



Basisregistratie Ondergrond - Gd-kartering Laag-Nederland

Provincie Flevoland

L.C.P.M. Stuyt, M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop

| WOt-technical report 145

Basisregistratie Ondergrond - Gd-kartering Laag-Nederland 2018

Dit Technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

De WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) te ondersteunen. We zorgen voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werken mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOt-publicaties

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOt-technical report 145 is het resultaat van een onderzoeksopdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Basisregistratie Ondergrond – Gd-kartering Laag-Nederland 2018

Provincie Flevoland

L.C.P.M. Stuyt, M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2018

WOt-technical report 145

ISSN 2352-2739

DOI: 10.18174/470403

Referaat

Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop (2018). *Basisregistratie Ondergrond - Gd-kartering Laag-Nederland 2018; Provincie Flevoland*. WOt-technical report 145. WOT Natuur & Milieu, WUR, Wageningen. 86 blz.; 57 fig.; 7 tab.; 26 ref; 1 bijlage

De komende jaren zal van Laag-Nederland een Gd-kaart worden samengesteld. In combinatie met Gd-gegevens van Hoog-Nederland zal de kaart dan compleet zijn, en beschikbaar in de vorm van een gedetailleerde, landsdekkende Gd-kaart. In 2018 is de Gd-informatie van de provincie Flevoland geactualiseerd. De hierbij gebruikte procedures en het resultaat worden in dit rapport beschreven.

Trefwoorden: BRO, Basisregistratie Ondergrond, grondwaterkarakteristieken, grondwatertrap, Gt, Gd

Abstract

Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop (2018). *BRO - Gd Mapping of the low-lying Netherlands 2018; Province of Flevoland*. WOt-technical report 145. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment, WUR, Wageningen. 86 p.; 57 figs; 7 tabs; 26 refs; 1 Appendix.

In the coming years, a groundwater dynamics map (Gd map) of the low-lying western Netherlands will be compiled. After completion, a comprehensive, nationwide Gd map of the Netherlands will be available, in conjunction with the available Gd data for the higher grounds located in the eastern regions of the country. In 2018, the Gd information for the province of Flevoland was updated. This report describes the procedures followed and the results obtained.

Keywords: Key Register of the Subsurface, groundwater characteristics, water table class, groundwater dynamics

© 2018 **Wageningen Environmental Research**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 07 00; e-mail: lodewijk.stuyt@wur.nl / martin.knotters@wur.nl

De reeks WOt-technical reports is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research. Dit technical report is verkrijgbaar bij het secretariaat. De publicatie is ook te downloaden via www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 54 71; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Aanpak Gd-kartering Laag-Nederland	13
2.1 Gt-actualisatie van Laag-Nederland, 2014	13
2.2 Screening van peilbuizen, maart-april 2017	13
2.3 Afstemming en samenwerking met waterschappen	14
2.4 Kartering per waterschap	16
2.5 Geostatistisch model	16
2.5.1 Geostatistisch model Gd Hoog-Nederland	16
2.5.2 Geostatistisch model Gd Laag-Nederland	17
2.6 Gebiedsdekkende hulpinformatie	18
2.6.1 Inleiding	18
2.6.2 Bodemfysische kenmerken en hydraulische eigenschappen	19
2.6.3 Buisdrainage	20
2.6.4 Oppervlaktewaterpeilen	20
2.6.5 Af te leiden verklarende variabelen	21
3 Systembeschrijving beheersgebied Waterschap Zuiderzeeland	23
3.1 Geohydrologische opbouw	23
3.2 Bodemopbouw en grondwatertrap	25
3.3 Maaiveldhoogte	30
3.4 Oppervlaktewater	31
3.5 Landgebruik	35
3.6 Kwel	36
3.7 Relatieve maaiveldhoogte	37
3.8 Puntenbestand	38
4 Analyse samenhang G×G met hulpinformatie	41
4.1 Samenhang G×G met continue hulpvariabelen	41
4.2 Samenhang G×G met discrete hulpvariabelen	45
4.3 Random-forestmodellering, CART-modellering	51
4.4 Samenhang met veldschattingen van G×G's	56
4.5 Conclusie over samenhang met hulpvariabelen	56
5 Analyse ruimtelijke samenhang GHG en GLG	59
6 Ontwerp meetnet gerichte opnamen	61
6.1 Uitgangspunten	61
6.2 Spatial coverage sample	61
7 Actualisatie Gd-kaart Flevoland	63
7.1 Gerichte opnamen	63
7.2 Stambuisregressie	63
7.3 Exploratieve data-analyse	64
7.3.1 Samenvattende statistieken en histogrammen	64

7.3.2	De relatie tussen GHG's en GLG's op de gerichte-opnamelocaties	65
7.3.3	Kaarten van gerichte-opnamelocaties	66
7.4	Analyse van ruimtelijke structuur	67
7.4.1	Inleiding	67
7.4.2	Semivariogram voor GHG	68
7.4.3	Semivariogram voor GLG	68
7.5	Ruimtelijke interpolatie	69
7.5.1	Voorspelgrid	69
7.5.2	Interpolatie van GHG	70
7.5.3	Vergelijking geactualiseerde GHG met de GHG volgens het Landelijk Hydrologisch Model	72
7.5.4	GLG 74	
7.5.5	Mogelijkheden tot verbetering	76
8	Conclusies en aanbevelingen	77
8.1	Conclusies	77
8.2	Aanbevelingen	77
	Literatuur	79
	Verantwoording	81
Bijlage 1	Formulier controle peilbuizen	83

Woord vooraf

In 2004 is van Hoog-Nederland een Gd-kaart samengesteld, gebaseerd op opnames gemaakt tussen 1999 en 2004. Om de informatie voor Nederland landsdekkend uniform te krijgen moet ook voor Laag-Nederland een Gd-kaart worden gemaakt.

Het oorspronkelijke plan, te weten een geactualiseerde landsdekkende Gd-kaart in 2022, is te ambitieus. Daarom beperken we ons tot de Gd-kaart voor Laag-Nederland: waarbij we de geactualiseerde Gt in Laag-Nederland stapsgewijs op het niveau van een Gd-kaart brengen. De eerste provincie waarin dit gerealiseerd is, is Flevoland. In 2018 is in de provincie Flevoland actuele informatie ingewonnen over de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand, gedurende twee meetcampagnes, in het voorjaar en het begin van het najaar. Deze activiteiten worden in deze publicatie gerapporteerd. De verkregen grondwaterstandsgegevens is verwerkt tot één Gd-kaart voor Flevoland.

Wij bedanken het Waterschap Zuiderzeeland voor het beschikbaar stellen van informatie over peilbeheer, drainage en grondwaterstanden.

Kenmerkend voor een Gd-kartering zijn de veldcampagnes waarbij op een groot aantal locaties een gerichte opname van de grondwaterstand in een boorgat wordt verricht, voor het schatten van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand. Wij bedanken alle grondeigenaren voor het verlenen van toestemming om hun percelen voor dit doel te betreden. Ook bedanken wij onze collega's Pieter Dijk, Paul Gerritsen, Willy de Groot, Eduard Hummelink en Falentijn Assinck voor het uitvoeren van deze veldcampagnes. Ten slotte bedanken wij onze ex-collega Rob Kselik voor het veld- en bureauwerk dat hij verrichtte bij de screening van tijdreeksen van grondwaterstanden.

Lodewijk Stuyt, Martin Knotters, Dennis Walvoort, Fokke Brouwer en Harry Massop

Samenvatting

Doel van dit project is bij te dragen aan de ontwikkeling van een landsdekkend bestand van de grondwaterdynamiek (Gd), waarin voor elke 50 × 50 m-rastercel een actuele Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG), Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) (GxG) en grondwatertrappen (Gt) is gespecificeerd, naast frequentieverdelingen van de grondwaterstands-informatie die de nauwkeurigheid van die informatie weergeven. Hiervoor moet een Gd-kartering van Laag-Nederland worden uitgevoerd. Dit wordt aangepakt in deelgebieden, te beginnen in de provincie Flevoland.

Allereerst is een inventarisatie van bruikbare gegevens gemaakt. Gegevens van peilbuizen zijn gescreend en gecontroleerd in het veld. Vervolgens is onderzocht welke hulpinformatie bruikbaar kan zijn bij Gd-kartering, op basis van een analyse van de data die zijn verzameld bij de actualisatie van de grondwatertrappenkaart (Gt-kaart) in de periode 2011-2013. De bruikbaarheid van de volgende bronnen van hulpinformatie is onderzocht: een hydrogeologisch ondergrondmodel van Nederland (REGIS II), een kaart met bodemfysische eigenschappen van de bodem (BOFEK), een kaart van de aanwezigheid van buisdrainage, een kaart met zomer- en winterpeilen, het actueel hoogtebestand van Nederland (AHN), een kaart met afstanden tot ontwateringsmiddelen afgeleid van de topografische kaart en leggerinformatie, de landgebruikskaart van Nederland (LGN7), kwelkaarten volgens het nationaal hydrologisch instrumentarium (NHI) en het model AZURE, de Bodem- en Gt-kaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, versie 2006. De relatie tussen GHG's en GLG's en variabelen die uit de genoemde bronnen van hulpinformatie zijn afgeleid is onderzocht met behulp van exploratieve, grafische analyses en de modellering van *classification and regression trees* (CART). Uit deze analyses bleek dat de samenhang tussen GHG's en GLG's en hulpinformatie gering is.

Mede op basis van een eerste analyse van de ruimtelijke samenhang van GHG's en GLG's die zijn berekend bij de actualisatie in de periode 2011-2013 is een meetnet voor gerichte opnames van de grondwaterstand ontworpen. Met behulp van het R-package Spcosa zijn 200 locaties, gelijkmatig verdeeld over Flevoland, geselecteerd waar voor de actualisatie van de Bodemkaart, schaal 1 : 50.000, eerder bodemkundige profielbeschrijvingen waren gemaakt. Hieraan zijn 40 extra punten toegevoegd om informatie over de variatie op korte afstanden te krijgen. Op deze 240 locaties zijn in maart/april en juli/augustus grondwaterstanden in boorgaten gemeten.

Voor de locaties van de stambuizen is de relatie tussen GHG's en GLG's en grondwaterstanden ten tijde van de gerichte opnames vastgesteld. Deze relatie is gebruikt om op gerichte-opnamelocaties GHG's en GLG's uit gemeten grondwaterstanden te schatten. Bij deze zogeheten stambuisregressie is rekening gehouden met de aanwezigheid van dieper-dan- of gecensureerde waarnemingen, door niet-parametrische modellen te gebruiken. GHG's en GLG's op gerichte-opnamelocaties zijn geschat met de medianen uit de verdelingen die gesimuleerd zijn met de niet-lineaire regressiemodellen. De nauwkeurigheid van de schattingen is gekwantificeerd met de *median absolute deviation* (MAD).

De ruimtelijke samenhang van GHG's en GLG's op gerichte-opnamelocaties is beschreven met Matérn-semivariogrammen. Vervolgens zijn de GHG's en GLG's gebiedsdekkend geïnterpoleerd met behulp van *ordinary kriging*, waarbij rekening is gehouden met de nauwkeurigheid van de schattingen op de gerichte-opnamelocaties. De verkregen kaarten van GHG en GLG zijn vergeleken met kaarten die met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) zijn berekend. Er bleek geen overeenkomst te zijn.

Uit de ervaring die is opgedaan tijdens deze inventarisatie kan het volgende worden geconcludeerd:

1. In gebieden met beheerste peilen het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN) geen bruikbare bron van hulpinformatie bij de kartering van de grondwaterdynamiek.
2. De korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's kan groot zijn in gebieden met een beheerst peil, als gevolg van de afstand tot ontwateringsmiddelen en verschillen in beregening en peilbeheer.
3. De beschikbare informatie over peilbeheer blijkt voor Flevoland niet toereikend te zijn om de korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's te kunnen beschrijven.

Wij bevelen het volgende aan:

1. De Gd-kaart kan verder worden verbeterd door de volgende bronnen van hulpinformatie die onlangs beschikbaar zijn gekomen te benutten bij de ruimtelijke interpolatie:
 - a. de Gt-kaart die in 2018 is gemaakt op basis van de Gt-actualisatie in de periode 2011-2013;
 - b. de veldschattingen van GHG en GLG die recent op een groot aantal boorlocaties zijn verricht tijdens de recente actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000.
2. De korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's maakt keuzes voor lagere resolutie of bredere klassegrenzen op de kaart van de grondwaterdynamiek noodzakelijk. Wij bevelen aan de klassebreedtes zoveel mogelijk met de Gt-classificatie in overeenstemming te laten zijn.
3. Wij bevelen validatie op basis van additionele waarnemingen aan om de kwaliteit van GHG- en GLG-kaarten vast te stellen.

1 Inleiding

Aanleiding en achtergrond

Met het oog op methodiekontwikkeling is de kartering van de grondwaterdynamiek (Gd) van Laag-Nederland gestart in één regio. Een beheersgebied van een waterschap dat beschikt over een complete peilvakkenkaart had de voorkeur. Bovendien moest de waterbeheerder behoefte hebben aan geactualiseerde informatie over de grondwaterdynamiek. Waterschap Zuiderzeeland werkte tijdens de beginfase van dit project aan een actualisatie van de bodemkaart. De grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50.000, van Zuiderzeeland was verouderd en bevatte een anomalie als gevolg van een verschil in opnamedatum van de kaartbladen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. De actualisatie van de bodemkaart betekende verhoudingsgewijs veel veldgerichte activiteiten, waarbij goed kon worden aangesloten.

Doel van het project

Doel van dit project is de ontwikkeling van een landsdekkend bestand van de grondwaterdynamiek (Gd). Hierin is voor elke 50 × 50 m rastercel een actuele GHG, GVG, GLG (GxG) en Gt gespecificeerd, naast frequentieverdelingen van de grondwaterstands-informatie die de nauwkeurigheid van de informatie weergeven.

Om een landsdekkend Gd-bestand te ontwikkelen, moet een Gd-kartering van Laag-Nederland worden uitgevoerd. Na inventarisatie van beschikbare en bruikbare gegevens worden geostatistische simulaties uitgevoerd, vergelijkbaar met die welke in 2004 voor Hoog-Nederland door De Gruijter *et al.* (2004) zijn verricht. Het resulterende Gd-bestand voor Laag-Nederland moet complementair zijn aan het bestaande Gd-bestand van Hoog-Nederland (Stuyt *et al.*, 2017).

Opbouw van het rapport

In Hoofdstuk 2 is de aanpak beschreven die bij de Gd-kartering van Flevoland is gevolgd. Onderdeel van deze aanpak is de systeembeschrijving van het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland in Hoofdstuk 3. In Hoofdstuk 4 volgt de analyse van de samenhang tussen GHG's en GLG's enerzijds en allerlei bronnen van gebiedsdekkend beschikbare hulpinformatie anderzijds. Als onderdeel van het ontwerpen van een meetnet voor gerichte opnames van grondwaterstanden geeft Hoofdstuk 5 een analyse van de ruimtelijke samenhang in GHG's en GLG's in Flevoland. Dit ontwerp wordt beschreven in Hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 beschrijft de dataverzameling en -verwerking tot actuele kaarten van GHG en GLG en bestanden waaruit parameters van de grondwaterdynamiek kunnen worden afgeleid. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 8.

Gehanteerde definities

Tenzij anders aangegeven hanteren we in dit rapport de definities zoals gegeven door Ritzema *et al.* (2012):

Drukhoogte: potentiaal van het bodemwater ten gevolge van interactie tussen bodemwater en de bodemmatrix, uitgedrukt in een energiehoogte-equivalent (m).

Duurlijn: geeft aan over welke totale tijdsduur binnen een jaar een bepaalde grondwaterstand wordt overschreden, berekend uit een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden (dit rapport).

Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG): gemiddelde van de HG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden.

Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG): gemiddelde van de LG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden.

Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG): gemiddelde van de VG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden.

Gerichte opname: meting van de grondwaterstand op een vooraf vastgestelde of willekeurig gekozen plaats en vooraf gekozen tijdstip.

Grondwater: al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met bodem of ondergrond staat.

Grondwaterdynamiek: de dynamiek van de grondwaterstandsdiepte, beschreven met GHG, GLG, GVG, Gt, regimecurve en duurlijn.

Grondwaterstand: de hoogte ten opzichte van een referentieniveau (meestal NAP, soms het maaiveld) van een punt waar het grondwater een stijghoogte gelijk nul heeft (m).

Grondwaterstandsdiepte: de afstand tussen het grondoppervlak (bodemoppervlak) en de grondwaterstand (m).

Grondwatertrap (Gt): de klasse die begrensd wordt door een GHG- en/of GLG-traject (Ten Cate et al., 1995).

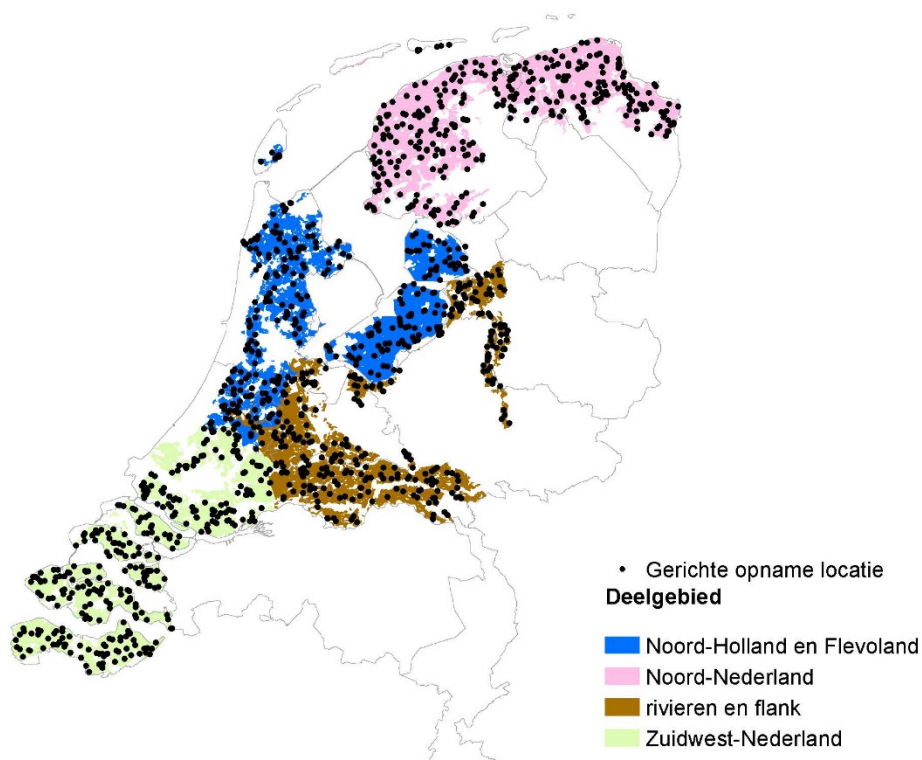
GxG: korte weergave van GLG, GHG en GVG (zie aldaar).

HG3: gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14^e en 28^e).

2 Aanpak Gd-kartering Laag-Nederland

2.1 Gt-actualisatie van Laag-Nederland, 2014

In de periode 2011-2013 heeft Wageningen Environmental Research in Laag-Nederland voor diverse projecten vele waarnemingen aan de grondwatersituatie gedaan. Ter voorbereiding van een gedetailleerde Gd-kartering in Laag-Nederland is voor dit project een inventarisatie van bruikbare gegevens gemaakt. Vertrekpunt was een serie veldopnames die tussen 2011 en 2013 zijn gedaan voor de Gt-actualisatie, zie Figuur 1. Deze opnames zijn verwerkt in de geactualiseerde Gt-kaart van Laag-Nederland die in 2014 gereedkwam. Van deze opnames zijn profielbeschrijvingen beschikbaar in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS), naast informatie over grondwaterstanden en berekende GxG's. Deze gegevens zijn zoveel mogelijk gebruikt voor de geactualiseerde landsdekkende Gd-kaart die voor dit project is ontwikkeld.



Figuur 1 Locaties Gd-opnames, gedaan in de periode 2011-2013

2.2 Screening van peilbuizen, maart-april 2017

Stambuizenset

De set peilbuizen in Laag-Nederland waarin langjarig de grondwaterstand wordt gemeten met ten minste een halfmaandelijke frequentie (i.c. de stambuizenset) is in het voorjaar van 2017 gescreend op bruikbaarheid. Dit buizenbestand van Laag-Nederland is vrij actueel omdat Wageningen Environmental Research (voorheen Alterra) hier tussen 2011 en 2014 veel opnames heeft gedaan (Hoogland *et al.*, 2014). De inventarisatie is gemaakt in de volgende twee stappen:

-
1. Een bureaustudie om vast te stellen welke peilbuizen wellicht bruikbaar zijn, en daarom in het veld bezocht moeten worden. Hiertoe is 'het' DINO¹-bestand geïnventariseerd, en zijn de geselecteerde buizen gelabeld met zogenoemde DINO-codes.
 2. Locatiebezoeken om te verifiëren of de peilbuizen die in de bureaustudie als 'wellicht bruikbaar' zijn geïdentificeerd nog goed in het veld staan, en om vast te stellen of de gevonden peilbuizen nog worden opgenomen, en daarmee bruikbaar zijn in een meetnet voor de Gd.

Ad 1: Bureaustudie

In de bureaustudie zijn de stambuizensets van de regio's Groningen/Friesland, Rivierengebied, Flevopolders, Noord- en Zuid-Holland en Zeeland onderzocht. De locaties van de buizen die moeten worden gecontroleerd zijn in een zogenoemd gpx-bestand gezet, zodat ze in een gps, mobiele telefoon en autonavigatie kunnen worden ingelezen.

Ad 2. Locatiebezoeken

De te controleren buizen zijn in de periode 15 april – 15 mei 2017 in het veld gecontroleerd: staan ze er nog, zijn ze beschadigd, zijn ze afgesloten, bevatten ze divers, is de positie van het meetpunt ten opzichte van maaiveld nog hetzelfde? Van alle buizen is opgenomen en vastgelegd: de buishoogte t.o.v. het maaiveld, de grondwaterstand t.o.v. de bovenkant van de buis en de diepte van de buis (lengte). Informatie over de omgeving is vastgelegd in foto's en situatieschetsen. In sommige gevallen zijn profielbeschrijvingen gemaakt. Deze gegevens zijn samengevat in log-formulieren, zie Bijlage 1.

De opnamedata (april-mei) van deze buizen zijn van belang omdat de gemeten grondwaterstanden in beginsel toegevoegd moeten worden aan de beschikbare opnames die vertaald worden in een G×G (GHG, GLG, Gt).

Een aanzienlijk deel van de stambuizen die voor de Gt-actualisatie (2011-2014) is gebruikt lijkt in 2017 niet meer te worden opgenomen. Het DINO (=Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond)-bestand in kwestie blijkt geen recente waarnemingen te bevatten.

Na deze controle en verwerking moet worden vastgesteld in welke gebieden nog aanvullende stambuizen nodig zijn.

2.3 Afstemming en samenwerking met waterschappen

Voor de Gd-kartering in Laag-Nederland moeten de komende jaren een groot aantal metingen van de grondwaterstand worden uitgevoerd. Bovendien moeten grondwaterstandsreeksen die in peilbuizen zijn gemeten, worden geanalyseerd en moet er zo veel mogelijk gebiedsdekkende hulpinformatie die gerelateerd is aan de grondwaterstand worden verzameld. Al deze informatie zal worden verwerkt tot kaarten van onder meer gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) met een groot ruimtelijk detail.

Momenteel zijn waterschappen in Laag-Nederland aangewezen op de grondwatertrappenkaarten (Gt-kaarten) die simultaan met de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, zijn opgenomen, op de actualisatie hiervan (Hoogland *et al.*, 2014) of op de zogeheten karteerbare-kenmerkenkaart (Van der Gaast *et al.*, 2010). Ten opzichte van deze kaarten verschilt de Gd-kaart op de volgende punten:

- De Gd-kaart voor Laag-Nederland heeft een groter ruimtelijk detail in vergelijking tot de Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, of de actualisatie hiervan. Voor gridcellen van 50 x 50 m geeft de actuele Gd-kaart een GHG en een GLG. De Gt-kaart geeft voor vlakken een grondwatertrap, wat een classificatie is van GHG en GLG.
- De Gd-kaart heeft een lagere ruimtelijke resolutie dan de karteerbare-kenmerkenkaart, namelijk 50 x 50 m in plaats van 25 x 25 m.
- De Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, en de karteerbare-kenmerkenkaart geven geen informatie over de nauwkeurigheid van de GHG en GLG in een gridcel van 25 x 25 m. De geactualiseerde Gt-kaart

¹ DINO=Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond.

(Hoogland *et al.*, 2014) geeft informatie over nauwkeurigheid op het niveau van kaarteenheden. De Gd-kaart geeft voor elke gridcel van 50 x 50 m een indicatie van de nauwkeurigheid. Hiermee kunnen onzekerheidsanalyses worden uitgevoerd, overschrijdingskansen worden berekend en de kaart kan worden gebruikt bij het optimaliseren van meetnetten met het oog op vergroten van de voorspelnauwkeurigheid.

- De actualisatie wordt per waterschap uitgevoerd. De Gt-kartering vond destijds per kaartblad van de topografische kaart, schaal 1 : 50.000, plaats. Door gefaseerd per waterschap te werken hopen we hulpinformatie die bij een waterschap beschikbaar is beter te kunnen benutten en de actualisatie beter te kunnen afstemmen op specifieke behoeften van waterschappen.
- Bij de karteerbare-kenmerkenkaart is gebruik gemaakt van tijdreeksen uit peilbuizen en van veldschattingen uit een aantal detailkarteringen die na 1990 hebben plaatsgevonden. De veldschattingen uit de detailkarteringen dienden ertoe de standen die waren gemeten in peilbuizen aan te passen aan grondwaterstanden die ondiep in het bodemprofiel worden waargenomen bij veldschattingen. De gebruikte detailkarteringen liggen echter voornamelijk in Hoog-Nederland, wat een reden is om deze methode niet te volgen bij de Gd-kartering in Laag-Nederland. Bovendien zijn de detailkarteringen uitgevoerd met een bepaald doel, bijvoorbeeld om een landinrichtingsproject voor te bereiden waarbij ingegrepen wordt in de waterhuishouding. Daardoor kan vertekening ontstaan, omdat gebieden waarin deze projecten niet werden uitgevoerd niet zijn vertegenwoordigd.
- Voor GHG's en GLG's binnen Gt-klassen wordt bij de karteerbare-kenmerkenkaart impliciet een normale verdeling verondersteld. Voor toepassingen op het gebied van bijvoorbeeld waterberging is het belangrijk de verdeling van GHG's en GLG's goed in te schatten. In Laag-Nederland, met beheerste peilen, verwachten we dat door onder meer afroming van hoge standen de verdeling van GHG's en GLG's binnen Gt-klassen niet normaal maar scheef zal zijn. Bovendien is het de vraag in hoeverre de frequentieverdeling (gemiddelde en standaardafwijking) van GHG's en GLG's voor peilbuislocaties de frequentieverdeling van GHG's en GLG's in Gt-klassen benadert, zoals bij de karteerbare-kenmerkenkaart wordt verondersteld. De peilbuislocaties zijn namelijk niet geselecteerd voor het schatten van de frequentieverdeling van GHG's en GLG's in Gt-klassen. Bij de Gd-kartering zal niet een normale verdeling van GHG's en GLG's binnen kaartvlakken worden verondersteld, maar zullen gerichte metingen plaatsvinden in boorgaten die zijn geselecteerd met als doel de ruimtelijke verdeling van GHG's en GLG's en daarmee de frequentieverdeling binnen kaartvlakken in kaart te brengen.

Bij toepassing van kaarten met een hoge ruimtelijke resolutie, zoals de karteerbare-kenmerkenkaart en de Gd-kaart, verlaat je het concept 'schaal' zoals we dat kennen van bijvoorbeeld de Bodem- en Gt-kaart, schaal 1 : 50.000. Hoge resolutie kan echter worden verward met hoge nauwkeurigheid. Daarom is de informatie over de nauwkeurigheid die de Gd-kaart biedt belangrijk. Deze informatie kan bijvoorbeeld worden gebruikt om een kaart te maken die de overschrijdingskans van een kritisch niveau weergeeft, of als invoer dienen bij onzekerheidsanalyses.

Als er kaarten van GHG en GLG worden afgedrukt is het belangrijk dat de breedte van de intervallen in verhouding staat tot de nauwkeurigheid: bij kleine intervallen bestaat het risico dat hoge resolutie wordt verward met hoge nauwkeurigheid, zeker als de informatie over nauwkeurigheid niet bij de toepassing wordt betrokken. Van de Gd-kaart kunnen ook nog steeds 'klassieke' Gt-kaarten worden afgeleid, en de inhoud van de vlakken van de vigerende Gt-kaart kan worden geactualiseerd op basis van de Gd-kaart.

Samengevat kan met de Gd-kaart alles wat waterschappen tot nu toe deden met de Gt-kaart, schaal 1 : 50.000, of met de karteerbare-kenmerkenkaart, maar dan op basis van actuele informatie. Bovendien biedt de Gd-kaart toepassingsmogelijkheden bij onzekerheidsanalyses, bijvoorbeeld op het gebied van waterberging, bij meetnetoptimalisatie en bij het berekenen van overschrijdingskansen van kritische niveaus.

Voorafgaand aan de actualisatie wordt waterschappen gevraagd of zij informatie die voor ons van nut kan zijn beschikbaar willen stellen. Het gaat hierbij om grondwaterstandsgegevens, oppervlaktewaterpeilen, indelingen in peilvakken en gegevens over drainage.

2.4 Kartering per waterschap

De Gd-kartering van Laag-Nederland wordt per waterschap uitgevoerd om de volgende redenen:

1. Het peilbeheer is van invloed op de ruimtelijke patronen van $G \times G$'s. Een aanpak per waterschap is daarom logischer dan een aanpak per kaartblad.
2. Bij de ruimtelijke interpolatie en simulatie van $G \times G$'s wordt gebruik gemaakt van gebiedsdekkende hulpinformatie. De beschikbaarheid van deze hulpinformatie kan van waterschap tot waterschap verschillen. Een kartering per waterschap maakt het mogelijk de interpolatiemethode af te stemmen op de beschikbare hulpinformatie.
3. Waterschappen kunnen specifieke wensen hebben, waarvoor veldwerk nodig is dat gecombineerd met het veldwerk voor de Gd-kartering kan plaatsvinden.
4. Deskundigheid die bij waterschappen aanwezig is kan worden benut, bijvoorbeeld bij het afgrenzen van homogene deelgebieden (strata).

2.5 Geostatistisch model

2.5.1 Geostatistisch model Gd Hoog-Nederland

Figuur 2 geeft aanpak van de Gd-kartering in Hoog-Nederland schematisch weer, ontleend aan Finke *et al.* (2005). Het onderste blok in deze figuur geeft de ruimtelijke interpolatie en simulatie van $G \times G$'s weer. Hierbij wordt een geostatistische aanpak gevolgd, namelijk Universal Cokriging. De Gruijter *et al.* (2004) beschrijven deze methode, die is uit te voeren met de R-package Gstat (Pebesma, <https://cran.r-project.org/web/packages/gstat/gstat.pdf>).

Bij universal cokriging houden we rekening met de correlatie die er is tussen de doelvariabelen GHG, GVG en GLG, en maken we gebruik van de lineaire relaties tussen GHG, GVG en GLG enerzijds en gebiedsdekkend beschikbare hulpinformatie anderzijds.

Verder houden we in het geostatistische model rekening met de nauwkeurigheid waarmee $G \times G$'s zijn geschat voor locaties van peilbuizen en gerichte opnamen. Deze $G \times G$'s voor de peilbuislocaties zijn geschat (berekend) uit de tijdreeksen van halfmaandelijks gemeten grondwaterstanden. De $G \times G$'s voor de locaties van de gerichte opnames zijn geschat (berekend) met stambuisregressie en de nauwkeurigheid van deze schattingen is bekend.

Aan de basis van Universal Cokriging ligt het volgende model:

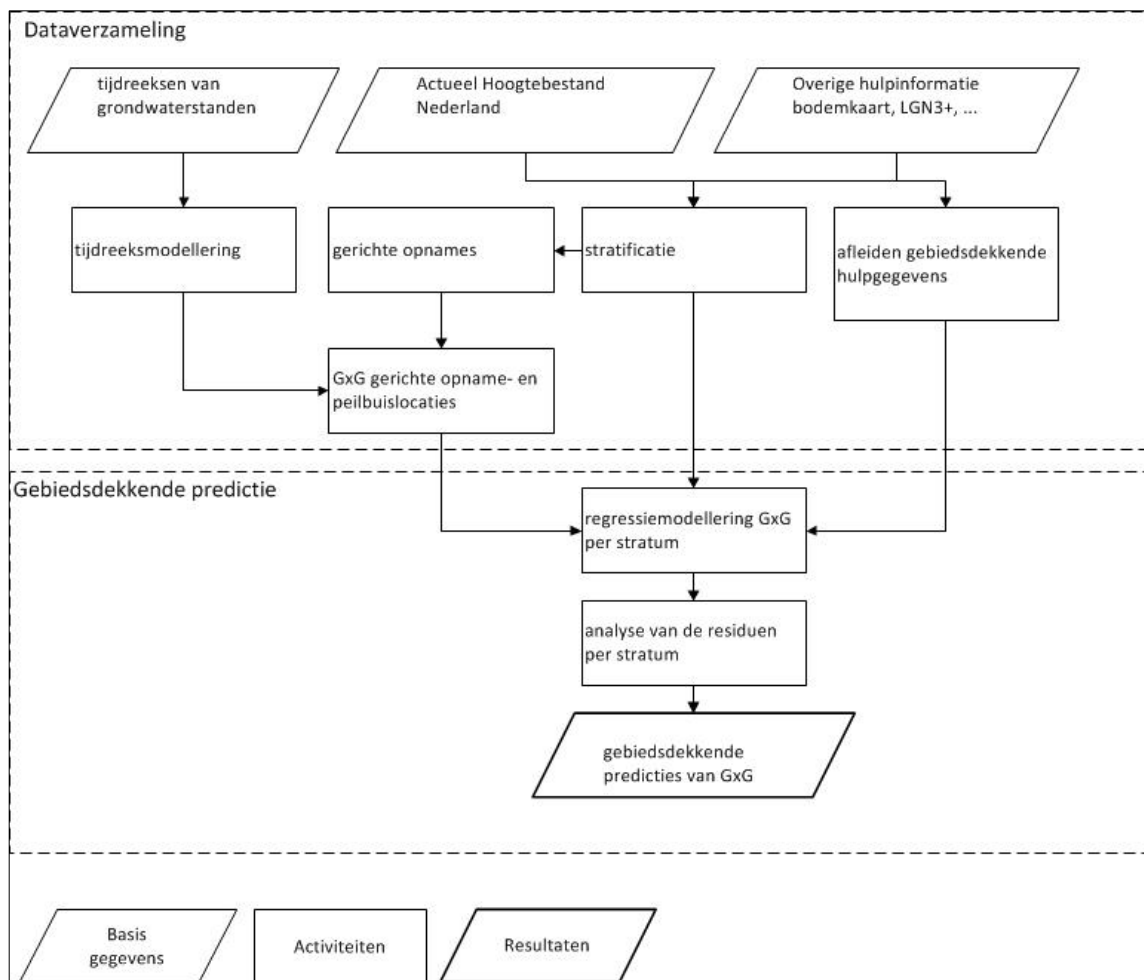
$$Z_k(s) = \mu_k(s) + e_k(s), k = 1, \dots, m$$

waarin m het aantal covariabelen is, in dit geval $m = 3$, namelijk GHG, GVG en GLG. $Z_k(s)$ is covariabele k op locatie s . De eerste term rechts is het systematische deel of trend. Deze trend is een lineaire functie van p verklarende variabelen:

$$\mu_k(s) = \beta_{0,k} + \sum_{j=1}^p X_{j,k}(s) \beta_{j,k}, k = 1, \dots, m$$

We gaan er gemakshalve van uit dat elke covariabele een lineaire relatie heeft met het zelfde aantal p verklarende variabelen. Verder gaan we er van uit dat alle verklarende variabelen bekend zijn op locatie s . Voor een gedetailleerde beschrijving van Universal Cokriging verwijzen wij naar Bijlage B, geschreven door Edzer Pebesma, in De Gruijter *et al.* (2004).

Universal Cokriging wordt toegepast binnen strata (homogene deelgebieden). Binnen een stratum wordt een lineair verband verondersteld tussen de doelvariabelen GHG en GLG en gebiedsdekkend beschikbare hulpvariabelen, dat wordt beschreven met een regressiemodel.



Figuur 2 Schema van de aanpak bij een Gd-kartering (bron: Finke et al., 2005)

2.5.2 Geostatistisch model Gd Laag-Nederland

Het geostatistische model dat in Hoog-Nederland is toegepast bij het in kaart brengen van de Gd zou ook in Laag-Nederland kunnen worden toegepast. Sinds de eerste Gd-karteringen zijn echter methoden op het gebied van *machine learning* ontwikkeld die een aantrekkelijk alternatief kunnen zijn voor *universal cokriging*. Een nadeel van *universal cokriging* is dat deze methode is gebaseerd op de veronderstelling van een lineaire samenhang tussen doelvariabelen en hulpvariabelen. In Laag-Nederland kan echter bijvoorbeeld drempel-niet-lineariteit worden verwacht in de samenhang tussen grondwaterstand en maaiveldhoogte doordat er verschillende peilvakken zijn.

