



Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland

Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO)

P. Gerritsen, D.J.J. Walvoort & M. Knotters

| WOt-rapport 131



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland

Dit Rapport 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-rapporten' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOt-rapport 131 is het resultaat van onderzoek gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland

Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO)

Paul Gerritsen¹, Dennis Walvoort¹, Martin Knotters¹

¹ Wageningen Environmental Research

BAPS-projectnummer WOT-04-013-004

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, september 2021

WOt-rapport 131

ISSN 1871-028X

DOI 10.18174/547882

Referaat

Gerritsen, P., D.J.J. Walvoort, M. Knotters (2021). *Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland; Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO)*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-rapport 131. 50 blz.; 13 fig.; 1 tab.; 31 ref; 3 Bijlagen.

Doel van dit project is actuele kaarten te maken van de grondwaterspiegeldieptekarakteristieken GHG, GLG en Gt in het lage holocene deel van de provincie Friesland en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren. Daarmee draagt dit project bij aan de ontwikkeling van een landsdekkend grondwaterspiegeldieptemodel dat vanaf 2022 beschikbaar komt via de Basisregistratie Ondergrond. Het grondwaterspiegeldieptemodel wordt o.a. toegepast bij ruimtelijke planvorming, schadeberekeningen, natuurherstel en -ontwikkeling, aanwijzing van beschermingszones in het kader van de Europese Habitatrichtlijn, onderbouwing van derogatieaanvragen voor de Europese Nitraatrichtlijn en bij de beoordeling van werking en risico's van gewasbeschermingsmiddelen. De kartering in Friesland is uitgevoerd op basis van een gestratificeerde, enkelvoudig aselechte steekproef waarvoor bodemgesteldheid, perceelontwatering en de afstand tot sloten als basis dienden. In totaal zijn in 2019 en 2020 op 296 locaties grondwaterspiegeldieptes gemeten en bodemprofielbeschrijvingen gemaakt. Op basis van deze gegevens zijn kaarten van de GHG, de GLG, en de Gt vervaardigd.

Trefwoorden: grondwaterspiegeldiepte, GHG, GLG, Gt, Friesland, nauwkeurigheid, WDM, basisregistratie ondergrond

Abstract

Gerritsen, P., D.J.J. Walvoort, M. Knotters (2021). *Mapping water table depth in low-lying Friesland: Update of part of the Water Table Depth Model of the Key Registry of the Subsurface (BRO)*. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOT-rapport 131. 50 p.; 13 Figs; 1 Tabs; 31 Refs; 3 Annexes.

The aim of this project is to make up-to-date maps of three water table depth properties – average highest groundwater level (GHG), average lowest groundwater level (GLG) and water table class (Gt) – in the low-lying Holocene part of the province of Friesland, and to quantify the accuracy of these maps. This project is therefore a step in the development of a Water Table Depth Model (WDM) for the whole country, which will become available from 2022 via the National Key Registry of the Subsurface (BRO). The WDM has many uses, including for spatial and land use planning, calculation of crop damage, habitat restoration/creation, designation of special areas of conservation (EU Habitats Directive), supporting applications for derogation under the EU Nitrates Directive and the assessment of effectiveness and risks of plant protection products. The mapping in Friesland was carried out using a stratified simple random sampling design based on soil conditions, field drainage and distance to ditches. In 2019 and 2020, at a total of 296 locations water table depths were measured and soil profile descriptions were drawn up. Based on these data, maps of the average highest groundwater level (GHG), average lowest groundwater level (GLG) and water table class (Gt) were made.

Keywords: water table depth, GHG, GLG, Gt, Friesland, accuracy, WDM, Key Registry of the Subsurface

Foto omslag: Paul Gerritsen

© 2021 **Wageningen Environmental Research**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen/ Den Haag

Tel: (0317) 48 43 12; e-mail: paul1.gerritsen@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

WOT Natuur & Milieu is onderdeel van Wageningen University & Research.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/547882> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. De WOT Natuur & Milieu verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

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

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Het onderzoek dat wij in dit rapport beschrijven, draagt bij aan een actueel grondwaterspiegeldieptemodel voor Nederland, dat onderdeel is van de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Het grondwaterspiegeldieptemodel geeft een ruimtelijk beeld van de gemiddeld kleinste en grootste grondwaterspiegeldiepte (GHG en GLG). Het grondwaterspiegeldieptemodel komt gefaseerd tot stand, te beginnen in laag Nederland.

Het eerste grondwaterspiegeldieptemodel werd gerealiseerd in Flevoland. In 2019 en 2020 werd het veldwerk uitgevoerd voor het grondwaterspiegeldieptemodel van het holocene deel van de provincie Friesland.

Kenmerkend voor de totstandkoming van een grondwaterspiegeldieptemodel zijn de veldcampagnes, waarbij op een groot aantal locaties een gerichte opname van de grondwaterspiegel in een boorgat wordt verricht voor het berekenen van de gemiddeld kleinste en gemiddeld grootste grondwaterspiegeldiepte, en het gebruik van peilbuisgegevens.

Wij bedanken de Provincie Fryslân en het Wetterskip Fryslân voor het beschikbaar stellen van informatie over peilbeheer en peilbuisgegevens. Wij bedanken alle grondeigenaren voor het verlenen van toestemming om hun percelen voor dit doel te betreden en voor hun gastvrijheid. De mooie gesprekken met landeigenaren zijn niet alleen gezellig geweest, maar geven in veel gevallen ook zeer interessante informatie over tal van onderwerpen die van waarde zijn voor dit onderzoek. Tevens bedanken wij onze collega's Pieter Dijk, Willy de Groot, Falentijn Assinck, Gert Stoffelsen en Ebbing Kiestra voor het uitvoeren van deze veldcampagnes. We bedanken onze collega's Fokke Brouwer en Harry Massop voor het bureauwerk dat zij verrichtten bij de screening van tijdreeksen en stratificatie van bodemtypes. Tot slot willen we Dick Brus (Biometris), Joop Okx en Dorothée van Tol-Leenders bedanken voor hun review van een eerdere versie van dit rapport.

Paul Gerritsen, Dennis Walvoort, Martin Knotters

Inhoud

Woord vooraf	5
Inhoud	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding en achtergrond	13
1.2 Doel	13
1.3 Toepassingen van het grondwaterspiegeldieptemodel	14
1.4 Opbouw van het rapport	14
2 Materialen en methoden	17
2.1 Selectie van tijdreeksen van grondwaterspiegeldieptes	17
2.2 Selectie van locaties voor de gerichte opnames	17
2.2.1 Opzet van de steekproef	17
2.2.2 Afbakening van gebieden met gelijke perceelontwatering	18
2.2.3 Indeling in compacte geografische strata en loting locaties	20
2.3 Gerichte opnames van GHG en GLG	20
2.3.1 Verslag van het veldwerk	20
2.4 Stambuisregressie	24
2.5 GxG-voorspellingen voor gerichte-opnamelocaties	25
2.6 Gebiedsdekkende GxG-voorspellingen	25
3 Resultaten	27
3.1 Kaart van GxG's op hoofdstratumniveau	28
3.2 Grondwatertrappenkaart op hoofdstratumniveau	30
4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	31
Literatuur	33
Verantwoording	35
Bijlage 1 Geselecteerde stambuizen, grondwaterspiegeldiepte-verloop, afgeleide GxG en situatieschets	37
Bijlage 2 Indeling in compacte geografische strata	41
Bijlage 3 Veldwerkprotocol GD	47

Samenvatting

Doel van dit project is actuele kaarten te maken van de karakteristieken GHG, GLG en Gt van de grondwaterspiegeldiepte in het lage, holocene deel in het westen en noorden van de provincie Friesland en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren. Daarmee draagt dit project bij aan de ontwikkeling van een landsdekkend grondwaterspiegeldieptemodel, waarin voor elke 50×50 m-rastercel een actuele gemiddeld kleinste grondwaterspiegeldiepte (GHG), een gemiddeld grootste grondwaterspiegeldiepte (GLG) (samen GxG) en grondwatertrappen (Gt) zijn gespecificeerd, naast ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties van de GxG. Dit grondwaterspiegeldieptemodel wordt vanaf 2022 door de Basisregistratie Ondergrond (BRO) via het BRO-loket en PDOK beschikbaar gemaakt voor iedereen.

‘Actueel’ betekent dat de kaarten de langjarige gemiddelde grondwaterspiegeldiepte weergeven, gegeven de huidige, actuele hydrologische en klimatologische condities. De kaarten geven dus geen realtime beeld van de actuele grondwaterspiegeldiepte op één tijdstip.

Het grondwaterspiegeldieptemodel wordt toegepast bij ruimtelijke planvorming (onder meer het vaststellen van ruilwaarden), schadeberekeningen (in combinatie met bodemtypen), natuurherstel en -ontwikkeling en aanwijzing van beschermingszones in het kader van de Europese Habitatrichtlijn, onderbouwing van derogatieaanvragen voor de Europese Nitraatrichtlijn, beoordeling van werking en risico's van gewasbeschermingsmiddelen (de (uitspoelings)modellen PEARL en GeoPEARL ontleen invoer over de grondwaterstand aan de grondwatertrappenkaart). Ten slotte wordt met het grondwaterspiegeldieptemodel voldaan aan de INSPIRE-richtlijn die de Europese lidstaten verplicht geo-informatie over 34 thema's te voorzien van metadata, deze te harmoniseren en beschikbaar te stellen via het INSPIRE-portaal.

In 2019 en 2020 vond het veldwerk plaats in de provincie Friesland. Allereerst zijn de bruikbare gegevens geïnventariseerd. Gegevens van peilbuizen zijn gescreend en gecontroleerd in het veld. Vervolgens is onderzocht welke hulpinformatie bruikbaar kan zijn bij de totstandkoming van het grondwaterspiegeldieptemodel.

Voor de kartering in Friesland is gekozen voor een steekproefopzet waarbij de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie van de GxG modelvrij kan worden geschat. Dit is nagestreefd met een gestratificeerde, enkelvoudig aselechte steekproef. Allereerst is een indeling gemaakt in gebieden met vergelijkbare perceelontwatering. De bodemkaart van Nederland 1:50.000 en de peilenbeheerkaart vormden hiervoor de basis. Vervolgens zijn deze deelgebieden verder opgedeeld in compacte geografische strata om ruimtelijke spreiding van de meetpunten te bereiken. Tot slot is binnen elk compact geografisch stratum een indeling gemaakt met afstand tot de dichtstbijzijnde sloot, namelijk een afstand kleiner dan 25 m en een afstand groter dan 25 m. Dit is gedaan om informatie te krijgen over de variatie van de grondwaterspiegeldiepte op korte afstand (binnen percelen). Per compact geografisch stratum zijn er vier gerichte opnamelocaties geloot, namelijk twee binnen 25 m van een sloot en twee op grotere afstand. In totaal zijn er 296 gerichte opnamelocaties geloot, verdeeld over 74 compacte geografische strata. Op deze 296 locaties zijn in de periode september-oktober 2019 en januari-februari 2020 grondwaterspiegeldieptes gemeten en profielbeschrijvingen van de bodem gemaakt.

Na een screening van peilbuisgegevens uit DINO en van de provincies, zijn de gegevens van 41 peilbuizen bruikbaar geacht en gebruikt binnen dit onderzoek. Voor de locaties van de peilbuizen is de relatie tussen GHG's en GLG's en grondwaterspiegeldieptes ten tijde van de gerichte opnames vastgesteld. Deze relatie is gebruikt om op gerichte-opnamelocaties GHG's en GLG's uit gemeten grondwaterspiegeldieptes 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-parametrische regressiemodellen. De nauwkeurigheid van de schattingen is gekwantificeerd met de interkwartielafstand.

Het onderzoek heeft voor dit studiegebied de volgende producten opgeleverd:

- Kaart van GHG's;
- Kaart van GLG's;
- Bestand met 10.000 realisaties van GHG's en GLG's per 50x50m-gridcel, die de onzekerheid weergeven van de kaarten van GHG's en GLG's;
- Kaarten die de nauwkeurigheid samenvatten in interkwartielafstanden: 50% van de realisaties van GHG's en GLG's liggen tussen het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel. Hoe kleiner de afstand tussen deze twee percentielen, hoe hoger de nauwkeurigheid;
- Een grondwatertrappenkaart, gebaseerd op de modus (meest voorkomende) van de grondwatertrappen die uit de 10.000 realisaties van GHG's en GLG's kunnen worden geclassificeerd;
- Een entropiekaart die de nauwkeurigheid aangeeft van de grondwatertrappenkaart.

De ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties van GHG's en GLG's per hoofdstratum vormen de basis voor alle afgeleide kaarten. Naast de kaarten die hierboven zijn genoemd, kunnen voor specifieke vraagstukken aparte kaarten worden afgeleid, zoals overschrijdingskansenkaarten.

De verdeling van GHG's, GLG's en Gt's is voor elke 50x50m-gridcel binnen een van de 26 hoofdstrata gelijk en geeft de ruimtelijke variatie weer die er is binnen de percelen in het betreffende hoofdstratum.

Wij concluderen dat het met de beschikbare middelen mogelijk is geweest actuele kaarten te maken van de karakteristieken GHG, GLG en Gt van de grondwaterspiegeldiepte in het lage, holocene deel van de provincie Friesland voor de BRO en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren.

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek bleek dat er relatief weinig tijdreeksen uit peilbuizen beschikbaar zijn en dat deze reeksen zorgvuldige kwaliteitscontrole behoeften. Wij bevelen uitbreiding van het meetnet aan, gericht op het waarnemen van grondwaterspiegeldieptes in percelen.

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van tijdreeksen uit peilbuizen en van metingen in open boorgaten. Wij bevelen aan om het meetnet aan te vullen met sensormetingen zoals met de Aquapin¹, die in het kader van participatieve monitoring door boeren wordt geplaatst in percelen en waarmee hoogfrequente tijdreeksen kunnen worden verzameld.

¹ Merknaam is vermeld ter informatie, niet ter aanprijzing.

Summary

The aim of this project is to make up-to-date maps of the average highest groundwater level (GHG), average lowest groundwater level (GLG) and water table class (Gt) in the low-lying Holocene area in the west and north of the province of Friesland, and to quantify the accuracy of these maps. It is part of a wider project to develop a Water Table Depth Model (WDM) covering the whole of the Netherlands. For each 50x50 m grid cell in the map the model will contain the following up-to-date data: GHG, GLG (together GxG) and Gt, in addition to spatial cumulative distribution functions for the GxG. The WDM will be made available to everyone from 2022 by the National Key Registry of the Subsurface (BRO) via the BRO service desk and PDOK (government platform for high-quality geodata in the Netherlands).

'Up to date' means that the maps give the multi-year average water table depth under present hydrological and climatological conditions. The maps therefore do not give a real-time picture of the actual water table depth at a single point in time.

The WDM is used for spatial and land use planning (including calculating agricultural exchange values), calculation of crop damage (in combination with soil types), habitat restoration/creation and designation of special areas of conservation under the EU Habitats Directive, supporting applications for derogation under the EU Nitrates Directive, assessment of the effectiveness and risks of plant protection products (the pesticide assessment and leaching models PEARL and GeoPEARL derive their input data for groundwater levels from the water table classes map). Finally, the WDM meets the requirements of the INSPIRE Directive, under which the EU member states must provide metadata for geo-information on 34 themes and harmonise and share them via the INSPIRE portal.

The fieldwork took place in the province of Friesland in 2019 and 2020. An inventory was made of useful available data, data from groundwater observation wells were screened and checked in the field, and an assessment was made of any additional information that could be useful when preparing the WDM.

