gd-kaart. Dit scenario is in dit onderzoek niet verder uitgewerkt.

## **B) Basisscenario uitgebreid 1:50.000**

In dit scenario worden de verschillende vlakken in de bodemkaart en de Gd-kaart uit scenario A aangepast met behulp van het AHN3.

## **C) Kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha)**

Dit scenario is gebaseerd op scenario B en vult dit scenario aan met veldwaarnemingen in de vorm van boorbeschrijvingen (25%). De boorlocaties zijn gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied.

## **D) Gerichte kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha)**

Dit scenario is ook gebaseerd op scenario B, gebruikt ook 25% van de beschikbare veldwaarnemingen (net als C), maar hier worden de boorlocaties verdeeld over het gebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade op basis van expertkennis.

## **E) Gerichte kartering 1:25.000 (ongeveer 1 boring per 3 ha)**

Dit scenario is gebaseerd op scenario D, maar gebruikt meer veldinformatie (50% van de beschikbare boorbeschrijvingen). Bij dit scenario worden de extra boringen gebruikt om 'onzuivere' vlakken beter te vullen met informatie.

## **F) Gangbare kartering 1:10.000 (ongeveer 1 boring per ha)**

Dit scenario is de reeds uitgevoerde gangbare detailkartering die in deze vergelijkende studie als referentie dient.

---

Elk kaartvlak met meerdere boringen wordt met behulp van Thiessen-polygonen verder onderverdeeld in subkaartvlakken, waarbij elk subkaartvlak één boring bevat. Bij het toepassen van WWL-maatwerk voor het berekenen van de schade wordt voor elk subkaartvlak een aparte SWAP-WOFOST-modelberekening uitgevoerd. Hydrologische informatie voor de subkaartvlakken is alleen beschikbaar in de vorm van grondwaterstandkarakteristieken (GHG en GLG). Bij het toepassen van WWL-maatwerk is echter meer detail gewenst over het verloop van de grondwaterstand. Helaas zijn er in dit gebied onvoldoende data van goed geplaatste buizen (staand in open veld en de grondwaterspiegel weergevend van de freatische zone) beschikbaar. In deze studie ontleen we informatie over het verloop van de grondwaterstand uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). De grondwaterstandreeksen uit het LHM worden geschaald naar de grondwaterstandkarakteristieken van het betreffende subkaartvlak. In een nabewerking (buiten WWL om) is de gemiddelde opbrengstderving per subkaartvlak geaggregeerd naar perceel- en bedrijfsniveau volgens de beschikbare landgebruikskaart.

In een kosten-batenanalyse wordt gekeken hoe de baten in termen van reductie van de onderzoekskosten van de verschillende scenario's zich verhouden tot de kosten in termen van verlies aan nauwkeurigheid waarmee de schade-uitkering wordt berekend. Scenario F, de gangbare detailkartering schaal 1 : 10.000, geldt hierbij als referentie. De schade-uitkeringen per hectare worden berekend op perceelniveau en op bedrijfsniveau, en vergeleken met de onderzoekskosten per hectare. Omdat de schade-uitkeringen jaarlijks plaatsvinden, worden deze gekapitaliseerd om ze te kunnen vergelijken met de eenmalige onderzoekskosten. Hierbij gaan we uit van een rente van 2% en een looptijd van 25 jaar. De schades die worden berekend in scenario's B, C, D en E zullen afwijken van de schades die worden berekend in scenario F. Deze afwijkingen beschouwen we als verlies aan nauwkeurigheid ten opzichte van referentiescenario F.

De verschillende scenario's leveren steeds verschillende bodem- en grondwatertrappenkaarten op. Bij het toevoegen van veldinformatie aan de bodem- en grondwatertrappenkaart veranderen de vorm en inhoud van de kaartvlakken. Bij de stapsgewijze verfijning treedt de grootste verandering op wanneer aan de bodemkaart van Nederland en de Gd-kaart (scenario B) boringen worden toegevoegd (scenario C en D). Meer veldwaarnemingen gebruiken leidt tot meer kaartvlakken en meer gebruikte bodem- en Gt-klassen. Niet alleen het aantal boringen is van invloed op de vorm en inhoud van de kaartvlakken, ook de manier waarop de boringen over het gebied worden verdeeld. Dat blijkt uit de verschillen tussen scenario C en D.

Met behulp van WWL-maatwerk is het mogelijk om alle bodemkundige en hydrologische informatie uit de boringen te gebruiken om de opbrengstderving van elk subkaartvlak (elke boring) zo goed mogelijk vast te stellen.

Om het effect van de grondwaterwinning op de gewasopbrengst te kunnen bepalen is niet alleen informatie over de huidige situatie (situatie na waterwinning) nodig, maar ook over de situatie vóór de waterwinning. Laatstgenoemde wordt bepaald aan de hand van de situatie na waterwinning en de gemodelleerde grondwaterstandverlaging. Deze dient gecorrigeerd te zijn voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen (lagen die een belemmerende invloed hebben op de beweging van water in de bodem). Het verschil tussen de opbrengstderving voor en na waterwinning is de schade die veroorzaakt wordt door de waterwinning. Zonder correctie kan een onrealistische situatie vóór waterwinning bepaald worden, die doorwerkt in de berekende schade.

De doorlooptijd van de verschillende scenario's is proportioneel aan de onderzoekskosten. De onderzoekskosten variëren van € 8 per ha voor scenario B tot € 119 per ha voor scenario F (de gangbare detailkartering). Desondanks blijkt uit de kosten-batenanalyse dat op perceel- en bedrijfsniveau de reductie aan onderzoekskosten bij scenario B tot en met E niet opweegt tegen het verlies aan nauwkeurigheid ten opzichte van scenario F. Natuurlijk ligt het in de lijn der verwachting dat de nauwkeurigheid zou afnemen, maar de mate waarin dit gebeurt in deze scenario's in verhouding tot de gedaalde kosten is nu gekwantificeerd.

Kaartmateriaal met schaal 1:50.000 is onvoldoende gedetailleerd om te gebruiken bij het bepalen van de schade op perceel- en bedrijfsniveau. De beschikbare hoeveelheid geschikte grondwaterstandbuizen is beperkt. Veldinformatie (in de vorm van beschrijvingen van boorprofielen) draagt op verschillende manieren bij aan het verbeteren van de nauwkeurigheid van de schadebepalingen. Het is niet aan te bevelen om

---

bepaalde informatie, bijvoorbeeld bodeminformatie, niet te verzamelen tijdens het veldwerk, omdat bodemkundige en hydrologische informatie met elkaar verstrengeld zijn. De opbrengstdervingen als gevolg van waterwinningen die met WWL worden berekend, zijn transparant, consistent en reproduceerbaar, hetgeen gewenst is bij een vergelijkende scenariostudie.

Een kortere doorlooptijd in schadeonderzoeken kan in essentie op een aantal manieren bewerkstelligd worden door:

- met meer veldbodemkundigen het gebied onderzoeken;
- het te karteren areaal te verminderen;
- de karteerinspanning te verminderen.

Het toevoegen van veldwaarnemingen (boringen) aan het onderzoek naar de schade van grondwaterwinningen verhoogt de nauwkeurigheid en is bovendien kosteneffectief. Als het aantal veldwaarnemingen (boringen) die gedaan mag worden beperkt is, loont het om deze veldwaarnemingen gericht te doen.

Om de schade als gevolg van waterwinningen goed vast te kunnen stellen, is het belangrijk om de huidige situatie (situatie na waterwinning) zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen. De schade als gevolg van waterwinningen wordt echter bepaald uit het verschil in opbrengstderving tussen de situatie na waterwinning en de situatie vóór waterwinning. De situatie vóór waterwinning wordt teruggerekend aan de hand van de situatie na waterwinning en de door de waterwinning veroorzaakte grondwaterstandverlaging. Het is dus van groot belang dat deze ook zo nauwkeurig mogelijk wordt vastgesteld.

De kostenefficiëntste methode om de doorlooptijd te verkorten, is om met meer veldbodemkundigen te gaan karteren in een gebied. Gedetailleerde karteringen blijken zich namelijk terug te verdienen in de nauwkeurigheid van de berekende schades: de toename van de nauwkeurigheid in euro/ha op bedrijfsniveau die bereikt wordt met een detailkartering is groter dan de kosten ervan in euro/ha. Het lijkt niet verstandig om het bodemkundige en hydrologische onderzoek in het veld van elkaar te scheiden. Beide soorten informatie zijn van belang gebleken voor het goed berekenen van de opbrengstderving/schade als gevolg van waterwinningen. Het aantal veldbodemkundigen bij WENR en Aequator is echter beperkt, dus een andere manier om de doorlooptijd te verkorten, is ook nodig.

Naast onderzoek naar de bodemkundige en hydrologische situatie in een onderzoeksgebied is het ook belangrijk om onderzoek te doen naar de daadwerkelijke grondwaterstandverlaging, die veroorzaakt wordt door de waterwinningen. Het is hierbij wenselijk dat de correctiemethode meer geformaliseerd wordt, zodat de correcties transparant, consistent en reproduceerbaar zijn.

Voor toekomstige schadeonderzoeken in grondwaterwingebieden is het wenselijk om te werken met een gefaseerde aanpak. In het vooronderzoek moet geïnventariseerd worden welke algemene en gebiedsspecifieke informatie beschikbaar en bruikbaar is. Op basis van dit vooronderzoek en een eventuele regionale schadeverkenning kan vervolgens besloten worden in welke delen van het grondwaterwingebied informatie in het veld verzameld moet worden. Een nog verder door te ontwikkelen beslisboom kan hierbij leidend zijn. Een eerste ontwerp voor zo'n beslisboom is opgesteld door ACSG. De verdere ontwikkeling van deze beslisboom kan parallel lopen naast het eerstvolgende schadeonderzoek in een grondwaterwingebied. Op basis van de resultaten uit het vooronderzoek en het veldonderzoek kan de schade als gevolg van de grondwaterwinning berekend worden.

Het advies is om in een nieuw onderzoeksgebied de uiteindelijk gekozen karteerstrategie te toetsen aan de hand van een onafhankelijke validatiesteekproef.

De te kiezen vervolgstappen zijn voor een groot deel afhankelijk van het antwoord op de vraag welke fout in de schadeberekening nog acceptabel is, maar ook van het onderzoeksgebied. Deze afweging zal door ACSG gedaan moeten worden in overleg met belanghebbenden.





---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Om de gewas-opbrengstderving als gevolg van grondwaterwinning te berekenen, maakt de ACSG (Adviescommissie Schade Grondwater) gebruik van onder andere een gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart. Het vervaardigen van een gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart binnen het schadegebied (gebied dat door de ACSG is vastgesteld en waarvoor is voorspeld dat de GLG-verlaging meer dan 5 cm zal zijn) wordt uitgevoerd door gespecialiseerde veldbodemkundigen/karteerders. Zij maken voor een groot aantal locaties profielbeschrijvingen (ca. één beschreven boring per 2 à 3 ha) om de bodemopbouw en grondwaterstandkarakteristieken GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) in beeld te brengen. De doorlooptijd van deze projecten is afhankelijk van de grootte van het schadegebied, maar duurt al gauw één jaar.

De laatste tijd nemen het aantal én de omvang van de landbouwschadeprojecten als gevolg van grondwaterwinningen toe. De verwachting is dat deze toename zich in de nabije toekomst voortzet. Om in de toekomst binnen een redelijke termijn een uitspraak te kunnen doen over gewas-opbrengstderving, is er behoefte aan een karteermethode waarmee in een relatief korte looptijd (tot één jaar, uiteraard afhankelijk van de omvang van het gebied) bodemkundig-hydrologische informatie kan worden verzameld op basis waarvan de gewas-opbrengstderving kan worden berekend. Uiteraard spelen de beschikbare capaciteit aan veldbodemkundigen en de kosten hierbij ook een rol.

Mogelijk zal ACSG voor de schadebepaling in de toekomst gebruik gaan maken van de Waterwijzer Landbouw, hier afgekort als WWL (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018). Wanneer gedetailleerde bodemkundige en hydrologische informatie beschikbaar is, ligt het voor de hand om te kiezen voor WWL-maatwerk, omdat WWL-maatwerk hier rekening mee kan houden.

Met de gangbare karteermethode is het niet zonder meer mogelijk om grotere gebieden met gewas-opbrengstderving te onderzoeken in een kortere looptijd. Grotere gebieden onderzoeken in een kortere looptijd dwingt tot het maken van keuzes, namelijk:

- met meer veldbodemkundigen (van verschillende bedrijven en instituten) het gebied te onderzoeken, en/of
- het te karteren areaal te verminderen, en/of
- de karteerinspanning te verminderen, met behoud van voldoende nauwkeurigheid.

## 1.2 Doel

Het doel van deze opdracht is om een aantal alternatieve karteerscenario's te ontwikkelen die een kortere doorlooptijd hebben en om de nauwkeurigheid en efficiëntie ten opzichte van de huidige methode (referentiescenario) te analyseren. Onder nauwkeurigheid wordt verstaan: het verschil tussen berekende schade volgens het scenario en de gangbare karteermethode. Onder efficiëntie wordt verstaan: de verhouding tussen het verschil in onderzoekskosten en het verschil in berekende schade op perceel- en bedrijfsniveau ten opzichte van de gangbare karteermethode. De efficiëntie van een scenario neemt toe naarmate de reductie van onderzoekskosten ten opzichte van de referentie groter is dan de afname in nauwkeurigheid van de schadeberekening.

De nauwkeurigheid en de efficiëntie van de scenario's worden beoordeeld op basis van de schade op perceelniveau en op bedrijfsniveau ten opzichte van de schade zoals zal worden bepaald voor de reeds beschikbare detailkartering van het onderzoeksgebied.

---

## 1.3 Onderzoeksvragen

Om tot een methode te komen waarbij met een kortere looptijd van karteren toch bodemkundige/hydrologische informatie van voldoende nauwkeurigheid efficiënt wordt verzameld om schadeberekeningen uit te kunnen voeren, zullen we de volgende vragen beantwoorden:

- Op welke manieren kan de doorlooptijd verkort en/of de onderzoekskosten beperkt worden voor het verkrijgen van bodemkundige/hydrologische informatie voor een schadeberekening voor een grondwaterwingebied?
- Wat is het verschil tussen de schadeberekening op basis van verschillende gebruikte bodemkundig/hydrologische gegevens en de beschikbare detailkartering en hoe verhoudt dit verschil zich tot het verschil in kosten?

De antwoorden op beide vragen moeten bijdragen aan een beslissing door ACSG voor wijziging van de karteermethode en daarmee samenhangende nauwkeurigheid in schadeberekening bij grondwaterwinningen.

Daarnaast wordt in dit onderzoek verkend hoe Waterwijzer Landbouw ingezet kan worden voor schadeberekeningen.

## 1.4 Aanpak

In dit onderzoek worden vier alternatieve methoden (de karteerscenario's) ontwikkeld, getest en gekwantificeerd ten opzichte van de huidige methode. Voor een grondwaterwingebied worden verschillende bodem- en grondwatertrappenkaarten vervaardigd, gebruikmakend van beschikbare hulpinformatie en veldinformatie. De bodem- en grondwatertrappenkaarten per scenario onderscheiden zich in de soort en de hoeveelheid informatie die gebruikt is. De scenario's worden uitgewerkt in hoofdstuk 2.

Voor elk scenario wordt een inschatting gemaakt van de kosten in euro/ha, die nodig zijn om dit scenario toe te passen in het onderzoeksgebied. We onderscheiden hierbij de kosten voor het vooronderzoek (desk study) en de kosten voor het karteeronderzoek. Voor elk scenario wordt een opbrengstderving berekend met behulp van Waterwijzer landbouw (WWL) en omgezet in een schadebedrag. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de schade op perceel- en bedrijfsniveau. De verschillen in de berekende jaarlijkse schadebedragen ten opzichte van een referentie geven de onnauwkeurigheid aan en worden gekapitaliseerd over een periode van 25 jaar tot een fout in euro/ha. Deze fouten worden vergeleken met de verschillen in eenmalige onderzoekskosten tussen de scenario's en daaruit wordt geconcludeerd hoe de kostenbesparing en het eventuele verlies aan nauwkeurigheid zich tot elkaar verhouden.

## 1.5 Projectafbakening

Dit project is onderdeel van een zoektocht naar een karteerstrategie met een kortere doorlooptijd dan de huidige aanpak, die informatie van voldoende kwaliteit oplevert voor de bepaling van gewas-opbrengstderving als gevolg van een grondwaterwinning. Dit onderzoek is als volgt afgebakend:

- Het is niet te garanderen dat een karteerstrategie met kortere doorlooptijd informatie oplevert die van voldoende kwaliteit wordt geacht voor de bepaling van gewas-opbrengstderving als gevolg van een grondwaterwinning.
- Het projectresultaat geeft inzicht in de verhouding tussen onderzoekskosten en doorlooptijd enerzijds en nauwkeurigheid in schadeberekening anderzijds, maar doet geen uitspraak over welke nauwkeurigheid minimaal vereist is. Het is aan de opdrachtgever ACSG om de afweging te maken bij welke karteerstrategie het verlies aan nauwkeurigheid opweegt tegen de tijdbesparing in de doorlooptijd.
- Resultaten van dit onderzoek zijn geldig voor dit schadegebied. Het onderzochte schadegebied kenmerkt zich door variatie aan bodems en grondwaterstanddiepten en de aanwezigheid van keileem. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen daarom niet zonder meer toegepast worden in andere gebieden. De

---

karteerstrategie met kortere doorlooptijd dient daarom bij voorkeur ook getest te worden in een ander gebied, met een goed onderbouwde statistische methode, dat wil zeggen een onafhankelijke validatiesteeekproef.

- De berekeningen met de Waterwijzer Landbouw zijn in dit onderzoek zo opgezet dat de resultaten van de verschillende scenario's met elkaar te vergelijken zijn. Deze berekende schades zijn niet te vergelijken met de schades die eventueel berekend zijn met de huidige methodiek: de TCGB-tabellen (Technische Commissie Grondwater Beheer). Een goede vergelijking van de berekende schades met WWL en met de TCGB-methode is geen onderdeel van dit onderzoek. Toepassing van beide in één scenario-onderzoek kan tot vertekening leiden in de vergelijking van de karteermethoden.

Bij de projectuitvoering gelden de volgende randvoorwaarden:

- Dit onderzoek vindt plaats in een grondwaterwinningsgebied in het oosten van Nederland, waarvoor met behulp van veldwerk een gedetailleerde bodemkaart is vervaardigd. Deze bodemkaart wordt in dit onderzoek gebruikt als referentie. Voor een vergelijking met de werkelijke situatie is een additionele validatiesteeekproef nodig, maar deze is geen onderdeel van dit onderzoek.
- Bij het ontwikkelen van de andere methode wordt alleen gebruikgemaakt van bestaande informatie en er vindt geen aanvullend veldwerk plaats. Dat houdt in dat profielbeschrijvingen worden gebruikt uit de dataset van de gedetailleerde bodemkaart.
- ACSG heeft voor het schadegebied de volgende informatie aangeleverd:
  - Digitale kaart met geanonimiseerde bedrijfsinformatie: welk perceel hoort bij welk bedrijf?
  - Digitale informatie van de bestaande gangbare detailkartering:
    - Alle boorbeschrijvingen
    - Alle relevante kaarten en tabellen horende bij de bodemkaart, de grondwatertrappenkaart, de boorpuntenkaart, de kaart met weerstand biedende lagen, de gerichte opnames van de grondwaterspiegeldiepte, de vlakkenkaart met TCGB-code, vlak-GHG, -GVG en -GLG
- Twee digitale kaarten, namelijk 1) vlakdekkende GHG en GLG voor de situatie zonder grondwaterwinning door Vitens en 2) vlakdekkende GHG en GLG voor de situatie met grondwaterwinning door Vitens waren niet beschikbaar. Wel was er een gemodelleerde, stationaire grondwaterstandverlaging als gevolg van alle winningen van Vitens op de heuvelrug beschikbaar. Daarom is met deze kaart van gemodelleerde grondwaterstandverlagingen gewerkt.

De keuze voor een methode is uiteindelijk niet alleen afhankelijk van efficiëntie en nauwkeurigheid (dit kan in elk onderzoeksgebied anders zijn), maar is ook afhankelijk van de wensen van de opdrachtgever en de belanghebbenden. In dit rapport wordt daarom geen keuze gemaakt voor een uit te voeren karteerstrategie. Dit onderzoek levert informatie op die ACSG nodig heeft of ACSG kan helpen om tot een onderbouwde keuze te komen voor een methode om de landbouwkundige schade als gevolg van grondwateronttrekking te kunnen berekenen.

## 1.6 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit:

- een beschrijving van de verschillende scenario's, de gebruikte informatie en de gebruikte methoden (hoofdstuk 2);
- de resultaten van de scenario's in de vorm van verschillende vlakkenkaarten, de berekende schades per scenario op perceel- en bedrijfsniveau en een statistische evaluatie van de verschillende scenario's (hoofdstuk 3);
- een discussie met betrekking tot de bruikbaarheid van de gebruikte informatie en methoden en de voor- en nadelen van de verschillende scenario's. Daarnaast wordt een eerste aanzet gegeven voor de discussie 'hoe een grondwaterwinningsgebied in de toekomst met een mogelijk kortere doorlooptijd onderzocht zou kunnen worden' (hoofdstuk 4);
- conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5).

## 2 Materiaal en methoden

In paragraaf 2.1 wordt een overzicht gegeven van de overeenkomsten en verschillen tussen de gekozen scenario's. De gebruikte algemene en gebiedsspecifieke informatie is beschreven in paragraaf 2.2. In paragraaf 2.3 zijn de scenario's in meer detail uitgewerkt en zijn de methoden beschreven die in dit onderzoek zijn gebruikt.

### 2.1 Scenario's

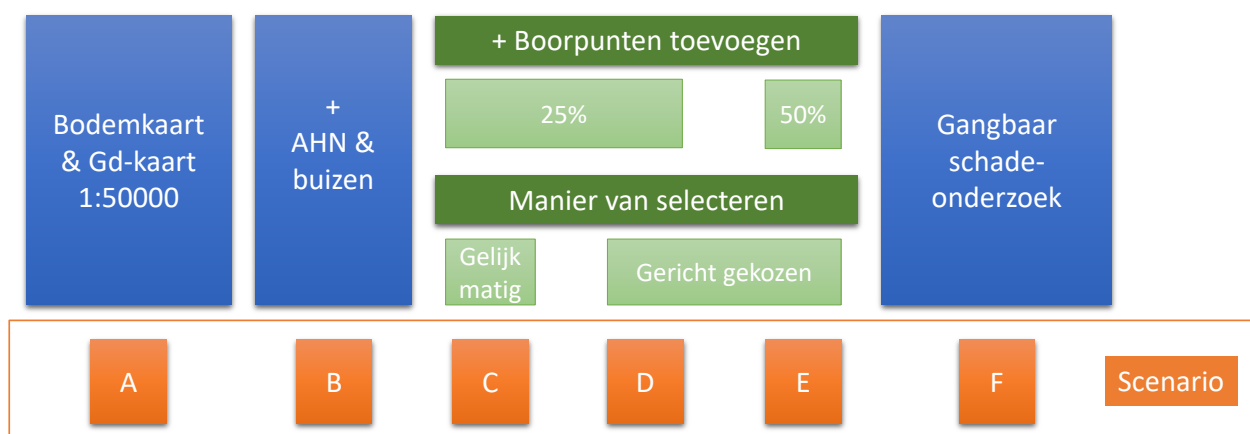
Het ontwikkelen en testen van een andere methodiek voor een efficiënte wijze van karteren, gaat uit van openbare, landelijk beschikbare informatie over bodem en grondwater. Deze informatie wordt stapsgewijs aangevuld met:

- andere relevante openbare, landelijk beschikbare informatie (§ 2.2.1);
- gebiedsspecifieke informatie (§ 2.2.2);
- een selectie van de beschikbare veldinformatie uit de detail-bodemkartering. Deze veldinformatie bestaat uit bodemkundige en hydrologische veldinformatie (§ 2.2.2).

Uitgaande van de stapsgewijze aanvulling/verfijning van de te gebruiken informatie onderscheiden we zes scenario's (A t/m F). Dit zijn de verschillende karteerstrategieën die worden uitgevoerd en getest. Het principe is dat er bij elk volgende scenario (van A naar E) meer informatie, zowel kwantitatief als kwalitatief, wordt toegevoegd. Bij het toevoegen van veldinformatie is pragmatisch gekozen voor 25% of 50% van de beschikbare boorpunten. Scenario F komt overeen met de gangbare karteermethode.

De hierna genoemde schaal dan wel aantal boringen per ha geeft slechts een indicatie en moet niet letterlijk genomen worden. Het geeft wel duidelijk een indruk van het onderscheid tussen de scenario's.

In figuur 2.1 zijn de scenario's schematisch weergegeven. De toelichting volgt daaronder.



**Figuur 2.1** Schematische weergave van de zes scenario's. Van A tot en met F wordt er steeds meer informatie toegevoegd en zijn de scenario's dus gedetailleerder.

#### A) Basisscenario 1:50.000

Dit scenario gaat voor het onderzoeksgebied alleen uit van basisinformatie die openbaar beschikbaar is voor (een groot deel van) Nederland, namelijk:

- Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000.
- Kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart), schaal 1:50.000.

## B) Basisscenario uitgebreid 1:50.000

In dit scenario worden de verschillende vlakken in de bodemkaart en de Gd-kaart uit scenario A aangepast met behulp van:

- Actueel Hoogtebestand Nederland 3 (AHN3).
- informatie van peilbuizen (indien beschikbaar).

### Toelichting

Omdat er samenhang is tussen bodem en landschap kan een gedetailleerde hoogtekarte informatie verschaffen over de verspreiding van verschillende bodemtypes en grondwaterstanden. Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat met behulp van het AHN de boordichtheid van de bodemkaart kan worden verminderd terwijl de kwaliteit van de bodemkaart niet vermindert (Brus en Kiestra, 2002).

## C) Kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha)

Dit scenario is gebaseerd op scenario B en vult dit scenario aan met:

- Veldinformatie, namelijk bodemkundige profielbeschrijvingen.
  - Hierbij is 25% (116 stuks) van de boringen uit de gangbare detailkartering gebruikt.
  - De gekozen boringen zijn gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied.

### Toelichting

De locatie waar een profielbeschrijving wordt uitgevoerd, wordt vooraf bepaald. Hierbij vindt een gelijke verdeling van de boorpunten over het gebied plaats. Omdat met deze methode gericht naar een locatie toegegaan kan worden, levert dit enige tijdswinst op. Er wordt dan echter geen rekening gehouden met specifieke veldkennis van de karteerder en in gebieden met veel ruimtelijke variatie liggen net zoveel boringen als in gebieden met weinig ruimtelijke variatie.

## D) Gerichte kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha)

Dit scenario is ook gebaseerd op scenario B en gebruikt daarnaast:

- Contourlijnen met de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging.
- Veldinformatie, namelijk bodemkundige profielbeschrijvingen.
  - Hierbij is 25% (116 stuks) van de boringen uit de gangbare detailkartering gebruikt.
  - De gekozen boringen zijn **NIET** gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied, maar verdeeld over het onderzoeksgebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade op basis van expertkennis.

### Toelichting

Bij dit scenario worden de boorpunten door de karteerder geplaatst op een locatie, die volgens hem/haar belangrijk is om de variatie in bodemgesteldheid (bodemopbouw en hydrologische situatie) in kaart te brengen en die recht doet aan het verwachte schadebeeld. Op gronden die gevoelig zijn voor verdroging (bijvoorbeeld gronden met een dunne bewortelbare zone) en waar een kritische grondwaterstanddaling wordt voorspeld, worden meer boringen uitgevoerd dan op gronden die weinig gevoelig zijn voor verdroging (bijvoorbeeld gronden met een hoge actuele grondwaterstand) of waar weinig grondwaterstanddaling wordt voorspeld als gevolg van de grondwaterwinning.

## E) Gerichte kartering 1:25.000 (ongeveer 1 boring per 3 ha)

Dit scenario is gebaseerd op scenario D, maar gebruikt meer veldinformatie in de vorm van bodemkundige profielbeschrijvingen:

- Hierbij is in totaal 50% (332 stuks) van de boringen uit de gangbare detailkartering gebruikt.
- De extra boringen ten opzichte van scenario D zijn **NIET** gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied, maar verdeeld over het onderzoeksgebied om meer duidelijkheid te krijgen over 'onzuivere' vlakken: vlakken met meerdere boorpunten waarvan de bodem- en/of Gt-codering niet hetzelfde is. Onzuivere vlakken met de grootste gemodelleerde grondwaterstandverlaging hebben hierbij de hoogste prioriteit gekregen, omdat hier meer schade als gevolg van de waterwinning verwacht kan worden. Een klein deel

van de extra boorpunten is echter gebruikt om de bodemgesteldheid te verifiëren in gebieden waar minder droogteschade verwacht wordt.

### **Toelichting**

Er wordt naar gestreefd om in ieder kaartvlak een beschreven boring te hebben en deze boring bepaalt de inhoud van het vlak. Wanneer er (in dit onderzoek) geen boring beschikbaar is, wordt de informatie van de bodemkaart van Nederland gebruikt. In dit scenario (tijdens dit onderzoek) zijn ruim voldoende boringen beschikbaar en kunnen meer boringen in een vlak worden gekozen. Hiermee kan meer variatie in beeld gebracht worden in vergelijking met de bodemkaart van Nederland. Scenario's C en D leveren vooral een verbetering op van de beschrijving van de kaartvlakken van de bodemkaart van Nederland, terwijl dit scenario (E) ook meer ruimtelijk detail toevoegt.

### **F) Gangbare kartering 1:10.000 (ongeveer 1 boring per ha)**

Dit scenario is de reeds uitgevoerde gangbare detailkartering die in deze vergelijkende studie als referentie dient.

Bij scenario's A en B wordt geen veldinformatie gebruikt. Bij scenario's C en D wordt 25% van de beschikbare veldwaarnemingen gebruikt. Bij scenario E is dat 50% en bij scenario F worden alle veldwaarnemingen gebruikt. De precieze invulling en uitwerking van de verschillende scenario's is beschreven in paragraaf 2.3.

## **2.2 Gebruikte informatie**

Voor dit onderzoek is een grondwaterwinningsgebied in Oost-Nederland uitgekozen. Het gebied is in het afgelopen decennium in detail gekarteerd volgens de gangbare karteringsmethode. Het is gekozen vanwege de variatie aan bodems en grondwaterstanddiepten. In het gebied wordt (lokaal) een flinke verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van de waterwinning berekend (zie figuur 2.2) en in het gebied komen zowel zeer droge als zeer natte grondwatertrappen voor. In de bodem is verspreid ondiep keileem aanwezig en komen lokaal moerige gronden voor. Een aanzienlijk deel van het gebied bestaat echter uit veldpodzolgronden – een bodemtype dat veel voorkomt in pleistoceen Nederland. In Noord- en Oost-Nederland komen meer grondwaterwinningsgebieden voor met een vergelijkbare variatie in bodems en grondwaterstanddiepten. De resultaten van dit onderzoek kunnen niet zonder meer geëxtrapoleerd worden naar andere, niet-vergelijkbare gebieden, bijvoorbeeld meer 'open' zandgebieden.

### **2.2.1 Algemene informatie**

In dit onderzoek is de volgende openbare, landelijk beschikbare informatie gebruikt:

#### **Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000**

Informatie over de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 is te vinden op de volgende website: <https://www.wur.nl/nl/show/Bodemkaart-1-50-000.htm>. De bodemkaart is te bekijken en op te vragen via <https://www.pdok.nl/>. Voor elke bodemeenheid is een beschrijving van het bodemprofiel beschikbaar. In totaal worden 368 unieke bodemprofielschetsen onderscheiden. Elke bodemprofielschets bestaat uit een sequentie van bouwstenen uit de Staringreeks 2018 (Heinen et al., 2020). In het onderzoeksgebied is de bodemkaart gemaakt in de jaren tachtig van de vorige eeuw.

#### **Staringreeks 2018**

De Staringreeks bevat gemiddelde waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken voor achttien boven- en achttien ondergronden. Elk bodemprofiel van de bodemkaart van Nederland is beschreven in lagen waaraan bouwstenen van de Staringreeks zijn gekoppeld. Meer informatie over de Staringreeks 2018 is te vinden in Heinen et al. (2020) of via de website: <https://research.wur.nl/en/publications/waterretentie-en-doorlatendheidskarakteristieken-van-boven-en-ond-5>.



---

### **Kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart), schaal 1:50.000**

Aangezien de bodemkaart van Nederland tegenwoordig geen informatie meer geeft over grondwatertrappen, is in dit onderzoek gebruikgemaakt van de Gd-kaart 1:50.000 (versie 2018). De Gd-kaart geeft voor hoog Nederland informatie over de grondwaterdynamiek, onder andere GHG en GLG, met een gridgrootte van 25x25 m. Stuyt et al. (2017) geven meer informatie over de Gd-kaart. Daarnaast is meer informatie te vinden over deze kaart via de website: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-tools/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek.htm>.

### **Actueel Hoogtebestand Nederland**

Als hoogtekaart is het Actueel Hoogtebestand Nederland, versie 3 (AHN3) gebruikt met een gridgrootte van 5x5 m. AHN3 is te bekijken en op te vragen via <https://www.pdok.nl/>.

### **Grondwaterstandbuizen**

Historische informatie over gemeten grondwaterstanden in vaste grondwaterstandbuizen is beschikbaar via de websites van het BROloket en Vitens, respectievelijk <https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens> en <https://vitens.lizard.net/viewer/nl/>. Informatie van de beschikbare peilbuizen in het gebied is uiteindelijk niet gebruikt om de kaartvlakken inhoud te geven, omdat er onvoldoende bruikbare grondwaterstandbuizen in het onderzoeksgebied aanwezig zijn (zie voor toelichting in bijlage 4). Grondwaterstandbuizen zijn geschikt voor onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning, wanneer deze buizen:

- relatief ondiep (dus in de freatische zone; boven weerstandbiedende lagen) geplaatst zijn;
- op een plek in het open veld (dus niet onder bomen, in de buurt van sloten, verharding, bebouwing of in wegbermen) geplaatst zijn;
- en gedurende langere periode (bij voorkeur meer dan 8 jaar) gemeten worden.

### **Landelijk Hydrologisch model**

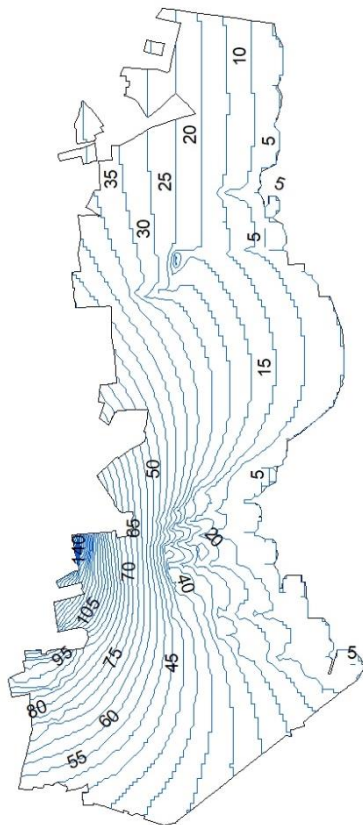
Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) is het geïntegreerde, landsdekkende grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland. Het instrumentarium is opgezet voor de ondersteuning van het landelijk beleid. Het LHM berekent het regionale grondwaterstromingspatroon van Nederland voor het huidige klimaat en voor klimaatscenario's. Meer informatie over het LHM is te vinden via de website: <https://www.nhi.nu/nl/index.php/modellen/lhm/>.

#### **2.2.2 Specifieke gebiedsinformatie**

Voor dit onderzoek is de volgende informatie gebruikt, die niet openbaar en landelijk beschikbaar is:

### **Grondwaterstandverlaging**

ACSG heeft voor het onderzoeksgebied contourlijnen aangeleverd met de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging in het freatisch pakket. Deze grondwaterstandsverlaging in het freatisch pakket is berekend door Vitens. Deze grondwaterstandverlaging is het resultaat van alle waterwinningen van Vitens in Oost-Nederland (zie figuur 2.2).



**Figuur 2.2** Gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging als gevolg van de waterwinningen van Viten in het onderzoeksgebied (in cm).

Bij het vaststellen van bovengenoemde gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging kan echter niet goed genoeg rekening gehouden worden met weerstand biedende lagen (lagen die een belemmerende invloed hebben op de beweging van water in de bodem), die relatief ondiep in de bodem aanwezig zijn. Deze ondiepe weerstand biedende lagen zorgen ervoor dat de werkelijke grondwaterstandverlaging door de waterwinningen anders is dan bovengenoemde gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging. Massop en Stoffelsen (2017) hebben voor de waterwinning in de buurt van Wierden onderzocht hoe de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging kan worden gecorrigeerd, rekening houdend met ondiepe weerstand biedende lagen. ACSG heeft op een vergelijkbare manier de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging gecorrigeerd voor het onderzoeksgebied. Het resultaat van deze correctie hebben wij gebruikt in dit onderzoek. De basis voor deze correctie zijn bodemprofielbeschrijvingen in het veld, die weergeven op welke locatie en op welke diepte welke weerstand biedende laag aanwezig is.

### Informatie over landgebruik

ACSG heeft een kaart aangeleverd met gebruikers en gebruiksinformatie. De kaart geeft per perceel en per jaar (periode 1995-2020) weer wat het grondgebruik is en welke gebruiker het perceel in gebruik heeft. De informatie met betrekking tot de gebruikers is geanonimiseerd. Afgesproken is om de gebruikersinformatie van één jaar (i.c. is gekozen voor 2017) te gebruiken voor alle scenarioberekeningen. Bovendien rekenen we bij deze scenariostudie alleen met het gewas gras (gemaaid), het meest voorkomende gewas in dit onderzoeksgebied.

### Gangbare detailkartering

In dit onderzoek wordt geen nieuwe veldinformatie verzameld, maar maken we gebruik van de informatie die verzameld is tijdens de gangbare detailkartering. Dit is beschikbaar gesteld door ACSG en bestaat uit:

- alle boorbeschrijvingen volgens het systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker & Schelling, 1989).
- alle relevante kaarten en tabellen horende bij de bodemkaart, de grondwatertrappenkaart (Gt-kaart), de boorpuntenkaart, de weerstand biedende lagenkaart, de gerichte opnamen van de GHG en GLG en de vlakkenkaart met bijbehorende code, vlak-GHG, -GVG en -GLG.

---

Bijlage 5 geeft meer informatie over hoe de gangbare detailkartering tot op heden uitgevoerd en gebruikt wordt in onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinningen.

## 2.3 Methoden

In deze paragraaf staat hoe we de beschikbare informatie toegepast hebben in de scenario's en welke methoden we daarbij gebruikt hebben.

### 2.3.1 Basisscenario 1:50.000 [A]

Basisscenario (A) gaat voor het onderzoeksgebied uit van de basisinformatie, die openbaar beschikbaar is voor heel Nederland, namelijk:

- Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000
- Kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart), schaal 1:50.000

De bodemkaart van Nederland geeft tegenwoordig geen informatie meer over de GHG en de GLG. Per kaartvlak is daarom de gemiddelde GHG en GLG op basis van de Gd-kaart berekend. Op basis van deze gemiddelde GHG en GLG is een grondwatertrappenkaart voor het onderzoeksgebied gemaakt.

In overleg met ACSG is dit scenario niet verder uitgewerkt, omdat de verwachting is dat dit scenario geen meerwaarde heeft ten opzichte van scenario B. Dit scenario is echter een noodzakelijke stap voor scenario B en is daarom hier volledigheidshalve wel genoemd.