Een alternatief waarmee niet-lineaire structuren kunnen worden beschreven vormen de Classification and Regression Trees (CART). Een CART-model is een beslisboom waarmee op basis van een stelsel van beslisregels een voorspelling kan worden gedaan. Bij *ensemble learning* wordt niet één maar een groot aantal modellen simultaan ingezet om te voorspellen. De Random-Forestmethode (Breiman, 2001) is een techniek voor classificatie en regressie door middel van *ensemble learning*. Met de Random-Forestmethode kan in korte tijd een grote dataset worden geanalyseerd. *Missing values* leiden niet tot problemen en een groot aantal kwalitatieve predictorvariabelen is geen probleem. De methode doet trekkingen uit de dataset en zet daarbij een aantal waarnemingen apart (*out of bag*, OOB), ontwikkelt een groot aantal classificatiebomen, en evalueert de classificatiefout door predicties te vergelijken met waarnemingen in de 'out-of-bag' testset (OOB) die ca. 1/3 van de waarnemingen bestrijkt. Dit levert ook een maat voor de voorspelnauwkeurigheid van het uiteindelijke model op (OOB error rate). De methode is 'black-box' in de zin dat er geen fysisch interpreteerbare parameters worden geschat. Door het effect van het weglaten van variabelen te evalueren wordt aangegeven welke variabelen belangrijk zijn (*variable importance index*), en dit helpt bij de interpretatie. CART-modellen, die uit één boom bestaan, hebben ten opzichte van Random-Forestmethoden het voordeel dat ze fysisch goed interpreteerbaar zijn.

Bij het construeren van een classificatieboom moet worden besloten waar de takken zich splitsen en tot hoever de boom 'doorgroeit'. Evenals bij een eenvoudig lineair regressiemodel wordt hierbij gezocht naar een beste fit, waarbij de responsvariabele zo veel mogelijk wordt verklaard uit de verklarende variabele. Een criterium dat wordt gebruikt bij het optimaliseren van classificatiebomen is de gini-index. Dit is een maat voor de onzuiverheid in de vertakkingen in een classificatieboom. We definiëren nu een gini-index voor een knooppunt m , dat een regio R_m met N_m waarnemingen vertegenwoordigt (Hastie *et al.*, 2009, blz. 309). In dit knooppunt is:

$$\hat{p}_{mk} = \frac{1}{N_m} \sum_{x_i \in R_m} I(y_i = k)$$

de fractie van waarnemingen behorend tot klasse k in knooppunt m . Alle waarnemingen in knooppunt m classificeren we in de meest voorkomende klasse in m , $k(m) = \arg \max_k \hat{p}_{mk}$. Hierdoor ontstaat een onzuiverheid, want niet alle waarnemingen zullen immers tot de meest voorkomende klasse behoren. Een maat voor de onzuiverheid is de gini-index:

$$\text{gini-index} = \sum_{k=1}^K \hat{p}_{mk} (1 - \hat{p}_{mk})$$

Voor het geval er twee klassen zijn, en p de fractie waarnemingen in de tweede klasse is, dan is de gini-index gelijk aan $2p(1-p)$. De *variable importance index* is gebaseerd op de gini-index. Hoe sterker de gini-index afneemt door het toevoegen van een variabele, hoe belangrijker deze variabele is.

CART-modellering kan worden uitgevoerd met de functie **cforest** en Random-Forestmodellering met de functie **rf**, uit het package **ranger** in de statistische programmeertaal **R**. In dit *package* is methodiek van Strobl *et al.* (2007) geïmplementeerd, waarmee *bias* in de selectie van variabelen en in het berekenen van de *variable importance* wordt voorkomen.

GHG's en GLG's zouden ruimtelijk kunnen worden voorspeld met een CART-model of een Random-Forestmodel. Dit levert een deterministisch *guess field* op. Vervolgens zou *simple kriging* kunnen worden toegepast op de residuen en dit geïnterpoleerde veld zou bij het *guess field* kunnen worden opgeteld. Nadeel van deze aanpak is dat geen rekening kan worden gehouden met de correlatie tussen GHG en GLG, zoals bij *universal cokriging* wel het geval is.

2.6 Gebiedsdekkende hulpinformatie

2.6.1 Inleiding

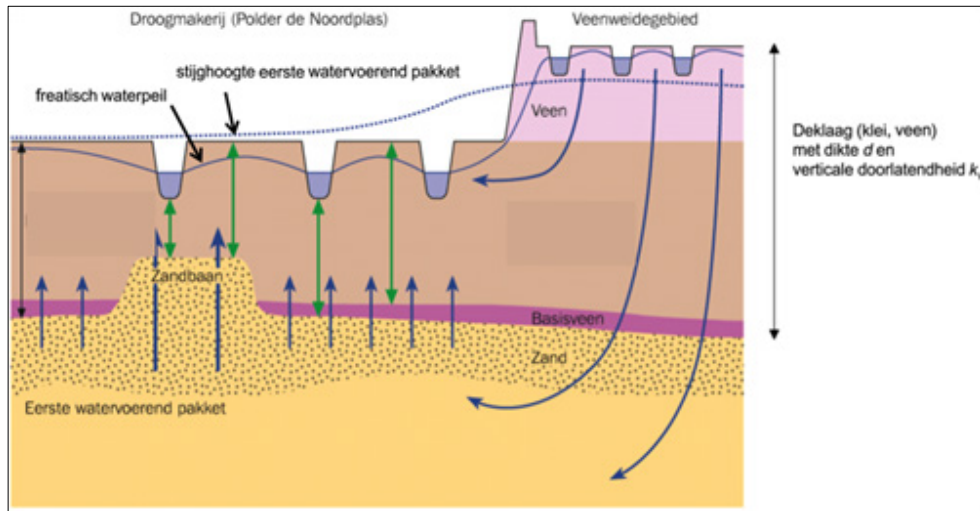
Deze paragraaf geeft een overzicht van de gebiedsdekkend beschikbare hulpinformatie die wordt gebruikt bij de ruimtelijke interpolatie en simulatie van GxG's. De verklarende variabelen die uiteindelijk in het model worden opgenomen hangen af van de beschikbare hulpinformatie bij een waterschap en de specifieke waterhuishoudkundige omstandigheden.

De ruimtelijke resolutie of celgrootte voor de Gd-kartering op de zandgronden (Finke *et al.*, 2005) is oorspronkelijk 25 bij 25 meter. Voor de Gd-karteringen voor de Basisregistratie Ondergrond zal echter een resolutie van 50 bij 50 meter worden aangehouden, conform de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. In een peil-beheerst gebied met kleine slootafstanden kan nog veel ruimtelijke variatie binnen afstanden van 50 meter optreden. Een hogere ruimtelijke resolutie zou echter schijnnaauwkeurigheid opleveren, gezien de nauwkeurigheid waarmee GxG's ruimtelijk worden voorspeld (Finke *et al.*, 2005).

Voor de Gd-kartering in peil-beheerst gebied zijn waarschijnlijk andere soorten van ruimtelijke hulpinformatie nodig om het ruimtelijk patroon in de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand in kaart te brengen dan bij de vrij afwaterende zandgronden (Finke *et al.*, 2005). In Laag-Nederland wordt het grondwaterniveau veel meer dan in Hoog-Nederland gereguleerd door polderpeilen. Informatie over deze peilen en over de ligging van sloten, greppels en buisdrainage is noodzakelijk om

de ruimtelijke patronen van de grondwaterstand in kaart te kunnen brengen. Daarnaast is informatie over berekening en over de bodemfysische of hydraulische eigenschappen van de verzadigde zone waarin de grondwaterstandsdiepte fluctueert relevant om de ruimtelijke patronen te verklaren.

Tussen de ontwateringsmiddelen zal een opbollings- of uitzakkingsprofiel ontstaan, waarvan de vorm afhangt van het neerslag- of verdampingoverschot en de bodemfysische eigenschappen tussen de ontwateringsmiddelen. Om de grondwaterstandsdiepte ten opzichte van maaiveld uit te drukken, is daarnaast gedetailleerde informatie over de maaiveldhoogte nodig zodat een gedetailleerd ruimtelijk beeld van de drooglegging berekend kan worden. Figuur 3 geeft een schematische dwarsdoorsnede van het grondwaterstandsverloop in het polder- en veenweidegebied. Deze figuur geeft de factoren waardoor de lokale grondwaterstandsdiepte in peil-beheerst gebied wordt bepaald weer, waaronder de hydraulische eigenschappen, de ligging van ontwateringsmiddelen, de daarin gehandhaafde peilen en de lokale maaiveldhoogte.



Figuur 3 Dwarsdoorsnede van de grondwaterstroming en het grondwaterstandsverloop in het polder- en veenweidegebied. Bron: http://www.deltaproof.nl/Publicaties/deltafactIframe/Brakke_kwel.aspx?rId=21

De landsdekkend beschikbare ruimtelijke gegevens over bodemfysica en ontwateringsmiddelen zijn vaak minder gedetailleerd en minder betrouwbaar dan gewenst om een Gd-kartering uit te voeren. Wellicht is er naast deze landsdekkende informatie meer gedetailleerde en betrouwbare informatie beschikbaar bij de waterschappen dat ter aanvulling of vervanging van de landelijke informatie gebruikt kan worden. Daardoor zou de Gd-kartering per waterschap kunnen worden toegespitst op specifieke wensen en op de beschikbaarheid van door het waterschap aangeleverde informatie.

2.6.2 Bodemfysische kenmerken en hydraulische eigenschappen

De volgende landsdekkende ruimtelijke informatiebronnen over hydraulische eigenschappen en bodemfysische kenmerken zijn beschikbaar:

- Met REGIS II (Vernes en Van Doorn, 2004) hebben landelijke en regionale overheden, water-beheerders, adviesbureaus en opleidingscentra gratis en online de beschikking over een hydrogeologisch ondergrondmodel van Nederland. REGIS II geeft, door middel van digitale kaartbestanden, inzicht in de hydrogeologische opbouw en doorlatendheid van de ondergrond op een regionale schaal. Daarnaast vormt REGIS II een adequate basis voor ondergrond-schematisaties voor landelijke en regionale grondwatermodellen. De goed- en slechtdoorlatende lagen worden in REGIS II hydrogeologische eenheden genoemd. Dit zijn lagen met min of meer uniforme hydraulische eigenschappen. Deze hydrogeologische eenheden vallen samen met, of zijn onderdeel van, de lithostratigrafische eenheden die het Digitaal Geologisch Model (DGM) onderscheidt. De diepteligging van de onder- en bovenkant en de dikte van de eenheden zijn vastgelegd in gridbestanden met een celgrootte van 100 bij 100 meter. Naast de geometrische gegevens bevat het model voor elke eenheid ook gegevens over de doorlatendheid. Deze schematisatie is voor de Gd-kartering betrekkelijk grof, omdat eerder voor de zandgronden een celgrootte van 25 bij 25 meter werd gehanteerd en nu een celgrootte van 50 bij 50 meter.

- De BOFEK-kaart (Wösten *et al.*, 2012) geeft de bodemfysische eigenschappen van de bodem weer. Aan 315 bodemeenheden behorende bij de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, zijn waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken uit de Staringreeks toegekend. Met een model zijn voor deze eenheden functionele kenmerken berekend. Op grond van verwantschap in functionele kenmerken zijn de 315 bodemeenheden geclusterd in 72 bodemfysische eenheden en afgebeeld in de nieuwe BODemFysische EenhedenKaart (BOFEK2012). Om deze gegevens bij modelberekeningen van bodemwatertransport en stoffentransport in de bodem te kunnen gebruiken is een GIS-bestand samengesteld met informatie over de geografische verbreiding van de BOFEK-eenheden in Nederland. De ruimtelijke eenheden van de bodemkaart zijn naar elke rasterresolutie te converteren zodat gedetailleerde ruimtelijke informatie gebruikt kan worden voor de Gd-kartering.

2.6.3 Buisdrainage

De meest recente landsdekkende ruimtelijke informatie over buisdrainage stamt uit enquêtes bij de metellingen van 2012 en is gerapporteerd door Massop en Schuiling (2016). Op basis van de landbouwmetellingen 2010 is de aanwezigheid van buisdrainage landsdekkend in kaart gebracht. Bij de metellingen van 2012 is opnieuw het areaal buisdrainage geïnventariseerd en bovendien zijn enkele aanvullende vragen gesteld over onder meer de diepte van buisdrainage, het functioneren van buisdrainage en de aanwezigheid van maaiveldgreppels. Door de bedrijfsgegevens over het areaal buisdrainage te combineren met de Basisregistratie Gewaspercelen (BRP) van 2012, met informatie over de ruimtelijke ligging van de percelen van de landbouwbedrijven, is op bedrijfsniveau buisdrainage toegekend aan gebruikspcelen. Deze kaart is aangevuld op basis van informatie van Top10NL en LGN7. Omdat tevens de draindiepte is geïnventariseerd, zijn twee drainagedieptekaarten gemaakt, namelijk één op basis van vuistregels en één volgens opgave van de boeren. Dit leidde ook tot twee drainageweerstandskarten. Hiernaast zijn karten gemaakt over het functioneren van drainage en van de verspreiding van peilgestuurde drainage en maaiveldgreppels.

2.6.4 Oppervlaktewaterpeilen

Ruimtelijke informatie over oppervlaktewaterpeilen is beschikbaar vanuit de schematisatie voor het NHI, maar deze informatie is mogelijk verouderd door recente aanpassingen van de peilen (mondelijke mededeling Joachim Hunink, Deltares, 2017). De inventarisaties bij de waterschappen voor 2006 leidden via een aantal reken- en interpretatiestappen tot de zogenoemde LSW-invoerbestanden voor het NHI (Van den Braak *et al.*, 2006) met een resolutie van 25 bij 25 meter (LSW: *local surface water*, een stroomgebiedje van gemiddeld circa 1900 ha, zie Delsman, 2006). Hierin zijn de zomer- en winterpeilen opgenomen. In welke mate deze peilen door water aan- en afvoer daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden is niet geheel duidelijk. Er zijn een aantal hydrologische en beheers-gebiedskkenmerken vastgesteld, op basis waarvan de uiteindelijke LSW-begrenzing is vastgesteld. Per gebiedskkenmerk is een classificatie gemaakt waarmee kleinere deelgebieden zijn vastgesteld. Deze begrenzingen per gebiedskkenmerk zijn uiteindelijk samengevoegd tot de uiteindelijke LSW-indeling, waarbij er voor gewaakt is dat er niet veel kleine LSW's ontstaan. Verder is een LSW in principe niet kleiner dan een peilvak. Bij gebiedskkenmerken moet gedacht worden aan wateraanvoer en -afvoergebieden, peilregime, grondgebruik en bodemsoort.

Ook de wateruitwisseling (*routing*) tussen de LSW's is bepaald. Als deze informatie bij de waterschappen al beschikbaar is (vaak op peilvakniveau), is deze vertaald naar de LSW-indeling. Indien er geen *routing* beschikbaar was, is deze bepaald met een automatische methode die gebruik maakt van verschillende soorten van GIS-informatie zoals peilvakken, streefpeilen en de ligging van waterlopen en kunstwerken. Wellicht is bij de waterschappen inmiddels bijgewerkte informatie over peilen en peilvakken beschikbaar waarmee de LSW-informatie kan worden aangevuld of vervangen.

Landsdekkende informatie over de ligging en breedteklassen van ontwateringsmiddelen waarin de peilen worden gehandhaafd is beschikbaar via de topografische kaart 1 : 10.000. De verbindingen tussen waterlopen onderling zijn hieruit niet altijd met zekerheid vast te stellen en oppervlakkige greppels zijn vaak niet in de topografische kaart opgenomen. De waterschappen beschikken daarnaast over zogenaamde leggers waarin de dimensionering van ontwateringsmiddelen in meer detail is

beschreven en ook de connectiviteit tussen ontwateringsmiddelen is vastgelegd. Wellicht kan deze informatie van de waterschappen gebruikt worden om de afstand tot ontwateringsmiddelen ruimtelijk weer te geven of in combinatie met een gedetailleerd hoogtebestand de ruimtelijke patronen in drooglegging te berekenen.

2.6.5 Af te leiden verklarende variabelen

Uit de hiervoor beschreven bronnen van gedetailleerde, gebiedsdekkende ruimtelijke hulpinformatie kunnen variabelen worden afgeleid die de ruimtelijke variatie in de grondwaterstand in het peil-beheerste gebied kunnen verklaren. Hierbij zijn kwantitatieve, continue variabelen en kwalitatieve variabelen te onderscheiden. De volgende continue variabelen zijn mogelijk verklarend voor de grondwaterstandsdiepte in Laag-Nederland:

- lokale ontwateringsdiepte of drooglegging, die bepaald kan worden uit het verschil tussen het beheerste peil in een peilvak en de lokale maaiveldhoogte volgens het AHN. Zomer- en winterpeil kunnen verklarend zijn voor respectievelijk GLG en GHG;
- relatieve maaiveldhoogte, die afgeleid kan worden uit het AHN, kan oppervlakkige afstroming naar lokale laagten verklaren;
- afstand tot ontwateringsmiddelen, bepaald uit de topografische kaart, eventueel aangevuld met informatie uit de leggers van waterschappen;
- diepte van drains volgens de buisdrainagekaart.

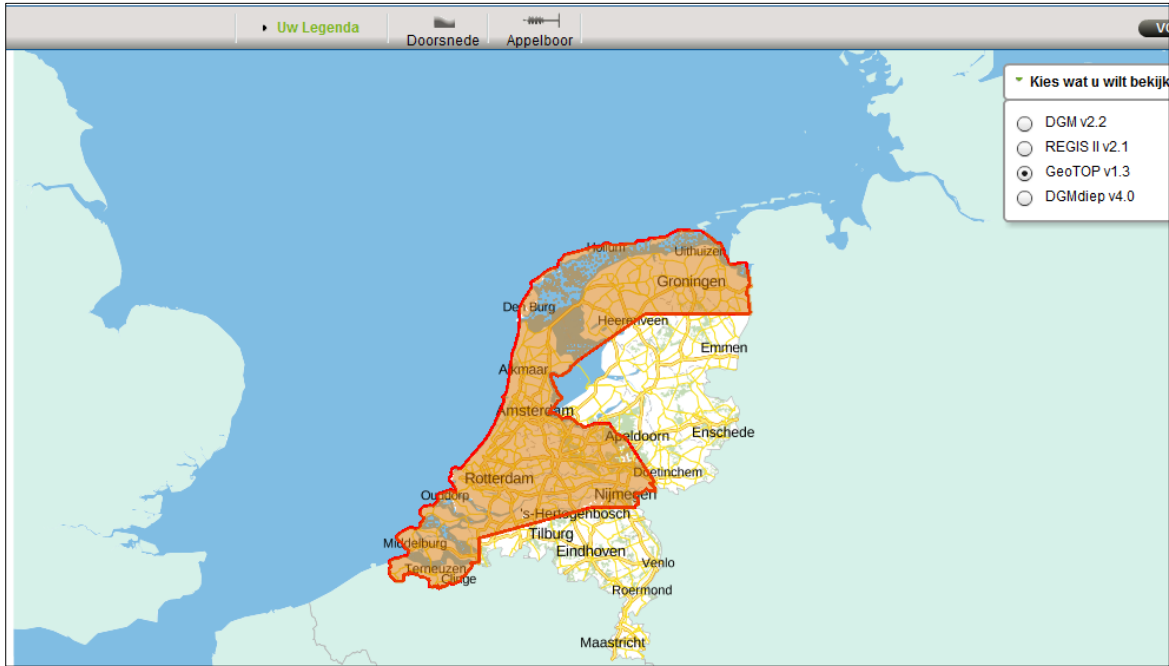
De volgende kwalitatieve variabelen kunnen verklarend zijn voor de grondwaterstandsdiepte in Laag-Nederland:

- de bodemfysische typering van het bodemprofiel tot 1,2 m diep, in 72 klassen, uit BOFEK;
- de hydraulische eigenschappen van het bovenste lithostratigrafische pakket, uit REGIS;
- de aanwezigheid en typering van buisdrainage uit de buisdrainagekaart;
- eenheden op de Bodem- en grondwatertrappenkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000;
- landgebruikscategorie (LGN).

3 Systeembeschrijving beheersgebied Waterschap Zuiderzeeland

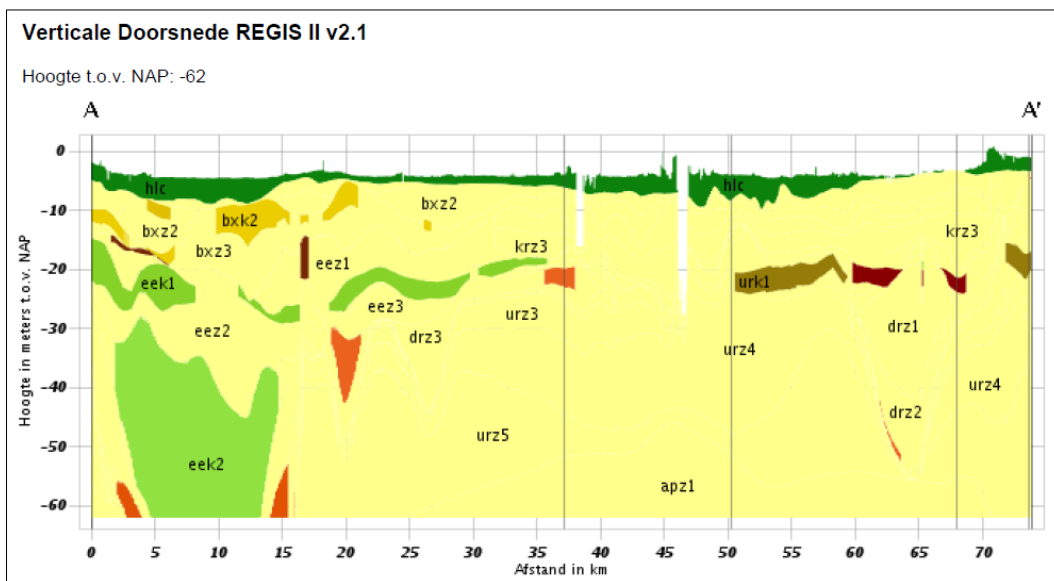
3.1 Geohydrologische opbouw

Het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland valt buiten het GeoTop-gebied, zie Figuur 4. Voor de geohydrologie worden daarom gegevens ontleend aan REGIS.

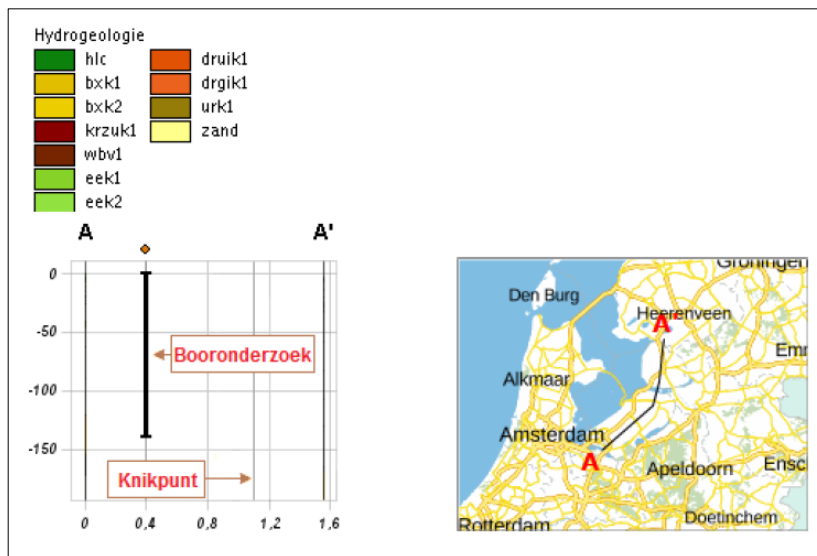


Figuur 4 Karteringsgebied GeoTop

REGISII v2.1 is landsdekkend beschikbaar. In Figuur 5 is in een Zuidwest-Noordoost-raai door Flevoland en de Noordoostpolder de opbouw van de ondergrond weergegeven volgens REGIS II v2.1.



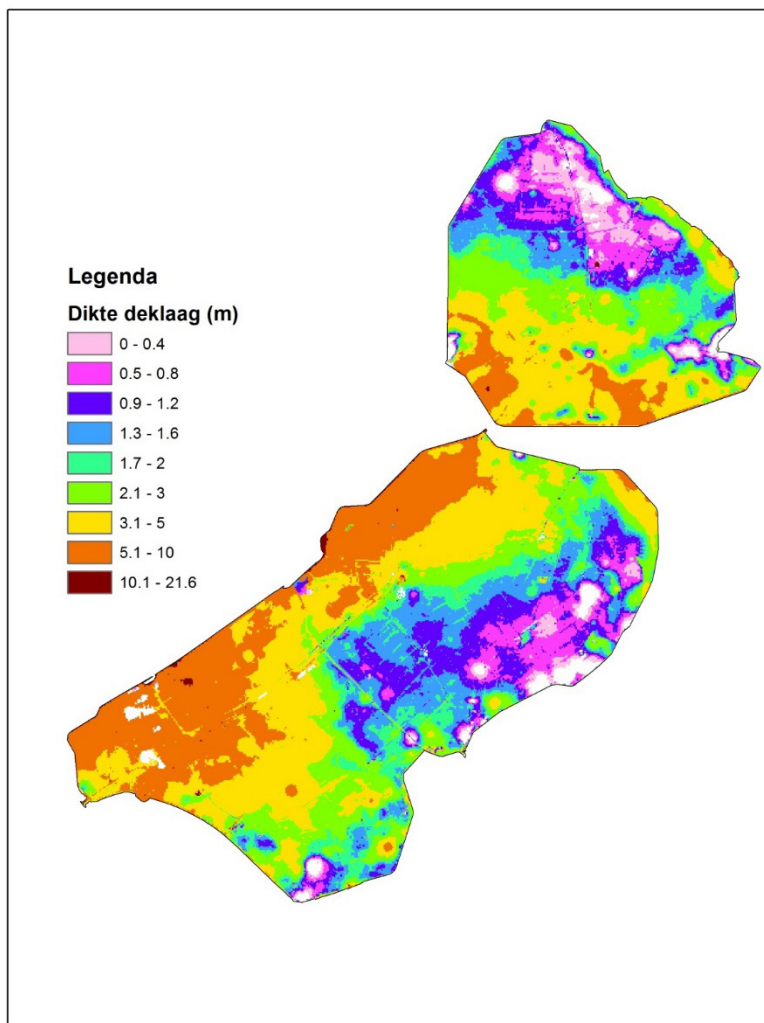
Figuur 5 Geohydrologische opbouw van de ondergrond in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland



Figuur 5 (vervolg) Geohydrologische opbouw van de ondergrond in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

De dikte van de holocene deklaag varieert in de raai van bijna afwezig in delen van de Noordoostpolder tot dikten van meerdere meters in Flevoland. Onder de Holocene deklaag komen zandige afzettingen voor.

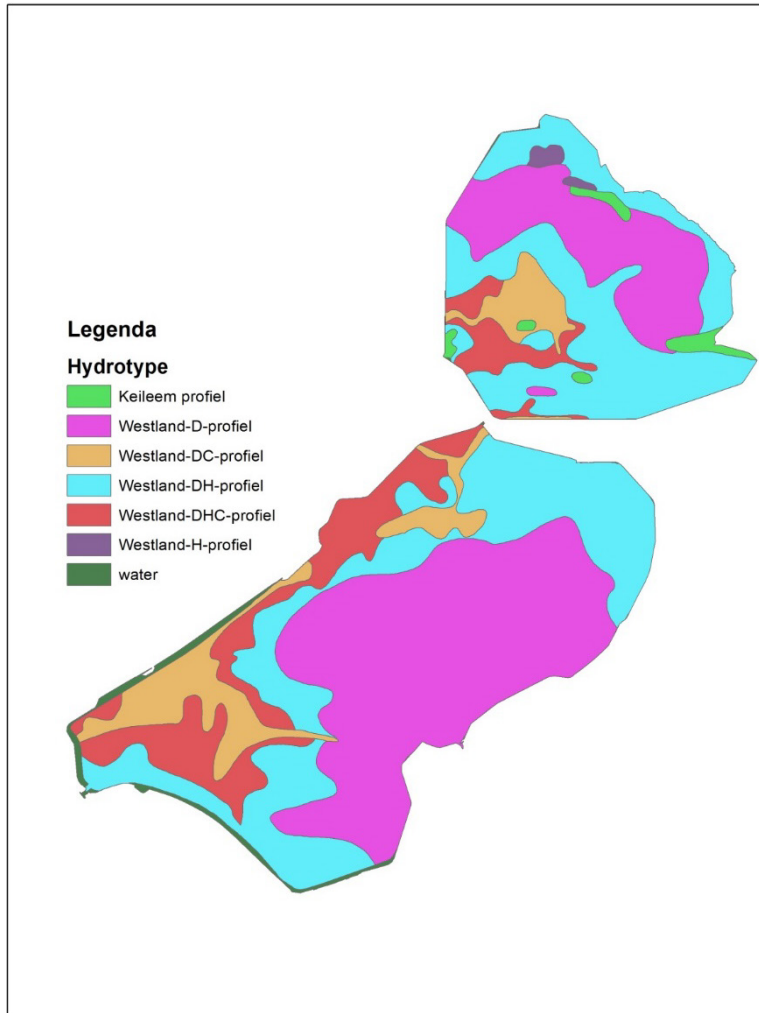
Van de Holocene deklaag is de boven- en onderkant en daarmee de dikte bekend (Figuur 6). De dikte en weerstand van de deklaag heeft invloed op de grootte van de kwel.



Figuur 6 Dikte Holocene deklaag- in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

Zowel in Flevoland als in delen van de Noordoostpolder komen gebieden voor met een deklaag- van relatief geringe dikte. Vooral langs het Markermeer is de dikte van de deklaag aanzienlijk (meer dan 5 m). De indeling in hydrotypen geeft een globale classificatie van de deklaag (Figuur 7).

In de Noordoostpolder komen enkele gebieden/vlakken voor met keileem in de ondergrond en enkele gebieden met veen aan maaiveld (Westland-H-profiel). In het overgrote deel van het beheersgebied komen relatief jonge afzettingen van Duinkerke aan maaiveld voor (Westland-D-profiel). Onder deze jonge afzettingen kunnen veenafzettingen voorkomen (Westland-DH-profiel en Westland-DHC-profiel).

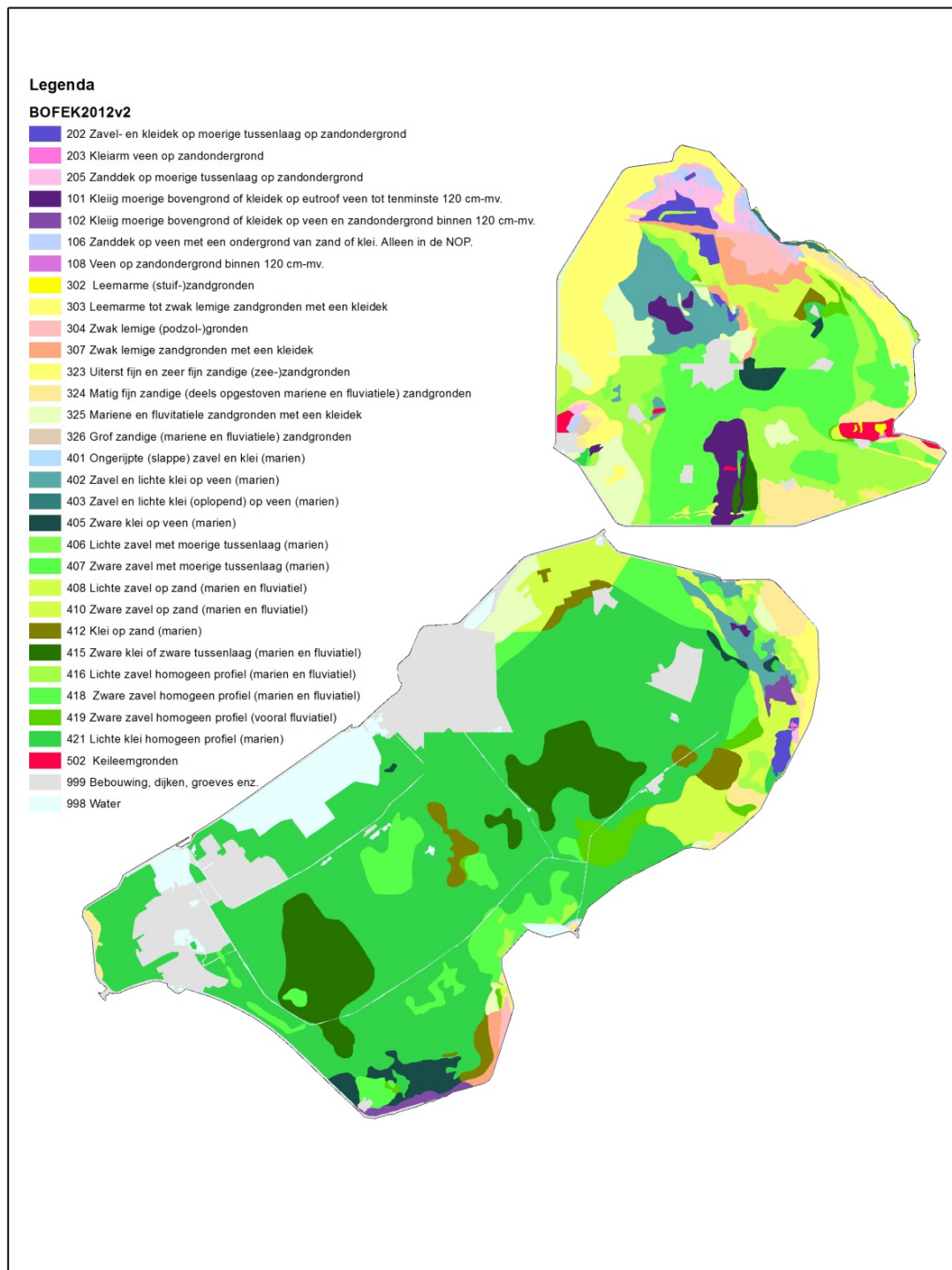


Figuur 7 Indeling in hydrotypen van het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

3.2 Bodemopbouw en grondwatertrap

De schematisatie van de bodem in 72 Bofek2012-eenheden is weergegeven in Figuur 8. Dit betreft de tweede, verbeterde versie van Bofek2012 (Wösten *et al.*, 2012).

Binnen het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland worden 30 BOFEK2012v2-eenheden aangetroffen (Tabel 1).



Figuur 8 BOFEK2012v2-eenheden binnen het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

13,5% van het beheersgebied van het waterschap wordt ingenomen door water en bebouwing, het resterende deel bestaat voor 2,2% uit veengronden, 1,8% uit moerige gronden, 15,3% uit zandgronden, 68,6% uit kleigronden en 0,4 % uit keileemgronden. De grootste eenheid met 31,8% is eenheid 421, lichte klei homogeen profiel (marien).

Figuur 9 geeft de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, versie 2014, weer. Tabel 2 geeft de arealen per bodemeenheid.

