



Gerichte opname 't Klooster

Vastleggen van de huidige
hydrologische situatie
(GHG en GLG) in
waterwingebied 't Klooster



AEQUATOR
GROEN+RUIMTE

GERICHTE OPNAME 'T KLOOSTER

Uitgebracht aan: Bij12
 Advies Commissie Schade Grondwateronttrekking
 Leidseveer 2
 3511 SB Utrecht

Uitgebracht door: Aequator Groen & Ruimte bv
 Postbus 1171
 3840 BD Harderwijk

Contactpersoon: Han Grobbe
 Tel. 06 288 44 200

Auteur(s):

5.1.2.e

Versie: Definitief

Datum: 17-7-2023

Gecontroleerd door:

5.1.2.e

INHOUDSOPGAVE

WOORD VOORAF	1
1 DOEL VAN HET PROJECT	2
1.1 Probleemstelling.....	2
1.2 Doelstelling.....	2
1.3 Beoogde projectresultaten	2
1.4 Definities GHG, GVG en GLG.....	2
2 AANPAK	4
2.1 Fasering	4
2.1.1 Verzamelen van tijdreeksen uit peilbuizen	4
2.1.2 Beoordelen peilbuizen	4
2.1.3 Bepalen van de gerichte opname locaties (boorplan).....	5
2.1.4 Uitvoeren van twee gerichte opnames.....	6
2.1.5 Berekening van de GHG, GVG en GLG op de gerichte-opnamelocaties	6
3 RESULTATEN	8
3.1 Gerichte opnames.....	8
3.1.1 Bodemprofielbeschrijvingen.....	8
3.1.2 Gemeten grondwaterstanden	9
3.2 Beoordeling van de peilbuizen	9
3.3 Berekende GXG's van de gerichte-opnamelocaties.....	11
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	12
4.1 Conclusies	12
4.2 Aanbevelingen	12
5 LIJST MET BIJLAGEN	14
6 LITERATUUR	15

WOORD VOORAF

In het gebied rondom het grondpompstation 't Klooster bij Hengelo (Gelderland) is in opdracht van BII12 de actuele grondwatersituatie (GHG, GVG en GLG) in beeld gebracht. Dit rapport beschrijft de wijze waarop de gegevens zijn verzameld.

Het onderzoek is uitgevoerd door adviesbureau Aequator Groen + Ruimte en Wageningen Environmental Research, in de periode november 2022 – juni 2023.

1 DOEL VAN HET PROJECT

1.1 Probleemstelling

De AdviesCommissie Schade Grondwater voert op verzoek van de provincie Gelderland onderzoek uit naar de schade aan landbouwgewassen als gevolg van de drinkwaterwinning 't Klooster (Hengelo (Gld.) van waterbedrijf Vitens. De droogteschaderegeling bij drinkwaterwinning 't Klooster bij Hengelo (Gld.) is aan herziening toe. Ten behoeve van het vaststellen van de schade is inzicht nodig in de actuele bodem- en grondwatersituatie. In het verleden is van het gebied een gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart vervaardigd, waarvan de grondwatertrappenkaart verouderd zal zijn. Het veldwerk richt zich dan op het vaststellen van de actuele grondwatersituatie.

1.2 Doelstelling

Doel van het onderzoek is het vastleggen van de huidige hydrologische situatie (GHG, GVG en GLG), op 105 locaties op landbouwgronden in het grondwateronttrekkingsgebied 't Klooster bij Hengelo Gld. (zie figuur 1). Het onderzoeksgebied heeft een oppervlakte van 1045 ha. De berekende GXG's worden gebruikt om het door Arcadis in fase 1 opgestelde grondwatermodel verder te optimaliseren. Met het hydrologisch model berekende grondwaterdynamiek wordt door de ACSG gebruikt voor het berekenen van de opbrengstderving door een veranderende freatische grondwaterspiegeldiepte als gevolg van grondwaterwinning door het pompstation 't Klooster.

1.3 Beoogde projectresultaten

Resultaat van het onderzoek zijn berekende GHG, GVG en GLG op de gerichte opname locaties. Van iedere gerichte-opnamelocatie is het bodemprofiel beschreven volgens het systeem van bodemclassificatie, tot een diepte van maximaal 4,20 m -mv. De resultaten worden in dit rapport beschreven. De berekende GHG, GVG en GLG is in tabelvorm opgeleverd, de boorbeschrijvingen zijn in de Basis Registratie Ondergrond (BRO) opgenomen. Het onderzoeksgebied staat in figuur 1 weergegeven.

