



Validatie van grondwaterstandsinformatie over verdroging

Fase 2: Opzet en inrichting van een validatiemetnet in het pilotgebied Boetelerveld

Martin Knotters, Harry Massop, Tom Hoogland en Willy de Groot



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Validatie van grondwaterstands informatie over verdroging

Fase 2: Opzet en inrichting van een validatiemeetnet in het pilotgebied Boetelerveld

Martin Knotters, Harry Massop, Tom Hoogland en Willy de Groot

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Kennisbasisthema System Earth Management, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu (projectnummer KB-24-004-005).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, februari 2018


Rapport 2867
ISSN 1566-7197

Knotters, M., H.T.L. Massop, T. Hoogland en W.J.M. de Groot, 2018. *Validatie van grondwaterstands informatie over verdroging; Fase 2: Opzet en inrichting van een validatiemetnet in het pilotgebied Boetelerveld*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2867. 52 blz.; 22 fig.; 4 tab.; 9 ref.

In het natuurgebied Boetelerveld is middels een kanssteekproef een validatiemetnet ingericht waarmee de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstands informatie kan worden vastgesteld. In dit validatiemetnet is gedurende één jaar en zeven maanden op tien locaties viermaal daags de grondwaterstand gemeten met automatische drukopnemers, in één tot drie filters op verschillende diepten. Het doel van de metingen was om het validatiemetnet in de praktijk te toetsen. Wij concluderen dat de inrichting van een validatiemetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar is. Plaatsing van meerdere filters met verschillende diepten op één locatie bleek nodig te zijn om ondiepe grondwaterstanden nauwkeurig te kunnen meten. In deze pilotstudie is de kwaliteit van de Grondwaterdynamiekaart voor het studiegebied Boetelerveld onderzocht, waarbij bleek dat de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (GHG's en GLG's) volgens deze kaart dieper zijn dan die voor de validatielocaties zijn berekend. Uit de meetreeksen bleek een grote 'piekerigheid' in tijdelijke grondwaterstanden, die werden gemeten in een ondiep filter boven een storende laag, ongeveer tot 50 à 100 cm diep. Oppervlakkige instroom langs de filterwand kon als oorzaak worden uitgesloten. Wij bevelen aan om te onderzoeken of deze snel stijgende en dalende grondwaterstanden worden veroorzaakt door processen die vergelijkbaar zijn met het Wieringermeereffect of het Lisse-effect. Tevens bevelen wij aan om te onderzoeken in hoeverre de zeer snel stijgende en dalende grondwaterstanden die boven een storende laag kunnen optreden, ecologisch en landbouwkundig relevant zijn, gezien het zeer tijdelijke optreden ervan.

Trefwoorden: grondwaterstand, peilbuis, validatie, nauwkeurigheid

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/442085> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2018 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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

Wageningen Environmental Research Rapport 2867 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Peilbuis met voorziening tegen oppervlakkige instroming langs de filterwand

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
	1.1 Achtergrond	11
	1.2 Probleemstelling	11
	1.3 Doelstelling	12
	1.4 Leeswijzer	13
2	Materialen en methode	14
	2.1 Studiegebied	14
	2.2 Gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand	19
	2.3 Meten van de freatische grondwaterstand	19
	2.4 Selectie van de validatielocaties en filterdiepten	20
	2.5 Kwantificeren van nauwkeurigheid	22
	2.6 Vergelijking van HG3 en LG3 met GHG en GLG	23
3	Resultaten	26
	3.1 Tijdreeksen van grondwaterstanden	26
	3.1.1 Locatie 1-1	26
	3.1.2 Locatie 1-2	27
	3.1.3 Locatie 1-3	28
	3.1.4 Locatie 1-4	29
	3.1.5 Locatie 1-5	30
	3.1.6 Locatie 2-1	31
	3.1.7 Locatie 2-2	32
	3.1.8 Locatie 2-3	33
	3.1.9 Locatie 2-4	34
	3.1.10 Locatie 2-5	35
	3.2 Pieken in het ondiepe filter	35
	3.3 Grondwaterstandskarakteristieken	36
4	Conclusies en aanbevelingen	39
	4.1 Conclusies	39
	4.2 Aanbevelingen	40
	Literatuur	41
	Bijlage 1 Profielopbouw en filterdiepten	42

Woord vooraf

Dit rapport doet verslag van fase 2 van een onderzoek naar het inrichten van een validatiemeetnet voor grondwaterstands informatie over verdroging. In het Boetelerveld in Overijssel is als proef een validatiemeetnet ingericht om de praktische haalbaarheid ervan te toetsen. De ervaringen uit deze proef kunnen worden gebruikt bij het inrichten van een landelijk validatiemeetnet, waarmee de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstands informatie onafhankelijk, objectief en nauwkeurig kan worden vastgesteld.