For the mapping in Friesland it was decided to take a sampling approach in which the spatial cumulative distribution function of the GxG can be estimated without modelling. That was attempted by using a stratified simple random sampling method. The province was divided into areas with a relatively uniform field drainage, based on information from the soil map of the Netherlands, scale 1:50,000, and the surface water level management map. Then these areas were further subdivided into compact geographical strata to achieve a good spatial coverage of measurement points. Finally, each compact geographical stratum was divided into two types of areas; those less than 25 m from the nearest ditch and those further than 25 m from the nearest ditch. This was done to obtain information on the variation in water table depth over short distances (within fields). For each compact geographical stratum four target sampling sites were chosen at random, two within 25 m of a ditch and two further away. In total, 296 target sampling points were randomly selected, divided across 74 compact geographical strata. From September 2019 to January/February 2020 water table depths at these 296 sites were measured and the soil profiles described.

A screening of groundwater observation well data from the DINO database (of the Geological Survey of the Netherlands) and data obtained from the province resulted in the selection of useful data from 41 observation boreholes. These were included in the study. For the locations of the groundwater observation wells the relationship between GHGs and GLGs and water table depths was determined for the time the groundwater depths in boreholes were determined. This relationship was used to estimate GHGs and GLGs at borehole locations from the measured water table depths. This statistical procedure took account of the presence of deeper-than (a.k.a right-censored) observations by using non-parametric models. GHGs and GLGs at the borehole locations were estimated using the medians

of the distributions simulated using the non-parametric regression model. A quantitative measure of the accuracy of the estimates was obtained from the interquartile distance.

The research delivered the following products for this study area:

- Map of GHGs.
- Map of GLGs.
- Database of 10,000 realisations of GHGs and GLGs per 50x50 m grid cell, which represent the uncertainty of the maps of GHGs and GLGs.
- Maps that summarise the accuracy of the data in interquartile distances: 50% of the realisations of GHGs and GLGs lie between the 25th and 75th percentile. The smaller the distance between these two percentiles, the greater the accuracy.
- A water table class map based on the mode of the water table classes (the most common) that can be derived from the 10,000 realisations of GHGs and GLGs.
- An entropy map showing the accuracy of the water table class map.

The spatial cumulative distribution functions of GHGs and GLGs per main stratum form the basis of all the maps. In addition to the maps mentioned above, separate maps can be derived for specific topics, such maps showing the probability of exceedance of specific thresholds of water table depths.

Within each of the 26 main strata, the GHGs, GLGs and Gts are equally distributed across the 50x50 m grid cells and show the spatial variation within the fields in each of the main strata.

We conclude that with the resources available it has proved possible to make up-to-date maps of the GHG (average highest groundwater level), GLG (average lowest groundwater level) and Gt (water table class) in the low-lying Holocene area of the province of Friesland for the Key Register of the Subsurface, and to quantify the accuracy of these maps.

During the study it became apparent that relatively few time series from groundwater observation wells were available and that these time series needed to be carefully checked. We recommend expanding the monitoring network to obtain more data on water table depths in fields.

This study made use of time series from groundwater observation wells and measurements in open boreholes. We recommend expanding the monitoring network to include sensor readings to obtain high frequency time series, such as measurements made by farmers in fields using the Aquapin².

² Trademark is mentioned to inform, not to endorse.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Sinds het begin van de jaren vijftig van de vorige eeuw wordt de diepte tot de grondwaterspiegel systematisch in kaart gebracht. De elf provinciale kaarten van de zomer- en wintergrondwaterstand, schaal 1:200.000, van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN; Visser, 1958) vormden het eerste landelijke beeld van de diepte waarop zich de grondwaterspiegel bevindt. Deze kaarten waren gebaseerd op waarnemingen die tussen 1952 en 1955 ieder kwartaal werden verricht in circa 23.000 buizen die in elke vierkante kilometer van Nederland waren geplaatst, op tijdreeksen met een halfmaandelijke frequentie die werden verzameld in circa 2000 buizen en op tijdreeksen met een dagfrequentie uit 65 buizen.

Vanaf 1960 tot circa 1995 werd de diepte van de grondwaterspiegel simultaan met de bodem van Nederland gekarteerd op schaal 1:50.000. De gemiddelde dieptes waartussen de grondwaterspiegel jaarlijks fluctueert werden uitgedrukt in de Gemiddeld Hoogste en Laagste Grondwaterstand (GHG en GLG, zie kader voor definities), die vervolgens werden geclassificeerd in grondwatertrappen (Gt's) die op de bodemkaart werden weergegeven (Van Heesen, 1970). Bij de kartering van Gt's werd gebruikgemaakt van waarnemingen in peilbuizen, metingen in boorgaten (dichtheid 1 per 6 à 8 hectare), hydromorfe profielkenmerken en landschappelijke kenmerken.

Door ingrepen in de waterhuishouding, bijvoorbeeld in het kader van landinrichtingsprojecten, verloor de informatie op de COLN-kaarten en Gt-kaarten aan actualiteit. Omdat er, onder meer voor de onderbouwing van het mestbeleid, behoefte was aan actuele informatie over de diepte van de grondwaterspiegel, is tussen 1997 en 2005 een actualisatie uitgevoerd in het pleistocene, hoge deel van Nederland waar veelal een vrije afwatering is (Finke et al., 2004, 2005). Bij deze kartering van de grondwaterdynamiek werden de GHG's en GLG's afzonderlijk in kaart gebracht in een 25x25m-grid en werd de nauwkeurigheid van de informatie gekwantificeerd. Voor deze kartering werden grondwaterspiegeldieptes rond GHG- en GLG-niveau waargenomen in 14572 boorgaten (één per 114 hectare) en werden tijdreeksen van 528 peilbuizen gebruikt. Uit de Gd-informatie kunnen Gt-kaarten worden afgeleid, maar bijvoorbeeld ook kaarten die de kans weergeven dat een bepaald niveau van GHG of GLG wordt overschreden.

De informatie over de grondwatertrappen in laag Nederland is tussen 2012 en 2014 steekproefsgewijs geactualiseerd (Hoogland et al., 2014), waarbij in 1237 boorgaten de grondwaterspiegeldiepte werd gemeten rond GHG- en GLG-niveau en gebruik werd gemaakt van tijdreeksen van 114 peilbuizen. Uit deze actualisatie en de genoemde Gd-kaarten is in 2018 een actuele Gt-kaart samengesteld (Knotters et al., 2018).

Het grondwaterspiegeldieptemodel is een registratie-object van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) (zie BRO). Dit betekent dat landsdekkende informatie over GHG, GLG en Gt voor 50x50m-gridcellen beschikbaar wordt gesteld en actueel wordt gehouden. De actualisatie is in 2018 begonnen in de provincie Flevoland (Stuyt et al., 2018) en wordt gebiedsgewijs voortgezet met laag Nederland als prioriteit.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is actuele kaarten te maken van de karakteristieken GHG, GLG en Gt van de grondwaterspiegeldiepte in het lage, holocene deel in het westen en noorden van de provincie Friesland en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren.

'Actueel' betekent dat de kaarten de langjarige gemiddelde grondwaterspiegeldiepte weergeven, gegeven de huidige, actuele hydrologische en klimatologische condities. De kaarten geven dus geen realtime beeld van de actuele grondwaterspiegeldiepte op één tijdstip.

1.3 Toepassingen van het grondwaterspiegeldieptemodel

Het grondwaterspiegeldieptemodel is ontwikkeld voor de volgende toepassingen:

1. Ruimtelijke planvorming, onder meer het vaststellen van ruilwaarden.
2. Schadeberekeningen. Grondwatertrappen, GHG's en GLG's vormen in combinatie met bodemtypen de ingang van tabellen voor de bepaling van droogte- en natschade aan gewassen in termen van percentages opbrengstdepressie (Werkgroep HELP-tabel, 1987; Bouwmans, 1990; Waterwijzer Landbouw, <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>) en van het systeem voor landevaluatie WIB-C (Sonneveld e.a., 2010).
3. Natuurherstel en -ontwikkeling. Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden (GVG's), die uit GHG's en GLG's kunnen worden afgeleid, worden in de Waternoodsystematiek gebruikt om het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) aan te geven (Runhaar en Hennekens, 2014). Zonder deze informatie kunnen geen beschermingszones worden aangewezen, waardoor Nederland niet kan voldoen aan verplichtingen in het kader van de Europese Habitatrichtlijn (EG, 1992).
4. Onderbouwing van derogatieaanvragen voor de Europese Nitraatrichtlijn (EG, 1991). Hiervoor moeten actuele gegevens over de bodem – ruwe data, bodem- en grondwatertrappenkaart – beschikbaar zijn.
5. Beoordeling van werking en risico's van gewasbeschermingsmiddelen. De Europese Verordening Nr. 1107/2009 (EU, 2009) stelt regels voor het op de markt brengen van gewasbeschermingsmiddelen. Het College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb) beoordeelt de middelen op werking en risico's, en gebruikt daarbij onder meer de (uitspoelings)modellen PEARL en GeoPEARL, die invoer over de grondwaterstand ontleen aan de grondwatertrappenkaart.
6. Voldoen aan de INSPIRE-richtlijn (EU, 2007), die de Europese lidstaten verplicht geo-informatie over 34 thema's te voorzien van metadata, deze te harmoniseren en beschikbaar te stellen via het INSPIRE-portaal. INSPIRE zorgt ervoor dat geo-informatie van goede kwaliteit beschikbaar, vindbaar en bruikbaar is en dat de inhoud ervan, ook over de landsgrenzen heen, op elkaar is afgestemd. Voor het thema bodem (Annex III, Soil) is BRO/BIS Nederland als meest geëigende dataset aangemerkt. Dat betekent dat zowel de ruwe data als de Bodemkaart 1:50.000 beschikbaar moeten zijn en geactualiseerd moeten worden.

Actuele informatie van de grondwaterspiegeldiepte van hoge en bekende nauwkeurigheid draagt bij aan de beperking van juridische, politiek-bestuurlijke, maatschappelijke en economische risico's en risico's voor het kennisstelsel (Knotters e.a., 2015).

1.4 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van data die bij deze actualisatie werden geraadpleegd, van de opzet en uitvoering van de veldinventarisatie en van de methode van verwerking van data tot actuele kaarten van GHG, GLG en Gt. In hoofdstuk 3 worden de kaarten gepresenteerd. Tot slot volgt in hoofdstuk 4 een discussie over de resultaten, worden enkele conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

Definities

De definities in dit tekstblok zijn overgenomen uit Ritzema e.a. (2012):

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

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).

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

LG3: gemiddelde van de drie laagste 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).

De Gt, grondwatertrap, is een typische combinatie van GHG- en GLG-klassen die op thematische kaarten kan worden weergegeven.

Opmerking: daar waar in deze definities uit Ritzema e.a. (2012) nog sprake is van 'grondwaterstand', moet tegenwoordig gelezen worden 'grondwaterspiegeldiepte', omdat het de verticale afstand van het maaiveld tot de grondwaterspiegel betreft en dus niet de grondwaterstand t.o.v. één vast referentieniveau.

2 Materialen en methoden

2.1 Selectie van tijdreeksen van grondwaterspiegeldieptes

Tijdreeksen van grondwaterspiegeldieptes, waargenomen in peilbuizen, zijn geselecteerd op basis van de volgende criteria:

1. Het filter moet ondiep zijn, dat wil zeggen in of vlak onder de zone waarin de freatische grondwaterspiegel fluctueert.
2. De peilbuis moet in het doelgebied (zie paragraaf 2.2.1) staan, dat wil zeggen onverhard terrein buiten de bebouwde kom: niet in stadstuinen of -parken, niet in verhardingen, niet in bermen en taluds.
3. Er moet een tijdreeks gemeten zijn van ten minste 4 à 6 jaar lang, zonder effecten van ingrepen in de waterhuishouding, zonder onderbrekingen of lange perioden van droogstaan.
4. De frequentie van de tijdreeks moet ten minste halfmaandelijks (14^e en 28^e van de maand) zijn.
5. Tijdens de gerichte opnames moet in de buis handmatig kunnen worden gemeten of moet de grondwaterspiegeldiepte automatisch worden geregistreerd.

Bijlage 1 geeft de resultaten van de selectie van tijdreeksen van grondwaterspiegeldieptes.

2.2 Selectie van locaties voor de gerichte opnames

2.2.1 Opzet van de steekproef

Bij de opzet van de steekproef volgden we het schema uit De Gruijter e.a. (2006):

1. Doeluniversum (*Target universe*): het deel van de provincie Friesland waarvan de grondwaterdynamiek niet eerder in kaart is gebracht door Finke e.a. (2005), zie ook De Gruijter e.a. (2004) en Van Kekem e.a. (2005). Binnen dit deel van Friesland bestaat de *target universe* uit alle land dat niet bebouwd of verhard is. Taluds, bermen en plantsoenen binnen de bebouwde kom behoren ook niet tot de *target universe*.
2. Interessedomeinen (*Domains of interest*): binnen de *target universe* onderscheiden we gebieden met percelen die een vergelijkbare perceelontwatering hebben. Dat wil zeggen dat in zo'n gebied percelen liggen met overeenkomstige ruimtelijke en temporele variatie van grondwaterspiegeldiepte. Voor deze gebieden willen we de ruimtelijke verdeling van grondwaterspiegelkarakteristieken zo goed mogelijk beschrijven.
3. Doelvariable (*Target variable*): grondwaterspiegeldiepte (cm-mv).
4. Doelparameters (*Target parameters*): GHG, GLG and Gt.
5. Doelgrootheden (*Target quantities*):
 - a. de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie (*Spatial Cumulative Distribution Function, SCDF*; De Gruijter e.a. (2006)) van GHG's en GLG's binnen de interessedomeinen (*domains of interest*): gebieden met gelijke perceelontwatering. Dit komt overeen met de actualisatie van de Gt-kaart in laag Nederland door Hoogland e.a. (2014);
 - b. voorspellingen per hoofdstratum van statistieken van de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie van GHG's en GLG's (mediaan, interpercentielafstanden). Deze voorspellingen worden vervolgens toegekend aan alle 50x50m-cellen binnen de hoofdstrata. Binnen een hoofdstratum hebben alle 50x50m-cellen dezelfde waarde. Dit komt overeen met de nabewerking van de Gt-actualisatie door Hoogland e.a. (2014), die in 2018 heeft plaatsgevonden (Knotters e.a., 2018).
6. Soort resultaat (*Type of result*): kwantitatief.
7. Kwaliteitsmaten (*Quality measures*): standaardfout van de geschatte doelgrootheden.

-
8. Budgettaire en praktische randvoorwaarden (*Budgetary/practical constraints*): het aantal locaties van gerichte opnames van de grondwaterspiegeldiepte mag niet meer dan 300 bedragen, om met de beschikbare mensen uitgevoerd te kunnen worden.

We hebben gekozen voor een steekproefopzet waarbij de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie van GHG's en GLG's binnen de interessedomeneinen modelvrij kan worden geschat. De steekproefopzet is daarom een kanssteekproef met een zo goed mogelijke ruimtelijke spreiding van de steekproeflocaties om de steekproefefficiëntie te verhogen (De Gruijter e.a., 2006, p. 94). Dit is nagestreefd met een gestratificeerde, enkelvoudig aselechte steekproef, waarbij de stratificatie is gebaseerd op:

1. Indeling in deelgebieden met vergelijkbare perceelontwatering op basis van:
 - a. bodemgesteldheid (Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000);
 - b. peilenbeheerkaart (Massop, zomerpeil, kaartversie: 2017-12-01).
2. Binnen deelgebieden met vergelijkbare perceelontwatering een indeling in compacte geografische strata (Walvoort e.a., 2010), teneinde ruimtelijke spreiding van de meetpunten te bereiken.
3. Binnen elk compact geografisch stratum een indeling naar afstand tot de dichtstbijzijnde sloot, nl. een afstand kleiner dan 25 m en een afstand groter dan 25 m. Dit zijn de subgeostrata. Elk geostratum bestaat dus uit twee subgeostrata.