### 2.3.2 Basisscenario uitgebreid 1:50.000 [B]

In Basisscenario uitgebreid (B) zijn de bodemkaart en grondwatertrappenkaart geactualiseerd ten opzichte van scenario A met behulp van:

- Gd-kaart, schaal 1:50.000
- Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3)

Op basis van de Gd-kaart zijn de kaartvlakken van de bodemkaart van Nederland (scenario A) gesplitst of juist samengevoegd. Daarnaast zijn aan de hand van landschapsvormen, die we afleiden van de hoogtekaart (AHN3), de vormen van de kaartvlakken aangepast. Van de nieuw gevormde kaartvlakken zijn op basis van de Gd-kaart de gemiddelde GHG en GLG berekend, wat resulteert in grondwatertrappen voor de kaartvlakken. We onderscheiden vlakken met een oppervlakte van ten minste 5 ha. Kleinere vlakken zijn samengevoegd met een naastliggend vlak. De minimale vlakgrootte is een richtlijn en is gebaseerd op de relatie tussen informatiedichtheid en kaartschaal. De minimale vlakgrootte neemt af naarmate de informatiedichtheid (bijvoorbeeld aantal boringen per ha) toeneemt.

Tijdens het uitvoeren van dit scenario bleek dat er weinig geschikte grondwaterstandbuizen in het gebied beschikbaar zijn. Daarom is besloten om informatie van die peilbuizen niet te gebruiken om de kaartvlakken inhoud te geven. Er zouden dan namelijk maar een beperkt aantal kaartvlakken aangepast kunnen worden en de meeste dus niet. Om kaartvlakken wel inhoud te geven op basis van peilbuisinformatie, is het wenselijk dat er veel geschikte peilbuizen zijn en dat deze bovendien verdeeld zijn over het gebied en over de voorkomende Gt-range, waardoor alle kaartvlakken op dezelfde manier uitgewerkt kunnen worden. De informatie van de beschikbare peilbuizen is gebruikt om te vergelijken met de door LHM berekende grondwaterstanden (zie § 2.3.8 en bijlage 1).

### 2.3.3 Kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha) [C]

Scenario C is gebaseerd op scenario B en vult dit scenario aan met veldinformatie in de vorm van beschreven boringen. De boorbeschrijvingen die worden toegevoegd om de inhoud van de kaartvlakken beter te kunnen beschrijven, zijn afkomstig van de beschikbare detailkartering. De totale set aan boorbeschrijvingen binnen het onderzoeksgebied bestaat uit 464 beschreven boringen. Van deze set is 25% (116 boringen) gekozen. Bij de keuze is gestreefd naar optimale ruimtelijke spreiding door gebruik te maken van de 'spatial coverage

---

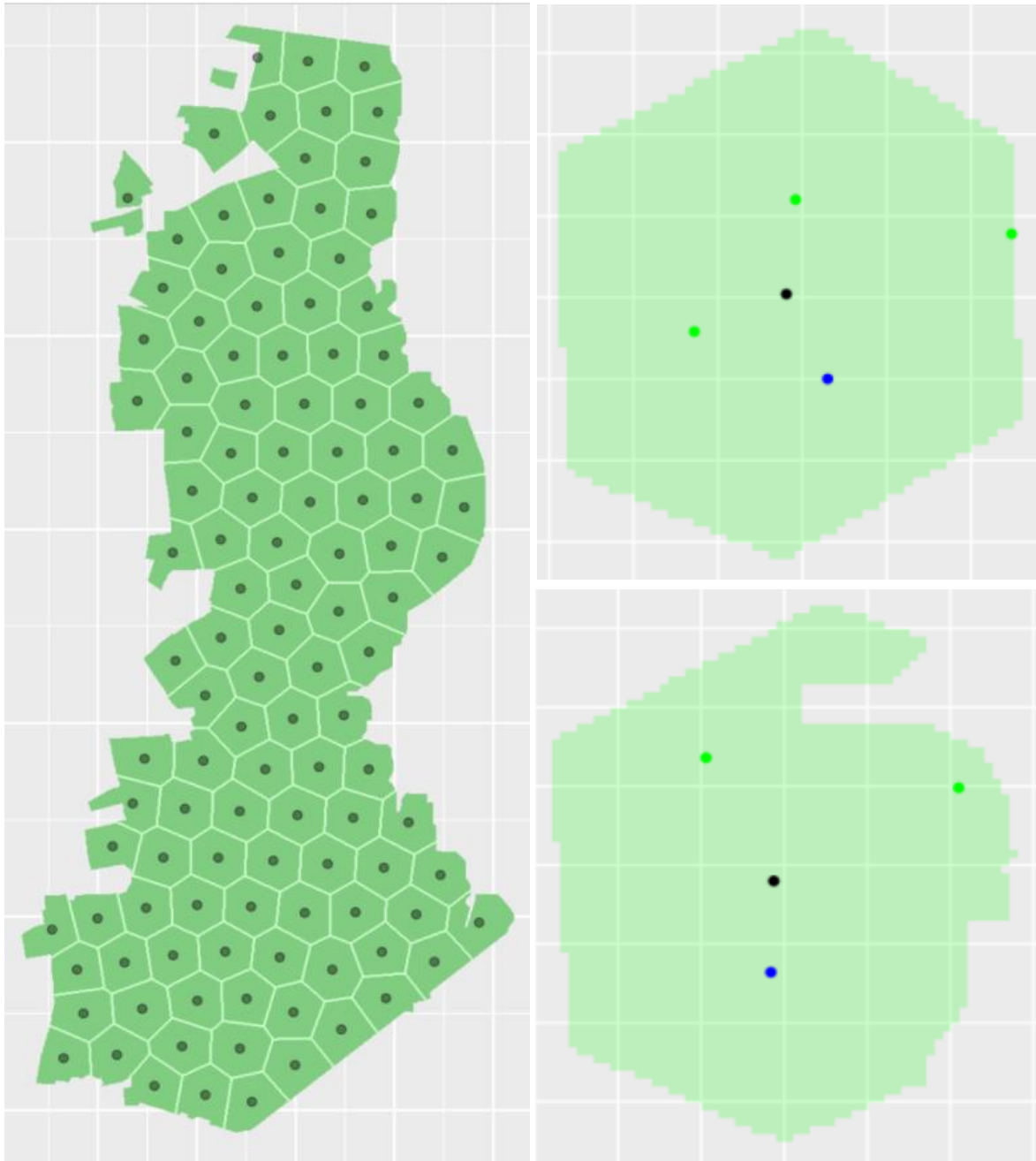
sampling'-methode (Walvoort et al., 2010). Met deze aanpak worden de boringen ruimtelijk gelijkmatig over het onderzoeksgebied verdeeld, onafhankelijk van de bestaande kaartvlakken. Hiervoor is het onderzoeksgebied verdeeld in 116 geostrata en vervolgens is binnen elk geostratum de boring geselecteerd die het dichtst bij het zwaartepunt van het geostratum ligt (zie figuur 2.3). De 116 aldus geselecteerde boorpunten zijn gebruikt om de inhoud van de kaartvlakken te bepalen. Dat betekent dat de bodemcode en de GHG en GLG van de kaartvlakken zijn aangepast wanneer deze niet overeenkomen met de boring(en). Dit kan dus leiden tot het splitsen en samenvoegen van de oorspronkelijke kaartvlakken (uit scenario B).

Hierbij komen verschillende situaties voor:

- Er liggen geen (geselecteerde) boorpunten in het kaartvlak. De inhoud van het kaartvlak is dan niet aangepast.
- Er ligt één gekozen boorpunt in het kaartvlak. De GHG, GLG en bodemcode worden (indien nodig) aangepast aan de hand van de boorbeschrijving.
- Er liggen in het kaartvlak twee boringen. Wanneer deze twee boringen vergelijkbaar zijn, wordt de inhoud van het kaartvlak hiermee in overeenstemming gebracht. Wanneer deze twee boringen verschillend zijn, maar één ervan komt overeen met de originele inhoud van het vlak, dan wordt de inhoud van het vlak niet aangepast.
- Er liggen meerdere boringen in het kaartvlak. Het meest voorkomende bodemtype bepaalt de bodemcode van het kaartvlak. Wanneer in een bodemvlak boringen voorkomen met leemarm en zwak lemig zand, dan wordt de bodemcode van het vlak gekoppeld aan de leemklasse 'leemarm en zwak lemig' (0-17,5% leem). Wanneer in een bodemvlak boringen voorkomen met zwak lemig en sterk lemig zand, dan wordt de bodemcode van het vlak gekoppeld aan de leemklasse 'lemig' (10-50% leem).
- De GHG en GLG worden aangepast door de mediaan uit de boorbeschrijvingen te bepalen (afgerond op 5 cm). We kiezen voor de mediaan, omdat de invloed van eventuele uitschieters dan geringer is. Hier kan echter van worden afgeweken wanneer een apart vlakje (van ten minste 5 ha groot) kan worden onderscheiden met afwijkende GHG, GLG en/of bodemcode.
- Een boring komt niet overeen met de beschrijving van het kaartvlak, maar wel met de beschrijving van het naastliggende kaartvlak. In dit geval wordt het naastliggende kaartvlak uitgebreid, zodat de boring in het naastliggende kaartvlak komt te liggen.

Het aanpassen van de kaartvlakken aan de hand van profielbeschrijvingen kan een grote invloed hebben op de inhoud van de kaartvlakken. Vooral de GHG en GLG kunnen veranderen. Het gevolg hiervan kan zijn dat de aansluiting van verschillende bodem- en Gt-vlakken veldbodembkundig gezien niet meer 'logisch' is en dus aangepast moet worden. Daarnaast kunnen naast elkaar liggende vlakken in dezelfde Gt-klasse blijken te vallen, waardoor deze kunnen worden samengevoegd. In sommige gevallen worden vlakken opgesplitst en vervolgens weer deels samengevoegd met een ander vlak. Het kaartvlak schuift dan op.

Ten opzichte van scenario B is het mogelijk dat er grondsoorten (deels) uit het onderzoeksgebied verdwijnen of juist verschijnen. Niet alle 'afwijkende' boringen zullen leiden tot een nieuw kaartvlak. Als de bodemfysische eigenschappen van de afwijkende boringen vergelijkbaar zijn met de eigenschappen van de andere boringen in het kaartvlak, dan wordt er geen apart kaartvlak onderscheiden. Bovendien zijn de kaartvlakken in dit scenario minimaal 5 ha groot.



**Figuur 2.3** Links: de 116 geostrata met hun zwaartepunten. De geostrata zijn onafhankelijk van de bestaande bodemkaartvlakken. Rechterfiguren: twee voorbeelden van een geostratum met in het zwart het zwaartepunt, in het blauw de gekozen boring (= dichtstbijzijnde boring) en in het lichtgroen de overige beschikbare boringen in het geostratum.

#### 2.3.4 Gerichte kartering 1:40.000 (ongeveer 1 boring per 7 ha) [D]

Scenario D (Gerichte kartering 1:40.000) is gebaseerd op scenario B en vult dit scenario aan met veldinformatie in de vorm van beschreven boringen en de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging (figuur 2.2).

Bij dit scenario wordt, net als bij scenario C, 25% van de boringen (116) toegevoegd om de bodemkaart van scenario B te verbeteren. De toegevoegde boringen worden nu echter op basis van 'expertkennis' van de bodemkarterder gekozen. Daarbij wordt een aantal randvoorwaarden gehanteerd:

- In ieder onderscheiden kaartvlak komt ten minste één beschreven boring te liggen. De inhoud van alle vlakken wordt op deze manier bepaald door veldwaarnemingen. Met deze randvoorwaarde zijn bij dit scenario 45 boringen gebruikt.

- Aan grote kaartvlakken worden meer boringen toegekend: voor elke 20 ha één extra boring. Met deze randvoorwaarde zijn bij dit scenario 27 boringen gebruikt.
- Aan kaartvlakken, waarvoor veel verlaging van de grondwaterstand is gemodelleerd als gevolg van de grondwaterwinning, worden extra boringen toegekend: voor elke 50 cm verlaging één extra boring. Met deze randvoorwaarde zijn bij dit scenario 29 boringen gebruikt.
- Vervolgens worden de resterende boringen verdeeld over de vlakken, waarbij de meeste waarnemingen (boringen) worden toegekend aan vlakken waar we meer droogteschade verwachten (bijvoorbeeld gronden met een dunne bewortelbare zone). Vlakken waar we minder droogteschade (bijvoorbeeld gronden met een hoge actuele grondwaterstand) verwachten, krijgen minder aandacht. Voor deze randvoorwaarde zijn bij dit scenario nog vijftien boringen te kiezen.

#### *Verwachte droogteschade*

Er kan niet zomaar vooraf (dus vóór het veldonderzoek ter plekke) een goede inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid verwachte droogteschade, omdat de hydrologische situaties met en zonder de grondwaterwinning dan nog niet bekend zijn. De hydrologische situatie zonder de grondwaterwinning wordt berekend aan de hand van de actuele hydrologische situatie in het veld plus de (gecorrigeerde) gemodelleerde grondwaterstandverlaging.

Voordat de kartering in het veld ter plekke is uitgevoerd, kennen we echter de actuele hydrologische situatie nog niet goed en moeten we dus uitgaan van scenario B. Daarnaast kunnen we pas na de kartering in het veld vaststellen hoeveel de gemodelleerde grondwaterstandverlaging gecorrigeerd moet worden voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen. De (ongecorrigeerde) gemodelleerde grondwaterstandverlaging kunnen we wel als grove indicator gebruiken voor de te verwachten droogteschade. In zijn algemeenheid zal de kans op droogteschade toenemen als de grondwaterstand meer verlaagd wordt door de grondwaterwinning. De karterstrategie kan dus goed worden bepaald aan de hand van de verwachte verlaging: waar een grote gradiënt in de verlagingskegel aanwezig is, kunnen ook grote verschillen in droogteschade optreden. Dit zijn de gebieden waar de extra te verdelen boringen gebruikt moeten worden om de bodemkundige en actuele hydrologische situatie zo goed mogelijk in beeld te krijgen.

Daarnaast is bekend dat bij bepaalde bodemtypen (bijvoorbeeld veldpodzolen) in combinatie met droge grondwatertrappen (VI en droger) er meer droogteschade te verwachten is dan bij bijvoorbeeld sterk lemige enkeerdgronden. De tabelfunctie van WWL (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018) is als hulpmiddel gebruikt om te bepalen wat de schadegevoelige combinaties zijn.

Bij het vaststellen van de inhoud van de verschillende kaartvlakken wordt op dezelfde wijze gehandeld als beschreven bij scenario C.

### 2.3.5 Gerichte kartering 1:25.000 (ongeveer 1 boring per 3 ha) [E]

Scenario E (Gerichte kartering 1:25.000) is gebaseerd op scenario D en vult dit scenario aan met extra beschreven boringen, waarvan de locaties worden bepaald door de expertkennis van de karteerder. In dit scenario wordt de helft (232) van het totaal aantal boringen van de gangbare detailkartering gebruikt. De extra boringen (ten opzichte van scenario D) worden volgens de volgende strategie verdeeld:

- Een deel van de extra boringen (ten opzichte van scenario D) wordt gebruikt om de bodemgesteldheid te verifiëren in gebieden die volgens de verdelingsstrategie van scenario D, schade-ongevoelige bodem-/Gt-combinaties hebben.
- De meerderheid van de boringen wordt geplaatst in de vlakken met de meeste gemodelleerde grondwaterstandverlaging, met als doel de bodem- en Gt-kaartvlakken van scenario D zo 'zuiver' mogelijk te maken. Wanneer een kaartvlak (uit scenario D) boringen met verschillende bodemcodes en/of Gt's bevat, worden er extra boringen in dit kaartvlak gekozen om het kaartvlak zo zuiver mogelijk op te delen. De minimale grootte van een kaartvlak is 3 ha, omdat er per 3 ha minimaal 1 boring beschikbaar is.

Bij het vaststellen van de inhoud van de verschillende kaartvlakken wordt op dezelfde wijze gehandeld als beschreven bij scenario C.

### 2.3.6 Gangbare kartering 1:10.000 (1 boring per ha) [F]

Scenario F (Gangbare kartering, schaal 1:10.000) is de reeds uitgevoerde gangbare detailkartering waarbij per hectare minimaal één keer geboord is. Niet al deze boringen zijn volledig beschreven. Er zitten ook zogenaamde 'tussenboringen' bij, waarbij de belangrijkste informatie van een boring is genoteerd. Karteerders gebruiken tussenboringen, wanneer een boring in essentie hetzelfde is als een naastgelegen volledig beschreven boring. Tussenboringen liggen dus in een vlak, waarvoor ook minimaal één volledig beschreven boring beschikbaar is. Voor de uitwerking met de TCGB-methode dan wel WWL zijn namelijk volledig beschreven boringen nodig. Dit scenario dient in deze vergelijkende studie als referentie (de 'werkelijke', actuele situatie).

Bij scenario F maken we dus gebruik van alle boringen (464) en van alle kaartvlakken, zoals deze door de veldbodemkundigen/karteerders in het onderzoeksgebied zijn vastgesteld.

### 2.3.7 Gecorrigeerde grondwaterstandverlaging

Cruciaal voor een goede bepaling van de opgetreden droogteschade is inzicht in de grondwatersituatie voor en na de grondwaterwinning. Bij een kartering wordt de actuele hydrologische en bodemkundige situatie vastgelegd. In gebieden met grondwaterwinningen komt dat overeen met de grondwatersituatie na winning. Met een hydrologisch model kan de grondwaterstandverandering berekend worden, die het gevolg is van de waterwinning. Met behulp van de grondwatersituatie na winning en de grondwaterstandverandering als gevolg van de winning kan de grondwatersituatie vóór winning teruggerekend worden.

Voor in situaties met weerstand biedende lagen kunnen met deze werkwijze onrealistische grondwaterspiegels worden berekend in de situatie voor de grondwaterwinning. Deze onrealistische situaties zijn direct zichtbaar wanneer de grondwaterstanden voor winning (ruim) boven maaiveld worden berekend of wanneer in gebieden met droog ontwikkelde bodemprofielen (xero-gronden) in de situatie voor de grondwaterwinning natschade wordt berekend. Bodenvorming is namelijk een proces dat ook onder invloed staat van de hydrologische situatie en daarmee inzicht verleent in de diepte van de grondwaterspiegel. Het is onwaarschijnlijk dat in xero-gronden voor de grondwaterwinning natschade is opgetreden, aangezien de bodenvorming binnen de duur van de grondwaterwinning niet (helemaal) zal zijn aangepast aan de actuele situatie.

Voor informatie over de aanwezigheid van weerstand biedende lagen maakt het mogelijk om de verlagingkaart van het hydrologisch model te vertalen naar een realistische grondwaterstandverlaging in het freatisch vlak.

ACSG heeft voor elk kaartvlak van scenario F de gemodelleerde grondwaterstandverlaging als gevolg van de waterwinningen van Vitens vastgesteld. Bij enkele kaartvlakken is er echter een groot verschil tussen de grondwaterstandverlaging aan de ene kant van het vlak en de grondwaterstandverlaging aan de andere kant van het vlak. Deze vlakken zijn dan door ACSG onderverdeeld in subvlakken.

Vervolgens heeft ACSG op basis van informatie uit de gangbare detailkartering (de bodemprofielbeschrijvingen) vastgesteld in welke boringen en dus kaartvlakken (van scenario F) er weerstand biedende lagen aanwezig zijn. Voor deze kaartvlakken en boringen is door ACSG de gemodelleerde grondwaterstandverlaging gecorrigeerd conform de methodiek van Massop en Stoffelsen (2017). Per (sub)kaartvlak van F en per boring is dus ook de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging bekend.

#### **Hoe vertalen we de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging die hoort bij een boring, terug naar de verschillende scenario's?**

Met ACSG is afgesproken dat als een bepaalde boring gebruikt wordt in een scenario, ook de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging die aan deze boring gekoppeld is gebruikt wordt in dat scenario. Hiermee is het mogelijk om voor scenario C, D, E en F een kaart met de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging te maken, die gebruikt wordt om de hydrologische situatie vóór grondwaterwinning te berekenen. Omdat de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging gekoppeld is aan een boring en een boring hoort bij een bepaald subvlak en de subvlakken tussen de scenario's kunnen verschillen (zelfs bij gebruik van dezelfde boring), levert dit voor elk scenario een unieke gecorrigeerde grondwaterstandverlagingskaart op.

Bij scenario B wordt geen veldinformatie gebruikt en zijn er dus ook geen boringen beschikbaar. Voor scenario B is de grondwaterstandverlaging dus niet te corrigeren voor aanwezigheid van eventueel aanwezige weerstand biedende lagen. Voor scenario B wordt de gemodelleerde verlagingsskaart van Vitens gebruikt waarbij de GHG en GLG (conform afspraak met ACSG) worden afgekapt op respectievelijk 5 en 75 cm -mv.

### 2.3.8 Berekeningen met Waterwijzer Landbouw

Bij het toepassen van WWL-maatwerk (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018) wordt voor elk kaartvlak een aparte SWAP-WOFOST (SWAP: Kroes et al., 2017; WOFOST: Boogaard et al., 2021) modelberekening uitgevoerd. Een aantal uitgangspunten is hierbij voor alle kaartvlakken gelijk:

- Simulatieperiode: 1990-2020
- Meteorologisch condities: afkomstig van KNMI-weerstation Twente
- Landgebruik: grasland (intensief maaien)
- Berekening: niet van toepassing
- Zoutschade: niet van toepassing

Bodemkundige informatie is per kaartvlak afkomstig van de bodemkaart van Nederland of afkomstig van veldinformatie in de vorm van bodemprofielbeschrijvingen. Van elk kaartvlak van de bodemkaart van Nederland is de laagopbouw bekend. Van elke laag is textuurinformatie (klei-, zand- en siltgehalte), het percentage organische stof en de bulkdichtheid bekend. Aan elke bodemlaag is een bouwsteen van de Staringreeks (Heinen et al., 2020) gekoppeld voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken. De bodemprofielbeschrijvingen uit de detailkartering bevatten per bodemlaag ook informatie over textuur (klei-, zand- en siltgehalte) en het percentage organische stof. Elke laag is ook gekoppeld aan een bouwsteen van de Staringreeks voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken. De bulkdichtheid wordt niet standaard in het veld vastgesteld, maar hiervoor is de gemiddelde dichtheid per bouwsteen van de Staringreeks gebruikt.

Het kan voorkomen dat er meerdere boringen zijn verricht binnen één kaartvlak waarbij de boorbeschrijvingen licht van elkaar verschillen in bodemcode en/of GXG. Bij het toepassen van Waterwijzer Landbouw in dit onderzoek is ervoor gekozen om in deze gevallen de kaartvlakken op te splitsen met behulp van Thiessen-polygonen. Als er in een kaartvlak vijf boringen beschikbaar zijn, dan wordt het kaartvlak dus opgedeeld in vijf subkaartvlakken. Vervolgens is voor elk subkaartvlak een modelberekening met SWAP-WOFOST uitgevoerd met de boorbeschrijving die hoort bij het subkaartvlak. Voor elke gebruikte boring wordt dus een modelberekening uitgevoerd. Bij scenario C en D gaat het om 116 berekeningen, bij scenario E 232 en scenario F 464 shadeberekeningen.

Omdat er niet voldoende tijdreeksen van grondwaterstandbuizen in het gebied beschikbaar zijn (zie bijlage 4), is hydrologische informatie voor de kaartvlakken alleen beschikbaar in de vorm van grondwaterstandkarakteristieken (GHG en GLG). Bij het toepassen van WWL-maatwerk is echter meer detail gewenst over het verloop van de grondwaterstand. In deze studie ontleen we deze informatie uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM versie 4.1.1; Janssen et al., 2020).

De grondwaterstandreeksen uit het LHM worden geschaald naar de grondwaterstandkarakteristieken van het betreffende kaartvlak met de volgende vergelijking:

$$GWS_{veld} = \overline{GxG_{veld}} + (GWS_{LHM} - \overline{GxG_{LHM}}) \frac{dGxG_{veld}}{dGxG_{LHM}}$$

Waarbij subscript *veld* staat voor informatie op basis van de grondboring en het subscript *LHM* staat voor informatie afkomstig van de LHM-simulatie. Verder:

- $GWS$  : grondwaterstand (cm+mv)  
 $\overline{GxG}$  : gemiddelde van de grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (cm+mv)  
 $dGxG$  : dynamiek van de grondwaterstandkarakteristieken

Vooraf in de hoger liggende delen van het studiegebied is er een flinke afwijking geconstateerd tussen de grondwaterstandkarakteristieken verkregen uit veldinformatie en de karakteristieken gesimuleerd met het



LHM. Door aanwezigheid van weerstand biedende lagen worden de hydrologische omstandigheden in de praktijk veel natter ingeschat. In deze gevallen is het niet correct om de grondwaterstandreeksen van het LHM te schalen, omdat ze betrekking hebben op een ander grondwatersysteem dat veel trager reageert. Om dit te voorkomen, zijn er gemiddelde grondwaterstandreeksen gegenereerd per Gt-klasse voor het studiegebied. Op basis van de grondwaterstandkarakteristieken behorende bij een kaartvlak wordt een gemiddelde grondwaterstandreeks geselecteerd waarna deze wordt geschaald. In bijlage 1 is deze procedure nader toegelicht.

De berekende landbouwschade (gewas-opbrengstderving) voor een kaartvlak is het verschil tussen een SWAP-WOFOST-berekening voor de situatie met grondwaterwinning en een berekening voor de situatie zonder grondwaterwinning. De gebruikte bodemschematisatie is in beide situaties voor een kaartvlak gelijk. De gebruikte grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG) verschillen tussen beide situaties. Bij de situatie met grondwaterwinning wordt uitgegaan van de GHG en GLG, die is vastgesteld in het veldonderzoek of afkomstig is van de Gd-kaart. De GHG en GLG zonder grondwaterwinning zijn gelijk aan de GHG en GLG met grondwaterwinning plus de (gecorrigeerde) grondwaterstandverlaging. De gerapporteerde opbrengstderving per kaartvlak is de gemiddelde opbrengstderving over de gehele simulatieperiode.

Gewasopbrengst van grasland kan niet direct vertaald worden naar een economisch effect. Hiervoor dient als tussenstap een vertaling te worden gemaakt van fysieke opbrengstderving naar derving in voedereenheden VEM (voedereenheid melk; g kg<sup>-1</sup>) en DVE (verteerbaar eiwit; g kg<sup>-1</sup>). De derving in voedereenheden zijn vervolgens te vertalen naar een economisch effect (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018).

De voederwaarden voor grasland zijn afhankelijk van het aantal groeidagen en moment van oogsten in het groeiseizoen. Hiervoor hanteren we de volgende formulering voor VEM en DVE:

$$VEM = \alpha_1 + \alpha_2 \left( \frac{365.25 - SD}{SD} \right) \frac{\beta_1}{\beta_2} \left( \frac{GD}{\beta_2} \right)^{\beta_1 - 1} e^{-\left( \frac{GD}{\beta_2} \right)^{\beta_1}}$$

Waarbij:

SD : Start van grassnede (dagnummer) [-]  
 GD : Aantal groeidagen van grassnede [d]  
 $\alpha, \beta$  : Gekalibreerde coëfficiënten

$$DVE = \gamma_1 + \gamma_2 SD + \gamma_3 SD^2 + GD(\delta_1 + \delta_2 SD + \delta_3 SD^2 + \delta_4 SD^3)$$

Waarbij:

SD : Start van grassnede [-]  
 GD : Aantal groeidagen van grassnede [d]  
 $\gamma, \delta$  : Gekalibreerde coëfficiënten

Bij de bovenstaande vergelijkingen wordt een minimaal aantal groeidagen aangehouden van tien dagen. Voor de vertaling van voedereenheden naar economisch effect wordt voor VEM een prijs aangehouden van 0,167 € kVEM<sup>-1</sup> en voor DVE is dat 0,671 € kDVE<sup>-1</sup>.

In een nabewerking (buiten WWL om) is de gemiddelde opbrengstderving per kaartvlak geaggregeerd naar perceel- en bedrijfsniveau volgens de beschikbare landgebruikskaart.

Kaartvlakken met grote wegen, spoorlijnen, open water, grote bedrijventerreinen en nieuwe natuur uit scenario F zijn buiten beschouwing gelaten bij alle scenario's en dus niet doorgerekend met WWL.

#### **Gangbare detailkartering**

Bij de gangbare detailkartering (scenario F) wordt voorafgaand aan het veldonderzoek basisinformatie opgevraagd, verzameld en bekeken. Denk hierbij aan de bodemkaart van Nederland, de topografische kaart, historische topografische kaarten (Bonnekaarten), de AHN, een kaart met gebruikers en grondwaterstandbuizen. Deze fase is het vooronderzoek.

Vervolgens worden de beschikbare grondwaterstandbuizen in het veld beoordeeld en indien nodig worden aanvullende grondwaterstandbuizen bijgeplaatst. Idealiter wordt er ook een aantal referentiemonsters genomen en geanalyseerd. Daarna begint de daadwerkelijke bodemkartering op basis van een ter plekke vastgestelde karterstrategie. Deze karterstrategie is volledig gebaseerd op de expertkennis van de veldbodemkundige. Bij een gangbare detailbodemkartering wordt een boordichtheid gehanteerd van 1 boring per 1 à 2 ha. Als alle veldbodemkundigen klaar zijn met het veldwerk, moeten de kaarten van de veldbodemkundigen samengevoegd worden tot één bodem- en één Gt-kaart. Deze fase noemen we het veldonderzoek.

#### **Alternatieve scenario's**

Tijdens het vooronderzoek voor scenario B, C, D en E is er echter meer onderzoeksinspanning nodig dan bij F, omdat de bodemkaart van het onderzoeksgebied in deze fase aangepast wordt op basis van AHN, de Gd-kaart en eventueel beschikbare grondwaterstandbuizen.

Bij scenario C moeten de boorplekken ruimtelijk gelijkmatig in het onderzoeksgebied verdeeld worden met behulp van 'spatial coverage sampling'-techniek.

De karterstrategie bij scenario D en E is afhankelijk van de grondwaterstandverlagingskaart, die ook tijdens het vooronderzoek gemaakt moet worden. Deze is in de fase van het vooronderzoek nog niet gecorrigeerd voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen, omdat informatie hierover ontbreekt. Die informatie komt pas naar boven tijdens het veldonderzoek.

Bij scenario B, C, D en E is minder onderzoeksinspanning nodig voor het veldonderzoek, omdat er simpelweg minder vaak geboord wordt.

#### **Kosten**

Voor het onderzoeksgebied is per scenario ingeschat wat de kosten zijn voor het vooronderzoek en voor het veldonderzoek. Deze kosten zijn per scenario gesommeerd en gedeeld door de grootte van het onderzoeksgebied om kosten per hectare te krijgen.

De onderzoekskosten bestaan voor het grootste deel uit personeelskosten en voor een kleiner deel uit veldwerktoeslag (reis- en verblijfkosten). De veldwerktoeslag is afhankelijk van het aantal velddagen en daarmee dus evenredig met de personeelskosten voor veldwerk. Overige materiële kosten zijn een relatief kleine post op de begroting.

#### **Uitwerkfase**

Na het vooronderzoek en veldonderzoek moeten de resultaten uitgewerkt worden. De uitwerking is echter afhankelijk van de methode die hiervoor gebruikt moet worden. Traditioneel gezien worden schadeonderzoeken als gevolg van waterwinningen uitgewerkt volgens de TCGB-methodiek (Bouwman, 1990). Het is nu echter ook mogelijk om deze schadeonderzoeken uit te werken met behulp van Waterwijzer Landbouw, wat we tijdens dit onderzoek ook doen. Omdat de uitwerkmethode niet verschilt tussen de scenario's, zijn de kosten en doorlooptijd voor het uitwerken niet meegenomen in de analyse en evaluatie van de scenario's.

Het zal natuurlijk wel zo zijn dat een groter of intensiever onderzocht gebied meer uitwerktijd vergt dan een kleiner of minder intensief onderzocht gebied, maar de uitwerktijd is echter niet proportioneel met de grootte van het gebied of de intensiviteit waarmee het gebied is onderzocht. Relatief gezien kost een kleiner of minder intensief onderzocht gebied uitwerken meer tijd dan een groter of intensiever onderzocht gebied uitwerken, zeker bij een grotendeels geautomatiseerde uitwerkmethode.

---

## Doorlooptijd

In zijn algemeenheid is de doorlooptijd die nodig is voor de verschillende scenario's proportioneel aan de onderzoekskosten. We gaan er hierbij van uit dat het vooronderzoek eerst afgerond moet zijn voordat het veldwerk begint.

De doorlooptijd van met name het veldwerk is in te korten door met meer veldbodemkundigen (van verschillende bedrijven en instituten) het veldwerk uit te voeren. De doorlooptijd hangt ook af van het feit of veldbodemkundigen exclusief kunnen werken aan het onderzoeksgebied. Dit is echter lastig te sturen, omdat dit afhankelijk is van externe factoren.

### 2.3.10 Kosten-batenanalyse

In de kosten-batenanalyse wordt gekeken hoe de onderzoekskosten van de verschillende scenario's zich verhouden tot de nauwkeurigheid waarmee de schade-uitkering wordt berekend. Scenario F, de gebruikelijke detailkartering schaal 1:10.000, geldt hierbij als referentie.

De schade-uitkeringen per hectare worden berekend op perceelniveau en op bedrijfsniveau en vergeleken met de onderzoekskosten per hectare. Omdat de schade-uitkeringen jaarlijks plaatsvinden, worden deze gekapitaliseerd om ze te kunnen vergelijken met de eenmalige onderzoekskosten. Hierbij gaan we uit van een rente van 2% en een looptijd van 25 jaar:

$$C = b \frac{1 - (1 + r)^{-T}}{r}$$

met  $b$  het jaarlijkse bedrag,  $C$  het gekapitaliseerde bedrag,  $T$  de looptijd van 25 jaar en  $r$  de rente als fractie van 100 (0,02).

Scenario F vergt het meeste werk en is daarom het 'duurst', de andere scenario's vergen minder inspanning en zijn dus 'goedkoper'. Het verschil in (onderzoeks)kosten ten opzichte van scenario F beschouwen we als baten in de kosten-batenanalyse:

$$B_x = K_F - K_x$$

met  $K_x$  de kosten in € per hectare van scenario  $x$  (B, C, D of E) en  $K_F$  de kosten in € per hectare van referentiescenario F. Een positieve waarde voor  $B_x$  betekent baten, namelijk kostenvermindering ten opzichte van het referentiescenario.

De schades die worden berekend in scenario B, C, D en E zullen afwijken van de schades die worden berekend in scenario F. Deze afwijkingen beschouwen we als verlies aan nauwkeurigheid ten opzichte van referentiescenario F en zijn kosten in de kosten-batenanalyse:

$$E_{x,i} = S_{x,i} - S_{F,i}$$

met  $S_{x,i}$  de berekende schade in € per hectare bij scenario  $x$  (B, C, D of E) voor bedrijf of perceel  $i$  en  $S_{F,i}$  de berekende schade volgens referentiescenario voor bedrijf of perceel  $i$ . Een negatieve waarde voor  $E_{x,i}$  betekent in dit onderzoek overschatting van de schade ten opzichte van scenario F, een positieve waarde betekent onderschatting.

Per perceel en per bedrijf wordt het verschil in berekende schade-uitkering ten opzichte van het referentiescenario F berekend in € per hectare. De frequentieverdeling van verschillen wordt grafisch weergegeven in histogrammen.

---

Als verondersteld wordt dat over- en onderschatting van schade een gelijk gewicht hebben, kan ermee volstaan worden de absolute verschillen te analyseren. De verschillen worden samengevat met de mediaan van de absolute verschillen (MedAE) en het maximale absolute verschil (MaxAE). Deze maten worden vervolgens vergeleken met de verschillen in onderzoekskosten in € per hectare ten opzichte van het referentiescenario F.

Als het principe wordt gehanteerd dat onderschatte schade te allen tijde volledig moet worden gecompenseerd, dan is de positiefste waarde van  $E_{x,i}$  van belang:

$$O = \max(E_x)$$

met  $O$  de maximaal benodigde overcompensatie voor onderschatte schade. MedAE, MaxAE en  $O$  als maten voor de kosten worden vervolgens vergeleken met het verschil in kosten per hectare ten opzichte van referentiescenario F.

---

## 3 Resultaten

### 3.1 Vlakkenkaarten

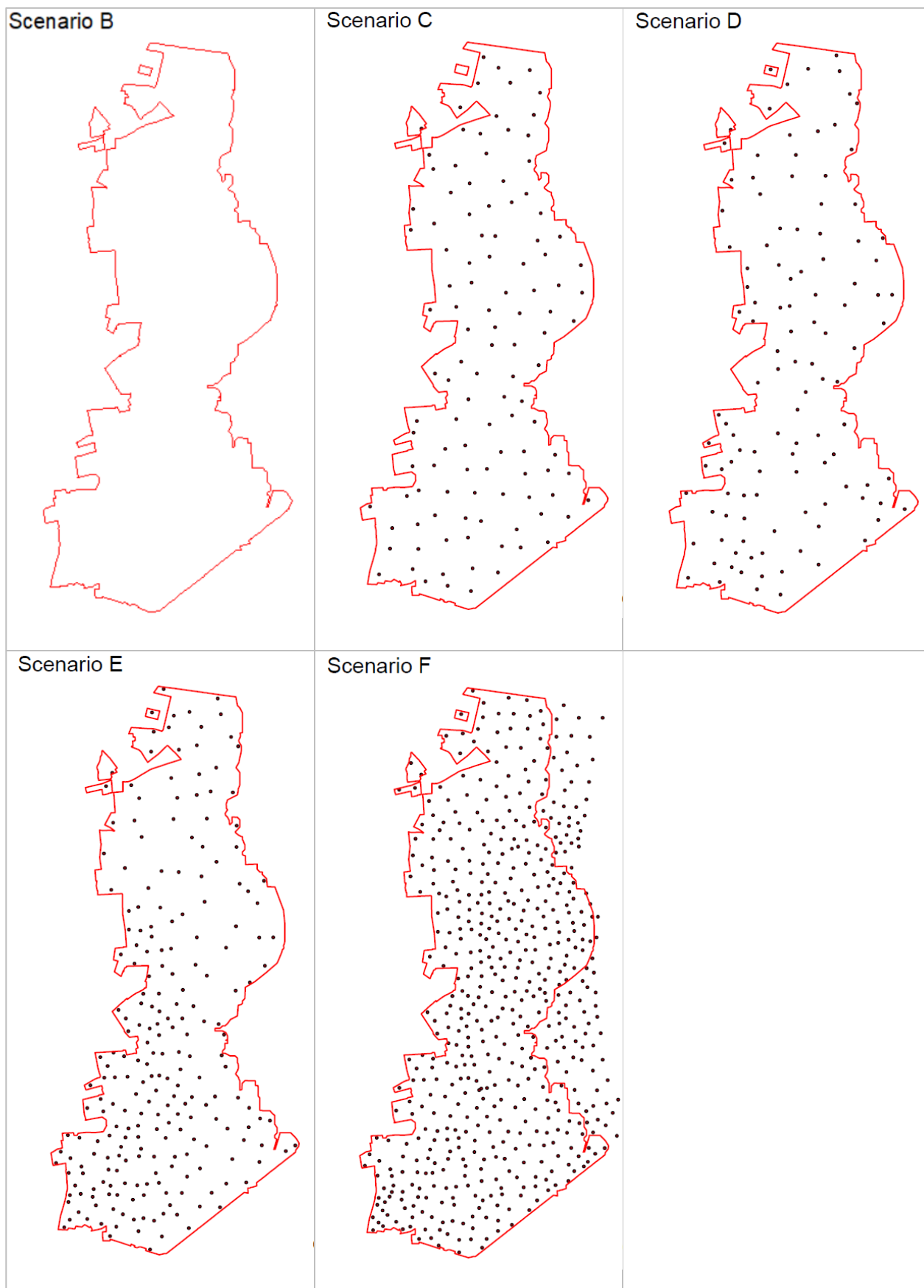
#### 3.1.1 Kaarten met boorpunten

Voor elk scenario zijn de gebruikte boorpunten weergegeven in figuur 3.1. Bij scenario B zijn geen boorpunten gebruikt.