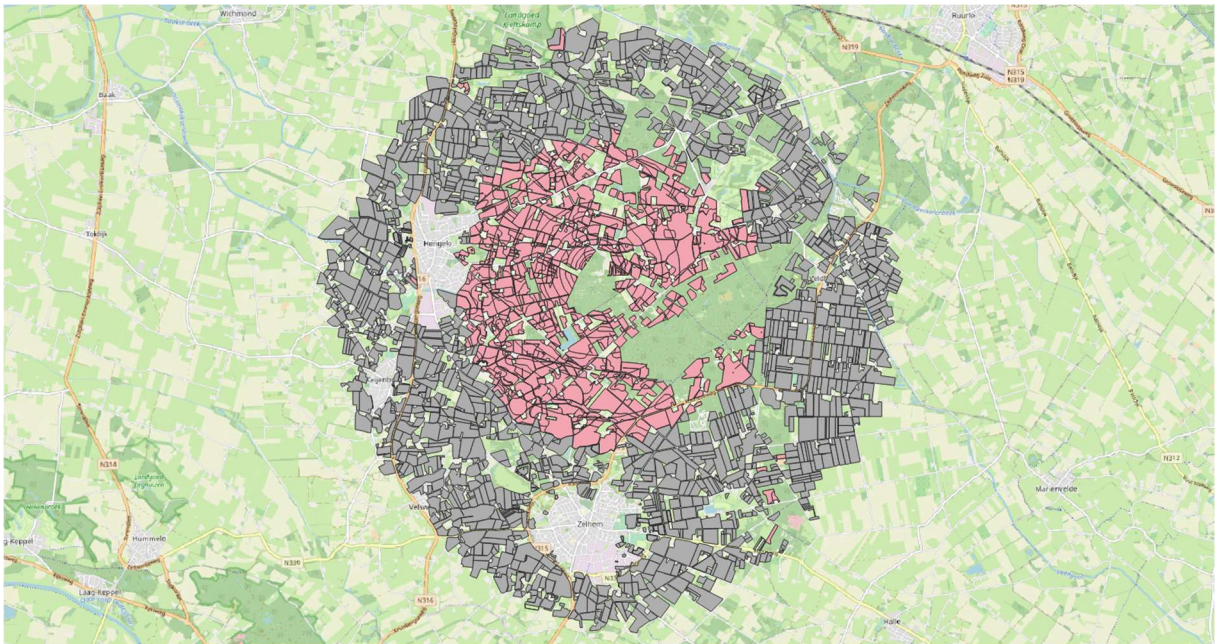
1.4 Definities GHG, GVG en GLG

Wij hanteren de definities volgens Ritzema e.a. (2012) en maken onderscheid tussen definitie en schatter. Gemiddelden over 2010-2018 zijn schatters voor gemiddelden over 30 jaar (definitie). De GHG, GLG en GVG zijn als volgt gedefinieerd:

- GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand, gemiddeld kleinste diepte van de grondwaterspiegel): gemiddelde van de HG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
- GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand, gemiddeld grootste diepte van de grondwaterspiegel): gemiddelde van de LG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
- GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand, gemiddelde diepte van de grondwaterspiegel in het voorjaar): gemiddelde van de VG3 over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
- HG3: gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden (drie kleinste grondwaterspiegeldiepten) in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14^e en 28^e);
- LG3: gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden (drie grootste grondwaterspiegeldiepten) in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14^e en 28^e);
- VG3: gemiddelde van de grondwaterstanden (grondwaterspiegeldiepten) op 14 maart, 28 maart en 14 april in een bepaald kalenderjaar.

Grondwaterstanden worden uitgedrukt ten opzichte van een vast referentieniveau (meestal NAP). GHG, GLG en GVG hebben betrekking op de diepte van de grondwaterspiegel onder maaiveld. Daarom spreken we liever over de grondwaterspiegeldiepte, wat ook in lijn is met het Engelse (*ground*)water table depth).

GHG, GLG en GVG kunnen op verschillende manieren worden geschat uit tijdreeksen. Op verzoek van ACSG hebben wij de GHG, GLG en GVG geschat met de gemiddelden van de HG3's, LG3's en VG3's uit reeksen van de negen hydrologische jaren 1-4-2010 tot en met 31-3-2019.



Figuur 1: Landbouwpercelen binnen het beïnvloedingsgebied van de grondwateronttrekking 't Klooster. Met roze zijn de schade gevoelige percelen weergegeven.

2 AANPAK

2.1 Fasering

Van het gebied is een bodem-, grondwatertrappen- (Gt) en shadevlakkenkaart beschikbaar (schaal 1:25 000) uit 1974 (van Holst et. Al.) en later geactualiseerd in 1992 (Groot Obbink). Deze kaart is verouderd en met name de grondwatersituatie (GHG en GLG) moet geactualiseerd worden. De contourlijn van dit gebied staat in figuur 1 weergegeven.

De actualisatie vindt plaats door het uitvoeren van twee gerichte opnames. Hierbij wordt in een periode waarin de grondwaterstanden zich rond GLG (oktober/november) en GHG (februari/maart) bevinden op 105 locaties de grondwaterspiegeldiepte in open boorgaten gemeten, wordt de bodemkundige profielopbouw beschreven en de GXG geschat op basis van hydromorfe kenmerken. Het uitgangspunt hierbij is dat er elke 10 hectare een gerichte opname wordt gedaan. De gerichte opname is de kernactiviteit.

2.1.1 Verzamelen van tijdreeksen uit peilbuizen

Van Vitens hebben wij informatie ontvangen van de peilbuizen die in het gebied door hen worden beheerd. Het gaat hierbij om locatie (X,Y-coördinaten) filterstelling, NAP-hoogte en tijdreeksen. Omdat alle peilbuizen zijn voorzien van automatische dataloggers en de peilbuizen waren voorzien van een slot heeft de beheerder van Vitens de data voor ons uitgelezen en na validatie aan ons opgeleverd. Naast Vitens heeft ook het waterschap Rijn en IJssel grondwaterstandbuizen in het beheer. Deze buizen zijn voorzien van een realtime logger en de data hiervan is via de web portal gedownload.