Binnen elk compact geografisch stratum worden vier gerichte-opnamelocaties geloot, namelijk twee binnen 25 m van een sloot en twee op grotere afstand. Het totaal aantal steekproefpunten hangt af van budget en capaciteit aan veldwerkers. Omdat maximaal 300 steekproefpunten mogelijk zijn en het aantal steekproefpunten per compact geografisch stratum vier moet bedragen, is het totaalaantal steekproefpunten gelijk aan 296, verdeeld over 74 compacte geografische strata.

2.2.2 Afbakening van gebieden met gelijke perceelontwatering

In gebieden met beheerste peilen treedt relatief veel van de ruimtelijke variatie in grondwaterspiegeldieptes, GHG's, GLG's en Gt's op binnen percelen. In de winter zal in perioden met een aanhoudend neerslagoverschot de grondwaterspiegel een opbolling ten opzichte van het oppervlaktewaterpeil vertonen, terwijl in de zomer in perioden met een aanhoudend neerslagtekort de grondwaterspiegel een uitgezakt verloop zal laten zien. De ruimtelijke variatie van grondwaterspiegeldieptes binnen percelen is niet in kaart te brengen met de nagestreefde maximale resolutie van 50x50 m. Daarom is ervoor gekozen om de ruimtelijke variatie binnen percelen te beschrijven voor gebieden met vergelijkbare perceelontwatering. We onderscheiden gebieden met gelijke perceelontwatering op basis van de volgende criteria:

1. gelijke bodemgesteldheid;
2. gelijke oppervlaktewaterpeilen in de zomer.

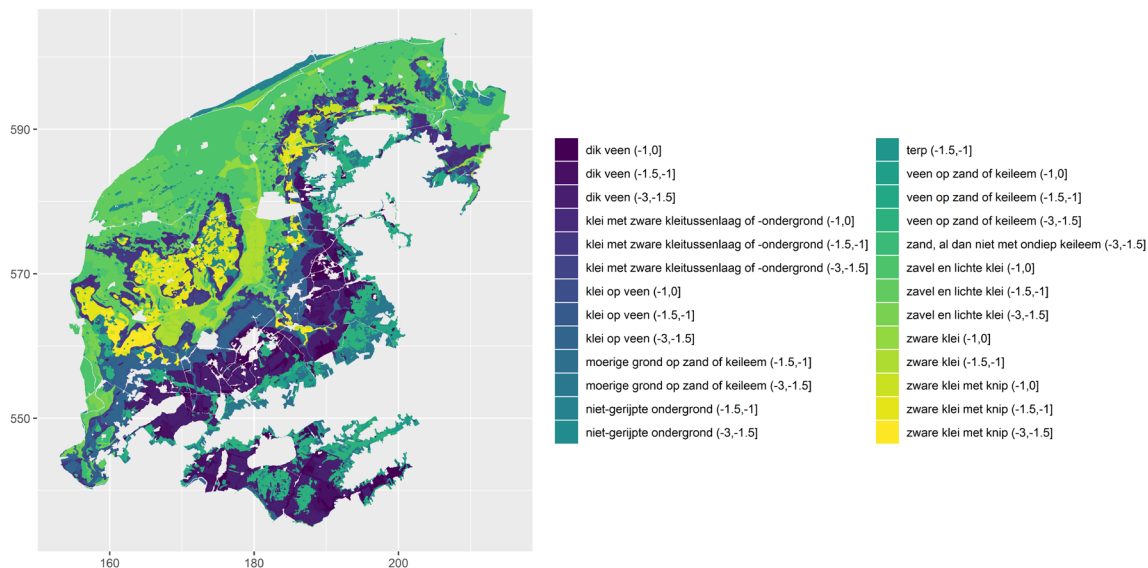
Gebieden met gelijke bodemgesteldheid worden geselecteerd op basis van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, waarbij legendaeenheden worden geclusterd volgens Tabel 1.

Tabel 1 Clustering van legenda-eenheden van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, ten behoeve van het onderscheid naar perceelontwatering.

cluster	legenda-eenheden bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000
dik veen	AP, aVc, aVs, fhVc, fkVc, fkVs, fpVc, fpVs, hVc, hVr, hVs, hVsc, kVc, kVd, kVs, kVsc, pVc, pVd, pVr, pVs, pVsc, sVc, Vc, Vd, Vo, Vs, Vsc, zVc, zVs
klei met zware kleitussenlaag of -ondergrond	bgMn53C, bMn56Cp, bMn86C, gMn53C, gMn53Cp, gMn53Cpx, gMn53Cwp, gMn58C, gMn58Cv, gMn83C, gMn83Cp, gMn83Cv, gMn83Cwp, gMn88C, gMn88Cv, gMn88Cw, kMn43Cpx, kMn63C, kMn63Cp, kMn63Cpx, kMn63Cv, kMn63Cwp, kMn68C, kMn68Cv, Mn52Cpx, Mn56C, Mn56Cp, Mn56Cwp, Mn86C, Mn86Cp, Mn86Cwp, zgMn88C
klei op veen	AO, gMn25Cv, gMn85Cv, kMn43Cv, kMn48Clv, kMn48Cv, Mn15Av, Mn25Av, Mn25Cv, Mn85Cv, Mv41C, Mv41Cl, Mv41Cp, Mv41Cv, Mv51A, Mv61C, Mv61Cp, pMn85Cv
klei op zand	gMn52Cp, kMn43Cp, kMn43Cwp, Mn15Cp, Mn52Cp, Mn82Cp, Mn85Cp
moerige grond op zand of keileem	fvWz, kWp, kWp/kHn21, kWp/vWp, kWp/vWz, kWpx, kWpx/kHn21x, kWz, kWz/vWp, svWp, svWz, vWp, vWpx, vWz, vWzx, zWp, zWpx, zWz
niet-gerijpte ondergrond	Mo10A, Mo10Av, Mo20A, Mo50C, Mo80A, Mo80C, Mo80Cl, Mo80Clv, Mo80Cp, Mo80Cv, Mo80Cw, Mo80Cwp, MOb72, MOb75, MOo02, MOo02v, MOo05, nMo10A, nMo10Av, pMo50, pMo80, pMo80v, Wol, Wov
terp	lf TERP
veen op zand of keileem	AAP, aVp, aVz, aVzx, hVz, hVz/kVz, hVzc, hVzx, kVz, kVz/Vp, kVz/Vz, kVzc, kVzx, pVz, pVzc, pVzx, sVp, sVz, sVzx, Vp, Vpx, Vz, Vzc, Vzx, zVp, zVpx, zVz
zand, al dan niet met ondiep keileem	bEZ21, cHn21, cHn23, Hn21, Hn21/pZn21, Hn23, kHn21, kHn23, kpZn23, kZn40A, nZn40A, pZg21, pZg23, pZn21, pZn23, zEZ21, zEZ23, Zn21, Zn21v, Zn30/Mo80C, Zn40A, bEZ23x, cHn21x, cHn23x, Hn21x, Hn21x/Zn21x, Hn23x, kHn21x, kHn23x, kpZn23x, KX, pZg21x, pZg23x, pZn23x, zEZ23x, kZn10A, nSn13A, nSn13Av, Sn13A, Zn10A, Zn10Ap, Zn10Av
zavel en lichte klei	bgMn15C, bgMn25C, bMn15A, bMn15C, bMn25A, bMn25C, bMn35A, bMn85C, gMn15C, gMn25C, gMn85C, Mn15A, Mn15C, Mn25A, Mn25C, Mn35A, Mn85C, pMn55A, pMn55C, pMn85A, pMn85C, zgMn15C
zware klei	bMn45A, Mn45A
zware klei met knip	kMn43C, kMn48C, kMn48Cl, kMn48Cw

Informatie over de ligging van gebieden met gelijke oppervlaktewaterpeilen werd verstrekt door Wetterskip Fryslân.

De combinatie van bodemgesteldheid en peilvakken op basis van zomerpeilen leidt tot 26 gebieden met gelijk bodemcluster en oppervlaktewaterpeil: de 26 hoofdstrata, zie Figuur 1. Wij veronderstellen dat de percelen binnen deze 26 hoofdstrata een vergelijkbare ontwatering hebben, met vergelijkbare ruimtelijke variatie van grondwaterspiegeldieptes binnen percelen.



Figuur 1 Indeling naar bodem en peil in 26 hoofdstrata.

2.2.3 Indeling in compacte geografische strata en loting locaties

De 26 hoofdstrata werden verder verdeeld in compacte geografische strata (niet noodzakelijkerwijs met gelijke oppervlakten) met behulp van het R- *package* *spcosa* (Walvoort e.a., 2010). Het totale aantal compacte geografische strata bedraagt 74. Bijlage 2 geeft de ligging van de 26 hoofdstrata met daarbij vermeld het aantal compacte geografische strata.

In elk compact geografisch stratum werden vervolgens twee strata onderscheiden naar afstand tot sloot, namelijk een afstand kleiner dan 25 meter en een afstand groter dan 25 meter. In beide strata werden twee locaties geselecteerd middels een enkelvoudig aselechte steekproef, waardoor het aantal locaties per compact geografisch stratum vier bedroeg en het totaal aantal locaties 296.

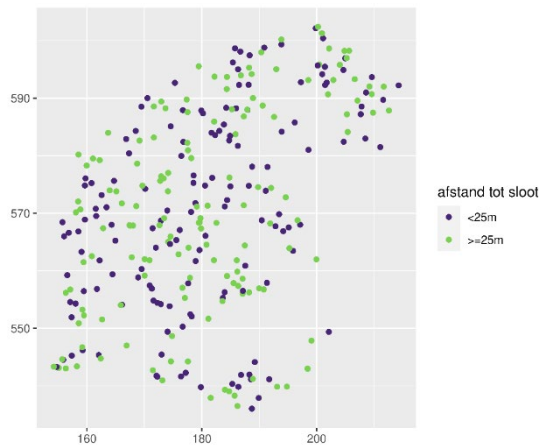
2.3 Gerichte opnames van GHG en GLG

Op de 296 geselecteerde locaties werden op 5, 12, 19 en 25 september en op 4 oktober gerichte opnames van de GLG uitgevoerd. Op 30, 31 januari en 6 februari werden hier gerichte opnames van de GHG uitgevoerd. De insteltijd voor de grondwaterspiegeldiepte is minstens één dag. Als er een stagnerende laag in het bodemprofiel werd aangetroffen, werden er twee gaten geboord: één tot op de stagnerende laag en één tot in de permanent gereduceerde zone. In beide gaten werd de grondwaterspiegeldiepte gemeten en de kleinste grondwaterspiegeldiepte werd gebruikt voor de berekeningen. Bijlage 3 geeft het veldprotocol voor de gerichte opnames.

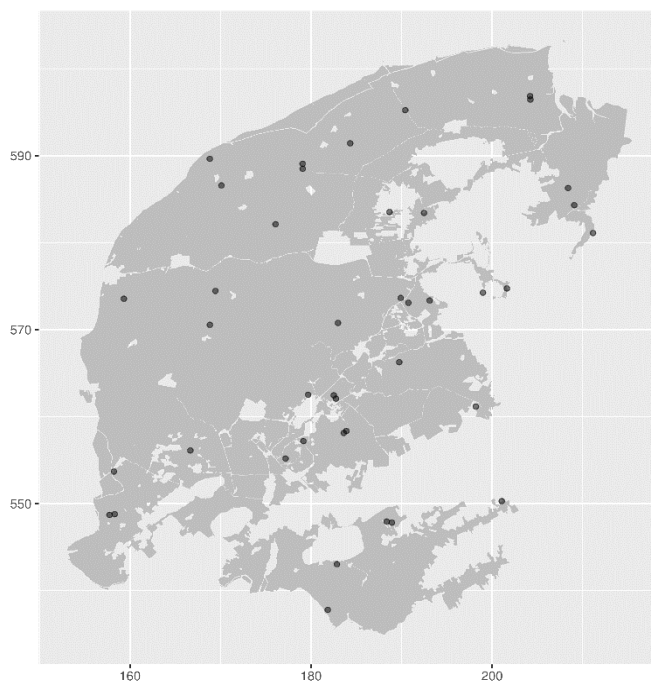
2.3.1 Verslag van het veldwerk

Tussen 1 september en 4 oktober 2019 is de eerste van de twee veldwerkcampagnes uitgevoerd. In deze periode zijn op 296 locaties (Figuur 2) waarnemingen gedaan van de (freatische) grondwaterspiegeldiepte door middel van open boorgaten. Hiernaast zijn in dezelfde periode grondwaterspiegeldieptes gemeten in 41 peilbuizen (Figuur 3). De gegevens van deze peilbuizen zijn ontleend aan het DINO-loket of beschikbaar gesteld door de provincie Friesland. De bemeten peilbuizen zijn geselecteerd aan de hand van eerdergenoemde criteria. Voor september 2019 is gekozen, omdat de grondwaterspiegeldiepte zich toen rond GLG-niveau bevond. Hiernaast werd ernaar gestreefd om het veldwerk uit te voeren tijdens een stabiele droge periode, zodat grote fluctuaties van de grondwaterspiegel door (hevige) regenval zo veel mogelijk was uitgesloten.

Bij iedere boorlocatie is contact gezocht met de landeigenaar om uitleg te geven over het onderzoek en om toestemming te vragen de percelen te betreden. Aanvankelijk vervielen 21 van de 296 geselecteerde locaties, omdat landeigenaren geen toestemming gaven of omdat de locatie anderszins niet te bereiken was. De 21 afgevalen locaties zijn vervolgens vervangen door de eerstvolgende reservepunten die geselecteerd waren binnen de betreffende strata (zie paragraaf 2.2.3), waar vervolgens wel een meting kon plaatsvinden.



Figuur 2 Locaties waarop gerichte opnames zijn verricht (links). De kleur van elke stip geeft de afstand tot waterlopen (m).



Figuur 3 Locaties van de 41 gebruikte peilbuizen.

Opnamen van de grondwaterspiegeldiepte worden gedaan in open boorgaten (zie Figuur 4). Daarbij wordt met behulp van een Edelmanboor een verticaal gat met een doorsnede van 8 cm geboord, tot ongeveer 10 cm onder de grondwaterspiegel (Hooghoudt, 1952). Veldmedewerkers schatten deze boordiepte in op basis van profielkenmerken zoals de vochttoestand, het al dan niet voorkomen van gleyverschijnselen en/of het waarnemen van de gereduceerde zone in de bodem. Hiernaast kunnen factoren zoals oppervlaktewaterstand, informatie over drainage en reeds bestaande kaartinformatie over de grondwaterspiegeldiepte een rol spelen bij het inschatten van de grondwaterspiegeldiepte op het moment van boren.



Figuur 4 Handmatige meting van de grondwaterspiegeldiepte in een boorgat.