Bij scenario C en D worden 116 boorpunten gebruikt. De boorpunten zijn bij C ruimtelijk gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied. Bij scenario D zijn de boorpunten gekozen op basis van expertkennis volgens een aantal randvoorwaarden en een inschatting van de verwachte droogteschade. Er zijn dan ook meer boorpunten zichtbaar in het zuidwesten van het gebied (nabij het pompstation).

Bij scenario E zijn 232 boorpunten gebruikt. Naast de boorpunten van D zijn er nog 116 boorpunten toegevoegd. Beginnend bij de vlakken met de meeste gemodelleerde grondwaterstandverlaging, worden de extra boorpunten (ten opzichte van D) gebruikt om de bodem- en Gt-kaartvlakken van scenario D zo 'zuiver' mogelijk te maken. Bij E zijn er duidelijk meer boorpunten zichtbaar in het zuidwestelijke gedeelte van het onderzoeksgebied.

Bij scenario F liggen er 464 boorpunten in het onderzoeksgebied (rode lijn). Ook bij F zijn de boorpunten ruimtelijk gezien redelijk gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied. Daarmee is scenario F enigszins vergelijkbaar met scenario C, alleen is de boordichtheid vier keer zo hoog. Buiten het onderzoeksgebied liggen bij F ook nog boorpunten, die in een beperkt aantal gevallen gebruikt worden om een vlak aan de rand van het onderzoeksgebied te karakteriseren.



**Figuur 3.1** Per scenario zijn de gebruikte boringen weergegeven. Bij scenario B worden geen boringen gebruikt, bij scenario C en D 116 boringen, bij E 232 boringen. Bij scenario F liggen 464 boringen in het onderzoeksgebied (rode lijn). Daarnaast liggen er bij F nog boringen buiten het onderzoeksgebied, die in een aantal gevallen gebruikt worden voor vlakken aan de rand van het onderzoeksgebied.

---

### 3.1.2 Bodemkaarten

Figuur 3.2 toont de bodemkaarten als resultaat van de verschillende scenario's. De bodemvlakken van scenario B zijn bijna dezelfde als op de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Bij scenario B is de bodemkaart op een aantal plekken aangepast op basis van de landschapsvormen, die we afleiden van het AHN.

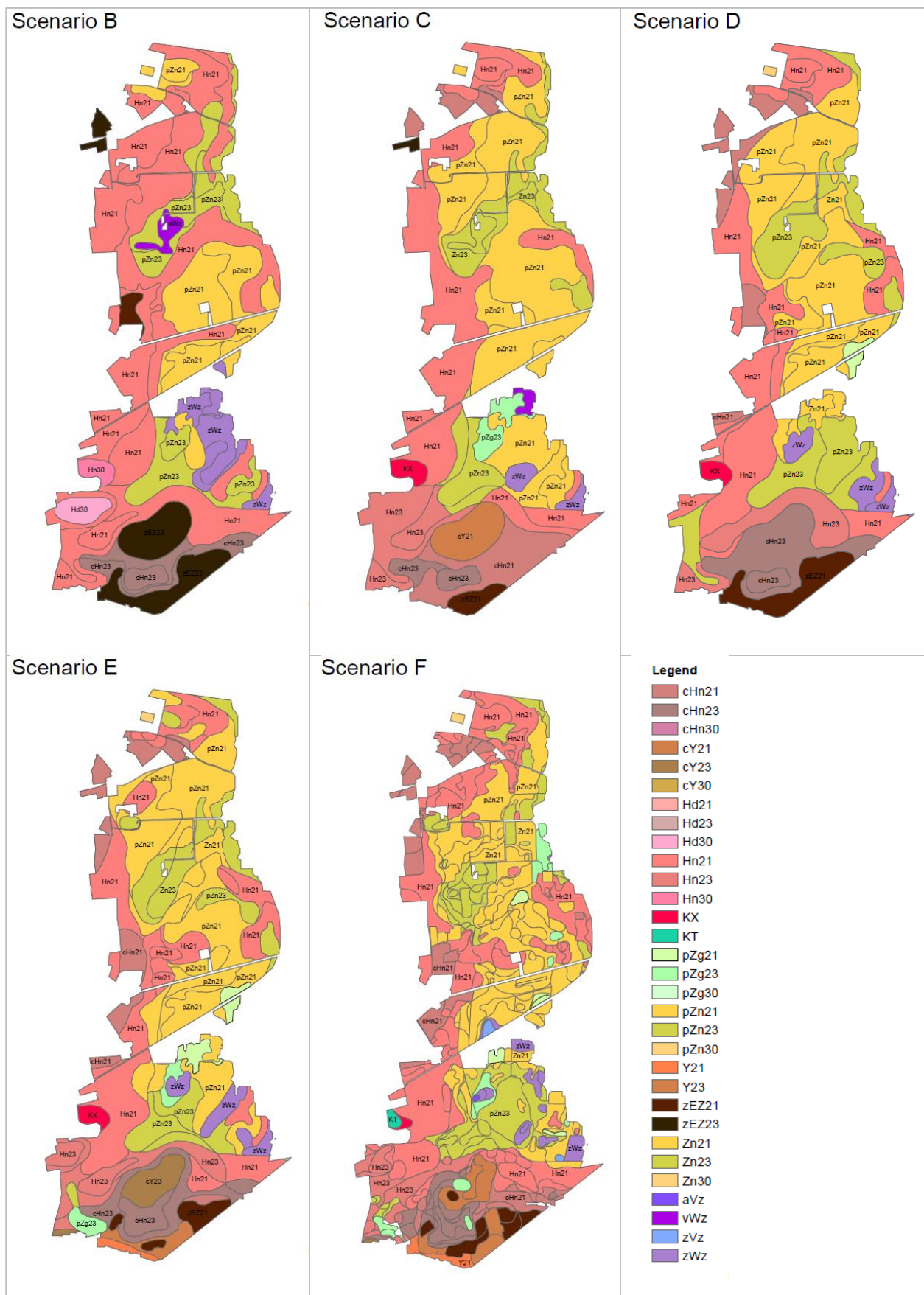
Door profielbeschrijvingen (boorpunten) aan de bodemkaart toe te voegen, veranderen de vorm en inhoud van de bodemvlakken. Er komen bodemtypes bij (bv. Y21, pZg23, KX) en er verdwijnen bodemtypes (bv. zEZ23).

In scenario C en D zijn evenveel boorbeschrijvingen toegevoegd aan de bodemkaart van scenario B, maar doordat de keuze van de locaties van de boorpunten verschillend is, is ook het kaartbeeld anders. Het totaal aantal bodemeenheden verandert ook, op de bodemkaart van Nederland en bij scenario B zijn dit er 10 in dit onderzoeksgebied, bij scenario C 15 en bij scenario D 12. Het aantal bodemeenheden neemt toe wanneer er nog meer boringen aan de kaart worden toegevoegd. Bij scenario E zijn er 17 bodemeenheden, bij scenario F zijn het er 20.

Opvallend is dat in een bepaald deel van de bodemkaart er relatief veel verandering optreedt van bodemtypes. In het zuidelijke deel van het gebied verdwijnt een groot areaal aan dikke eerdgronden (enkeerdgronden) en het areaal moerige gronden lijkt af te nemen en meer versnipperd te raken met een toename in de boordichtheid. Men dient zich te realiseren dat de bodemkaart in het onderzoeksgebied (broninformatie voor scenario B) gemaakt is in de jaren tachtig van de vorige eeuw, terwijl de detailkartering in 2016 uitgevoerd is. Het is bekend dat het areaal veengronden en moerige gronden sinds de eerste opname voor de bodemkaart door krimp en oxidatie is afgenomen (De Vries e.a., 2014). De dikte van de humushoudende bovengrond en het voorkomen van moerige lagen in het bodemprofiel is van invloed op de verwachte droogteschade.

In een groot deel van het gebied, vooral in het midden, zijn de veranderingen echter relatief gering. Hier komen voornamelijk veldpodzol- en gooreerdgronden voor en een verschuiving tussen deze twee bodemtypes heeft weinig effect op de verwachte droogteschade.

Bij de nieuwe aanpak (de stapsgewijze verfijning) worden de patronen op de kaarten grotendeels bepaald door de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Veel van deze patronen blijf je terugzien bij scenario C, D en E. Bij de gangbare detailkartering (scenario F) wordt begonnen met een 'blanco' kaart, waardoor de patronen/vormen van de kaartvlakken veel meer worden ingegeven door de veldwaarnemingen. Bij een veldopname zou, ook met een nieuwe aanpak, extra informatie uit het veld kunnen worden gebruikt, die nu bij deze desk study niet bij de kaartenmaker beschikbaar is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan waarnemingen van de vegetatie, aanwezige structuurproblemen in de bodem, gebiedskennis van grondgebruikers die opgehaald wordt tijdens gesprekken met boeren en tussenboringen.



**Figuur 3.2** Voor elk scenario is de resulterende bodemkaart weergegeven. Voor de gebruikte codering wordt verwezen naar Ten Cate et al. (1995).



### 3.1.3 Gt-kaarten

Figuur 3.3 toont de grondwatertrappenkaarten van scenario B t/m F. Aan de kaartvlakken van de bodemkaart van Nederland zijn grondwaterkarakteristieken toegekend op basis van de kaart van de grondwaterdynamiek (scenario B). Vervolgens is bij het toevoegen van boorpuntinformatie de grondwatertrap van een kaartvlak aangepast aan de grondwatertrap volgens het boorpunt of de boorpunten.

Wanneer er meer boorpuntinformatie wordt toegevoegd, veranderen niet alleen de vorm en grootte van de vlakken, maar verandert ook het aantal Gt-klassen. Bij scenario B zijn 9 Gt-klassen in het onderzoeksgebied onderscheiden, bij scenario C 10, bij scenario D 11, bij scenario E 12 en bij scenario F zijn er 13 Gt-klassen in het onderzoeksgebied onderscheiden.

Opvallend is dat de variatie in grondwatertrappen ten opzichte van scenario B lijkt toe te nemen wanneer er boorbeschrijvingen worden gebruikt: er ontstaan (vooral in de zuidelijke helft) meer gebieden met een heel droge Gt (o.a. VII's en VIII's) en (vooral in de oostelijke helft) meer gebieden met een natte Gt (o.a. II's en III's). Tussen scenario B en de daaropvolgende scenario's komen de meeste verschillen voor.

De toegekende grondwatertrap volgens de kaart van de grondwaterdynamiek wijkt in een aantal gevallen sterk af van de grondwatertrap die toegekend wordt op basis van de boorpuntinformatie (zie verschil tussen scenario B en C en tussen B en D). Een kaartvlak met Gt II in scenario B wordt in scenario C en D een Gt V en verandert bij de volgende scenario's slechts minimaal. In het noorden van het onderzoeksgebied komen bij scenario B kaartvlakken voor met Gt V. Deze kaartvlakken veranderen in Gt II en III in scenario's C en D waar profielbeschrijvingen zijn toegevoegd.

In het midden ligt in scenario B een kaartvlak met Gt V, die in scenario C droger wordt (Gt VI), maar bij scenario D, E en F natter wordt geclassificeerd. Het natte gebied (Gt III) dat scenario B weergeeft in het oosten van het gebied, komt ook in de andere scenario's terug. Opvallend hierbij is dat de omvang van de nattere gronden bij de andere scenario's met veldwaarnemingen groter is dan in scenario B.

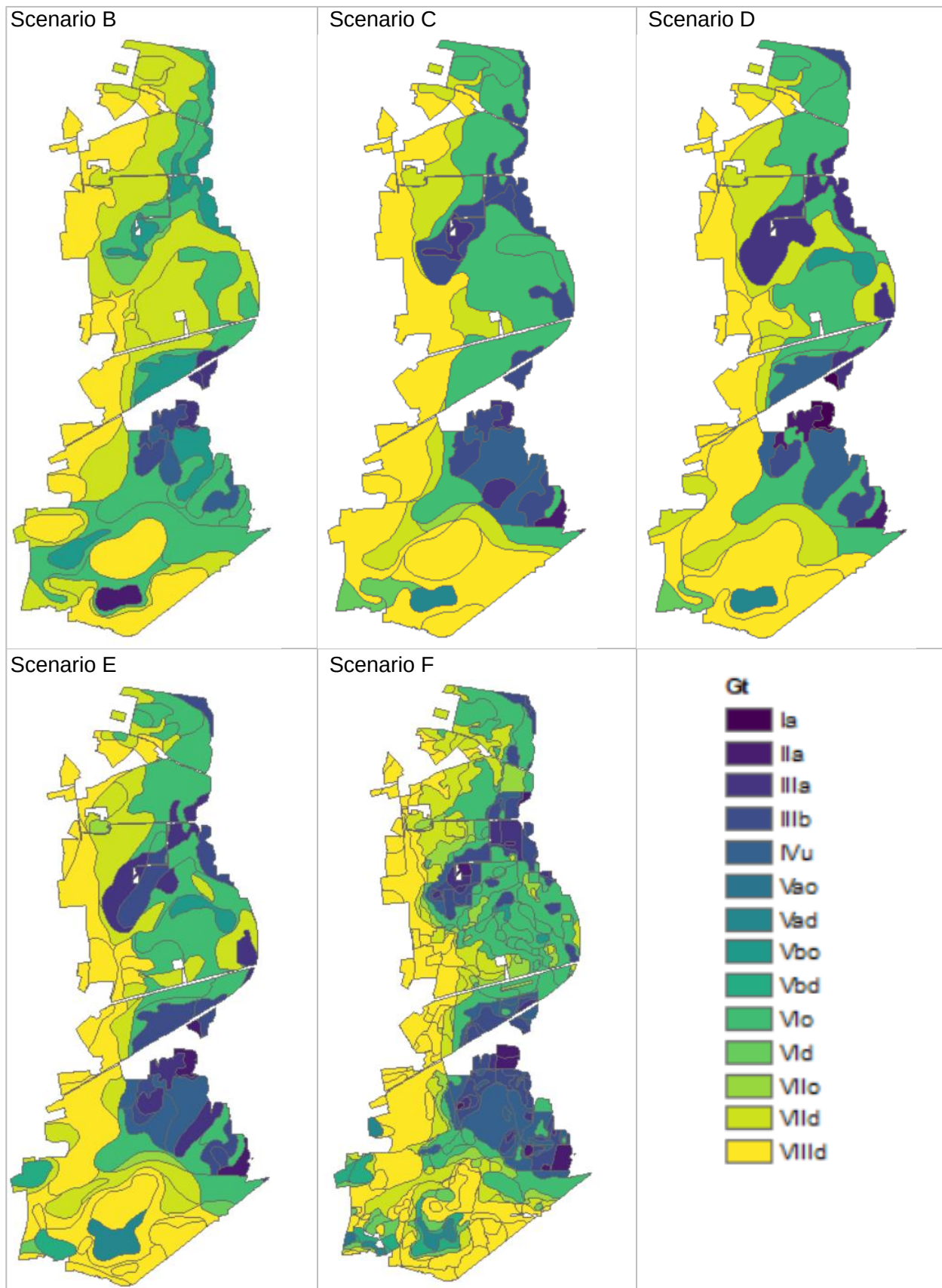
Scenario's C en D gaan beide uit van scenario B, maar voegen veldinformatie (ieder op een eigen manier) toe. Het is opvallend om te zien dat het toevoegen van veldinformatie (profielbeschrijvingen) zulke grote veranderingen in de Gt-kaart tot gevolg hebben. Bij C en D zijn ten opzichte van B veel meer nattere én drogere vlakken.

Bij het toevoegen van hetzelfde aantal boorpunten (116) bij C en D krijgen we toch twee verschillende Gt-kaarten. Bij C zijn de boringen gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied. Bij D zijn de boringen veel meer uitgekozen op basis van verwachte droogteschade. In de buurt van het pompstation (zuidwesten) zijn de verschillen tussen C en D relatief klein. De vorm van de vlakken komen op het eerste gezicht grofweg met elkaar overeen, al zijn er op detailniveau toch wel duidelijke verschillen. Bij D zijn de vormen 'verfijnder' uitgevoerd, omdat hier nou eenmaal meer boringen liggen dan bij C. In de noordelijke helft van het gebied zijn de verschillen tussen C en D veel groter. Er komen dan patronen tevoorschijn die bij het andere scenario ontbreken. Het lijkt erop dat variatie in Gt op korte afstand van invloed is geweest op de toekenning van een Gt aan bepaalde kaartvlakken. Met andere woorden: als de Gt van de gebruikte boring wat anders is dan die van de naastgelegen boring die niet gebruikt is, dan kun je óf de ene óf de andere Gt krijgen. Als je zo weinig boringen gebruikt, dan vertegenwoordigt elke boring relatief gezien een groot oppervlak en dus leiden verschillen in boorinformatie dan tot grote oppervlakten met verschillen.

Bij scenario E zien we op het eerste gezicht dezelfde patronen/vormen als bij scenario D, maar zijn de patronen nog verfijnder, omdat er twee keer zo veel boringen ter beschikking waren. Het areaal nattere gronden neemt bij E ook duidelijk toe ten opzichte van bij D. Verder valt op dat in het zuidwesten (in de buurt van het pompstation) bij E een aantal vlakken met Gt V ontstaan, die bij D nog duidelijk Gt VI of droger waren.

Ten opzichte van scenario E worden bij scenario F twee keer zo veel boringen gebruikt. Bij scenario F zie je dan ook veel meer verfijndere patronen dan bij scenario E. Bovendien zie je bij scenario F veel meer versnippering van kaartvlakken optreden. Her en der in het gebied komen kleine eilandjes voor met een andere Gt dan hun omgeving. Het zal voor percelen en bedrijven natuurlijk uitmaken of deze net wel of net niet op zo'n eiland liggen.

In deze paragraaf presenteren we de Gt-kaarten, maar eigenlijk gebruiken we in dit onderzoek, met name bij de modelberekeningen met Waterwijzer Landbouw, de GHG- en GLG-kaarten. De Gt-kaarten zijn het resultaat van de GHG- en GLG-kaarten. Vlakken met dezelfde Gt kunnen dus verschillende GHG- en GLG-waarden hebben.



**Figuur 3.3** Voor elk scenario is de resulterende Gt-kaart weergegeven. Voor de gebruikte codering wordt verwezen naar Ten Cate et al. (1995).

---

### 3.1.4 Bodem- en Gt-vlakken

De combinatie van bodem- en Gt-vlakken resulteert bij de verschillende scenario's in het volgende aantal unieke vlakken:

- Scenario B: 45
- Scenario C: 41
- Scenario D: 49
- Scenario E: 89
- Scenario F: 332

Een afname van het aantal kaartvlakken treedt op wanneer naast elkaar liggende kaartvlakken dezelfde inhoud hebben en daarom worden samengevoegd. Een toename van het aantal kaartvlakken treedt op wanneer boringen afwijkend van elkaar zijn in grondwatertrap en/of bodemopbouw.

De manier waarop de (beperkt) beschikbare boorpunten over het gebied worden verdeeld, heeft invloed op het kaartbeeld. Bij scenario D, waar de boringen volgens expertkennis worden verdeeld (ten opzichte van een gelijkmatige verdeling bij scenario C), neemt het aantal kaartvlakken en het aantal onderscheiden Gt-klassen toe, maar daalt het aantal gebruikte bodemklassen. Die daling komt mogelijk omdat nabij het pompstation veel meer boringen zijn gebruikt om de patronen te verfijnen. Die verfijning leidt in dit onderzoek tot verfijning van de Gt-vlakken, maar niet tot een verfijning van de bodemvlakken. Als boringen relatief dicht bij elkaar liggen, is de kans groter dat het type bodem hetzelfde is.

Als er nog meer boorpunten gebruikt worden, neemt het aantal unieke vlakken verder toe. Van scenario D naar E levert de verdubbeling van het gebruikte aantal boringen 80% meer unieke vlakken op. Op de gangbare detailbodemaankart is het aantal unieke kaartvlakken nog vele malen groter. Op deze kaart zullen veel kaartvlakken geclassificeerd zijn op basis van één boorput. De vorm van de kaartvlakken is hierbij door de karteerder in het veld gebaseerd op alle beschikbare informatie, onder andere boorbeschrijvingen, tussenboringen, vegetatiewaarnemingen, structuurverschillen, landschapsvormen en gebiedskennis van grondgebruikers.

### 3.1.5 Kaartvlakken en subkaartvlakken

Bodem- en/of Gt-kaartvlakken kunnen bestaan uit meerdere boringen, die op basis van de boorinformatie in hetzelfde kaartvlak terecht zijn gekomen. Dit betekent echter niet dat alle boringen tot dezelfde klasse behoren als het kaartvlak. Er kunnen boringen bij zitten die in een andere klasse horen dan het kaartvlak aangeeft, maar waarvan de kaartenmaker beoordeeld heeft dat ze toch bij dit grotere kaartvlak horen. De kaart is immers een model, een generalisatie van de werkelijkheid en de vlakken hebben daardoor een bepaalde zuiverheid: een fractie correct geclassificeerd, die alleen bij de perfecte bodemaankart gelijk is aan 1 voor alle vlakken. De boringen geven weliswaar informatie over de mate van zuiverheid van de kaartvlakken waarin zij liggen, maar deze is vertekend, omdat de boringen zijn gebruikt bij de afgrenzing van die kaartvlakken. Voor een objectieve schatting van de kaartzuiverheid is een additionele, onafhankelijke validatiesteekproef nodig.

Bij de WWL-berekeningen wordt echter niet gerekend met de kaartvlakken uit figuur 3.2 en 3.3, maar met subkaartvlakken. Aan elke gebruikte boring binnen een kaartvlak met meerdere boringen is een subkaartvlak toegekend met behulp van Thiessen-polygonen. Voor elk subkaartvlak en dus elke boring wordt een aparte WWL-berekening uitgevoerd. Hierbij wordt de informatie gebruikt van de boring en niet de informatie van het grotere kaartvlak waartoe de boring behoort. In het geval van een boring met een afwijkende classificatie ten opzichte van het kaartvlak kan dit dus andere informatie zijn dan van het grote kaartvlak, waarbij de boring volgens de karteerder hoort.

In figuur 3.3 staat de Gt-informatie van de kaartvlakken per scenario. In bijlage 2 (bovenste rij) is per scenario weergegeven met welke GHG en GLG de WWL-berekeningen uitgevoerd zijn voor de situatie met waterwinning. Laatstgenoemde GHG en GLG zijn dus afkomstig van de gebruikte boringen en kunnen dus afwijken van het Gt-vlak uit figuur 3.3. Een voorbeeld hiervan is te zien bij scenario C. In figuur 3.3 is bij scenario C halverwege het onderzoeksgebied rond de bovenste schuine weg een groot VIO-vlak te zien. In figuur B2.2 (van bijlage 2) zijn bij de GHG- en GLG-kaarten op dezelfde plek duidelijk meerdere polygonen te

---

zien met verschillende kleuren, oftewel verschillende GHG- en GLG-waarden. De getallen in deze polygonen zijn afkomstig van de gebruikte boringen. Te zien is dat in het grote VIo-vlak uit figuur 3.3 (scenario C) meerdere afwijkende boringen liggen, o.a. een blauwig vlak (GHG = 0.2–0.4 m-mv., i.c. resulterend in Gt Vbo) en een lichtroze vlak (GHG = 0.8–1.0 m-mv, i.c. resulterend in Gt VIIo). In paragraaf 3.2.4 wordt geïllustreerd welk effect de individuele subkaartvlakken hebben op de berekende schade.

## 3.2 Schadekaarten

De schadekaarten zijn berekend met Waterwijzer Landbouw-maatwerk (WWL). WWL heeft hiervoor invoergegevens nodig. Een groot deel hiervan blijft bij de verschillende scenario's gelijk. Onderscheid tussen de invoer voor de verschillende scenario's zijn vooral:

- de bodemkaarten van de scenario's
- de GHG- en GLG-kaarten (Gt-kaarten) van de scenario's

Hiermee is de langjarige gemiddelde opbrengstderving te berekenen voor de actuele situatie, oftewel de situatie waarbij er water wordt gewonnen. Zie de **Na**-plaatjes in figuur 3.4 tot en met 3.8.

Om ook de opbrengstderving te kunnen berekenen in de situatie vóór waterwinning is er nog een belangrijk type kaart nodig, namelijk:

- de kaarten met de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging (zie bijlage 2).

Uit de GHG- en GLG-kaarten na waterwinning en de kaarten met gecorrigeerde grondwaterstandverlaging zijn GHG- en GLG-kaarten terug te rekenen voor de situatie vóór waterwinning. Hiermee kan dus ook een langjarige gemiddelde opbrengstderving berekend worden. Zie de **Voor**-plaatjes in figuur 3.4 tot en met 3.8.

Opbrengstderving **Voor** minus opbrengstderving **Na** levert de **Verschil**-plaatjes van figuur 3.4 tot en met 3.8 op. De positieve verschilwaarden (groene kleuren) betekenen dat de schade als gevolg van de waterwinning minder wordt. De negatieve verschilwaarden (rode kleuren) betekenen dat de schade als gevolg van de waterwinning toeneemt.

In figuur 3.4 tot en met 3.8 is de totale langjarige gemiddelde opbrengstderving weergegeven (bovenaan). In de middelste rij is de langjarige gemiddelde opbrengstderving als gevolg van droogteschade weergegeven en in de onderste rij de langjarige gemiddelde opbrengstderving als gevolg van natschade.

Per gebruikte boring in een scenario wordt een WWL-berekening uitgevoerd en is dus de opbrengstderving na de WWL-berekeningen bekend.

### 3.2.1 Verlagingskaarten

In de bovenste rij van de figuren van bijlage 2 zijn de grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG) per scenario weergegeven van de situatie na of met waterwinning. De gegevens voor deze karakteristieken zijn gehaald uit de gebruikte boringen. In de onderste rij van bijlage 2 is de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging weergegeven per scenario.

Bij scenario B wordt geen gebruikgemaakt van veldinformatie en kan er dus niet gecorrigeerd worden voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen. De door Vitens gemodelleerde verlaging wordt dus ongecorrigeerd toegepast bij scenario B.

Bij scenario C, D, E en F wordt de gemodelleerde grondwaterstandverlaging wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen.

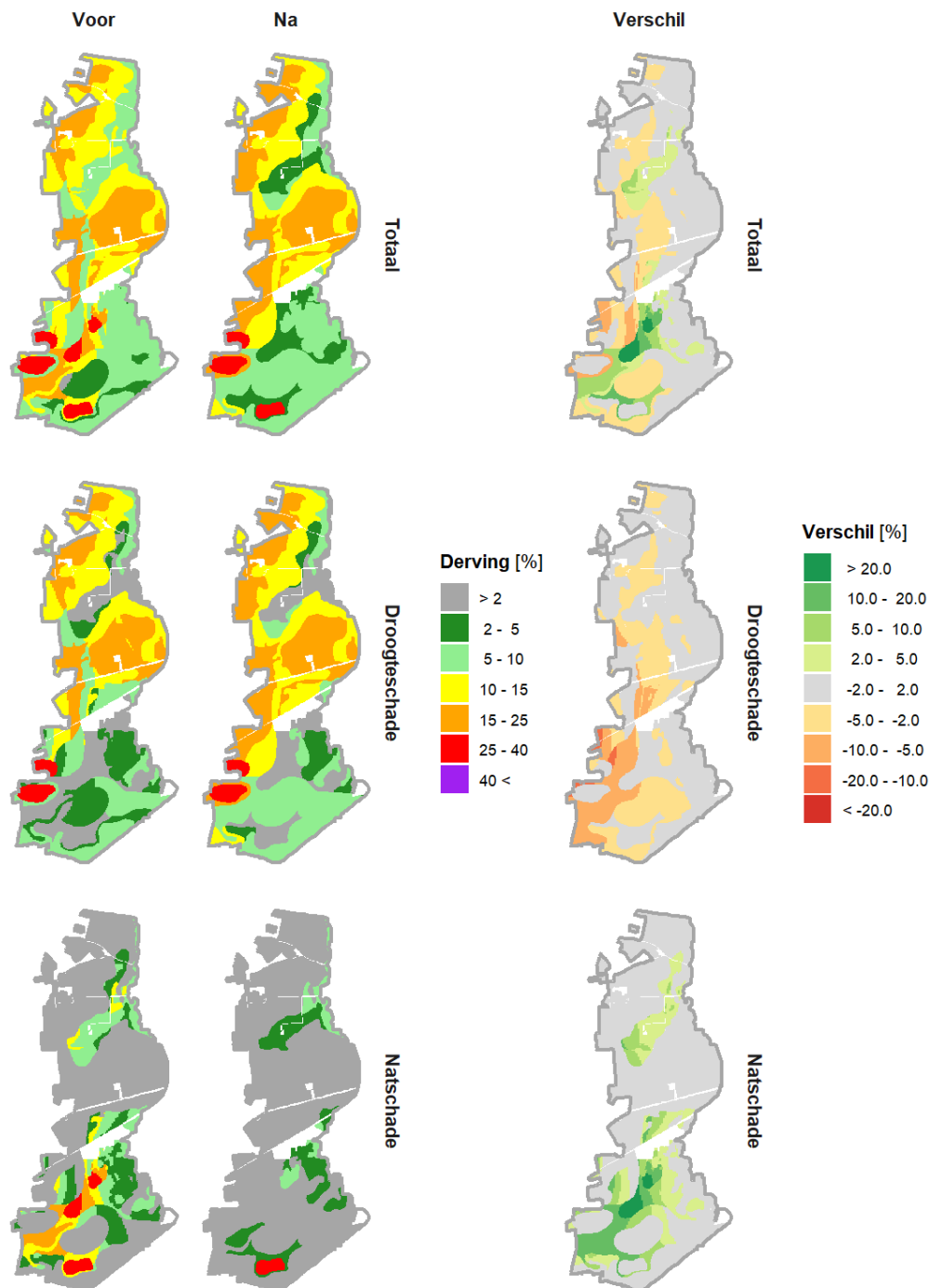
Voor alle scenario's geldt dat de GHG minimaal 5 cm is en de GLG minimaal 75 cm. Wanneer bij een scenario in de situatie vóór waterwinning een GHG berekend wordt die boven maaiveld uitkomt, dan wordt de GHG dus vastgezet op 5 cm beneden maaiveld. Natter dan 5 cm beneden maaiveld kan de GHG niet worden.

---

In het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied is de gemodelleerde grondwaterstandverlaging groot (zie onderste rij figuren van scenario B van bijlage 2). Bij de overige scenario's met de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging zie je in dit deel van de onderste figuren meer lichtere kleuren. Dit betekent dat de grondwaterstandverlaging hier minder groot is geschat dan bij B. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van weerstand biedende lagen. De correctie voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen wordt per kaartvlak (en dus boring) uitgevoerd op basis van de beschikbare boorinformatie.

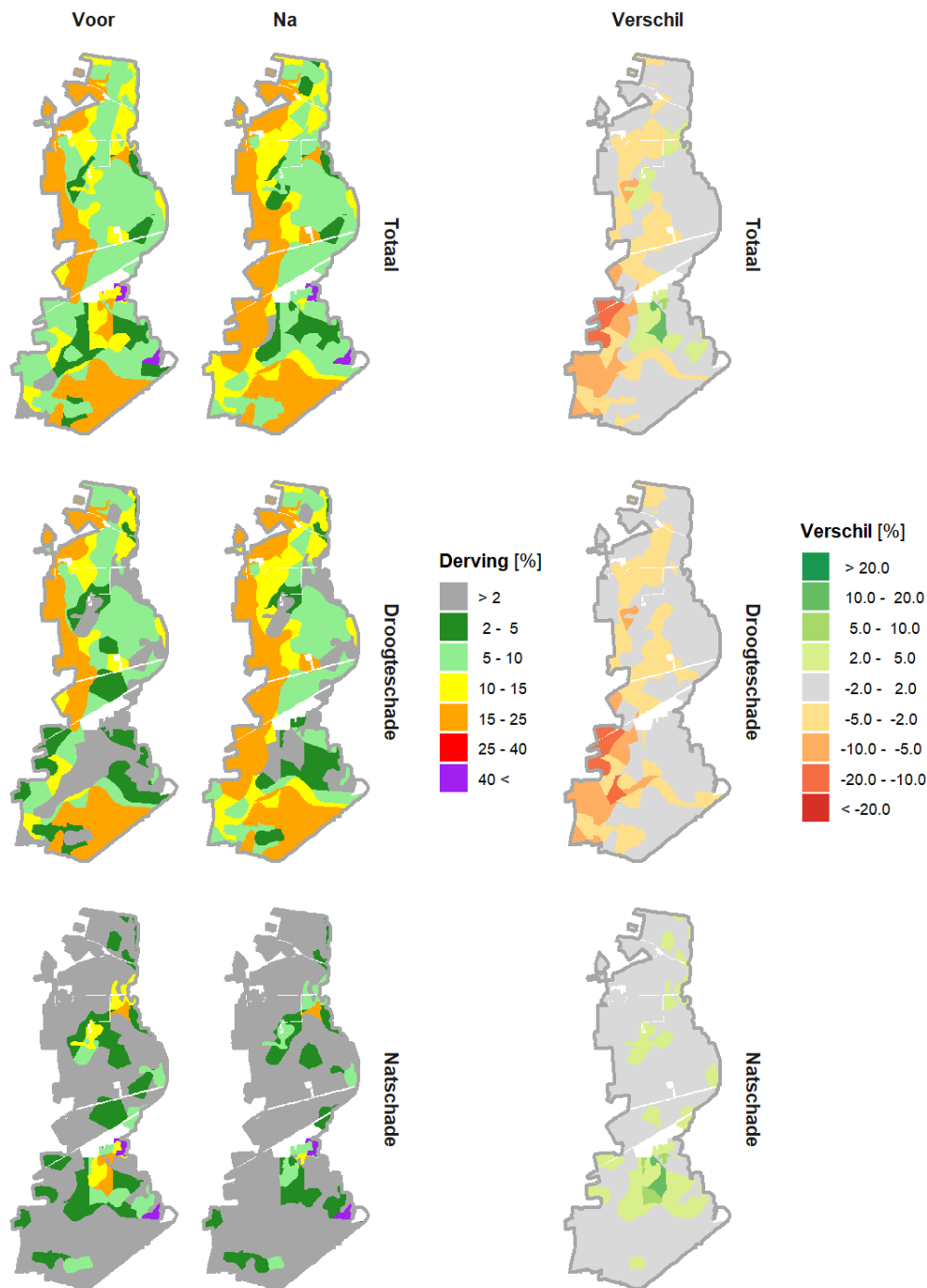
Wanneer er niet gecorrigeerd wordt voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen kan er in gebieden met een grote grondwaterstandverlaging een ongewenste situatie ontstaan. Bij droogtegevoelige kaartvlakken in de situatie na waterwinning kan door de grote gemodelleerde (niet-gecorrigeerde) grondwaterstandverlaging in de situatie vóór waterwinning natschade berekend worden. De schade als gevolg van de waterwinning kan dan onderschat worden, want de vermeende natschade voor waterwinning wordt afgetrokken van de droogteschade na waterwinning. De totale schade is immers het resultaat van droogte- en natschade. Voor goede schadeberekeningen is het dus belangrijk dat de gebruikte grondwaterstandverlaging realistisch is.

### 3.2.2 Totale schade en schade uitgesplitst



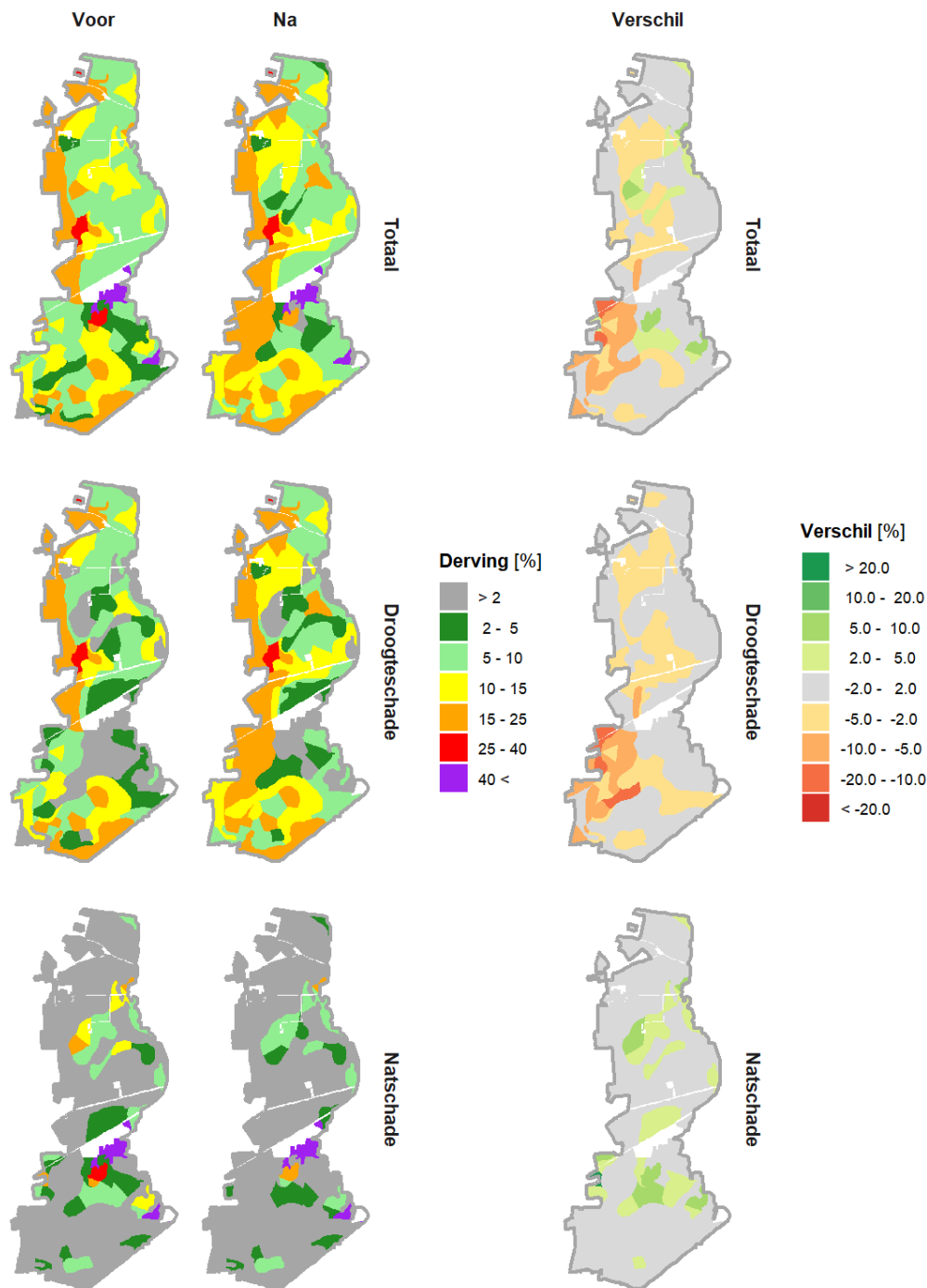
**Figuur 3.4** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven) uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario B. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer opbrengstderving/schade als gevolg van de winning weer.

Bij scenario B (figuur 3.4) treedt de droogteschade vooral op in het westelijke deel van het gebied. Verder valt op dat in veel gebieden de natschade als gevolg van de waterwinning afneemt. Bij dit scenario is de grondwaterstandverlaging niet gecorrigeerd voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen, omdat er bij dit scenario geen gebruik wordt gemaakt van veldwaarnemingen. In de voor-en-na-plaatjes zijn veel gebiedjes met rode kleuren (oftewel veel schade) zichtbaar.



**Figuur 3.5** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven), uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario C. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer opbrengstderving/schade als gevolg van de winning weer.

Bij scenario C (figuur 3.5) zijn de rode gebieden van B verdwenen. Wel zijn er in het oosten een paar gebiedjes met veel natschade te zien. Het opvallendste verschil tussen scenario B en C is dat er bij scenario B veel natschade wordt voorkomen door de waterwinning. Bij scenario C wordt veel minder natschade voorkomen door de waterwinning. Daarnaast zien we bij scenario C grotere gebieden met veel droogteschade dan bij scenario B, vooral in de buurt van het pompstation. Bij scenario C wordt de grondwaterstandverlaging als gevolg van de waterwinning wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen.