2.1.2 Beoordelen peilbuizen

De bruikbaarheid en betrouwbaarheid van de grondwaterdata die in een peilbuis verzameld zijn, zijn van essentieel belang voor verder gebruik en interpretatie van deze data. Als een peilbuis op een niet-representatieve plek staat (niet in het doelgebied), of verkeerde filterstelling heeft (niet in de fluctuatietoneel van de freatische grondwaterspiegel), onder invloed is van verharding (toestroming van water over verharding), dan kan dit gevolgen hebben voor het gebruik van deze data. Daarom selecteren we eerst de bruikbare peilbuizen. We hanteren hiervoor een aantal selectiecriteria (representativiteit locatie, in een landbouwperceel, niet langs wegen of sloten, filterstelling in het GXG-traject, ed.) en we maken een bodembeoordeling en gerichte opname bij elke peilbuis op het naastliggende representatieve landbouwperceel. Hiervoor wordt van elke buis een profielbeschrijving gemaakt, om te beoordelen of het filter zich bevindt in het freatische grondwater en of er sprake is van storende lagen. Een aantal grondwaterstandbuizen van het waterschap Rijn en IJssel zijn in 2021 geplaatst en hebben dus een te korte meetreeks om de GXG te berekenen. Deze buizen zijn gebruikt als gerichte opname locatie om de GHG, GVG en GLG te berekenen. Alleen buizen waarvan de GHG / GLG niet beïnvloed wordt door b.v. ontwateringsmiddelen zijn gebruikt om de GXG te berekenen. In totaal hadden we de beschikking over 41 peilbuizen en na beoordeling zijn uiteindelijk 15 peilbuizen gebruikt om de stambuisregressie mee uit te voeren.



Figuur 2: Ligging van 33H0352. Voorbeeld van een grondwaterstandbuis waar de grondwaterfluctuatie wordt beïnvloed door een ontwateringsmiddel

2.1.3 Bepalen van de gerichte opname locaties (boorplan)

Op 105 locaties is een gerichte opname van de GXG uitgevoerd binnen de 20 cm contourlijn op landbouwpercelen, aangevuld met percelen waar ACSG onzeker is over de hoogte van de droogteschade. Dit aantal is gebaseerd op een waarnemingsdichtheid van één gerichte opname per 10 ha en een oppervlakte van 1045 ha. De locaties van de gerichte opname zijn zorgvuldig uitgekozen, waarbij rekening is gehouden met een zo goed mogelijke verdeling over de eigenschappenruimte. Dit betekent dat bij de verdeling van de punten over het gebied rekening is gehouden met variatie in bodemtype, grondwatertrap en de effecten van de grondwaterwinning op het actuele grondwaterniveau. Hiertoe is de oude bodem- en Gt-vlakken (of schadevlakken) gecombineerd met het nieuwe verlagingspatroon (in klassen van 10 cm). Dit leidt tot kaartenheden bestaande uit vlakken met:

- gelijke verlaging van de grondwaterstand;
- oude GXG en oude bodemopbouw.

De 105 locaties bleken voldoende te zijn om in alle voorkomende bodem-grondwatertrap-verlaging-combinatie een waarneming uit te voeren. De locaties zijn gekozen door loting, zodat objectiviteit maximaal is nagestreefd en nauwkeurigheid kan worden gekwantificeerd. Per kaartenheid is de locatie voor de gerichte opname geloot. De exacte locatie is uiteindelijk in het veld door de velbodemkundige bepaald. Aan de gerichte-opnamelocaties hebben we verder zes peilbuizen van het waterschap Rijn en IJssel toegevoegd die sinds 2020 operationeel zijn (zie bijlage) en zijn er zes extra punten bezocht in de het bosgebied van Het Zand. In totaal is op 117 locaties tweemaal een meting uitgevoerd op basis waarvan de GXG wordt geschat.

Bodemtype	Grondwatertrap
Zwarte Enkeerdgrond	III
Bruine Enkeerdgrond	IIIb
Laarpodzolgrond	V
CultuurdekBeekeerdgrond	VI
Kanteerdgrond	VII
Veldpodzolgrond	VIII d
Gooreerdgrond	
Beekeerdgrond	
Vorstvaaggrond	
Duinvaaggrond	

Tabel 1: Voorkomende bodemtypes en grondwatertrappen volgens de detail-bodemkaart van Van Holst (1974).

2.1.4 Uitvoeren van twee gerichte opnames

De gerichte opnames zijn uitgevoerd op 11 november 2022 en op 1 maart 2023. Beide standen zijn gebruikt om de GHG, GVG of de GLG te berekenen. Op de vooraf bepaalde locaties is met een Edelman-grondboor een gat geboord tot net onder de actuele grondwaterstand, tot een maximum van 4,20 meter -mv. Ten minste 1 dag later is in het open boorgat de grondwaterspiegel gemeten. Wanneer op 4,20 -mv geen grondwater is aangetroffen is dit genoteerd als dieper dan 4,20 m -mv.

Van het bodemprofiel is een beschrijving gemaakt volgens het "Systeem van bodemclassificatie" (De Bakker en Schelling, tweede herziene versie) en aan iedere boring is een BOFEK2020-code toegekend. De boringen zijn in de BasisRegistratieOndergrond (BRO) opgenomen.