Wij zijn Mirjam Hack-ten Broeke en Marius Heinen (beiden Wageningen Environmental Research) erkentelijk voor hun opmerken bij de conceptversie van dit rapport.

Wageningen,
winter 2017/2018,

M. Knotters, H.T.L. Massop, T. Hoogland en W.J.M. de Groot

Samenvatting

Inleiding

Informatie over de grondwaterstand wordt onder meer gebruikt in het verdrogingsbeleid, bij het berekenen van schade-uitkeringen aan agrariërs in waterwingebieden, maar ook bij het schatten van de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en bij de voorbereiding van civieltechnische werken. Om risico's te kunnen inschatten en beheersen, moet de nauwkeurigheid van deze informatie bekend zijn. Daarnaast mag de kwaliteit van de informatie niet afhangen van veronderstellingen die moeilijk zijn te toetsen, omdat de kwaliteit anders onderwerp van discussie blijft. Daarom is er behoefte aan een objectieve vaststelling van de kwaliteit van informatie over de freatische grondwaterstand.

In fase 1 van dit onderzoek is vastgesteld voor welke vraagstukken de grondwaterstandsinformatie nodig is, welk type informatie het betreft, welke kwaliteit de informatie moet hebben en wat dat betekent voor de wijze van verzamelen van de gegevens. Verder is per provincie door middel van een questionnaire geïnventariseerd in hoeverre de bestaande meetnetten zijn te gebruiken in de validatiestudie voor het antiverdrogingsbeleid. Geconcludeerd werd dat provincies wel eisen stellen aan de kwaliteit van de gemeten grondwaterstanden, maar niet aan de kwaliteit van de afgeleide informatie, zoals grondwaterstandskarakteristieken en ruimtelijke voorspellingen daarvan.

Doelstelling voor fase 2 is de inrichting van een pilot-meetnet voor de validatie van grondwaterstandsinformatie in gebieden met verdrogingsgevoelige natuur en toetsing van de praktische haalbaarheid van dit meetnet. Het toetsen van het validatiemeetnet aan de praktijk richt zich op beantwoording van de volgende vragen:

- Is de inrichting van een validatiemeetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar?
- Hoe dienen peilbuizen te worden geplaatst om de freatische grondwaterstand te kunnen meten?
- Welke technische aanpassingen aan de meetapparatuur zijn nodig bij de inrichting van een meetnet op basis van een kanssteekproef?
- Hoeveel meetpunten zijn nodig om een nauwkeurige uitspraak over de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstandsinformatie te kunnen doen?
- Wat is de kwaliteit van gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand in het studiegebied en hoe nauwkeurig is die kwaliteit vastgesteld?

Materialen en methode

Het studiegebied is het natuurgebied Boetelerveld in de provincie Overijssel. De maaiveldhoogte neemt af van zuidoost naar noordwest. Podzolgronden komen voor op de relatief hoge terreingedeeltes, beekeerdgronden op de relatief lage. Dikke weerstandbiedende lagen worden niet aangetroffen onder het Boetelerveld.

Voor het Boetelerveld is diverse gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand beschikbaar. Om de praktische haalbaarheid van het validatiemeetnet te toetsen, beperkt deze studie zich tot validatie van de Grondwaterdynamiekaart (Gd-kaart).

De grondwaterstand is de hoogte ten opzichte van een referentieniveau van een punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft. Als er een stagnerende laag in het bodemprofiel voorkomt, dan is één filter boven deze laag geplaatst om de stand van grondwater dat op deze laag stagneert, te meten. Het diepere filter is telkens zo geplaatst dat de onderkant van het filter zich één of enkele decimeters in de volledig gereduceerde zone bevindt, overeenkomstig de gangbare praktijk.