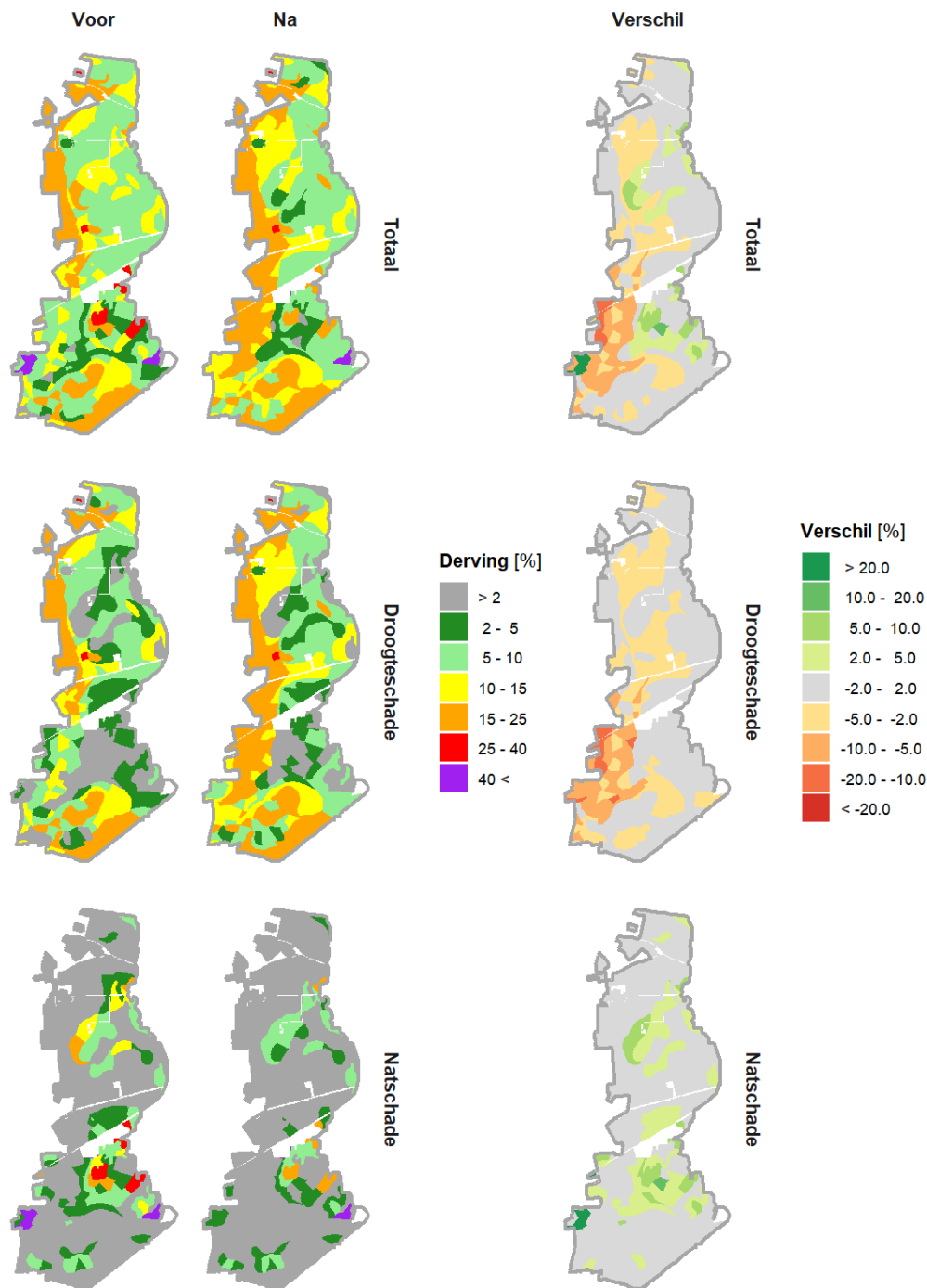


**Figuur 3.6** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven), uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario D. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer opbrengstderving/schade als gevolg van de winning weer.

In de voor-en-na-plaatjes bij scenario D zijn meer gebieden te zien (ten opzichte van scenario C) met veel droogteschade (rode plekken) of heel veel natschade (paarse plekken). Omdat deze plekken met veel schade optreden in de situatie voor en na waterwinning, is de schade als gevolg van de waterwinning bij D op deze plekken niet zo groot.

De verschilplaatjes van C en D lijken op het eerste gezicht best op elkaar. Uiteraard zijn ze op detailniveau niet gelijk. De verschillen tussen C en D zijn echter minder duidelijk dan tussen B en C of B en D.

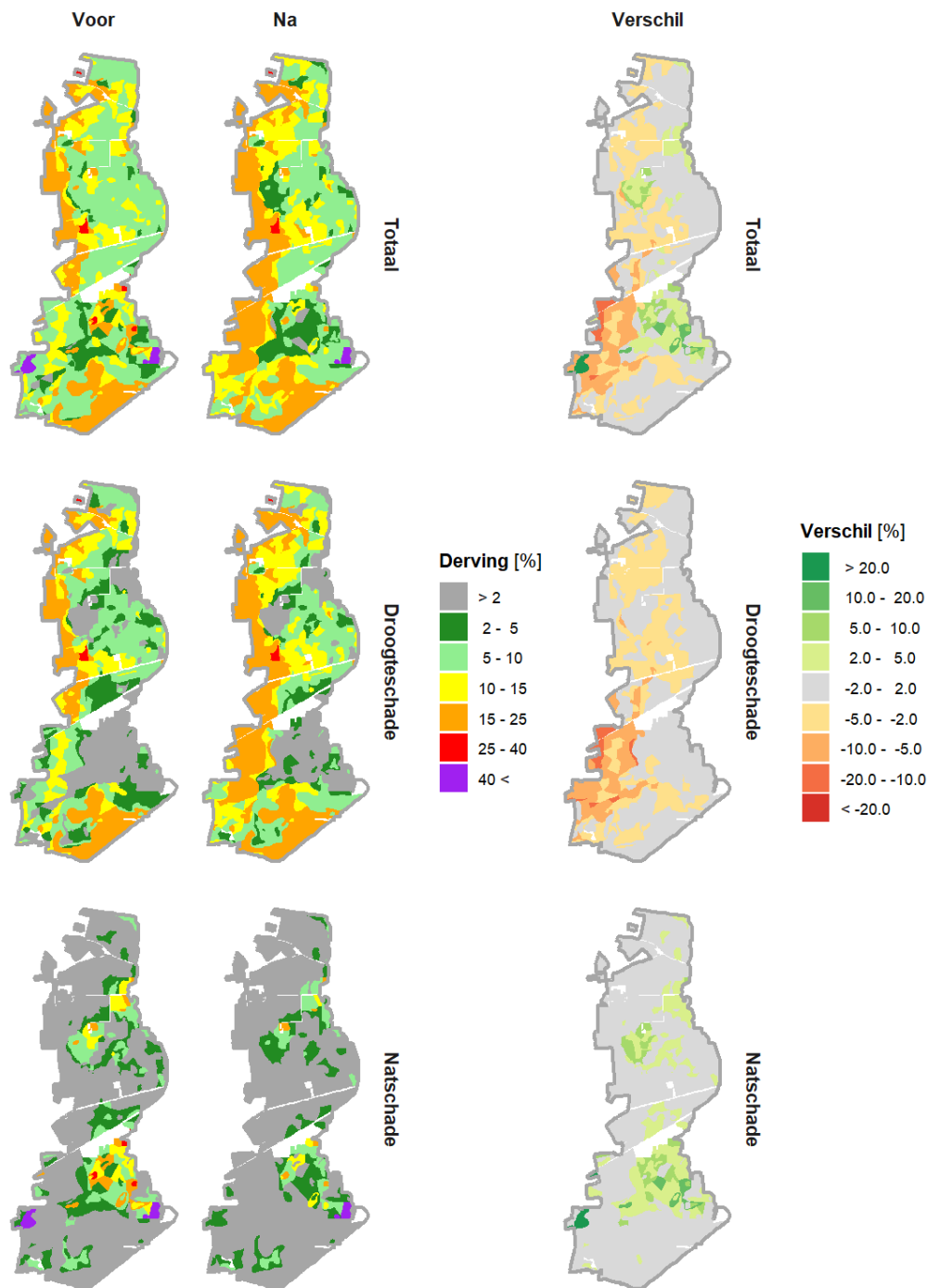




**Figuur 3.7** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven), uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario E. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer opbrengstderving/schade als gevolg van de winning weer.

Opvallend bij scenario E (figuur 3.7) is dat er vlak bij het pompstation één vlak voorkomt dat in de situatie vóór waterwinning veel natschade heeft. Als gevolg van de waterwinning neemt deze natschade af. Het betreft hier een bodemvlak met keileem in de ondergrond. Ook bij scenario E zie je de meeste droogteschade in de buurt van het pompstation.

De vlakken bij E zijn verfijnder (kleiner) dan bij D, waardoor er op korte afstand grotere verschillen aanwezig kunnen zijn.



**Figuur 3.8** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven), uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario F. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer opbrengstderving/schade als gevolg van de winning weer.

Bij scenario F (figuur 3.8) zijn de vlakken nog verfijnder dan bij E en kunnen er op korte afstand dus nog meer verschillen in schade zijn.

Ook bij F zie je in de buurt van het pompstation een vlak dat voor de waterwinning veel natschade zou hebben gehad. Ook hier betreft het een bodemvlak met keileem in de ondergrond.

---

Algemene bevindingen:

- In de westelijke helft, met name in de buurt van het pompstation (zuidwesten), treedt de meeste droogteschade op.
- Als gevolg van de waterwinning zijn er ook zones waar de natschade juist afneemt.
- Wanneer er meer veldwaarnemingen gebruikt worden, worden de vlakken kleiner en kunnen er grotere verschillen in schade voorkomen op relatief korte afstand.
- De gemodelleerde grondwaterstandverlaging corrigeren voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen, heeft veel invloed op de berekende schade. Bij scenario B vindt deze correctie niet plaats en treedt er nabij het pompstation veel natschade op in de situatie vóór waterwinning. De situatie 'voor' wordt hier waarschijnlijk te nat ingeschat, wetende dat dit in de buurt is van een stuwwal en wetende dat er keileem in het gebied aanwezig is.
- Omdat de grondwaterstandverlaging nabij het pompstation groot is, kunnen heel droge profielen (hangwaterprofielen) in de situatie na waterwinning wel degelijk schade ondervonden hebben als gevolg van de waterwinning. Zo'n profiel is in de situatie vóór waterwinning niet per definitie ook een hangwaterprofiel.
- De schadebeeldkaarten bij de verschillende scenario's worden niet alleen bepaald door verschillen in bodem- en Gt-kaarten, maar zeker ook door de verschillen in de gebruikte verlagingsskaarten (zie bijlage 2).
- Door de aanwezigheid van weerstand biedende lagen is de doorwerking van de verlaging van de grondwaterwinning in de freatische grondwaterspiegel onzeker. Een goede inschatting van de grondwatersituatie voor de grondwaterwinning is echter essentieel voor het inschatten van de opgetreden gewasschades.

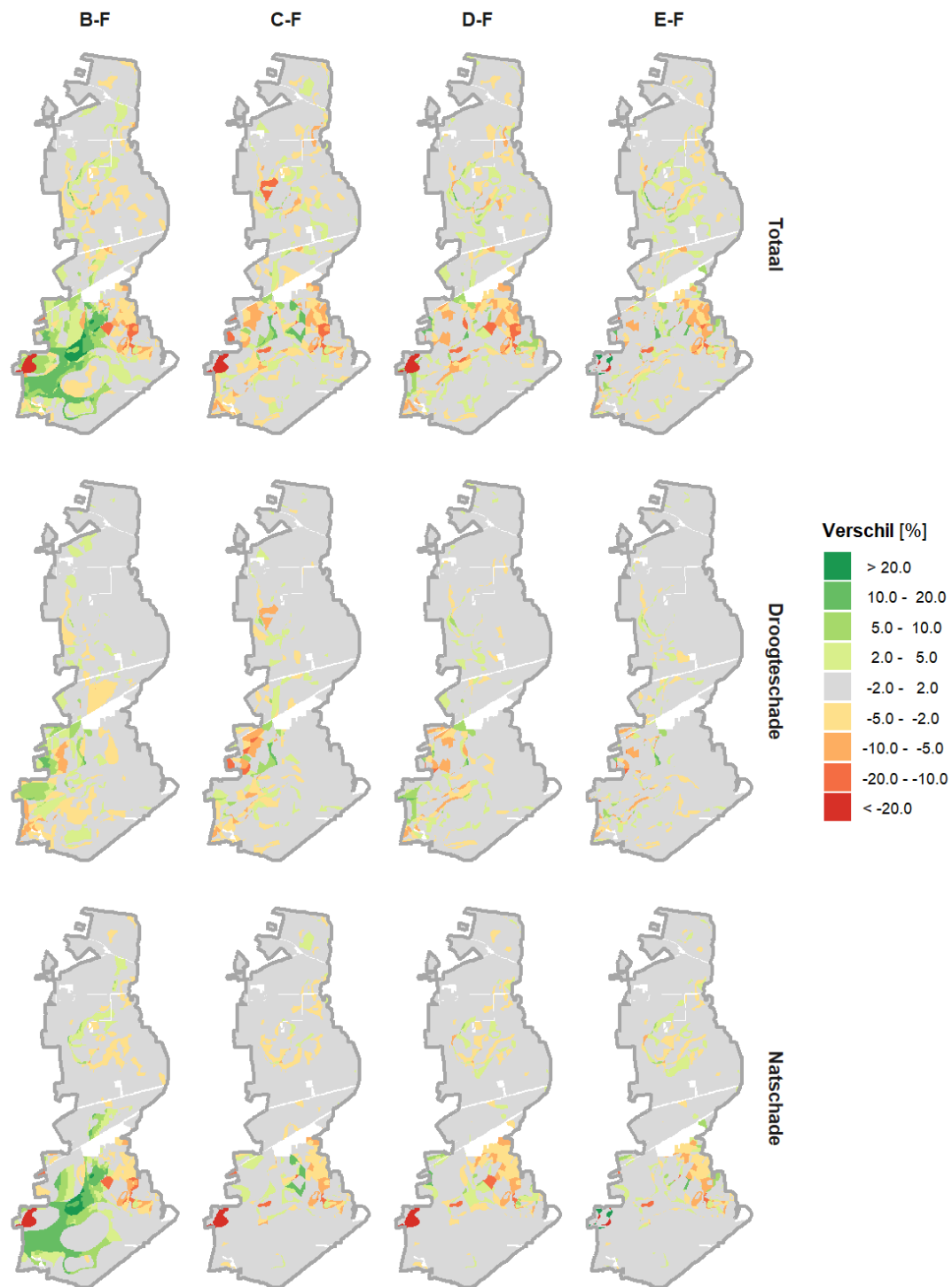
### 3.2.3 Vergelijking schades ten opzichte van de referentie

In figuur 3.9 is het verschil in schade als gevolg van de winning ten opzichte van scenario F weergegeven. Bij scenario B, C en D zie je behoorlijk grote over- en onderschattingen t.o.v. scenario F (relatief grote vlakken met donker rode of donker groene kleuren). Bij scenario E zijn er minder verschillen met scenario F en ze zijn minder groot (relatief kleine vlakken met vooral lichtere kleuren). De over- en onderschatting van de schade zijn bij scenario E het minst groot.

Sommige verschillen tussen een scenario en scenario F zijn heel duidelijk terug te zien in het verschil in Gt van dat scenario en de Gt van scenario F. In andere gevallen is het verschil toe te wijzen aan het verschil in bodem. In de meeste gevallen is er echter niet meteen heel duidelijk een oorzaak aan te wijzen en zal het verschil in schade veroorzaakt worden door een combinatie van verschillen in bodem, GXG en/of grondwaterstandverlaging.

In het oosten van het zuidelijke deel komen bij scenario E de grote verschillen voor in de berekende schade (ten opzichte van F). Het verschil in schade loopt zelfs door tot tegen de oostgrens van het onderzoeksgebied, waar de invloed van de grondwaterwinning het kleinst is (5 cm verlaging). Dit betekent dat verschil in bodem en Gt hier bepalend zijn voor de berekende schadeverschillen. Uit figuur 3.2 en 3.3 is af te leiden dat het verschil hier vooral het al dan niet voorkomen van moerige gronden betreft.

Opvallend is dat in scenario B een groot cluster aanwezig is waar de schade wordt onderschat, terwijl de gebiedjes met onderschatting in de andere scenario's veel kleiner zijn. Het grote gebied met onderschatting wordt bij scenario B veroorzaakt doordat scenario B een afname van de natschade berekent, terwijl de andere scenario's hier veel minder (afname van de) natschade berekenen. Scenario B berekent hier natschade in de situatie voor de grondwaterwinning, omdat scenario B gebruikmaakt van een ongecorrigeerde verlagingsskaart.



**Figuur 3.9** Verschil in schade als gevolg van de winning ten opzichte van scenario F. De groene kleur geeft aan dat de schade van een scenario wordt onderschat in vergelijking met scenario F. De rode kleur geeft aan dat de schade van een scenario wordt overschat in vergelijking met scenario F.

De andere scenario's (C t/m E) laten vooral een overschatting (rode kleuren) zien van de schade. De meeste verschillen in schade treden op in een strook van zuidwest naar noordoost in het zuidelijke gedeelte van het gebied; de verschillen ten opzichte van scenario F zijn hier regelmatig groter dan 10%. In dit gebied komt veel verschillen voor in de Gt en bodemtype.

In scenario B t/m D is er een vlakje waar de schade met meer dan 20% wordt overschat. Het betreft hier een veldpodzolgrond met keileem in de ondergrond. Het voorkomen van weerstand biedende lagen en als

gevolg hiervan het corrigeren van de grondwaterstandverlaging, heeft dus een grote invloed op de berekende schade.

In het noordelijke deel van het gebied is de onder- en overschatting over het algemeen minder dan 10%. In dit gebied komen veel veldpodzolen en gooreerdgronden voor en zijn de Gt-patternen in grote lijnen vergelijkbaar. Eenzelfde Gt betekent niet dat de GHG en GLG ook hetzelfde zijn. Lokaal zie je bij de scenario's dus verschillen in berekende schade ten opzichte van scenario F. Deze zijn het gevolg van verschillen in GHG, GLG, bodem en gecorrigeerde verlaging. De meeste verschillen zie je op de overgangen van de hogere naar de lagere zandgronden. Hieruit volgt dat bij de schadeberekening de ruimtelijke verdeling van kenmerken belangrijk is en dat de patronen dus goed in kaart gebracht moeten worden.

### 3.2.4 Schade per subkaartvlak

Zoals in paragraaf 3.1.5 is uitgelegd, worden de WWL-berekeningen uitgevoerd per subkaartvlak op basis van de profielopbouw en de GHG en GLG uit de boring die hoort bij het subkaartvlak. Een bodem- en/of Gt-kaartvlak kan bestaan uit meerdere subkaartvlakken, waarvan niet alle boringen dezelfde classificatie hoeven te hebben als die van het kaartvlak.

Als voorbeeld is in paragraaf 3.1.5 gewezen op een groot Gt VIo-vlak bij scenario C (zie figuur 3.3; rond de bovenste schuine weg). Het bodemtype van dit vlak is een pZn21, oftewel een gooreerdgrond bestaande uit zwak lemig, matig fijn zand. Dit vlak bevat 14 beschreven boringen en is dus ook opgedeeld in 14 subkaartvlakken. Elk subkaartvlak gebruikt de GHG- en GLG-waarden van de bijbehorende boring (zie figuur B2.2 uit bijlage 2). Deze subkaartvlakken hebben niet allemaal een Gt VIo. Er zitten drie 'onzuivere' vlakken bij, namelijk een IVu, een Vbo en een VIIo. Bovendien bevatten niet alle subkaartvlakken een gooreerdgrond. Er zijn twee subkaartvlakken met een podzolgrond. Water gedraagt zich in een gooreerdgrond en podzolgrond echter vergelijkbaar, wanneer de profielopbouw en textuur vergelijkbaar zijn. Daarnaast zijn er twee subkaartvlakken met een beekerdgrond. Voor elk subkaartvlak is met WWL de schade als gevolg van de waterwinning berekend. In tabel 3.1 is berekende schade weergegeven voor de situatie na waterwinning, voor de situatie vóór waterwinning en de schade als gevolg van de waterwinning.

Voor de situatie na waterwinning varieert de totale schade over de 14 subkaartvlakken tussen de 3,3 en 11,5%. Er treedt vooral droogteschade op (gemiddeld 91% droogteschade en 7% natschade). Voor de situatie vóór waterwinning ligt de variatie tussen 4,1 en 9,2% en is er relatief meer natschade (gemiddeld 73% droogteschade en 21% natschade). De gemiddelde totale schade als gevolg van de waterwinning is 1% voor dit kaartvlak. Binnen dit kaartvlak zijn er echter vier subkaartvlakken waar de schade als gevolg van de waterwinning minder wordt. In die gevallen zorgt de waterwinning er voor dat afname in indirecte schade en natschade groter is dan de toename in droogteschade. Bij de overige tien subkaartvlakken neemt de droogteschade meer toe dan de indirecte schade en natschade afnemen als gevolg van de waterwinning.

**Tabel 3.1** Gemiddelde, minimum en maximum berekende totale schade voor de situatie na waterwinning, voor de situatie vóór waterwinning en de schade als gevolg van de waterwinning. De gemiddelden, minima en maxima zijn berekend op basis van de resultaten van de WWL-berekeningen voor de 14 subkaartvlakken van het grote pZn21-VIo-kaartvlak van scenario C uit figuur 3.2 en 3.3.

|                | Totale schade na waterwinning | Totale schade vóór waterwinning | Totale schade a.g.v de waterwinning |
|----------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Gemiddelde (%) | 8.0                           | 7.0                             | 1.0                                 |
| Minimum (%)    | 3.3                           | 4.1                             | -0.8                                |
| Maximum (%)    | 11.5                          | 9.2                             | 3.4                                 |

Voor de 'zuivere' VIo-subkaartvlakken is de gemiddelde, minimum en maximum totale schade als gevolg van de waterwinning respectievelijk 1,1, -0,8 en 3,3%. Voor de 'zuivere' pZn21-subkaartvlakken is de gemiddelde, minimum en maximum totale schade als gevolg van de waterwinning respectievelijk 1,1, -0,4 en 3,4%.

---

### 3.2.5 Schade op perceelniveau

De totale berekende opbrengstderving (schade) als gevolg van de waterwinning is geaggregeerd op perceelniveau en per scenario. Het betreft hier een langjarig gemiddelde schade (in %) over de periode 1990-2020. Deze geaggregeerde schades op perceelniveau zijn gebruikt in de kosten-batenanalyse.

### 3.2.6 Schade op bedrijfsniveau

Naast schade (opbrengstderving) op perceelniveau is het ook interessant om te weten wat de schade is op bedrijfsniveau. Hiervoor is de totale berekende schade als gevolg van de waterwinning ook geaggregeerd op bedrijfsniveau en per scenario. Het betreft hier wederom de langjarig gemiddelde schade (in %) over de periode 1990-2020. Deze geaggregeerde schades op bedrijfsniveau zijn ook gebruikt in de kosten-batenanalyse.

### 3.2.7 Schade zonder correctie voor weerstand biedende lagen

In paragraaf 3.2.2 zijn voor elk scenario de totale schade, droogteschade en natschade weergegeven als gevolg van de waterwinning. Belangrijk hierbij is de gebruikte grondwaterstandverlaging. Voor scenario C tot en met F is de grondwaterstandverlaging gecorrigeerd voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen. Bij scenario B is deze correctie niet uitgevoerd, omdat er bij scenario B geen veldinformatie beschikbaar is.

Om het effect van de correctie van de grondwaterstandverlaging te kunnen zien, zijn scenario C tot en met F ook doorgerekend met een ongecorrigeerde grondwaterstandverlaging. Bijbehorende schadekaarten zijn gepresenteerd in bijlage 3.

De duidelijkste verschillen tussen de niet-gecorrigeerde schadekaarten (bijlage 3) en de gecorrigeerde schadekaarten (paragraaf 3.2.2) is te zien bij de natschade-verschilkaartjes. Wanneer er niet gecorrigeerd wordt voor weerstand biedende lagen, wordt er veel meer natschade voorkomen (positieve, groene kleuren) door de waterwinning dan wanneer er wel gecorrigeerd wordt. In de situatie vóór waterwinning wordt er in de ongecorrigeerde schadekaarten veel natschade berekend. De natschade op een locatie die niet optreedt dankzij de waterwinning, wordt verrekend met droogteschade op diezelfde plek, die ontstaat door de waterwinning. Oftewel vermeden natschade leidt tot minder totale schade.

De vraag is of het terecht is dat de natschade in de situatie vóór waterwinning in een aantal gebieden bij de niet-gecorrigeerde schadekaarten zo groot is. Dat valt te betwijfelen, zoals uit het volgende voorbeeld blijkt. Bij het niet-gecorrigeerde scenario E (figuur B3.3 uit bijlage 3) is in het zuiden in het midden een geel kaartvlak zichtbaar in de situatie vóór waterwinning. Bij nadere bestudering van de plek blijkt dat het hier gaat om een cHn23-grond, met in de situatie na waterwinning een Gt Vad (oftewel GHG ligt tussen 0-25 en GLG ligt > 180 cm -mv). De niet-gecorrigeerde verlaging is hier tussen de 40 en 50 cm. Dit betekent dat in de niet-gecorrigeerde situatie de GHG voor dit kaartvlak ongeveer 20 cm boven maaiveld uitkomt (dit wordt voor de berekeningen afgekapt naar GHG 5 cm). Het betreft hier echter een plek met keileem in de ondergrond, die ligt op de flank van hogere koppen maar zeker niet in het diepste punt van zijn omgeving. Oftewel: een GHG rond maaiveld is hier niet erg aannemelijk. In de gecorrigeerde situatie is de grondwaterstandverlaging door de aanwezigheid van de keileem dan ook teruggebracht naar 5-10 cm (in plaats van 40-50 cm).

Wel of niet corrigeren voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen heeft dus een grote invloed op de modelresultaten. Wanneer er niet gecorrigeerd wordt voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen, kan er in gebieden met een grote grondwaterstandverlaging een vertekend beeld van de opgetreden schade ontstaan. Bij droogtegevoelige kaartvlakken in de situatie na waterwinning kan door de grote gemodelleerde (niet-gecorrigeerde) grondwaterstandverlaging in de situatie vóór waterwinning natschade berekend worden. De schade als gevolg van de waterwinning kan dan onderschat worden, want de vermeende natschade vóór waterwinning wordt afgetrokken van de droogteschade na waterwinning. Voor goede schadeberekeningen is het dus belangrijk dat de gebruikte grondwaterstandverlaging realistisch is.

Figuur 3.4 (scenario B) en figuren B3.1 tot en met B3.4 (van bijlage 3) zijn allemaal berekend met behulp van de ongecorrigeerde gemodelleerde grondwaterstandverlaging. Zichtbare verschillen in berekende schade

zijn hier dus het resultaat van verschillen in bodem en/of grondwaterkarakteristieken. Wanneer er geen verschil zit bij verschillende scenario's tussen bodemkarakteristieken, wordt een eventueel berekend verschil in schade dus veroorzaakt door verschillen in grondwaterkarakteristieken. Wanneer er geen verschil zit bij verschillende scenario's tussen grondwaterkarakteristieken, wordt een eventueel berekend verschil in schade dus veroorzaakt door verschillen in bodem.

Een voorbeeld hiervan is te zien bij de vergelijking van figuur B3.2 (scenario D) met B3.4 (scenario F). Ongeveer halverwege het onderzoeksgebied is een leeg vlak. Bij scenario D is er net onder dit lege vlak aan de rechterkant een groot paars vlak te zien met meer dan 40% opbrengstderving bij de situatie na waterwinning (figuur 3.10, links). Bij F is op dezelfde plek bij de situatie na waterwinning een geel vlak te zien met schade tussen 10-15% (figuur 3.10, rechts). Het betreffende vlak is ongeveer 2,5 ha groot. De GHG is bij zowel D als F 15 cm -mv en de GLG is in beide gevallen 70 cm -mv. De ongecorrigeerde gemodelleerde verlaging is in beide gevallen ook hetzelfde (tussen 5 en 10 cm). Oftewel het enige verschil op die plek is het type bodem. Bij scenario D gaat het om een vlakvaaggrond (Zn21) en bij scenario F om een moerige eerdgrond met zanddek (zWz). Het voorbeeld geeft aan dat het belangrijk is om het type bodem zo goed mogelijk vast te stellen, omdat het van invloed kan zijn op de schadeberekening. Dat betekent niet dat het altijd van grote invloed is, maar het kan wel.



**Figuur 3.10** Opbrengstderving van de situatie na waterwinning voor scenario D (links; uitsnede van figuur B3.2) en scenario F (rechts; uitsnede van figuur B3.4). Paars betekent een opbrengstderving van > 40%. Het gele vlak rechts heeft een opbrengstderving van 10-15%. Het enige verschil tussen beide scenario's (ter plekke van het gele vlak rechts) is het type bodem.

### 3.3 Onderzoeksinspanning per scenario

#### Onderzoekskosten

Voor het onderzoeksgebied is per scenario ingeschat wat de kosten zijn voor het vooronderzoek en voor het veldonderzoek. Deze kosten zijn per scenario gesommeerd en gedeeld door de grootte van het onderzoeksgebied (753 ha) om kosten per hectare te krijgen.

Kosten voor het uitwerken (inclusief het corrigeren van de grondwaterstandverlaging) zijn hier niet meegenomen, omdat deze kosten afhankelijk zijn van de gebruikte methode (TCGB-methode of met WWL). Bovendien verschilt de uitwerkmethode niet tussen de scenario's. De scenario's verschillen namelijk vooral in de benodigde hoeveelheid veldwerk. Daarnaast kost het uitwerken van een klein gebied relatief meer tijd dan het uitwerken van een groot gebied, zeker bij een grotendeels geautomatiseerde uitwerkmethode als WWL.

De hier beschouwde onderzoekskosten bestaan voor het grootste deel uit personeelskosten en voor een kleiner deel uit veldwerktoeslag (reis- en verblijfkosten). De veldwerktoeslag is afhankelijk van het aantal velddagen en daarmee dus evenredig met de personeelskosten voor veldwerk. Overige materiële kosten zijn een relatief kleine post op de begroting.

**Tabel 3.2** Onderzoekskosten per scenario. Onderscheid is gemaakt tussen kosten voor vooronderzoek en kosten voor veldwerk (in euro). De totale kosten zijn ook omgerekend naar kosten per ha.

| Onderzoeksfase | Scenario B | Scenario C | Scenario D | Scenario E | Scenario F |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Vooronderzoek  | 6000       | 7200       | 9000       | 9000       | 3000       |
| Veldwerk       | 0          | 38500      | 38500      | 58700      | 86400      |
| Totale kosten  | 6000       | 45700      | 47500      | 67700      | 89400      |
| Kosten per ha  | 7,97       | 60,69      | 63,08      | 89,91      | 118,73     |

Bij scenario B wordt geen veldwerk uitgevoerd. Bij de overige scenario's nemen de kosten van veldwerk toe met het aantal boringen.

Bij scenario B moet aandacht besteed worden aan het maken van de Gt-kaart en bij scenario C moet tijdens het vooronderzoek een 'spatial coverage sampling'-techniek toegepast worden om de boorplekken ruimtelijk gelijkmatig te verdelen. Bij scenario D en E moet tijdens het vooronderzoek aandacht besteed worden aan de grondwaterstandverlagingskaart als gevolg van de waterwinning, omdat deze gebruikt wordt om de verwachte droogteschade in te schatten. De verwachte droogteschade wordt weer gebruikt om te bepalen in welke gebieden meer of minder geboord moet worden. Dit voorwerk kost tijd en geld. Bij de gangbare detailkartering (scenario F) wordt tijdens het vooronderzoek het gebied aan de hand van de kaarten verkend (welke bodemtypes, bijzondere lagen en Gt's kunnen we mogelijk tegenkomen?). Er hoeven dan echter geen kaartbewerkingen gedaan te worden aan de hand waarvan bepaald wordt waar geboord moet worden. Bij scenario F bepaalt de veldbodemkundige in het veld waar er geboord moet worden.

### Doorlooptijd

In zijn algemeenheid is de doorlooptijd die nodig is voor de verschillende scenario's proportioneel aan de onderzoekskosten. De onderzoekskosten bestaan voornamelijk uit personeelskosten (tijd).

De doorlooptijd van met name het veldwerk is in te korten door met meer veldbodemkundigen (van verschillende bedrijven en instituten) het veldwerk uit te voeren. De doorlooptijd hangt ook af van het feit of veldbodemkundigen exclusief kunnen werken aan het onderzoeksgebied.

Wanneer ervoor gekozen wordt om een gerichte grondwaterstandopname uit te voeren rond het GHG- en GLG-moment, dan kan hiermee de kwaliteit van de ingeschatte GXG's geverifieerd dan wel verbeterd worden, maar dan is de doorlooptijd ook minstens één jaar. Een gerichte grondwaterstandopname is niet meegenomen in de onderzoekskosten van tabel 3.2, omdat een gerichte grondwaterstandopname tegenwoordig niet standaard uitgevoerd wordt in een onderzoeksgebied.

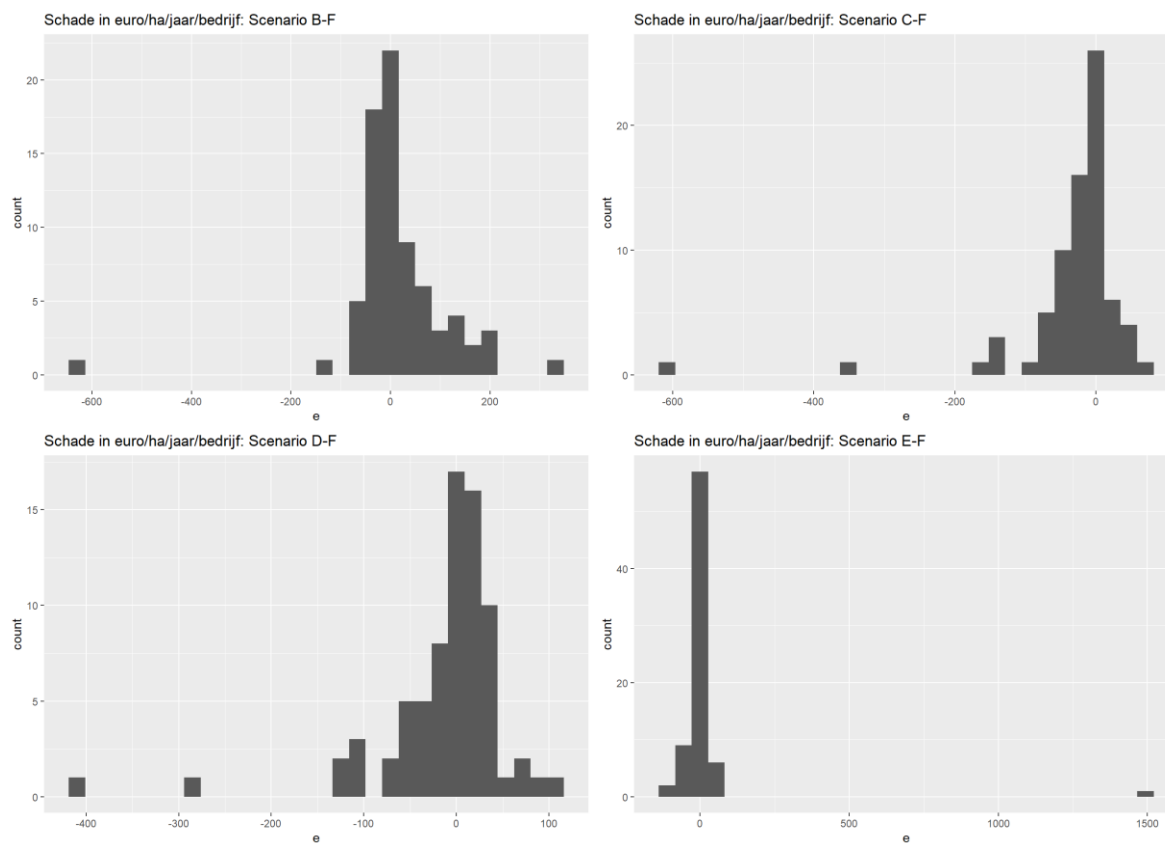
## 3.4 Kosten-batenanalyse

### 3.4.1 Kosten-batenanalyse op bedrijfsniveau

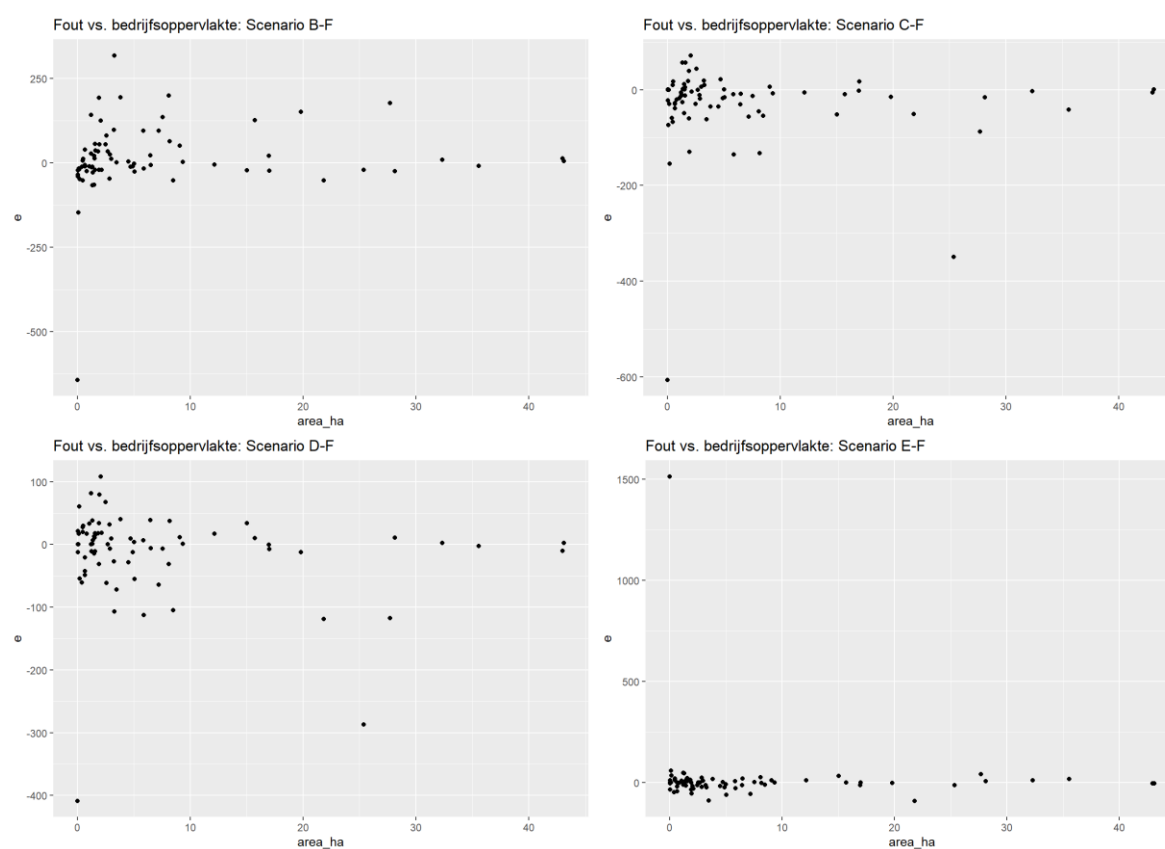
Tabel 3.2 geeft de onderzoekskosten in euro's per hectare van de verschillende scenario's. De kostenbesparing ten opzichte van referentiescenario F beschouwen we als de baten van een scenario. Het verlies aan nauwkeurigheid in berekende schade-uitkering ten opzichte van referentiescenario F, in euro's per hectare, beschouwen we als kosten.