Tabel 1 BOFEK2012v2 –eenheden met bijbehorende oppervlak voor Waterschap Zuiderzeeland

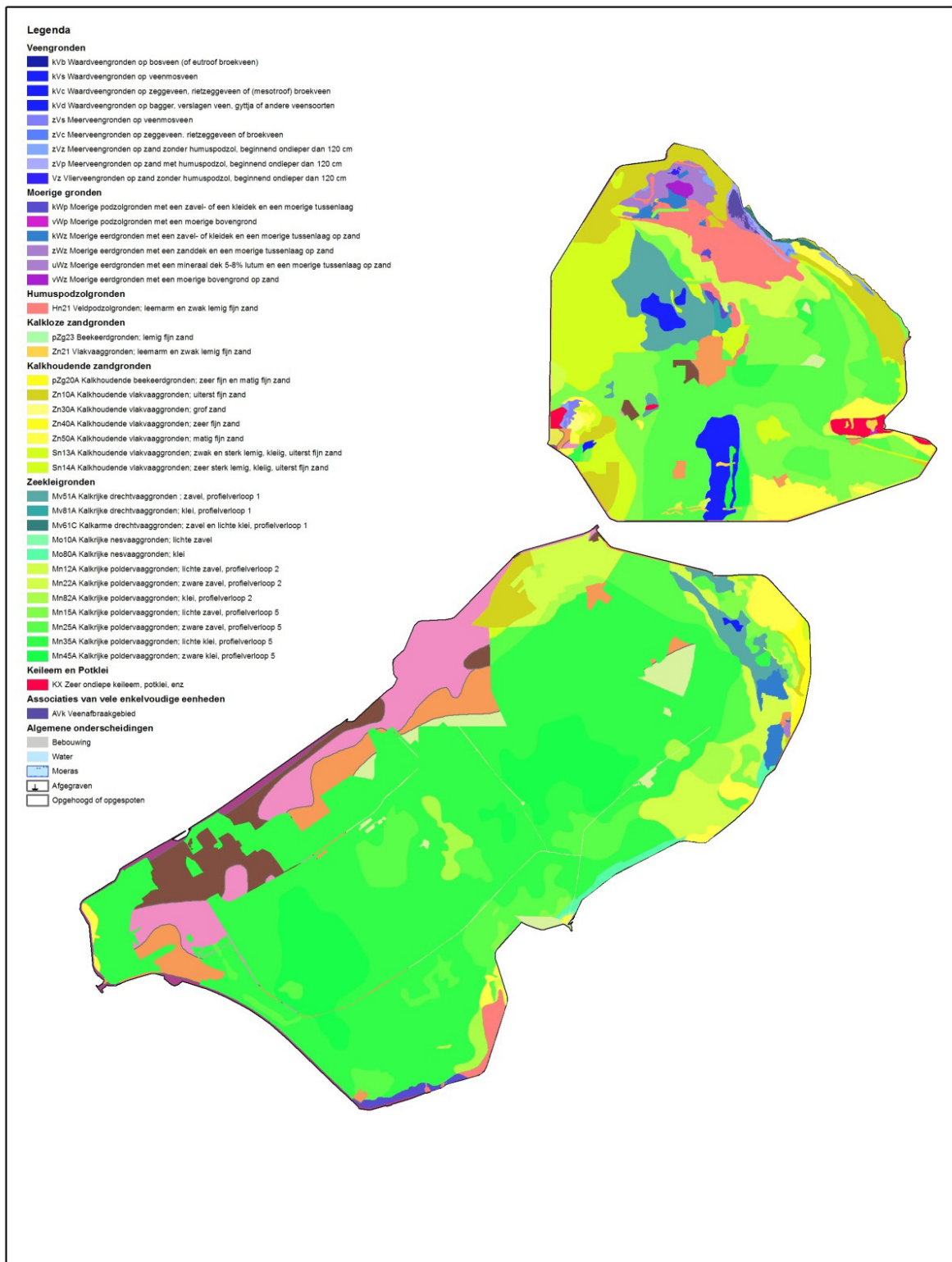
Bofek2012v2	Ha	%
101	1835.6	1.3%
102	643.4	0.4%
106	694.2	0.5%
108	14.3	0.0%
202	1235.0	0.8%
203	14.1	0.0%
205	1327.0	0.9%
302	76.6	0.1%
303	70.6	0.0%
304	1135.5	0.8%
307	1613.6	1.1%
323	8175.4	5.6%
324	3777.4	2.6%
325	5022.4	3.4%
326	91.5	0.1%
401	19.7	0.0%

402	4079.5	2.8%
403	131.1	0.1%
405	2000.5	1.4%
406	1892.8	1.3%
407	2459.2	1.7%
408	4702.3	3.2%
410	3187.9	2.2%
412	2395.3	1.6%
415	8421.5	5.8%
416	8360.8	5.7%
418	14405.7	9.8%
419	1843.2	1.3%
421	46597.1	31.8%
502	534.2	0.4%
Water	5809.9	4.0%
Bebouwing	13841.6	9.5%
Totaal	146408.8	100.0%

Tabel 2 Bodemeenheden met bijbehorende oppervlak voor Waterschap Zuiderzeeland

Row Labels	Ha	%
b AFGRAV	17.0	0.0%
c OPHOOG	1246.3	0.9%
g MOERAS	2932.8	2.0%
g WATER	2879.6	2.0%
h BEBOUW	11099.4	7.6%
h DIJK	1478.9	1.0%
AVk	179.6	0.1%
Hn21	3433.5	2.3%
kVc	1377.0	0.9%
kVd	458.6	0.3%
kWp	421.0	0.3%
kWz	856.3	0.6%
KX	511.3	0.3%
Mn12A	4702.3	3.2%
Mn15A	10253.6	7.0%
Mn22A	3187.9	2.2%
Mn25A	18708.1	12.8%
Mn35A	48058.1	32.8%
Mn45A	8421.5	5.8%
Mn82A	2395.3	1.6%
Mo10A	19.7	0.0%
Mo80A	539.5	0.4%

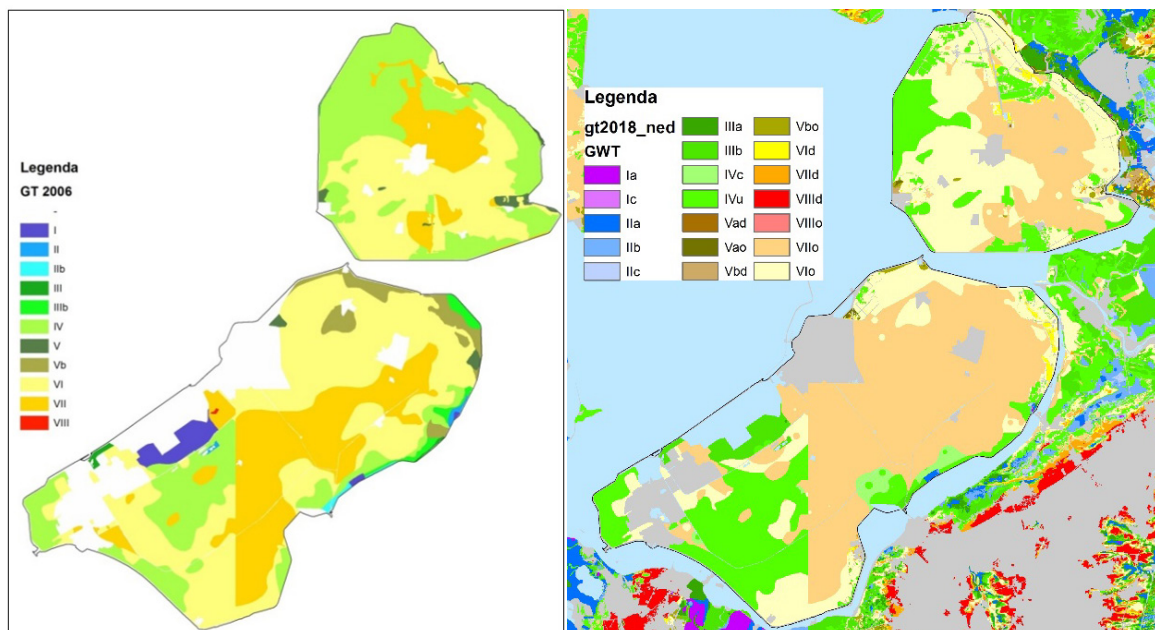
Mv51A	3911.3	2.7%
Mv61C	131.1	0.1%
Mv81A	168.2	0.1%
pZn23	44.1	0.0%
Sn13A	5952.3	4.1%
Sn14A	1339.8	0.9%
uWz	450.9	0.3%
vWp	14.3	0.0%
vWz	142.0	0.1%
Vz	21.7	0.0%
Zn10A	5052.4	3.5%
Zn21	170.0	0.1%
Zn30A	91.5	0.1%
Zn40A	523.5	0.4%
Zn50A	4165.2	2.8%
zVc	18.9	0.0%
zVp	129.7	0.1%
zVs	127.8	0.1%
zVz	240.1	0.2%
zWz	536.6	0.4%
Totaal	146408.8	100.0%



Figuur 9 Bodemeenheden volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, versie 2014, voor het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

Het grootste areaal wordt ingenomen door bodemeenheden Mn35A, met een aandeel van 32,8%, gevolgd door Mn25A met 12,8%. Dit betreft kalkrijke poldervaaggronden, bestaande uit lichte klei (Mn35A) of zware zavel (Mn25A) met profielverloop 5.

De grondwatertrappen volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, uit 2006 en de geactualiseerde kaart van 2018 (Knotters *et al.*, 2018; op basis van Hoogland *et al.*, 2014) staan weergegeven in Figuur 10 en het bijbehorende areaal volgens bodemkaart uit 2006 in Tabel 3.



Figuur 10 Grondwatertrappen volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, versie 2006 (links) en volgens de actualisatie door Knotters et al. (2018) op basis van inventarisatie door Hoogland et al. (2014) voor het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

In Figuur 10 is een duidelijke kaartbladgrens herkenbaar, als gevolg van verschillen in opnameperiode tussen kaartbladen. Dit artefact zal bij de Gd-kartering komen te vervallen.

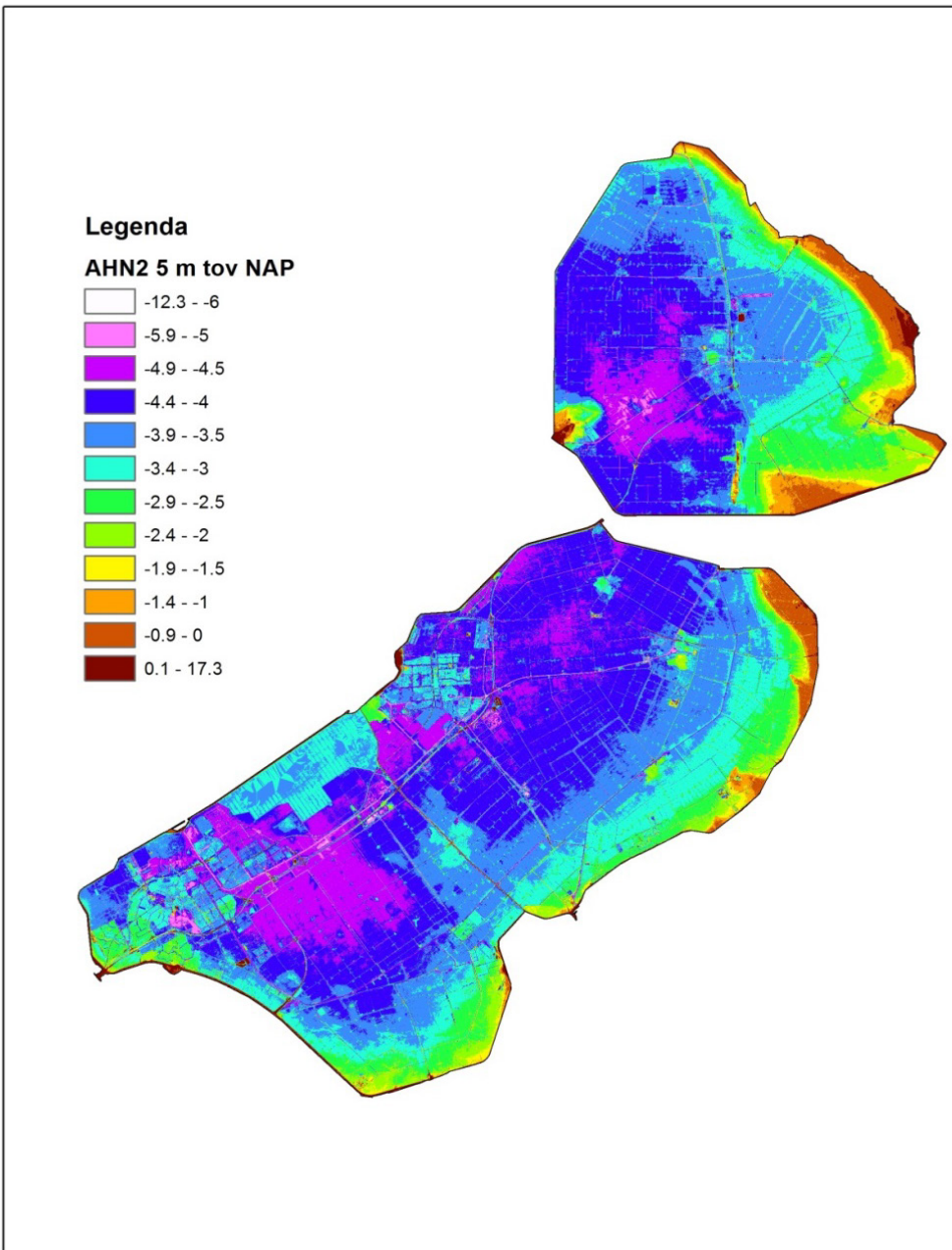
Tabel 3 Grondwatertrappen met bijbehorende oppervlak volgens grondwatertrappenkaart 2006 voor Waterschap Zuiderzeeland

Grondwatertrap	Ha	%
-	19651.44	13.4%
I	2122.314	1.4%
II	229.8498	0.2%
IIb	273.4369	0.2%
III	315.3787	0.2%
IIIb	1108.891	0.8%
IV	32699.08	22.3%
V	950.6104	0.6%
Vb	3449.818	2.4%
VI	55999.94	38.2%
VII	29580.87	20.2%
VIII	27.21623	0.0%
Totaal	146408.8	100.0%

Grondwatertrap VI komt het meeste voor, daarnaast beslaan GT IV en VII aanzienlijke oppervlakten.

3.3 Maaiveldhoogte

Figuur 11 geeft de maaiveldhoogte volgens het AHN2 weer.

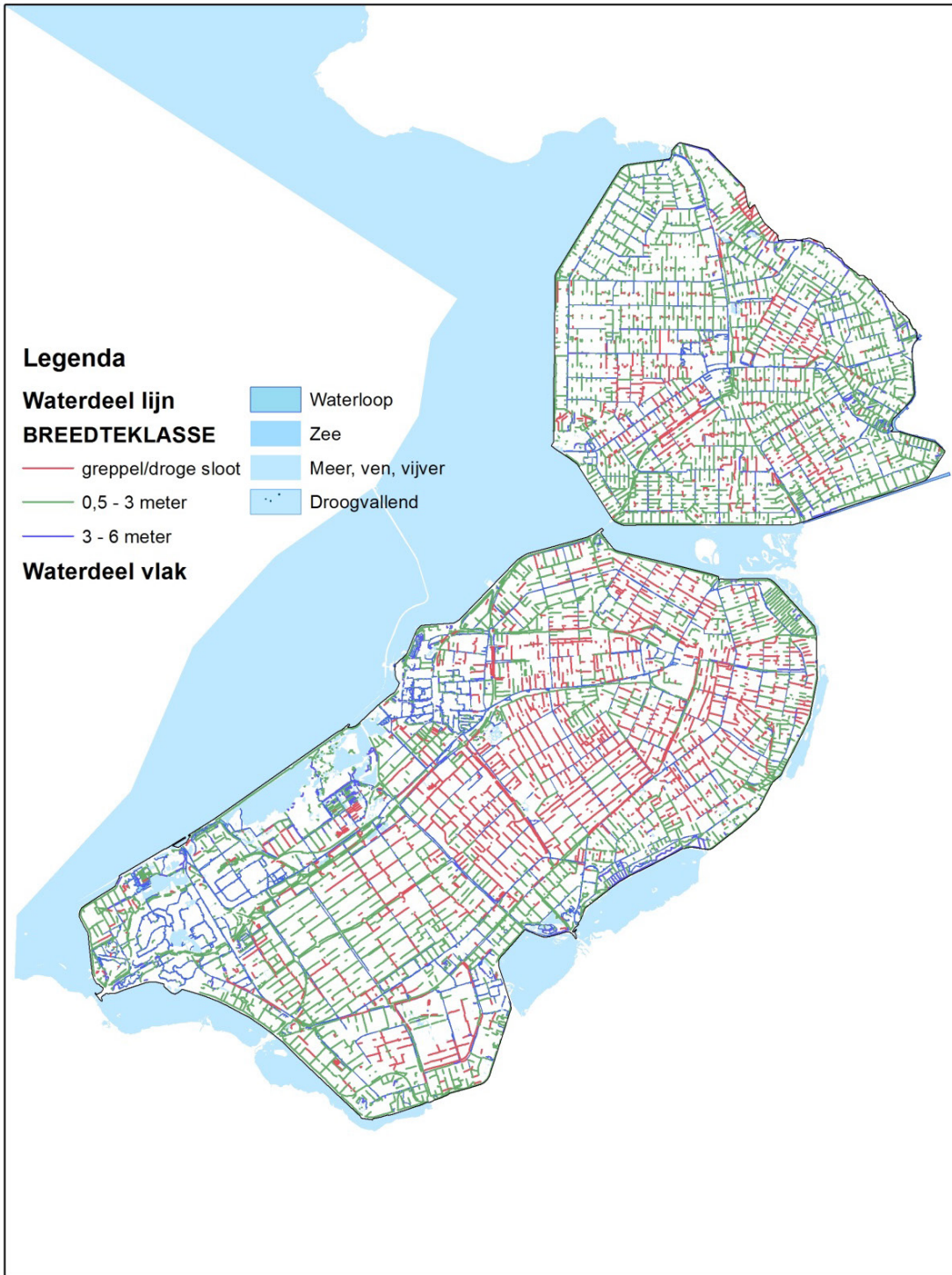


Figuur 11 Hoogte maaiveld volgens AHN2 in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

Langs de rand van de polder liggen nog enkele gebieden met een relatief hoog maaiveld, nabij NAP. De diepste delen liggen rond de 4,5-5,0 m-NAP.

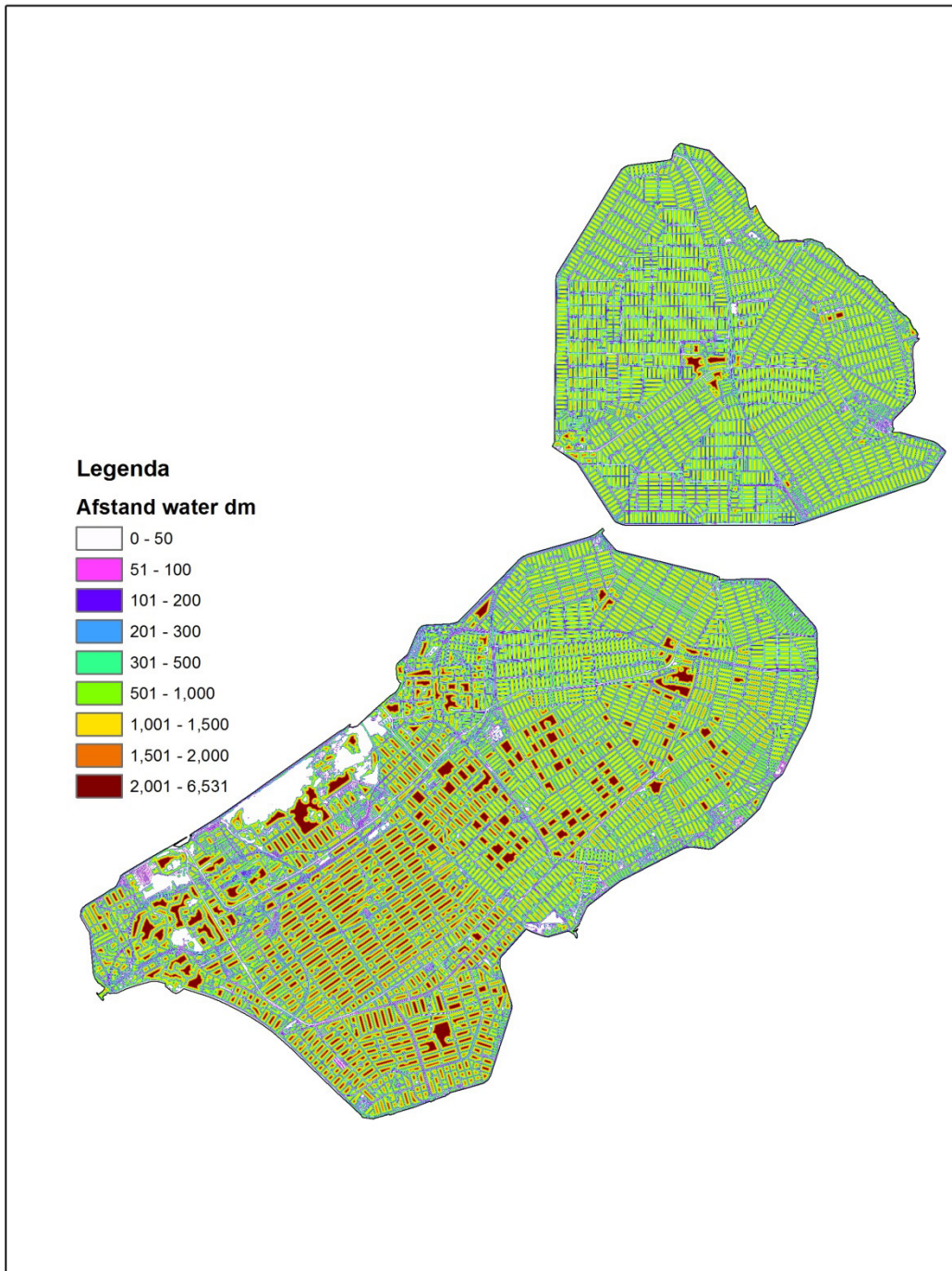
3.4 Oppervlaktewater

Bij de ontginning van de polders is voor de ont- en afwatering van het gebied een dicht net van waterlopen aangelegd, zie Figuur 12.



Figuur 12 Oppervlaktewater in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

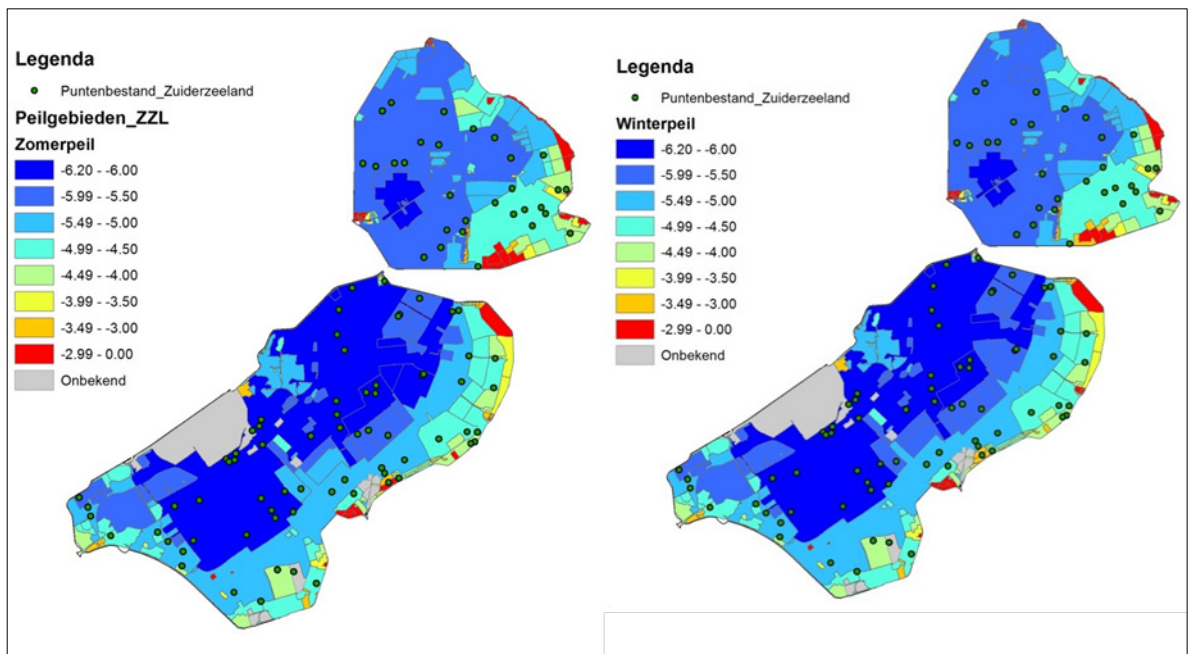
De afstand tot de sloot is van invloed op de relatie grondwater-oppervlaktewater. Figuur 13 geeft een afstandenkaart weer; elk gridje geeft de kortste afstand tot het nabijgelegen oppervlaktewater.



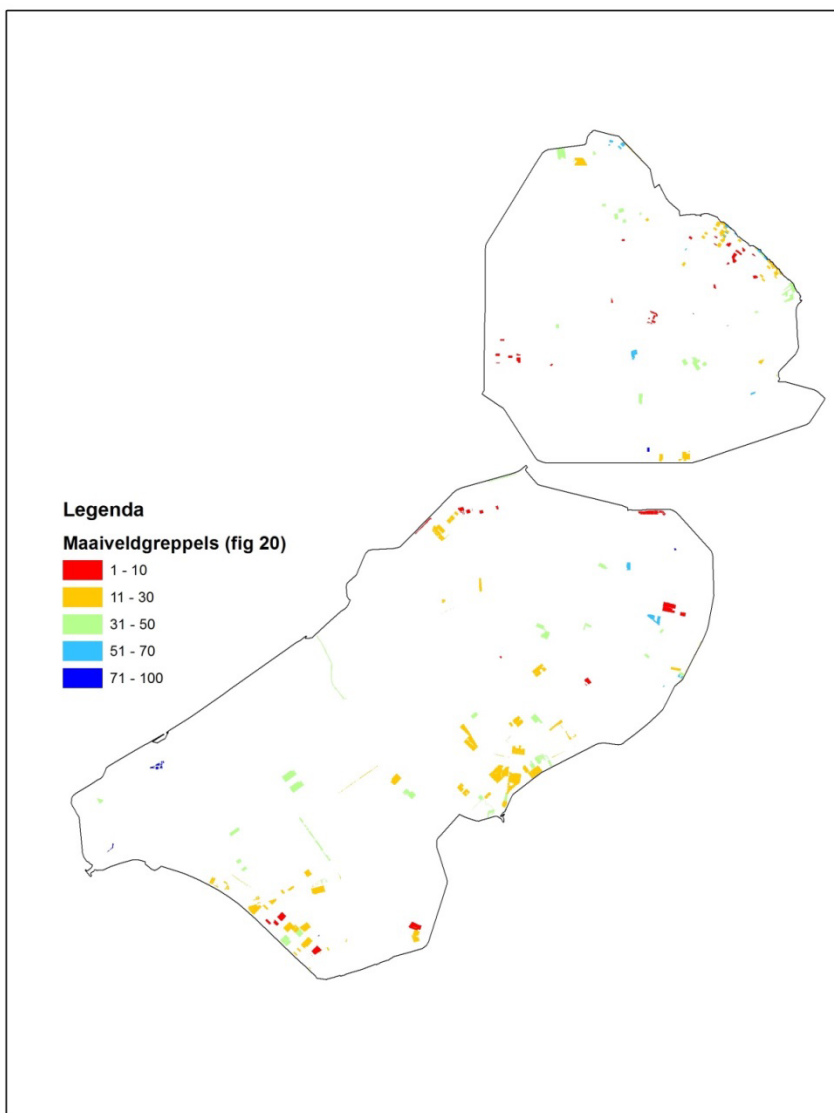
Figuur 13 Afstand tot oppervlaktewater in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland met detail linksboven.

Het beheersgebied van het waterschap is opgedeeld in polders. Het waterschap heeft een kaart met de huidige peilen aangeleverd. Het waterschap onderscheidt 289 waterstaatkundige eenheden. Voor 239 hiervan is een zomer- en winterpeil gegeven. Voor de resterende 50 eenheden is voor 32 gebieden het zomer- en winterpeil gelijkgesteld aan het streefpeil. Voor 13 gebieden ontbreekt informatie over het peil. Figuur 14 geeft de peilen weer.

Lokaal worden soms maaiveldgreppels toegepast. Deze greppels, die het maaiveld ontwateren, zijn ondieper dan 50 cm en staan niet op de kaart. Figuur 15 geeft percelen weer waar mogelijk maaiveldgreppels voorkomen. Het getal geeft het percentage weer, dit is een soort kans dat maaiveldgreppels voorkomen en is bepaald uit de verhouding tussen het areaal maaiveldgreppels en het totale bedrijfsareaal. Uit Figuur 15 blijkt dat er binnen het beheersgebied van het waterschap relatief weinig percelen met maaiveldgreppels voorkomen.

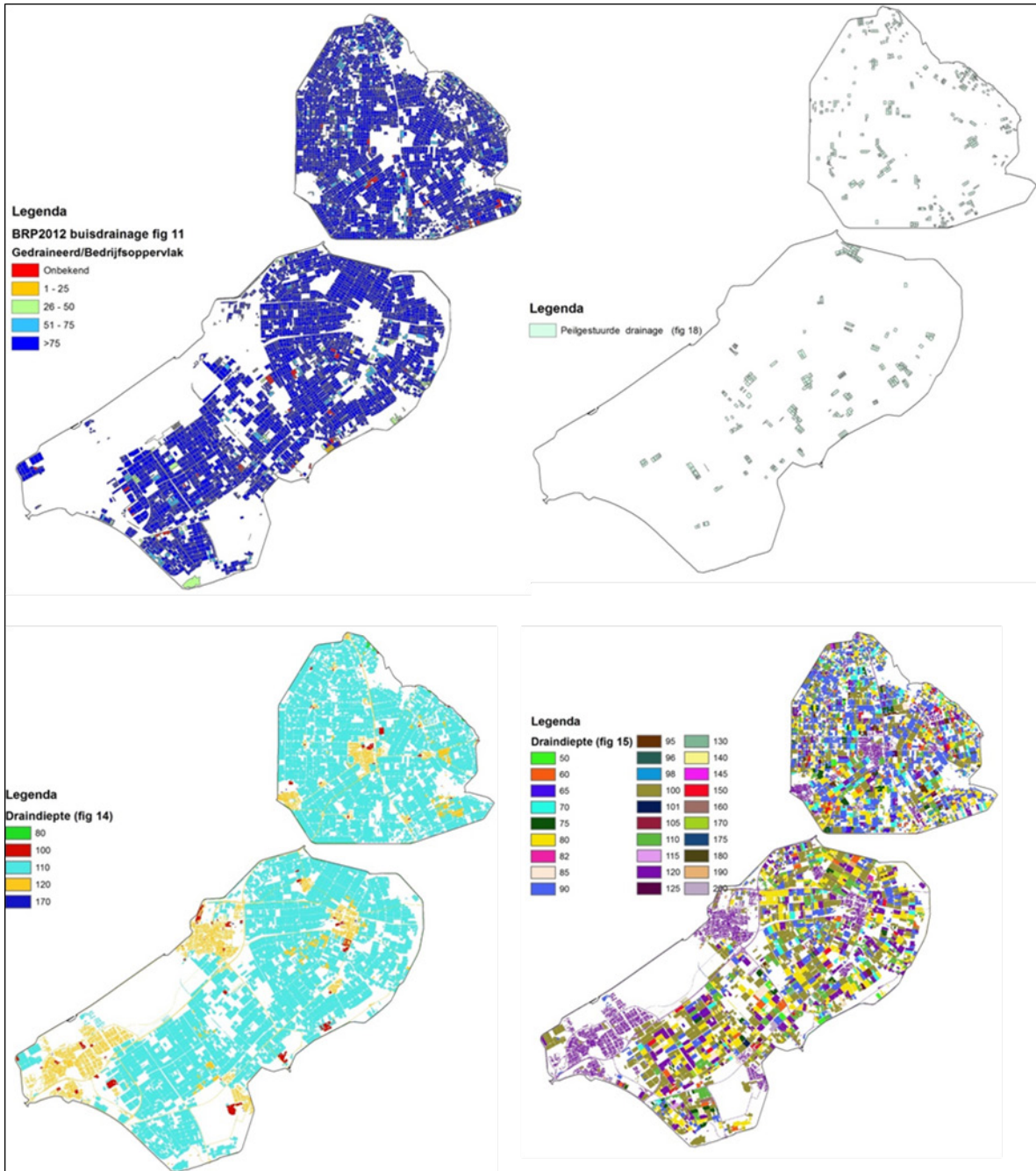


Figuur 14 Zomer- en winterpeil in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland



Figuur 15 Maaiveldgreppels in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

Voor de ontwatering van het gebied is een aanzienlijk areaal gedraineerd. Op basis van gegevens uit de metingen is een kaart gemaakt met het voorkomen van buisdrainage, alsmede is de diepte van de drains ingeschat (Figuur 16). De buisdrainagekaart is een kaart die aangeeft waar buisdrainage waarschijnlijk voorkomt. Op bedrijfsniveau is het areaal gedraineerd bekend evenals het bedrijfsareaal, vervolgens is op basis van enkele regels buisdrainage toegekend. Als de verhouding tussen areaal gedraineerd en bedrijfsareaal ongeveer 1 : 1 is, dan is de kans dat het perceel is gedraineerd groot. Is de verhouding kleiner dan één dan is de kans aanmerkelijk kleiner.

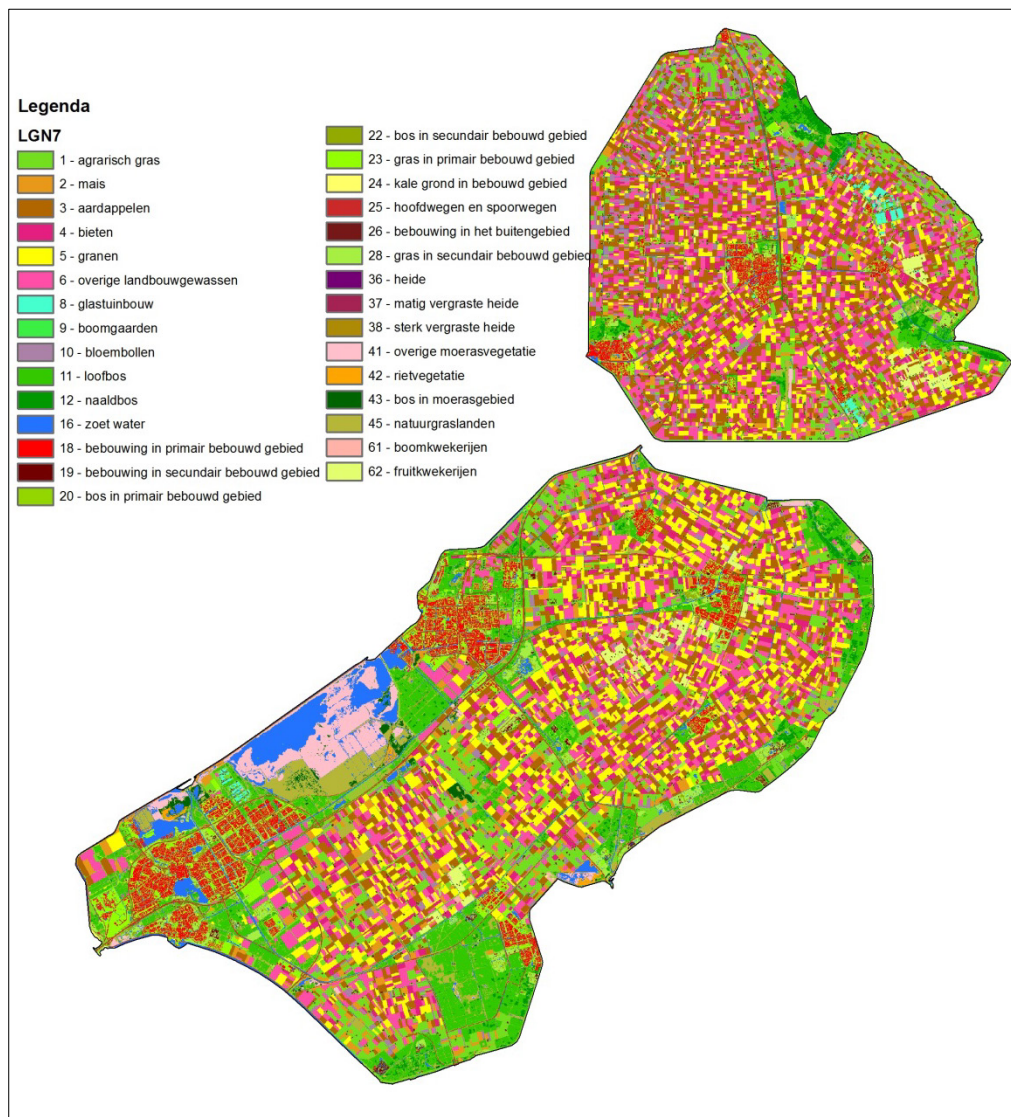


Figuur 16 Percelen met buisdrainage (linksboven), regelbare drainage (rechtsboven), draindiepte volgens vuistregels en draindiepte volgens opgave boeren aangevuld met vuistregels van Waterschap Zuiderzeeland

Uit Figuur 16, linksboven, blijkt dat op de bedrijven de percelen (bijna) volledig zijn gedraineerd. Ook wordt lokaal peilgestuurde drainage toegepast. Volgens het Cultuurtechnisch Vademecum (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1992) is de draindiepte 110 cm-mv (linksonder), volgens de opgave van de boeren is de variatie groter (rechtsonder).

3.5 Landgebruik

De meest voorkomende gewassen zijn gras, aardappelen, bieten, granen en overige gewassen; zie Figuur 17 en Tabel 4.