Alle gegevens, grondwaterstanden en bodemprofielbeschrijvingen zijn aan de opdrachtgever in een digitaal bestand opgeleverd (Bijlage 1 en Bijlage 2).

2.1.5 Berekening van de GHG, GVG en GLG op de gerichte-opnamelocaties

Voor de boorgatlocaties van de gerichte opnames berekenden we GHG's, GVG's en GLG's met 'stambuisregressie' (Te Riele en Brus, 1991). Hierbij wordt de grondwaterspiegeldiepte in de n peilbuizen en m boorgaten gelijktijdig gemeten op gericht gekozen momenten; wanneer de grondwaterspiegeldieptes zich rond de GHG- en GLG-niveaus bevinden. Vervolgens fitten we een lineair regressiemodel dat de relatie beschrijft tussen de GHG's en GLG's die uit de tijdreeksen zijn berekend en de grondwaterstanden die op de gerichte momenten in de peilbuizen zijn berekend:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \quad (1)$$

waarin y_i de GHG (GVG, GLG), uit een tijdreeks berekend voor peilbuislocatie i is ($i=1 \dots n$), x_i de grondwaterspiegeldiepte die in de peilbuis op locatie i is waargenomen, β_0 de interceptcoëfficiënt is, β_1 de richtingscoëfficiënt en ϵ_i het regressieresidu. Dit lineaire model gebruikten we om de GHG's (GVG's, GLG's) te berekenen voor de boorgatlocaties. Impliciet veronderstelden we daarbij dat de grondwaterspiegel op alle locaties in het studiegebied gelijktijdig het diepste en ondiepste punt bereikt.

Waargenomen grondwaterspiegeldieptes kunnen rechts-gecensureerd zijn, wat betekent dat we alleen weten dat de grondwaterspiegel zich dieper bevindt dan de onderkant van een filter of een boorgat. Laat je deze waarnemingen weg, of vervang je ze door de censorgrens (de diepte van het boorgat), dan introduceer je een vertekening. Je kunt rekening houden met gecensureerde waarnemingen door maximum likelihood-regressie of niet-parametrische regressie toe te passen. Wij volgden het advies van Helsel (2004) om niet-parametrische regressie toe te passen als het aantal waarnemingen kleiner is dan 50. Voor details over niet-parametrische regressie (Akritas-Theil-Sen) verwijzen wij naar Gerritsen e.a. (2021) en Knotters e.a. (2022).

Voor elke locatie zijn voor de twee datums waarop de gerichte opnames hebben plaatsvonden een stambuisregressiemodel gekalibreerd voor GHG, GLG en GVG. Voor een gerichte-opnamelocatie zijn vervolgens twee GHG's, GLG's en GVG's berekend met de stambuisregressiemodellen: één voor elke opnamedatum. Om te voorkomen dat de GVG kleiner is dan de GHG e.d. was de procedure als volgt:

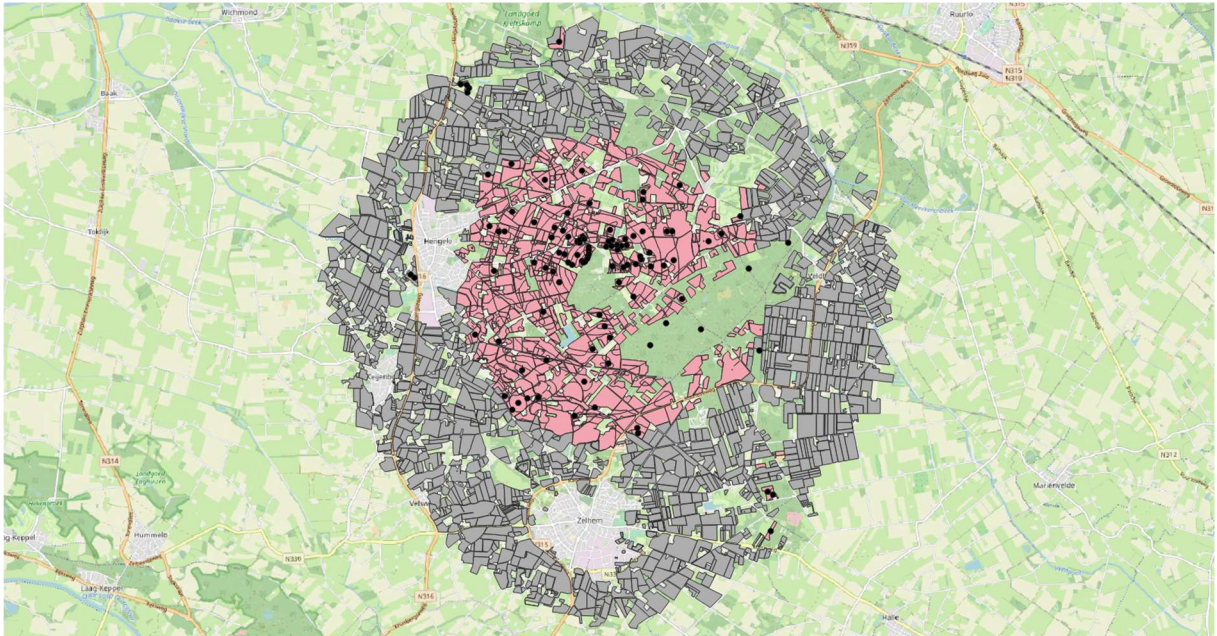
- voor elke boring selecteren we de twee GHG's, GLG's, en GVG's;
- vervolgens gaan we voor elke combinatie van GHG, GLG, en GVG (dus $2 \times 2 \times 2 = 8$ combinaties) na of aan de volgende ongelijkheid wordt voldaan: $GHG \leq GVG \leq GLG$. Zo ja, dan berekenen we de som van de MAD/mediaan voor die combinatie. De overige combinaties negeren we;
- tot slot kiezen we voor elke boring die combinatie die resulteert in de kleinste waarde voor MAD/mediaan (grootste relatieve precisie).