Figuur 3.11 geeft een histogram van de verschillen in berekende schade, in €/ha/jaar/bedrijf, tussen scenario B, C, D en E enerzijds en referentiescenario F anderzijds.





**Figuur 3.11** Histogrammen van de verschillen in berekende schade in €/ha/jaar/bedrijf ten opzichte van referentiescenario F.



**Figuur 3.12** Verschil in berekende schade (€/ha/jaar/bedrijf) uitgezet tegen bedrijfsoppervlakte.

Figuur 3.11 laat zien dat de meeste verschillen tussen -100 en +100 €/ha/jaar/bedrijf liggen, met enkele uitschieters naar beneden (overschatting van de berekende schade ten opzichte van F) en naar boven (onderschatting van de berekende schade ten opzichte van F). Merk op dat scenario B, C en D uitschieters naar beneden hebben, terwijl scenario E een uitschieter naar boven heeft. In Figuur 3.12 zijn de verschillen uitgezet tegen de bedrijfsoppervlakte. Ter verduidelijking: figuur 3.11 en 3.12 hebben betrekking op bedrijven, die geheel of gedeeltelijk in één of meerdere vlakken van figuur 3.9 liggen.

Uit Figuur 3.12 blijkt dat de grootste verschillen in berekende schade in €/ha/jaar/bedrijf zich bij kleine bedrijven voordoen en de verschillen in berekende schade afnemen naarmate de bedrijven groter zijn. Dit komt omdat verschillen een ruimtelijke samenhang hebben, waardoor zij zich uitmiddelen binnen een bedrijf naarmate de oppervlakte van dat bedrijf groter is.

Tabel 3.3 vat de resultaten van de verschillen in berekende schade in €/ha/bedrijf ten opzichte van referentiescenario F samen.

**Tabel 3.3** *Verschillen in berekende schade in €/ha/bedrijf tussen scenario B, C, D en E enerzijds en referentiescenario F anderzijds, en verschillen in onderzoekskosten in €/ha. De jaarlijkse verschillen in berekende schade zijn gekapitaliseerd (25 jaar, 2% rente) om ze te kunnen vergelijken met de verschillen in eenmalige onderzoekskosten.*

|                                     | <b>B-F</b> | <b>C-F</b> | <b>D-F</b> | <b>E-F</b> |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Mediaan van de absolute verschillen | 477,96     | 364,89     | 355,89     | 246,52     |
| Maximaal absoluut verschil          | 12.557,22  | 11.839,66  | 7.974,03   | 29.566,99  |
| Maximaal benodigde overcompensatie  | 6.219,30   | 1.403,25   | 2.117,06   | 29.566,99  |
| Kostenbesparing                     | 110,76     | 58,04      | 55,65      | 28,82      |

Hoe gedetailleerder onderzoek wordt verricht, hoe nauwkeuriger de schade is vast te stellen. Het referentiescenario F is het gedetailleerdste onderzoek. In de onderste rij staat het kostenverschil tussen de minder gedetailleerde scenario's B, C, D en E met het referentiescenario F: alle vier kosten minder dan F.

Deze kostenbesparingen leiden tot afname van de nauwkeurigheid in de geschatte schade. De nauwkeurigheid is uitgedrukt in de mediaan van de absolute fout en in de maximale absolute fout, in euro's per hectare per jaar. Om de nauwkeurigheid te vergelijken met de eenmalige kosten van onderzoek, zijn de mediaan van de absolute fout en van de maximale fout gekapitaliseerd. Hierbij is een periode van 25 jaar gebruikt en een rente van 2%.

Uit de tabel (3.3) blijkt dat de afname van nauwkeurigheid in euro's per hectare groter is dan de kostenbesparing in euro's per hectare. De tabel heeft betrekking op bedrijfsschaal. Dat wil zeggen dat we spreken over gemiddelde schades per bedrijf, uitgedrukt in euro's per hectare. Naarmate bedrijven een grotere oppervlakte hebben en/of schattingsfouten minder ruimtelijke afhankelijkheid vertonen, zullen schattingsfouten zich binnen bedrijven uitmiddelen.

Er zijn enkele uitschieters waarbij de schade wordt overschat (grote negatieve waarden in scenario B, C en D) of onderschat (grote positieve waarde in scenario E) ten opzichte van scenario F. Deze komen tot uiting in de maximale absolute fout. De mediane absolute fout is niet gevoelig voor deze uitschieters. Als je elke fout wilt vermijden, moet je de onderzoekskosten vergelijken met de maximale absolute fout. Als je ernaar streeft om fouten gemiddeld genomen te verkleinen door te investeren in onderzoek, dan moet je naar de mediane absolute fout kijken.

Als we de besparing in onderzoekskosten beschouwen als baten en de afgenomen nauwkeurigheid als kosten, dan kunnen we kosten-batenverhoudingen berekenen voor scenario B, C, D en E ten opzichte van het referentiescenario F. Tabel 3.4 geeft de kosten-batenverhoudingen van de verschillende scenario's ten opzichte van het referentiescenario F bij berekening van de schades op bedrijfsniveau. Waardes groter dan 1 betekenen dat de afname van nauwkeurigheid in berekende schade groter is dan de kostenreductie ten opzichte van referentiescenario F.

**Tabel 3.4** Verhouding tussen kosten (in termen van afgenomen nauwkeurigheid) en baten (in termen van reductie aan onderzoekskosten) bij schadeberekening op bedrijfsniveau, ten opzichte van referentiescenario F. Kosten zijn uitgedrukt in mediaan en maximum van de absolute verschillen in berekende schade en als maximaal benodigde overcompensatie voor onderschatting van schade.

|                                     | <b>B:F</b> | <b>C:F</b> | <b>D:F</b> | <b>E:F</b> |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Mediaan van de absolute verschillen | 4,32       | 6,29       | 6,40       | 8,55       |
| Maximaal absoluut verschil          | 113,37     | 203,99     | 143,29     | 1.025,92   |
| Maximaal benodigde overcompensatie  | 56,15      | 24,18      | 38,04      | 1.025,92   |

Uit tabel 3.4 blijkt dat bij geen van de scenario's de reductie in onderzoekskosten opweegt tegen het verlies aan nauwkeurigheid. De kosten-batenverhoudingen zijn alle groter dan 1. De kosten-batenverhoudingen die zijn berekend op basis van de mediaan van de absolute verschillen in berekende schades, liggen in de ordegrootte van de kosten-batenverhouding die Knotters en Vroon (2015a, b) vonden bij een *data worth analysis* van het gebruik van een bodemkaart 1:25.000 ten opzichte van het gebruik van een bodemkaart 1:50.000 bij het berekenen van schades in een grondwaterwinningsgebied, namelijk 8:1.

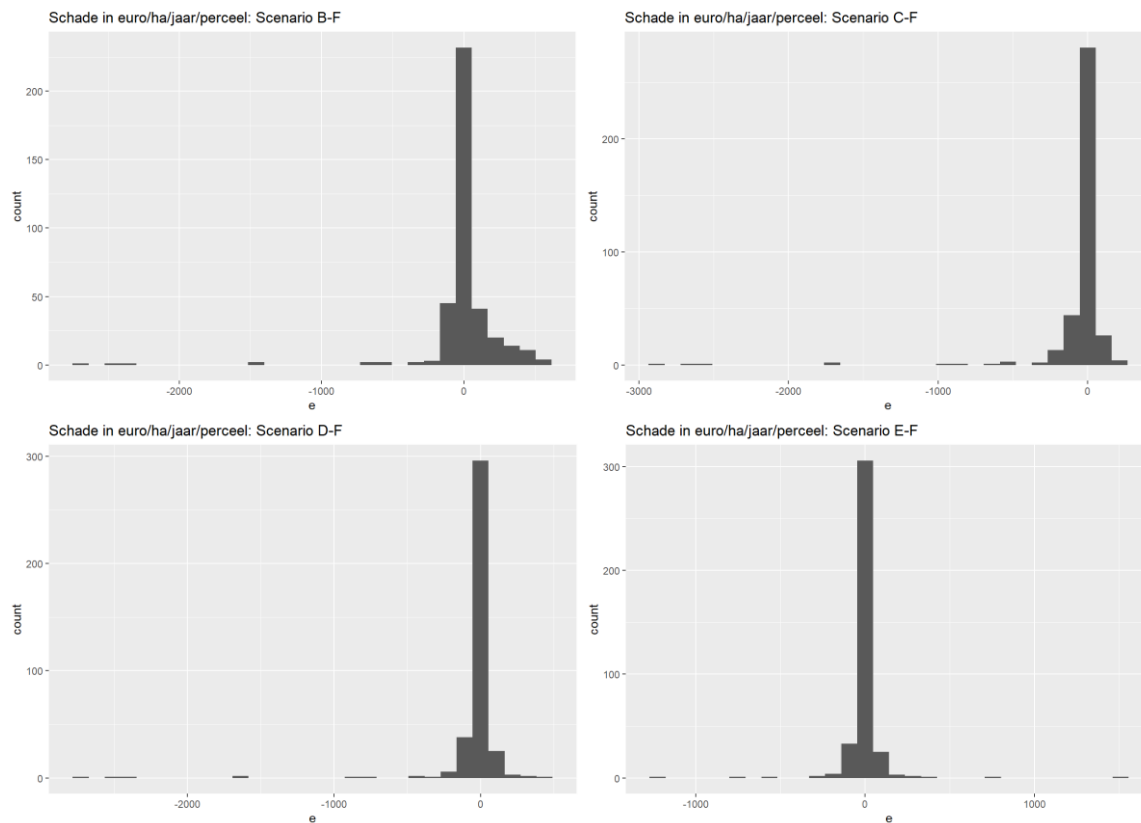
### 3.4.2 Kosten-batenanalyse op perceelniveau

Figuur 3.13 geeft een histogram van de verschillen in berekende schade, in €/ha/jaar/perceel, tussen scenario B, C, D en E enerzijds en referentiescenario F anderzijds.

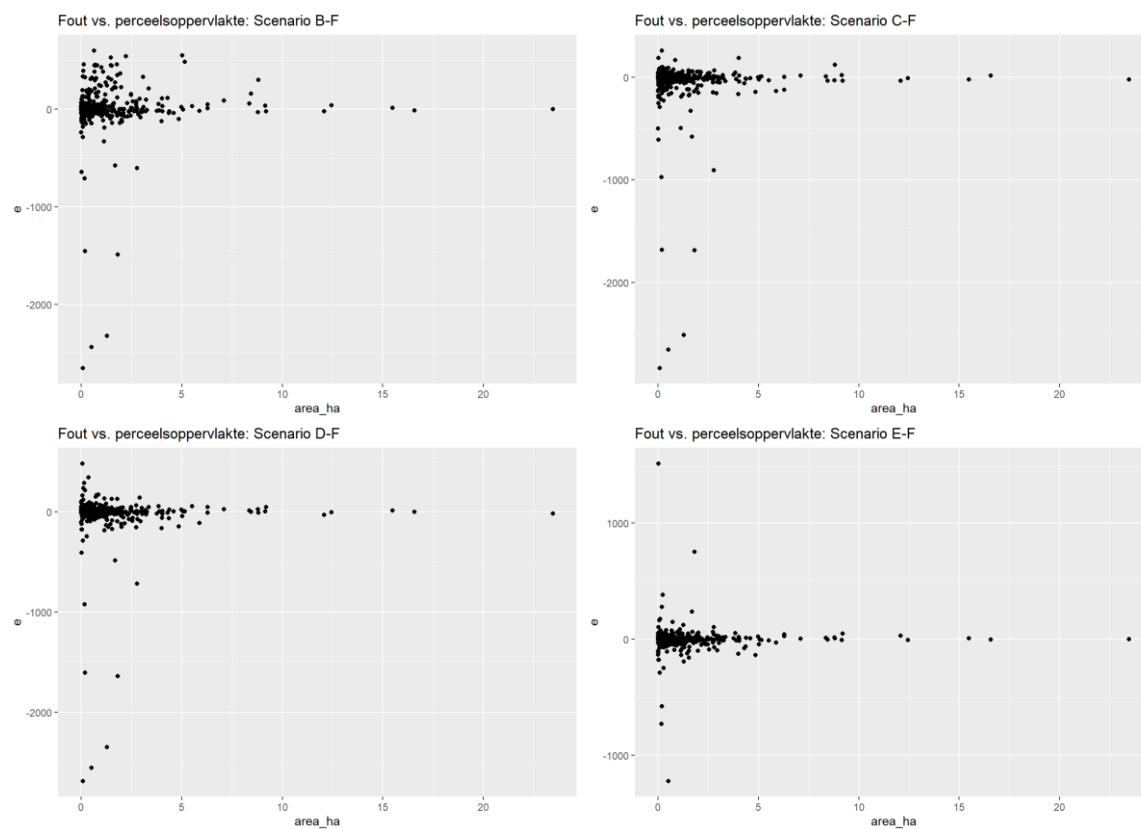
Deze figuur laat zien dat de meeste verschillen kleiner zijn dan enkele honderden €/ha/jaar/perceel, met enkele uitschieters naar beneden (overschatting ten opzichte van F) en naar boven (onderschatting ten opzichte van F). Merk op dat scenario B, C en D uitschieters naar beneden hebben, terwijl scenario E zowel uitschieters naar boven als naar beneden heeft. Ter verduidelijking: figuur 3.13 heeft betrekking op percelen die geheel of gedeeltelijk liggen in één of meerdere vlakken van figuur 3.9.

In figuur 3.14 zijn de verschillen uitgezet tegen de perceeloppervlakte. Uit figuur 3.14 blijkt dat de grootste verschillen in berekende schade in €/ha/perceel zich bij kleine percelen voordoen en de verschillen in berekende schade afnemen naarmate de percelen groter zijn. Dit komt omdat verschillen een ruimtelijke samenhang hebben, waardoor zij zich uitmiddelen binnen een perceel naarmate de oppervlakte van dat perceel groter is.

Tabel 3.5 vat de resultaten van de verschillen in berekende schade in €/ha/perceel ten opzichte van referentiescenario F samen.



**Figuur 3.13** Histogrammen van de verschillen in berekende schade in €/ha/jaar/perceel ten opzichte van referentiescenario F.



**Figuur 3.14** Verschil in berekende schade (€/ha/jaar/perceel) uitgezet tegen perceeloppervlakte.

**Tabel 3.5** Verschillen in berekende schade in €/ha/perceel tussen scenario B, C, D en E enerzijds en referentiescenario F anderzijds, en verschillen in onderzoekskosten in €/ha. De jaarlijkse verschillen in berekende schade zijn gekapitaliseerd (25 jaar, 2% rente) om ze te kunnen vergelijken met de verschillen in eenmalige onderzoekskosten.

|                                     | B-F       | C-F       | D-F       | E-F       |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mediaan van de absolute verschillen | 762,51    | 507,59    | 458,78    | 373,56    |
| Maximaal absoluut verschil          | 51.763,13 | 55.310,71 | 52.404,83 | 29.566,99 |
| Maximaal benodigde overcompensatie  | 11.771,47 | 5.109,83  | 9.375,01  | 29.566,99 |
| Kostenbesparing                     | 110,76    | 58,04     | 55,65     | 28,82     |

Hoe gedetailleerder onderzoek wordt verricht, hoe nauwkeuriger de schade is vast te stellen. Het referentiescenario F is het gedetailleerdste onderzoek. In de onderste rij van tabel 3.5 staat het kostenverschil tussen de minder gedetailleerde scenario's B, C, D en E met het referentiescenario F: alle vier kosten minder dan F.

Deze reductie in onderzoekskosten leidt tot afname van de nauwkeurigheid in de geschatte schade. De nauwkeurigheid is uitgedrukt in de mediaan van de absolute fout (MedAE) en in de maximale absolute fout (MaxAE), in euro's per hectare per jaar. Om de nauwkeurigheid te vergelijken met de eenmalige kosten van onderzoek, zijn de MedAE en de MaxAE gekapitaliseerd. Hierbij is een periode van 25 jaar gebruikt en een rente van 2%.

Uit tabel 3.5 blijkt dat de afname van nauwkeurigheid in euro's per hectare groter is dan de kostenbesparing in euro's per hectare. De tabel heeft betrekking op perceelschaal. Dat wil zeggen dat we spreken over gemiddelde schades per perceel, uitgedrukt in euro's per hectare.

Er zijn enkele uitschieters waarbij de schade wordt onderschat of overschat. Deze komen tot uiting in de MaxAE. De mediane absolute fout, MedAE, is niet gevoelig voor deze uitschieters. Als je elke fout wilt vermijden, moet je de onderzoekskosten vergelijken met de MaxAE. Als je ernaar streeft om fouten gemiddeld genomen te verkleinen door te investeren in onderzoek te doen, moet je naar de MedAE kijken.

Als we de besparing in onderzoekskosten beschouwen als baten en de afgenomen nauwkeurigheid als kosten, dan kunnen we kosten-batenverhoudingen berekenen voor scenario's B, C, D en E ten opzichte van referentiescenario F. Tabel 3.6 geeft de kosten-batenverhoudingen van de verschillende scenario's ten opzichte van het referentiescenario F bij berekening van de schades op perceelniveau. Waardes groter dan 1 betekenen dat de afname van nauwkeurigheid in berekende schade groter is dan de kostenreductie ten opzichte van het referentiescenario F. Uit tabel 3.6 blijkt dat bij geen van de scenario's de kostenreductie opweegt tegen het verlies aan nauwkeurigheid. De kosten-batenverhoudingen zijn alle groter dan 1.

**Tabel 3.6** Verhouding tussen kosten (in termen van afgenomen nauwkeurigheid) en baten (in termen van reductie aan onderzoekskosten) bij schadeberekening op perceelniveau ten opzichte van referentiescenario F. Kosten zijn uitgedrukt in mediaan en maximum van de absolute verschillen in berekende schade en als maximaal benodigde overcompensatie voor onderschatting van schade.

|                                     | B:F    | C:F    | D:F    | E:F      |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|----------|
| Mediaan van de absolute verschillen | 6,88   | 8,75   | 8,24   | 12,96    |
| Maximaal absoluut verschil          | 467,34 | 952,98 | 941,69 | 1.025,92 |
| Maximaal benodigde overcompensatie  | 106,28 | 88,04  | 168,46 | 1.025,92 |

---

## 4 Discussie

In de voorgaande hoofdstukken zijn al diverse discussiepunten aan de orde gekomen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste discussiepunten (nogmaals) besproken.

### 4.1 Bruikbaarheid van de informatie en methoden

Bij het toepassen van een nieuwe karteringsstrategie kan gebruikgemaakt worden van 'hulpinformatie'. Hiermee worden bronnen bedoeld die een voorspellende waarde hebben van de schade. In deze paragraaf wordt besproken wat de waarde en bruikbaarheid is van de verschillende typen hulpinformatie.

#### **Bodemkaart van Nederland**

De bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 heeft een landelijke dekking en is dus voor ieder gebied beschikbaar. Sinds de eerste opname in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw zijn delen van de bodemkaart geactualiseerd. Dat geldt echter niet voor de bodemkaart van het onderzoeksgebied. Deze dateert uit de jaren tachtig van de vorige eeuw. De bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 geeft de variatie in de bodemopbouw weer op regionaal niveau. Voor toepassing op perceelniveau is deze kaart niet nauwkeurig genoeg: verschillen op perceelniveau komen onvoldoende tot uitdrukking in deze kaart. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat ook op bedrijfsniveau de Bodemkaart van Nederland voor het onderzoeksgebied weinig nauwkeurig is.

#### **Kaart van de grondwaterdynamiek (Gd-kaart) schaal 1:50.000**

De grondwatersituatie (grondwatertrappenkaart) is tegenwoordig losgekoppeld van de bodemkaart van Nederland. Om kaartvlakken te kunnen genereren die de bodemgesteldheid (bodemopbouw en hydrologische situatie) beschrijven, moet informatie van de bodemkaart worden gecombineerd met een andere informatiebron. In dit project is gekozen om hiervoor de kaart van de grondwaterdynamiek te gebruiken. Terwijl de bodemkaart van Nederland een vlakkenkaart is, worden op de Gd-kaart gridcellen (van 25x25 m) gebruikt om de grondwaterkarakteristieken GHG en GLG weer te geven. In dit onderzoek is gebleken dat de schattingen van de GHG en GLG, afkomstig uit de veldwaarnemingen (de profielbeschrijvingen) in het onderzoeksgebied, flink afwijken van de waarden volgens de Gd-kaart. Hierbij moet worden bedacht dat de hoge resolutie van 25x25 m niet automatisch betekent dat de nauwkeurigheid hoog is. Gelet op de informatiedichtheid (circa één gerichte opname per vierkante kilometer) kan de nauwkeurigheid van de Gd-kaart het best worden vergeleken met die van de bodemkaart 1:50.000 en geldt dus ook voor de Gd-kaart dat deze voor toepassing op perceel- en bedrijfsniveau niet nauwkeurig genoeg is. Overigens is bij de Gd-kaart de nauwkeurigheid van de gekarteerde GHG's en GLG's wel gekwantificeerd, zodat daar rekening mee gehouden kan worden bij toepassing van de kaart.

#### **Grondwaterstandbuizen**

In het onderzoeksgebied staan veel grondwaterstandbuizen. De meeste buizen zijn ongeschikt voor onderzoeken naar schade voor de landbouw als gevolg van waterwinning: ze staan niet in het open veld, maar langs wegbermen of sloten, het peilfilter is te diep en/of in dan wel onder weerstand biedende lagen (lagen die een belemmerende invloed hebben op de beweging van water in de bodem) in de bodem geplaatst (zie ook bijlage 4). Buizen voor onderzoek naar schade voor de landbouw als gevolg van waterwinning moeten in het open veld staan en de grondwaterstandspiegel weergeven van de freatische zone. De drie beschikbare buizen zijn om deze reden niet gebruikt om de grondwaterkarakteristieken van de kaartvlakken invulling te geven of te verifiëren. De buizen zijn in dit onderzoek wel gebruikt bij de vergelijking met de resultaten uit het LHM (zie bijlage 1), waarmee tijdreeksen zijn vervaardigd.

---

## Grondwaterstandverlaging volgens het hydrologisch model

De gemodelleerde grondwaterstandverlaging, die het resultaat is van alle waterwinningen van Vitens in Oost-Nederland, kan niet zonder meer gebruikt worden voor onderzoeken naar schade voor de landbouw als gevolg van waterwinning. De gemodelleerde grondwaterstandverlaging is namelijk over het algemeen te groot voor gebieden met relatief ondiep aanwezige weerstand biedende lagen in de bodem. Deze ondiepe weerstand biedende lagen zorgen ervoor dat de werkelijke grondwaterstandverlaging door de waterwinningen kleiner is dan de gemodelleerde grondwaterstandverlaging. Massop en Stoffelsen (2017) hebben hiervoor een correctiemethode ontwikkeld, die door ACSG toegepast is in het onderzoeksgebied. In dit onderzoek is de door ACSG gecorrigeerde grondwaterstandverlaging gebruikt. De gebruikte correctiemethode is op dit moment nog niet voldoende uitgekristalliseerd en geformaliseerd en daarmee te afhankelijk van expertkennis.

De gemodelleerde grondwaterstandverlaging gebruiken zonder correctie voor weerstand biedende lagen heeft tot gevolg dat er in zones met veel verlaging en weerstand biedende lagen in de situatie voor waterwinning (te veel) natschade wordt berekend. Als gevolg van de waterwinning neemt deze vermeende natschade af en wordt verrekend met de droogteschade, die ontstaan is of toegenomen is als gevolg van de waterwinning. De totale schade als gevolg van de waterwinning wordt hiermee onderschat voor gebieden met weerstand biedende lagen.

Onder andere in de volgende situaties kan een vermoeden ontstaan dat de gemodelleerde grondwaterstandverlaging gecorrigeerd moet worden:

- Wanneer de grondwaterstanden voor winning (ruim) boven maaiveld worden berekend bij gebruik van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging.
- Wanneer in gebieden met droog ontwikkelde bodemprofielen (xero-gronden) in de situatie voor de grondwaterwinning natschade wordt berekend bij gebruik van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging.
- Meer in het algemeen: in gebieden waar op basis van openbare bronnen (hulpinformatie) weerstand biedende lagen verwacht worden.

## Verwachte droogteschade

Uit scenario B volgt dat er vooraf (dus voor het veldonderzoek ter plekke) niet zomaar een goede inschatting gemaakt kan worden van de hoeveelheid verwachte droogteschade, omdat de hydrologische situaties met en zonder de grondwaterwinning dan nog niet bekend zijn. Daarnaast is pas na de kartering in het veld vast komen te staan hoeveel de door het hydrologisch model berekende grondwaterstandverlaging gecorrigeerd diende te worden voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen. De (ongecorrigeerde) gemodelleerde grondwaterstandverlaging is echter wel als indicator te gebruiken voor de te verwachten droogteschade. In zijn algemeenheid zal de kans op droogteschade toenemen als de grondwaterstand (meer) verlaagd wordt door de grondwaterwinning. Een karterstrategie zou dus goed gebruik kunnen maken van de verwachte verlaging: waar een grote gradiënt in de verlagingskegel (en/of de actuele grondwatertrap) aanwezig is, kunnen ook grote verschillen in droogteschade optreden. Dit zijn de gebieden waar de extra te verdelen boringen gebruikt moeten worden om de bodemkundige en actuele hydrologische situatie zo goed mogelijk in beeld te krijgen en om de gemodelleerde grondwaterstandverlaging eventueel zo goed mogelijk te kunnen corrigeren.

## Bodemprofielbeschrijving en detailkartering

In dit onderzoek is veel gebruikgemaakt van veldinformatie, die verzameld is tijdens de gangbare detailkartering, namelijk: de beschrijvingen van de boorprofielen en de bijbehorende kaarten (bodem-, grondwatertrappen- en vlakkenkaart). Laatstgenoemde kaarten zijn alleen gebruikt in scenario F (de gangbare kartering). Bij de meeste andere scenario's hebben we een selectie gebruikt van de beschikbare boorpunten.

In onderzoeken naar schade in de landbouw als gevolg van waterwinningen worden beschrijvingen van boorprofielen op de volgende manieren gebruikt:

- Aan de hand van de boorbeschrijvingen wordt bepaald om wat voor soort bodem het gaat en bovendien blijkt uit de beschrijvingen van de lagen om wat voor soort materiaal het gaat. Hier worden o.a. de vocht karakteristieken en de bewortelbare diepte uit afgeleid.

- Aan de hand van kenmerken in het profiel en veldkenmerken in de nabijheid van de boring wordt een inschatting gemaakt van de grondwaterkarakteristieken GHG en GLG (en dus de grondwatertrap) ter plekke. Bij deze inschatting wordt rekening gehouden met de verschillende beschreven bodemlagen, de eigenschappen van het bodemmateriaal en de veldkenmerken in de buurt. De gemeten grondwaterstand en ingeschatte GHG en GLG worden vergeleken met metingen van relevante, in de buurt aanwezige grondwaterstandbuizen.
- Uit de boorbeschrijvingen blijkt ook of er mogelijk scherpe overgangen tussen bodemlagen of bijzondere bodemlagen aanwezig zijn die een weerstand biedende invloed hebben op de beweging van water in de bodem.

Voor onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning is het belangrijk om al deze drie toepassingen van de boorprofielen in het vizier te houden tijdens het maken van de boorbeschrijvingen. Ze vormen een samenhangend geheel, die alleen in combinatie een compleet beeld geeft van de situatie ter plekke. Alle drie hebben bovendien een unieke en belangrijke rol tijdens het bepalen van de schade als gevolg van waterwinning. Bij het ontbreken of onvolledig zijn van de informatie kan de schade niet goed vastgesteld worden. Het maakt hierbij niet uit of de uitwerking gedaan wordt volgens de TCGB-methode of met Waterwijzer Landbouw. Daarbij wordt meegewogen dat in grondwateronttrekkingsgebieden in de praktijk vaak onvoldoende geschikte grondwaterstandbuizen aanwezig zijn op basis waarvan een goede schatting van de GHG en de GLG kan worden gedaan ten behoeve van schade in de landbouw door waterwinningen. Alleen wanneer een goed peilbuisenmeetnet aanwezig is en er geen variatie in bodemopbouw aanwezig is, zou wellicht volstaan kunnen worden met een grondwaterkartering aan de hand van gerichte opnames.

Het onderscheiden van minder klassen, bijvoorbeeld door veldpodzolgronden en gooreerdgronden samen te voegen, betekent niet automatisch dat er minder veldwerk nodig is. De hoeveelheid veldwerk hangt namelijk af van de ruimtelijke verdeling van de klassen en niet van het aantal. Zelfs wanneer het aantal te onderscheiden klassen teruggebracht wordt tot twee, kan de ruimtelijke verdeling van die twee klassen zodanig zijn dat veel boringen nodig zijn om de patronen in kaart te brengen.

In bijlage 5 is in meer detail beschreven hoe de bodemprofielbeschrijvingen en de detailkartering in de huidige werkwijze vastgesteld en gebruikt worden in onderzoeken naar gewasschade. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de uitwerkingen volgens de TCGB-methode of met Waterwijzer Landbouw.

### **Gerichte opname**

Een gerichte opname is een meting van de grondwaterstand in een open boorgat in een periode dat de grondwaterstanden zich in een gebied rondom GHG of GLG bevinden. Een grondwaterkartering op basis van een gerichte opname vereist dus twee metingen: één aan het begin van het groeiseizoen en één aan het einde van het groeiseizoen. Om een goede vertaling te kunnen maken van een meting van de grondwaterstand in een open boorgat naar een GHG en een GLG, zijn tijdreeksen van vaste grondwaterstandbuizen uit het gebied noodzakelijk. In de praktijk blijkt vaak dat kwalitatief goede tijdreeksen schaars zijn. Tijdens het uitvoeren van de detailkartering in dit gebied is ook een gerichte opname uitgevoerd op 45 plekken. Resultaten hiervan zijn verwerkt in de resultaten van de detailkartering (oftewel scenario F). Tijdens dit onderzoek is niet opnieuw gebruikgemaakt van de gerichte opname van de grondwaterstanden, omdat het aantal plekken ten opzichte van het oppervlak gering is (1 per 18 ha) en de plekken bovendien niet over het hele gebied verdeeld zijn. De toen uitgevoerde gerichte opname is uitgevoerd naast de detailkartering ter verificatie van de detailkartering. Om de gerichte opname te kunnen gebruiken als zelfstandige informatiebron had deze uitgebreider opgezet moeten worden. In zijn algemeenheid is een gerichte opname van de grondwaterstanden echter wel een zeer gewenste aanvullende methode om voor een gebied de GHG en GLG in te schatten dan wel te verifiëren.

De gerichte opname uitvoeren tijdens bijzonder natte of droge weerjaren maakt de interpretatie van de resultaten moeilijker. Bij de analyse van de gemeten waterstanden is het echter ook zeer gewenst om te weten hoe de bodemopbouw is van de open boorgaten, of er weerstand biedende lagen aanwezig zijn en waar de GHG en GLG ingeschat worden op basis van de kenmerken in het veld. Zonder deze aanvullende informatie wordt het moeilijker om de gemeten waterstanden in de open boorgaten goed te relateren en te interpreteren.



---

### **Verdeling van de boorlocaties**

Bij iedere karterstrategie moet er een keuze worden gemaakt hoeveel boringen worden gedaan en hoe deze waarnemingen worden verdeeld over het gebied. Een deel van de boringen zal nodig zijn om de kaartvlakken inhoud te geven of om de inhoud van de kaartvlakken te controleren. De rest kan gebruikt worden om specifiek te kijken naar mogelijke schadegevoelige gebieden. Aandacht besteden aan mogelijke schadegevoelige gebieden (zoals o.a. scenario D) blijkt namelijk een beter resultaat op te leveren dan de boringen gelijkmatig te verdelen over het gebied (zoals scenario C). Scenario C en D hebben namelijk evenveel veldwaarnemingen gebruikt. Uit dit onderzoek volgt ook dat naast de verdeling van de boringen, vooral het aantal boringen van invloed is op de schatting van de schade. Het doen van meer veldwaarnemingen leidt (in ieder geval in dit gebied) tot een betere schatting van de schade.

### **Hangwaterprofielen**

Een mogelijke tijdsbesparing kan worden bereikt door het onderzoeksgebied te verkleinen door gebieden waar met redelijke zekerheid geen schade wordt verwacht als gevolg van de waterwinning buiten het onderzoek te laten. Hangwaterprofielen zijn voor de vochtvoorziening niet afhankelijk van het grondwaterniveau en worden dus niet beïnvloed door een waterwinning. Gebieden die in de onbeïnvloede situatie bestaan uit hangwaterprofielen kunnen worden uitgesloten van extra onderzoek.

Uit dit onderzoek volgt dat op voorhand niet met zekerheid kan worden gezegd dat een profiel, dat in de beïnvloede situatie een hangwaterprofiel is, ook in de onbeïnvloede situatie een hangwaterprofiel is. Dat is namelijk afhankelijk van de GXG in de beïnvloede situatie en de (gecorrigeerde) grondwaterstandverlaging. Met name in gebieden met weerstand biedende lagen is dat lastig gebleken. Uiteraard kunnen er wel profielen zijn waarbij de grondwaterstand heel diep ligt ten opzichte van de ongecorrigeerde verlaging. In die gevallen zul je in de beïnvloede en onbeïnvloede situatie te maken hebben met een hangwaterprofiel. Het zal echter moeilijk zijn om dit op voorhand met zekerheid vast te stellen, maar hier kan zeker rekening mee worden gehouden.

### **Het gebruik van Waterwijzer Landbouw**

Waterwijzer Landbouw-maatwerk is in dit scenario-onderzoek in staat gebleken om op basis van verschillende soorten bodemkaarten en GHG- en GLG-kaarten de gewas-opbrengstderving (gras) te berekenen als gevolg van waterwinningen. Het voordeel van WWL-maatwerk is dat de uitwerkmethode grotendeels via een geautomatiseerde procedure wordt uitgevoerd. Hierdoor is het mogelijk om gebieden met veel kaartvlakken of gebieden met weinig kaartvlakken op precies dezelfde manier door te rekenen. In de procedure zitten weinig beslismomenten die afhankelijk zijn van interpretatie door experts. Hierdoor zijn de met WWL berekende opbrengstdervingen als gevolg van waterwinningen transparant, consistent en reproduceerbaar. En daarmee zeer geschikt om het effect van alternatieve karterstrategieën te vergelijken met de gangbare karterstrategie. De door WWL berekende opbrengstdervingen zijn niet getoetst aan de werkelijke opbrengstdervingen. Laatstgenoemde opbrengstdervingen zijn namelijk zeer moeilijk vast te stellen in waterwingebieden, omdat niet met zekerheid vastgesteld kan worden wat de opbrengst zou zijn geweest in de situatie zonder waterwinning.

De berekende opbrengstdervingen zijn het resultaat van de volgende (door elkaar heen lopende) effecten:

- effect van bodem
- effect van GHG en GLG
- effect van grondwaterstandverlaging

---

## 4.2 Voor- en nadelen van de scenario's

De scenario's B t/ E zijn vergeleken met een gangbare detailkartering (scenario F).

### Kosten

De onderzoekskosten staan in paragraaf 3.3. Bij scenario B wordt geen veldwerk uitgevoerd en zijn de onderzoekskosten dus het laagst. Bij scenario F wordt het meeste veldwerk uitgevoerd en zijn de onderzoekskosten het hoogst. Scenario F (de gangbare detailkartering) heeft wel de laagste kosten voor vooronderzoek, omdat begonnen wordt met een 'blanco' kaart. Bij de andere scenario's is de karterstrategie gebaseerd op bestaand kaartmateriaal dat onderzocht en verwerkt moet worden voordat het eventuele veldonderzoek kan beginnen. Dit vooronderzoek kost meer tijd dan bij F. De kosten variëren van globaal 8 euro per hectare voor scenario B tot 119 euro per hectare voor scenario F.

### Nauwkeurigheid

Zowel op perceel- als op bedrijfsniveau nemen de mediaan en maximale absolute fout af wanneer er meer waarnemingen (boringen) in het veld uitgevoerd worden. De mediaan en maximale absolute fout zijn op bedrijfsniveau gunstiger dan op perceelniveau, omdat de schattingsfouten op een niveau met een groter beschouwd oppervlak zich beter uitmiddelen. Hoe meer waarnemingen (boringen) in het veld worden uitgevoerd, des te hoger de kwaliteit van de schatting van de opbrengstderving/schade is als gevolg van de waterwinning.

Uit dit onderzoek blijkt dat kleine bedrijven dus een grote invloed hebben op de nauwkeurigheid (maximaal absoluut verschil en maximaal benodigde compensatie), omdat schattingsfouten zich binnen zulke kleine bedrijven minder uitmiddelen. Dit zou als consequentie kunnen hebben dat de aanpak van de karterstrategie ook afhankelijk is van de bedrijfsgrootte. In gebieden met grote bedrijven (veel ha) kan mogelijk met een kleinere waarnemingsdichtheid worden volstaan dan in een gebied met (veel) kleine bedrijven. Het is overigens ook te overwegen om de mate van compensatie te laten afhangen van de bedrijfsoppervlakte. Bij een kleine bedrijfsoppervlakte wordt dan bijvoorbeeld meer gecompenseerd per hectare dan bij een grote bedrijfsoppervlakte. Dit is goed te beargumenteren vanuit de mate waarin fouten zich binnen een bedrijf uitmiddelen.

### Kosteneffectiviteit

In dit onderzoek zijn de kosten meegenomen van het vooronderzoek en het veldonderzoek. Het resultaat van deze twee fasen zijn verschillende gebiedsdekkende vlakkenkaarten. Kosten voor de uitwerkfase zijn niet meegenomen, omdat deze afhankelijk zijn van de gekozen uitwerkmethode (TCGB-methode of met Waterwijzer Landbouw) en de uitwerkmethode niet verschilt tussen de scenario's.

Het zal natuurlijk wel zo zijn dat een groter of intensiever onderzocht gebied meer uitwerktijd vergt dan een kleiner of minder intensief onderzocht gebied, maar de uitwerktijd is echter niet proportioneel met de grootte van het gebied of de intensiviteit waarmee het gebied is onderzocht. Relatief gezien kost een kleiner of minder intensief onderzocht gebied uitwerken meer tijd dan een groter of intensiever onderzocht gebied uitwerken, zeker bij een grotendeels geautomatiseerde uitwerkmethode. Als de kosten voor het uitwerken wel meegenomen zouden zijn in de kosten-batenanalyse, zou het effect hiervan op de resultaten minimaal zijn, oftewel de verhoudingen tussen de scenario's zouden niet heel anders uitvallen.

Uit dit onderzoek blijkt dat het verlies aan nauwkeurigheid (in termen van de fout in berekende schade op perceel- en bedrijfsniveau) door te besparen op onderzoek in het veld groter is dan de besparing in onderzoekskosten. Als je gemiddeld genomen de absolute fout zo klein mogelijk wilt houden, dan wegen bij de door ons gekozen scenario's de extra onderzoekskosten van een duurder scenario altijd op tegen de lagere onderzoekskosten van een goedkoper scenario. Met andere woorden: de 'duurdere' scenario's zijn kosteneffectiever dan de 'goedkopere' scenario's.

Bij scenario C en D worden evenveel waarnemingen (boringen) gedaan in het veld. Bij C worden deze boringen gelijkmatig verdeeld over het onderzoeksgebied. Bij D worden de boringen verdeeld over het onderzoeksgebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade. De kosten voor vooronderzoek zijn bij D iets hoger dan bij C, maar de winst in nauwkeurigheid is nog hoger bij D. Met andere woorden: D is minder kosten-ineffectief dan C.

---

## **Doorlooptijd**

De doorlooptijd hangt sterk samen met de onderzoekskosten. Met name het uitvoeren van boringen in het veld kost veel tijd. Bij scenario B kan het daadwerkelijke onderzoek binnen één maand uitgevoerd worden. Bij scenario F gaat de doorlooptijd van het onderzoek eerder richting een jaar (uiteraard afhankelijk van de grootte van het gebied).