Figuur 17 Landgebruik volgens LGN7 binnen beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

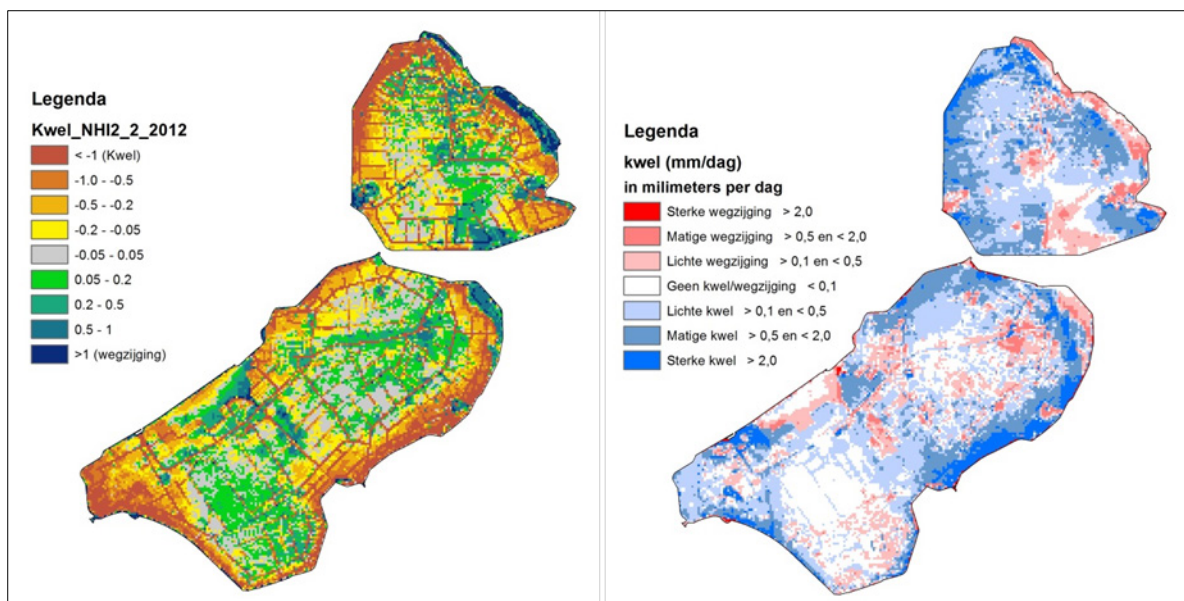
Tabel 4 Landgebruik volgens LGN7 met bijbehorende oppervlak voor Waterschap Zuiderzeeland

Value	Ha	
1 Agrarisch gras	16524.1	11.3%
2 Mais	4452.3	3.0%
3 Aardappelen	20043.4	13.7%
4 Bieten	9996.3	6.8%
5 Granen	17923.1	12.2%
6 Overige gewassen	21090.1	14.4%
8 Glastuinbouw	374.5	0.3%
9 Boomgaarden	1.8	0.0%
10 Bloembollen	4699.1	3.2%
11 Loofbos	12105.3	8.3%
12 Naaldbos	2715.9	1.9%

Value		Ha	
16	Zoet water	6249.6	4.3%
18	Bebouwing in primair bebouwd gebied	5292.3	3.6%
19	Bebouwing in secundair bebouwd gebied	322.8	0.2%
20	Bos in primair bebouwd gebied	368.9	0.3%
22	Bos in secundair bebouwd gebied	859.7	0.6%
23	Gras in primair bebouwd gebied	4983.3	3.4%
24	Kale grond in bebouwd gebied	24.1	0.0%
25	Hoofdwegen en spoorwegen	2747.3	1.9%
26	Bebouwing in het buitengebied	1650.1	1.1%
28	Gras in secundair bebouwd gebied	2864.3	2.0%
35	Open stuifzand en/of rivierzand	3.2	0.0%
36	Heide	13.1	0.0%
37	Matig vergraste heide	0.2	0.0%
38	Sterk vergraste heide	0.2	0.0%
41	Overige moerasvegetatie	2829.4	1.9%
42	Rietvegetatie	441.2	0.3%
43	Bos in moerasgebied	561.4	0.4%
45	Natuurgraslanden	5309.6	3.6%
61	Boomkwekerijen	481.4	0.3%
62	Fruittkwekerijen	1479.7	1.0%
Totaal		146 407.4	100.0%

3.6 Kwel

De kwel beïnvloedt het grondwaterstandsverloop. In Figuur 18 zijn twee kwelkaarten weergegeven. De kwelkaart volgens het NHI (Snepvangers *et al.*, 2008), dit is een relatief grove kaart met gridgrootte van 250 m en de kwelkaart volgens Azure (De Lange en Borren, 2014) met een gridgrootte van 25 m. De sterkste kwel wordt berekend voor de randen van de polder.



Figuur 18 Kwel volgens NHI (links) en volgens Azure (rechts) in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

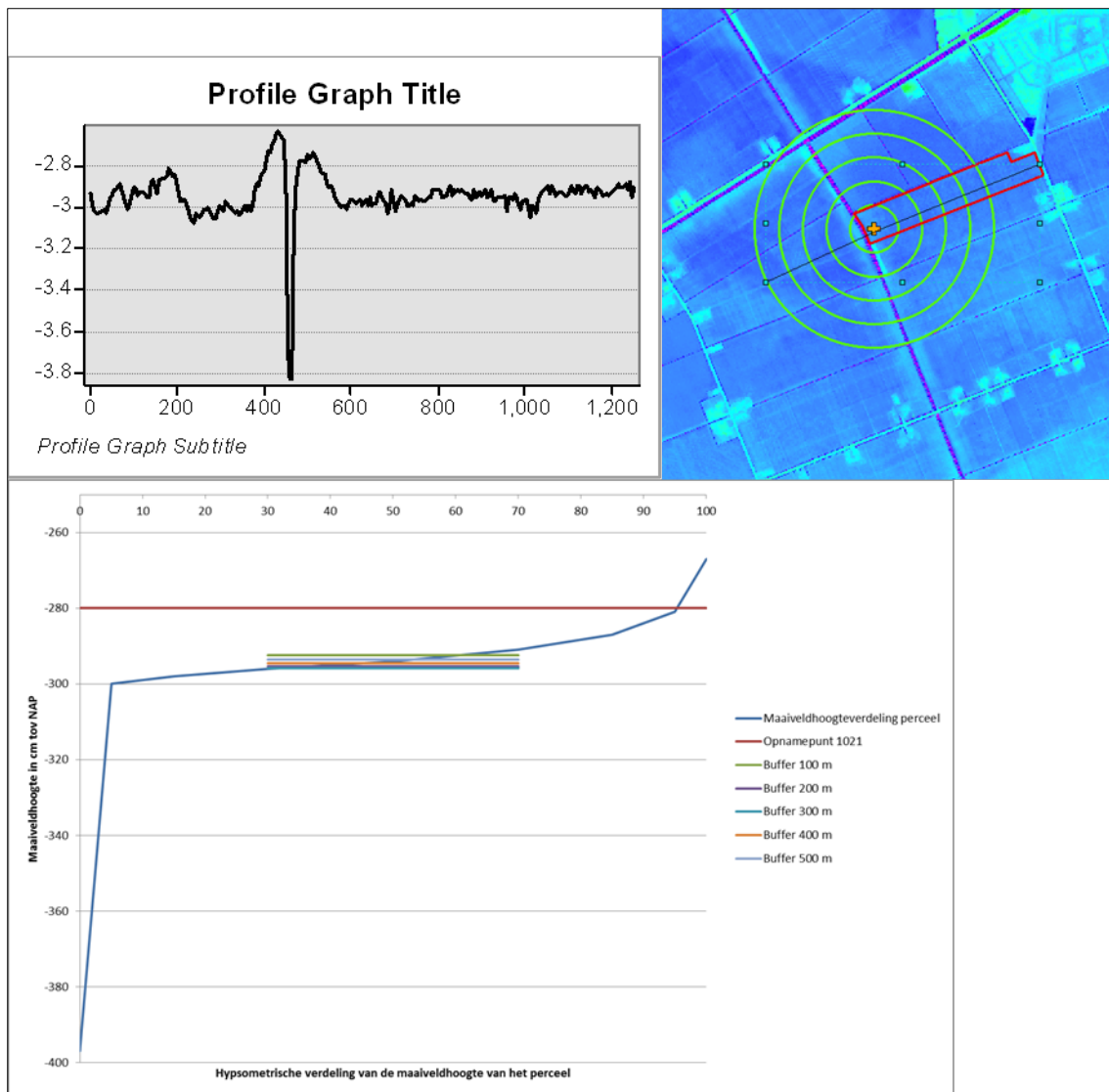
3.7 Relatieve maaiveldhoogte

De relatieve maaiveldhoogte geeft informatie over de hoogte van het opnamepunt ten opzichte van de omgeving. De relatieve maaiveldhoogte is op twee manieren geanalyseerd, namelijk:

- voor het perceel waarin het opname punt ligt en
- voor buffers rondom het opnamepunten met een straal van 100, 200,500 m.

Voor de meeste landbouwpercelen, dus niet voor natuur etc., is de hoogteverdeling vastgelegd door de volgende hoogten te bepalen: minimum, 5-, 15-, 30-, 50-, 70-, 85-, 95-percentiel en maximale maaiveldhoogte (Massop *et al.*, 2014). Hiervoor is het Actueel Hoogtebestand Nederland, AHN2 met een gridgrootte van 0,5 m, gebruikt.

Voor de buffers met verschillende stralen rond het opnamepunt is de gemiddelde maaiveldhoogte bepaald binnen de buffer op basis van AHN2. Figuur 19 geeft als voorbeeld de maaiveldhoogtegegevens in relatie tot een punt weer.



Figuur 19 Maaiveldhoogteverdeling voor perceel, opnamepunt en gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffers met verschillende straal. Linksboven: dwarsprofiel van maaiveldshoogte. Rechtsboven: + geeft het opnamepunt aan, de zwarte lijn geeft de ligging van het dwarsprofiel aan, de groene cirkels de buffers waarvoor gemiddelde maaiveldhoogtes zijn berekend. Onder: de blauwe lijn geeft de cumulatieve frequentieverdeling van maaiveldhoogten in het perceel, de rode lijn geeft de maaiveldhoogte van het opnamepunt en de overige lijnen geven de gemiddelde maaiveldhoogtes in buffers met verschillende straal.

De maaiveldhoogte van het opnamepunt ligt aan de rand van het perceel, op een relatief hoge plek nabij een watergang. De buffers hebben betrekking op delen van meerdere percelen, onderling gescheiden door watergangen.

3.8 Puntenbestand

Er is een puntenbestand beschikbaar met opnames van de GHG en de GLG (Figuur 20). De kenmerken uit de verschillende kaarten zijn gekoppeld aan het puntenbestand. Aan het oorspronkelijke puntenbestand zijn een aantal kolommen toegevoegd met aanvullende kaartinformatie (Tabel 5).



Figuur 20 Puntenbestand met opnamen van de GHG en GLG in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland

Tabel 5 Omschrijving van de kolommen in het puntenbestand

F1	13	Originele tabel
LOCATIECOD	1-feb	
KEUZE	1021	
X	188897	X-coördinaat
Y	518767	Y-coördinaat
DATUM	12-3-2013	
MEETMOMENT	GHG	
GWS	80	
CENSORED	0	
P50	50.77908	
Uniek	0	Code voor punt, gebruikt om gegevens te koppelen
Water_afst	42.7	Afstand tot nabijgelegen oppervlaktewater in m
AHN2_m_NAP	-2.8	Hoogte maaiveld in m. t.o.v. NAP
Dik_Dekl_m	2.25	Dikte Holocene deklaag in m.
ZP_m_NAP	-4.5	Zomerpeil in m t.o.v. NAP
WP_m_NAP	-4.5	Winterpeil in m t.o.v. NAP
Dr_ZP_m	1.7	Drooglegging bij zomerpeil in m.
Dr_WP_m	1.7	Drooglegging bij winterpeil in m.
Buisdraina	1	Buisdrainage (ja =1, nee = 0)
14Drdepth_	1.2	Draindiepte in m-mv (fig. 14 Rapport buisdrainage)
15Drdepth_	0.8	Draindiepte in m-mv (fig. 15 Rapport buisdrainage)
Mvgrep_per	0	Maaiveldgreppels (kans in Procenten)
BOFEK2012v	416	Bofek2012v2-code
PAWN	15	PAWN-code
Bodemcode2	Mn15A	Kolom Bodemcode bodemkaart 2014
Bodem2014	Mn15A	Kolom Bodem1 bodemkaart 2014
GWT_2006	VI	Grondwatertrap Kolom GWT bodemkaart 2006
EersteGT_2	VI	Grondwatertrap Kolom Eerste_GWT bodemkaart 2006
Gt2017	VIo	Grondwatertrappenkaart 2017
Hydrotype	Westland-DH-profiel	Hydrotype
Omschrijvi	62 - Fruitwekerijen	Omschrijving landgebruik volgens LGN7
Code_LGN7	62	Code LGN7
NHI_kwel	-3.296	Kwel volgens NHI2.2 2012 250 m-grid kwel is negatief en wegzijging is positief
Azure_kwel	0.95	Kwel volgens Azure 25 m-grid kwel is positief en wegzijging is negatief
Zmin_cm_NA	-397	laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P5_cm_NAP	-300	5% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P15_cm_NAP	-298	15% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P30_cm_NAP	-296	30% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P50_cm_NAP	-294	50% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P70_cm_NAP	-291	70% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P85_cm_NAP	-287	85% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
P95_cm_NAP	-281	95% Laagste maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
Zmax_cm_NA	-267	Maximale maaiveldhoogte van per perceel waarin opnamepunt ligt
Buff100m	-2.92338	Gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffer 100 m rondom opnamepunt
Buff200m	-2.95428	Gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffer 200 m rondom opnamepunt
Buff300m	-2.95924	Gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffer 300 m rondom opnamepunt
Buff400m	-2.94476	Gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffer 400 m rondom opnamepunt

Buff500m	-2.93509	Gemiddelde maaiveldhoogte binnen buffer 500 m rondom opnamepunt
----------	----------	---

4 Analyse samenhang G×G met hulpinformatie

4.1 Samenhang G×G met continue hulpvariabelen

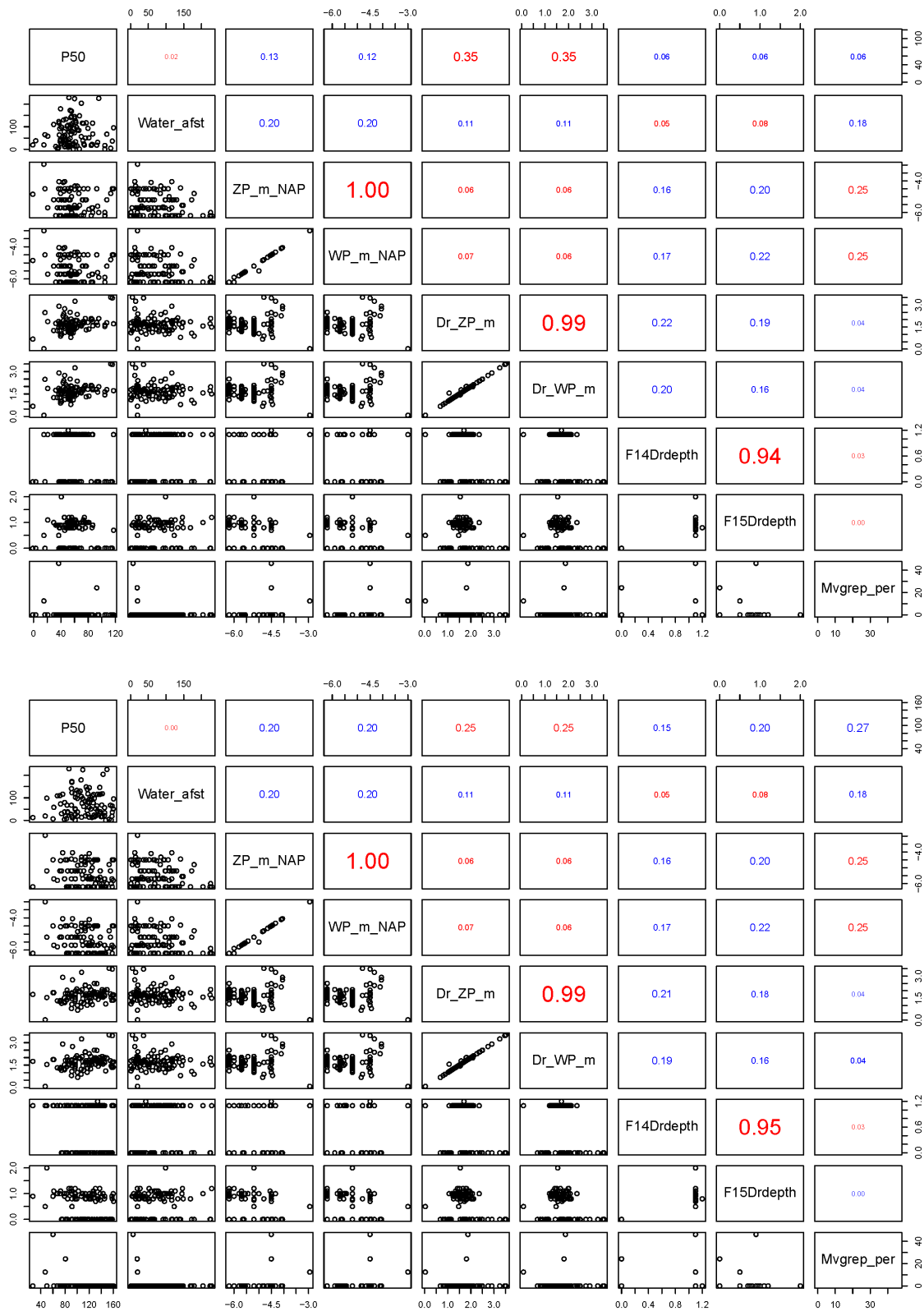
Om een eerste inzicht te krijgen in de aard en sterkte van de samenhang van de G×G met continue hulpvariabelen zijn *scatterplots* gemaakt. De G×G's zijn met stambuisregressie geschat op 100 gerichte-opnamelocaties in 2013 (Hoogland *et al.*, 2014). Figuur 21 laat de verspreiding van deze locaties zien.

Door *scatterplots* paarsgewijs in een matrix af te drukken ontstaat snel inzicht in de samenhang tussen de doelvariabele en de hulpvariabelen en tussen de hulpvariabelen onderling. De *scatterplots* zijn paarsgewijs afgedrukt in Figuur 21, Figuur 22 en Figuur 23 voor hulpvariabelen die zijn gerelateerd aan respectievelijk ontwatering, hoogteligging en geohydrologie. In het gedeelte boven de diagonaal staan de correlatiecoëfficiënten die corresponderen met de *scatterplots* in het gedeelte onder de diagonaal.

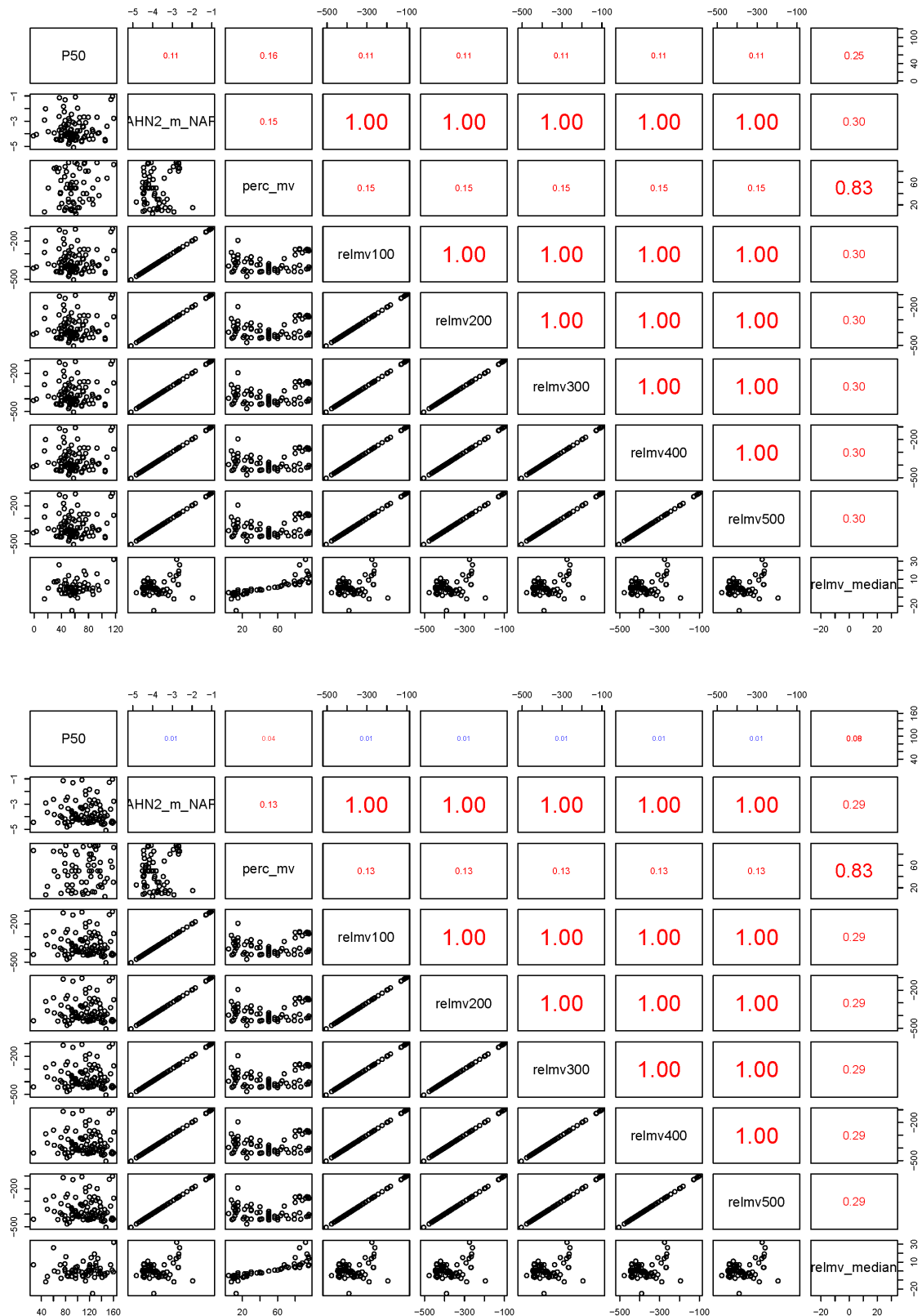
Uit de *scatterplots* in de eerste kolom van de matrices in Figuur 21 komen geen sterke lineaire verbanden naar voren tussen G×G en continue hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan ontwatering. Wel blijkt uit de correlatiecoëfficiënten in de eerste rij van de matrices in Figuur 21 dat er enig verband is tussen G×G en drooglegging bij zomer- en winterpeil ($R=0.35$, $R=0.25$, voor resp. GHG en GLG). Uit de *scatterplots* blijkt dat zomer- en winterpeil kunnen worden beschouwd als kwalitatieve variabelen, omdat het beperkte aantal niveaus in m ten opzichte van NAP feitelijk de peilvakken representeren.

Noch uit de *scatterplots* in de eerste kolom van de matrices in Figuur 22, noch uit de correlatiecoëfficiënten in de eerste rij van deze matrices, blijken sterke lineaire verbanden tussen G×G en continue hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan hoogteligging. Uiteraard is er een sterke correlatie tussen de relatieve maaiveldhoogtes die zijn berekend bij verschillende zoekstralen. Ook het percentiel van de maaiveldhoogten binnen de verdeling van het perceel en de maaiveldhoogte, relatief ten opzichte van de mediane maaiveldhoogte van het perceel, zijn sterk gecorreleerd.

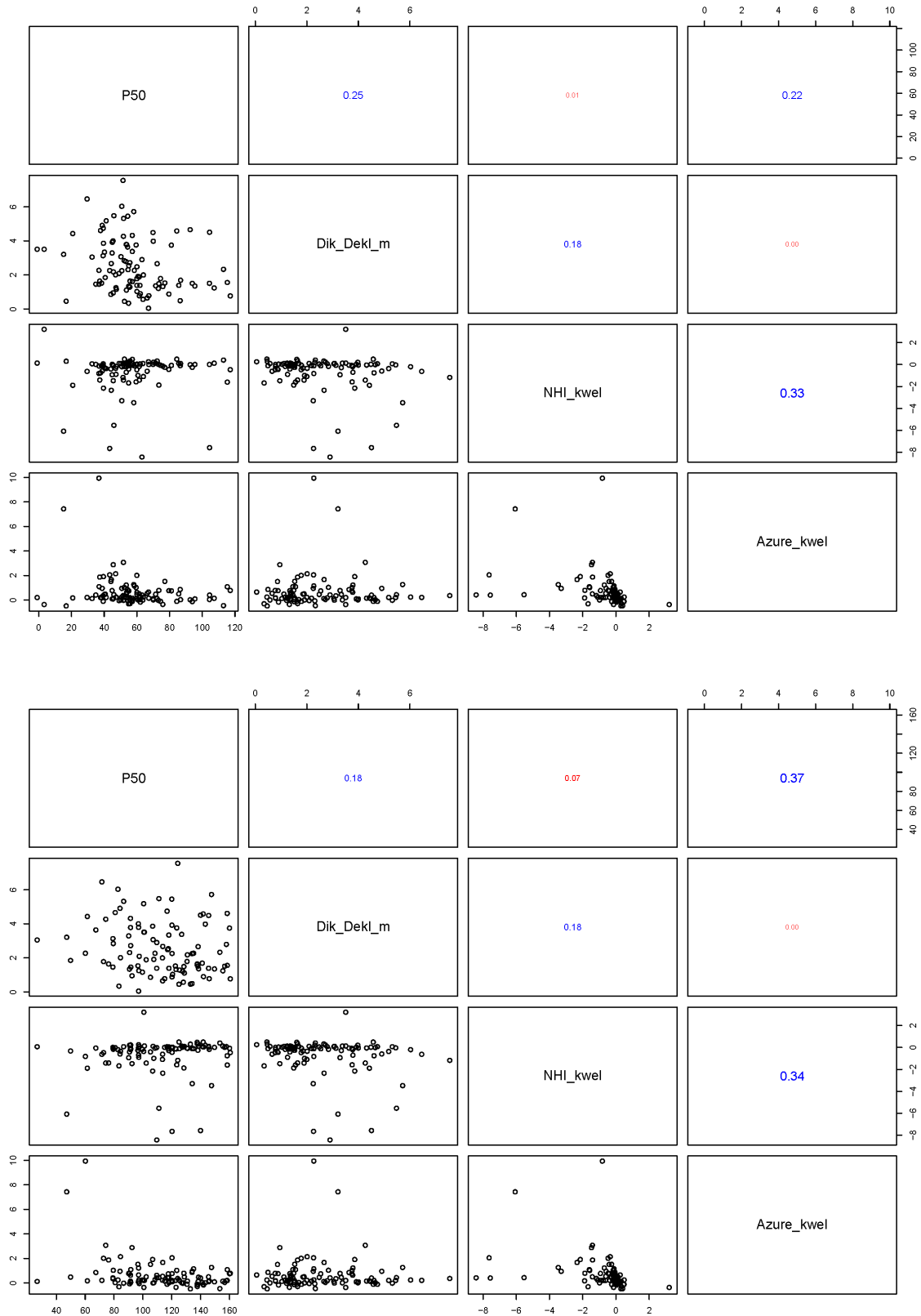
In de *scatterplots* in de eerste kolom van de matrices in Figuur 23 komen geen sterke lineaire verbanden naar voren tussen G×G en continue hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan geohydrologie. Een correlatiecoëfficiënt $R=0.37$ duidt op enig verband tussen GLG en de kwel die is berekend met het model Azure.



Figuur 21 Pairwise scatterplots (onder diagonaal) en correlatiecoëfficiënten (boven diagonaal) voor de G×G en hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan ontwatering. Boven: GHG, onder: GLG. P50 is respectievelijk de GHG en de GLG (cm). Water_afst: afstand tot waterloop (m); ZP_m_NAP: zomerpeil in m t.o.v. NAP; WP_m_NAP: winterpeil in m t.o.v. NAP; Dr_ZP_m: drooglegging t.o.v. zomerpeil (m); Dr_WP_m: drooglegging t.o.v. winterpeil (m); F14Drdepth: diepte drains (m) volgens vuistregels; F15Drdepth: diepte drains (m) volgens opgave boeren aangevuld met vuistregels; Mvgrep_per: areaal begreppelde percelen als percentage van het bedrijfsareaal.



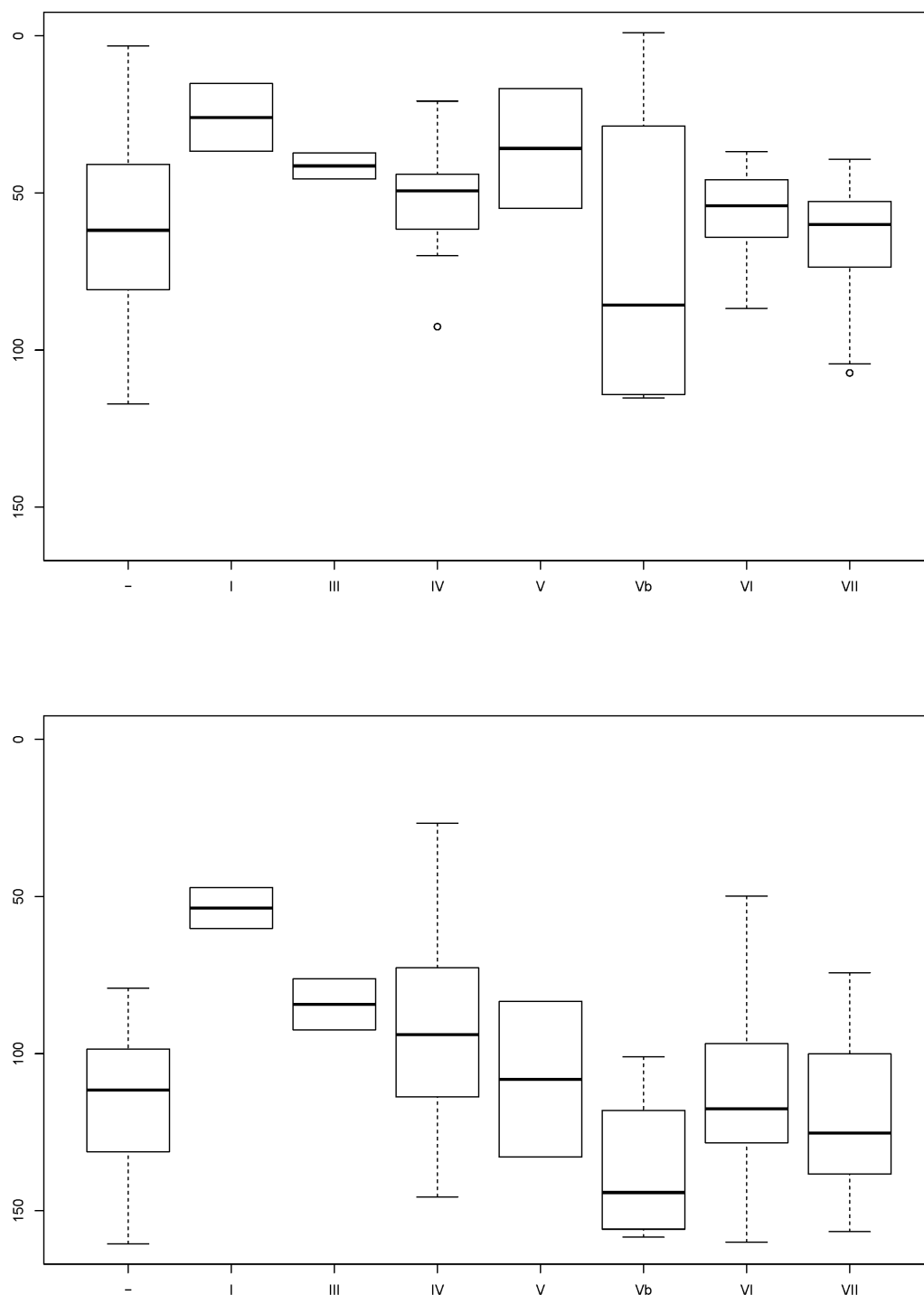
Figuur 22 Pairwise scatterplots (onder diagonaal) en correlatiecoëfficiënten (boven diagonaal) voor de G×G en hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan hoogteligging. Boven: GHG, onder: GLG. P50 is respectievelijk de GHG en de GLG (cm). AHN2_m_NAP: maaiveldshoogte volgens AHN in m t.o.v. NAP; perc_mv: het percentiel van de maaiveldshoogte in de verdeling van maaiveldshoogten in het perceel (laag: een relatief laag deel van het perceel; hoog: een relatief hoog deel van het perceel); relmv100-500: maaiveldshoogte t.o.v. het gemiddelde in een straal van 100 t/m 500 m (cm); relmv_median: maaiveldshoogte t.o.v. de mediane maaiveldshoogte van het perceel.



Figuur 23 Pairwise scatterplots voor de $G \times G$ en hulpvariabelen die gerelateerd zijn aan geohydrologie. Boven: GHG, onder: GLG. P50 is respectievelijk de GHG en de GLG (cm). Dik_Dekl_m: dikte deklaag in m; NHI_kwel: kwel volgens het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (mm/d); Azure_kwel: kwel volgens het model Azure (mm/d).

4.2 Samenhang G×G met discrete hulpvariabelen

De samenhang tussen G×G en discrete hulpvariabelen, zoals nominale en ordinale variabelen, is verkend door middel van *boxplots*. Figuur 24 geeft *boxplots* van de verdeling van G×G's over de Gt-classes op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 (GWT_2006 in tabel 5).

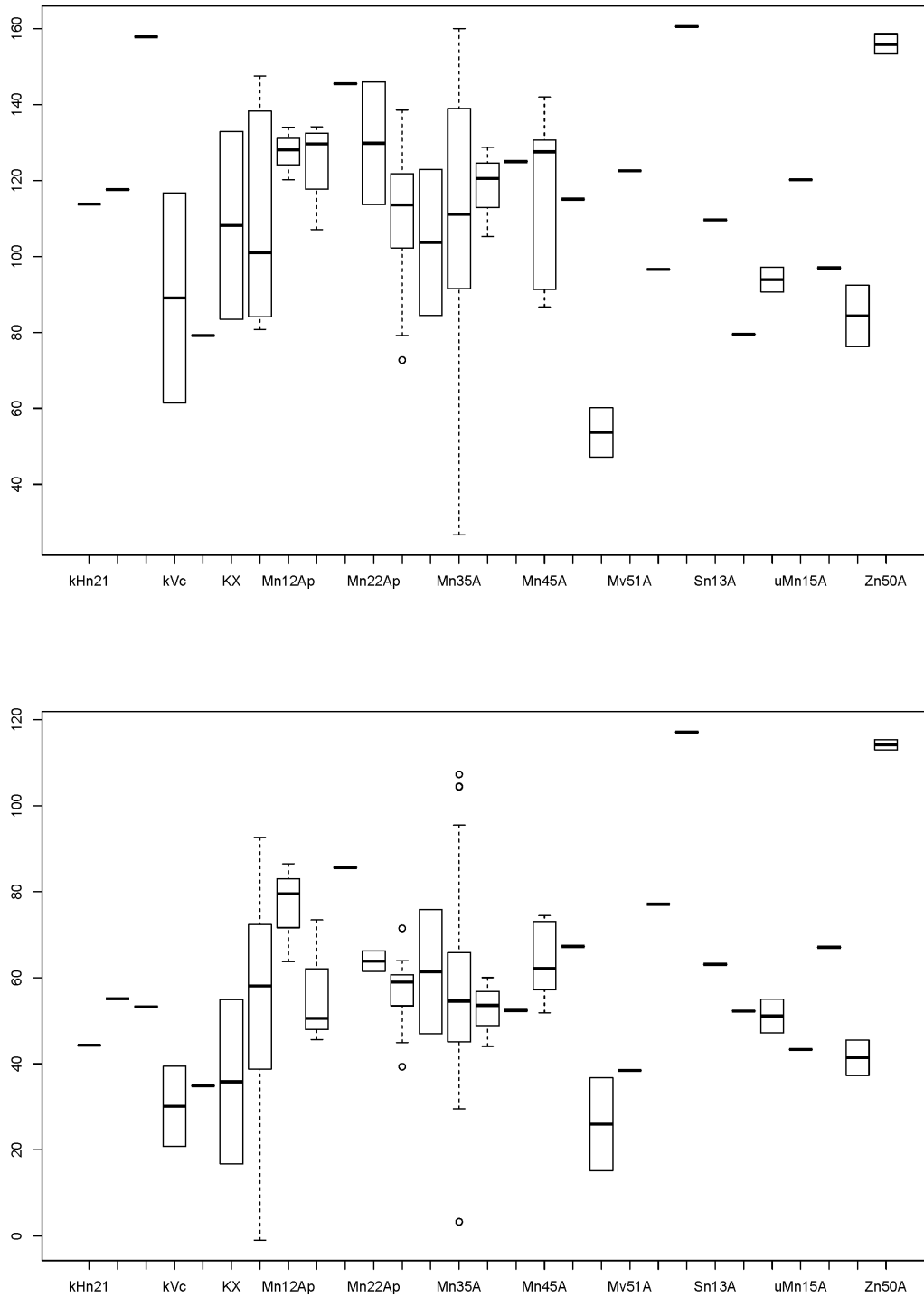


Figuur 24 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over de Gt-classes volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (GWT_2006 in tabel 5).