De tien validatielocaties zijn geselecteerd door middel van een gestratificeerde, enkelvoudig aselektie kanssteekproef: vijf in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgrond' en vijf in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgrond'. Een zo groot mogelijke ruimtelijke spreiding van locaties binnen de bodemkundige hoofdstrata is nagestreefd door elk van de twee hoofdstrata te verdelen in vijf

compacte geografische strata en één locatie per compact geografisch stratum te loten. Aan de hand van bodemkundige profielbeschrijvingen is ter plekke besloten hoeveel filters er op een locatie worden geplaatst en op welke diepte.

Resultaten

Op alle tien locaties konden grondwaterstandstijdreeksen worden gemeten voor de periode van 1 april 2016 tot en met 1 oktober 2017. Op negen locaties werden twee of drie filters op verschillende diepten geplaatst, vanwege de aanwezigheid van stagnerende lagen. Op twee van deze locaties werden in het diepst geplaatste filter ondiepere standen gemeten dan in het ondiepe filter, wat duidt op een opwaarts gerichte grondwaterstroming. Verder werden op vijf locaties in de diepste filters diepere standen gemeten dan in de ondiepe filters, wat duidt op een neerwaarts gerichte grondwaterstroming.

Bij vier locaties treden pieken op in de stijghoogtes die worden gemeten in de ondiepe filters: na een neerslaggebeurtenis stijgt de stijghoogte in het ondiepe filter snel – van onderkant buis tot soms in het maaiveld – om vervolgens weer even snel te dalen tot onderkant buis. Dit kan verschillende oorzaken hebben: 1) instroming van oppervlakkig water langs de buiswand; 2) een effect dat vergelijkbaar is met het Wieringermeereffect; 3) een effect dat vergelijkbaar is met het Lisse-effect. Gezien de plasmavorming die in het gebied na neerslag optreedt, is een mogelijke oorzaak voor de pieken in het ondiepe filter dat oppervlakkig water langs de buiswand het filter instroomt, de buis tijdelijk vult en vervolgens van daaruit infiltreert in de bodem. Om dit als mogelijke oorzaak uit te sluiten, is in de zomer van 2017 op de locaties van twee ondiepe filters waar pieken optraden een constructie geplaatst om te voorkomen dat oppervlakkig water of regenwater langs de buiswand kan instromen. Ook na het plaatsen van de constructie blijven echter pieken optreden volgens hetzelfde patroon als ervoor en op de twee andere locaties. Instroming van oppervlakkig water sluiten we daarom uit als oorzaak van het optreden van pieken in de ondiepe filters.

Om de nauwkeurigheid van GHG's en GLG's van de Gd-kaart voor het studiegebied te kunnen kwantificeren, berekenden wij de HG3's en LG3's voor het hydrologisch jaar van april 2016 tot en met april 2017 en vergeleken deze met de voorspellingen van de GHG en GLG op de Gd-kaart. Het verschil tussen GHG en HG3 is voor het studiegebied gemiddeld 13,6 cm met een standaardfout van 16,0 cm. Op basis van deze steekproef kan niet een systematisch verschil tussen de GHG volgens de Gd-kaart en de HG3 in het hydrologische jaar 2016 worden aangetoond. De standaardafwijking van de verschillen tussen GHG en HG3 is nuttige voorinformatie bij het bepalen van de benodigde steekproefomvang om te toetsen of de kwaliteit van GHG-voorspellingen aan een norm voldoet: wij berekenden een standaardafwijking van 25,6 cm. Het verschil tussen GLG en LG3 is voor het studiegebied gemiddeld 19,1 cm. Omdat er twee ontbrekende waarnemingen zijn, is de standaardfout niet berekend. De validatieresultaten duiden erop dat de Gd-kaart voor het studiegebied te diepe ruimtelijke voorspellingen geeft van de GHG en GLG, en dit lijkt voor de GLG iets meer het geval te zijn dan voor de GHG.

Bij het plaatsen van de filters zijn bodemkundige profielbeschrijvingen gemaakt, waarbij ook een schatting van de GHG en GLG is gemaakt op basis van profiel- en veldkenmerken. De veldschattingen van GHG en GLG wijken minder af van de HG3's en LG3's die voor de validatielocaties zijn berekend dan de GHG's en GLG's volgens de Gd-kaart.

Conclusies

1. *Is de inrichting van een validatiemetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar?*

Wij concluderen dat de inrichting van een validatiemetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar is. Op tien gelote locaties kon gedurende één jaar en zeven maanden in filters op verschillende diepten de grondwaterstand worden gemeten met automatische drukopnemers. De gelote ruimtelijke coördinaten konden worden gelokaliseerd met een gps.