De doorlooptijd wordt niet bruikbaar verkort door minder informatie te verzamelen op één plek, maar het is wel mogelijk om tijd te besparen door informatie te verzamelen op minder plekken.

Verder betekent het onderscheiden van minder klassen, bijvoorbeeld door veldpodzolgronden en gooreerdgronden samen te voegen, niet automatisch dat er minder veldwerk nodig is. De hoeveelheid veldwerk hangt namelijk af van de ruimtelijke verdeling van de klassen en niet van het aantal. Zelfs wanneer het aantal klassen teruggebracht wordt tot twee, dan kan de ruimtelijke verdeling van die twee klassen zodanig zijn dat veel boringen nodig zijn om de patronen goed in kaart te brengen.

De doorlooptijd is te verkorten door de inzet van meer veldbodemkundigen (van meerdere bedrijven en instituten). Omdat de hoeveelheid uit te voeren werk hetzelfde blijft, leidt inzet van meer veldbodemkundigen niet per se tot hogere kosten.

De doorlooptijd wordt niet verkort door het veldwerk te beperken tot het uitvoeren van gerichte opnames, omdat dan tweemaal, met een tussenpauze van ongeveer minimaal zes maanden, een locatie bezocht moet worden om een GHG- en een GLG-meting uit te voeren.

## **Expertise**

Dit soort onderzoeken naar gewas-opbrengstderving als gevolg van waterwinningen vereisen in zijn algemeenheid kennis van de bodem en grondwater en de invloed hiervan op gewasgroei.

Tijdens het vooronderzoek is naast bovengenoemde kennis ook ervaring nodig met GIS. En bij scenario C is daarnaast ook nog ervaring nodig met statistische monsternametechnieken om de boorlocaties gelijkmatig te kunnen verdelen over het gebied.

Daarnaast is bij alle scenario's (behalve B) specifieke veldbodemkundige kennis nodig. Deze expertise is niet wijdverbreid. De beschikbare hoeveelheid personeel die hiervoor ingezet kan worden, is (nu) beperkt en daarmee is de uitvoering/uitvoersnelheid van deze scenario's beperkt. Bij een gegarandeerd vooruitzicht op voldoende werk is het echter mogelijk om te investeren in personeel.

## **Bruikbaarheid**

Onder bruikbaarheid bedoelen we in welke mate het scenario voldoet aan de vraag die gesteld wordt. De in hoofdstuk 1 gestelde onderzoeksvragen bevatten een aantal aspecten: kortere doorlooptijd, lagere onderzoekskosten en voldoende nauwkeurigheid. Wanneer we de bruikbaarheid beoordelen aan de hand van de individuele aspecten, dan is scenario B vanuit doorlooptijd en vanuit onderzoekskosten gezien het gunstigst, maar vanuit nauwkeurigheid (en kosteneffectiviteit) gezien het minst gunstig. Bij de gangbare detailkartering (scenario F) is dit precies andersom.

De bruikbaarheid moet echter beoordeeld worden op basis van alle aspecten tezamen. Daarbij moeten dus de aspecten ten opzichte van elkaar gewogen worden. Die weging zal voor iedere belanghebbende anders zijn. De opdrachtgever, ACSG, zal deze afweging (in overleg met belanghebbenden) dienen te maken.

Het is ook mogelijk om de bruikbaarheid anders te beoordelen, namelijk in welke mate een scenario ook voor het beantwoorden van andere vragen gebruikt kan worden. Om bijvoorbeeld het grondwatermodel te valideren, zijn aanvullende waarnemingen in het veld noodzakelijk. In gebieden met veel verticale weerstand (bijvoorbeeld door aanwezigheid van keileem) is goed inzicht in het voorkomen van keileem onontbeerlijk; meer bodemprofielbeschrijvingen leveren meer inzicht op. Scenario B is hiervoor niet bruikbaar en scenario F is hiervoor het bruikbaarst.

---

## 4.3 Toekomstig onderzoek in waterwingebieden

Dit onderzoek toont aan dat de openbare, landelijk beschikbare informatie in dit onderzoeksgebied van onvoldoende kwaliteit is om nauwkeurige en efficiënte schadeberekeningen als gevolg van grondwaterwinningen uit te kunnen voeren. Dit wil echter niet zeggen dat de openbare, landelijk beschikbare informatie ook in andere grondwaterwingebieden van onvoldoende kwaliteit en daarmee niet bruikbaar is.

ACSG heeft voor toekomstige schadeonderzoeken een alternatieve karteeraanpak uitgedacht in de vorm van een beslisboom. De beslisboom van ACSG bestaat uit een regionale verkenning en alternatieve kartering en is weergegeven in figuur 4.1.

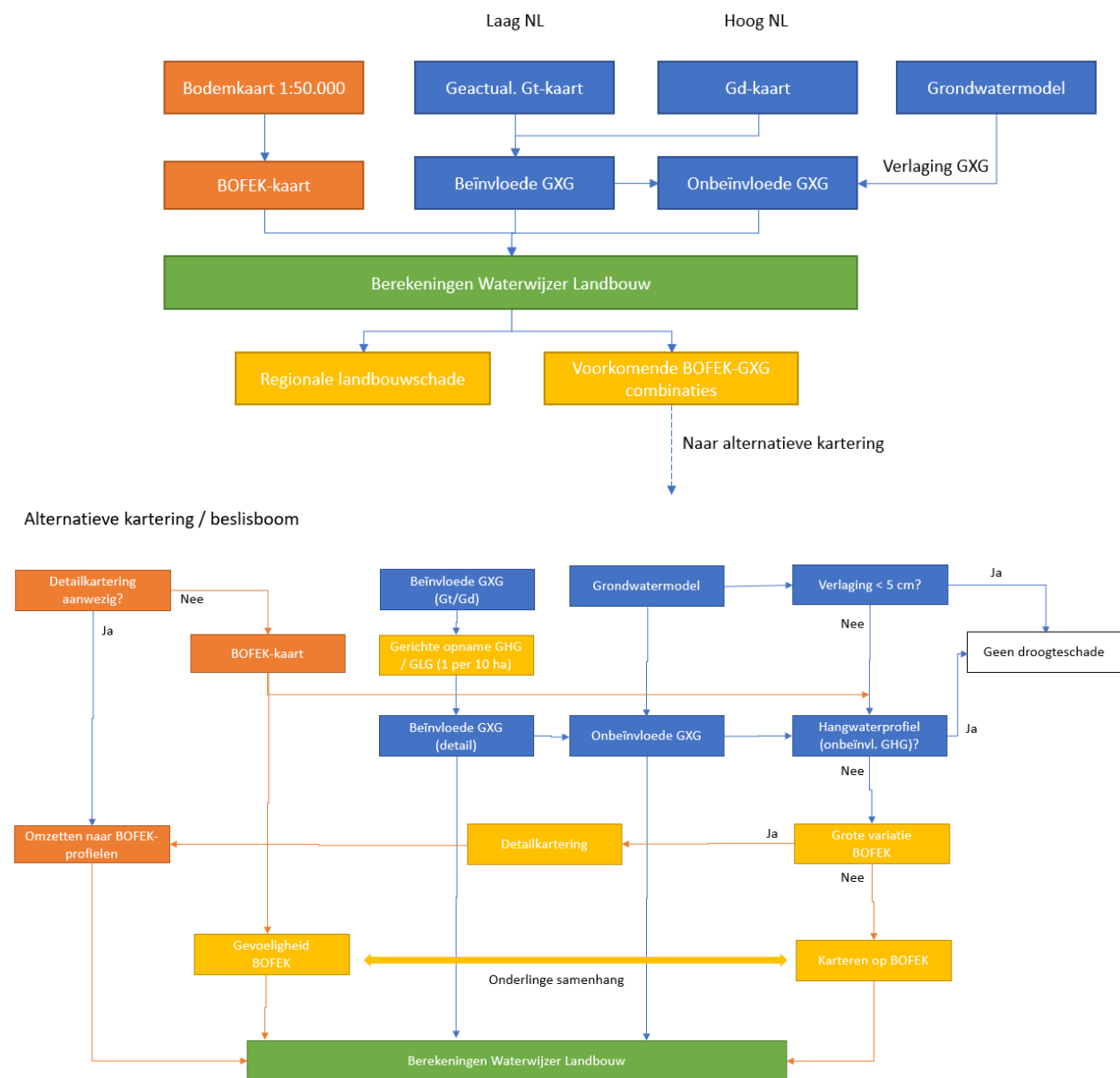
Deze alternatieve aanpak is erop gericht om het interessegebied voor het veldonderzoek te verkleinen door gebieden in het grondwaterwingebied te identificeren waar (gedetailleerd) veldonderzoek nodig is om de schade voor het gehele grondwaterwingebied efficiënt en betrouwbaar genoeg vast te kunnen stellen.

De alternatieve aanpak van ACSG begint met een regionale verkenning van de landbouwschade. Informatiebronnen hiervoor zijn o.a. de bodemkaart schaal 1:50.000, de Gt-/Gd-kaart en de gemodelleerde verlaging van de GXG. Hiermee kan de beïnvloede (met waterwinning) en onbeïnvloede (zonder waterwinning) GXG vastgesteld worden. Vervolgens wordt met Waterwijzer Landbouw (in deze fase WWL-tabel) de regionale schade als gevolg van de grondwaterwinning berekend. Deze regionale verkenning is in grote lijnen gelijk aan scenario B uit dit rapport. De verschillen tussen de regionale verkenning uit de alternatieve aanpak van ACSG en scenario B zijn:

- bij scenario B zijn de vlakken van de bodem- en Gd-kaart enigszins aangepast aan de hand van landschapsvormen, die we afleiden van de hoogtekkaart. Bij de voorgestelde regionale verkenning van ACSG wordt dat niet gedaan.
- Bij scenario B is geen gebruikgemaakt van de (vertaling van bodemkaart naar) BOFEK-kaart, omdat bij de vergelijkende scenariostudie alle scenario's op dezelfde wijze doorgerekend moesten worden met Waterwijzer Landbouw maatwerk. Het is waarschijnlijk dat de resultaten van de voorgestelde regionale verkenning grotendeels vergelijkbaar zullen zijn met de resultaten van scenario B.

De regionale verkenning uit figuur 4.1 kan gebruikt worden om een indicatie te krijgen van hoe groot de schade in de verschillende gebieden van het grondwaterwingebied zou kunnen zijn. Als vooraf duidelijk is bij welk schadepercentage er wel of juist geen detailkartering nodig is, kun je hiermee gebieden identificeren waar een detailkartering nodig is en waar niet per se. Daarnaast moet duidelijk zijn wat het gewenste detailniveau van het kaartmateriaal mag zijn. Dit zou eventueel met een gebiedscommissie overlegd kunnen worden, zodat ook draagvlak voor de werkwijze en overeenstemming over het gewenste detailniveau bereikt kan worden.

Om bij de alternatieve aanpak een goed beeld te krijgen van de actuele grondwaterdynamiek is een representatief meetnet van grondwaterstandbuizen noodzakelijk. Ervaringen uit voorgaande schadekarteringen leert dat van de beschikbare grondwaterstandbuizen een te beperkt aantal daadwerkelijk geschikt is voor het droogteschadeonderzoek. Een goed meetnet van grondwaterstandbuizen is van groot belang voor het efficiënt uitvoeren van het veldonderzoek en het kunnen uitvoeren van realistische schadeberekeningen.



**Figuur 4.1** Door ACSG aangereikte alternatieve aanpak bestaande uit een regionale verkenning en een alternatieve kartering/beslisboom (Bron: ACSG).

De alternatieve aanpak gaat verder met de vraag of er reeds een detailkartering aanwezig is. Wanneer een detailkartering van (een deel van) het schadegebied aanwezig is, is het belangrijk om die (in het veld) te controleren op actualiteit. Komt er bijvoorbeeld veen in het gebied voor? Veen kan namelijk verdwijnen als gevolg van oxidatie. Komen de eerder gekarteerde grondwaterstanden nog overeen met de huidige situatie? Dit kan aan de hand van bestaande freatische grondwaterstandbuizen worden vastgesteld. Verder is een (beperkte) gerichte opname van de GXG zeer zinvol om de bestaande detailkartering te controleren en eventueel te verbeteren.

Vervolgens richt de alternatieve aanpak zich op de gebieden waar een verandering van de grondwaterstand wordt berekend. Gebieden met een hangwaterprofiel in de beïnvloede en onbeïnvloede situatie behoeven niet gekarteerd te worden, aangezien hier geen landbouwkundige effecten worden verwacht. Dit is echter niet met zekerheid te zeggen, aangezien het gebruikte kaartmateriaal (bodemkaart 1:50.000 en geactualiseerde Gt-/Gd- kaart) hierover niet altijd voldoende uitsluitsel kan geven. We bevelen dan ook aan om die gebieden

---

wel steekproefsgewijs te controleren. Het scenario-onderzoek (verschil tussen scenario C en D) laat zien dat het loont om bij het kiezen van de boorlocaties rekening te houden met de GXG-verlaging en dus meer aandacht te besteden aan gebieden met een grote GXG-verlaging.

Tijdens het veldonderzoek is het mogelijk om BOFEK-eenheden te karteren of om de bodem in detail te beschrijven. Het noteren van een BOFEK-eenheid in het veld in plaats van het beschrijven van de bodem in detail zal een zeer geringe tijdwinst opleveren. Wij bevelen aan om de bodem in detail te beschrijven, zodat deze informatie beschikbaar blijft voor de verdere uitwerking en interpretatie en ook als onderbouwing bij (eventuele) bezwaarschriften. Bij het in detail beschrijven van de bodem wordt namelijk belangrijke informatie vastgelegd zoals laagdikte, bewortelbare diepte en storende lagen (bijvoorbeeld keileem, grind). De bewortelbare diepte is een gevoelige factor bij het berekenen van droogteschade. Informatie over de storende lagen is nodig om de GXG-verlaging van het grondwatermodel te kunnen corrigeren. Het scenario-onderzoek heeft aangetoond dat deze correctie noodzakelijk is. Bij het werken met BOFEK-eenheden (Heinen et al., 2021) kan geen rekening worden gehouden met in het veld vastgestelde bewortelbare diepten en/of storende lagen. De in detail vastgelegde bodemkundige informatie (beschrijving bodemprofiel) voldoet bovendien aan de eisen van de wet BRO.

Een belangrijk uitgangspunt dat van invloed is op de hoeveelheid veldwerk is het gewenste schaalniveau. Op basis van deze scenariostudie concluderen we dat een veldonderzoek volgens de gangbare methode (grosfeg fhaal 1:10.000 tot 1:25.000) het nauwkeurigst en efficiëntst is. Een globaler fhaalniveau kan resulteren in een besparing op de hoeveelheid werk, maar de uiteindelijke fshade minder nauwkeurig weergeven. Het is mogelijk om in een gebied te werken met verschillende fhaalniveaus afhankelijk van de verwachte fshade (uit bijvoorbeeld de regionale verkenning). ACSG zou kunnen overwegen om met minder nauwkeurige kaarten te werken, en bijvoorbeeld ruimer droogteschade te compenseren. Minder gedetailleerd karteren kan echter ook leiden tot meer procedures of minder draagvlak onder boeren. Al deze zaken moeten tegen elkaar afgewogen worden.

---

## 5 Conclusie en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Het doel van dit onderzoek is om een aantal alternatieve karteerscenario's te ontwikkelen met een kortere doorlooptijd en om de nauwkeurigheid en efficiëntie ten opzichte van de huidige gedetailleerde karteermethode te analyseren.

Onder nauwkeurigheid wordt verstaan: het verschil in berekende schade volgens het scenario en de gangbare karteermethode. Onder efficiëntie wordt verstaan: de verhouding tussen het verschil in onderzoekskosten en het verschil in berekende schade ten opzichte van de gangbare karteermethode. Een reductie van onderzoekskosten is efficiënter naarmate deze groter is dan de afname in nauwkeurigheid van de schadeberekening.

De nauwkeurigheid en de efficiëntie van de scenario's zijn beoordeeld op basis van de schade op perceelniveau en op bedrijfsniveau ten opzichte van de schade voor de gangbare detailkartering van het onderzoeksgebied.

In dit onderzoek hebben we de volgende onderzoeksvragen behandeld en beantwoord:

- Op welke manieren kan de doorlooptijd verkort en/of de onderzoekskosten beperkt worden voor het verkrijgen van bodemkundige/hydrologische informatie voor een schadeberekening voor een grondwaterwingebied?
- Wat is het verschil tussen de schadeberekening op basis van verschillende gebruikte bodemkundige/hydrologische gegevens en de beschikbare detailkartering en hoe verhoudt dit verschil zich tot het verschil in kosten?

Een kortere doorlooptijd in schadeonderzoeken kan in essentie op een aantal manieren bewerkstelligd worden door:

- met meer veldbodemkundigen (van verschillende bedrijven en instituten) het gebied te onderzoeken.
  - Dit aspect is in dit onderzoek niet echt onderzocht, omdat het gedetailleerde karteeronderzoek al uitgevoerd was en we gebruikmaakten van de resultaten van dit veldwerk. Op deze manier is de doorlooptijd echter zeker te verkorten.
- het te karteren areaal te verminderen.
  - Dit aspect is in dit onderzoek onderzocht door bij scenario D en E de boringen namelijk te verdelen over het onderzoeksgebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade. Met andere woorden: aan bepaalde gebieden is minder aandacht besteed. Het blijft echter verstandig om in het hele onderzoeksgebied in meer of mindere mate veldonderzoek te doen naar de ruimtelijke patronen. Dan kunnen namelijk veronderstelde bodem- en grondwaterkarakteristieken geverifieerd worden.
- de karteerinspanning te verminderen en informatie uit het AHN te benutten.
  - Dit aspect is in dit onderzoek uitgebreid onderzocht door scenario's mee te nemen met alle beschikbare boringen (F), met 50% van de beschikbare boringen (E), met 25% van de beschikbare boringen (C en D) en door geen boringen mee te nemen (B), maar informatie over ruimtelijke patronen te ontleen aan het AHN. Geen veldwaarnemingen meenemen heeft overigens tot gevolg dat de gemodelleerde grondwaterstandverlaging niet gecorrigeerd kan worden voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen.

De doorlooptijd is in essentie proportioneel met de benodigde onderzoekskosten, omdat de onderzoekskosten vooral personeelskosten zijn en werkzaamheden gedeeltelijk na elkaar uitgevoerd moeten worden. Bij veel scenario's bepaalt het vooronderzoek namelijk hoe de kartering uitgevoerd moet worden. Meer capaciteit tijdens de veldwerkfase kan de doorlooptijd wel verkorten.

---

Een methode (i.c. scenario B) waarbij geen veldwerk uitgevoerd wordt maar alleen onderzoek verricht wordt aan bestaande, openbaar beschikbare informatie en kaartmateriaal, is wat betreft onderzoekskosten het goedkoopst. De kwaliteit van de beschikbare informatie en het kaartmateriaal (vooral beschikbaar op schaal 1:50.000) is onvoldoende om op perceel- en bedrijfsniveau goede schattingen te kunnen maken van de schade voor de landbouw als gevolg van de grondwaterwinning. De nauwkeurigheid van dit scenario is dan ook het slechtst en dit scenario is niet kosteneffectief ten opzichte van de gangbare karteermethode, evenmin als de andere drie scenario's.

Het toevoegen van veldwaarnemingen (boringen) aan het onderzoek naar de schade van grondwaterwinningen verhoogt de nauwkeurigheid. Het doen van veldwaarnemingen draagt namelijk op drie manieren bij aan het verbeteren van de nauwkeurigheid:

- Aan de hand van de boorbeschrijvingen kan bepaald worden om wat voor soort bodem en om wat voor soort materiaal het gaat. Deze informatie zegt al veel over de potentiële gewasgroei en is belangrijk voor een goede bepaling van de schade.
- Aan de hand van kenmerken in het profiel, veldkenmerken in de nabijheid van de boring en grondwaterkarakteristieken van relevante, in de buurt aanwezige grondwaterstandbuizen kan een inschatting gemaakt worden van de GHG en GLG (en dus de grondwatertrap) ter plekke. Deze informatie zegt veel over in hoeverre de beschikbaarheid van water (te veel of te weinig) groeibeperkend is in de situatie na waterwinning.
- Uit de boorbeschrijvingen blijkt ook of er mogelijk bodemlagen aanwezig zijn die een 'storende' invloed hebben op de beweging van water in de bodem. Deze informatie zegt ook iets over de beschikbaarheid van water, maar kan vooral ook gebruikt worden om de gemodelleerde grondwaterstandverlaging te verbeteren. En zo'n correctie is nodig gebleken in het onderzoeksgebied (zie paragraaf 3.2.7).

Voor onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning is het belangrijk om al deze drie toepassingen van de veldwaarnemingen (boringen) in het vizier te houden tijdens het maken van de boorbeschrijvingen. Ze vormen een samenhangend geheel, die alleen in combinatie een compleet beeld geeft van de situatie ter plekke. Bij het ontbreken of onvolledig zijn van de informatie kan de schade niet goed vastgesteld worden, ongeacht de methode van uitwerken (de TCGB-methode of met Waterwijzer Landbouw).

Uit dit onderzoek is gebleken dat meer boringen toevoegen tot een grotere nauwkeurigheid leidt op perceel- en bedrijfsniveau. Door veldwaarnemingen toe te voegen, stijgen de onderzoekskosten, maar deze onderzoekskosten in €/ha stijgen minder hard dan de toename in de nauwkeurigheid in €/ha. Veldwaarnemingen zijn nodig om de ruimtelijke patronen in kaart te brengen. Het aantal veldwaarnemingen hangt niet af van het aantal te onderscheiden klassen. Zelfs wanneer het aantal te onderscheiden klassen teruggebracht wordt tot twee, kan de ruimtelijke verdeling van die twee klassen zodanig zijn dat veel veldwaarnemingen nodig zijn om de patronen in kaart te brengen.

Wanneer we de reductie in onderzoekskosten (ten opzichte van de referentie) beschouwen als baten en het verlies aan nauwkeurigheid (ten opzichte van de referentie) als kosten, dan kunnen we de kosten-batenverhoudingen berekenen. De kosten-batenverhoudingen liggen op perceelniveau tussen de 7-13 en op bedrijfsniveau tussen de 4-9 als gekeken wordt naar de mediane fout in berekende schade. Met andere woorden: op bedrijfsniveau zijn de kosten (verlies aan nauwkeurigheid) 4 tot 9 keer hoger dan de baten (reductie in de onderzoekskosten). Als gekeken wordt naar de maximale fout in berekende schade zijn de kosten-batenverhoudingen nog veel ongunstiger.

Als het aantal veldwaarnemingen (boringen) dat gedaan mag worden beperkt is, loont het om deze veldwaarnemingen gericht te doen. Dus in plaats van de veldwaarnemingen gelijkmatig te verdelen over het gebied (scenario C), is het vanuit nauwkeurigheid en kosteneffectiviteit nog iets beter om veldwaarnemingen gericht te verdelen over het onderzoeksgebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade (scenario D).

Om de schade als gevolg van waterwinningen goed vast te kunnen stellen, is het belangrijk om de huidige situatie (situatie na waterwinning) zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen. De schade als gevolg van waterwinningen wordt echter bepaald uit het verschil in opbrengstderving tussen de situatie na waterwinning (beïnvloede situatie) en de situatie vóór waterwinning (onbeïnvloede situatie). De situatie voor waterwinning



---

wordt teruggerekend aan de hand van de situatie na waterwinning en de door de waterwinning veroorzaakte grondwaterstandverlaging. Het is dus van groot belang dat de grondwaterstandverlaging ook zo nauwkeurig mogelijk wordt vastgesteld. Nu wordt de grondwaterstandverlaging gemodelleerd en vervolgens gecorrigeerd voor weerstand biedende lagen. Informatie over de weerstand biedende lagen is onder andere afkomstig van de boorbeschrijvingen. Wanneer de grondwaterstandverlaging niet (goed) gecorrigeerd wordt, kan een onrealistisch beeld van de situatie vóór waterwinning berekend worden. Denk hierbij aan grondwaterstanden boven het maaiveld of natte xero-gronden (xero-gronden zijn ontstaan tijdens een lange periode met droge omstandigheden). Daarnaast bestaat de kans dat de natschade in de situatie vóór waterwinning overschat wordt. Deze vermeende natschade wordt dan verrekend met de droogteschade als gevolg van de waterwinning, waardoor de totale opbrengstderving als gevolg van de waterwinning wordt onderschat.

Overige bevindingen:

- De vorm en inhoud van kaartvlakken van een bodem- en grondwatertrappenkaart die vervaardigd is op basis van globale beschikbare informatie (zoals de bodemkaart van Nederland, de Gd-kaart en het AHN) veranderen wanneer er actuele bodemprofielbeschrijvingen aan toe worden gevoegd.
- Zowel het aantal kaartvlakken als het aantal bodemeenheden en Gt-klassen neemt toe wanneer meer bodemprofielbeschrijvingen aan de kaart worden toegevoegd.
- De bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 is in ieder geval voor dit onderzoeksgebied verouderd en kan niet zonder meer gebruikt worden om schadeberekeningen mee uit te voeren.
- De grootste verschillen in berekende schade in €/ha/bedrijf doen zich voor bij kleine bedrijven en de verschillen in berekende schade nemen af naarmate de bedrijven groter worden.
- Op perceelniveau zijn de meeste verschillen kleiner dan enkele honderden €/ha/perceel. Er zijn echter uitschieters naar beide kanten, waarbij de schade ten opzichte van scenario F wordt overschat of onderschat. De grootste verschillen in berekende schade in €/ha/perceel doen zich voor bij kleine percelen en de verschillen in berekende schade nemen af naarmate de percelen groter zijn.
- Uit de kosten-batenanalyses blijkt dat bij geen van de scenario's de reductie in onderzoekskosten opwegen tegen de afname van de nauwkeurigheid: als voor afname van nauwkeurigheid in berekende schade zou moeten worden gecompenseerd, dan zijn deze (maximaal benodigde) compensaties groter dan de besparingen in onderzoekskosten. De compensaties die nodig zijn voor het verlies aan nauwkeurigheid bij scenario B, C, D en E kunnen worden gezien als de prijs van de kortere doorlooptijd ten opzichte van scenario F.
- In het onderzoeksgebied komen veel weerstand biedende lagen (o.a. keileem) ondiep in het bodemprofiel voor. Deze keileem beïnvloedt in grote mate de grondwaterspiegel, met name de GHG. In veel gevallen is deze keileem de oorzaak van verschillen tussen de GHG/GLG op de Gd-kaart en de GHG/GLG volgens de bodemprofielbeschrijving. De resultaten van dit onderzoek kunnen niet zonder meer geëxtrapoleerd worden naar andere niet-vergelijkbare gebieden, bijvoorbeeld meer 'open' zandgebieden. In die zin vergt elk soort gebied zijn eigen gebiedsspecifieke aanpak.
- Het is goed mogelijk om met WWL(-maatwerk) schadeberekeningen uit te voeren.

## 5.2 Advies

De beste methode in termen van kostenefficiëntie om de doorlooptijd te verkorten, is om met meer veldbodemkundigen (van verschillende bedrijven en instituten) te gaan karteren.

Om een keuze te kunnen maken voor een bepaalde karterstrategie is het belangrijk om eerst minimeisen aan de kwaliteit van de kartering te stellen. Deze kwaliteitseisen bepalen namelijk in sterke mate de waarnemingsdichtheid van de kartering en de soort/kwaliteit van de informatie die nodig is om de schadeberekening uit te kunnen voeren.

Gedetailleerde karteringen blijken zich terug te verdienen, omdat op bedrijfsniveau de kosten in termen van verlies aan nauwkeurigheid 4 tot 9 keer hoger zijn dan de baten in termen van reductie in onderzoekskosten. Als je elke onderschatting van schade wilt uitsluiten, zijn hoge compensaties nodig wanneer je minder onderzoek doet, zoals uit de kosten-batenverhoudingen blijkt.

---

Uit ervaring blijkt het niet verstandig te zijn om het bodemkundige en hydrologische onderzoek in het veld van elkaar te scheiden. Beide soorten informatie zijn belangrijk voor het goed berekenen van de opbrengstderving/schade als gevolg van waterwinningen, ongeacht de uitwerkmethode. Bodemkundige en hydrologische informatie zijn ook met elkaar verstrengd. Bovendien zijn beide soorten informatie tegelijk te verzamelen tijdens het veldwerk en leveren ze een belangrijke bijdrage aan de correctie van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging bij de aanwezigheid van weerstand biedende bodemlagen.

Naast onderzoek naar de bodemkundige en hydrologische situatie in een onderzoeksgebied is het ook belangrijk om onderzoek te doen naar de daadwerkelijke grondwaterstandverlaging die veroorzaakt wordt door de waterwinningen. Het is namelijk gebleken dat wel of niet corrigeren voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen een grote invloed heeft op de berekende schade. Het is hierbij wenselijk dat de correctiemethode meer geformaliseerd wordt, zodat de correcties transparant, consistent en reproduceerbaar zijn.

Scenario D is kostenefficiënter gebleken dan scenario C. Hieruit kan worden afgeleid dat het loont om de uit te voeren veldwaarnemingen gericht te verdelen over het onderzoeksgebied op basis van de grootte van de kaartvlakken, de gemodelleerde stationaire grondwaterstandverlaging en de verwachte droogteschade. Mogelijkerwijs is hiermee het te onderzoeken areaal in te perken, al blijft verificatie van de veronderstelde bodemkundige en hydrologische situatie gewenst.

Uit de kosten-batenanalyse blijkt dat het belangrijk is om meer aandacht te besteden aan kleinere bedrijven dan wel percelen, omdat fouten zich hier minder goed uitmiddelen. Daarop voortbordurend, lijkt het ook belangrijk te zijn om meer aandacht te besteden aan kapitaalintensieve vormen van grondgebruik, omdat fouten hier zwaarder door tellen.

Om een goede eerste inschatting te kunnen maken van de mogelijk te verwachten droogteschade, is het wenselijk om een gebiedsonafhankelijke gevoeligheidsanalyse uit te voeren, die hoort bij de te gebruiken uitwerkmethode (TCGB-methode of WWL). Factoren die in zo'n gevoeligheidsanalyse meegenomen moeten worden, zijn bodem, GHG, GLG en grondwaterstandverlaging. Zo'n gevoeligheidsanalyse kan een completer inzicht geven in welke combinaties van bodem, GXG en verlaging zullen resulteren in welke mate van schade. De resultaten van zo'n gevoeligheidsanalyse kunnen in de toekomst helpen bij het beter inschatten van waar de schadegevoelige of -ongevoelige zones in een onderzoeksgebied liggen.

In dit onderzoek is de gangbare detailkartering als referentie gebruikt. Aan de hand van een validatiesteekproef à la Knotters en Vroon (2015a, b) zou de kwaliteit van het referentiescenario onderzocht moeten worden. Het advies is dan ook om in een nieuw onderzoeksgebied de te gebruiken karteerstrategie te toetsen aan de hand van een onafhankelijke validatiesteekproef.

## 5.3 Vervolgstappen

Naar aanleiding van dit onderzoek kunnen de volgende 'actiepunten' worden opgesteld:

- Vaststellen van de kwaliteitseisen aan de bodem- en grondwatertrappenkaart. De te kiezen vervolgstappen zijn voor een groot deel afhankelijk van welke fout in de nauwkeurigheid acceptabel is. Deze afweging zal door ACSG gedaan moeten worden in overleg met belanghebbenden. Hierbij moet een kortere doorlooptijd afgewogen worden tegen bijvoorbeeld minder draagvlak onder boeren voor acceptatie van een droogteschaderegeling, en de kans op langere vervolgprocedures. Wanneer er duidelijkheid is over de gewenste nauwkeurigheid kunnen WENR en Aequator meedenken over de consequenties van deze keuze en de invulling van de te volgen karteerstrategie.
- Uitvoeren van een gebiedsonafhankelijke gevoeligheidsanalyse om inzicht te krijgen welke parameters belangrijk zijn voor de schadeberekening. Het analyseren van de gevoeligheid van (verschillende combinaties van) bodem, GHG, GLG en grondwaterstandverlaging zal veel waarde hebben bij het bepalen van schadegevoelige en schadeongevoelige zones in toekomstige onderzoeksgebieden. Deze gevoeligheidsanalyse hangt af van de uitwerkmethode. Nut en noodzaak van een gebiedsonafhankelijke gevoeligheidsanalyse nemen mogelijk af als in elk onderzoeksgebied standaard een regionale schadeverkenning uitgevoerd wordt.

- 
- Verbeteren van de peilbuismeetnetten voor goede tijdreeksen van de grondwaterspiegeldiepte. Voor de toekomst is het wenselijk dat er een beter meetnet van peilbuizen komt, dat beter aansluit bij de methodiek om de gewasschade als gevolg van de grondwaterwinning vast te stellen. Goede tijdreeksen van de grondwaterspiegeldiepte zijn namelijk belangrijk, wanneer gerekend wordt met WWL regionaal of maatwerk. De huidige grondwaterstandbuizen liggen te vaak op een verkeerde plek of hebben vaak te diep geplaatste filters.
  - Formaliseren van de correctiemethode van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging.
  - Opstarten van een schadekartering aan de hand van een beslisboom. Voor toekomstige schadeonderzoeken in grondwaterwingebieden is het wenselijk om te werken met behulp van een gefaseerde of stapsgewijze aanpak. In de eerste fase (het vooronderzoek) moet geïnventariseerd worden welke invoer voor de uitwerkmethode al beschikbaar is. Daarnaast moet in deze fase geïnventariseerd worden welke algemene en gebiedsspecifieke informatie er beschikbaar is en moet deze beoordeeld worden op bruikbaarheid. Een regionale schadeverkenning past ook in deze fase. In de volgende fase kan al dan niet gericht de ontbrekende invoer in het veld verzameld worden. Op basis van alle resultaten uit het vooronderzoek en het veldwerk kan in de laatste fase de schade als gevolg van de grondwaterwinning berekend worden. ACSG heeft een beslisboom voorgesteld, die zeer nuttig kan zijn bij de eerste twee fasen van toekomstige schadeonderzoeken. Deze beslisboom moet echter nog wel verder uitgedacht en uitgebouwd worden. De ontwikkeling van deze beslisboom kan parallel lopen aan het schadeonderzoek in een grondwaterwingebied, waarbij het goed denkbaar is dat de beslisboom aanpassingen vergt op basis van de ervaringen uit het schadeonderzoek. De beslisboom zou bijvoorbeeld eerst doorontwikkeld kunnen worden in een pilotgebied om vervolgens toegepast te worden in de rest van het grondwaterwingebied. Op dit moment is het onduidelijk in welke mate zo'n stapsgewijze aanpak tot een reductie van de doorlooptijd zal leiden. Dat zal in de praktijk ondervonden moeten worden en zal bovendien gebiedsafhankelijk zijn.

---

# Literatuur

Boogaard, H.L., A.J.W. De Wit, J.A. te Roller, C.A. Van Diepen, 2014 (update spring 2021). WOFOST CONTROL CENTRE 2.1; User's guide for the WOFOST CONTROL CENTRE 2.1 and the crop growth simulation model WOFOST 7.1.7. Wageningen (Netherlands), Alterra.  
<https://www.wur.nl/en/show/WOFOST-7.1-User-Manual.htm>

Bouwmans, J. M. M. 1990, Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandverlaging: Technische Commissie Grondwater Beheer.

Brus, D.J. en E. Kiestra, 2002. Kan de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1:10.000 worden vergroot met het Actueel Hoogtebestand Nederland? Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 498.

De Bakker, H. en J. Schelling, 1989. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Centrum voor Landbouwpublicaties en Documentaties.

De Vries, F. D.J. Brus, B. Kempen, F. Brouwer en A.H. Heidema, 2014. Actualisatie bodemkaart veengebieden. Deelgebied 1 en 2 in Noord Nederland. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2556.

Heinen, M., Bakker, G. & Wösten, J.H.M., 2020. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Update 2018. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Rapport 2978.

Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling & D. Walvoort, 2021. BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland. Update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Rapport 3056.

Janssen, G.M.C.M., P.E.V. van Walsum, I. America, J.R. Pouwels, J.C. Hunink, P.T.M. Vermeulen, A. Meshgi, G.F. Prinsen, N. Mulder, M. Visser en T. Kroon, 2020. Veranderingsrapportage LHM 4.1; Actualisatie van het lagenmodel, het topsysteem en de bodemplant relaties. Deltares rapport 11205261-000-BGS-0001.

Klopstra, D., 2021. Validatie en toetsing LHM 4.1. Samenvattend hoofdrapport. HKV, Acacia Water en Berendrecht Consultancy.  
[http://www.nhi.nu/nl/files/2216/2247/1942/20210528\\_Rapportage\\_Validatie\\_LHM\\_Samenvatting\\_def.pdf](http://www.nhi.nu/nl/files/2216/2247/1942/20210528_Rapportage_Validatie_LHM_Samenvatting_def.pdf)

Knotters, M. en H.R.J. Vroon, 2015a. The economic value of detailed soil survey in a drinking water collection area in the Netherlands. Geoderma Regional 5: 44-53.

Knotters, M. en H. Vroon, 2015b. De waarde van een gedetailleerde bodemkaart van een waterwingebied. Stromingen 22(2): 29-41.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit en P.E.V. van Walsum, 2017. SWAP version 4. Theory documentation and user manual. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Report 2780.

Massop, H. en G. Stoffelsen, 2017. Bepaling van de verlaging van de grondwaterstand door waterwinning Wierden. *Persoonlijke communicatie S. Klerks-Poppema*.

Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, T. Hoogland, D.J. Brus, F. de Vries, A.H. Heidema en J.P. Okx, 2017. Basisregistratie Ondergrond (BRO). Actualisatie Gt/Gd. Beschrijving grondwaterkarakteristieken per Gt-klasse voor hoog Nederland. Wageningen Environmental Research, Wageningen, Rapport 2797.

---

Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel A: Bodem. Technisch document 19A, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vroon, H.R.J. en H.T.L. Massop, 2014. Verkennend onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Holten (fase I). Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2597.

Walvoort, D.J.J., D.J. Brus en J.J. de Gruyter, 2010. An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. Computers & Geosciences 36:1261-1267.

Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018. Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. STOWA, Amersfoort. Stowa rapport: no. 2018-48.

# Bijlage 1 Onderrand SWAP-WOFOST

Voor elke ruimtelijke eenheid (bodem-grondwatervlak) wordt een SWAP-WOFOST-simulatie uitgevoerd met WWL-maatwerk. Bij het toepassen van WWL-maatwerk dient de onderrand van het SWAP-WOFOST-modelinstrumentarium te worden ingesteld. Dat kan op verschillende manieren, afhankelijk van de informatie die voorhanden is. Een van de mogelijkheden is het gebruikmaken van peilbuiswaarnemingen.

Voor dit studiegebied beschikken we over slechts drie geschikte peilbuizen waarvan de waarnemingen helaas niet de volledige simulatieperiode beslaan. Er is daarom gekozen om het verloop van de grondwaterstand te ontleen aan een regionale hydrologische modelberekening, waarvoor we in deze studie het LHM gebruiken (versie 4.1.1, Janssen et al., 2020). De met het LHM gesimuleerde grondwaterstand wordt in de vorm van een veertiendaagse drukhoogte aan de onderzijde van de bodemkolom opgelegd. Dit doen we echter niet rechtstreeks vanwege de onzekerheid in de gesimuleerde grondwaterstand (Klopstra, 2021).

Per kaartvlak beschikken we over de grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG. Op basis van deze informatie gaan we de met het LHM gesimuleerde grondwaterstand schalen. Dit schalen doen wij om tijdreeksen te genereren die in lijn zijn met het gemiddelde en de amplitude van de grondwaterdynamiek uit de veldwaarnemingen. Hoe dat precies in zijn werk gaat, lichten wij hieronder toe aan het hand van drie locaties waarvoor ook waarnemingen van peilbuizen beschikbaar zijn gedurende de periode 2005-2020.

Voor elke locatie beschikken we over drie sets van grondwaterstandkarakteristieken, namelijk op basis van:

- Bodemprofielbeschrijvingen (veldwaarnemingen);
- Peilbuiswaarnemingen;
- Simulatie uitgevoerd met het LHM.