Uit Figuur 24 blijkt dat Gt I de ondiepste G×G's bevat en dat deze relatief weinig variëren. Ook binnen Gt III is de variatie in G×G's relatief gering. Opmerkelijk is de relatief grote spreiding in GLG's in Gt IV, tot buiten de klassegrenzen die voor deze Gt gelden. De spreiding van G×G's binnen Gt V laat zien dat binnen deze kaartenheid vooral Gt III voorkomt. De grote spreiding van G×G's binnen Gt Vb

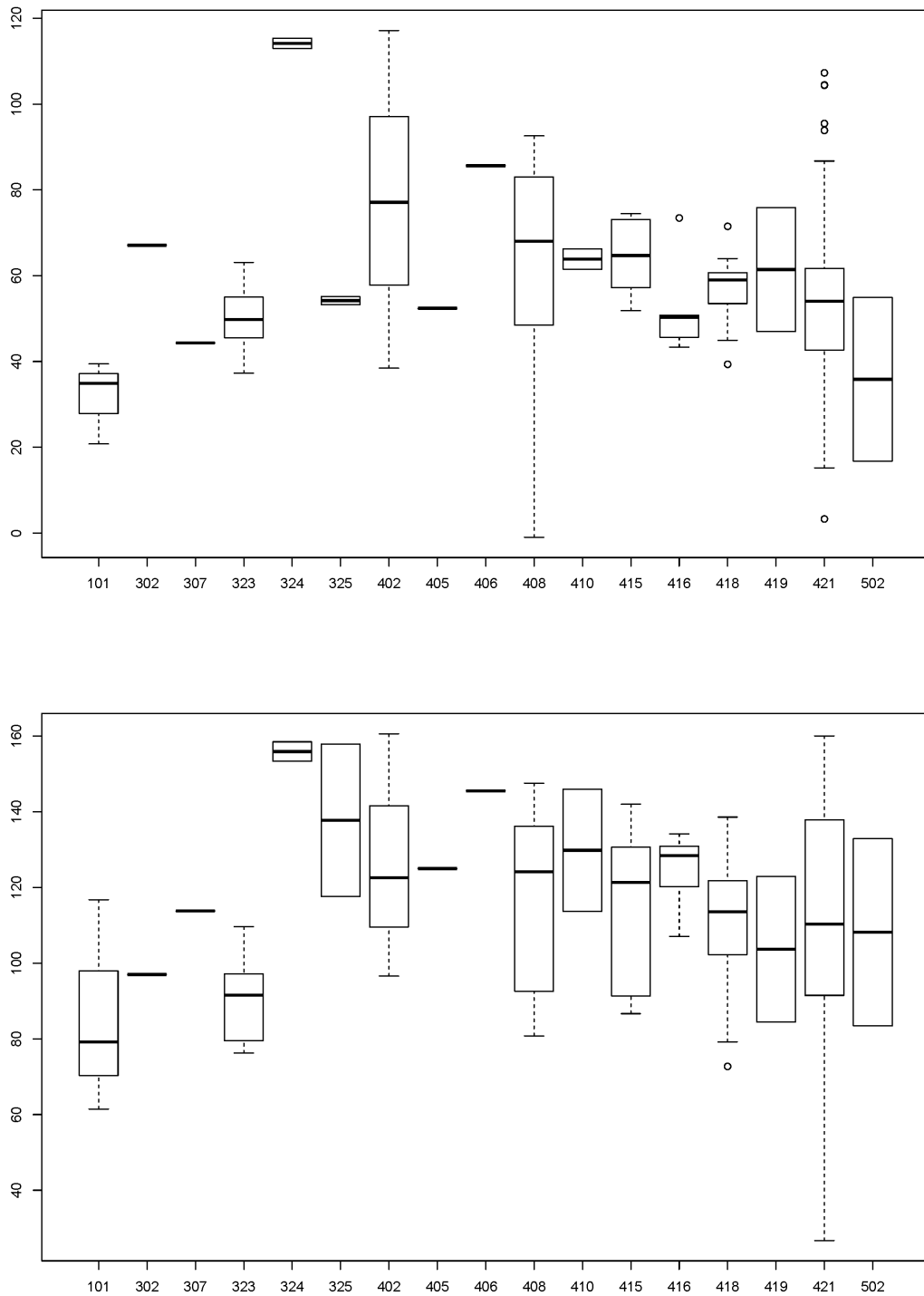
laat zien dat een groot deel van deze kaarteenheid bestaat uit Gt VI en Gt VII. Opmerkelijk is dat uit de verdeling van G×G's over Gt VI en VII blijkt dat deze kaarteenheden voor een groot deel uit Gt IV bestaan.

Figuur 25 geeft de spreiding weer van de G×G's over de bodemeenheden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (Bodemcode2 in Tabel 5). Uit Figuur 25 blijkt dat het aantal bodemeenheden groot is en een aantal maar weinig gerichte-opnamelocaties bevatten waar een schatting voor beschikbaar is van de G×G. In de grootste eenheden is de spreiding vooral in GLG's groot en is geen duidelijk verband te zien tussen G×G en bodemeenheid.



Figuur 25 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over de bodemeenheden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (Bodemcode2 in tabel 5).

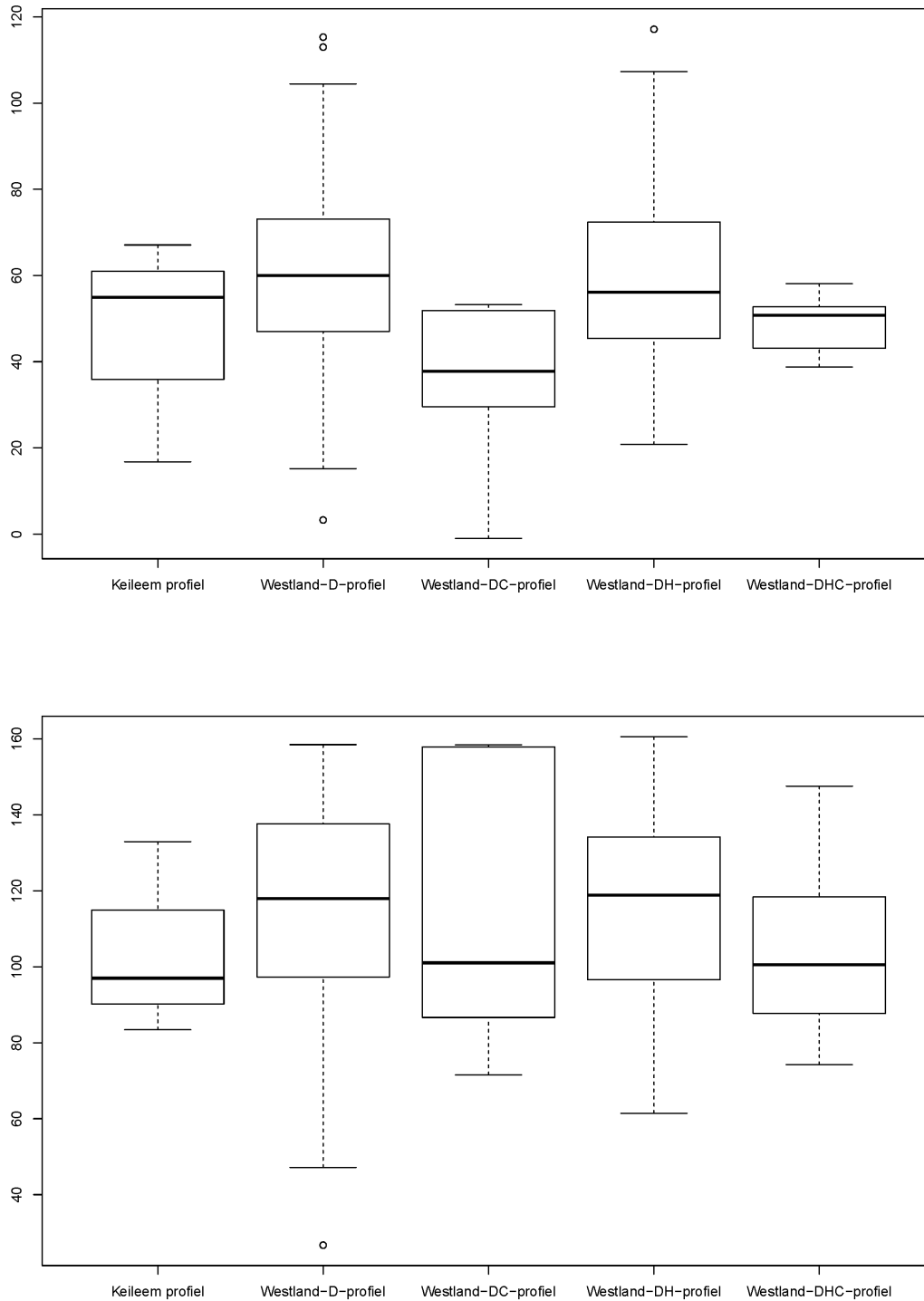
Figuur 26 laat de spreiding zien van de G×G's over de bodemfysische eenheden van BOFEK 2012 (Wösten *et al.*, 2012).



Figuur 26 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over de bodemfysische eenheden volgens BOFEK 2012 (Wösten *et al.*, 2012).

In een aantal bodemfysische eenheden vallen weinig gerichte-opnamelocaties. De GLG's bij eenheid 101 (kleiig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot ten minste 120 cm-mv) en 323 (uiterst fijn- en zeer fijnzandige (zee-)zandgronden) zijn relatief ondiep. Overigens zijn er geringe verschillen in de spreidingen van G×G's over de bodemfysische eenheden.

Figuur 27 toont de spreidingen van de G×G's over de vijf hydrotypen die volgens REGIS II v2.1 in Flevoland voorkomen.

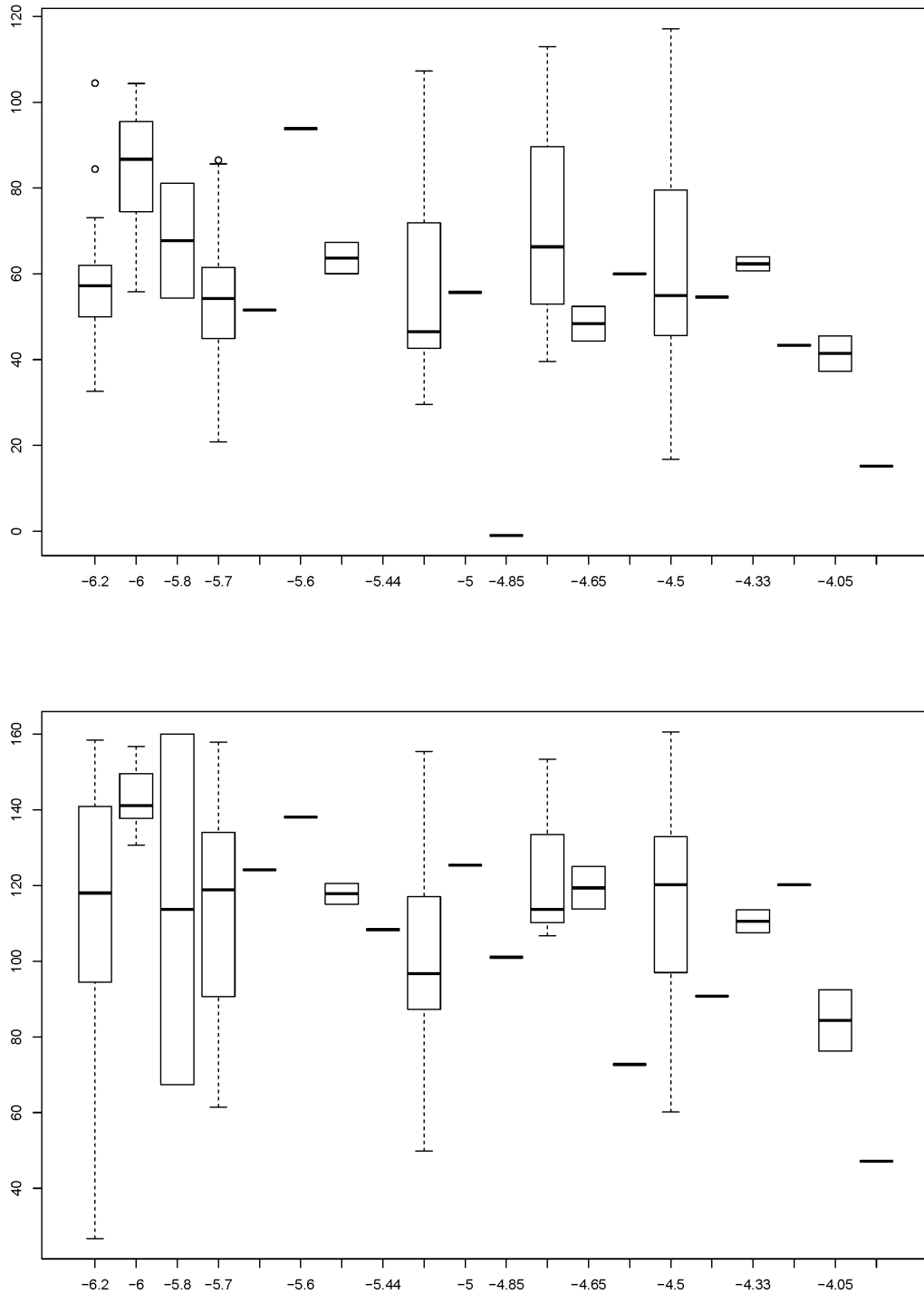


Figuur 27 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over hydrotypen volgens REGIS II v2.1.

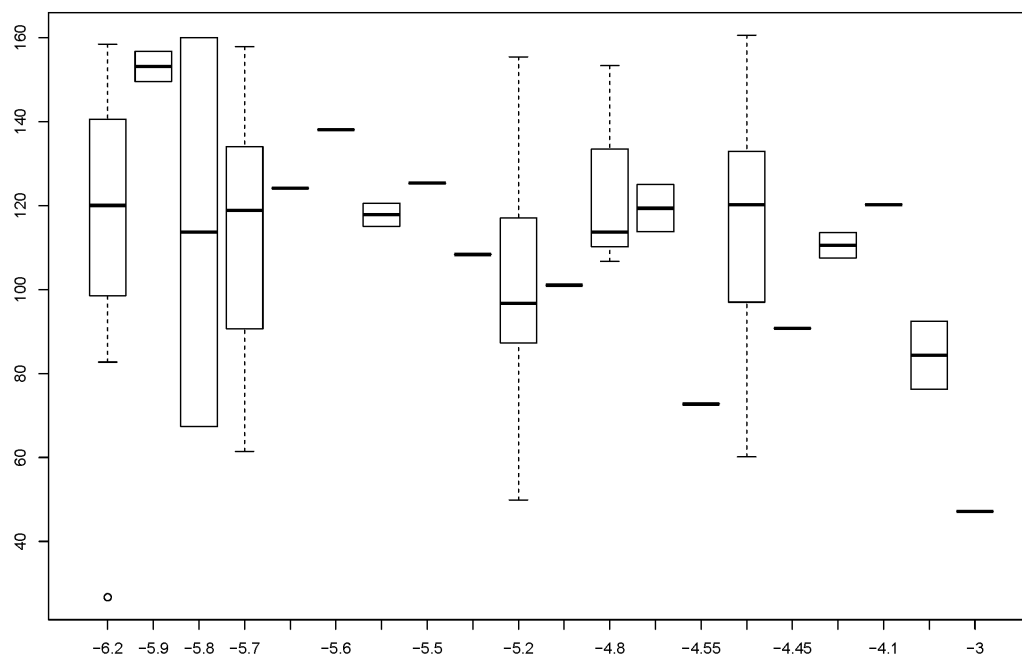
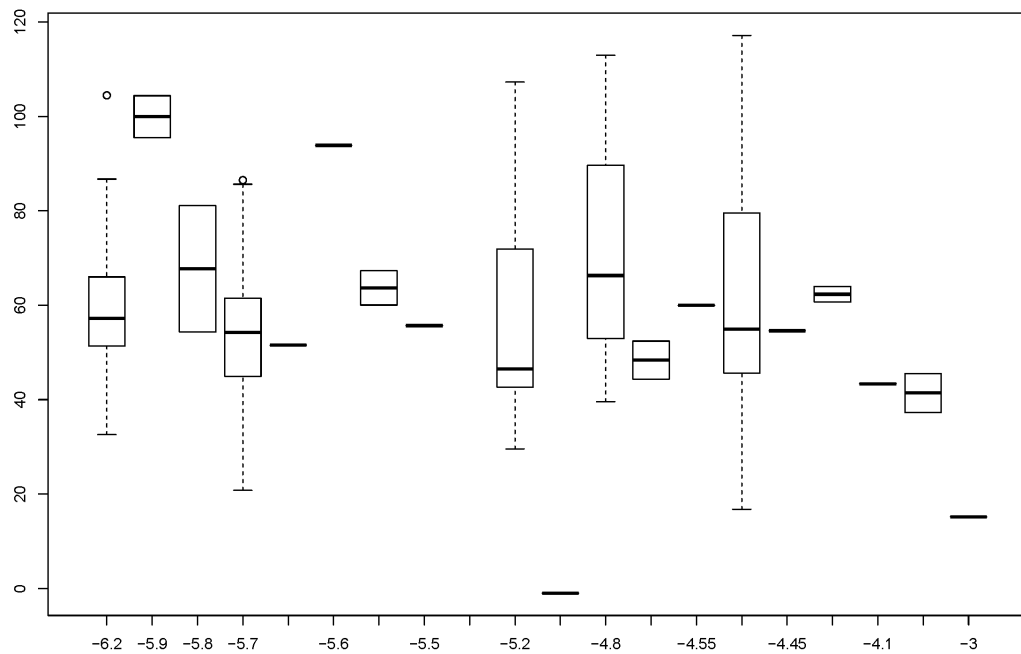
Uit Figuur 27 blijkt dat de GHG's in het hydrotype 'Westland-DC-profiel' relatief ondiep zijn en dat de GLG's in dit hydrotype een relatief grote spreiding hebben.

Uit de *scatterplots* in Figuur 21 blijkt dat de zomer- en winterpeilen een beperkt aantal niveaus kennen en daarom te discretiseren zijn tot peilvakken. Figuur 28 geeft de boxplots voor de G×G's bij de indeling in peilvakken naar zomerpeil, en figuur 29 geeft de boxplots voor de G×G's bij de indeling in peilvakken naar winterpeil.

Figuur 28 en Figuur 29 laten zien dat er grote verschillen kunnen optreden in mediane G×G en in de spreiding van G×G's tussen de verschillende peilvakken, ingedeeld naar zomer- of winterpeil. In een aantal peilvakken liggen slechts enkele gerichte-opnamelocaties.



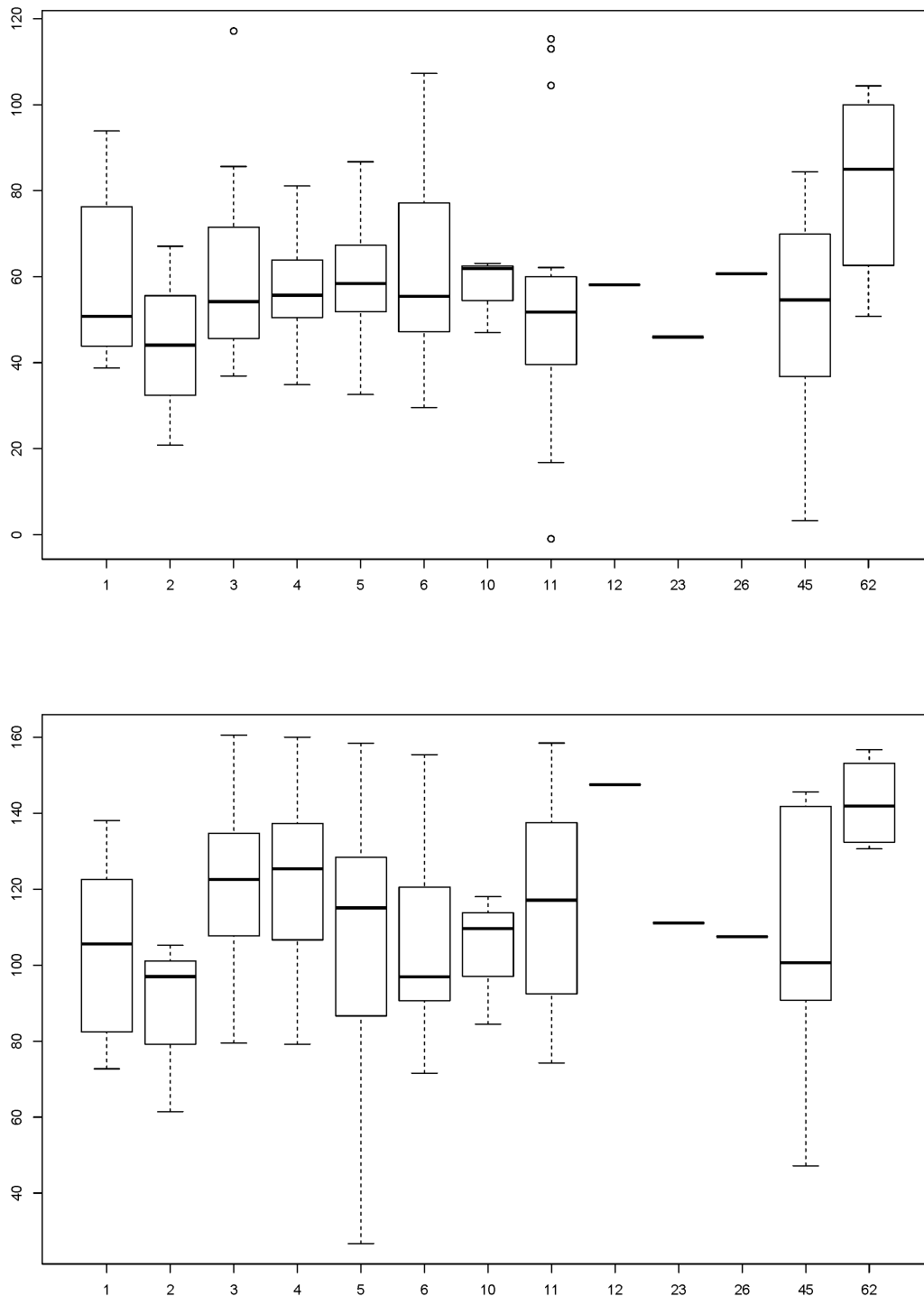
Figuur 28 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over peilvakken naar zomerpeil (m t.o.v. NAP)



Figuur 29 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over peilvakken naar winterpeil (m t.o.v. NAP)

Figuur 30 geeft boxplots voor de verdeling van G×G's over landgebruiksklassen.

Uit Figuur 30 blijkt geen sterke samenhang tussen GHG of GLG en landgebruik. De diepste G×G's blijken in klasse 62, fruitwekerijen, voor te komen. Opmerkelijk is dat de G×G's bij categorie 2, maïs, ondieper zijn dan bij categorie 1, agrarisch grasland.



Figuur 30 Boxplots voor de verdeling van GHG (boven) en GLG (onder) over landgebruiksklassen volgens LGN7. Zie Tabel 4 voor een toelichting van de landgebruiksklassen.

4.3 Random-forestmodellering, CART-modellering

Uit de *scatterplots* en *boxplots* in paragraaf 4.1 en 4.2 blijkt dat de G×G met enkele variabelen een lichte samenhang heeft. Interacties tussen verklarende variabelen en niet-lineaire relaties zijn buiten beschouwing gebleven. Om interacties en niet-lineariteit in de analyse te betrekken is in eerste instantie *random-forest*-modellering uitgevoerd voor de relatie tussen G×G en continue en discrete hulpvariabelen (zie paragraaf 2.2.2 voor een korte beschrijving). Dit leverde echter modellen op met

fracties verklaarde variatie die lager lagen dan die uit de correlatiecoëfficiënten uit Figuur 21 tot en met Figuur 23 konden worden berekend. Met andere woorden, met enkelvoudige lineaire regressie-modellen zouden de G×G's beter kunnen worden voorspeld dan met *random-forest*-modellen. Onder fractie verklaarde variatie verstaan we hier

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$$

met *RSS* de *residual sum of squares* en *TSS* de *total sum of squares*.

In tweede instantie is de relatie tussen G×G en hulpvariabelen gemodelleerd met CART-modellen, niet met een bos maar met een boom dus. Hierbij is gebruik gemaakt van het R-package **rpart**. Dit leverde modellen op met fracties verklaarde variatie die hoger zijn dan uit de correlatiecoëfficiënten uit Figuur 21 tot en met Figuur 23 werden berekend. Voor het minimale aantal data per splitsing is 20 aangehouden (*default*).

Om overfitting te voorkomen is de boom 'gesnoeid' door de voorspelfout uit cross-validatie te minimaliseren (*pruning*). Figuur 31 geeft de regressieboom weer die voor de GHG werd gemodelleerd. Deze regressieboom met slechts twee *end nodes* heeft de volgende details (de uiteinden, *end nodes*, zijn met een asterisk aangegeven):

n= 99

node), split, n, deviance, yval

* denotes terminal node

1) root 99 47320.620 57.83773

2) Bodemcode2=kHn21,kSn13A,kSn14A,kVc,kVd,KX,Mn12A,Mn15A,Mn22Ap,Mn25A,Mn25Ap,Mn35A,Mn35Ap,Mn35Awp,Mn45A,Mn45Ap,Mo80Ap,Mv51A,Sn13A,Sn13Av,Sn13Aw,uMn15A,Zn21,Zn40Ap 91 34160.770 54.81356 *

3) Bodemcode2=Mn12Ap,Mn15Av,Mv51A/Mn25Av,Mv51Ap/Mn25Awp,Zn50A 8 2860.721 92.23773 *

De fractie verklaarde variatie is gelijk aan $R^2 = 1 - (34160.77 + 2860.721) / 47320.620 = 0.218$. De bodemeenheid volgens Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, is de enige verklarende variabele in het model. De splitsing naar bodemeenheid is niet eenvoudig fysisch te verklaren.

Voor de GLG bleef na *pruning* een regressieboom met slechts één tak over, m.a.w. een boom met meer takken geeft geen betere voorspellingen van de GLG dan het *over all* gemiddelde.

Met het package **party** is het mogelijk om niet-parametrische, *conditional inference trees* te modelleren (Hothorn *et al.*, <https://cran.r-project.org/web/packages/party/vignettes/party.pdf>). Er zijn diverse typen tests mogelijk op basis waarvan de takken van de boom al of niet splitsen. Als minimum criterium is 0.95 (*default*) aangehouden, i.e. $p < 0.05$. Dit criterium kan univariaat worden toegepast of met een Bonferroni-correctie voor multiplicititeit. Als 'Bonferroni' als testtype wordt gebruikt, dan wordt voor de GHG de volgende boom gevonden (zie Figuur 32):

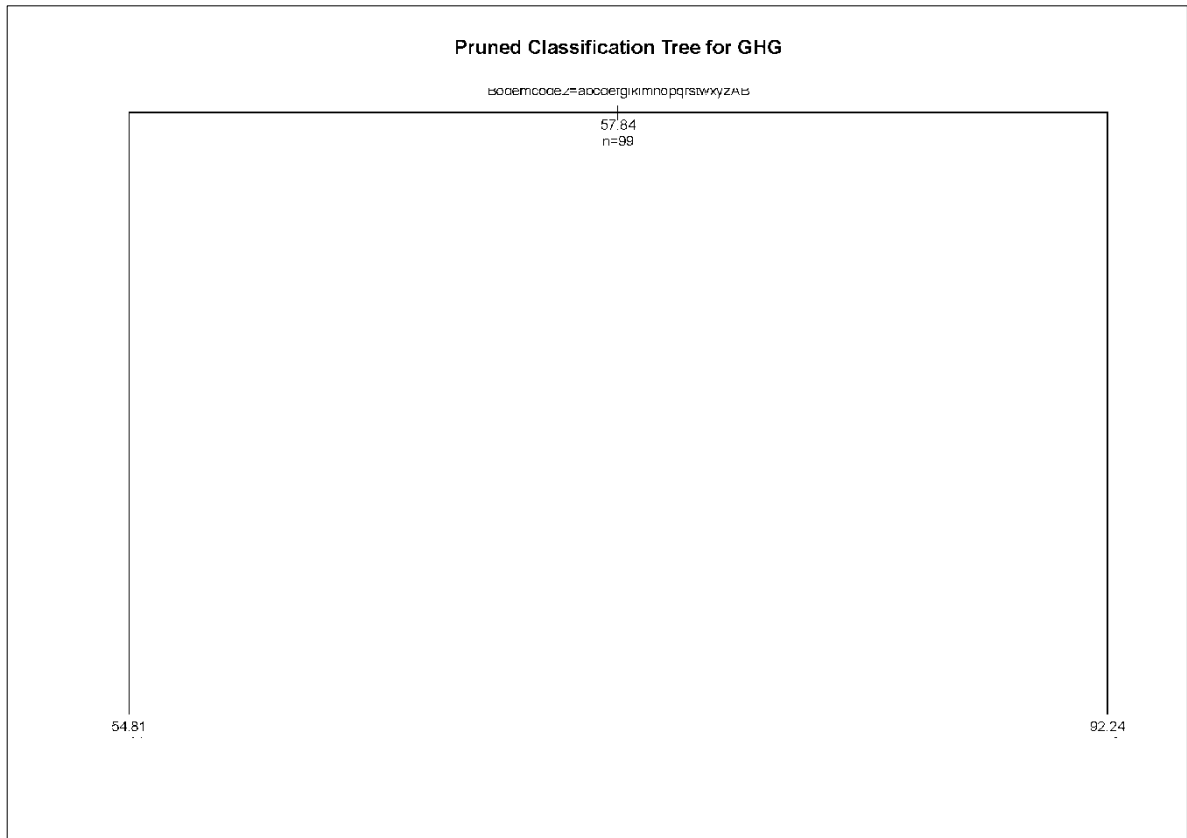
1) Dr_ZP_m <= 1.26; criterion = 0.986, statistic = 40.134

2)* weights = 16

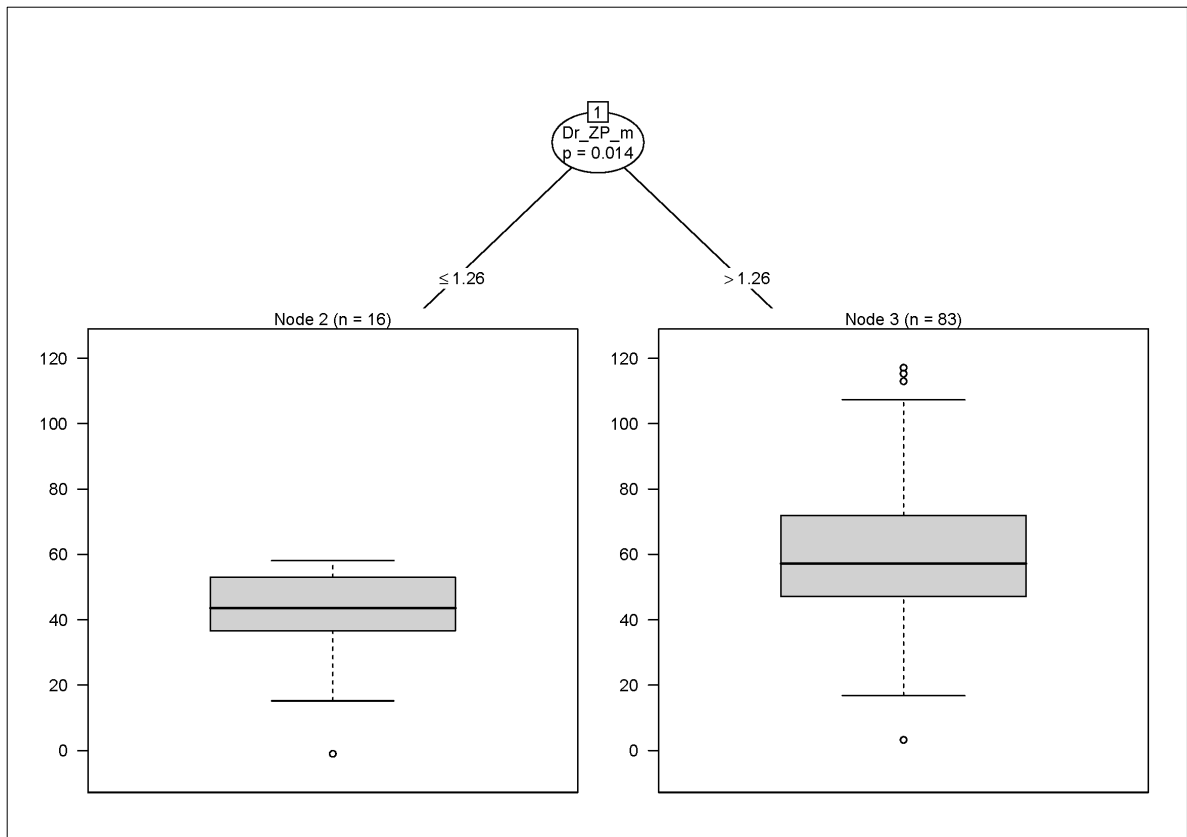
1) Dr_ZP_m > 1.26

3)* weights = 83

De fractie verklaarde variatie bedraagt $R^2 = 0.111$. Opmerkelijk is dat hier de drooglegging ten opzichte van zomerpeil wordt geselecteerd als meest verklarende variabele, terwijl bij **rpart** de bodemeenheid volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, werd geselecteerd. De splitsing naar drooglegging is fysisch te verklaren: bij drooglegging < 1.26 m is de GHG ondieper dan bij drooglegging > 1.26 m.



Figuur 31 Regressieboom voor de GHG

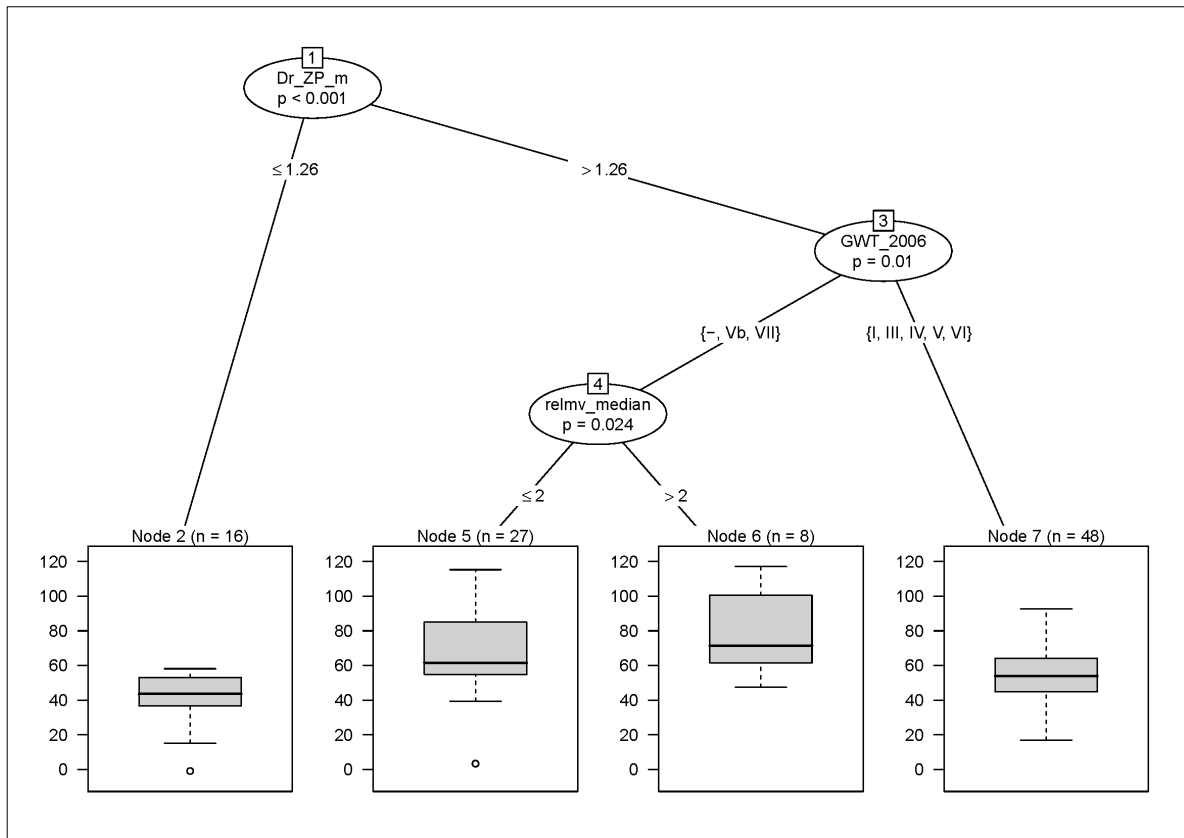


Figuur 32 Regressieboom voor GHG, gefit met ctree, met 'Bonferroni' als testtype

Als 'Univariate' als testtype wordt gebruikt dan wordt voor de GHG de volgende boom gevonden (zie Figuur 33):

- 1) Dr_ZP_m <= 1.26; criterion = 0.999, statistic = 40.134
- 2)* weights = 16
- 1) Dr_ZP_m > 1.26
- 3) GWT_2006 == {-, Vb, VII}; criterion = 0.99, statistic = 35.018
- 4) relmv_median <= 2; criterion = 0.976, statistic = 16.225
- 5)* weights = 27
- 4) relmv_median > 2
- 6)* weights = 8
- 3) GWT_2006 == {I, III, IV, V, VI}
- 7)* weights = 48

De fractie verklaarde variatie bedraagt $R^2=0.231$. Opmerkelijk is dat ook in dit model de bodemeenhed volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, niet voorkomt. De splitsing naar drooglegging, grondwatertrap op de bodemkaart en hoogte van het maaiveld relatief tot de mediane hoogte van het perceel is fysisch te verklaren. Bij Gt Vb en VII is de GHG dieper dan bij de andere Gt's. Uit Figuur 24 bleek al dat in de kaartenheid Gt Vb diepere GHG's voorkomen dan op basis van de definitie van Gt Vb mag worden verwacht. Relatief laaggelegen delen van een perceel bij Gt Vb of VII hebben een ondiepere GHG dan relatief hoog gelegen delen van een perceel.