2. *Hoe dienen peilbuizen te worden geplaatst om de freatische grondwaterstand te kunnen meten?*

Wij concluderen dat plaatsing van meerdere filters met verschillende diepten op één locatie nodig is om ondiepe grondwaterstanden nauwkeurig te kunnen meten, HG3's nauwkeurig te kunnen berekenen en GHG's nauwkeurig te kunnen schatten.

3. *Welke technische aanpassingen aan de meetapparatuur zijn nodig bij de inrichting van een meetnet op basis van een kanssteekproef?*

In dit studiegebied bleek het nodig te zijn om de filters met een hekje te beschermen tegen beschadiging door vee. Hoewel er geen effect van oppervlakkige instroming is gemeten, moet worden voorkomen dat dit kan optreden.

4. *Hoeveel meetpunten zijn nodig om een nauwkeurige uitspraak over de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstands-informatie te kunnen doen?*

Wij concluderen dat tien validatiepunten voldoende waren om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van de Gd-kaart voor het studiegebied Boetelerveld. Het toetsen aan een kwaliteitsnorm viel buiten dit onderzoek. Hoeveel waarnemingen nodig zijn om een dergelijke toets uit te voeren, hangt af van:

- de spreiding in voorspelfouten. Daarover geeft dit onderzoek informatie: de standaardafwijking van de verschillen tussen GHG en HG3 is 25,6 cm.
- de *error rates*. Dit zijn de kansen die worden toegelaten voor het ten onrechte concluderen dat de kwaliteit van ruimtelijke voorspellingen voldoet of niet. Deze dienen vooraf te worden vastgesteld, bij voorkeur met een kosten-batenanalyse.
- de afwijking van de kwaliteitsnorm die niet meer toelaatbaar wordt geacht.

5. *Wat is de kwaliteit van gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand in het studiegebied en hoe nauwkeurig is die kwaliteit vastgesteld?*

In deze pilotstudie is alleen de kwaliteit van de Gd-kaart voor het studiegebied Boetelerveld onderzocht. De GHG's en GLG's volgens de Gd-kaart blijken beide dieper te zijn dan de HG3's en LG3's die voor de validatielocaties zijn berekend voor het hydrologische jaar 2016, namelijk respectievelijk 13,6 en 19,1 cm. Uit analyse van een lange reeks aan de rand van het studiegebied bleek dat de HG3 en LG3 zich in 2016 respectievelijk 23 en 11 cm dieper dan de GHG en GLG bevonden. Dit betekent dat de GHG die op de Gd-kaart voor het Boetelerveld wordt weergegeven, gemiddeld circa 36 cm te diep zou zijn en de GLG circa 30 cm. Een verschil van circa 36 cm in GHG is statistisch significant bij een significantieniveau van 0,05. Voor de GLG konden we niet vaststellen of het verschil van circa 30 cm significant is.

Aanbevelingen

- Deze validatie wijst uit dat voor het Boetelerveld de Gd-kaart GHG's en GLG's weergeeft die te diep zijn. Wij bevelen aan om de oorzaken hiervan te onderzoeken. Omdat zowel GHG als GLG te diep wordt voorspeld, kan het missen van ondiepe standen door verkeerde filterstelling niet de enige oorzaak zijn.
- Uit de meetreeksen bleek een grote 'piekerigheid' in tijdelijke grondwaterstanden die werden gemeten in een ondiep filter boven een storende laag, ongeveer tot 50 à 100 cm diep. Oppervlakkige instroom langs de filterwand kon als oorzaak worden uitgesloten. Wij bevelen aan om te onderzoeken of deze snel stijgende en dalende grondwaterstanden worden veroorzaakt door processen die vergelijkbaar zijn met het Wieringermeereffect of het Lisse-effect.
- Wij raden aan om te onderzoeken in hoeverre de zeer snel stijgende en dalende grondwaterstanden die boven een storende laag kunnen optreden, ecologisch en landbouwkundig relevant zijn, gezien het zeer tijdelijke optreden ervan.
- Wij adviseren ten slotte om te analyseren aan welke kwaliteitsnormen een kaart van GHG en GLG minimaal moet voldoen en *error rates* vast te stellen voor toetsing aan deze normen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Grondwater bevindt zich in Nederland meestal op geringe diepte. Diverse natuurlijke vegetaties zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van grondwater. Bovendien heeft grondwater grote invloed op de conditie van de bodem. Het beïnvloedt de wisselwerking tussen biochemische kringlopen, nutriëntenkringlopen, biodegradatie van organische toxische stoffen, de emissie of absorptie van broeikasgassen uit of in de grond, en daarmee ook de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De grondwaterstand bepaalt daarom in grote mate de functie en de inrichting van onze leefomgeving. Omdat in Nederland het grondgebruik zeer intensief is, bepaalt onze leefwijze daarentegen ook vaak de grondwaterstand. Een goed fundamenteel begrip van het grondwater in relatie tot de bodem en de omgeving is daarom nodig om voldoende en gezonde voeding en een veilige en prettige leefomgeving te kunnen waarborgen.