Na een instelperiode van meestal 1 à 2 dagen wordt de diepte tot de grondwaterspiegel in de boorgaten gemeten door middel van een peilklokje aan een meetlint (zie Figuur 2). Soms zijn er langere insteltijden nodig, bijvoorbeeld voor bodems met zware lössleem, zware klei, keileem en potklei. Deze bodems laten water over het algemeen erg moeilijk door (Vroon en Kiestra, 2010). Veldmedewerkers beschrijven elk bodemprofiel en schatten in welke instelperiode voldoende is voor een betrouwbare waarneming van de grondwaterspiegeldiepte. Op een vaste dag in de week, nadat de grondwaterspiegel zich heeft ingesteld, worden de open boorgaten door de veldmedewerkers bemeten. Tijdens deze vaste dag worden ook alle geselecteerde peilbuizen automatisch (drukopnemers) of met de hand bemeten (Figuur 5). Op deze manier is het mogelijk een relatie te leggen tussen de GxG's die zijn berekend uit langjarige meetreeksen in de peilbuizen en de grondwaterspiegeldieptes op het moment van de metingen in de open boorgaten, zoals beschreven in paragraaf 2.4. Deze relatie wordt vervolgens gebruikt om GxG's te berekenen voor de locaties van de boorgaten.



Figuur 5 *Peilbuis in het veld.*

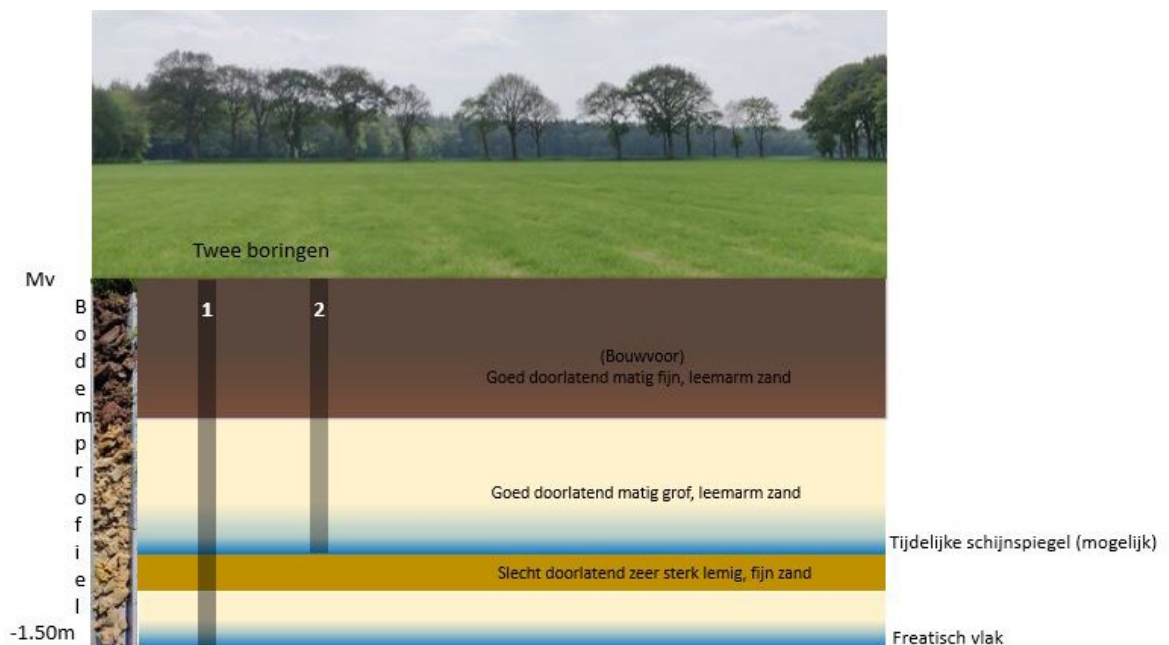
Bij alle boorgatlocaties waar de grondwaterspiegeldiepte is gemeten, zijn bodemkundige profielbeschrijvingen gemaakt tot een diepte van ten minste 1,5 meter. Alle profielbeschrijvingen zijn gemaakt tijdens de eerste veldcampagne in september 2019 in verband met de relatief diepe grondwaterspiegels van dat moment. Indien de grondwaterspiegel binnen 1,5 meter zat op dat moment, is op een afstand van ongeveer 2 meter een extra boorgat gemaakt om hierin een betrouwbare waarneming te doen van het grondwater, dus met de gewenste boorgatdiepte van ongeveer 10 centimeter onder de grondwaterspiegel op dat moment. Op de andere locatie is dan een profielbeschrijving van ten minste 1,5 meter diepte gemaakt.

Tussen 27 januari en 6 februari vond de tweede veldwerkcampagne plaats. Hierbij zijn op nagenoeg dezelfde locaties als tijdens de eerste veldwerkcampagne boringen gedaan en opnieuw grondwaterspiegeldieptes gemeten in open boorgaten. Ook tijdens deze veldcampagne is op basis van eerdergenoemde factoren ingeschat hoe diep er geboord moest worden voor een betrouwbare waarneming van de grondwaterspiegeldiepte. Op een aantal locaties is geen boring gedaan, omdat het water hier op maaiveld stond (zie Figuur 6). Op één locatie is tijdens de tweede ronde door de landeigenaar geen toestemming verleend om het land te betreden. Bij laatstgenoemde is geen waarneming gedaan van de grondwaterspiegeldiepte rond GHG-niveau.



Figuur 6 *Veldsituatie met plassen op het land.*

Tijdens dit onderzoek wordt expliciet gelet op het kunnen optreden van schijnspiegels. Een schijnspiegel is een freatisch vlak van een grondwaterlichaam gelegen op een slecht doorlatende laag, waaronder weer een onverzadigde zone voorkomt (zie Figuur 7). Op slecht doorlatende lagen zoals een verkitten B-horizont, zware klei of leemlaag kan (grond)water stagneren. Tijdens het maken van een profielbeschrijving wordt daarom nauwkeurig gelet op het voorkomen van dit soort lagen in de bodem. Om in de praktijk vast te stellen of een schijnspiegel daadwerkelijk optreedt, wordt bij een vermoeden ervan niet een, maar twee boorgaten gemaakt. Boorgat één tot op de weerstand biedende laag, boorgat twee tot een diepte vastgesteld volgens de methode die eerder is beschreven.



Figuur 7 Schematische weergave van boorgaten bij het vermoeden van een schijnspiegel.

2.4 Stambuisregressie

De nauwkeurigste schattingen van GHG's en GLG's zijn mogelijk voor locaties van peilbuizen, omdat hier tijdreeksen zijn waargenomen waaruit de GHG's en GLG's kunnen worden berekend.

Stambuisregressie houdt in dat de lineaire relatie wordt beschreven tussen deze berekende GHG's en GLG's en grondwaterspiegeldieptes die tijdens de gerichte opnames in de betreffende peilbuizen zijn gemeten (Te Riele en Brus, 1991).

Waarnemingen van grondwaterspiegeldieptes kunnen zogeheten gecensureerde waarnemingen bevatten. We weten dan alleen dat de grondwaterspiegel zich dieper dan een bepaald niveau bevindt, bijvoorbeeld dieper dan de onderkant van het waarnemingsfilter of het boorgat. Weglaten van deze gecensureerde waarnemingen of ze vervangen door de censordiepte, dus onderkant buis of diepte boorgat, leidt tot systematische fouten. Daarom gebruiken we statistische methoden die rekening houden met gecensureerde waarnemingen. Er komen 'dieper-dan-' of rechts-gecensureerde waarnemingen voor bij zowel de metingen in peilbuizen als bij de boorgatmetingen. Met gecensureerde waarnemingen kan rekening worden gehouden door maximum-likelihoodregressie of niet-parametrische regressie toe te passen. Helsel (2004) adviseert niet-parametrische regressie bij minder dan 50 waarnemingen. Dit is bij stambuisregressie het geval. De procedure om bij stambuisregressie rekening te houden met gecensureerde waarnemingen is als volgt:

1. De lineaire relatie tussen de grondwaterspiegeldiepte tijdens een gerichte opname en de GxG wordt gemodelleerd met niet-parametrische lineaire regressie (Akritas et al., 1995). Bij niet-parametrische regressie worden de hellingen tussen alle mogelijke puntenparen (in een scatterplot) berekend. Van hellingen tussen gecensureerde en niet-gecensureerde waarnemingen weten we alleen dat deze groter of kleiner dan een bepaalde waarde zijn. Vervolgens wordt de helling van het lineaire regressiemodel geschat met de mediaan van alle hellingen tussen puntenparen. Deze methode wordt ook wel de Akritas-Theil-Sen-methode genoemd. Het intercept volgt uit de mediane helling b_1 . Deze is gelijk aan de mediaan van $y_i - b_1 x_i$, waarin y_i gelijk is aan de GxG en x_i gelijk is aan de grondwaterspiegeldiepte.
2. De nauwkeurigheid van de regressieparameters kwantificeren we door een niet-parametrische bootstrap uit te voeren op de residuen (*non-parametric residual bootstrap*; Efron en Tibshirani, 1993). Hierbij worden regressiemodellen gefit met de Akritas-Theil-Sen-methode op N_R trekkingen met teruglegging uit de dataset. Elke trekking heeft de omvang n van de oorspronkelijke dataset. Op deze manier worden N_R realisaties van het lineaire regressiemodel verkregen. Wij stellen het aantal bootstrap-realisaties van het stambuisregressiemodel, N_R , op 100.

2.5 GxG-voorspellingen voor gerichte-opnamelocaties

Op de locaties van de gerichte opnames zijn grondwaterspiegeldieptes gemeten in boorgaten. De boorgaten werden uitgeboord tot 10 à 20 cm onder de geschatte grondwaterspiegeldiepte. Na 1 à 2 dagen tot maximaal een week werd de grondwaterspiegeldiepte gemeten die zich in het boorgat had ingesteld. Een aantal keren (zie Tabel 2) bleek dat de grondwaterspiegeldiepte zich onder de bodem van het boorgat bevond. Dit zijn gecensureerde waarnemingen met de diepte van het boorgat als censorgrens.

Met behulp van de modellen uit de stambuisregressie kunnen we voor deze locaties slechts voorspellen dat de GxG zich dieper dan een bepaalde waarde bevindt. Dit zijn dus 'gecensureerde voorspellingen'. Met de N_R realisaties van het lineaire regressiemodel worden N_R voorspellingen van de GxG verkregen voor elke locatie i ; $i = 1 \dots k$ van de gerichte opname. Bij elke voorspelling wordt aangegeven of deze gecensureerd is of niet. Alle voorspellingen zijn grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld, dus gecensureerde voorspellingen zijn rechts-gecensureerd.

2.6 Gebiedsdekkende GxG-voorspellingen

De frequentieverdelingen van GxG's worden gebiedsdekkend voor gridcellen van 50x50 m voorspeld in twee stappen:

1. eerst wordt de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie van GHG's en GLG's geschat binnen de *domains of interest*: de gebieden met gelijke perceelontwatering, dit zijn de 26 hoofdstrata in Figuur 1;
2. vervolgens worden op basis van de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties statistieken voorspeld voor de GHG's en GLG's (mediaan, interpercentiele afstanden).

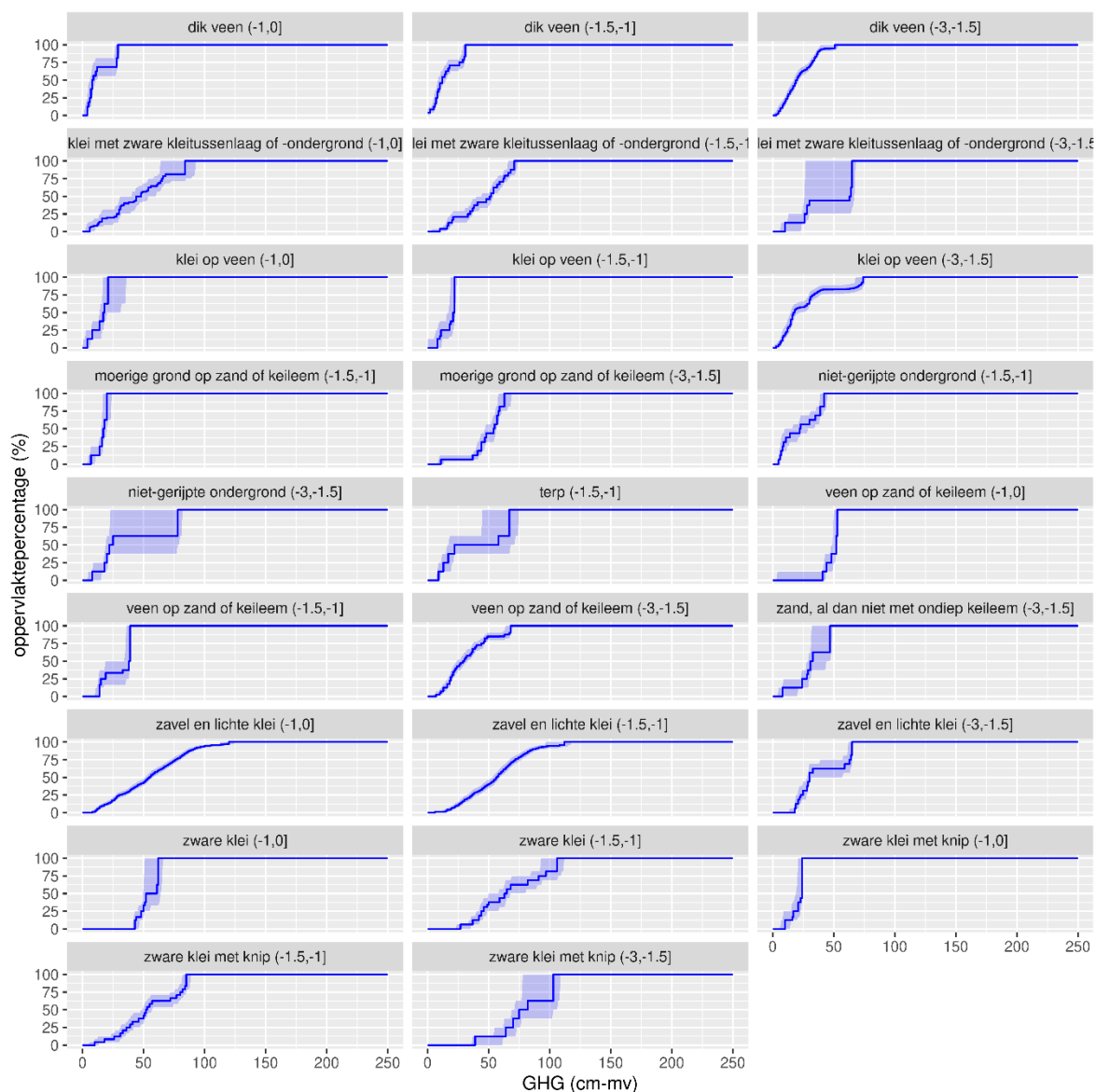
Hieronder worden beide stappen nader beschreven.

De ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties van de GHG's en GLG's worden voor elk hoofdstratum als volgt berekend:

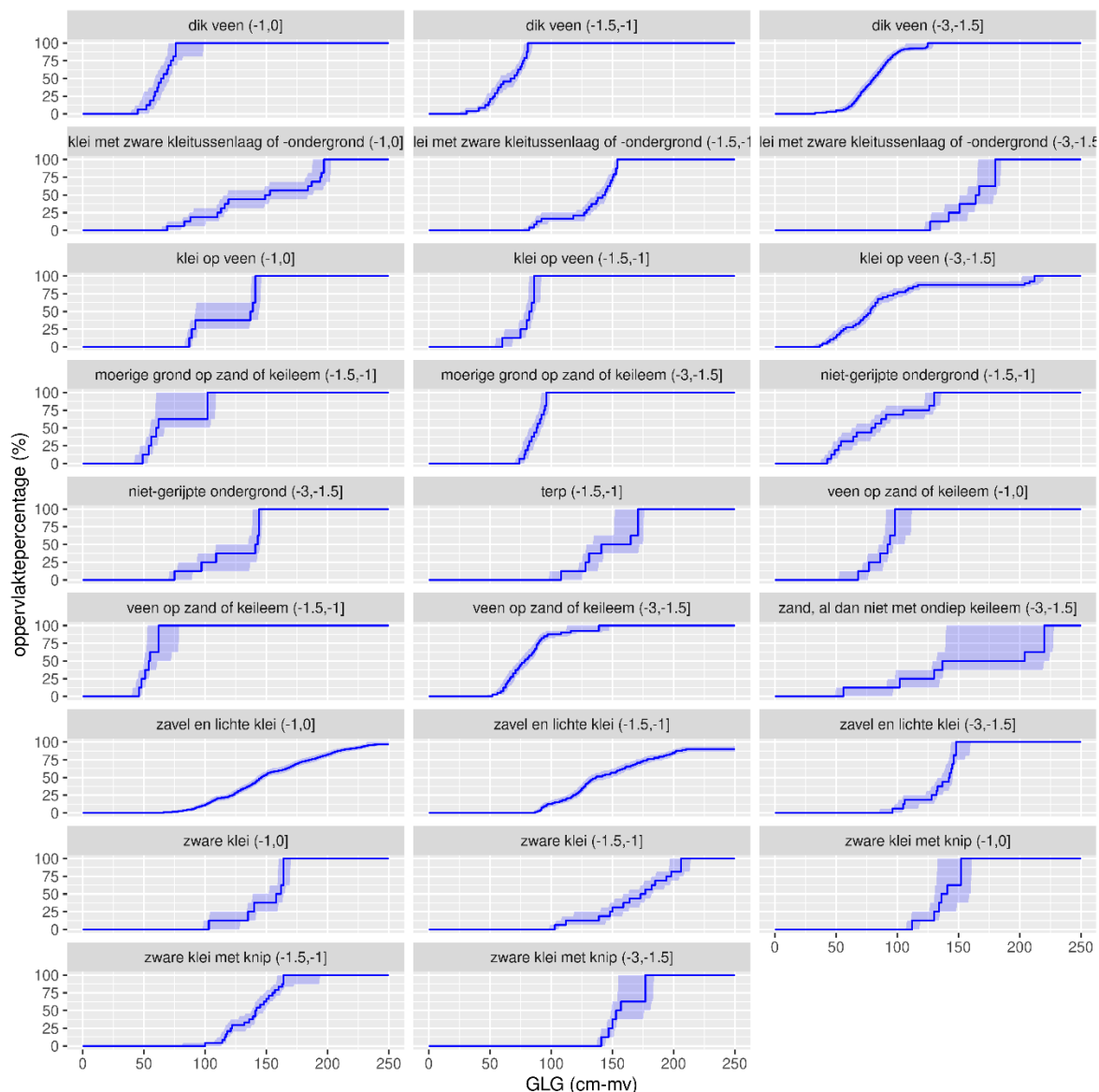
1. Voor elk hoofdstratum beschikken we over N_R (=100) sets met GxG's op de gerichte-opnamelocaties. Deze GxG's zijn berekend op basis van stambuisregressie (paragraaf 2.4 en 2.5).
2. Voor elke set trekken we N_S bootstrap-realisaties, waarbij de kans dat een gerichte-opnamelocatie wordt geselecteerd, gelijk wordt gesteld aan de relatieve oppervlakte van het subgeostratum waarin de locatie ligt (paragraaf 2.2.1).
3. Elke bootstrap-realisatie bestaat uit GHG's (of GLG's) binnen een bepaald hoofdstratum. Hieruit kunnen we de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie berekenen. Omdat de GHG's (of GLG's) gecensureerd kunnen zijn, maken we gebruik van de Kaplan-Meier-schatter (Kaplan & Meier, 1958). We hoeven geen rekening meer te houden met relatieve oppervlaktes, omdat dit al gedaan is bij de bootstrap.
4. Voor elk hoofdstratum beschikken we uiteindelijk over $N_R \times N_S = 10.000$ ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties. Deze weerspiegelen zowel onze onzekerheid ten gevolge van voorspelfouten in GxG op gerichte-opnamelocaties met behulp van stambuisregressie als de onzekerheid ten gevolge van de steekproeffout (ruimtelijke interpolatie). Hieruit kunnen we vervolgens statistieken berekenen als de mediane ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie en een bijbehorend betrouwbaarheidsinterval.

Voor de Gt volgen we een vergelijkbare procedure. We berekenen dan voor elk bootstrap-realisatie de kans dat een Gt-klasse kan voorkomen binnen een hoofdstratum. Doordat we onze analyses op hoofdstratumniveau verrichten (en niet voor het studiegebied als geheel), nemen we aan dat we de correlatie tussen de GHG en GLG mogen verwaarlozen. Dat vereenvoudigt de procedure aanzienlijk. Op basis van een exploratieve analyse van de gerichte-opname GHG's en GLG's blijkt dat deze aanname gerechtvaardigd is.

3 Resultaten



Figuur 8 Empirische ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties voor de GHG (cm-mv) voor elk hoofdstratum (balkje boven subfiguur, met daarin respectievelijk de grondsoort en het zomerpeil). De band is het 50%-betrouwbaarheidsinterval.



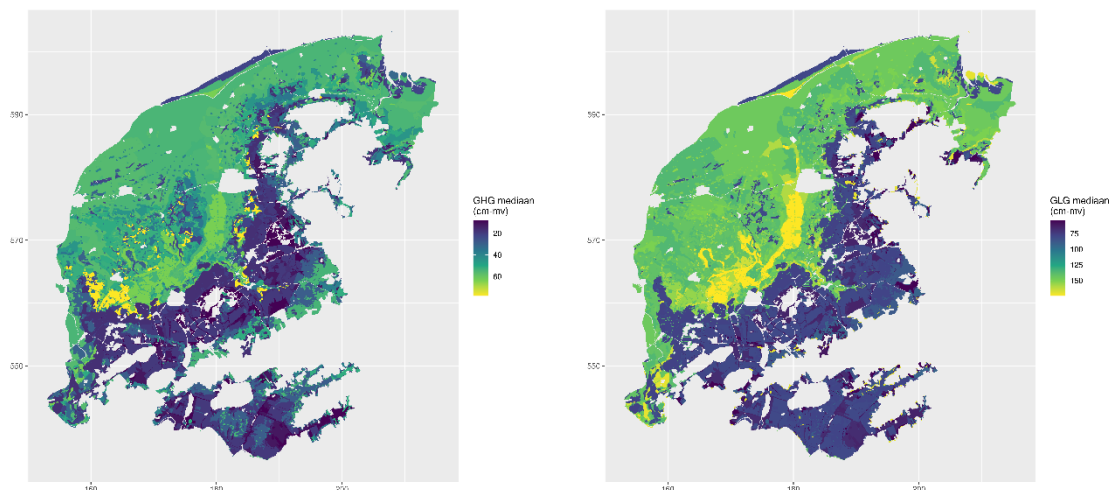
Figuur 9 Empirische ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties voor de GLG (cm-mv) voor elk hoofdstratum (balkje boven subfiguur, met daarin respectievelijk de grondsoort en het zomerpeil). De band is het 50%-betrouwbaarheidsinterval.

3.1 Kaart van GxG's op hoofdstratumniveau

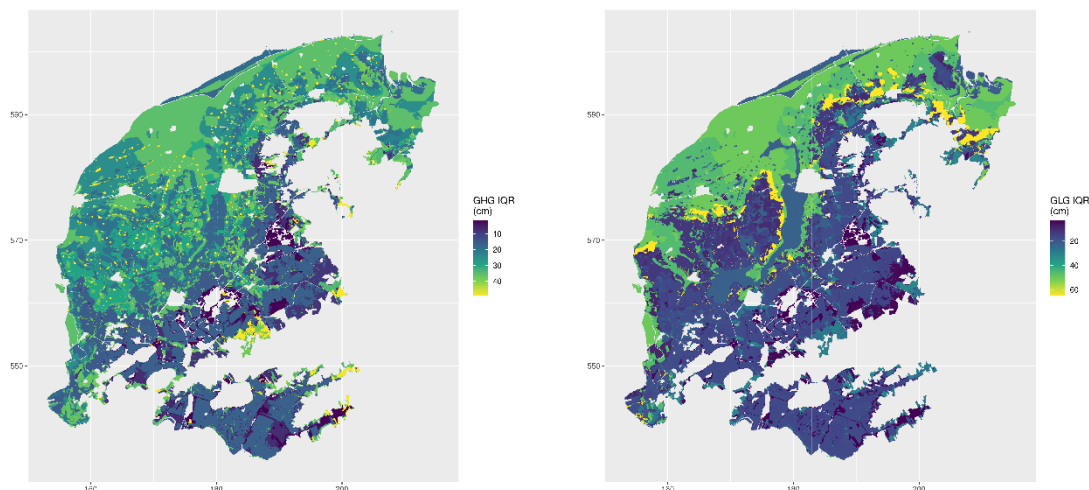
Voor elk van de 26 hoofdstrata is een ruimtelijke cumulatieve verdelingsfunctie van de GxG's berekend. In Figuur 8 en Figuur 9 zijn deze ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties gegeven. Op de x-as staat de GHG of GLG (cm-mv), op de y-as de oppervlaktepercentage van het hoofdstratum waarvoor de GHG of GLG kleiner is dan de (drempel)waarde op de x-as. Uit deze ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties kunnen we een groot aantal statistieken berekenen. Voor zavel en lichte klei en een zomerpeil ondieper dan 1 m zien we bijvoorbeeld dat bijna de helft van het hoofdstratumoppervlak een GHG ondieper dan 50 cm heeft. Voor de GLG van dit hoofdstratum zien we dat de mediane waarde ($p = 0.5$) ongeveer 140 cm beneden maaiveld ligt.

Figuur 8 en Figuur 9 kunnen we gebruiken om de variatie binnen een hoofdstratum samen te vatten door middel van statistieken als de mediaan. Dat is gedaan in Figuur 10 voor zowel de GHG als de GLG. We weten echter dat de GHG en GLG ruimtelijk variëren binnen hoofdstrata. De ruimtelijke variatie kan worden gekwantificeerd met een statistiek als de interkwartielafstand. Deze is gegeven in

Figuur 11. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat de GXG ruimtelijk meer varieert in de kleigebieden (noordwesten) dan in de veengebieden (zuidoosten).

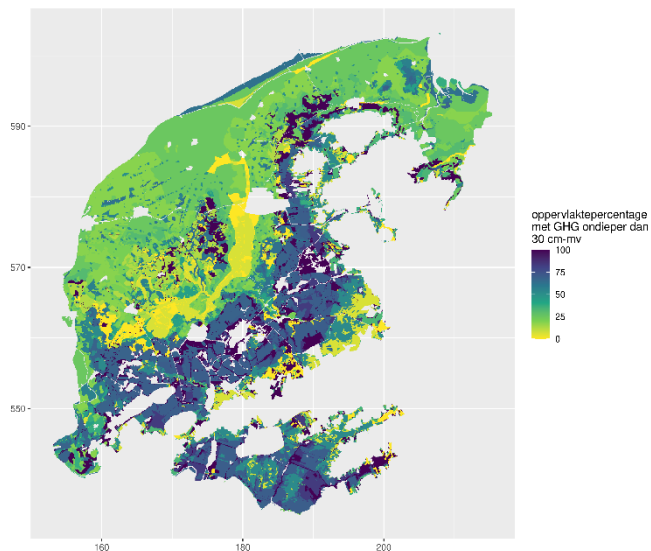


Figuur 10 Mediane GHG (links) en GLG (rechts) per hoofdstratum.



Figuur 11 Interkwartielafstand als maat voor de ruimtelijke variatie binnen hoofdstrata voor de GHG (links) en de GLG (rechts).

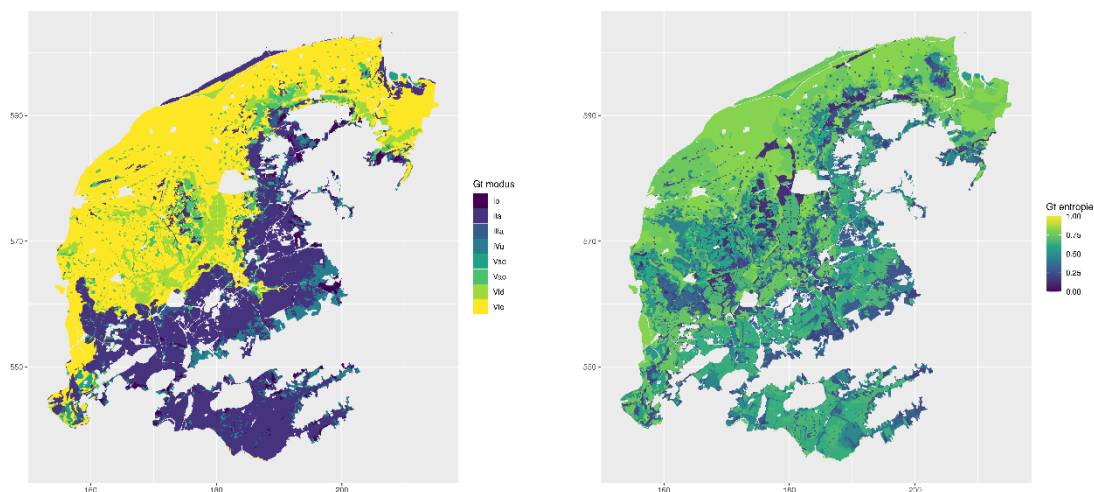
Op basis van de ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties (Figuur 8 en Figuur 9) kunnen we ook kaarten afleiden voor specifieke doeleinden. Figuur 12 geeft bijvoorbeeld het oppervlaktepercentage van de hoofdstrata met een GHG ondieper dan 30 cm-mv. Dergelijke kaarten kunnen bijvoorbeeld interessant zijn voor natuurbeheer.



Figuur 12 Deel van het hoofdstratum (%) met een GHG ondieper dan 30 cm-mv.

3.2 Grondwatertrappenkaart op hoofdstratumniveau

Figuur 13 geeft voor elk hoofdstratum de meest voorkomende Gt (dit wordt de modus genoemd). We zien dat het kleigebied in het noordwesten over het algemeen diepere Gt's heeft dan het veengebied in het zuidoosten. Binnen een hoofdstratum komen vaak meerdere Gt's voor. Een maat voor deze ruimtelijke variatie in Gt binnen hoofdstrata is Shannon's entropie. Deze kun je uitdrukken op een schaal van nul tot één. Een entropie van nul geeft aan dat het hoofdstratum slechts één Gt-klasse bevat. Een entropie van één geeft aan dat alle Gt-klassen binnen het hoofdstratum in gelijke mate vertegenwoordigd zijn.



Figuur 13 De meest voorkomende grondwatertrap in elk hoofdstratum (links) en de ruimtelijke variatie aan grondwatertrappen binnen elk hoofdstratum uitgedrukt als entropie: 0 = geen variatie, er komt maar één grondwatertrap voor, 1 = zeer veel variatie, alle grondwatertrappen zijn in gelijke mate vertegenwoordigd.

4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek was actuele kaarten te maken van de karakteristieken GHG, GLG en Gt van de grondwaterspiegeldiepte in het lage, holocene deel van de provincie Friesland voor de BRO en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren.