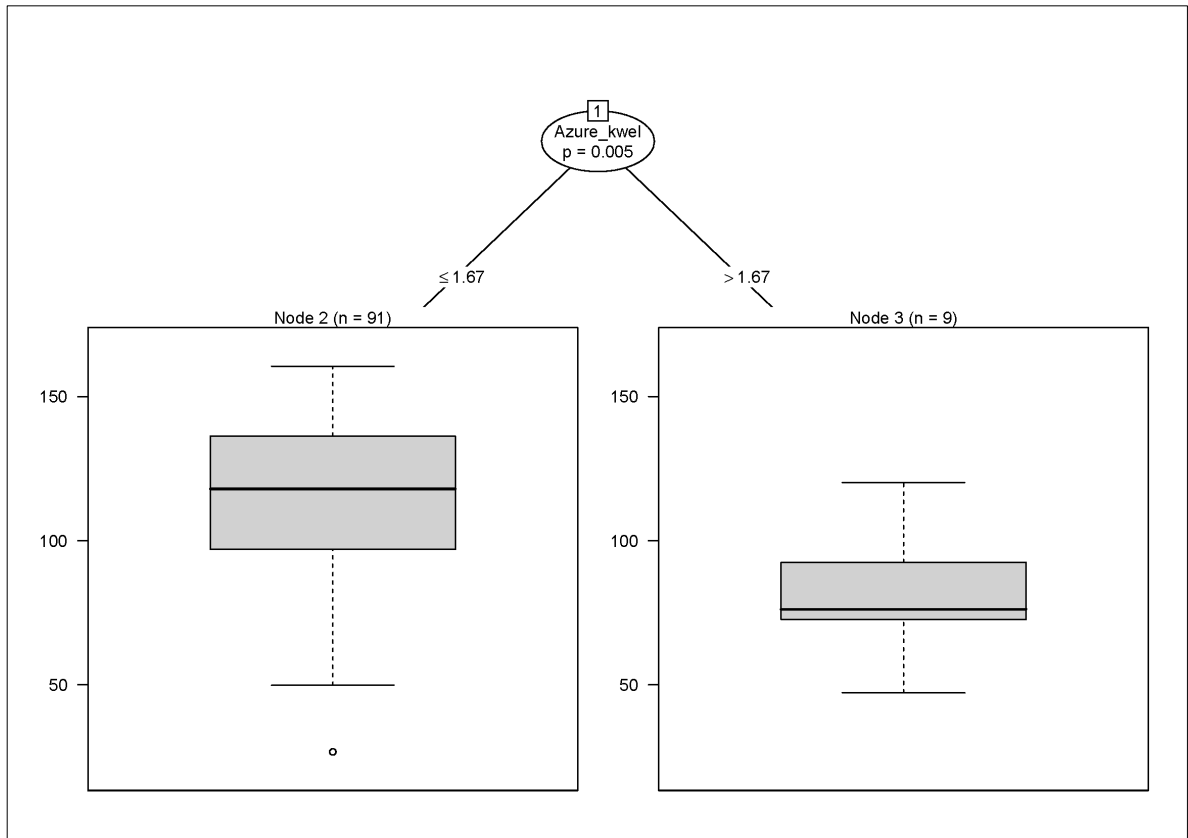


Figuur 33 Regressieboom voor GHG, gefit met **ctree**, met 'Univariate' als testtype

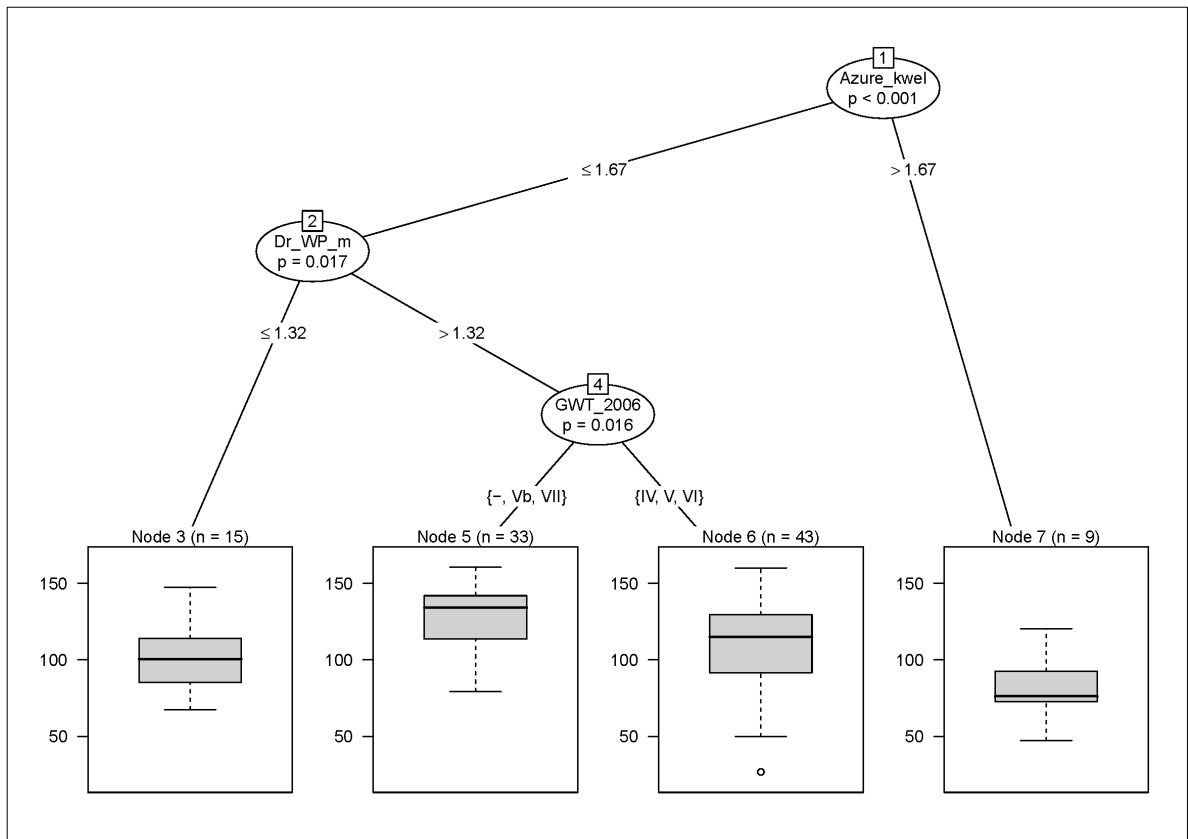
Voor de GLG wordt de volgende regressieboom gevonden met **ctree** als 'Bonferroni' als testtype wordt gebruikt (zie Figuur 34):

- 1) Azure_kwel
- <= 1.67; criterion = 0.995, statistic = 31.635
- 2)* weights = 91
- 1) Azure_kwel > 1.67
- 3)* weights = 9

De fractie verklaarde variatie bedraagt $R^2=0.121$. De splitsing naar kwel is fysisch te verklaren: bij grote kwel is de GLG relatief ondiep.



Figuur 34 Regressieboom voor GLG, gefit met *ctree*, met 'Bonferroni' als testtype



Figuur 35 Regressieboom voor GLG, gefit met *ctree*, met 'Univariate' als testtype

Als 'Univariate' als testtype wordt gebruikt, dan wordt met **ctree** voor de GLG de volgende regressieboom gevonden (zie Figuur 35):

-
- 1) Azure_kwel <= 1.67; criterion = 1, statistic = 31.635
 - 2) Dr_WP_m <= 1.32; criterion = 0.983, statistic = 21.629
 - 3)* weights = 15
 - 2) Dr_WP_m > 1.32
 - 4) GWT_2006 == {-, Vb, VII}; criterion = 0.984, statistic = 19.943
 - 5)* weights = 33
 - 4) GWT_2006 == {IV, V, VI}
 - 6)* weights = 43
 - 1) Azure_kwel > 1.67
 - 7)* weights = 9

De fractie verklaarde variatie bedraagt $R^2=0.252$. De splitsingen in de regressieboom zijn fysisch te verklaren. Bij grote kwel is de GLG relatief ondiep. Bij een drooglegging ten opzichte van winterpeil < 1.32 m zijn GLG's ondieper dan bij een drooglegging > 1.32 m. Bij deze laatste drooglegging zijn de GLG's bij Gt Vb en VII dieper dan bij de overige Gt's. Opmerkelijk is dat bij GLG de drooglegging ten opzichte van winterpeil is geselecteerd en bij GHG de drooglegging ten opzichte van zomerpeil.

4.4 Samenhang met veldschattingen van G×G's

In het studiegebied zijn een groot aantal veldbodemkundige profielbeschrijvingen gemaakt voor de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Hierbij zijn ook schattingen gemaakt van de GHG en GLG, op basis van hydromorfe kenmerken aan het bodemprofiel, zoals roest- en reductievlekken, en landschappelijke kenmerken zoals plasvorming en de stand van het gewas. Deze veldschattingen van G×G kunnen nuttige hulpinformatie vormen bij de ruimtelijke interpolatie van G×G's . Omdat de locaties van de gerichte opname samenvallen met locaties waar bodemkundige profielbeschrijvingen zijn gemaakt beschikken we voor deze locaties over twee verschillende schattingen van de G×G:

- a. G×G's die geschat zijn met behulp van stambuisregressie uit waarnemingen van grondwaterstanden in peilbuizen en in boorgaten op gerichte-opnamelocaties.
- b. Veldschattingen van G×G's op basis van hydromorfe en landschappelijke kenmerken.

De relatie tussen beide is pas te analyseren na afronding van veldwerk voor zowel de gerichte opnamen als de actualisatie van de bodemkaart. Om deze relatie te kunnen gebruiken bij de ruimtelijke interpolatie van G×G's is het van belang dat beide schattingen *onafhankelijk* van elkaar plaatsvinden. Deze relatie wordt immers gebruikt om G×G's uit veldschattingen te voorspellen voor locaties waar geen gerichte opnames zijn gedaan. Idealiter zijn de profielbeschrijvingen al gemaakt voordat de gerichte opnames plaatsvinden, en worden de veldschattingen achteraf niet aangepast op basis van de gerichte opnames.

4.5 Conclusie over samenhang met hulpvariabelen

Uit de analyses die in paragraaf 4.1 tot en met 4.3 zijn beschreven kan worden geconcludeerd dat er geen sterke samenhang is tussen enerzijds de GHG en de GLG in Flevoland en anderzijds de onderzochte hulpvariabelen die gebiedsdekkend met hoge resolutie beschikbaar zijn. De niet-parametrische regressiebomen die met **ctree** uit het R-package **party** waren gemodelleerd gaven relatief goede modellen die ook fysisch konden worden geïnterpreteerd, maar ook van deze modellen is de fractie verklaarde variatie gering: 0.231 en 0.252 voor respectievelijk GHG en GLG.

Op basis van de regressiebomen die zijn gemodelleerd is het aan te bevelen om bij de selectie van gerichte-opnamelocaties deelgebieden te onderscheiden op basis van de volgende criteria:

1. Drooglegging ten opzichte van zomerpeil (Dr_ZP_m) <= 1.26 m.
2. Drooglegging ten opzichte van zomerpeil (Dr_ZP_m) > 1.26 m:
 - a. De grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (GWT_2006) == {I, III, IV, V, VI},

-
- b. De grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (GWT_2006) == {-, Vb, VII},
 - i. De maaiveldhoogte relatief tot de mediane hoogte van het perceel (relmv_median) \leq 2 cm;
 - ii. De maaiveldhoogte relatief tot de mediane hoogte van het perceel (relmv_median) $>$ 2 cm.
 3. De kwel volgens model Azure (Azure_kwel) \leq 1.67 mm/dag:
 - a. Drooglegging ten opzichte van winterpeil (Dr_WP_m) \leq 1.32 m,
 - i. De grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (GWT_2006) == {-, Vb, VII};
 - ii. De grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (GWT_2006) == {IV, V, VI};
 - b. Drooglegging ten opzichte van winterpeil (Dr_WP_m) $>$ 1.32 m.
 4. De kwel volgens model Azure (Azure_kwel) $>$ 1.67 mm/dag.

Als een goede ruimtelijke spreiding wordt nagestreefd, zullen bovenstaande categorieën ook in het meetnet van gerichte-opnamelocaties vertegenwoordigd zijn.

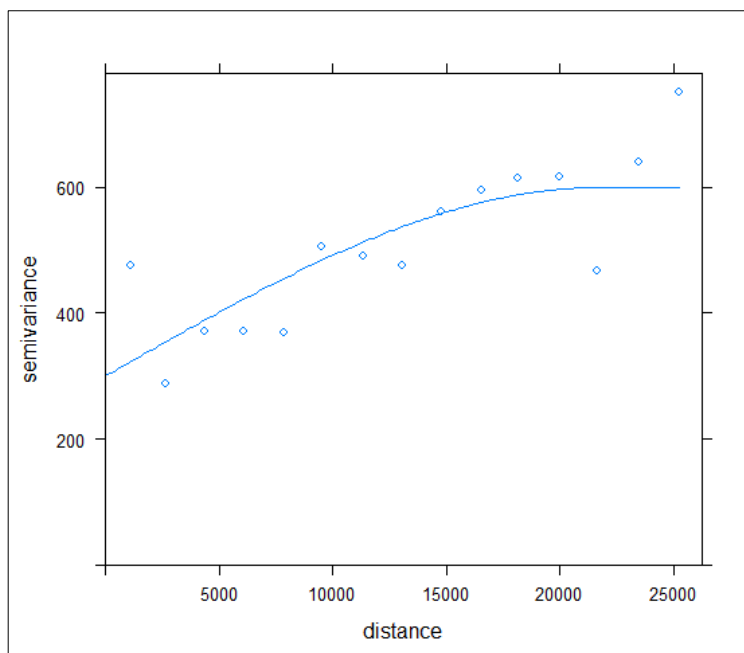
Of er samenhang is tussen schattingen van G×G's op basis van stambuisregressie en op basis van veldschattingen (zie paragraaf 4.4) is pas na afronding van alle veldwerk te zeggen. Het is aannemelijk dat er een relatie bestaat tussen veldschattingen van G×G's en schattingen op basis van stambuisregressie. Deze relatie kan benut worden in de ruimtelijke interpolatie.

5 Analyse ruimtelijke samenhang GHG en GLG

Uit de analyse, in hoofdstuk 4, van de samenhang tussen GHG en GLG enerzijds en gebiedsdekkend beschikbare hulpvariabelen anderzijds bleek dat deze samenhang gering is. Bij ruimtelijke interpolatie van GHG's en GLG's zal de samenhang met hulpvariabelen daardoor maar een beperkte rol spelen en zal vooral de ruimtelijke samenhang van GHG's en GLG's van belang zijn. Daarom is het voor de selectie van gerichte-opnamelocaties van belang de afstand waarbinnen GHG's en GLG's met elkaar samenhangen te kennen. Om inzicht hierin te krijgen zijn semivariogrammen geconstrueerd met behulp van de R-package **gstat**. Door de experimentele semivariogrammen zijn sferische semivariogrammodellen gefit met de volgende algemene structuur:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} c_0 + c_1 \left(\frac{3\mathbf{h}}{2a} - \frac{\mathbf{h}^3}{2a^3} \right) & \text{als } \mathbf{h} < a \\ c_0 + c_1 & \text{als } \mathbf{h} \geq a \end{cases}$$

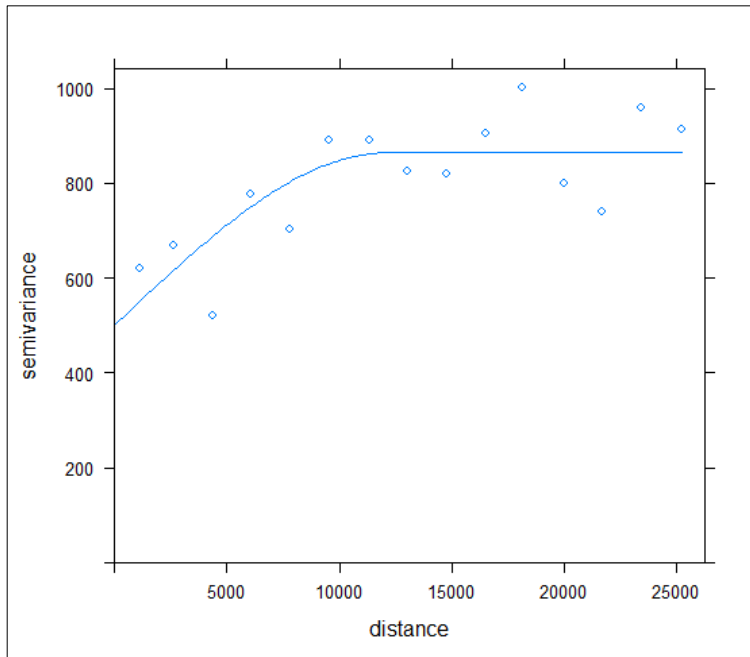
In het semivariogrammodel voor de GHG is de nugget-parameter c_0 vastgezet op 300 cm^2 . Dit ligt in de grootteorde van de residuele variantie van een stambuisregressiemodel (Ritzema *et al.*, 2012, blz. 71). De partiële sill-parameter c_1 is gekalibreerd op 300.034 cm^2 en de *range* a op 21820 m. Figuur 36 geeft het semivariogram van de GHG.



Figuur 36 Semivariogram van de GHG in Flevoland. Distance in m, semivariance in cm^2 .

In het semivariogrammodel voor de GLG is de nugget-parameter c_0 vastgezet op 500 cm^2 . Dit ligt in de grootteorde van de residuele variantie van een stambuisregressiemodel (Ritzema *et al.*, 2012, blz. 71). De partiële sill-parameter c_1 is gekalibreerd op 364.2031 cm^2 en de *range* a op 12166 m. Figuur 37 geeft het semivariogram van de GLG.

Uit de semivariogrammen voor de GHG en de GLG blijkt dat de minimale afstand tussen de gerichte-opnamelocaties kleiner moet zijn dan circa 12 kilometer om bij de ruimtelijke interpolatie profijt te hebben van de ruimtelijke samenhang.



Figuur 37 Semivariogram van de GLG in Flevoland. Distance in m, semivariance in cm^2 .

6 Ontwerp meetnet gerichte opnamen

6.1 Uitgangspunten

Het doel van het meetnet is om data te verzamelen voor de ruimtelijke voorspelling van GHG's en GLG's. Om een zo groot mogelijke voorspelnauwkeurigheid te bereiken wordt een goede spreiding van meetlocaties in de geografische ruimte nagestreefd. Een goede spreiding in de eigenschappenruimte wordt niet nagestreefd omdat de relatie tussen GHG's en GLG's enerzijds en hulpvariabelen anderzijds zwak is, zoals uit de analyses in hoofdstuk 5 bleek.

Naast een goede spreiding in de geografische ruimte dienen voldoende punten op korte afstand van elkaar te liggen. Dit is nodig om de ruimtelijke samenhang van GHG's en GLG's te kunnen modelleren met semivariogrammen.

De dichtheid van het meetnet wordt bepaald door het aantal gerichte-opnamelocaties dat binnen het tijdsbestek van een week door de beschikbare veldmedewerkers kan worden bezocht. Voor Flevoland is het totale aantal locaties gesteld op 240, waarvan er 200 ruimtelijk goed verspreid liggen (*spatial coverage sample*) en de resterende 40 ervoor dienen inzicht te krijgen in de variatie in GHG's en GLG's op korte afstand (variogrampunten). Er wordt naar gestreefd om de gerichte-opnamelocaties zo veel mogelijk te laten samenvallen met locaties waar in het kader van de actualisatie van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, bodemkundige profielbeschrijvingen zijn gemaakt (Brouwer *et al.*, 2018).

De punten zijn proportioneel naar oppervlakte verdeeld over de Noordoostpolder en Oostelijk en Zuidelijk Flevoland, zie Tabel 6.

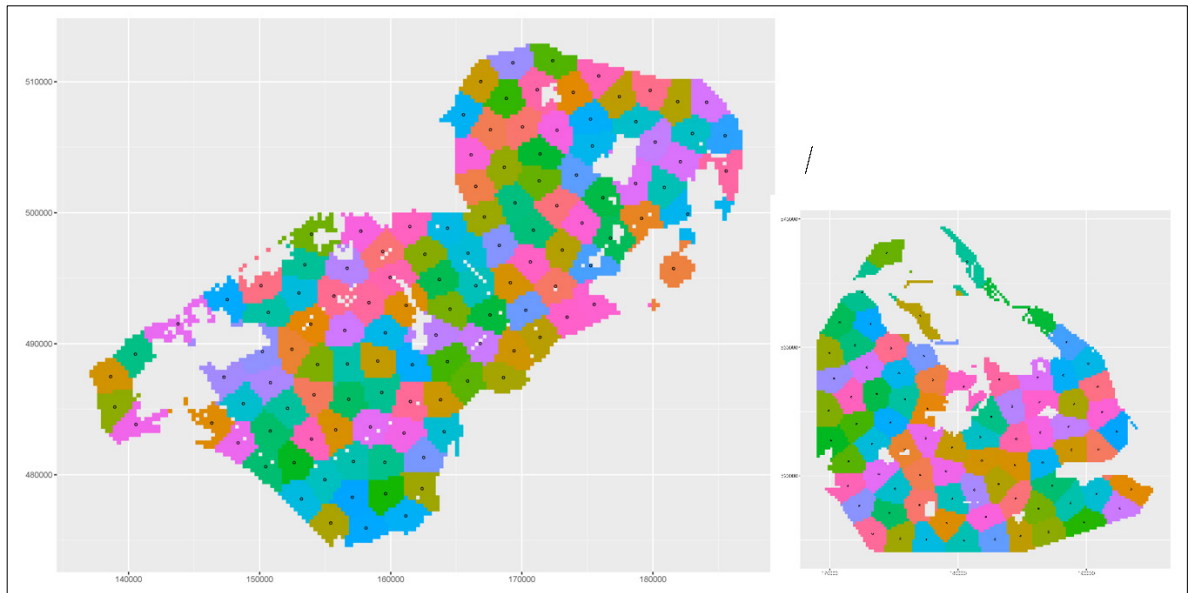
Tabel 6 Verdeling van de aantallen gerichte-opnamelocaties over de Noordoostpolder en Oostelijk en Zuidelijk Flevoland

Deelgebied	Spatial coverage sample	Variogrampunten
Noordoostpolder	78	16
Oostelijk en Zuidelijk Flevoland	122	24

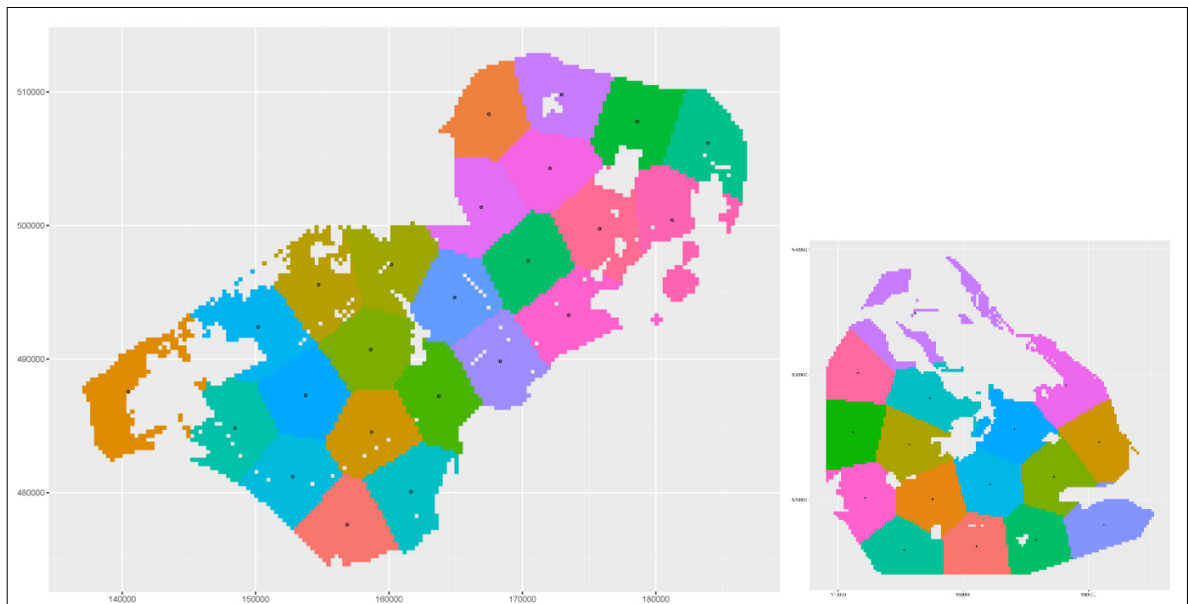
6.2 Spatial coverage sample

Voor het *spatial coverage sample* van 200 punten zijn de centroïden van 200 compacte geografische eenheden met gelijke oppervlakten geselecteerd met behulp van het R package *spcosa* (Walvoort *et al.*, 2010). Vervolgens zijn hierbij de dichtstbijzijnde locaties gezocht uit een *spatial coverage sample* met een hogere dichtheid, dat is gemaakt voor de actualisatie van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (Brouwer *et al.*, 2018). Deze locaties zijn geselecteerd en worden dus bezocht voor zowel de actualisatie van de bodemkaart als de Gd-kartering. Figuur 38 geeft de locaties weer van het *spatial coverage sample*.

De 40 variogrampunten zijn eveneens met behulp van een *spatial coverage sample* geselecteerd. Bij deze punten zijn echter geen dichtstbijzijnde locaties met bodemkundige profielbeschrijvingen gezocht. Op deze wijze wordt ervoor gezorgd dat de kortste afstand van een variogrampunt tot één van de 200 locaties van het *spatial coverage sample* korter is dan de kortste afstand tussen de 200 locaties onderling. Voor de 40 variogrampunten zullen nieuwe profielbeschrijvingen worden gemaakt, omdat ze immers niet samenvallen met locaties die in het kader van de actualisatie van de bodemkaart van Nederland zijn bezocht. Figuur 39 geeft de ligging van de 40 variogrampunten.



Figuur 38 Spatial coverage sample voor Oost- en Zuid-Flevoland (links, 122 punten) en de Noordoostpolder (rechts, 78 punten). Bij deze locaties zijn de dichtstbijzijnde locaties met profielbeschrijvingen gezocht, waar de gerichte opnames van de grondwaterstand zullen plaatsvinden.



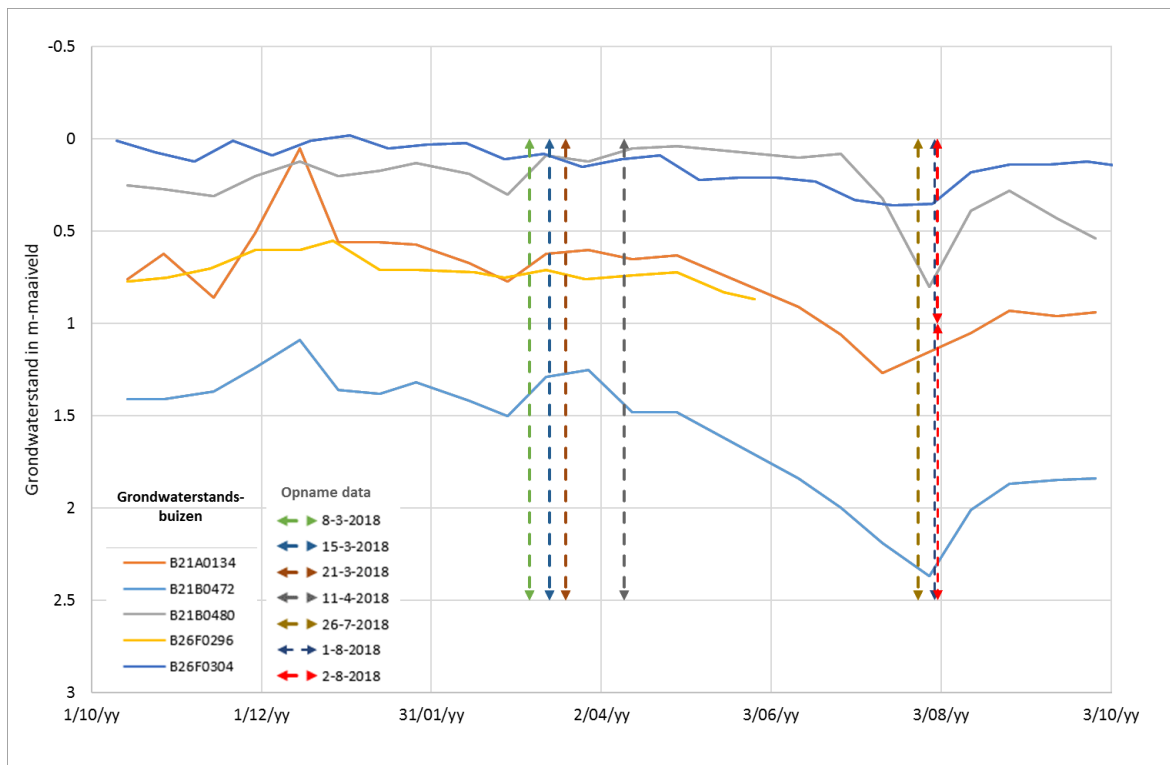
Figuur 39 Spatial coverage sample van variogrampunten voor Oost- en Zuid-Flevoland (links, 24 punten) en de Noordoostpolder (rechts, 16 punten)

7 Actualisatie Gd-kaart Flevoland

In dit hoofdstuk beschrijven we de uitvoering van de gerichte opnamen en de procedure waarmee we deze veldwaarnemingen hebben verwerkt tot een kaart van de grondwaterdynamiek.

7.1 Gerichte opnamen

Het veldwerk is in 2018 uitgevoerd op twee momenten: de gerichte opname voor de GHG in maart, de gerichte opname voor de GLG grotendeels in augustus. Figuur 40 geeft de tijdstippen van deze gerichte opnames weer ten opzichte van het grondwaterstandsverloop in het hydrologische jaar 2017-2018. Er is op 240 punten gemeten, waarvan de selectie is beschreven in hoofdstuk 6. Voor deze locaties zijn profielbeschrijvingen gemaakt voor de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 (Brouwer *et al.*, 2018).



Figuur 40 Grondwaterstandsverlopen tussen 1 oktober 2017 en 1 oktober 2018 en tijdstippen van gerichte opnames voor GHG en GLG in Flevoland

7.2 Stambuisregressie

Voor de stambuislocaties kan de relatie tussen de GxG en de grondwaterstand op de datum van de gerichte opname worden beschreven met een regressiemodel (Te Riele en Brus, 1991). Dit wordt ook wel stambuisregressie genoemd. Met dit regressiemodel kan op punten van gerichte opnames de GxG worden geschat, onder de veronderstelling dat een gebied 'hydrologisch homogeen' is, dat wil zeggen dat hoogste en laagste grondwaterstanden op alle locaties in een gebied op dezelfde momenten optreden.

Bij de stambuisregressie is rekening gehouden met de aanwezigheid van 'dieper dan'- of gecensoreerde waarnemingen, door niet-parametrische regressiemodellen te gebruiken (Helsel, 2012; Hoogland *et al.*, 2014). Met de nauwkeurigheid van de parameters van het regressiemodel wordt rekening gehouden door middel van bootstrapping (Efron en Tibshirani, 1993), zie Hoogland *et al.* (2014) voor een beschrijving van de methode. Met bootstrapping wordt een groot aantal verschillende realisaties van regressiemodellen gegenereerd, waarmee voorspellingen van GxG's voor de gerichte-opnamelocaties werden verricht. Omdat gecensoreerde waarnemingen zowel bij de respons- als bij de predictorvariabele van het regressiemodel konden voorkomen, kon niet altijd een regressiemodel worden gefit. Daarom is besloten om 1000 realisaties te simuleren en de eerste 100 realisaties *zonder missing values* te behouden. Dit zal enige vertekening kunnen opleveren, maar deze zal kleiner zijn dan de vertekening die ontstaat als gecensoreerde waarnemingen worden weggelaten of bijvoorbeeld worden vervangen door de censorgrens.

Bij de verwerking van de gegevens is het belangrijk om te weten dat de zomer van 2018 uitzonderlijk droog was. Door wateraanvoer vanuit het IJsselmeer werden desondanks op grote schaal vrij hoge oppervlaktewaterpeilen gehandhaafd. Hierdoor kon de stambuisregressie zelfs een GLG voor een gerichte-opnamelocatie opleveren die ondieper was dan de GHG voor die locatie. Conform de definitie van GHG en GLG (Ritzema *et al.*, 2012) wordt voor die locaties de GLG beschouwd als GHG *vice versa*.

Tijdens het veldwerk bleek ook dat beslissingen van agrariërs om al dan niet te beregenen kunnen resulteren in een grillig verloop van de GLG. Bij de beslissing om te beregenen wegen agrariërs kosten en baten tegen elkaar af. Door verschillen in gewas kan het resultaat van deze afweging van perceel tot perceel verschillen. Ook gewassen die dicht tegen de oogst aan zaten werden niet beregend. Daardoor ontstonden op korte afstand verschillen in de GLG.

Als een ondiepe, slecht doorlatende bodemlaag werd aangetroffen is gecontroleerd op schijnspiegels door zowel in een boorgat dat eindigt boven deze laag als in een boorgat dat dieper is dan deze laag te meten. Als de grondwaterstand, gemeten in het boorgat dat eindigt boven de slecht doorlatende laag, ondieper is dan de grondwaterstand in het diepere boorgat, dan is deze minst diepe stand geregistreerd. Als de grondwaterstand in het diepste boorgat ondieper is dan in het ondiepe gat, dan duidt dit op een kwel situatie. Omdat dit kwelwater de plantenwortels in deze situatie niet bereikt hebben is in deze gevallen de grondwaterstand in het ondiepe boorgat geregistreerd.

7.3 Exploratieve data-analyse

7.3.1 Samenvattende statistieken en histogrammen

Op de schattingen van GxG's voor de gerichte-opnamelocaties is een exploratieve data-analyse uitgevoerd. Tabel 7 geeft een aantal samenvattende statistieken.

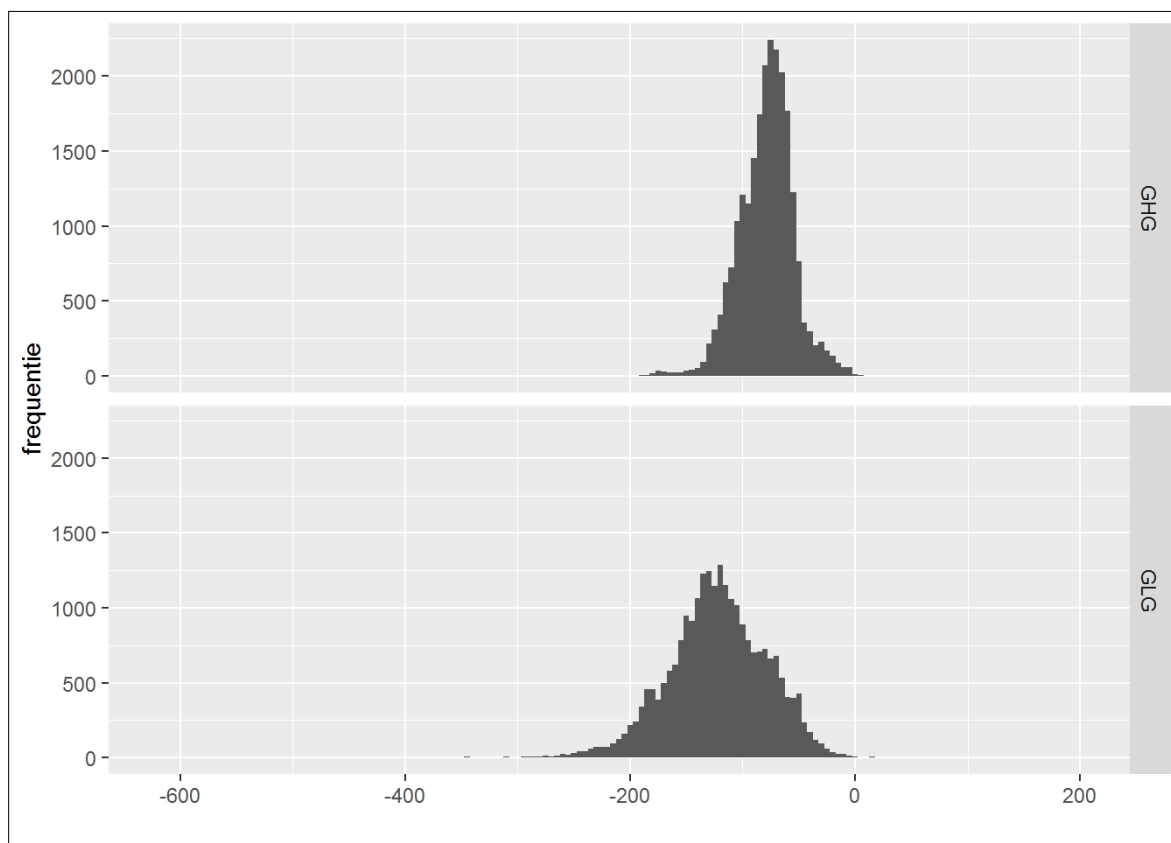
Tabel 7 Samenvattende statistieken van GHG's en GLG's op de gerichte-opnamelocaties

Statistiek	n	min (cm t.o.v. mv)	p25 (cm t.o.v. mv)	mean (cm t.ov. mv)	median (cm t.o.v. mv)	p75 (cm t.ov. mv)	max (cm t.ov. mv)	$\hat{\sigma}$ (cm)	mad (cm)
GHG	231	-202	-94	-79	-77	-64	4	24	22
GLG	243	-622	-149	-123	-122	-93	202	45	42

met

n	=	aantal boorgaten;	$\hat{\sigma}$	=	standaardafwijking;
min	=	minimum;	mad	=	mediane absolute afwijking,
p25	=	eerste kwartiel;			gecorrigeerd met een factor 1.4826
mean	=	gemiddelde;			om consistentie met de standaard-
median	=	mediaan;			afwijking van een normale verdeling te
p75	=	derde kwartiel;			bewerkstelligen.
max	=	maximum;			

De centrale waarden van de verdelingen van GHG's en GLG's zijn gekarakteriseerd met het gemiddelde en de mediaan, waarbij de laatste minder gevoelig is voor extreme waarden. Gemiddelde en mediaan blijken bij zowel de GHG als de GLG vergelijkbaar te zijn. Dat geldt ook voor de spreidingsmaten standaardafwijking en (gecorrigeerde) mediane absolute afwijking, die minder gevoelig is voor extreme waarden. De geringe verschillen tussen zowel gemiddelde en mediaan als tussen standaardafwijking en (gecorrigeerde) mediane absolute afwijking duiden erop dat de verdelingen van GHG's en GLG's de normale verdeling benaderen. Figuur 41 toont de histogrammen van de GHG's en GLG's van de gerichte-opnamelocaties. Evenals de spreidingsmaten in Tabel 7 laten de histogrammen zien dat de GLG een grotere spreiding heeft dan de GHG. Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen in de eerder genoemde variatie in beregning in de zomer en de variatie in polderpeilen als gevolg van inlaat van IJsselmeerwater in de droge zomer van 2018.