Informatie over de grondwaterstand wordt onder meer gebruikt in het verdrogingsbeleid, bij het berekenen van schade-uitkeringen aan agrariërs in waterwingebieden, maar ook bij het schatten van de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en bij de voorbereiding van civieltechnische werken. Veel onderzoeksresultaten, waaronder beleidsadviezen, zijn gebaseerd op grondwaterstands-informatie. Het verzamelen en interpreteren van gegevens over grondwaterstanden wordt daarom al sinds circa 1950 noodzakelijk geacht en intensief uitgevoerd. Beleidsmakers en waterbeheerders moeten rekening houden met meerdere, vaak tegengestelde belangen ten aanzien van de grondwaterstand. Daarom moeten grondwaterbeheerders beschikken over nauwkeurige informatie.

Om risico's te kunnen inschatten en beheersen, moet de nauwkeurigheid van deze informatie bekend zijn. Daarnaast mag de kwaliteit van de informatie niet afhangen van veronderstellingen die moeilijk zijn te toetsen, omdat de kwaliteit anders onderwerp van discussie blijft. Daarom is er behoefte aan een objectieve vaststelling van de kwaliteit van informatie over de freatische grondwaterstand. Deze vaststelling is nodig om de kwaliteit van grondwaterstands-informatie te verbeteren en benutting ervan te bevorderen, onder meer bij de ondersteuning van het anti-verdrogingsbeleid.

1.2 Probleemstelling

Naar aanleiding van een discussie over de kwaliteit van grondwaterstands-informatie analyseerden Ritzema et al. (2012) hoe in Nederland grondwaterstanden worden gemeten, hoe deze metingen worden verwerkt en welke foutenbronnen deze meet- en verwerkingsmethoden kennen. Zij stelden onder meer vast dat:

- het op dit moment niet mogelijk is om voor een groter gebied met een bestaande peilbuizenset de ruimtelijke geaggregeerde fout in de grondwaterstandskarakteristiek te schatten, zonder daarbij modelveronderstellingen te doen of een oordeel van experts te benutten (Ritzema et al. 2012; blz. 93);
- voor gebieden met grondwaterafhankelijke natuur tot nu toe niet op objectieve wijze is vastgesteld of veranderingen in de grondwaterstandsdiepte systematisch goed worden geschat.

Ritzema et al. (2012, Bijlage 5) presenteerden een opzet voor een vervolgonderzoek dat een wetenschappelijk gefundeerd, objectief antwoord moet geven op de vraag of de omvang van de verdrogingsproblematiek juist wordt ingeschat op basis van informatie over grondwaterstanden. Als onderdeel van dat onderzoek deden zij onder meer de volgende aanbeveling:

- Er dient een nieuw netwerk van peilbuizen in het nader te specificeren doelgebied te worden opgezet om:
- een onafhankelijke en zuivere schatting van de vlakgemiddelde fout te kunnen geven;
 - de betrouwbaarheid van deze schatting te kunnen kwantificeren.