Het onderzoek heeft voor dit studiegebied de volgende producten opgeleverd:

- Kaart van GHG's;
- Kaart van GLG's;
- Bestand met 10.000 realisaties van GHG's en GLG's per 50x50m-gridcel, die de nauwkeurigheid weergeven van de kaarten van GHG's en GLG's;
- Kaarten die de nauwkeurigheid samenvatten in interkwartielafstanden: 50% van de realisaties van GHG's en GLG's ligt tussen het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel. Hoe kleiner de afstand tussen deze twee percentielen, hoe hoger de nauwkeurigheid;
- Een grondwatertrappenkaart, gebaseerd op de modus (meest voorkomende) van de grondwatertrappen die uit de 10.000 realisaties van GHG's en GLG's kunnen worden geclassificeerd;
- Een entropiekaart die de nauwkeurigheid aangeeft van de grondwatertrappenkaart.

Het bestand met 10.000 realisaties van GHG's en GLG's per 50x50m-gridcel vormt de basis voor alle afgeleide kaarten. Naast de kaarten die hierboven zijn genoemd, kunnen voor specifieke vraagstukken aparte kaarten worden afgeleid, bijvoorbeeld kaarten die de kans weergeven dat een bepaald kritisch niveau van GHG of GLG wordt overschreden.

Omdat in gebieden met beheerst peil de ruimtelijke variatie in GHG's, GLG's en Gt's vooral binnen percelen plaatsvindt, zijn 26 gebieden met gelijke perceelontwatering onderscheiden op basis van de bodemkaart en een peilenbeheerkaart. Dit zijn de hoofdstrata. De verdeling van GHG's, GLG's en Gt's is voor elke 50x50m-gridcel binnen een hoofdstratum gelijk. Deze geeft de verdeling weer binnen percelen in het betreffende hoofdstratum.

Wij concluderen dat het met de beschikbare middelen mogelijk is geweest actuele kaarten te maken van de karakteristieken GHG, GLG en Gt van de grondwaterspiegeldiepte in het lage, holocene deel van de provincie Friesland voor de BRO en de nauwkeurigheid van deze kaarten te kwantificeren.

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek bleek dat er relatief weinig (41) tijdreeksen uit peilbuizen beschikbaar zijn en dat deze reeksen zorgvuldige kwaliteitscontrole behoeften. Overige peilbuizen in het projectgebied zijn om een of meerdere redenen, zoals beschreven in paragraaf 2.1, als niet bruikbaar beoordeeld voor dit onderzoek. Wij bevelen uitbreiding van het meetnet aan, gericht op het waarnemen van grondwaterspiegeldieptes in percelen, zodat er op termijn meer bruikbare, langjarige meetreeksen beschikbaar zijn. Dit zal de nauwkeurigheid van de kaarten vergroten.

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van tijdreeksen uit peilbuizen en van metingen in open boorgaten. Wij bevelen aan om het meetnet aan te vullen met sensormetingen zoals met de Aquapin³ (Hoogland e.a., 2020; Van de Wal, 2021), die in het kader van participatieve monitoring door boeren wordt geplaatst in percelen en waarmee hoogfrequente tijdreeksen kunnen worden verzameld. Deze sensoren kunnen ook in akkers worden geplaatst, omdat ze tijdens grondbewerking en oogst tijdelijk verwijderd kunnen worden om daarna te worden herplaatst.

³ Merknaam is vermeld ter informatie, niet ter aanprijzing.

Literatuur

- Akritis, M.G., Murphy, S.A. and LaValley, M.P., 1995. The Theil-Sen estimator with doubly censored data and applications to astronomy. *Journal of the American Statistical Association* 90:170-177
- Bouwmans, J., 1990. Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel: een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Technische Commissie Grondwater Beheer, Utrecht.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel A: bodem. Wageningen, DLO Staring Centrum, Technisch Document 19a.
- EG, 1992. Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna. Luxemburg, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L206.
- EG, 1991. Richtlijn 91/676/EEG van de Raad van 12 december 1991 inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen. Luxemburg, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L676.
- Efron, B. en R.J. Tibshirani, 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-4541-9>
- EU, 2007. Richtlijn 2007/2/EG van het Europees Parlement en de Raad van 14 maart 2007 tot oprichting van een infrastructuur voor ruimtelijke informatie in de Gemeenschap (Inspire). Publicatieblad van de Europese Unie L 108.
- EU, 2009. Verordening (EG) Nr. 1107/2009 van het Europees Parlement en de Raad van 21 oktober 2009 betreffende het op de markt brengen van gewasbeschermingsmiddelen en tot intrekking van de Richtlijnen 79/117/EEG en 91/414/EEG van de Raad. Publicatieblad van de Europese Unie L 309.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters and F. de Vries, 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple resources of exhaustive high resolution data. *Geoderma* 123: 23-39.
- 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.
- 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. Alterra, Wageningen, Rapport nr. 915.
- Gruijter, J.J. de, D.J. Brus, M.F.P. Bierkens en M. Knotters, 2006. *Sampling for Natural Resource Monitoring*. Springer, Berlin, 332 pp.
- Heesen, H.C. van, 1970. Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. *Geoderma* 4: 257-278.
- Helsel, D.R., 2004. *Nondetects and Data Analysis: Statistics for Censored Environmental Data*. John Wiley and Sons, New York, 268 pp
- Hooghoudt, S.B., 1952. Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw. In: *Verslagen technische bijeenkomsten 1-6*, pp. 94-107, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 's-Gravenhage.
- Hoogland, F., A. Roelandse, S. Burger, M. Feltmann en J. Velstra, 2020. Participatieve monitoring: samen werken aan een betere waterkwaliteit. *Stromingen* 26: 59-71.
- 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.
- Kaplan, E. L., P. Meier, 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *J. Amer. Statist. Assoc.* 53:457-481. doi:10.2307/2281868
- Kekem, A.J. van, Hoogland, T. en Horst, J.B.F. van der, 2005. Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten. Wageningen, Alterra, rapport 1080.

-
- Knotters, M., M.J.D. Hack, P.J.W. Hinssen, J.W.H. van der Kolk en J.P. Okx, 2015. Betekenis van BRO/BIS Nederland voor WOT Natuur & Milieu. Een risicoanalyse. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen UR, WOt-interne notitie 121.
- Knotters, M., D. Walvoort, F. Brouwer, L. Stuyt en J. Okx, 2018. Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen digitaal beschikbaar. H2O-Online, 28 november 2018.
- Riele, te W.J.M. en D.J. Brus, 1991. Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG. Rapport 158, DLO-Staring Centrum, Wageningen
- 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 en H.R.J. Vroon, 2012. Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Wageningen, Alterra-rapport 2345.
- Runhaar, H. en S. Hennekens, 2014. Hydrologische Randvoorwaarden Natuur Versie 3; Gebruikershandleiding. Wageningen, Nieuwegein, Utrecht, Alterra Wageningen UR, KWR Watercycle Research Institute, STOWA.
- Sonneveld, M.P.W., M.J.D. Hack-ten Broeke, C.A. van Diepen en H.L. Boogaard, 2010. Thirty years of systematic land evaluation in the Netherlands. *Geoderma* 156: 84-92.
- Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer en H.T.L. Massop, 2018. Basisregistratie Ondergrond – Gd-kartering Laag-Nederland 2018; Provincie Flevoland. WOt Natuur & Milieu, WUR, Wageningen, WOt-technical report 145.
- Visser, W.C., 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Landbouwwaterhuishouding van Nederland. Rapport 1. Delft, TNO.
- Vroon, H.R.J. en E. Kiestra, 2010. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek Ooststellingwerf-Terwisscha: verkennend onderzoek langs een aantal raaien in het waterwingebied. Wageningen, Alterra-rapport 2079.
- Wal, H. van de, 2021. Quantifying the difference in measuring groundwater depth using the Aqua Pin and boreholes. Wageningen University, Internship report.
- Walvoort, D.J.J., D.J. Brus en J.J. de Gruijter, 2010. An R-package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. *Computers & Geosciences* 36(10): 1261-1267.
- Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.

Verantwoording

WOT-rapport: 131

BAPS-projectnummer: WOT-04-013-004

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT N&M) hecht grote waarde aan de kwaliteit van onze eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Wij bedanken Frans Lips (ministerie van LNV), Dick Brus (Biometris), Joop Okx en Dorothée van Tol-Leenders voor hun review van een eerdere versie van dit rapport.

Akkoord Referent

naam: Dick Brus (Biometris-WUR)

datum: 25 februari 2021

Akkoord Extern contactpersoon

functie: Senior beleidsmedewerker landbouw en digitalisering (LNV)

naam: Frans Lips

datum: 12 mei 2021

Akkoord Intern contactpersoon

naam: Dorothée van Tol - Leenders

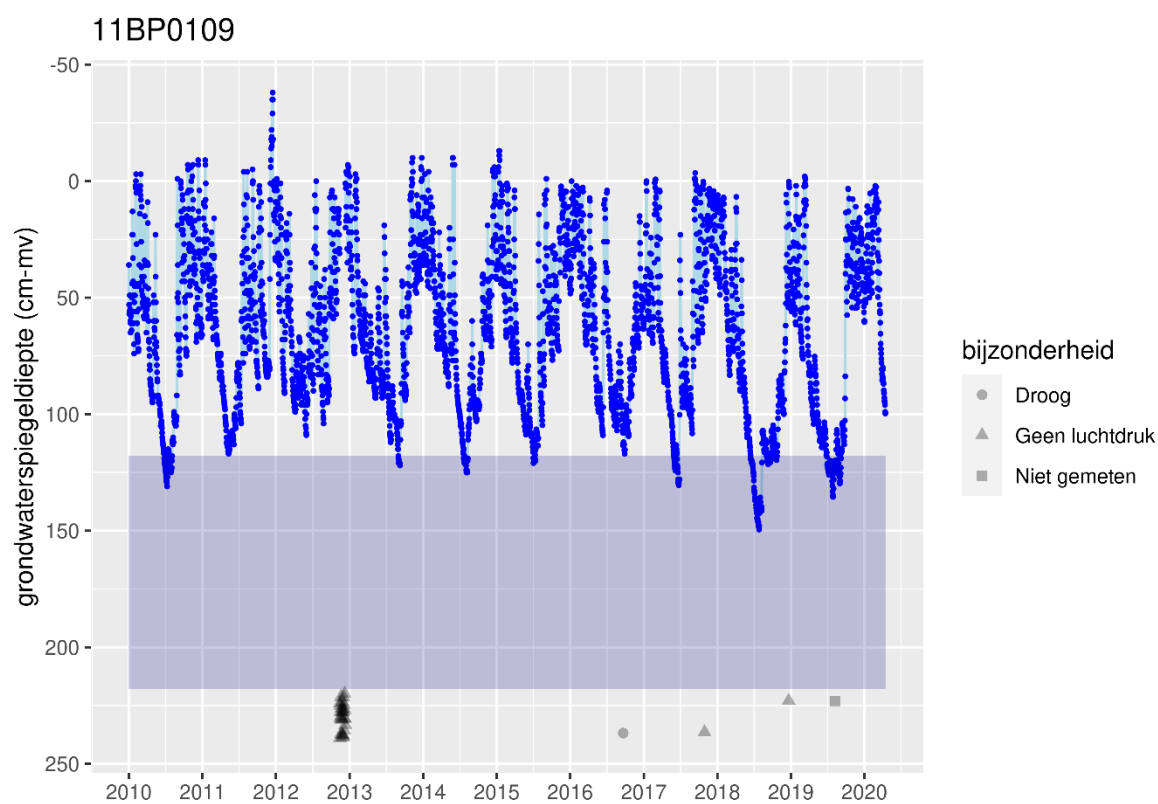
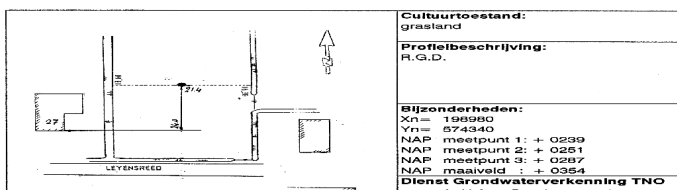
datum: 31 mei 2021

Bijlage 1 Geselecteerde stambuizen, grondwaterspiegeldiepte-verloop, afgeleide GxG en situatieschets

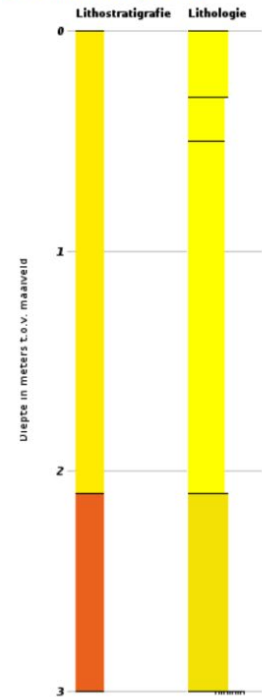
Tabel B1.1 Overzicht peilbuizen en afgeleide GHG en GLG.

buis	x	y	startdatum	einddatum	GHG	GLG	GVG
05EL0002	168813	589638	2010-01-01	2020-05-07	77	190	115
05FL0022	179070	588497	2010-01-01	2020-05-08	35	151	67
05FP9001	179060	589068	2010-01-01	2020-05-08	22	211	104
06BL9002	190405	595229	2017-01-01	2020-04-17	38	194	92
06GL9004	209070	584314	2010-01-14	2020-04-17	62	128	111
10BL9003	159319	573551	2015-01-01	2020-10-19	0	155	40
10EL9001	169435	574451	2010-01-01	2020-10-19	7	132	42
10GL9002	166666	556119	2015-01-01	2020-10-22	50	81	68
10HP9001	177185	555189	2010-01-01	2020-10-22	23	83	52
11AL9026	189899	573644	2013-01-01	2020-02-17	43	72	56
11AL9193	189737	566266	2017-04-14	2020-03-09	26	74	28
11AP0199	182967	570772	2010-03-18	2020-03-19	72	109	93
11BP0109	198980	574251	2010-01-01	2020-04-15	8	114	68
11EL9001	201634	574739	2010-03-10	2020-04-15	14	64	40
11GP9013	201067	550290	2010-01-01	2020-05-12	11	57	38
16AL9002	182855	543045	2010-01-01	2020-04-10	16	73	31
16AP9003	181846	537800	2010-01-01	2020-04-10	34	104	57
B05H0243	170100	586580	2010-01-14	2018-12-28	7	101	27
B05H0246	176070	582120	2010-01-14	2018-12-28	0	59	12
B06A0151	184320	591420	2010-01-15	2018-12-28	0	48	9
B06C0323	188667	583525	2012-01-01	2018-12-18	60	113	88
B06D0537	192484	583416	2010-01-18	2020-03-27	7	20	12
B06E0228	204223	596450	2010-01-18	2020-10-28	17	91	35
B06E0230	204191	596847	2010-01-18	2020-03-27	17	80	33
B06G0152	208387	586275	2010-01-01	2018-09-10	18	94	60
B06H0166	211141	581108	2010-01-14	2019-10-29	7	38	17
B10D0153	158230	553690	2010-01-18	2020-06-16	34	110	57
B10E0110	168825	570550	2010-01-01	2018-10-15	45	131	99
B10F0142	179680	562520	2010-01-05	2019-05-02	0	63	13
B10H0307	179150	557190	2010-01-05	2019-09-30	1	60	12
B11B0300	190753	573087	2010-03-14	2020-06-23	0	18	7
B11B0308	193095	573353	2015-01-16	2020-06-23	0	0	0
B11C0329	183898	558350	2010-01-04	2019-09-30	17	66	30
B11C0353	183610	558125	2010-01-04	2019-09-30	0	62	11
B11C0354	182510	562455	2011-06-14	2019-09-30	21	68	34
B11C0355	182750	562075	2010-12-14	2019-09-30	5	61	27
B11D0161	198202	561171	2010-01-01	2018-12-11	21	91	68
B15B0160	157730	548710	2010-01-15	2019-10-28	0	28	2
B15B0162	158310	548795	2010-01-15	2019-10-28	3	39	13
B16A0204	188922	547825	2010-01-14	2020-01-27	6	51	16