Met de stambuisregressiemodellen zijn telkens 1000 waarden voor de GHG, GLG en GVG gesimuleerd. De mediaan of middelste waarde van deze 1000 gesimuleerde waarden is gebruikt als de berekende GHG, GLG en GVG. Vervolgens is de MAD berekend als maat voor de nauwkeurigheid. De MAD (median absolute deviation) is de mediaan van de absolute afwijkingen van de gesimuleerde waarden ten opzichte van de berekende GHG, GLG of GVG. De MAD is relatief gemaakt door te delen door de mediaan. De som van deze relatieve MAD's is gebruikt om de nauwkeurigst berekende GHG's, GLG's en GVG's te berekenen.

3 RESULTATEN

3.1 Gerichte opnames

De ligging van de gerichte opname locaties (het boorplan) staat in figuur 3 weergegeven.



Figuur 3: Ligging van de gelote gerichte opname locaties. Omdat bij de verdeling van de locaties rekening is gehouden met de invloed van de grondwateronttrekking neemt de dichtheid van de waarnemingen richting de winning toe. Aanvullend op de landbouwpercelen zijn 5 gerichte opname locaties in het bos van "Het Zand" uitgevoerd.

3.1.1 Bodemprofielbeschrijvingen

De gerichte opnames zijn uitgevoerd in de tweede week van november 2022 (rond 11 november) en de laatste week van februari 2023 (rond 28 februari 2023). De bodemprofielbeschrijvingen op de gerichte-opnamelocaties zijn als digitaal bestand opgeleverd (bijlage 1). Aan de 105 gelote locaties zijn zes extra locaties toegevoegd in het bosgebied van "Het Zand"; dit zijn locatie 106 t/m 112. Het bodemprofiel op de gerichte opname locaties bestaat hoofdzakelijk uit zwak lemig matig fijn zand. Lokaal komt sterk lemig of zeer sterk lemig (zeer fijn) zand voor en dan met name in de ondergrond. Er zijn geen leemlagen (>50% fractie kleiner dan 50 μm) en alleen op locatie 90 is grofzand in de ondergrond aangetroffen. Opvallend is het voorkomen van kalkrijk zand in de ondergrond, lokaal verspreid in het hele gebied. Het bodemtype bestaat uit humuspodzolen waarop eerdlaag aanwezig is. De dikte van de eerdlaag varieert tussen 25 cm (Veldpodzolgronden) en meer dan 1 meter (Enkeerdgronden). De voorkomende bodemtypes staan in onderstaande tabel weergegeven. Er is geen analyse uitgevoerd of de geclassificeerde bodemprofielen overeenkomen met het stratum waarin ze geloot zijn.

Bodemtype	Aantal	
	Gerichte opname	Bodemkaart 1974
Beekeerdgrond	24	28
Beekeerdgrond met cultuurdek	0	2
Gooreerdgrond	12	7
Gooreerdgrond met cultuurdek	7	0
Veldpodzolgrond	25	33
Laarpodzolgrond	8	18
Enkeerdgrond (zwart en bruin)	26	17
Vlakvaaggrond	6	0
Overige gronden (duinvaag, kanteerdgrond)	3	11

Tabel 2: Voorkomende bodemtypes op de gerichte opname locaties

Tijdens de veldopname is op zes locaties een vlakvaaggrond waargenomen, terwijl deze op de bodemkaart (Van Holst et al., 1974) niet voorkomt. Overigens zijn alle op de bodemkaart voorkomende bodemtypes ook in het veld aangetroffen. Er zijn meer enkeerdgronden geclassificeerd en minder laarpodzolgronden dan op basis van de bodemkaart uit 1974 verwacht zou worden. Verder zijn er minder veldpodzolgronden geclassificeerd en meer gooreerdgronden.