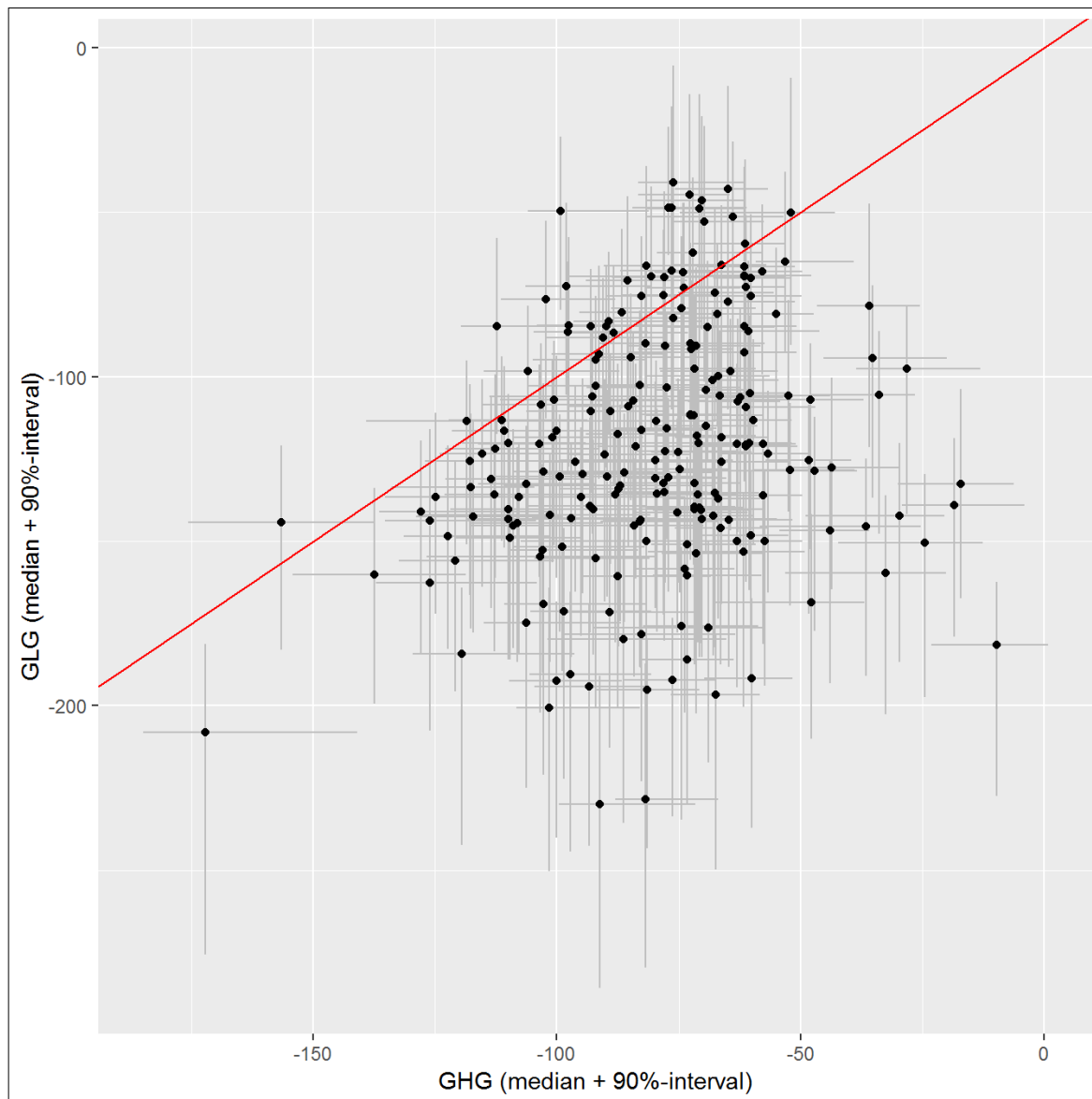
Figuur 41 Realisaties van GHG en GLG in de provincie Flevoland in dit project, in 2018

7.3.2 De relatie tussen GHG's en GLG's op de gerichte-opnamelocaties

In Figuur 42 zijn de geschatte GLG's en GHG's voor de gerichte-opnamelocaties tegen elkaar uitgezet. Een punt geeft de mediane waarde weer van de gesimuleerde 100 realisaties van GHG en GLG voor een gerichte-opnamelocatie. Deze mediane waarde is de geschatte GHG of GLG voor een gerichte-opnamelocatie. De lijnen geven het interval weer waarin 90% van de realisaties vallen en geven daarmee een indicatie van de nauwkeurigheid van de geschatte GHG en GLG. Op de rode lijn zijn GHG's en GLG's aan elkaar gelijk.

Verwacht mag worden dat alle punten onder de rode lijn (GHG=GLG) liggen, omdat de GLG immers dieper is dan de GHG. Voor een aantal gerichte-opnamelocaties is echter een GLG geschat die ondieper is dan de GLG. Dit is te verklaren uit opgezette polderpeilen door waterinlaat vanuit het IJsselmeer in de droge zomer van 2018. Voor deze locaties zullen voorafgaand aan de interpolatie de GHG's en GLG's worden omgedraaid.

Hoe dichter een punt bij de rode lijn ligt, hoe kleiner het verschil tussen GHG en GLG dus hoe geringer de seizoensfluctuatie. Opvallend is dat de punten boven de rode lijn, dus met 'omgekeerde' GHG's en GLG's, dichter bij de rode lijn liggen dan de punten onder de rode lijn. Door het opzetten van het polderpeil in de zomer is de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand op deze locaties sterk afgenomen.

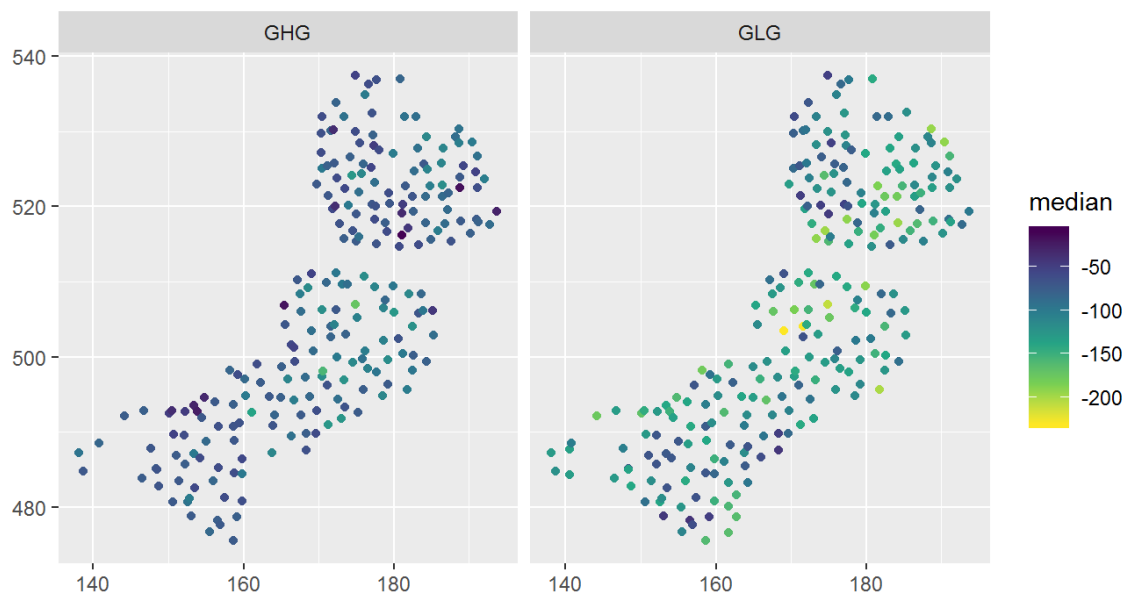


Figuur 42 Verband tussen GLG en GHG. De punten zijn mediane waarden van de gesimuleerde realisaties, de 'kruisen' intervallen waarin 90% van de realisaties vallen: horizontaal voor GHG, verticaal voor GLG. De rode lijn geeft het traject aan waar de GHG en GLG aan elkaar gelijk zijn.

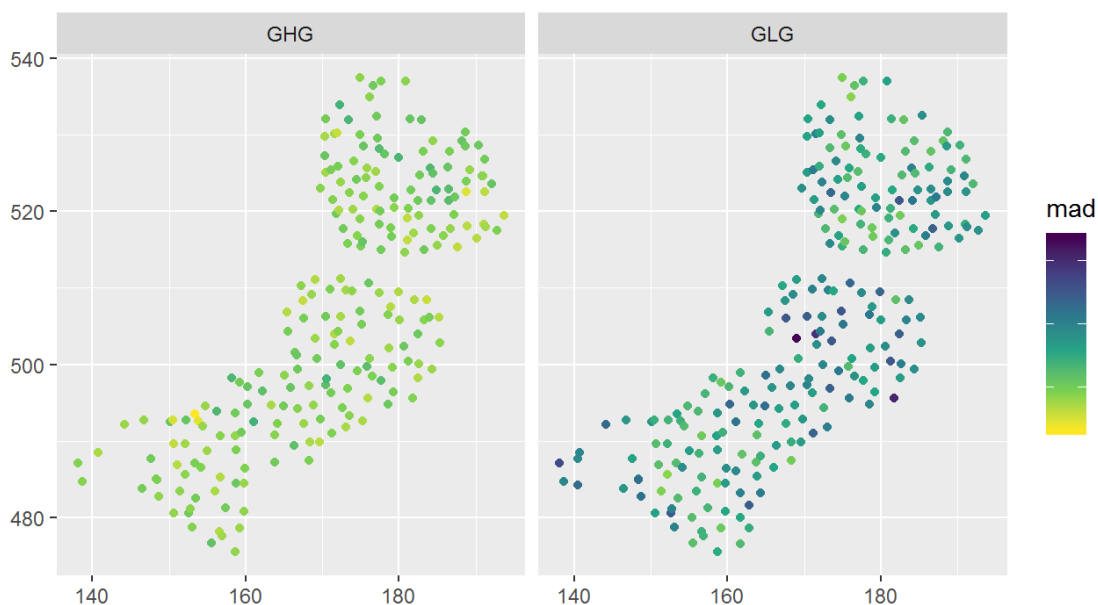
Bij enkele punten boven de rode lijn ligt de rode lijn, zowel in x-, als in y-richting, buiten het interval waarin 90% van de realisaties ligt. Voor deze locaties is het waarschijnlijk dat de GLG inderdaad ondieper is dan de GHG.

7.3.3 Kaarten van gerichte-opnamelocaties

Figuur 43 geeft een ruimtelijk beeld van de GHG's en GLG's op gerichte-opnamelocaties, geschat met de mediaan uit de 100 berekende realisaties van het stambuisregressiemodel. Figuur 44 geeft als indicatie van de nauwkeurigheid van deze schattingen een ruimtelijk beeld van de mad, de mediane absolute afwijking. Uit Figuur 44 blijkt dat de schattingen van de GHG overwegend nauwkeuriger zijn dan schattingen van de GLG.



Figuur 43 Geschatte GHG's en GLG's op gerichte-opnamelocaties, in cm t.o.v. maaiveld. De schattingen zijn gebaseerd op de mediaan van 100 gesimuleerde realisaties van stambuisregressiemodellen.



Figuur 44 Mediane absolute afwijking (mad) van de geschatte GHG's en GLG's voor de gerichte-opnamelocaties, in cm. De mad's zijn gecorrigeerd om de consistentie met de standaardafwijking van een normale verdeling te bewerkstelligen.

7.4 Analyse van ruimtelijke structuur

7.4.1 Inleiding

Figuur 43 geeft een ruimtelijk beeld van de GxG's op de locaties waar de grondwaterstand gericht is opgenomen. Om een gebiedsdekkend beeld van GxG's te krijgen is een model van ruimtelijke structuur nodig. Met dit model kunnen voorspellingen voor niet-bezochte locaties worden berekend, door de waarden in Figuur 43 te wegen. De gewichten worden bepaald door de afstand tot het voorspelpunt en de configuratie van de waarnemingslocaties.

Naarmate punten verder uit elkaar liggen, zal de overeenstemming in GxG afnemen. Deze ruimtelijke samenhang wordt beschreven met een semivariogram. Voor zowel de GHG als de GLG hebben we een Matérn semivariogram gefit, dat de volgende algemene vorm heeft:

$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 \text{ als } \mathbf{h}=0$$

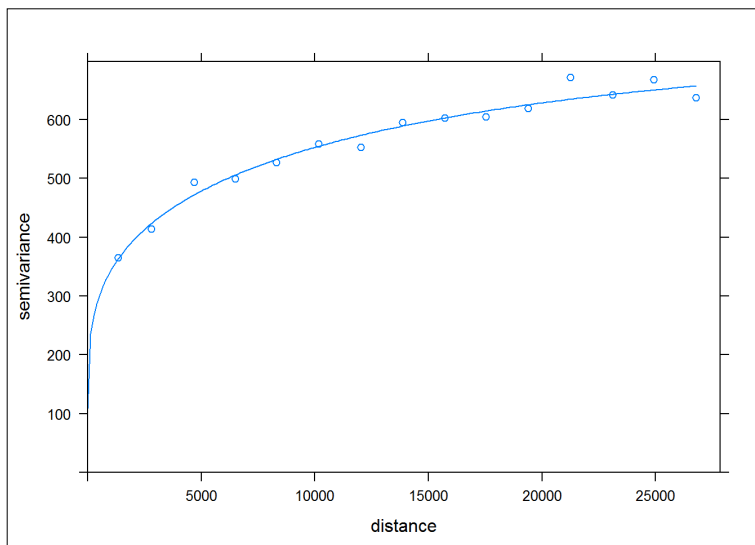
$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c_1 \left\{ 1 - \frac{2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha} \right)^\nu K_\nu \left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha} \right) \right\} \text{ als } \mathbf{h}>0$$

waarin c_0 de variantie op zeer korte afstanden als gevolg van bijvoorbeeld meetfouten is, $c_0 + c_1 = \sigma^2$ de maximale variantie op grote afstand of *sill* is, α een schaal- of rangeparameter, ν een vormparameter, $\Gamma(\cdot)$ de gammafunctie, $K_\nu(\cdot)$ de aangepaste Besselfunctie van de tweede soort en orde ν en $|\mathbf{h}|$ de norm van de afstandsvector \mathbf{h} .

7.4.2 Semivariogram voor GHG

Figuur 45 geeft het semivariogram van de GHG is weer. Het semivariogrammodel (lijn) is gefit door het experimentele semivariogram (cirkelvormige punten) dat uit de waarnemingen is berekend. De nuggetparameter, c_0 , is 95.25 cm², wat betekent dat er variatie op zeer korte afstand is. De *sill*-parameter, $c_0 + c_1$, is 724.98 cm². De *range*-parameter α is 25475.19 en de vormparameter ν is 0.14.

De variatie op korte afstand, weergegeven door de nuggetparameter c_0 , heeft als mogelijke oorzaken i) de onnauwkeurigheid van de GHG die voor een gerichte-opnamelocatie is geschat, ii) variatie op korte afstand als gevolg van opbolling van de grondwaterstand tussen ontwateringsmiddelen zoals drains en sloten, en iii) verschillen in maaiveldshoogte.

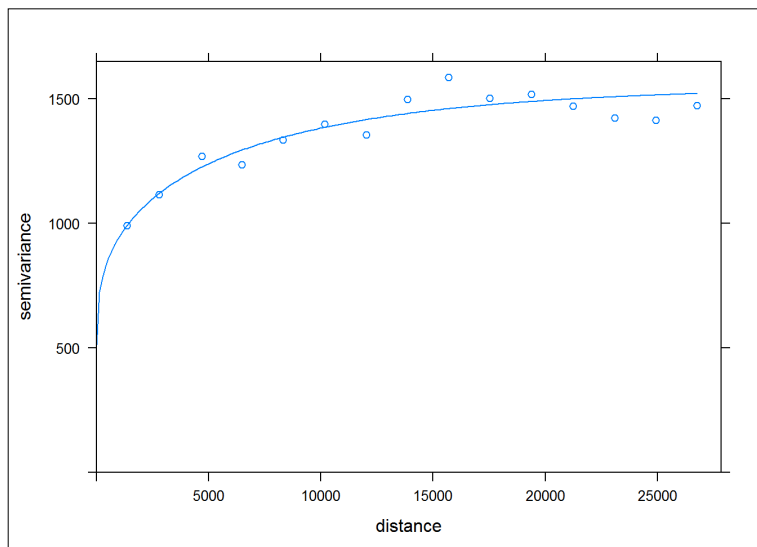


Figuur 45 Semivariogram voor de GHG. Afstand in m, semivariantie in cm².

7.4.3 Semivariogram voor GLG

Figuur 46 geeft het semivariogrammodel (lijn) van de GLG, gefit door het experimentele semivariogram (cirkelvormige punten) dat uit de waarnemingen is berekend. De nuggetparameter, c_0 , is 499.9225 cm², wat betekent dat er meer variatie op zeer korte afstand is dan bij de GHG. De *sill*-parameter, $c_0 + c_1$, is 1548.6375 cm². De *range*-parameter α is 11182.68 en de vormparameter ν is 0.17.

De variatie op korte afstand, weergegeven door de nuggetparameter c_0 , heeft als mogelijke oorzaken i) de onnauwkeurigheid van de GLG die voor een gerichte-opnamelocatie is geschat, ii) variatie op korte afstand als gevolg van verschillen in beregning en waterinlaat in de zomer, en iii) verschillen in maaiveldshoogte.

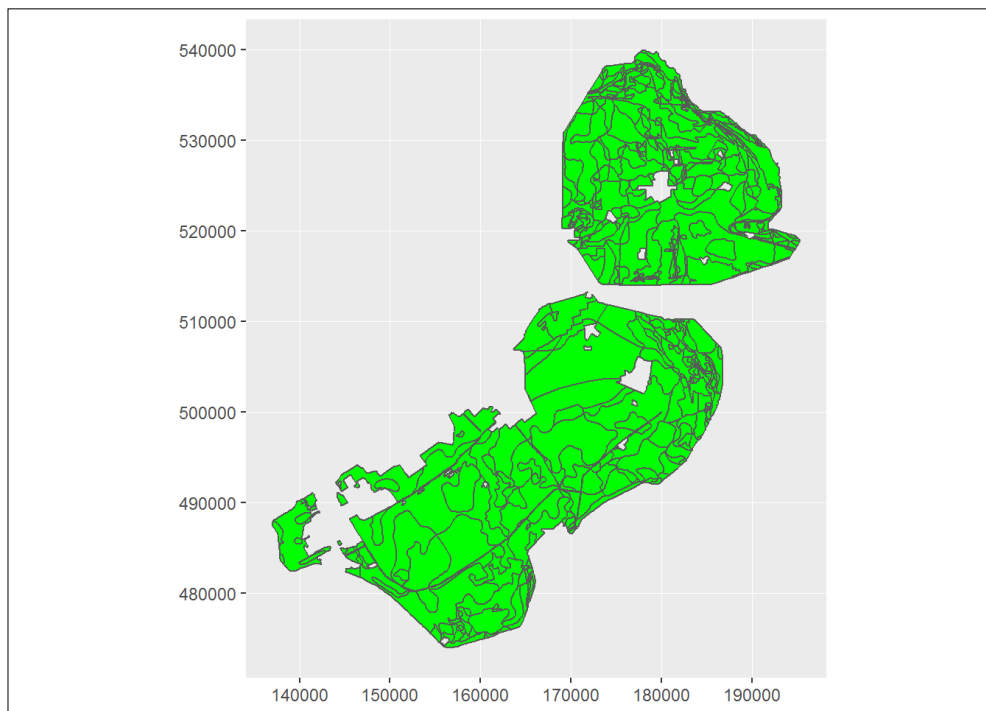


Figuur 46 Semivariogram van de GLG. Afstand in m, semivariantie in cm^2 .

7.5 Ruimtelijke interpolatie

7.5.1 Voorspelgrid

Het 50x50 m interpolatiegrid is afgeleid van een vectorbestand dat is weergegeven in Figuur 47.

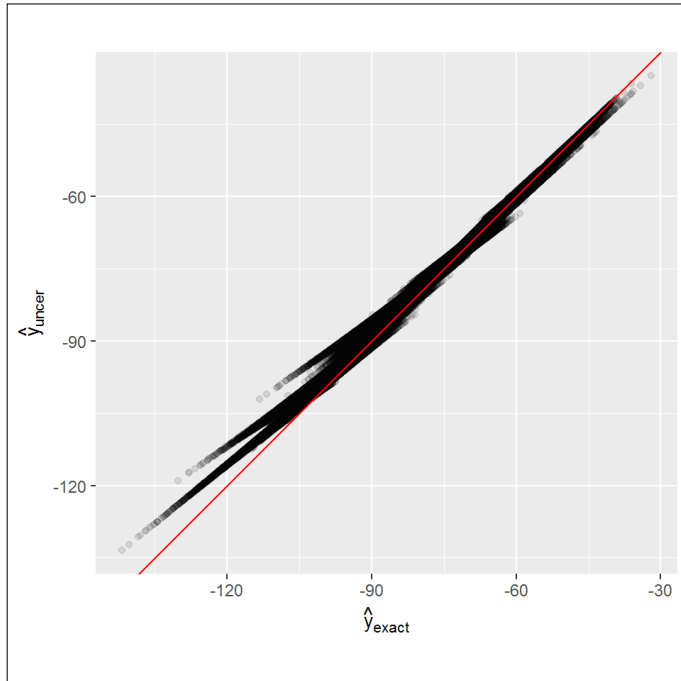


Figuur 47 Vectorbestand 'Gd_doelgebied_2018' waarvan het 50x50 m interpolatiegrid is afgeleid

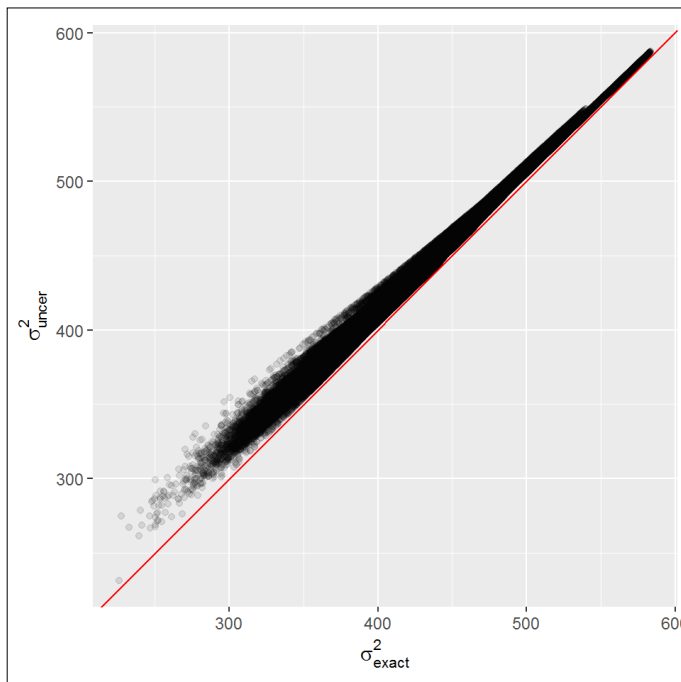
De GHG's en GLG's die zijn geschat voor de gerichte-opnamelocaties zijn ruimtelijk geïnterpoleerd met 'ordinary kriging'. Dit is een geostatistische interpolatiemethode die gewichten voor de waarden op de gerichte-opnamelocaties afleidt van de semivariogrammen in Figuur 45 en Figuur 46 (Goovaerts, 1997). Bij de interpolatie is expliciet rekening gehouden met de nauwkeurigheid waarmee de GHG's en de GLG's voor de gerichte-opnamelocaties zijn geschat. Deze schattingen zijn medianen uit 100 gesimuleerde realisaties. Als maat voor de nauwkeurigheid gebruiken we de MAD (= Median Absolute Differences), wat een niet-parametrische vorm van een standaarddeviatie is. Hoe groter de MAD op een gerichteopnamelocatie, hoe lager de nauwkeurigheid en hoe minder de waarde voor deze locatie bijdraagt aan de kaart.

7.5.2 Interpolatie van GHG

Er zijn twee kaarten van de GHG gemaakt: één met ordinary kriging, zonder rekening te houden met de nauwkeurigheid van de GHG-schattingen voor de gerichte-opnamelocaties, en één met *ordinary kriging* waarbij deze nauwkeurigheid wél in rekening wordt gebracht. In Figuur 48 zijn de geïnterpoleerde waarden die volgens beide methoden zijn verkregen tegen elkaar uitgezet. Over het algemeen komen de waarden die met beide methoden zijn geïnterpoleerd overeen. De diepere GHG's worden echter minder diep geschat als rekening wordt gehouden met nauwkeurigheid.



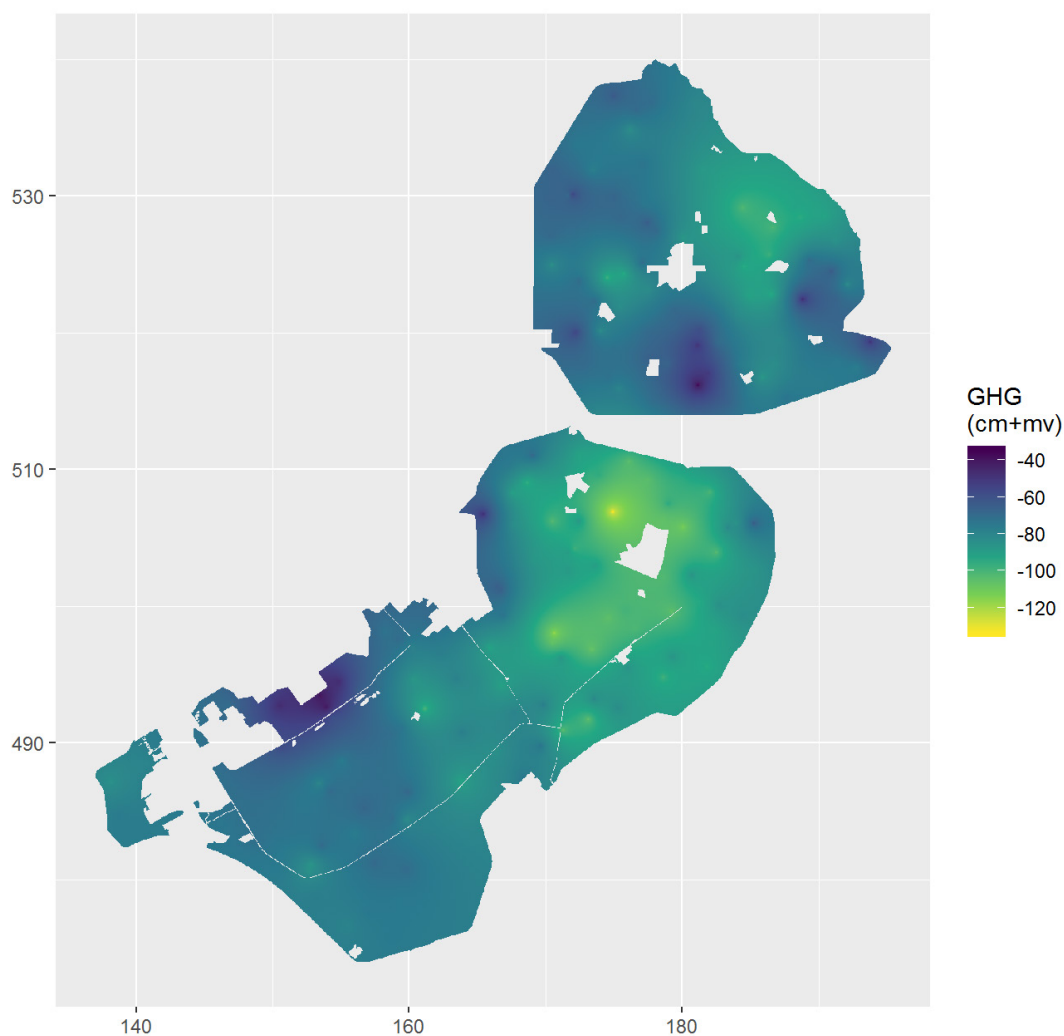
Figuur 48 GHG's, geïnterpoleerd met ordinary kriging waarbij nauwkeurigheid wel is verdisconteerd (\hat{Y}_{uncer}) versus GHG's, geïnterpoleerd met ordinary kriging waarbij nauwkeurigheid niet is verdisconteerd (\hat{Y}_{exact})



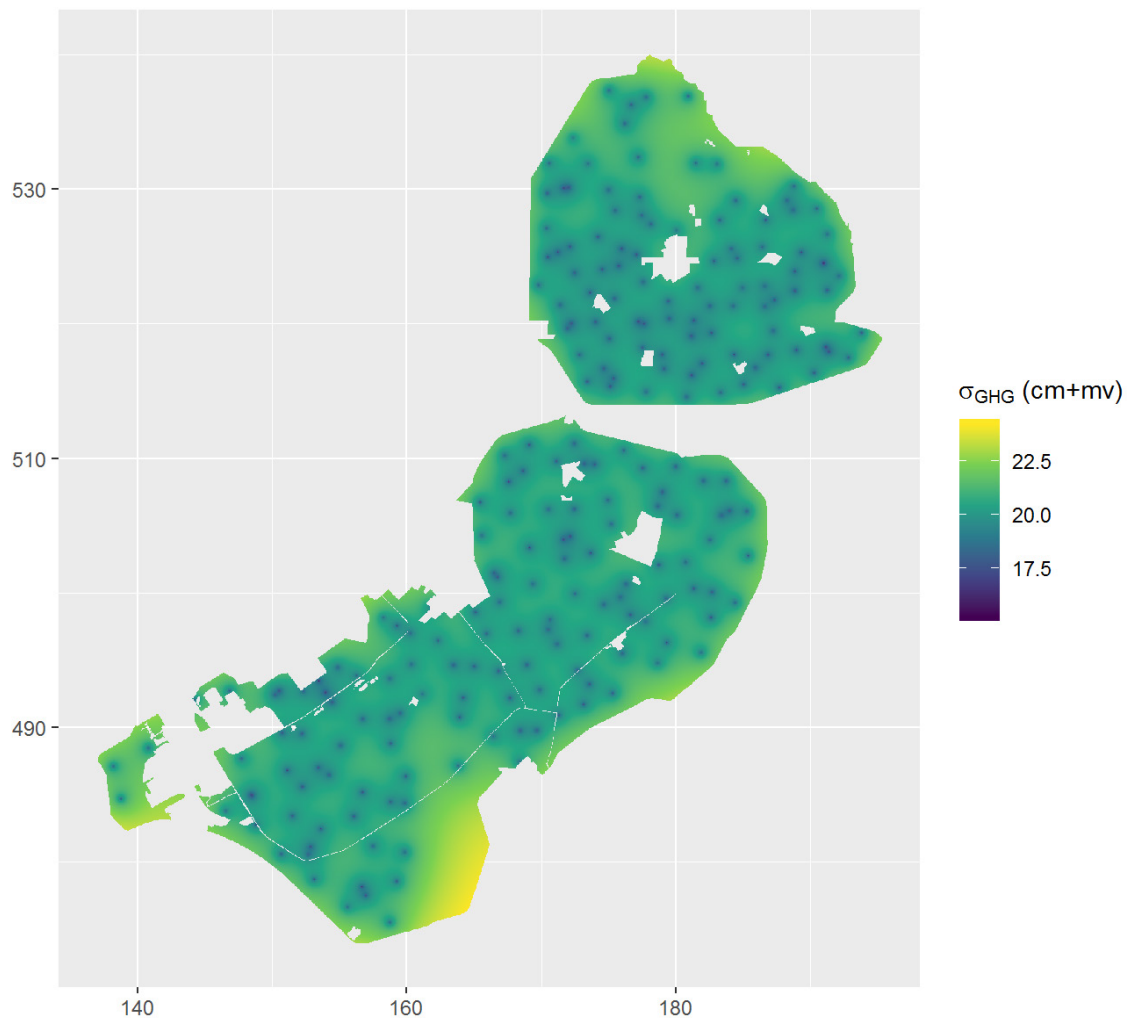
Figuur 49 Varianties van voorspelfouten, behorend bij ordinary kriging waarbij nauwkeurigheid wel is verdisconteerd (σ_{uncer}^2) versus varianties van voorspelfouten, behorend bij ordinary kriging waarbij nauwkeurigheid niet is verdisconteerd (σ_{exact}^2)

Analoog aan Figuur 48 zijn in Figuur 49 zijn de varianties van de voorspelfouten (krigingvarianties) behorend bij voorspellingen waarbij rekening is gehouden met nauwkeurigheid uitgezet tegen varianties van voorspelfouten behorend bij voorspellingen waarbij géén rekening is gehouden met nauwkeurigheid. Figuur 49 laat zien dat de variantie van de voorspelfout toeneemt wanneer de nauwkeurigheid van de GHG-schattingen voor gerichte-opnamelocaties in rekening wordt gebracht in *ordinary kriging*.

Figuur 50 geeft een kaart van de GHG, geïnterpoleerd met *ordinary kriging* waarbij rekening is gehouden met de nauwkeurigheid van de GHG-schattingen voor gerichte-opnamelocaties. Op deze kaart zien we de locaties van de gerichte-opnamelocaties terug, wat te verklaren is uit variatie op korte afstand, binnen percelen. Het maakt uit waar een waarnemingspunt op een perceel ligt: in het midden tussen of juist vlakbij ontwateringsmiddelen. Bij de definitieve BRO-Gd-kaart zou met deze variatie op korte afstand rekening moeten worden gehouden door de pixelgrootte (resolutie) en/of de klassebreedtes aan te passen. Merk op dat de voorlopige kaart in Figuur 50 een hoge resolutie en een continue schaal heeft. Figuur 51 geeft een kaart van de standaardafwijkingen van de voorspelfouten in GHG, als indicatie van de nauwkeurigheid gegeven het gehanteerde model van ruimtelijke structuur. De nauwkeurigheid is relatief gering in een deel van Zuidelijk Flevoland waar geen waarnemingslocaties zijn.