NAAM PROJECT : PRIMAIR MEETNET FRIESLAND
 GEMEENTE : SMALLINGERLAND
 TNO/DGV NUMMER : 11BP0109
 TOP. KAART AAND : 11B SCHAAL 1 : 25.000



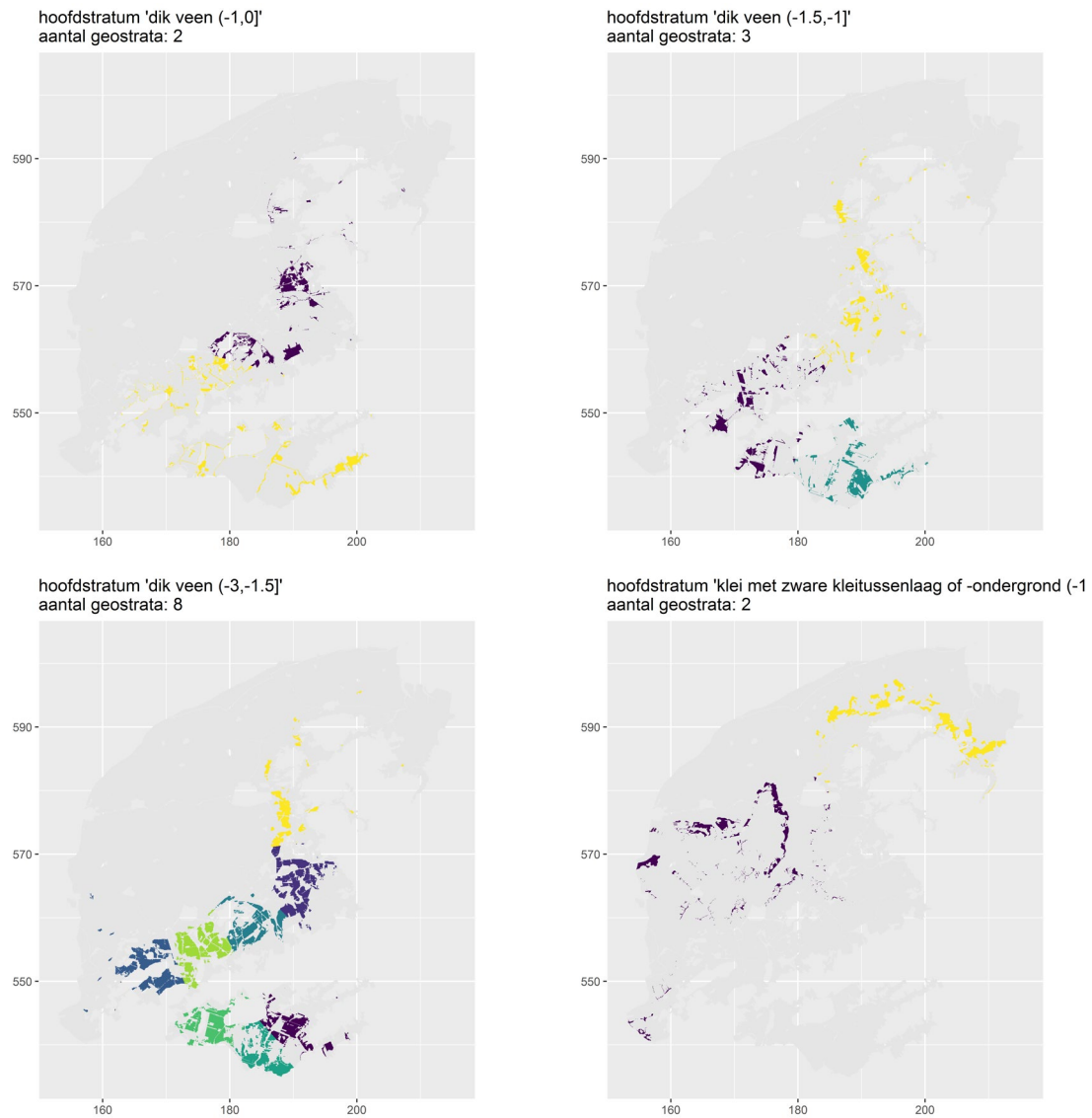
Boormonsterprofiel



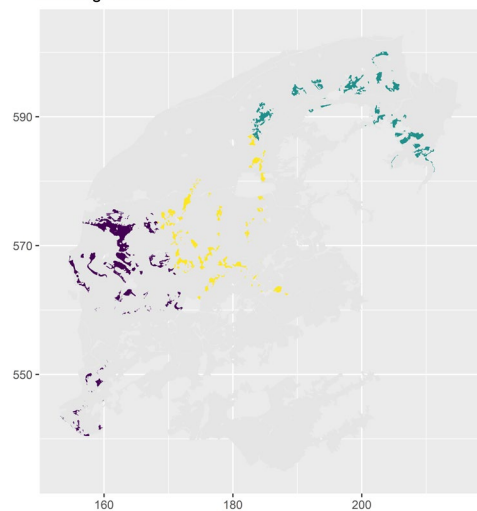
Identificatie : B11B0109
Coördinaten : 198981 , 574251 (RD)
Maaiveld: 0.35 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: Onbekend
Kwaliteit interpretatie: Gevalideerd in ondergrondmodel

Lithostratigrafie **Lithologie**
■ BX ■ Zand fijne categorie
■ DRGI ■ Zand midden categorie

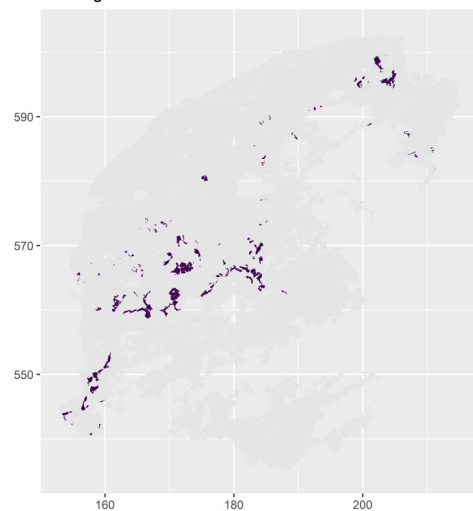
Bijlage 2 Indeling in compacte geografische strata



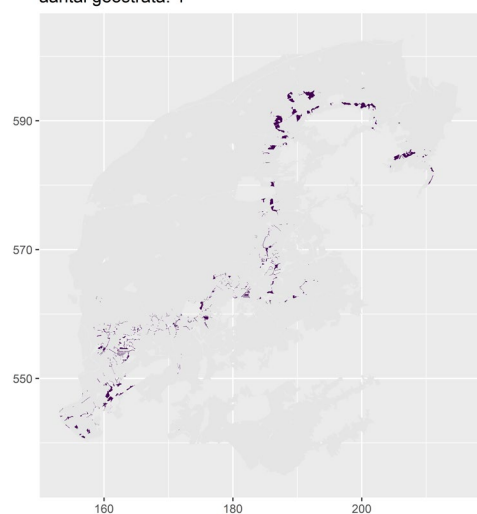
hoofdstratum 'klei met zware kleitussenlaag of -ondergrond (-1
aantal geostrata: 3



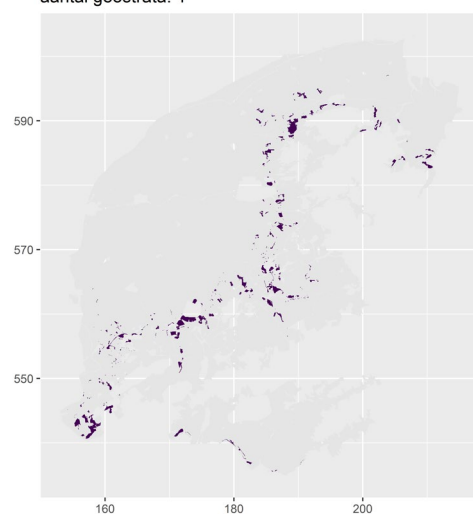
hoofdstratum 'klei met zware kleitussenlaag of -ondergrond (-3
aantal geostrata: 1



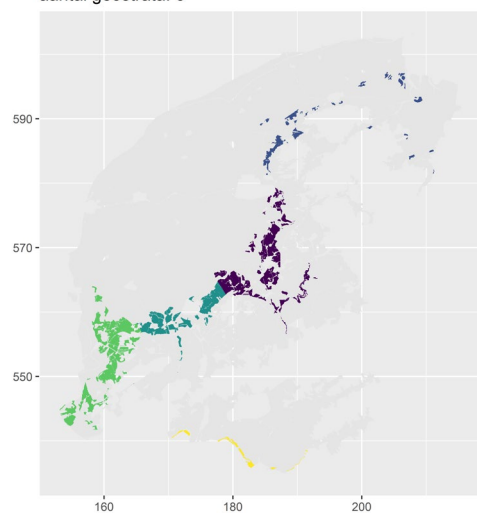
hoofdstratum 'klei op veen (-1,0]
aantal geostrata: 1



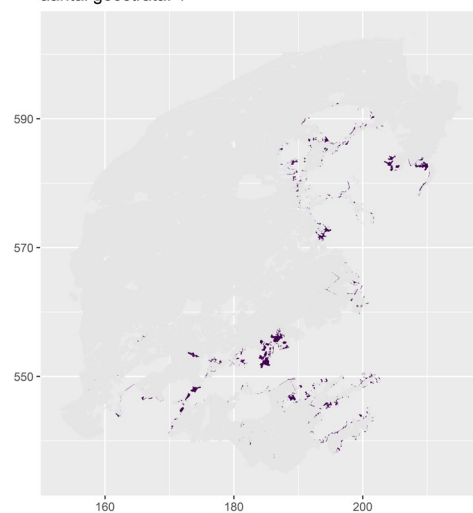
hoofdstratum 'klei op veen (-1.5,-1]
aantal geostrata: 1



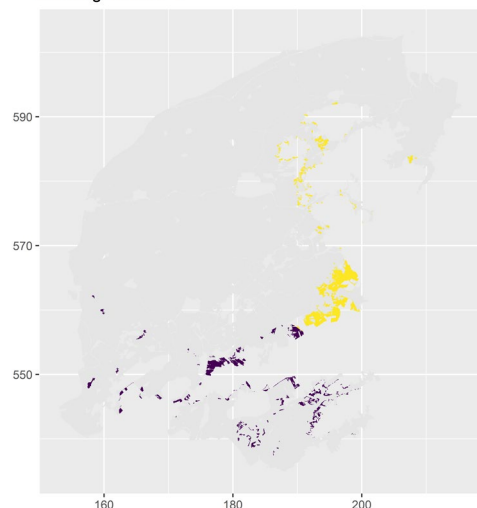
hoofdstratum 'klei op veen (-3,-1.5]
aantal geostrata: 5



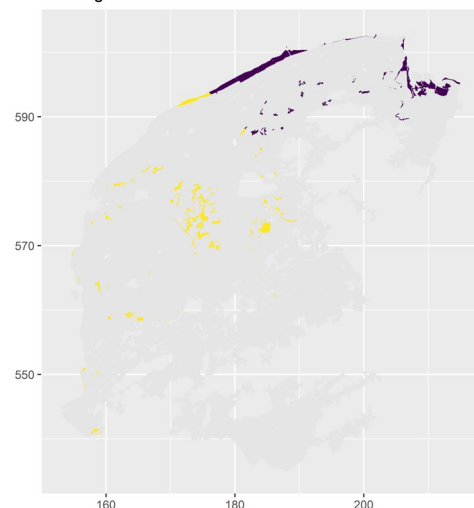
hoofdstratum 'moerige grond op zand of keileem (-1.5,-1]
aantal geostrata: 1



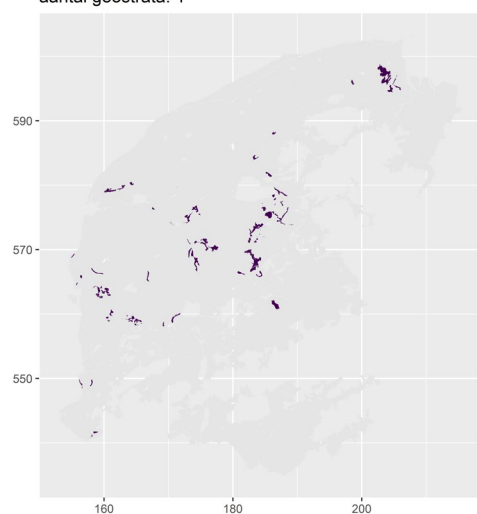
hoofdstratum 'moerige grond op zand of keileem (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 2



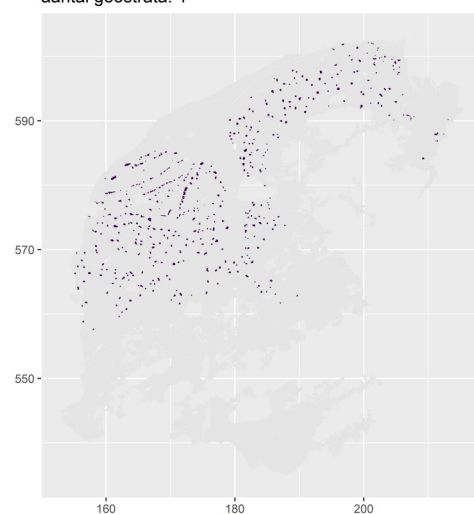
hoofdstratum 'niet-gerijpte ondergrond (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 2



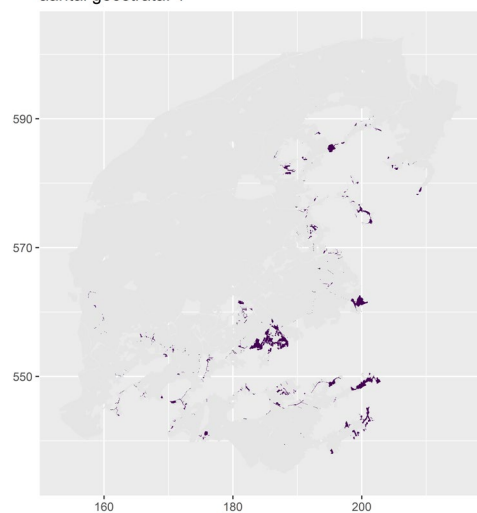
hoofdstratum 'niet-gerijpte ondergrond (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 1



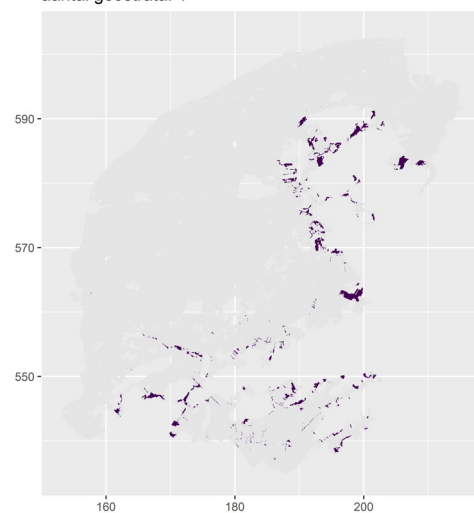
hoofdstratum 'terp (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 1