3.1.2 Gemeten grondwaterstanden

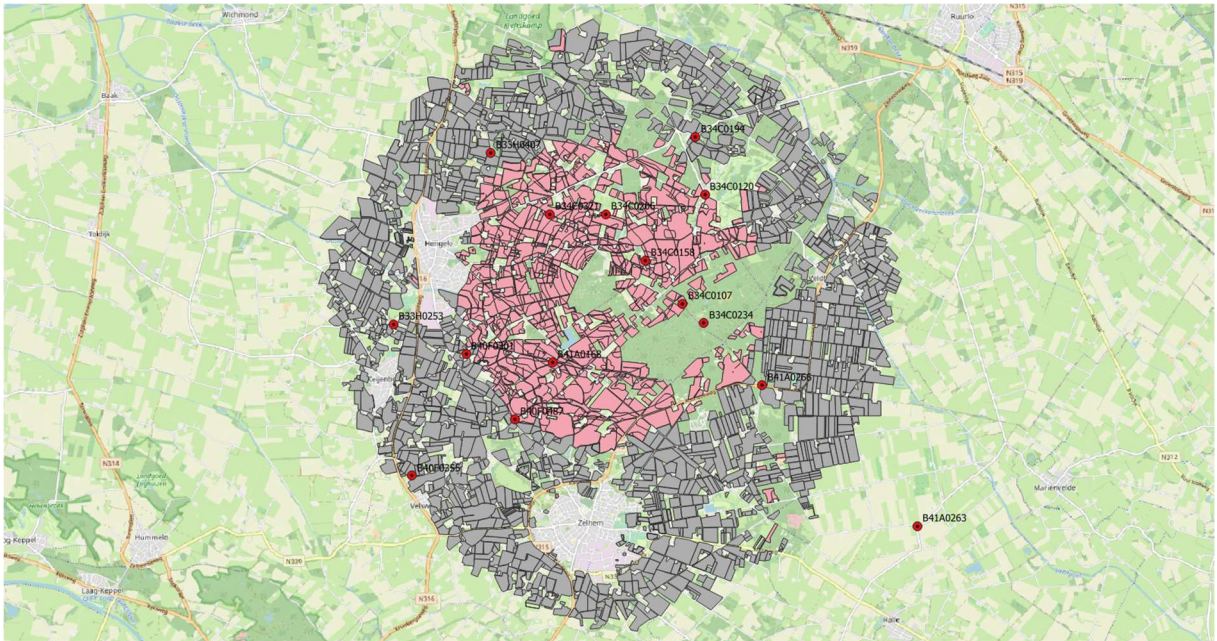
De gemeten grondwaterstanden in de open boorgaten tijdens de gerichte opnames zijn als digitaal bestand opgeleverd (Bijlage 2). Naast de metingen op 111 gerichte-opnamelocaties zijn ook de grondwaterstanden van zes peilbuizen in het gebied, waar het waterschap Rijn en IJssel sinds 2021 de grondwaterstanden monitort. In totaal is hiermee op 117 locaties een grondwaterstand gemeten. De gemeten grondwaterstanden variëren in november 2022 tussen 178 cm -mv tot 395 cm -mv. Op 13 locaties is de grondwaterstand dieper dan 420 cm -mv. Een grondwaterstand meting is gelegen in het bosgebied van "Het Zand" en ligt in een ingesloten laagte. Hier is in november een grondwaterstand gemeten van 95 cm -mv. In februari 2023 variëren de gemeten grondwaterstanden tussen 40 cm -mv en 355 cm -mv. In alle open boorgaten is toen een grondwaterstand gemeten (geen dieper-dan-waarden). Op de gerichte-opnamelocatie in de ingesloten laagte in "Het Zand" staat op 1 maart 2023 20 cm water op het maaiveld. Het gemiddelde verschil tussen de gemeten hoogste en laagste grondwaterstand bedraagt ca. 158 cm en varieert tussen 5 cm en 285 cm. Op locatie 98 wordt op 1 maart 2023 een 5 cm lagere grondwaterstand gemeten in het boorgat dan op 11 november 2022, terwijl voor alle andere locaties geldt dat de gemeten grondwaterstand op 1 maart 2023 hoger is dan op 11 november 2022.

In bijlage 2 is naast de gemeten grondwaterstanden ook de kaartenheid weergegeven waarbinnen de locatie is geloot. De kolom "K_ eenheid" bestaat uit de bodemcode en grondwatertrap volgens de gedetailleerde bodemkaart uit 1973 (Van Holst et al., 1994).

3.2 Beoordeling van de peilbuizen

In het gebied zijn 41 peilbuizen aanwezig waarmee de freatische grondwaterstand wordt gemonitord (Bijlage 3). Deze buizen zijn beoordeeld op ligging in het veld, filterstelling ten opzichte van de GHG en GLG en compleetheid van de tijdreeks. Uiteindelijk zijn er 12 peilbuizen afgekeurd in het veld, omdat deze geen goede ligging in het veld hebben. Drie buizen zijn in het veld niet gevonden, maar deze zijn wel meegenomen bij de tijdreeksanalyse. Bij de tijdreeksanalyse wordt de datareeks beoordeeld op volledigheid, trendbreuken en gesensoreerde registraties (sensor droog). Bij deze analyse zijn er nog eens 14 buizen afgekeurd omdat de tijdreeks niet volledig is, zodat er 15 peilbuizen overbleven waarmee de stambuisregressie is uitgevoerd (zie onderstaande figuur 4). Bij de beoordeling van de peilbuizen is geconstateerd dat het filter van de peilbuizen dieper zit dan de GHG en, in de meeste gevallen ook, de GLG. Omdat we geen storende lagen in de boorprofielen hebben aangetroffen gaan we ervan uit dat deze buizen de grondwaterspiegel goed weergeven, waarmee deze buizen bruikbaar zijn voor de stambuisregressie. Verder is gekeken of er een goede verdeling is van de peilbuizen over de in het gebied voorkomende

grondwatertrappen. De reeksen in alle gebruikte buizen indiceren grondwatertrap VII of droger, voor nattere situaties hebben we geen geschikte peilbuis kunnen vinden. Wanneer door de buizen niet alle grondwatertrappen worden vertegenwoordigd die in het gebied voorkomen zal de berekening van de GXG door extrapolatie geschieden, waarmee de nauwkeurigheid van de schatting vermindert. De beoordeling van de peilbuizen is in bijlage 3 opgenomen.