Voor peilbuis B28C0410 en B28C0312 komen de veldwaarnemingen van de grondboring redelijk overeen met de peilbuiswaarnemingen en de LHM-modelsimulatie. Voor peilbuis B28C0168 liggen de grondwaterstandkarakteristieken op basis van de grondboringen aanzienlijk minder diep (zie tabel B1.1).

**Tabel B1.1** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (cm+mv) op basis van veldwaarneming (boring), peilbuis en LHM (versie 4.1.1).

| Peilbuis | Boring |      | Peilbuis |      | LHM  |      |
|----------|--------|------|----------|------|------|------|
|          | GHG    | GLG  | GHG      | GLG  | GHG  | GLG  |
| B28C0410 | -49    | -103 | -83      | -142 | -70  | -110 |
| B28C0312 | -190   | -247 | -169     | -242 | -158 | -212 |
| B28C0168 | -181   | -251 | -490     | -564 | -634 | -681 |

De schaling van de met het LHM gesimuleerde grondwaterstand doen we aan de hand van de onderstaande formule (zie ook paragraaf 2.3.8):

$$GWS_{veld} = \overline{GxG_{veld}} + (GWS_{LHM} - \overline{GxG_{LHM}}) \frac{dGxG_{veld}}{dGxG_{LHM}}$$

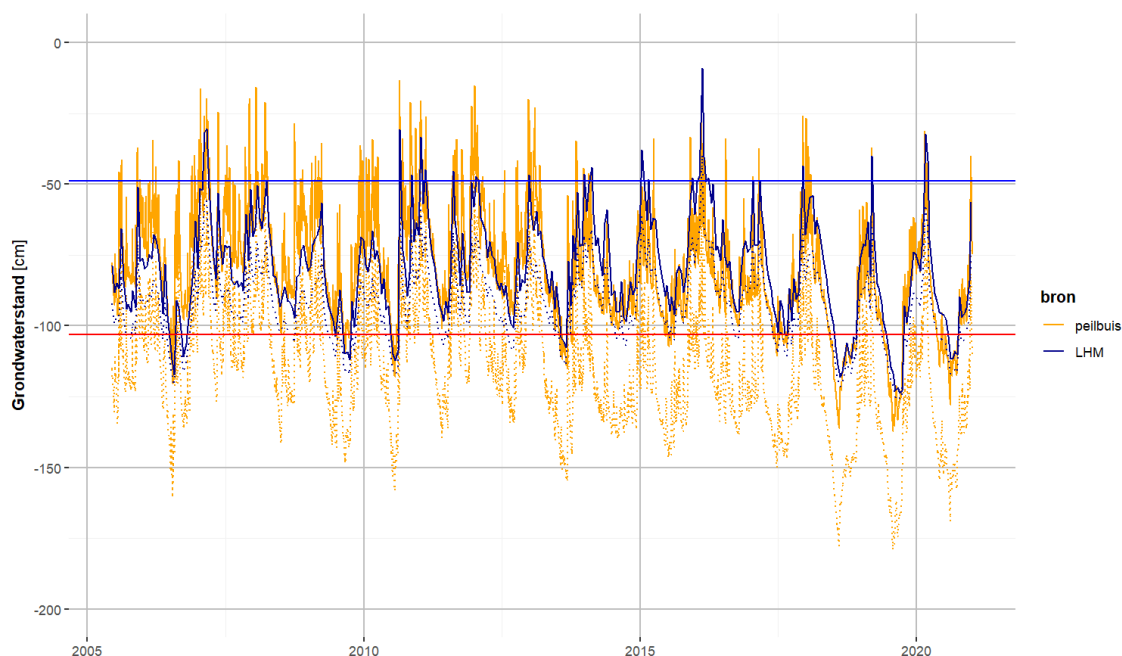
Waarbij subscript *veld* staat voor informatie op basis van de grondboring en subscript *LHM* staat voor informatie afkomstig van de LHM-simulatie. Verder:

$GWS$  : grondwaterstand (cm+mv)

$\overline{GxG}$  : gemiddelde van de grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (cm+mv)

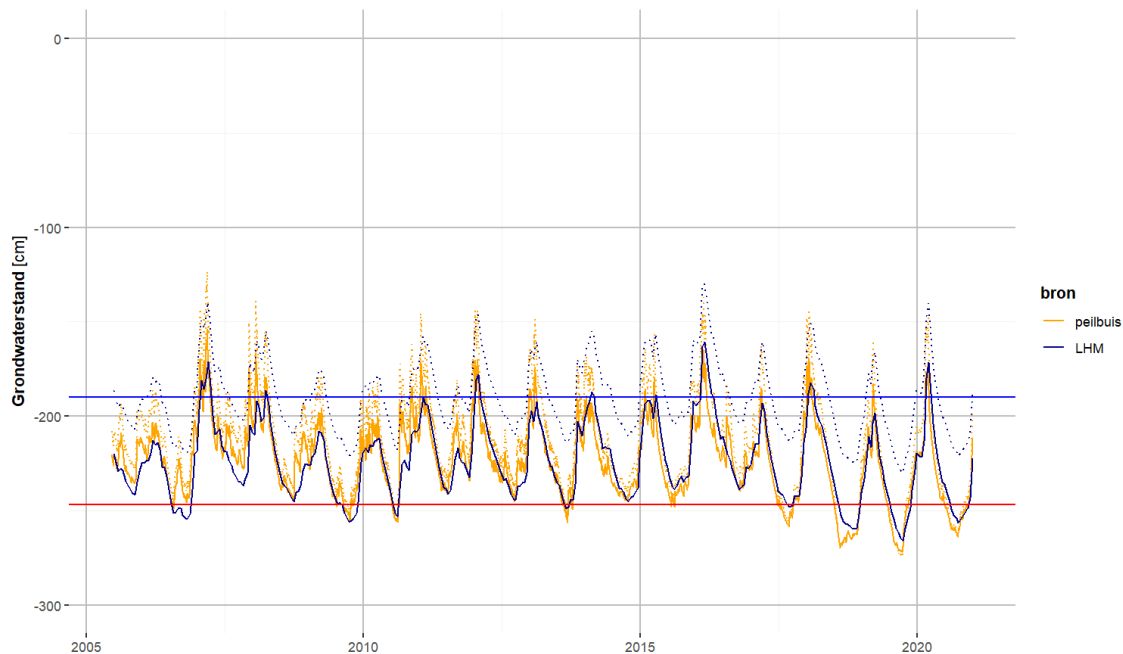
$dGxG$  : dynamiek van de grondwaterstandkarakteristieken

In figuur B1.1 zijn de grondwaterstanden van de peilbuis B28C0410 (oranje; stippellijn) en het LHM (blauw; stippellijn) geschaald (doorgetrokken lijn) naar de veldwaarnemingen op basis van de grondboring. Als we de geschaalde grondwaterstand van de peilbuis en het LHM met elkaar vergelijken, valt op dat de grondwaterstand van de peilbuis aan het begin van de periode voornamelijk boven de grondwaterstand van het LHM ligt. Vanaf 2013 lijkt een trendbreuk zichtbaar, de grondwaterstand van de peilbuis ligt dan voornamelijk onder de grondwaterstand van het LHM. Mogelijk dat verandering in de waterwinning hier van invloed op is. In beide gevallen zakt de grondwaterstand relatief diep uit in de zomer van 2018 en 2019. De hoogste grondwaterstand wordt telkens in de winterperiode bereikt.



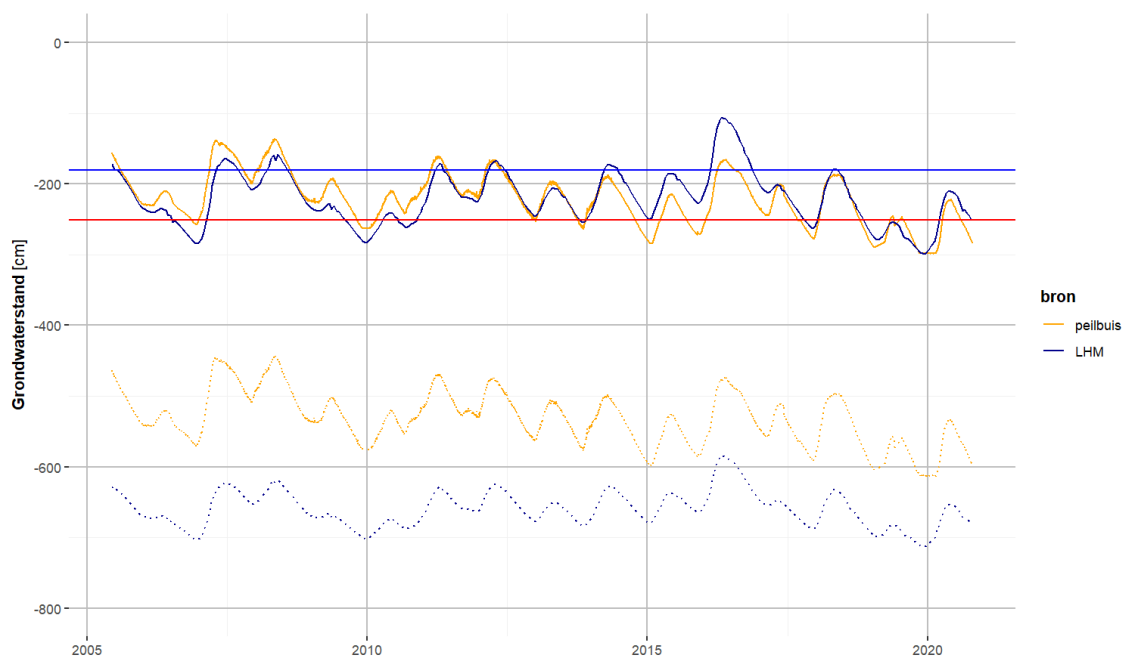
**Figuur B1.1** Geschaalde grondwaterstandreeks (doorgetrokken lijn) op basis van tijdreeksen afkomstig van LHM en peilbuis B28C0410 (stippellijn) naar GHG en GLG (respectievelijk de blauwe en rode lijn) in het veld gemeten.

Figuur B1.2 geeft de resultaten weer voor locatie B28C0312. Ten opzichte van locatie B28C0410 liggen de grondwaterstanden dieper en is er iets minder fluctuatie in het verloop zichtbaar, wat ook verwacht mag worden bij diepere grondwaterstanden. Ook hier lijkt er vanaf 2013 een trendbreuk zichtbaar als we de geschaalde grondwaterstanden van de peilbuis vergelijken met die van het LHM. De hoogste grondwaterstand wordt ook hier telkens in de winterperiode bereikt.



**Figuur B1.2** Geschaalde grondwaterstandreeks (doorgetrokken lijn) op basis van tijdreeksen afkomstig van LHM en peilbuis B28C0312 (stippellijn) naar GHG en GLG (respectievelijk de blauwe en rode lijn) in het veld gemeten.

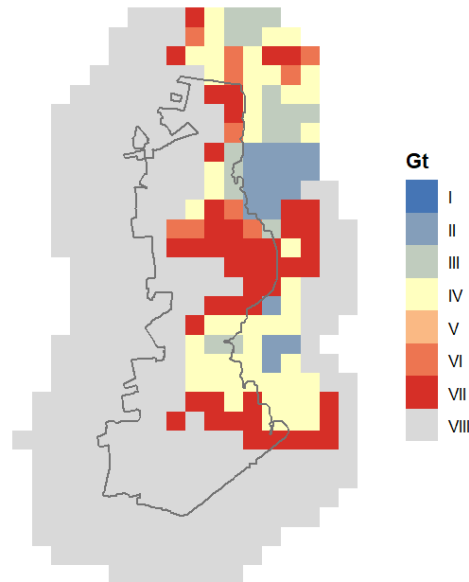
In tegenstelling tot de voorgaande voorbeelden wordt ter plaatste van locatie B28C0168 de hoogste grondwaterstand telkens in de zomerperiode bereikt (zie figuur B1.3). De originele grondwaterstanden van zowel de peilbuis als het LHM liggen veel dieper dan op basis van veldwaarnemingen verwacht mag worden en hebben daarmee betrekking op een ander grondwatersysteem. De informatie afkomstig van de grondboringen hebben betrekking op de freatische grondwaterstand, wat mogelijk een schijngrondwaterstand betreft.



**Figuur B1.3** Geschaalde grondwaterstandreeks (doorgetrokken lijn) op basis van tijdreeksen afkomstig van LHM en peilbuis B28C0168 (stippellijn) naar GHG en GLG (respectievelijk de blauwe en rode lijn) in het veld gemeten.

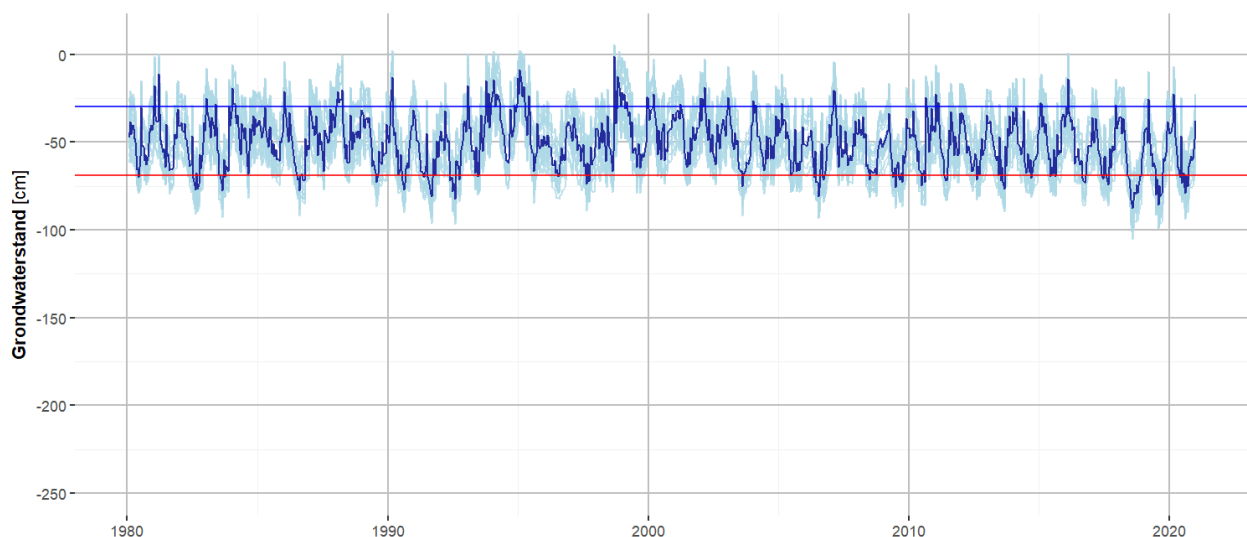


Het is onjuist om grondwaterstanden te gaan schalen die veel dieper liggen dan de veldwaarnemingen aangeven. Daarom is er in deze studie voor gekozen om een aantal standaard-verlopen van de grondwaterstand te genereren dat verwacht mag worden onder relatief natte tot droge hydrologische condities. Als basis hiervoor zijn de grondwaterstanden (berekend met het LHM) gemiddeld per Gt-klasse over de periode 1980-2020, zie figuur B1.4, waarbij Gt VIII (GLG dieper dan 120 cm -mv en GHG dieper dan 140 cm -mv) buiten beschouwing wordt gelaten.

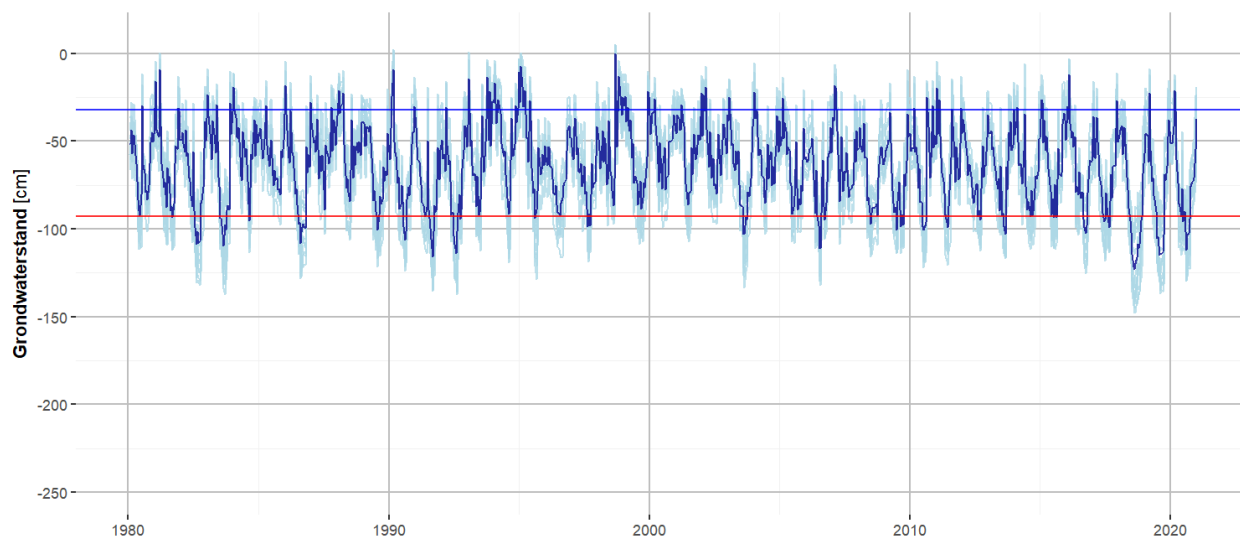


**Figuur B1.4** Grondwatertrappen berekend met het LHM (versie 4.1.1).

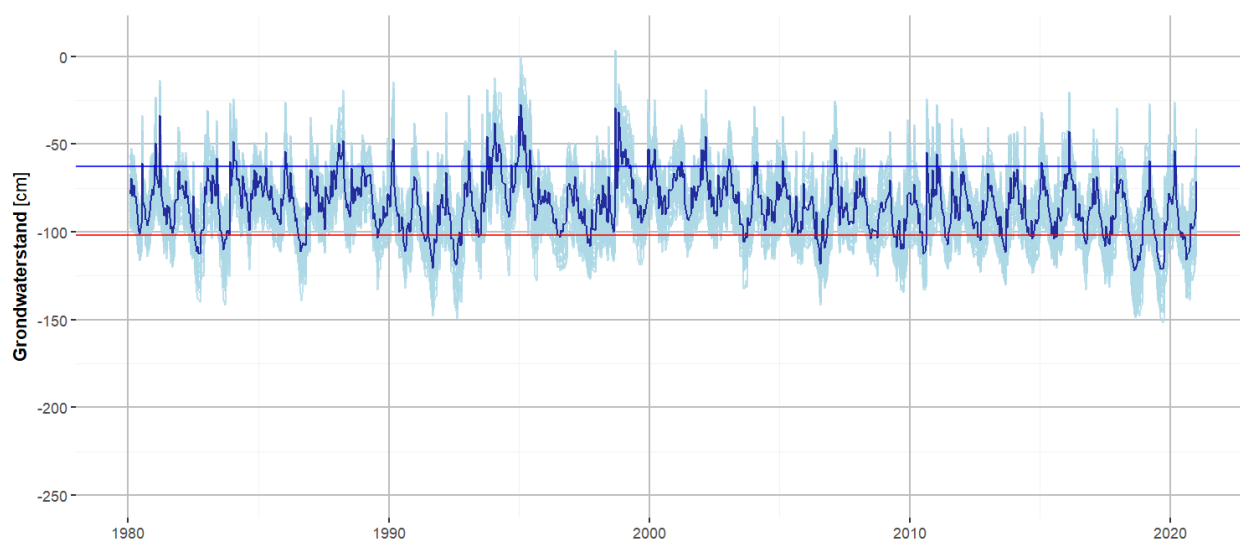
Voor Gt-klassen II, III, IV, VI en VII zijn gemiddelde verlopen van de grondwaterstand gegenereerd die hieronder zijn weergegeven. Op basis van de grondwaterstandkarakteristieken behorende bij een kaartvlak wordt een standaardverloop van de grondwaterstand geselecteerd waarna deze wordt geschaald.



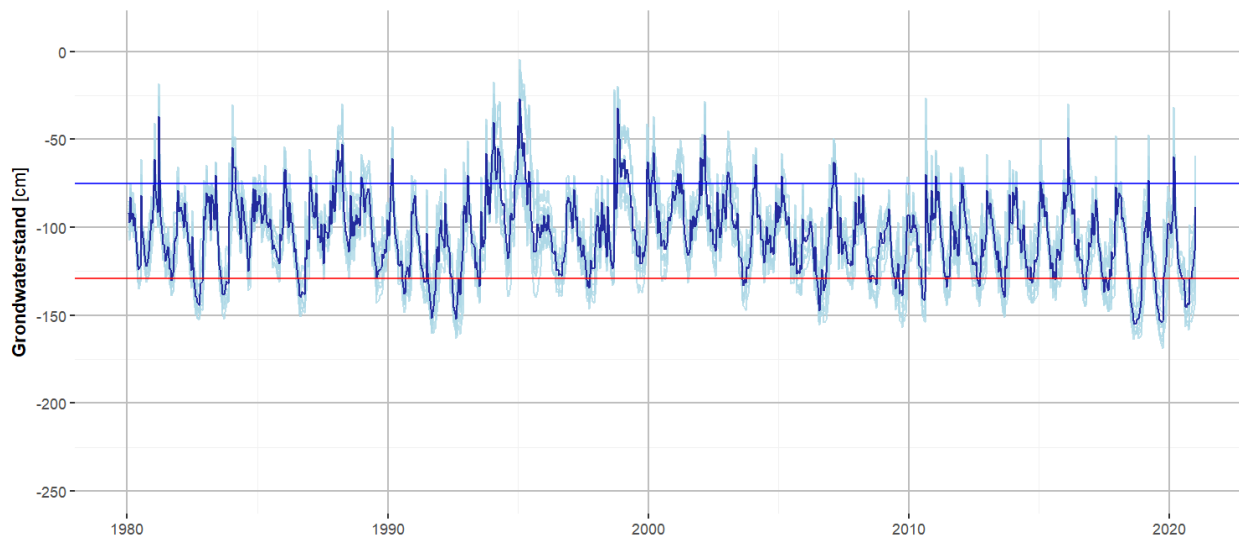
**Figuur B1.5** Gemiddelde verloop van de grondwaterstand in het studiegebied voor Gt-klasse II berekend met LHM 4.1.1. In het donkerblauw is de gemiddelde grondwaterstand weergegeven en in het lichtblauw de spreiding van de grondwaterstand.



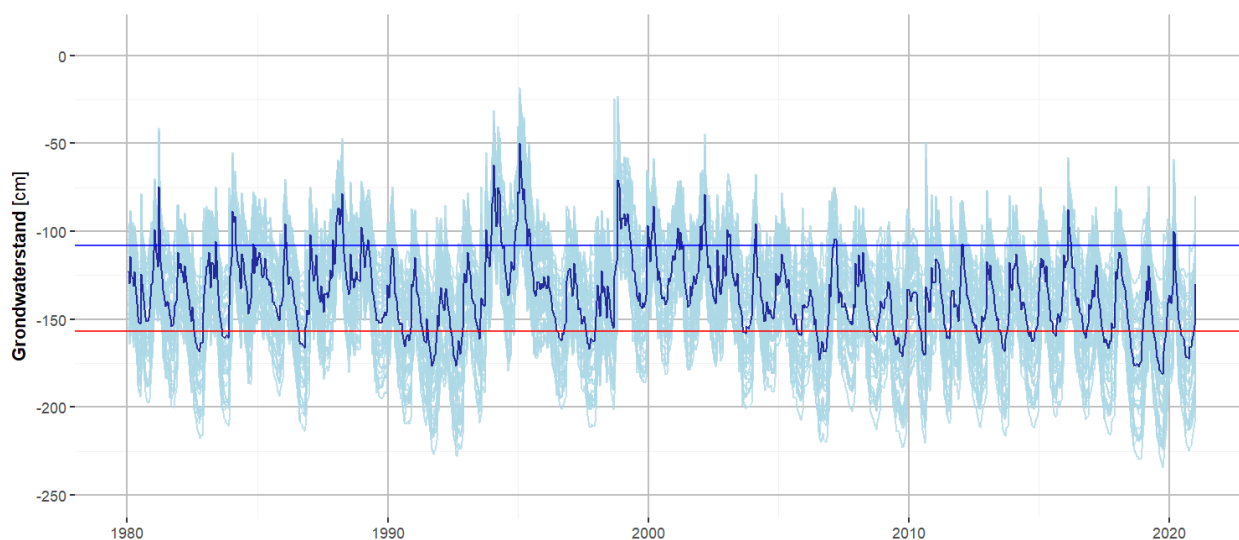
**Figuur B1.6** Gemiddelde verloop van de grondwaterstand in het studiegebied voor Gt-klasse III berekend met LHM 4.1.1. In het donkerblauw is de gemiddelde grondwaterstand weergegeven en in het lichtblauw de spreiding van de grondwaterstand.



**Figuur B1.7** Gemiddelde verloop van de grondwaterstand in het studiegebied voor Gt-klasse IV berekend met LHM 4.1.1. In het donkerblauw is de gemiddelde grondwaterstand weergegeven en in het lichtblauw de spreiding van de grondwaterstand.



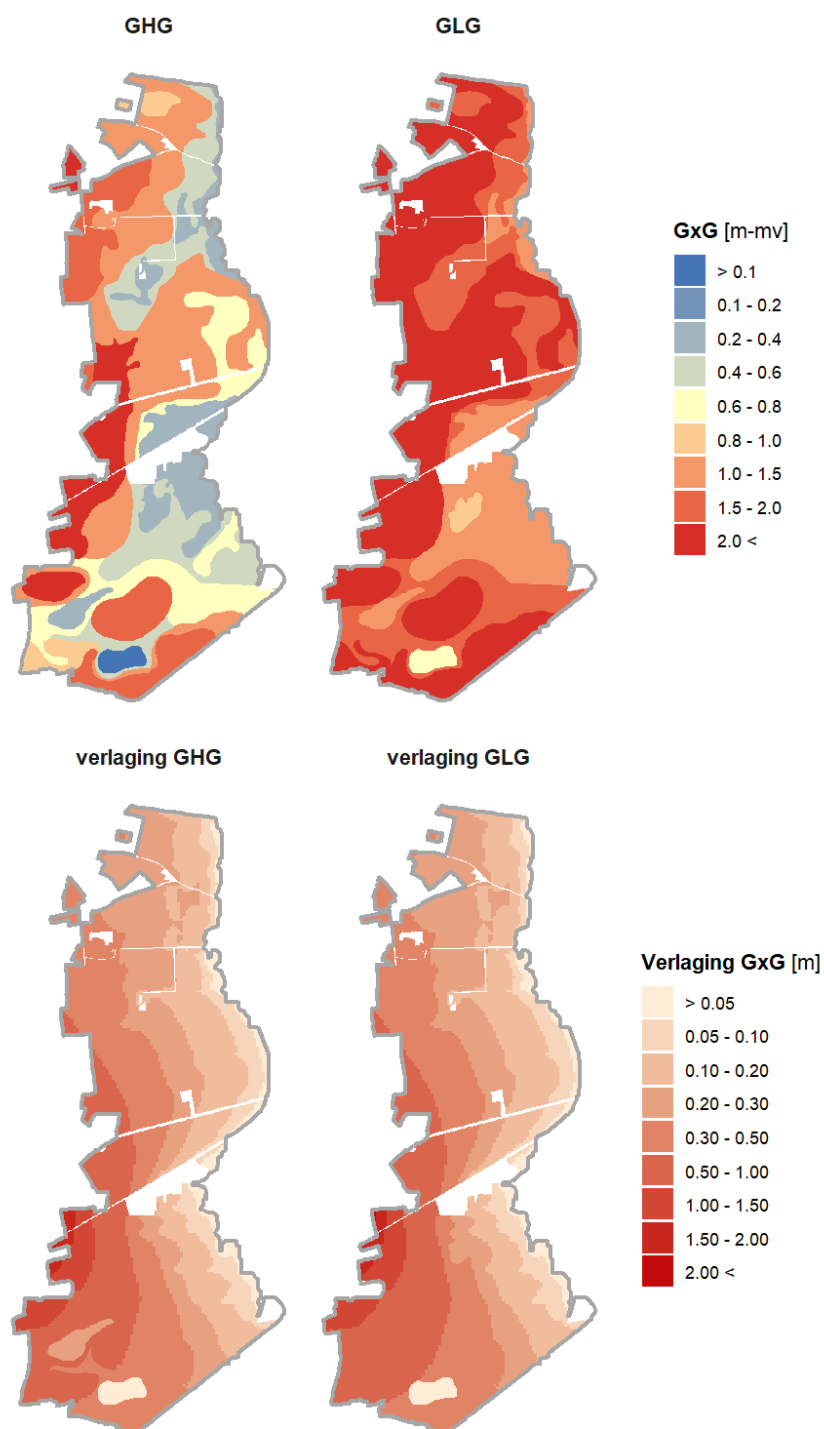
**Figuur B1.8** Gemiddelde verloop van de grondwaterstand in het studiegebied voor Gt-klasse VI berekend met LHM 4.1.1. In het donkerblauw is de gemiddelde grondwaterstand weergegeven en in het lichtblauw de spreiding van de grondwaterstand.



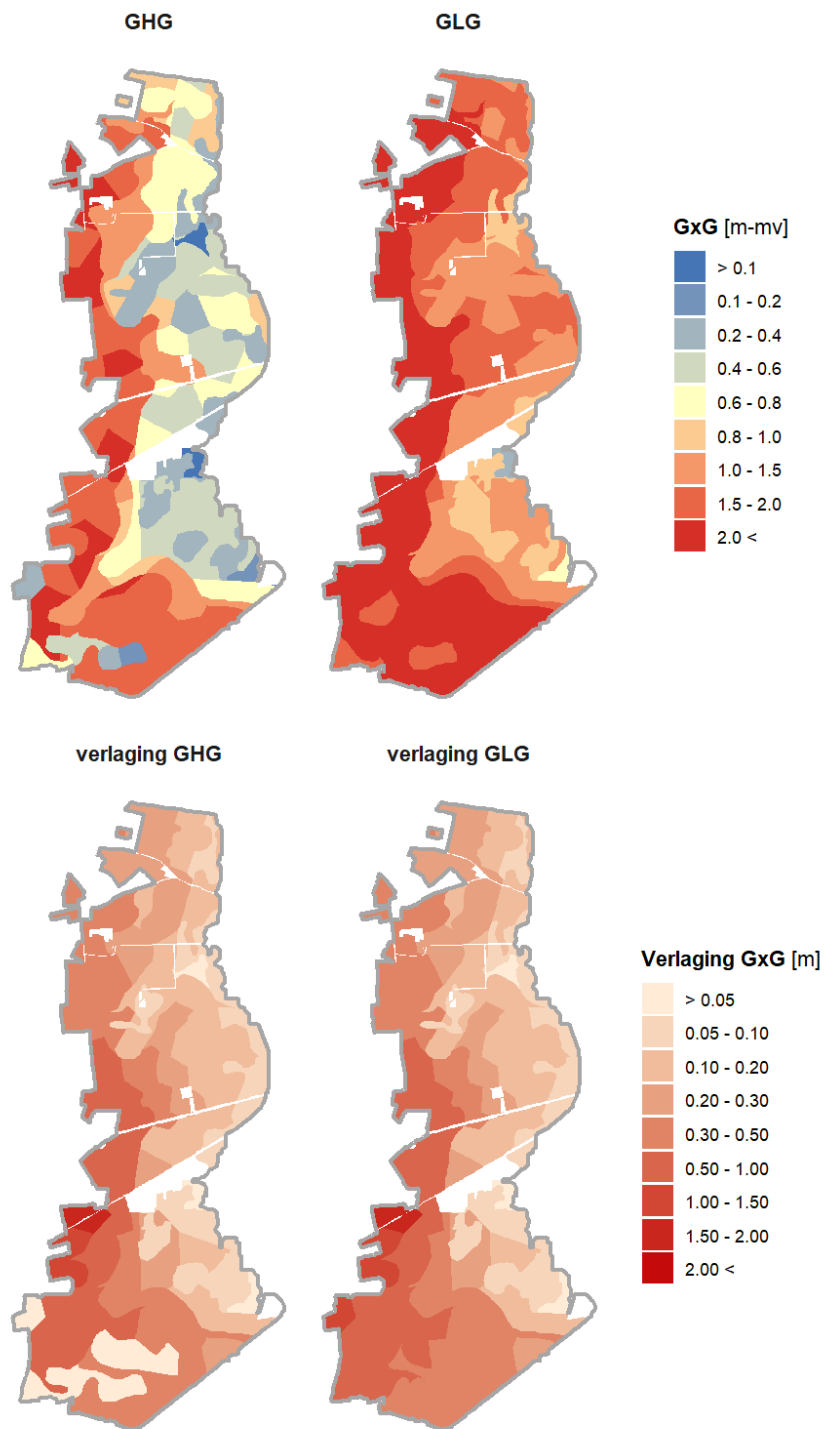
**Figuur B1.9** Gemiddelde verloop van de grondwaterstand in het studiegebied voor Gt-klasse VII berekend met LHM 4.1.1. In het donkerblauw is de gemiddelde grondwaterstand weergegeven en in het lichtblauw de spreiding van de grondwaterstand.

## Bijlage 2 Verlaging GxG

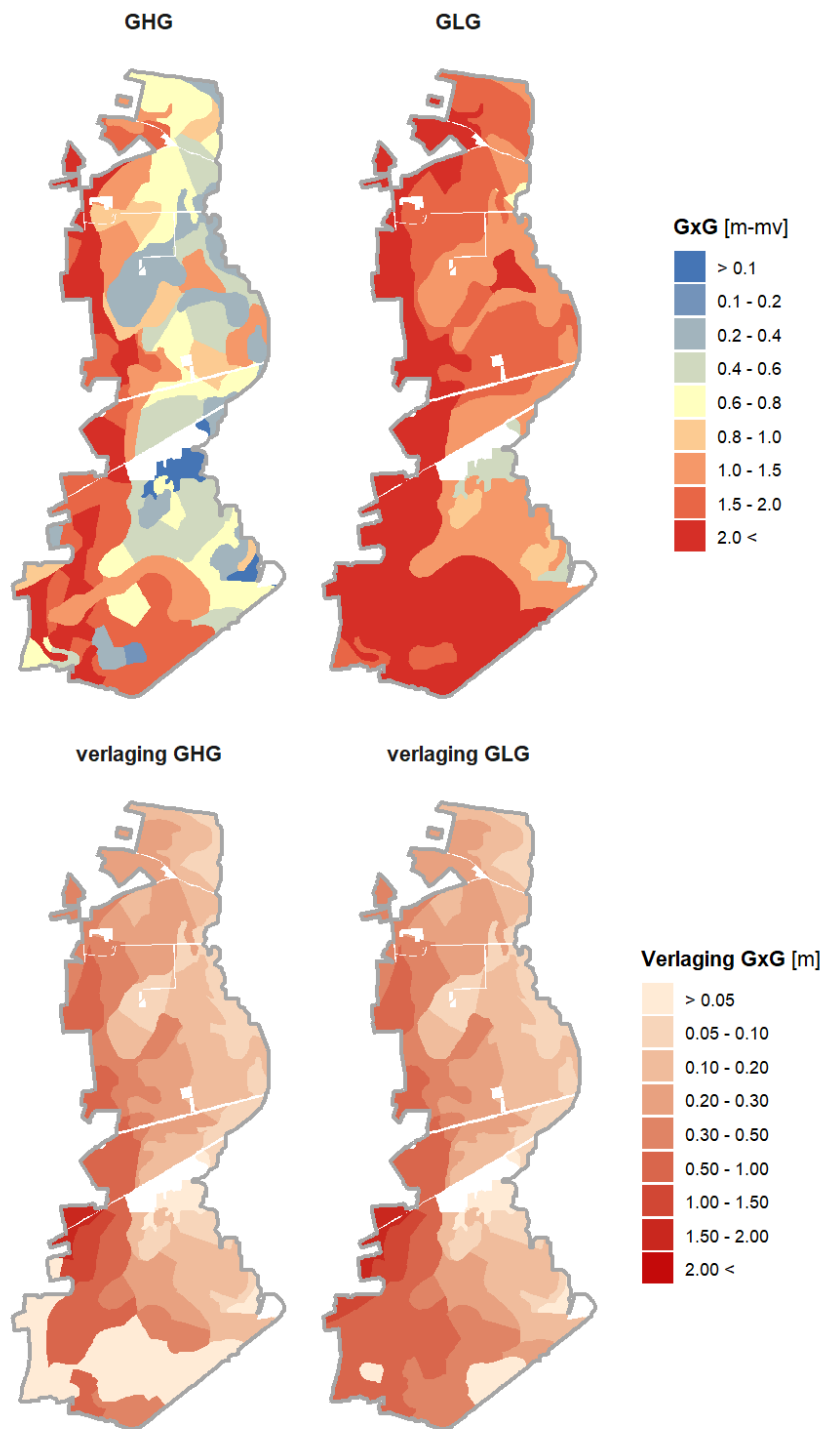
Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG na grondwaterwinning en de gecorrigeerde grondwaterstandverlaging als gevolg van de drinkwaterwinning voor de verschillende scenario's. De grondwaterstandverlaging van scenario B is niet gecorrigeerd voor weerstand biedende lagen, omdat scenario B geen gebruikmaakt van veldinformatie. De figuren van de andere scenario's zijn wel gecorrigeerd.



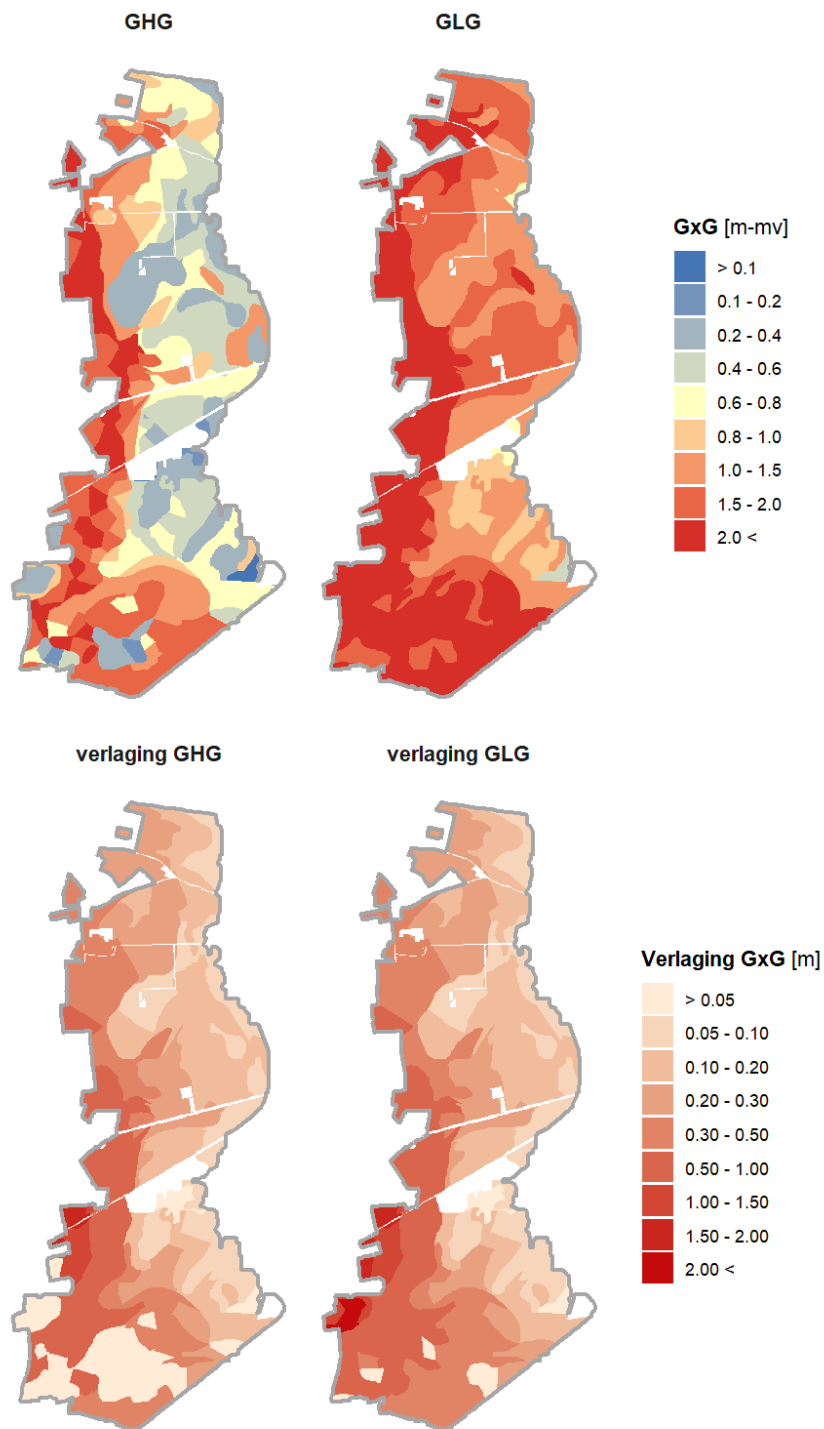
**Figuur B2.1** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (boven) na waterwinning en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning (onder) voor scenario B.