Figuur 50 Kaart van de GHG van de provincie Flevoland, geïnterpoleerd met *ordinary kriging* waarbij rekening is gehouden met de nauwkeurigheid van geschatte GHG's voor gerichte-opnamelocaties

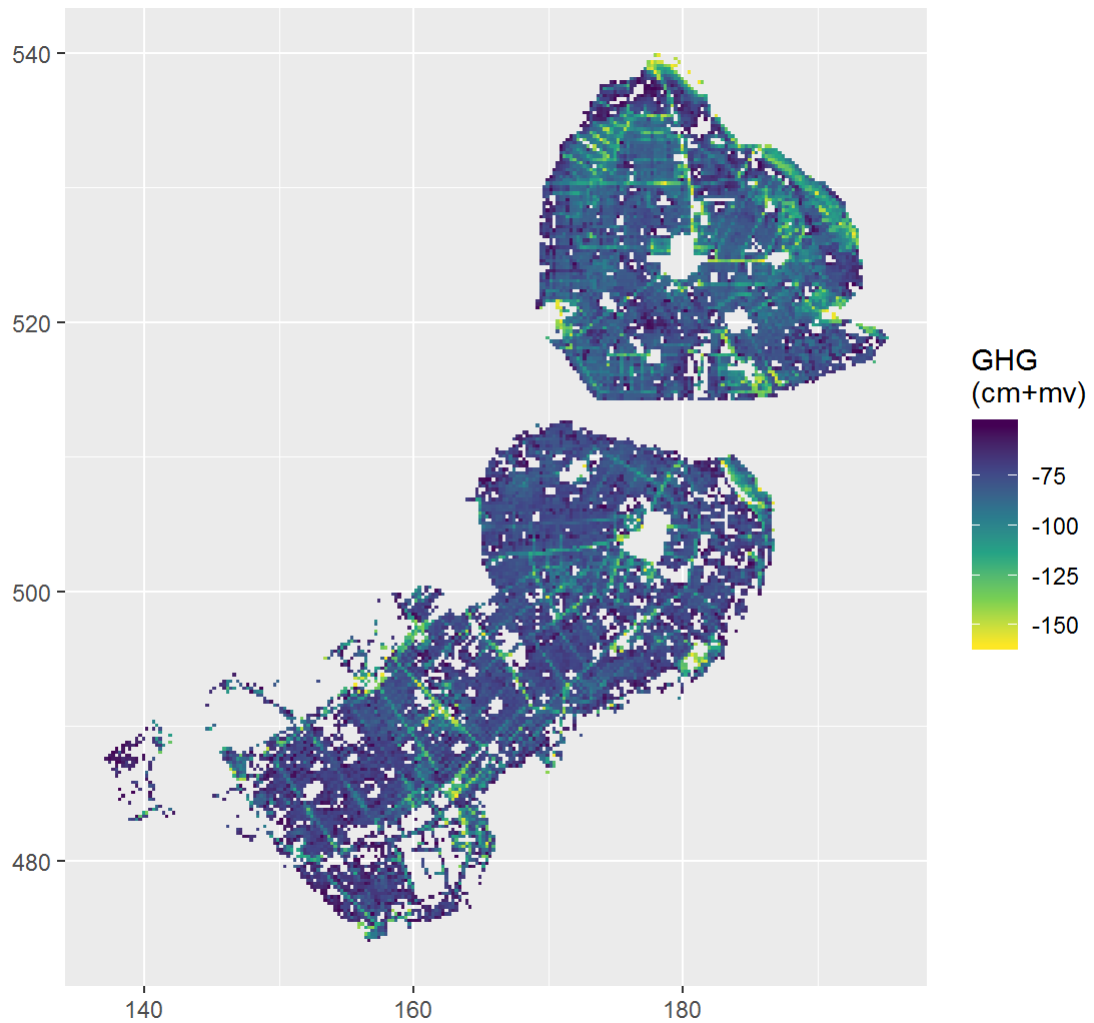


Figuur 51 Standaardafwijkingen van de voorspelfouten in GHG (Figuur 50)

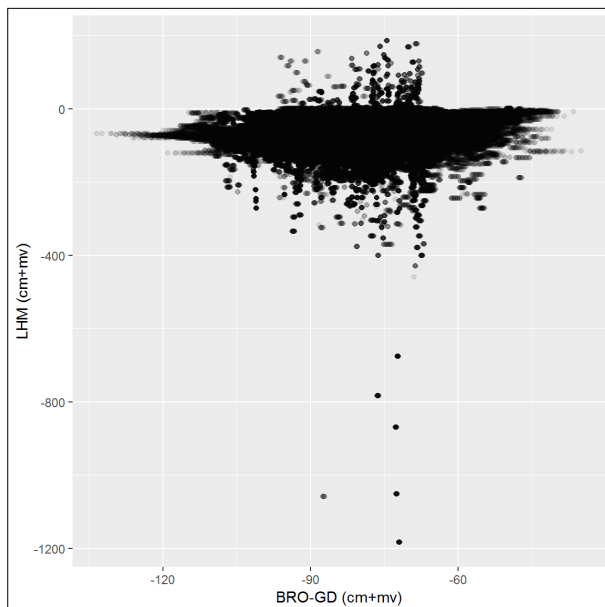
7.5.3 Vergelijking geactualiseerde GHG met de GHG volgens het Landelijk Hydrologisch Model

De GHG-kaart volgens de BRO-Gd-kartering in Figuur 50 is vergeleken met de kaart van GHG's die zijn berekend met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), versie 3.4.0. Figuur 52 geeft deze kaart weer.

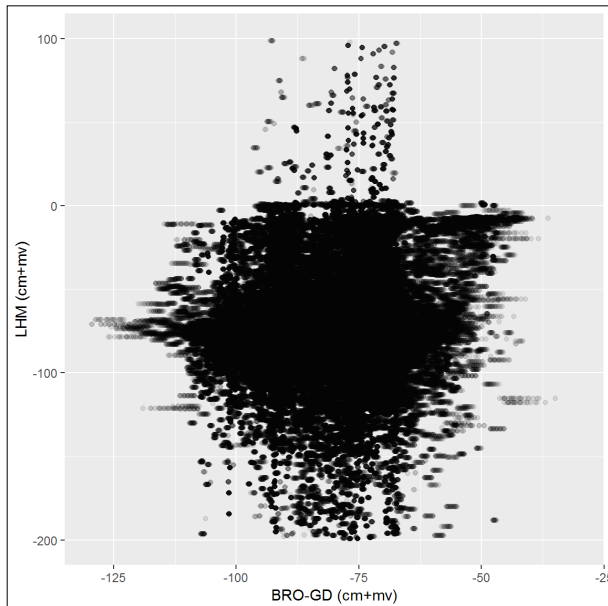
In de *scatter plot* in Figuur 53 worden de kaarten uit Figuur 50 en Figuur 52 pixelgewijs met elkaar vergeleken. Van een overeenkomst tussen beide kaarten lijkt geen sprake te zijn. Opmerkelijk is dat voor een aantal locaties de LHM-kaart aanmerkelijk diepere GHG's geeft dan de GHG-kaart volgens de Gd-kartering, maar voor het grootste deel voornamelijk ondiepere GHG's geeft. In Figuur 54 is ingezoomd op een deel van Figuur 53, maar ook hier is geen verband tussen beide kaarten zichtbaar. Figuur 55 is als het ware een kaart van Figuur 54, waarin de frequentie van de punten per oppervlakte-eenheid in de *scatter plot* is geteld. Ook deze grafiek geeft geen indicatie van een overeenkomst tussen beide kaarten. Omdat het hier om een vergelijking van twee kaarten gaat en niet om een validatie aan onafhankelijke waarnemingen, kan aan het gebrek aan overeenstemming geen conclusie over de kwaliteit van beide kaarten worden getrokken.



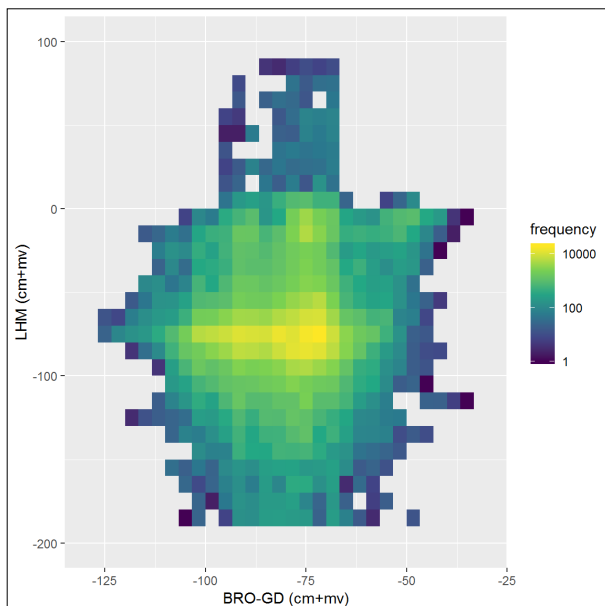
Figuur 52 De GHG in Flevoland, berekend voor de provincie Flevoland, met LHM versie 3.4.0.



Figuur 53 Scattergram van de GHG volgens LHM (zie Figuur 52) versus BRO-GD 2018, berekend in dit project, zie Figuur 50



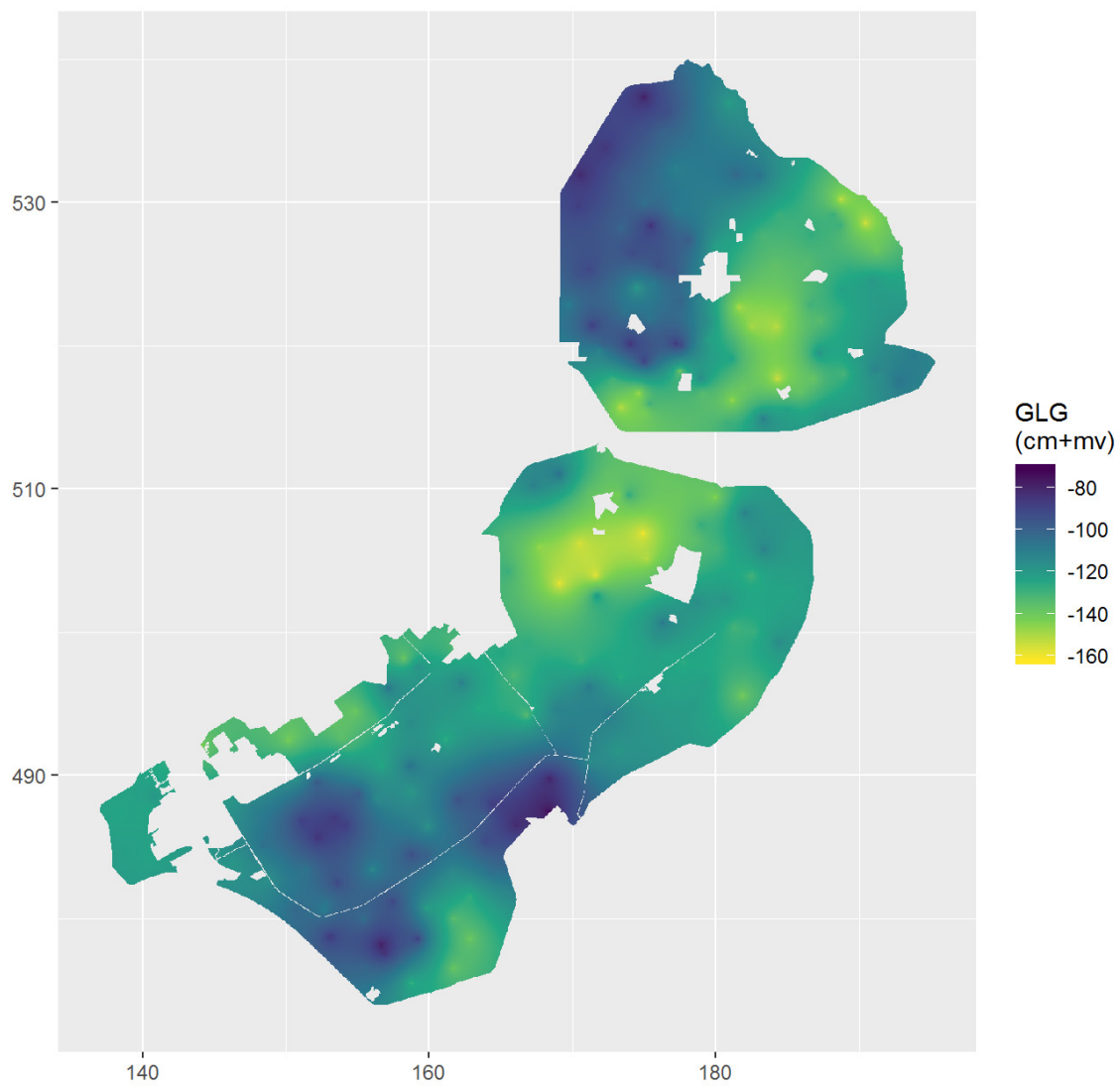
Figuur 54 Ingezoomd scattergram van de GHG volgens LHM (zie Figuur 12) versus BRO-GD 2018, berekend in dit project, zie Figuur 50



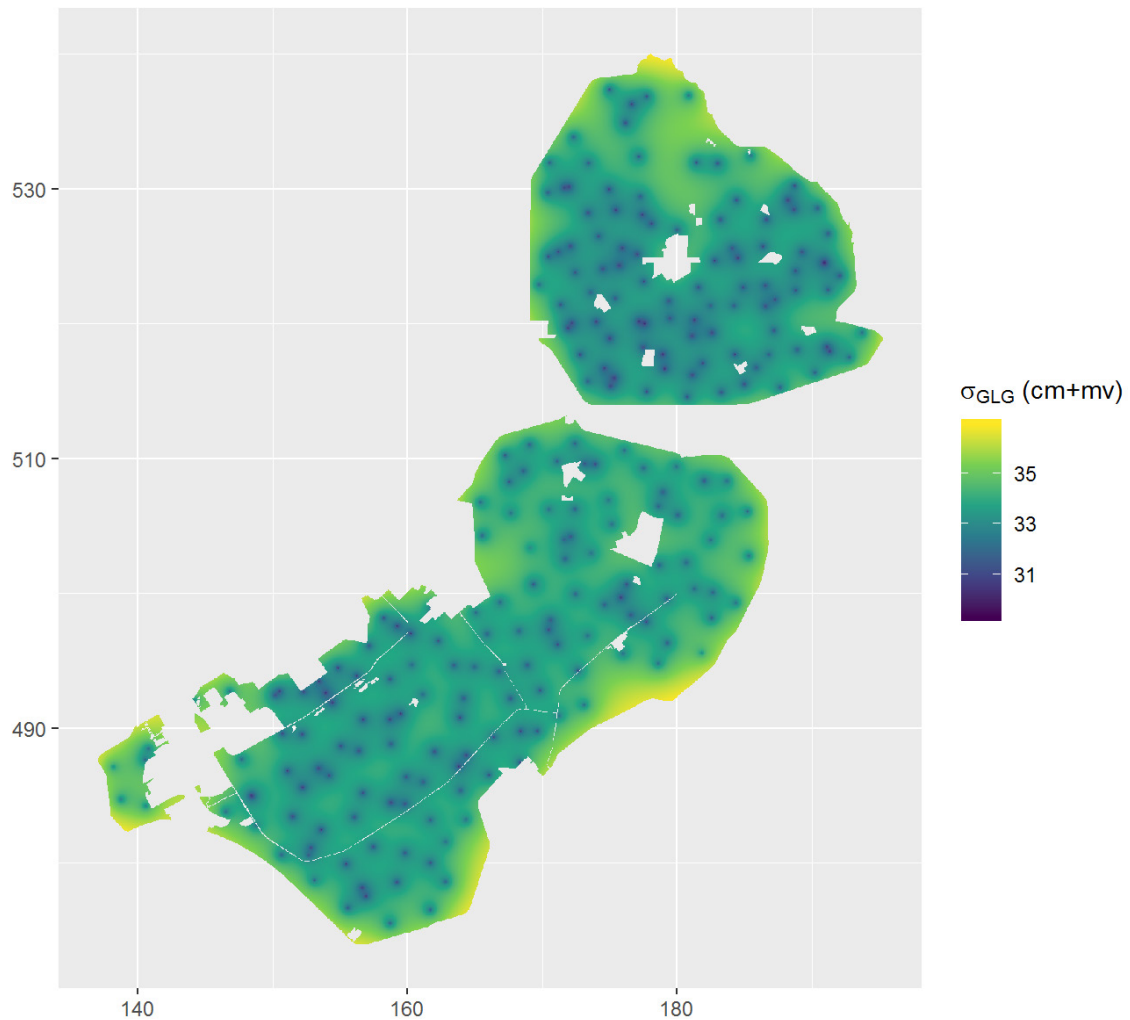
Figuur 55 Ingezoomd scattergram van de GHG volgens LHM (zie Figuur 12) versus BRO-GD 2018, berekend in dit project, gekleurde pixels, zie Figuur 50

7.5.4 GLG

Figuur 56 geeft een GLG-kaart voor de provincie Flevoland, geïnterpoleerd met behulp van *ordinary kriging* waarbij rekening is gehouden met de nauwkeurigheid van de GLG's die voor de gerichte-opnamelocaties zijn geschat. Figuur 57 geeft een kaart van de standaardafwijkingen van de voorspelfouten in GHG, als indicatie van de nauwkeurigheid gegeven het gehanteerde model van ruimtelijke structuur. De nauwkeurigheid is relatief gering aan de randen van de kaart vanwege een lagere waarnemingsdichtheid.



Figuur 56 Kaart van de GLG van de provincie Flevoland, geïnterpoleerd met ordinary kriging waarbij rekening is gehouden met de nauwkeurigheid van geschatte GLG's voor gerichte-opnamelocaties



Figuur 57 Standaardafwijkingen van de voorspelfouten in GLG (Figuur 56)

7.5.5 Mogelijkheden tot verbetering

De kaarten die met *ordinary kriging*, rekening houdend met nauwkeurigheid van GxG's op gerichte-opnamelocaties, zijn verkregen (Figuur 50 en Figuur 56) kunnen nog worden verbeterd door de volgende bronnen van hulpinformatie die onlangs beschikbaar zijn gekomen te benutten bij de ruimtelijke interpolatie:

1. De Gt-kaart die in 2018 is gemaakt op basis van de Gt-actualisatie door Hoogland *et al.* (2014), zie Knotters *et al.* (2018).
2. De veldschattingen van GHG en GLG die recent op een groot aantal boorlocaties zijn verricht tijdens de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland (Brouwer *et al.*, 2018), zie ook paragraaf 4.4.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De inventarisatie van grondwaterstandsdynamiek die in dit rapport is beschreven draagt bij aan het eerste doel van het project 'BRO-Gd 2017', namelijk de ontwikkeling van een landsdekkend Gd-bestand. Voor Flevoland zijn, als eerste gebied in Laag-Nederland, kaarten van GHG's en GLG's gemaakt met een resolutie van 50 x 50 m en met gekwantificeerde nauwkeurigheid op pixelniveau. Uit de ervaring die is opgedaan tijdens deze inventarisatie kan het volgende worden geconcludeerd:

1. In tegenstelling tot Hoog-Nederland (Finke *et al.*, 2005) is in gebieden met beheerste peilen het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN) geen bruikbare bron van hulpinformatie bij de kartering van de grondwaterdynamiek.
2. De korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's kan groot zijn in gebieden met een beheerst peil zoals Flevoland, als gevolg van de afstand tot ontwateringsmiddelen en verschillen in berekening en peilbeheer.
3. De beschikbare informatie over peilbeheer blijkt voor Flevoland niet toereikend te zijn om de korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's te kunnen beschrijven.

8.2 Aanbevelingen

1. Wij bevelen aan om de Gd-kaart die uit de inventarisatie die in dit rapport is beschreven volgt verder te verbeteren door de volgende bronnen van hulpinformatie die onlangs beschikbaar zijn gekomen te benutten bij de ruimtelijke interpolatie:
 - a. de Gt-kaart die in 2018 is gemaakt op basis van de Gt-actualisatie door Hoogland *et al.* (2014), zie Knotters *et al.* (2018);
 - b. de veldschattingen van GHG en GLG die recent op een groot aantal boorlocaties zijn verricht tijdens de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland (Brouwer *et al.*, 2018), zie ook paragraaf 4.4.
2. De korte-afstandsvariatie van GHG's en GLG's maakt keuzes voor lagere resolutie of bredere klassegrenzen op de kaart van de grondwaterdynamiek noodzakelijk. Wij bevelen aan de klassebreedtes zoveel mogelijk met de Gt-classificatie (Ten Cate *et al.*, 1995) in overeenstemming te laten zijn.
3. Tussen de GHG- en GLG-kaarten die uit deze actualisatie zijn verkregen en die zijn berekend met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) bleek geen overeenstemming te zijn. Omdat beide kaarten modellen zijn kan uit deze vergelijking geen conclusie over kwaliteit worden opgemaakt. Wij bevelen validatie op basis van additionele waarnemingen aan om de kwaliteit van GHG- en GLG-kaarten vast te stellen.

Literatuur

- Brouwer, F., F. de Vries en D.J.J. Walvoort (2018). Basisregistratie Ondergrond (BRO) Actualisatie bodemkaart; Herkartering van de bodem in Flevoland. WOt-technical report 143. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, WUR.
- Braak, W.E.W. van den, B.J.A. de Graaff, M.R. Bakker en G.P. van Wijk (2006). Herziening schematisatie oppervlaktewater MOZART in 'peilbeheerst' Nederland. Lelystad, HKV lijn in water.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45: 5-32.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995). Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 19B.
- Delsman, J. (2006). Verbeterde schematisering van het oppervlaktewater in Mozart in hellend Nederland. *Stromingen* 12(4): 5-14.
- Efron, B. en Tibshirani, R.J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall. London/ New York/ Washington.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries (2005). Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie. *Stromingen* 11(1): 27-41.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop (2010). Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. Amersfoort, Stowa, rapport 2010-41.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press; Applied Geostatistics Series.
- Gruijter, J.J. de, J.B.F. van der Horst, G.B.M. Heuvelink, M. Knotters en T. Hoogland (2004). Grondwater opnieuw op de kaart. Methodiek voor de actualisering van grondwaterstands-informatie en perceelsclassificatie naar uitspoelingsgevoeligheid voor nitraat. Wageningen, Alterra, rapport 915.
- Hastie, T., R. Tibshirani en J. Friedman (2009). *The elements of statistical learning. Data mining, inference, and prediction*. Second Edition. Springer, New York.
- Helsel, D.R. (2012). *Statistics for censored environmental data using Minitab® and R*. Hoboken, New Jersey, John Wiley and Sons.
- Hoogland, T., M. Knotters, M. Pleijter en D.J.J. Walvoort (2014). Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland; resultaten van het veldonderzoek. Wageningen, Alterra, rapport 2612.
- Knotters, M., D. Walvoort, F. Brouwer, L. Stuyt en J. Okx (2018). Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen digitaal beschikbaar. *H₂O Online*, 28 november 2018.
- Lange, W. de en W. Borren (2014). Grondwatermodel AZURE versie 1.0. Delft, Deltares.
- Massop, H.T.L., J. Clement en C. Schuiling (2014). Plassen op het land. Een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling. Wageningen-UR, Alterra-rapport 2546.
- Massop, H.T.L. en C. Schuiling (2016). Buisdrainagekaart 2015. Update landelijk buisdrainagekaart op basis van de landbouwmetingen van 2012. Wageningen-UR, Alterra-rapport 2700.
- Ritzema, H.P., G.B.M. Heuvelink, M. Heinen, P.W. Bogaart, F.J.E. van der Bolt, M.J.D. Hack-ten Broeke, T. Hoogland, M. Knotters, H.T.L. Massop and H.R.J. Vroon (2012). Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Wageningen, Alterra, rapport 2345.
- Riele, W.J.M. te en D.J. Brus (1991). Methoden van gerichte grondwaterstandmetingen voor het schatten van de GHG. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 158.
- Snepvangers, J., A. Veldhuizen, G. Prinsen en J. Delsman (2008). Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI. Modelrapportage; NHI, Hoofdrapport.
- Strobl, C., A.-L. Boulesteix, A. Zeileis en T. Hothorn (2007). Bias in random forest variable importance measures: illustrations, sources and a solution. *BMC Bioinformatics* 8:25.

-
- Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, T. Hoogland, D.J. Brus, F. de Vries en A.H. Heidema (2017). BasisRegistratie Ondergrond (BRO) – Actualisatie Gt/Gd. Wageningen, Wageningen Environmental Research Rapport 2797.
- Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn (2004). Van Gidslaag naar hydrogeologische eenheid. Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. Utrecht, TNO-rapport NITG 05-038B.
- Walvoort, D.J.J., D.J. Brus en J. J. and de Gruijter (2010). An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. *Computers & Geosciences* 36: 1261-1267 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2010.04.005>).
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum (1992). Cultuurtechnisch Vademecum. Utrecht, Vereniging voor Landinrichting.
- Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman (2012). BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, rapport 2387.







Verantwoording

Dit project werd begeleid door drs. F. Lips van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De werkwijze werd afgestemd met de Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland.

De gegevens zijn verzameld en verwerkt conform de eisen van de Wet Basisregistratie Ondergrond. Alle verzamelde boorgegevens zijn geleverd aan de Landelijke Voorziening Basisregistratie Ondergrond. De geactualiseerde Kaart Grondwaterdynamiek van de Provincie Flevoland is ingebouwd in de Kaart Grondwaterdynamiek Nederland en wordt beschikbaar gemaakt via Publieke Dienstverlening op de Kaart (PDOK).

Frans Lips (LNV) en Joop Okx (Wageningen Environmental Research) hebben het rapport beoordeeld.

Bijlage 1 Formulier controle peilbuizen

Peilbuis ID	B 4 3 E 0 2 8 0
Coördinaten 1	82541 422459
Coördinaten 2	N 51° 47' 09.9" E 004° 20' 13.3"
Opgenomen door	R.A.L. Kselik
Datum	16 / 05 / 2017
Locatie	Oosthoekse dijk Piershil
Provincie	Zuid-Holland
Ligging	Goed, in weiland redelijk ver van dijk
Eigenaar	Niet bekend
Hoogte BB t.o.v. mv (cm)	Hoog A: 70 cm + mv Mid B: 66 cm + mv Laag C: 61 cm + mv
GWS t.o.v. mv (cm)	buis A: 124 cm – mv buis B: 82 cm – mv buis C: 73 cm - mv
Buislengte (cm)	buis A: 310 cm buis B: > 500 cm buis C: > 500 cm
Afwerking	Metalen mantelbuis; Buijs installatie
Voorzien van recorder	nee
Hangslot?	Nee, schroef slot zie foto
	nee
	nee
	nee
	nee
	nee
	nee
waterpomptang	nee
combinatietang	nee
steeksleutelset	nee
dopsleutelset	nee
bahco	nee



Kaartfragment Motion Pencomputer



Situatieschets

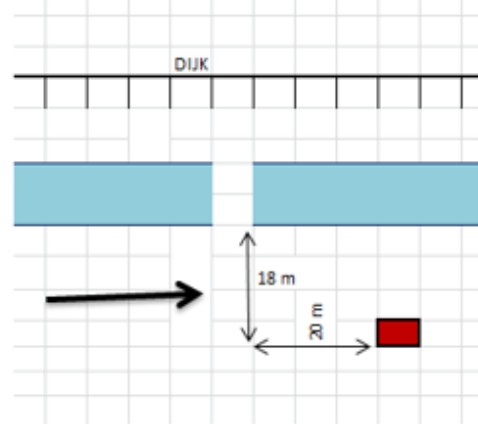


Foto 1



Foto 2



Foto 3



Staafdiagram bodemprofiel (NEN5104)

Verschenen documenten in de reeks Technical reports van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu vanaf 2017

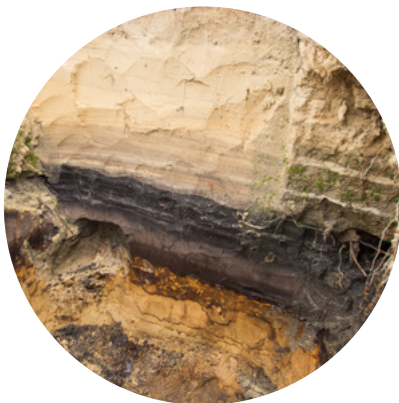
WOT-technical reports zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; E info.wnm@wur.nl

WOT-technical reports zijn ook te downloaden via de website www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

88	Mol-Dijkstra, J.P. & G.J. Reinds (2017). <i>Technical documentation of the soil model VSD+; Status A</i>	103	Buijs, A.E., B.H.M. Elands & C.S.A. van Koppen (2017) <i>Vijftientig jaar burgerbetrokkenheid in het natuurbeleid. Analyse van beleidsdiscoursen en publiek draagvlak</i>
89	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2017). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2016</i>	104	Cremer, J.S.M., S.M.J.M. Brasseur., A. Meijboom, J. Schop & J.P. Verdaat (2017). <i>Monitoring van gewone en grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee, 2002-2017</i>
90	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2017). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2014. Berekningen met het model NEMA</i>	105	Glorius, S.T., A. Meijboom, J.T. van der Wal & J.S.M. Cremer (2017). <i>Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2016</i>
91	Os van, J., M.G.T.M. Bartholomeus, L.J.J. Jeurissen & C.G. van Reenen (2017). <i>Rekenregels rundvee voor de landbouwtelling. Verantwoording van het gebruik van I&R gegevens voor de landbouwtelling</i>	106	Hennekens, S.M., W.A. Ozinga & J.H.J. Schaminée (2017). <i>BioScore 3 – Plants. Background and pre-processing of distribution data</i>
92	Haas, W. de, R.J. Fonteijn & M. Pleijte (2017). <i>Is eenvoudig beter? Twee essays natuur en landschap in het nieuwe omgevingsbeleid</i>	107	Melman, Th.C.P., M.H.C. van Adrichem, M. Broekmeyer, J. Clement, R. Jochem, H.A.M. Meeuwssen, F.G.W.A. Ottburg, A.G.M. Schotman & T. Visser (2017). <i>Natuurcombinaties en Europese natuurdoelen; Ontwikkeling van een methode om natuurdoelen te realiseren buiten het Natuurnetwerk Nederland</i>
93	Schuiling, C., A.M. Schmidt, I.J. La Rivière & R.A. Smidt (2017). <i>Beschermde gebiedenregister; Technische documentatie, Status A.</i>	108	Vries, S. de, W. Nieuwenhuizen & J.M.J. Farjon (2017) <i>HappyHier: hoe gelukkig is men waar?; Gegevensverzameling en bepaling van de invloed van het type grondgebruik - deel I.</i>
94	Henkens, R.J.H.G., M.M.P. van Oorschot en J. Ganzevles (2017). <i>Bijdrage van Green Deals aan de beleidsdoelen voor natuur en biodiversiteit</i>	109	Overbeek, M.M.M., E. Smeets & D. Verhoog (2017). <i>Biobased materialen, circulaire economie en natuurlijk kapitaal.</i>
95	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2017). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2017</i>	110	Pouwels, R., G.W.W. Wameling, M.H.C. van Adrichem, R. Jochem, R.M.A. Wegman en B. de Knecht. (2017). <i>MetaNatuurplanner v4.0 - Status A; Toepassing voor Evaluatie Natuurpact</i>
96	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, L. Solé & A. Gröne (2017). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2016.</i>	111	Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2017). <i>Advies Mestverwerkingspercentages 2018.</i>
97	Verburg, R.W., W.H.G.J. Hennen, L.F. Puister, R. Michels & K. van Duijvendijk (2017). <i>Estimating costs of nature management in the European Union; Exploration modelling for PBL's Nature Outlook</i>	112	Koffijberg K., J.S.M. Cremer, P. de Boer, J. Nienhuis, H. Schekkerman, J. Postma & K. Oosterbeek (2017). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee. Resultaten 2015-2016 en trends in broedsucces in 2005-2016.</i>
98	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2017). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2015. Berekningen met het model NEMA</i>	113	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2018). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2018</i>
99	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman & J. Bovenschen (2017). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2016/2017</i>	114	Bos-Groenendijk, G.I. en C.A.M. van Swaay (2018). <i>Standaard Data Formulieren Natura 2000-gebieden; Aanvullingen vanwege wijzigingen in Natura 2000-aanwijzingsbesluiten</i>
100	Adriaanse, P.I. & W.H.J. Beltman (2017) <i>Comparison of pesticide concentrations at drinking water abstraction points in The Netherlands simulated by DROPLET version 1.2 and 1.3.2 model suites</i>	115	Vonk, J., S.M. van der Sluis, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar & G.L. Velthof (2018.) <i>Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018. Calculations of CH4, NH3, N2O, NOx, PM10, PM2.5 and CO2 with the National Emission Model for Agriculture (NEMA)</i>
101	Daamen, W.P., A.P.P.M. Clerckx & M.J. Schelhaas (2017). <i>Veldinstructie Zevende Nederlandse Bosinventarisatie (2017-2021).</i>		
102	Boer, T.A. de & F.L. Langers (2017). <i>Maatschappelijk draagvlak voor natuurbeleid en betrokkenheid bij natuur in 2017</i>		

116	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, & A. Gröne (2018). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2017. Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>
117	Mattijssen, T.J.M. & I.J. Terluin (2018). <i>Ecologische citizen science; een weg naar grotere maatschappelijke betrokkenheid bij de natuur?</i>
118	Aalbers, C.B.E.M., D. A. Kamphorst & F. Langers (2018). <i>Bedrijfs- en burgerinitiatieven in stedelijke natuur. Hun succesfactoren en knelpunten en hoe de lokale overheid ze kan helpen slagen.</i>
119	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2018). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA</i>
120	Sanders, M.E., F. Langers, R.J.H.G. Henkens, J.L.M. Donders, R.I. van Dam, T.J.M. Mattijssen & A.E. Buijs (2018). <i>Maatschappelijke initiatieven voor natuur en biodiversiteit; Een schets van de reikwijdte en ecologische effecten en potenties van maatschappelijke initiatieven voor natuur in feiten en cijfers</i>
121	Farjon, J.M.J., A.L. Gerritsen, J.L.M. Donders, F. Langers & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Conditie voor natuurinclusief handelen. Analyse van vier praktijken van natuurinclusief ondernemen</i>
122	Gerritsen, A.L., D.A. Kamphorst & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Instrumenten voor maatschappelijke betrokkenheid. Overzicht en analyse van vier cases</i>
123	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders, D.A. Kamphorst, H. Kramer & S. de Vries (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Analyse van de resultaten van een pilot en nulmeting in vier gemeenten</i>
124	Boonstra, F.G., Th.C.P. Melman, W. Nieuwenhuizen & A. Gerritsen (2018). <i>Aanpak evaluatie stelselvernieuwing agrarisch natuurbeheer; Uitgangspunten en opties voor een beleidsevaluatie</i>
125	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders & D.A. Kamphorst (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Methodiek, indicatoren en ervaring met pilot en nulmeting.</i>
126	Beltman, W.H.J., M.M.S. ter Horst, P.I. Adriaanse & A. de Jong (2018). <i>Manual for FOCUS_TOXSWA v5.5.3 and for expert use of TOXSWA kernel v3.3; User's Guide version 5</i>
127	Van der Heide, C.M. & M.M.M. Overbeek (2018). <i>Natuurinclusief handelen en ondernemen. Scopingstudie 'Bedrijven, economie en natuur'</i>
128	Langers, F. (2018). <i>Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 (Bezoek aan groenblauwe gebieden) op basis van data van het Continu Vrijtijdsonderzoek uit 2015</i>
129	Glorius, S.T., I.Y.M. Tulp, A. Meijboom, L.J. Bolle and C. Chen (2018). <i>Developments in benthos and fish in gullies in an area closed for human use in the Wadden Sea; 2002-2016</i>

130	Kamphorst, D.A & T.J.M. Mattijssen (2018). <i>Scopingstudie Vermaatschappelijking van natuur. Een overzicht van onderzoek bij Wageningen Universiteit & Research voor het Planbureau voor de Leefomgeving en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit</i>
131	Breman, B.C., T.J.M. Mattijssen & T.M. Stevens (2018). <i>Natuur 2.0. Het natuurdebat op social media.</i>
132	Vries, S. de & W. Nieuwenhuizen (2018) <i>HappyHier: hoe gelukkig is men waar?; Gegevensverzameling en bepaling van de invloed van het type grondgebruik, deel II</i>
133	Kistenkas, F.H., W. Nieuwenhuizen, D.A. Kamphorst & M.E.A. Broekmeyer (2018). <i>Natuur- en landschap in de Omgevingswet.</i>
135	Sanders, M.E. (2018). <i>Voortgang realisatie natuurnetwerk. Technische achtergronden bij de digitale Balans van de Leefomgeving 2018</i>
136	Koffijberg K., J.S.M. Cremer, P. de Boer, J. Nienhuis, K. Oosterbeek & J. Postma (2018). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2017</i>
137	Egmond, F.M. van, S. van der Veeke, M. Knotters, R.L. Koomans, D. Walvoort, J. Limburg (2018). <i>Mapping soil texture with a gamma-ray spectrometer: comparison between UAV and proximal measurements and traditional sampling; Validation study</i>
138	Glorius, S.T., A. Meijboom, J.T. Wal van der, J.S.M. Cremer (2018). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; situatie 2017.</i>
139	Berg, F. van den, A. Tiktak, D.W.G. van Kraalingen, J.G. Groenwold & J.J.T.I. Boesten (2018). <i>User manual for GeoPEARL version 4.4.4.</i>
140	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman & J. Bovenschen (2018). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2017/2018</i>
141	Muskens G.J.D.M., M.J.J. La Haye, R.J.M. van Kats & A.T. Kuiters (2018). <i>Ontwikkeling van de hamsterpopulatie in Limburg. Stand van zaken voorjaar 2018</i>
142	Glorius, S.T. (2018). <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage twaalf jaar na sluiting (najaar 2017).</i>
143	Brouwer, F., F. de Vries en D.J.J. Walvoort (2018). <i>Basisregistratie Ondergrond (BRO); Actualisatie bodemkaart: herkartering van de bodem in Flevoland</i>
144	Knotters, M. en F.M. van Egmond (2018). <i>Selectie van inwinnings technieken voor bodemdata; Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag</i>
145	Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop (2018). <i>Basisregistratie Ondergrond - Gd-kartering Laag-Nederland 2018; Provincie Flevoland</i>



Thema Basisregistratie Ondergrond

Wettelijke Onderzoekstaken

Natuur & Milieu

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T (0317) 48 54 71

E info.wnm@wur.nl

ISSN 2352-2739

www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 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.