Figuur 4: ligging van de gebruikte peilbuizen. Gearceerd is het onderzoeksgebied weergegeven.

De berekende GHG, GVG en GLG van de peilbuizen zijn in tabel 3 weergegeven. De GHG varieert tussen 85 cm -mv en 226 cm -mv en de berekende GLG varieert tussen 180 cm -mv en 337 cm -mv. Het verschil tussen de GHG en de GLG is gemiddeld 130 cm en varieert tussen 94 en 164 cm.

NITG-code	X	Y	GHG (cm)	GLG (cm)	GVG (cm)
B33H0253	217560	450500	106	203	128
B33H0407	219311	453581	104	222	130
B34C0107	222770	450870	152	306	170
B34C0120	223167	452830	129	258	146
B34C0158	222098	451646	117	281	136
B34C0194	223000	453865	126	247	146
B34C0206	221385	452480	160	312	182
B34C0234	223150	450520	88	239	105
B34C0321	220377	452479	113	253	139
B40F0301	218869	449962	105	202	126
B40F0355	217899	447775	86	180	106
B40F0487	219750	448788	226	337	247
B41A0168	220425	449815	104	245	122
B41A0263	226990	446870	85	229	121
B41A0266	224201	449401	181	318	201

Tabel 3: Berekende GHG, GVG en GLG van de gebruikte peilbuizen

3.3 Berekende GXG's van de gerichte-opnamelocaties

De berekende GHG, GVG en GLG zijn in bijlage 4 opgeleverd in een digitaal bestand en de gebruikte modellen in bijlage 5. De berekende GHG varieert tussen 29 cm boven maaiveld en 268 cm -mv en de berekende GLG varieert tussen 145 cm -mv en 358 cm -mv. Er zijn twee locaties waar een GHG wordt berekend die boven het maaiveld ligt en beide locaties liggen in het bosgebied van 't Zand. Het gemiddelde verschil tussen de GHG en de GLG bedraagt 128 cm en varieert tussen 66 en 245 cm. Bij de berekening wordt ook aangegeven of er sprake is van extrapolatie. Bij de GHG komt dit 12 keer voor en bij de GLG 14 keer, op 6 locaties gebeurt dit zowel voor de GHG als de GLG (en GVG). Voor de GHG geldt dat de berekeningen met GHG < 70 en > 219 cm -mv zijn geëxtrapolerd en voor de GLG liggen de grenzen bij ca. < 180 en > 330 cm -mv.

De GXG wordt geschat op basis van het beste model. In tabel 4 is weergegeven welke meting is gebruikt voor het schatten van de GXG. De meting aan het begin van het groeiseizoen levert niet automatisch de beste schatting op van de GHG en in de zomer levert de meting aan het einde van het groeiseizoen niet automatisch de beste berekening van de GLG op. Opvallend is dat bij GHG's die zijn berekend uit de februari-meting meer wordt geëxtrapolerd dan bij GHG's die zijn berekend uit de november-meting, zowel absoluut als relatief. Hetzelfde zie je bij de GLG.

GXG	Meting november	Meting februari
GHG	41 (2)	76 (10)
GVG	85 (2)	32 (7)
GLG	74 (12)	43 (2)

Tabel 4: Gebruikte meting voor het berekenen van de GHG, GVG of GLG (tussen haakjes aantal keer geëxtrapolerd)

In tabel 5 staat een overzicht van nog voorkomende grondwatertrappen. Hierbij valt op dat grondwatertrap III die nog in 1974 in het gebied voorkwam, nu helemaal niet meer voorkomt en ook grondwatertrap V is vrijwel verdwenen. Grondwatertrap V kwam in 1974 op 48 van de 117 locaties (41%) voor en nu is dat nog 3%.

Grondwatertrap (Gt.)	Aantal locaties	
	2023	1974
IIIb		27
IV		2
V		48
Vad	2	
Vbo	1	
VI		20
Vlo	2	
Vld	8	
Vllo		1
Vlld	78	7
Vllld	26	12

Tabel 5: Aantal locaties met bepaalde grondwatertrap zoals aangetroffen op de gerichte opname locaties en volgens de detail-bodemkaart uit 1974

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Aantal beschikbare peilbuizen is beperkt

Van de 41 reeksen uit grondwaterstandbuizen in het gebied zijn uiteindelijk de reeksen van 15 peilbuizen als geschikt beoordeeld om stambuisregressie uit te voeren. Veel buizen hebben een filterstelling die niet aansluit bij het traject waarin de grondwaterstand fluctueert; de filters zijn te diep geplaatst. In dit gebied met open zandprofielen is dat niet onoverkomelijk, maar wanneer storende lagen in het profiel voorkomen zal de grondwaterspiegel, gemeten vanaf het maaiveld, kunnen afwijken van de gemeten stijghoogte in de buis. Verder zijn buizen in veel gevallen gelegen langs wegen en sloten. Met name sloten kunnen de grondwaterfluctuatie beïnvloeden. De buizen zijn tegenwoordig uitgerust met automatische opnemers, die kunnen uitvallen, waardoor gaten in de tijdreeks kunnen vallen. Wanneer deze gaten tijdens GHG of GLG moment optreden kan de tijdreeks niet gebruikt worden. Door het ontbreken van natte Gt's in de tijdreeksen zijn hoge gemeten grondwaterstanden berekend door extrapolatie van het model.