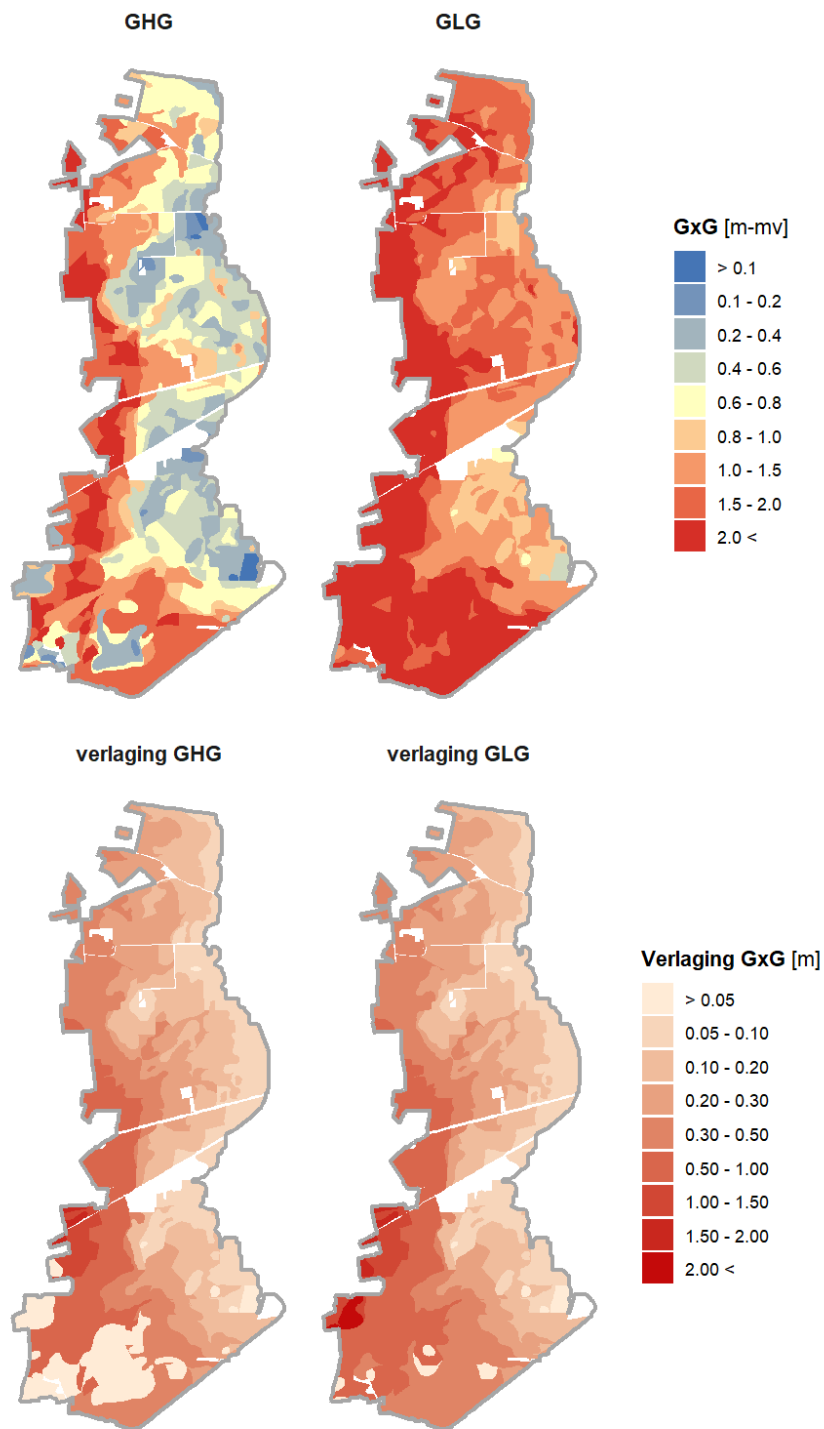
**Figuur B2.2** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (boven) na waterwinning en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning (onder) voor scenario C.



**Figuur B2.3** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (boven) na waterwinning en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning (onder) voor scenario D.



**Figuur B2.4** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (boven) na waterwinning en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning (onder) voor scenario E.

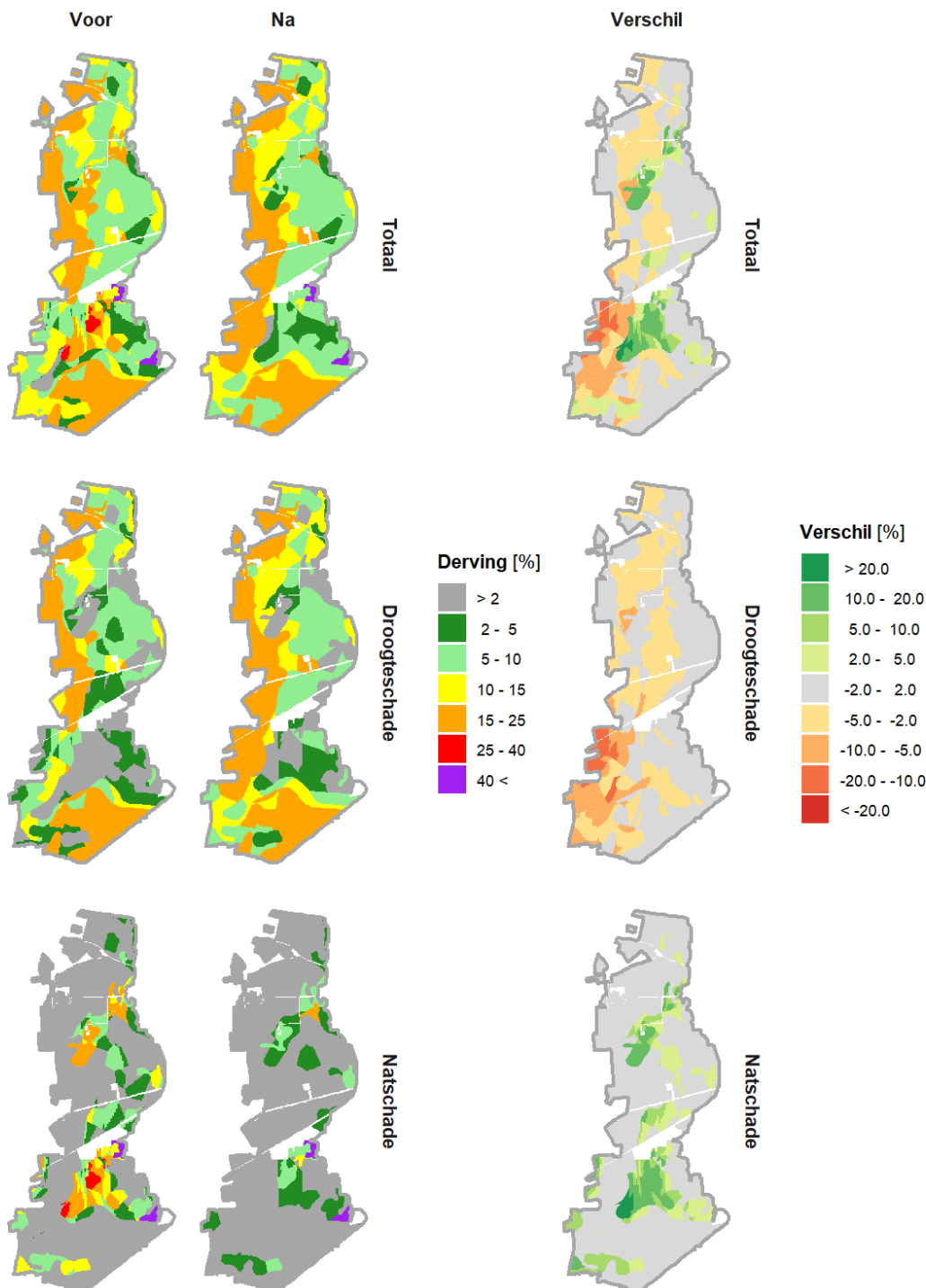


**Figuur B2.5** Grondwaterstandkarakteristieken GHG en GLG (boven) na waterwinning en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning (onder) voor scenario F.

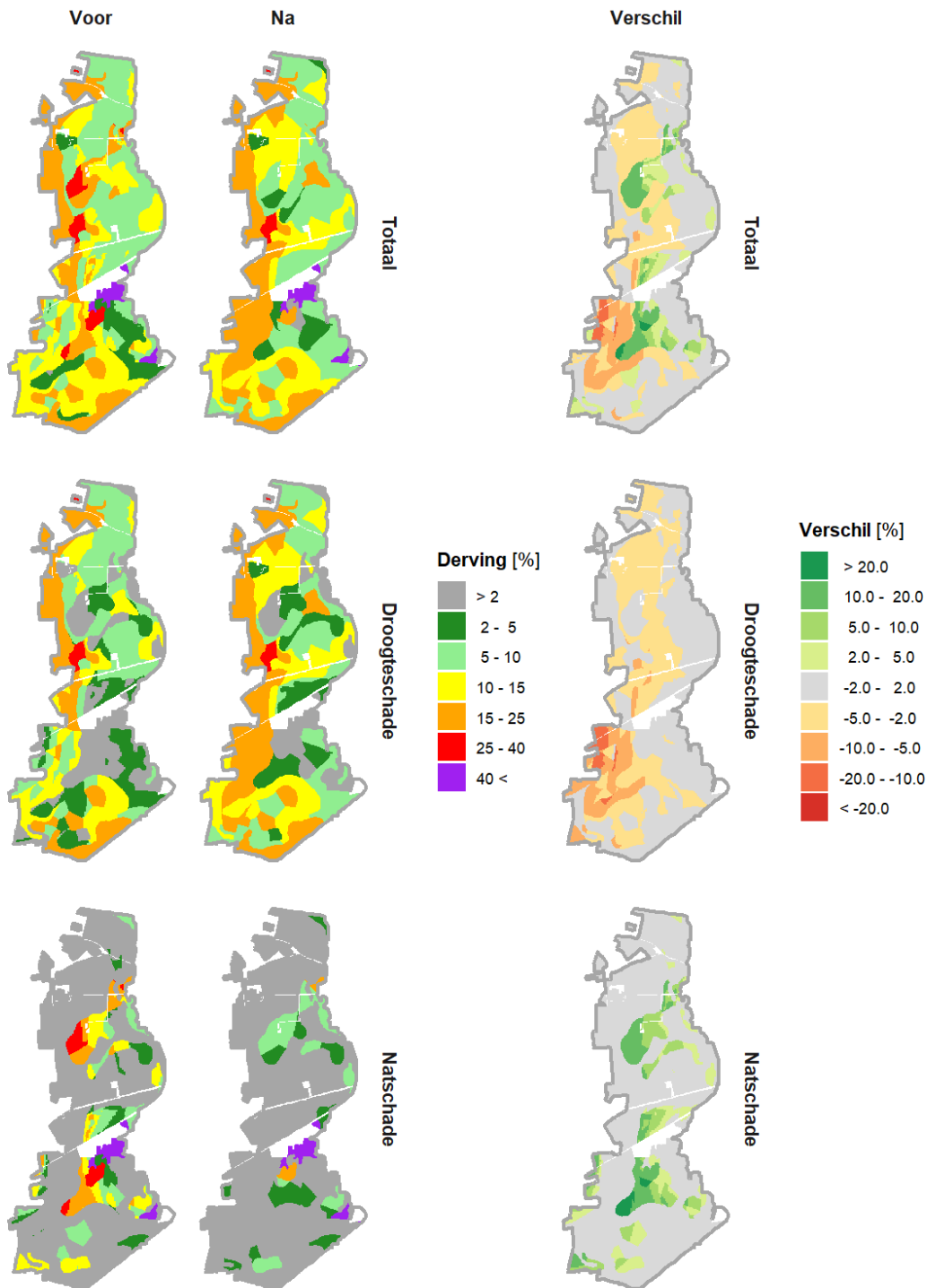


## Bijlage 3 Schaderesultaten bij niet-gecorrigeerde verlaging

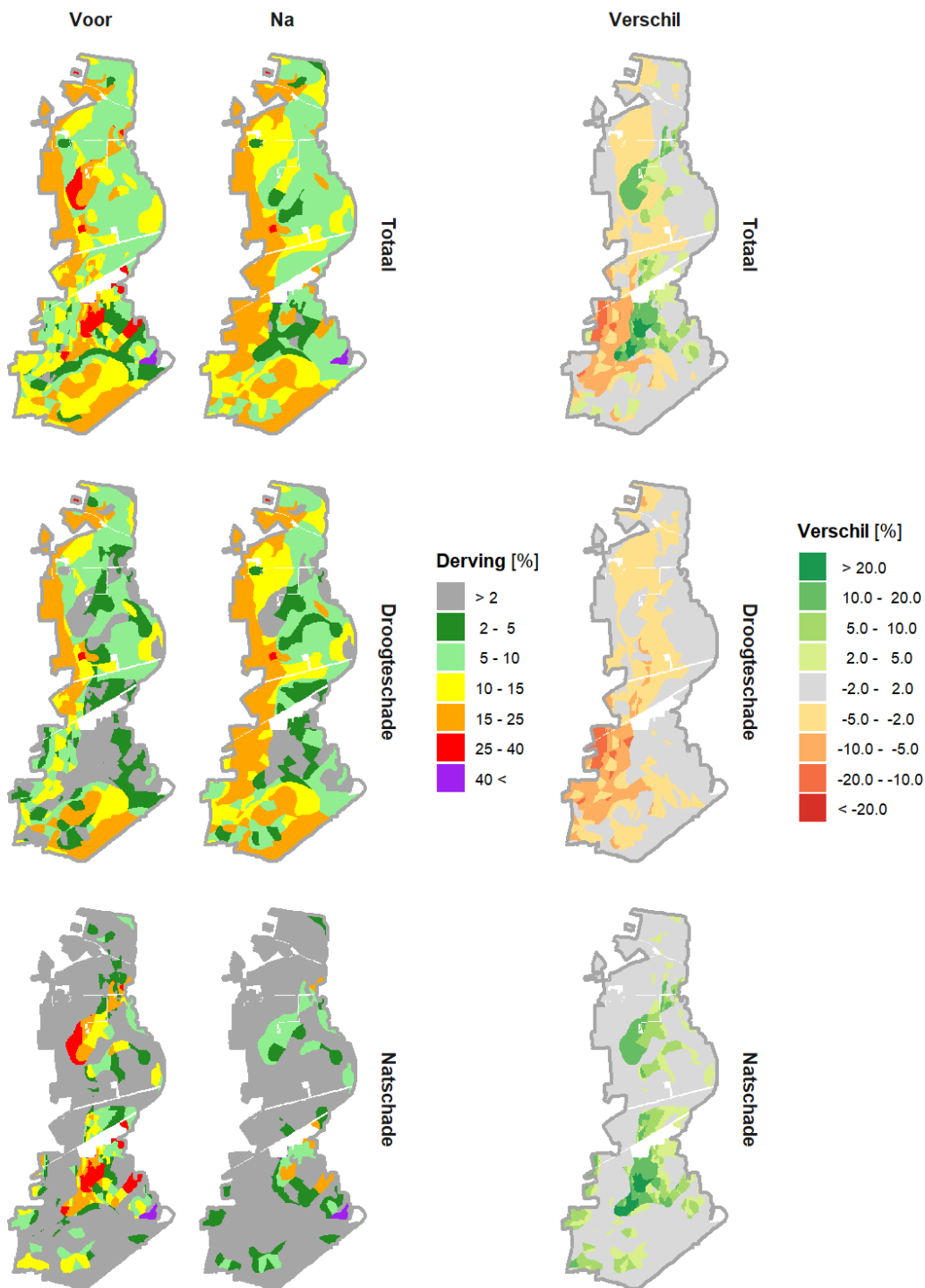
De berekende schade voor scenario C, D, E en F wanneer de berekende grondwaterstandverlaging **niet** gecorrigeerd wordt voor de aanwezigheid van weerstand biedende lagen.



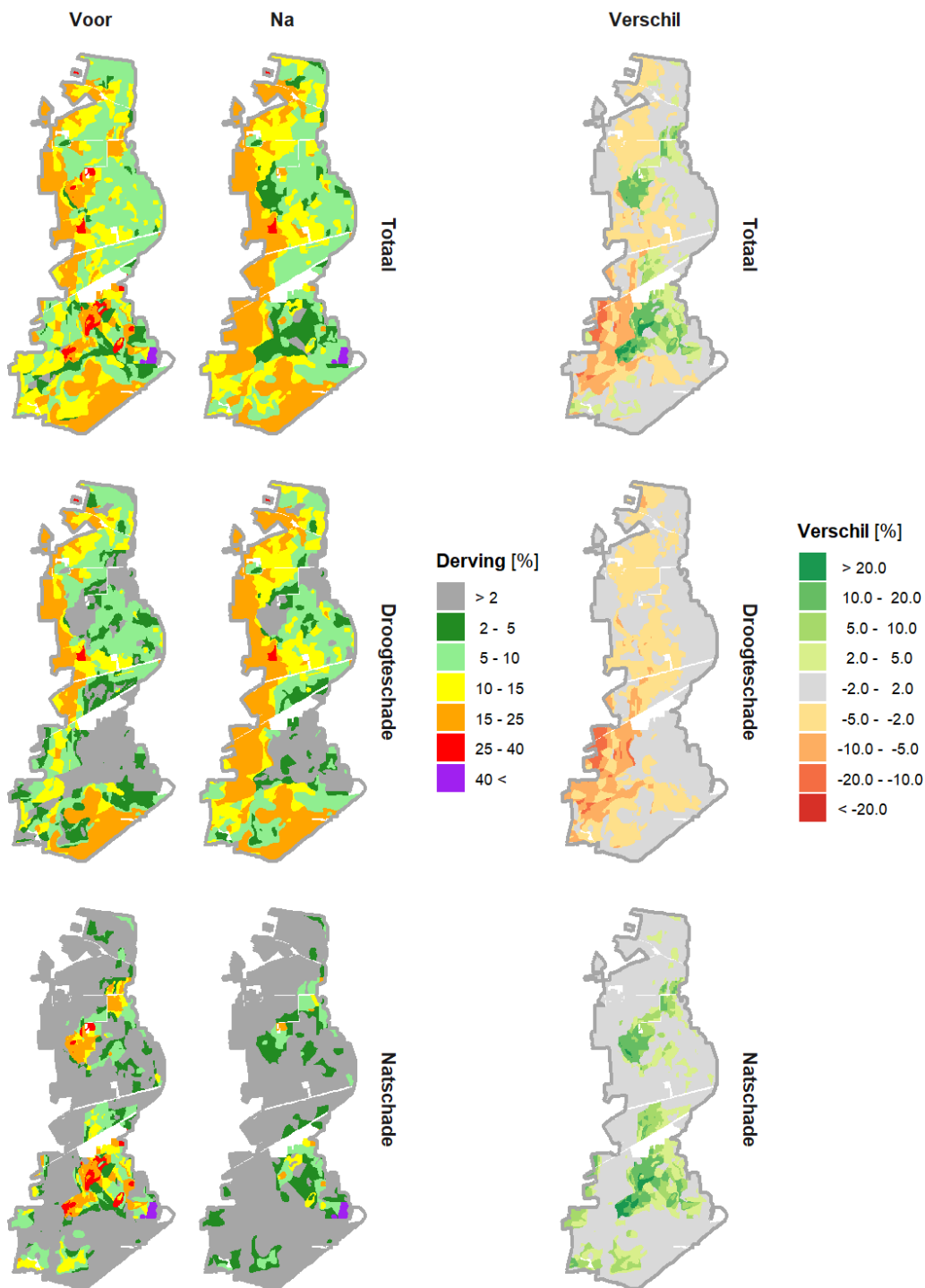
**Figuur B3.1** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven) uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario C. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade weer als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer.



**Figuur B3.2** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven) uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario D. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade weer als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer.



**Figuur B3.3** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven) uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario E. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade weer als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer.



**Figuur B3.4** Langjarig gemiddelde opbrengstderving (boven) uitgesplitst naar aandeel droogteschade (midden) en aandeel natschade (onder; som van indirecte effecten en zuurstofstress) voor de situatie voor en na de winning (links) en het verschil in opbrengstderving (rechts) voor scenario F. Bij het verschil in opbrengstderving (rechts) geven groene kleuren (positieve getallen) minder opbrengstderving/schade weer als gevolg van de winning en rode kleuren (negatieve getallen) meer.

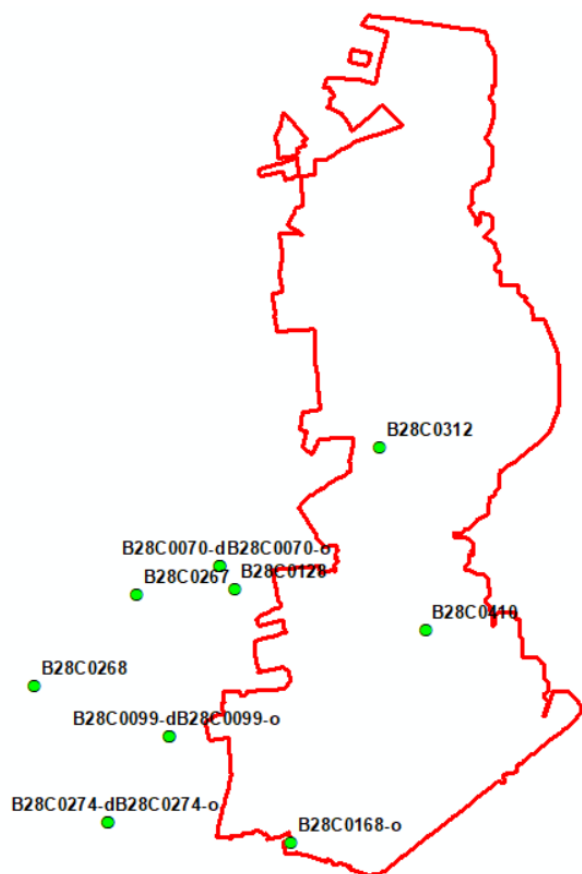
## Bijlage 4    Bruikbaarheid van de beschikbare peilbuizen

Grondwaterstandbuizen zijn geschikt voor onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning, wanneer deze buizen:

- relatief ondiep (dus in de freatische zone; boven weerstand biedende lagen) geplaatst zijn;
- op een plek in het open veld (dus niet onder bomen, in de buurt van sloten, verharding, bebouwing of in wegbermen) geplaatst zijn;
- gedurende langere periode (bij voorkeur meer dan acht jaar) gemeten worden.

Historische informatie over gemeten grondwaterstanden in vaste grondwaterstandbuizen is beschikbaar via de websites van het BROloket en Vitens, respectievelijk <https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens> en <https://vitens.lizard.net/viewer/nl/>. In 2014 is door Vroon en Massop een verkennend onderzoek gedaan naar de freatische grondwaterstand in het onderzoeksgebied. Hierbij hebben zij uit een groot aantal grondwaterstandbuizen (ca. 184) een selectie gemaakt, die geschikt waren voor hun onderzoek. Slechts zeven stambuizen bleken te voldoen aan de door hun gestelde eisen. Daarnaast hebben zij nog twee grondwaterstandbuizen in hun onderzoek gebruikt, waarvan de meetreeks te kort was of hiaten bevatte. Voor ons onderzoek zijn we uitgegaan van de selectie door Vroon en Massop (2014).

In figuur B4.1 zijn de geselecteerde buizen weergegeven ten opzichte van het onderzoeksgebied. Het blijkt dat slechts drie van de geselecteerde grondwaterstandbuizen daadwerkelijk in het onderzoeksgebied liggen. De andere buizen bevinden zich buiten het onderzoeksgebied rond de waterwinning.



**Figuur B4.1** Ligging van de geselecteerde grondwaterstandbuizen ten opzichte van het onderzoeksgebied.

In tabel B4.1 zijn enkele gegevens van de geselecteerde grondwaterstandbuizen weergegeven. Bovendien is de bruikbaarheid voor ons onderzoek beoordeeld. Als er staat dat het filter diep zit, dan bedoelen we dat het filter te diep zit ten opzichte van de fluctuatie van de grondwaterspiegel. Een aantal buizen is tijdelijk geplaatst voor het onderzoek van Vroon en Massop (2014). De betreffende GXG-waarden en Gt zijn geschat met behulp van een regressiemodel.

**Tabel B4.1** Enkele gegevens van de geselecteerde grondwaterstandbuizen, inclusief een beoordeling van hun bruikbaarheid voor dit onderzoek (gegevens van Vroon en Massop, 2014). Bij meerdere buizen op dezelfde locatie is het diepe filter aangegeven met een *d* en het ondiepe met een *o*.

| Buisnummer | Onderkant filter<br>(cm-mv) | GHG<br>(cm-mv) | GLG<br>(cm-mv) | Gt     | Beoordeling                                 |
|------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------|---------------------------------------------|
| B28C0312   | 747                         | 156            | 223            | VIIIId | Binnen het gebied, diep filter              |
| B28C0410   | 500                         | 73             | 126            | VIo    | Binnen het gebied                           |
| B28C0099-d | 1417                        | 662            | 715            | VIIIId | Erbuiten, diep filter                       |
| B28C0099-o | 120                         | 34             | 107            | IIIb   | Erbuiten, tijdelijke buis, GXG geschat      |
| B28C0274-d | 354                         | 111            | 238            | VIIId  | Erbuiten                                    |
| B28C0274-o | 60                          | 75             | -              | VIId   | Erbuiten, tijdelijke buis, GXG geschat      |
| B28C0168-o | 626                         | 444            | 520            | VIIIId | Binnen het gebied, diep filter              |
| B28C0267   | 1502                        | 786            | 836            | VIIIId | Erbuiten, diep filter                       |
| B28C0268   | 1100                        | 413            | 457            | VIIIId | Erbuiten, diep filter                       |
| B28C0128   | 2420                        | -              | -              | -      | Erbuiten, diep filter, meetreeks onvolledig |
| B28C0070-d | 2867                        | -              | -              | -      | Erbuiten, diep filter, meetreeks onvolledig |
| B28C0070-o | 100                         | -              | -              | -      | Erbuiten, tijdelijke buis                   |

Slechts drie buizen bevinden zich in het onderzoeksgebied. In twee hiervan zit het filter te diep. Verder valt op dat de geselecteerde buizen vooral de droge Gt's (VII en VIII) vertegenwoordigen. Daarnaast is er één buis met een Gt VIo. De Gt IIIb en VIId hebben betrekking op tijdelijke buizen en zijn dus geschat. Idealiter vertegenwoordigen de bruikbare buizen alle Gt's die in het gebied aangetroffen worden.

---

## Bijlage 5 Huidige werkwijze in onderzoeken naar gewasschade

Deze bijlage geeft meer informatie over hoe de gangbare detailkartering tot op heden uitgevoerd en gebruikt wordt in onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinningen.

Voor het berekenen van de gewasschade door grondwaterwinningen is het belangrijk dat tijdens het (veld)onderzoek alle informatie wordt verzameld die nodig is bij het uitwerken en vaststellen van de gewasschade. De informatie die verzameld moet worden, is afhankelijk van de uitwerkmethode. In de huidige systematiek is dat tot nu toe de TCGB-methode. Vanwege de mogelijkheden voor automatiseren, de transparantie en de reproduceerbaarheid is er in dit onderzoek voor gekozen om de scenario's uit te werken met Waterwijzer Landbouw (WWL).

### Welke informatie heeft de TCGB-methode nodig?

De belangrijkste invoer die de TCGB-methode nodig heeft, is een gebiedsdekkende vlakkenkaart met per vlak de volgende informatie:

- Code voor de bovengrond vocht karakteristiek
- Dikte van de effectieve wortelzone
- Code voor type ondergrond
- Vlakgemiddelde GHG, GVG en GLG

Om de gemodelleerde grondwaterstandverlaging te kunnen corrigeren, is daarnaast informatie nodig over de aanwezigheid van weerstand biedende lagen (begin- en einddiepte en soort laag).

### Welke informatie heeft WWL nodig?

De belangrijkste invoer, die de WWL nodig heeft, is een gebiedsdekkende vlakkenkaart met per vlak de volgende informatie:

- bodemprofiel met per laag: start- en einddiepte, Staringreeks-bouwsteen, bulkdichtheid, gehalte aan klei, silt, zand en het organischestofgehalte
- Bewortelingsdiepte
- Grondwaterstandinformatie; liefst in de vorm van een reeks, maar GHG en GLG kan ook

Om de gemodelleerde grondwaterstandverlaging te kunnen corrigeren, is daarnaast informatie nodig over de weerstand biedende lagen (begin- en einddiepte en soort laag).

### Welke informatie wordt in het veld verzameld en hoe?

Veel informatie die tot nu toe in het veld wordt verzameld, wordt vastgelegd in bodemprofielbeschrijvingen volgens de richtlijnen van Ten Cate et al. (1995).

Tijdens het eerste bezoek aan een geselecteerde plek wordt het boorgat uitgeboord en wordt het bodemprofiel beschreven volgens de bovengenoemde richtlijn. Hierbij worden voor elke onderscheiden bodemlaag verschillende kenmerken genoteerd. Daarnaast worden de GHG en GLG ingeschat, rekening houdend met de verschillende beschreven bodemlagen, de eigenschappen van het bodemmateriaal (van invloed op doorlatendheid en capillaire opstijging) en de veldkenmerken (hoogteligging in het terrein, aanwezigheid sloten en greppels en soort vegetatie) in de buurt. Het boorgat wordt opengelaten.

Na voldoende tijd voor het instellen van de grondwaterstand wordt de geselecteerde plek voor de tweede keer bezocht. Dan wordt de grondwaterstand gemeten. De gemeten grondwaterstand en ingeschatte GHG en GLG van de boring worden vergeleken met de gemeten waterstand en vastgestelde GHG en GLG van relevante, in de buurt aanwezige grondwaterstandbuizen en op basis hiervan worden de definitieve actuele GHG en GLG vastgelegd.

---

### **Hoe wordt de veldinformatie vertaald naar invoer voor de TCGB-methode?**

De code voor de bovengrond vocht karakteristiek wordt op de volgende manier vastgesteld:

- Eerst moet bepaald worden welke tabel gebruikt moet worden op basis van de combinatie bodemtype en Gt.
- Vervolgens wordt binnen die tabel gezocht op leem- en organische stofgehalte om een van de 24 vocht karakteristieken te kiezen.
- Vanwege onderlinge verwantschap is aan elk van deze 24 vocht karakteristieken een van de 5 TCGB-codes voor de bovengrond gekoppeld.

Afhankelijk van het bodemtype en de verwerking wordt een van de zes standaardwaarden in het veld gekozen voor de effectieve worteldiepte.

De TCGB-methode geeft de mogelijkheid om voor de ondergrondcode te kiezen uit elf standaard ondergrondtypen. Dus op basis van de profielbeschrijving van de ondergrond moet de best passende ondergrondcode gekozen worden. De keuze hangt af van de dikte van de verschillende lagen, de onderlinge positie in het bodemprofiel en de Staringreeks-bouwsteen horende bij de verschillende bodemlagen. Een hulpmiddel hierbij is om de kritieke z-afstand van het bodemprofiel te berekenen en deze vervolgens te vergelijken met de kritieke z-afstand van de standaard ondergrondtypen. Daarna moet er nog gecorrigeerd worden voor de aanwezigheid van bijzondere bodemlagen.

De vlakgemiddelde GVG wordt berekend aan de hand van de vlakgemiddelde GHG en GLG.

Alle bodemprofielinformatie die in het veld verzameld wordt, wordt ten behoeve van de TCGB-methode uiteindelijk vereenvoudigd in vijf codes voor de bovengrond en elf codes voor de ondergrond.

Elk onderscheidend vlak in de gebiedsdekkende vlakkenkaart moet één of meer boringen bevatten die precies dezelfde code voor de bovengrond vocht karakteristiek, dikte van de effectieve wortelzone, code voor type ondergrond en vlakgemiddelde GHG, GVG en GLG hebben. Als een vlak met meerdere boorpunten niet zuiver is met betrekking tot deze informatie, wordt het vlak opgesplitst.

De volgens de genoemde richtlijn vastgestelde bodemprofielbeschrijvingen bevatten alle informatie die nodig is om de weerstand biedende lagen te identificeren. De profielbeschrijvingen zijn daarom een belangrijke informatiebron bij het corrigeren van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging.

### **Hoe wordt de veldinformatie vertaald naar invoer voor WWL?**

Aan de hand van de informatie die vastgelegd is in bodemprofielbeschrijvingen volgens de richtlijnen van Ten Cate et al. (1995), kan eenvoudig per bodemlaag een Staringreeks-bouwsteen (keuze uit achttien bovengronden en achttien ondergronden) gekozen worden. Via de Staringreeks-bouwsteen is elke bodemlaag gekoppeld aan een waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek en is elk in het veld vastgesteld bodemprofiel gereed om doorgerekend te kunnen worden met WWL.

In paragraaf 2.3.8 is uitgelegd hoe de GHG en GLG vertaald kunnen worden naar een grondwaterstandreeks die gebruikt kan worden door WWL.

Zoals uitgelegd in paragraaf 2.3.8, worden vlakken van de gebiedsdekkende vlakkenkaart die meerdere boorpunten bevatten, opgesplitst met behulp van Thiessenpolygonen en wordt elk subvlak – oftewel elke bodemprofiel – apart doorgerekend met WWL.

De volgens de genoemde richtlijn vastgestelde bodemprofielbeschrijvingen bevatten alle informatie die nodig is om de weerstand biedende lagen te identificeren. De profielbeschrijvingen zijn daarom een belangrijke informatiebron bij het corrigeren van de gemodelleerde grondwaterstandverlaging.

### **Waarom verzamelen we tot nu toe de informatie die we verzamelen?**

Zoals aan het begin van de paragraaf is beschreven, moet die informatie verzameld worden die nodig is voor de te gebruiken uitwerkmethode. In deze paragraaf is ook beschreven om welke informatie het gaat en hoe deze informatie gebruikt wordt bij de uitwerking met de TCGB-methode of met WWL. Het blijkt dat de TCGB-



---

methode en de uitwerking met WWL in grote lijnen dezelfde informatie gebruiken, maar deze informatie anders gebruiken in het uitwerkproces.

Het doen van een detailkartering oftewel het maken van bodemprofielbeschrijvingen in onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning dient meerdere doelen:

- Aan de hand van de bodemprofielbeschrijvingen kan bepaald worden om wat voor soort bodem het gaat volgens het systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker & Schelling, 1989). Dit wordt gebruikt bij het uitwerken met de TCGB-methode. Bovendien blijkt uit de beschrijvingen van de lagen om wat voor soort materiaal (gehalte aan organische stof, textuurfracties, fijn-/grofheid van het materiaal) het gaat. Dit wordt gebruikt door beide uitwerkmethoden.
- Aan de hand van kenmerken in het profiel en veldkenmerken in de nabijheid van de boring kan een inschatting gemaakt worden van de GHG en GLG (en dus de grondwatertrap) ter plekke. Bij deze inschatting houdt men dus rekening met de verschillende beschreven bodemlagen, de eigenschappen van het bodemmateriaal en de veldkenmerken in de buurt. De gemeten grondwaterstand en de ingeschatte GHG en GLG van de boring worden bovendien vergeleken met de gemeten waterstand en vastgestelde GHG en GLG van relevante, in de buurt aanwezige grondwaterstandbuizen. De ingeschatte GHG en GLG worden gebruikt door beide uitwerkmethoden.
- Uit de boorbeschrijvingen blijkt ook of er mogelijk scherpe overgangen tussen bodemlagen of bijzondere bodemlagen aanwezig zijn die een stagnerende invloed hebben op de beweging van water in de bodem. Deze weerstand biedende lagen moeten bij de TCGB-methode tot uitdrukking komen in de gekozen code voor ondergrondtype. Bij het uitwerken met WWL wordt met deze lagen rekening gehouden bij de modelberekeningen. Bovendien worden deze weerstand biedende lagen bij allebei de methoden gebruikt om de gemodelleerde grondwaterstandverlaging te corrigeren.

Voor onderzoeken naar gewasschade door grondwaterwinning is het belangrijk om deze doelen in het vizier te houden tijdens het maken van de boorbeschrijvingen en het doen van de detailkartering. De drie doelen vormen in onze ogen een samenhangend geheel, die alleen in combinatie een compleet beeld geven van de situatie ter plekke. Focussen op een van de doelen, zonder de andere doelen te beschouwen, leidt tot een incompleet beeld van de situatie ter plekke en zal verderop tot problemen leiden bij het vaststellen van de gewasschade door grondwaterwinning. Tijdens het bepalen van de gewas-opbrengstderving hebben alle drie namelijk een unieke en belangrijke rol. Bij het ontbreken of onvolledig zijn van de informatie zal de gewasschade door grondwaterwinning niet goed vastgesteld kunnen worden. Het maakt hierbij niet uit of de uitwerking gedaan wordt volgens de TCGB-methode of met Waterwijzer Landbouw (WWL).

Wanneer een bodemprofiel wordt beschreven volgens de richtlijnen van Ten Cate et al. (1995), wordt er een aantal gegevens vastgelegd dat niet direct gebruikt wordt bij het berekenen van de gewasschade door grondwaterwinningen. Dit betreft echter een beperkte hoeveelheid gegevens, die bovendien ook nog eens grotendeels geautomatiseerd in de veldcomputer vastgelegd worden via de speciaal ontwikkelde Veldgis-software. De extra tijd die het vergt om deze gegevens te registreren, is minimaal ten opzichte van de tijd die het vergt om (twee keer) naar de gekozen locatie te gaan, te boren en alle gegevens te registreren die noodzakelijk zijn. Er bestaat een aantal voordelen om toch alles volgens de richtlijn vast te leggen:

- Wanneer we alles vastleggen volgens de richtlijnen, kunnen we gebruikmaken van de speciale Veldgis-software die beschikbaar is. Met deze software wordt alles in één bestand vastgelegd dat in te laden is in een GIS-systeem. Als we niet alles registreren, kunnen we deze software niet gebruiken vanwege de ingebouwde controles. De informatie moet dan op de ouderwetse manier vastgelegd worden. Dit vergt in de uitwerking echter meer tijd, waardoor de uitwerking veel duurder uit zal vallen.
- De volgens de richtlijnen vastgestelde informatie voldoet aan de Wet Basisregistratie Ondergrond (BRO) en kan daarmee openbaar beschikbaar en gebruikt worden.
- Ervaring uit het verleden leert dat het beter is en minder tijd kost om alles in één keer goed te registreren dan om later naar dezelfde plek terug te moeten komen voor de ontbrekende informatie.

Ervaring uit het verleden leert tevens dat het beter is om alles van één plek te weten dan om verschillende zaken van verschillende plekken te weten, omdat de informatie dan niet te correleren en te interpreteren is.

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 3164  
ISSN 1566-7197



---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Rapport 3164  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