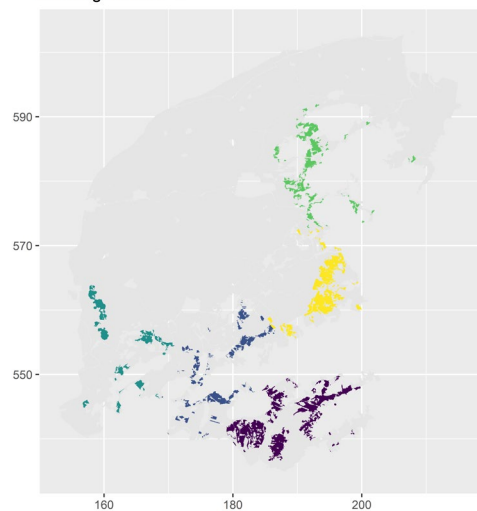
hoofdstratum 'veen op zand of keileem (-1,0]'
aantal geostrata: 1



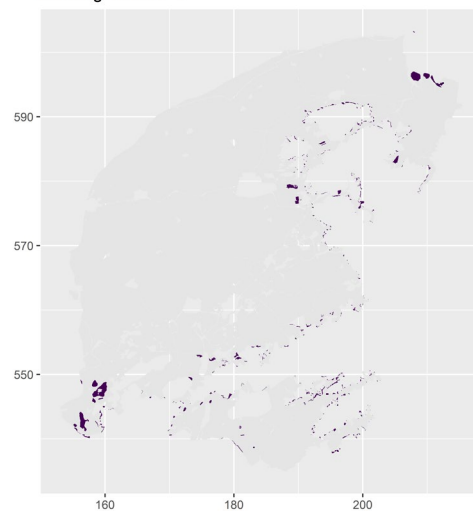
hoofdstratum 'veen op zand of keileem (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 1



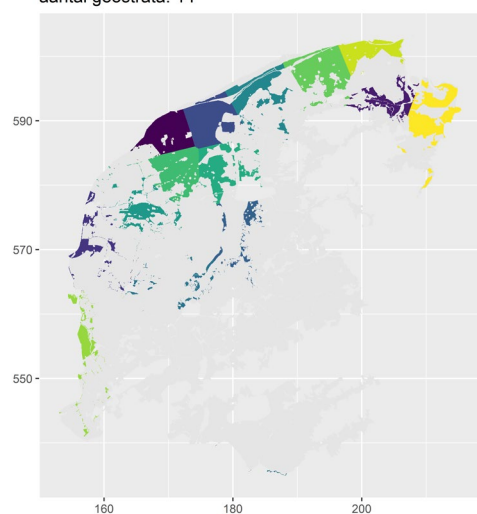
hoofdstratum 'veen op zand of keileem (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 5



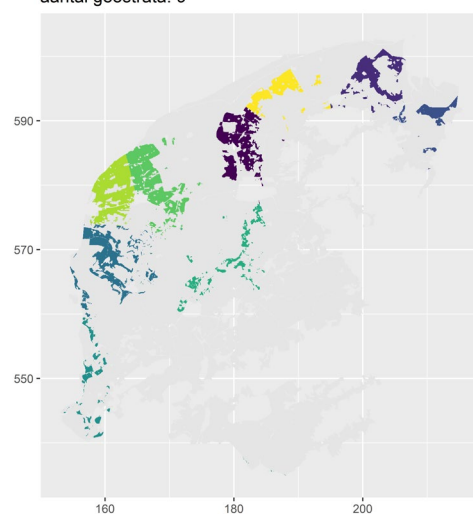
hoofdstratum 'zand, al dan niet met ondiep keileem (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 1



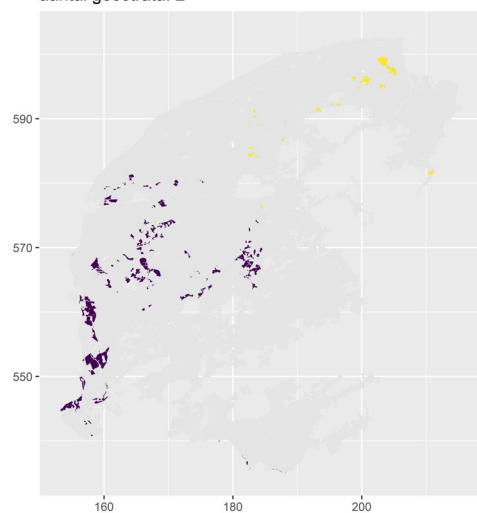
hoofdstratum 'zavel en lichte klei (-1,0]'
aantal geostrata: 14



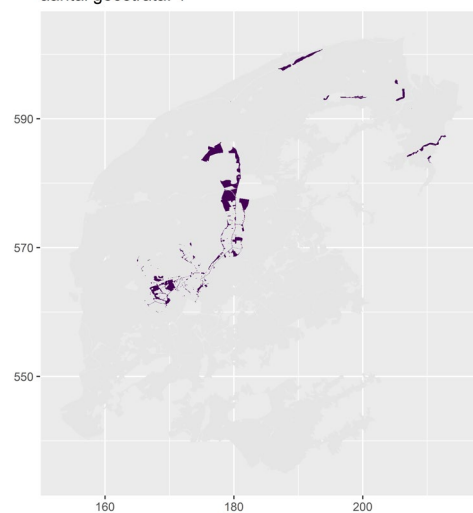
hoofdstratum 'zavel en lichte klei (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 9



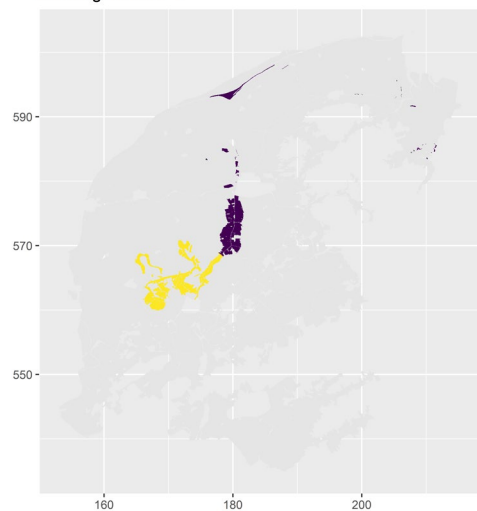
hoofdstratum 'zavel en lichte klei (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 2



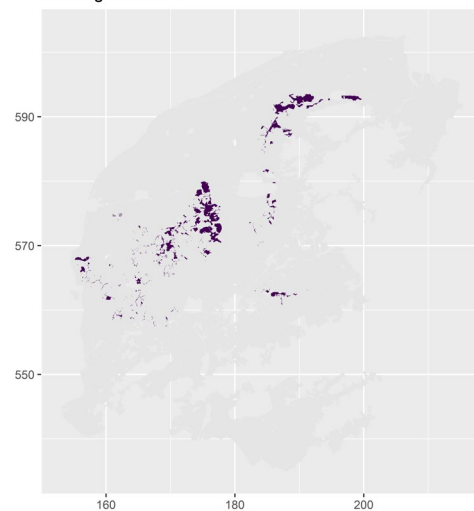
hoofdstratum 'zware klei (-1,0]'
aantal geostrata: 1



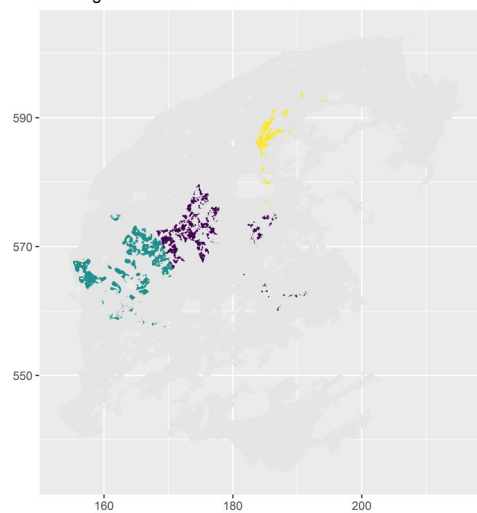
hoofdstratum 'zware klei (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 2



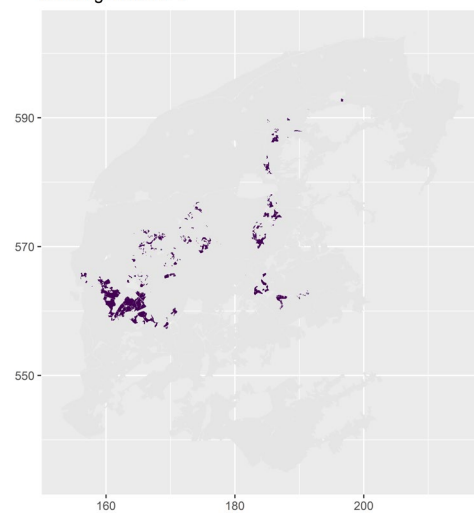
hoofdstratum 'zware klei met knip (-1,0]'
aantal geostrata: 1



hoofdstratum 'zware klei met knip (-1.5,-1]'
aantal geostrata: 3



hoofdstratum 'zware klei met knip (-3,-1.5]'
aantal geostrata: 1



Bijlage 3 Veldwerkprotocol GD

Toestemming

- Zoek contact met de landeigenaar waar een gerichte opname en boorbeschrijving gedaan moet worden.
- Leg uit waarvoor het onderzoek dient en wat je wil gaan doen. Indien de landeigenaar graag onderzoeksresultaten ontvangt, maak dan een notitie. Indien er geen toestemming wordt verleend komt de locatie te vervallen en zal worden vervangen door een reservepunt. Ga nooit zonder toestemming het veld in.

Gerichte opname

- Benader de te onderzoeken locatie zo nauwkeurig mogelijk (binnen de onnauwkeurigheid van de GPS). Houdt bij het benaderen van de locatie altijd rekening met flora en fauna. Indien de locatie niet bereikbaar is te voet, te gevaarlijk is om te bereiken of er noemenswaardige schade ontstaat aan flora/fauna komt de locatie te vervallen en zal worden vervangen door een reservepunt. Verleg nooit zelf de locatie meer dan 10 m.
- Voer de grondboring uit volgens de richtlijnen in Technisch Document 19A (Ten Cate et al., 1995) en maak een profielbeschrijving tot een diepte van ten minste 1.5 m. Maak tijdens het boren een inschatting van de diepte van de grondwaterspiegel op dat moment. Als de grondwaterspiegel binnen 1.5 m zit, maak dan een extra boorgat op 2m afstand van de eerste en boor deze uit tot een diepte van plm. 10 à 20 cm onder de verwachte grondwaterspiegel. Het profiel van deze boring hoeft niet te worden beschreven. Indien de grondwaterspiegel dieper dan 1.5 m zit, boor dan door tot 10 a 20 cm onder de verwachte grondwaterspiegel. Maak in dit geval een profielbeschrijving tot de volledige geboorde diepte.
- Maak op basis van het bodemprofiel de inschatting of er mogelijk een schijnspiegel is opgetreden of kan optreden, bijvoorbeeld op een slecht doorlatende laag. Indien dit het geval is, maak dan een extra boorgat, eentje tot op de slecht doorlatende laag en eentje onder de slecht doorlatende laag. Noteer bij alle boringen de boorgatdiepte.
- Laat het boorgat/boorgaten open en dek deze zo nodig af, bijvoorbeeld als er vee in het perceel loopt of je verwacht dat dit gaat gebeuren. Maak op basis van het bodemprofiel de inschatting hoe lang het boorgat open moet blijven voor een nauwkeurige meting van de grondwaterspiegel. Minimaal 24-48 uur, maar soms is een langere insteltijd nodig, zoals bijvoorbeeld in zware klei.
- Kom na de verwachte insteltijd terug en meet de grondwaterspiegeldiepte met een meetklokje. Indien je bedenkingen hebt bij de insteltijd, laat dan (als het kan) het boorgat langer open en kom nog een keer terug. Noteer bij iedere waarneming de tijd van waarnemen en diepte van de grondwaterspiegel ten opzichte van maaiveld. Indien je tevreden bent met de waarneming, vul dan het boorgat weer op.
- Voornamelijk tijdens de GHG-meetcampagne kan het voorkomen dat bij sommige locaties gedeeltelijk plassen op maaiveld blijven staan. Indien je de verwachting hebt dat een gemaakt boorgat vol stroomt met water vanaf maaiveld en hierdoor een onrealistische weergave geeft van de grondwaterspiegel, maak hiervan dan een notitie. Laat indien mogelijk het boorgat langer open en kom, bijvoorbeeld een week later, nogmaals terug voor nog een waarneming.
- Lever de verzamelde data aan volgens de vooraf gemaakte formulieren.

Verschenen documenten in de reeks Rapporten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

120	Velthof, G.L., W. Bussink, W. van Dijk, P. Groenendijk, J.F.M. Huijsmans, W.A.J. van Pul, J.J. Schröder, Th.V. Vellinga en O. Oenema (2013). <i>Protocol gebruiksvoorschriften dierlijke mest, versie 1.0.</i>	127	Mattijssen, T.J.M., A.E. Buijs, B.H.M. Elands & R.I. van Dam (2015). <i>De betekenis van groene burgerinitiatieven; analyse van kenmerken en effecten van 264 initiatieven in Nederland.</i>
121	Bakker, E. de, H. Dagevos, E. van Mil, P. van der Wielen, I. Terluin & A. van den Ham (2013). <i>Energieke zoektochten naar verduurzaming in landbouw en voedsel; Paradigma's en praktijken.</i>	128	I.M. Bouwma, J.L.M. Donders, D.A. Kamphorst, J.Y. Frissel, R.M.A. Wegman, H.A.M. Meeuwsen & L.M. Jones-Walters (2016). <i>Stakeholder perceptions in relation to changes in the management of Natura 2000 sites and the causes and consequences of change. A survey in England, Flanders, France and the Netherlands.</i>
122	Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, H.J. Venema & J.J. Jongsma (2013). <i>Friese en Groninger kwelderwerken: Monitoring en beheer 1960-2010.</i>	129	Velthof, G.L., F.H. Kistenkas, P. Groenendijk, E.M.P.M. van Boekel en O. Oenema (2018). <i>Wettelijk instrumentarium voor landbouwmaatregelen om waterkwaliteit te verbeteren. Realisatie van nutriëntendoelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water.</i>
123	Silvis, H.J. and C.M. van der Heide (2013). <i>Economic viewpoints on ecosystem services.</i>	130	Westerink, J., D.A. Kamphorst, E. de Wit, C.M. van der Heide, T.A. de Boer en A.L. Gerritsen (2018). <i>Van meerdere kanten bekeken. Een meervoudig analyse- & evaluatiekader voor beleid gericht op maatschappelijke betrokkenheid bij natuur; op maat te maken met behulp van kaarten.</i>
124	Ottburg, F.G.W.A. & C.A.M. van Swaay (2014). <i>Gunstige referentiewaarden voor populatieomvang en verspreidingsgebied van soorten van bijlage II, IV en V van de Habitatrichtlijn in Nederland.</i>	131	Gerritsen, P., D.J.J. Walvoort, M. Knotters (2021). <i>Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland; Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO).</i>
125	Bijlsma, R.J., J.A.M. Janssen, E.J. Weeda & J.H.J. Schaminée (2014). <i>Gunstige referentiewaarden voor oppervlakte en verspreidingsgebied van Natura 2000-habitattypen in Nederland.</i>		
126	Boer de, T.A., A.T. de Blaeij, B.H.M. Elands, H.C.M. de Bakker, C.S.A. van Koppen en A.E. Buijs (2014). <i>Maatschappelijk draagvlak voor natuur en natuurbeleid in 2013.</i>		



Thema Basisregistratie Ondergrond

Wettelijke Onderzoekstaken

Natuur & Milieu

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T (0317) 48 54 71

E info.wnm@wur.nl

ISSN 1871-028X

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 Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 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.