De omstandigheden tijdens de beide gerichte opnames waren droog

Tijdens de GLG-opname in november bevonden de grondwaterstanden zich op het laagste niveau van dat jaar. Eind februari is de gerichte opname voor de GHG uitgevoerd in een periode dat de grondwaterstanden normaal gesproken hun hoogste niveau zouden bereiken. De berekende GHG en GLG zijn hoger dan de gemeten grondwaterstanden.

De tijdreeksanalyses van de peilbuizen laten zien dat de grondwaterstanden in de droge zomers vanaf 2018 duidelijk dieper uitzakken dan in de periode voor 2018

De dynamiek in het grondwaterstandverloop is duidelijk veranderd, met een korte piek in de winter en het decimeters dieper uitzakken in de zomer. Dit heeft een uitwerking op de berekende GXG's.

Groot aandeel hangwaterprofielen

In het gebied komen hoofdzakelijk grondwatertrap VII en VIII voor, terwijl natte situaties (grondwatertrap III en V) vrijwel niet meer voorkomen. Deze conclusie is op basis van dit onderzoek alleen te trekken op basis van de gerichte opname locaties, we hebben niet gekeken naar de ruimtelijke variatie in de grondwaterstanden.

De berekening van de GHG wordt niet altijd het beste gedaan door de meting aan het begin van het groeiseizoen en de berekening van de GLG wordt niet altijd gedaan door de meting aan het einde van het groeiseizoen.

De berekening van de GXG is gedaan op basis van selectie van het beste model (kleinste MAD, rekening houdend met de volgorde van ondiep naar diep van GHG-GVG-GLG). Op deze manier worden alle beschikbare data benut om een zo nauwkeurig mogelijke berekening te doen. Gebleken is dat voor de GHG in 41 keer (35%) niet de stand in februari is gebruikt, maar de diepste stand in november. Wat betreft de GLG is het beeld vergelijkbaar; in 43 gevallen (37%) is gebruik gemaakt van de hoogste meting in februari om de GLG te berekenen. Wij hebben niet gekeken naar de verschillen tussen de schatting van de GXG op de verschillende meetmomenten en de verschillen in betrouwbaarheid.

Variatie in bodemprofielen

Alle op de bodemkaart uit 1974 voorkomende bodemtypes zijn tijdens de gerichte opname aangetroffen.

4.2 Aanbevelingen

Richt een kwalitatief goed meetnet van peilbuizen in

Om een goede schatting van de GXG op de gerichte opname locaties te kunnen doen is een goed onderhouden meetnet met lange meetreeksen van groot belang. Suggesties waar een goed meetnet aan moet voldoen worden gegeven in het artikel "Hoezo representatief?" in Stromingen (2009).

Onderzoeken of één gerichte opname voldoende is om de GXG te schatten

In de huidige uitvoering wordt vanuit gegaan dat de gerichte opname moet plaatsvinden op het moment dat het grondwater in de buurt van de GHG of de GLG bevindt. De resultaten van dit onderzoek laten echter zien dat een meting tijdens het GHG moment niet automatisch de beste schatting oplevert voor het berekenen van de GHG. Het is interessant te onderzoeken aan welke voorwaarden het meetmoment moet voldoen.

5 LIJST MET BIJLAGEN

Bijlage 1: Boorpunten
Bodemprofielbeschrijvingen van de gerichte opname locaties

Bijlage 2: Gerichte opname 't Klooster
Gemeten grondwaterstanden in openboorgaten op de gerichte opname locaties

Bijlage 3: BuisBeoordeling
Beoordeling van de grondwaterstandbuizen op ligging

Bijlage 4: Resultaat
Berekening van de GHG, GVG en GLG op de gerichte opname locaties

Bijlage 5: Stambuisregressie
Figuren van de modellen voor het berekenen van de GXG

6 LITERATUUR

- Gerritsen, P., D.J.J. Walvoort en M. Knotters, 2021. Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland; Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, rapport 131.
- Groot Obbink, D., 1992. Bodemfysische parameters binnen 17 waterwingebieden in Oost-Gelderland. DLO-Staring Centrum Wageningen, rapport 203.
- Helsel, D.R., 2004. Nondetects and data analysis: statistics for censored environmental data. Wiley, New York.
- Knotters, M., D. Walvoort en P. Gerritsen, 2022. Mapping water table depths in wetlands and polder areas by probability sampling. *Geoderma* 422, 115928. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115928>.
- Riele, W.J.M. te en D.J. Brus, 1991. Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 158.
- 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, Alterra-rapport 2345.
- Van Holst, A.F. H.C. van Heesen en H. Makken, 1974. Waterwingebied 't Klooster (Hengelo Gld.). Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1109.