Validatie (beoordeling) van grondwaterstandsinformatie op basis van metingen in het bovenbedoelde netwerk van peilbuizen dient te voldoen aan de volgende criteria:

- De validatie moet onafhankelijk zijn, dat wil zeggen dat de referentiedata niet zijn gebruikt bij de totstandkoming van de grondwaterstandsinformatie die wordt gevalideerd.
- De validatie moet objectief zijn, wat betekent dat het kwaliteitsoordeel niet afhangt van veronderstellingen die moeilijk zijn te toetsen. Dit impliceert dat de validatielocaties met behulp van een kanssteekproef zijn geselecteerd. De bestaande peilbuizen in een gebied voldoen vrijwel nooit aan de eis dat de locaties met een kanssteekproef zijn geloot. Op dit moment is het dus nog niet mogelijk om voor een groter gebied de ruimtelijke geaggregeerde fout in de GWK (= Grondwaterkarakteristiek) te schatten zonder modelveronderstellingen of een oordeel van experts.
- De validatie moet nauwkeurig zijn, wat betekent dat herhaalde beoordeling van dezelfde informatie leidt tot dezelfde conclusies.

In de eerste fase van dit onderzoek (Knotters en Hoogland, 2015) is vastgesteld voor welke vraagstukken de grondwaterstandsinformatie nodig is, welk type informatie het betreft, welke kwaliteit de informatie moet hebben en wat dat betekent voor de wijze van verzamelen van de gegevens. Verder is per provincie door middel van een questionnaire geïnventariseerd in hoeverre de bestaande meetnetten zijn te gebruiken in de validatiestudie voor het antiverdrogingsbeleid. In fase 1 werden bij de provincies drie soorten meetnetten geïnventariseerd:

1. *Keuze van de meetlocatie op basis van ecosysteemanalyse*, ofwel abiotische factoren in relatie tot een kritische vegetatie. De een past de Waternood-systematiek toe om te toetsen of aan de abiotische voorwaarden is voldaan, de ander gebruikt voor dat doel de zogenaamde duurlijnen.
2. *Stambuisregressie, gebruikmakend van kanssteekproeven van gerichte opnamen in boorgaten*. De kwaliteit van de hiermee geschatte percentages verdroogde oppervlakten is met deze methode objectief en onafhankelijk vast te stellen. De nauwkeurigheid waarmee de grondwaterstandskarakteristiek (GHG, GLG) is berekend voor de peilbuislocaties, is tot nu toe niet beschouwd.
3. *Meetnetten die nog in ontwikkeling zijn*.

Geconcludeerd werd dat provincies wel eisen stellen aan de kwaliteit van de gemeten grondwaterstanden, maar niet aan de kwaliteit van de afgeleide informatie zoals grondwaterstandskarakteristieken en ruimtelijke voorspellingen daarvan. Het aantal peilbuizen dat is ingericht ter ondersteuning van het antiverdrogingsbeleid bedraagt gemiddeld 141 per provincie. Voor het validatiemeetnet van fase 2 is een uitbreiding hiervan aanbevolen met 10%.

1.3 Doelstelling

Doelstelling voor fase 2 is de inrichting van een pilot-meetnet voor de validatie van grondwaterstandsinformatie in gebieden met verdrogingsgevoelige natuur en toetsing van de praktische haalbaarheid van dit meetnet.

Het toetsen van het validatiemeetnet aan de praktijk richt zich op beantwoording van de volgende vragen:

- Is de inrichting van een validatiemeetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar?
- Hoe dienen peilbuizen te worden geplaatst om de freatische grondwaterstand te kunnen meten?
- Welke technische aanpassingen aan de meetapparatuur zijn nodig bij de inrichting van een meetnet op basis van een kanssteekproef?
- Hoeveel meetpunten zijn nodig om een nauwkeurige uitspraak over de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstandsinformatie te kunnen doen?
- Wat is de kwaliteit van gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand in het studiegebied en hoe nauwkeurig is die kwaliteit vastgesteld?

Op basis van de resultaten worden aanbevelingen gedaan voor de opzet en inrichting van een objectief en nauwkeurig landsdekkend grondwaterstandmeetnet voor validatie van grondwaterstandsinformatie in gebieden met verdrogingsgevoelige natuur.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het pilotgebied Boetelerveld en de beschikbare gebiedsdekkende grondwaterstands informatie, van de opzet en inrichting van het validatiemeetnet en van de methode waarmee de gebiedsdekkende grondwaterstands informatie wordt gevalideerd op basis van de waarnemingen in het validatiemeetnet. Hoofdstuk 3 beschrijft de ervaringen van één hydrologisch jaar en 7 maanden meten in het pilotgebied en geeft de resultaten van de validatie. Hoofdstuk 4 ten slotte bevat conclusies en aanbevelingen.

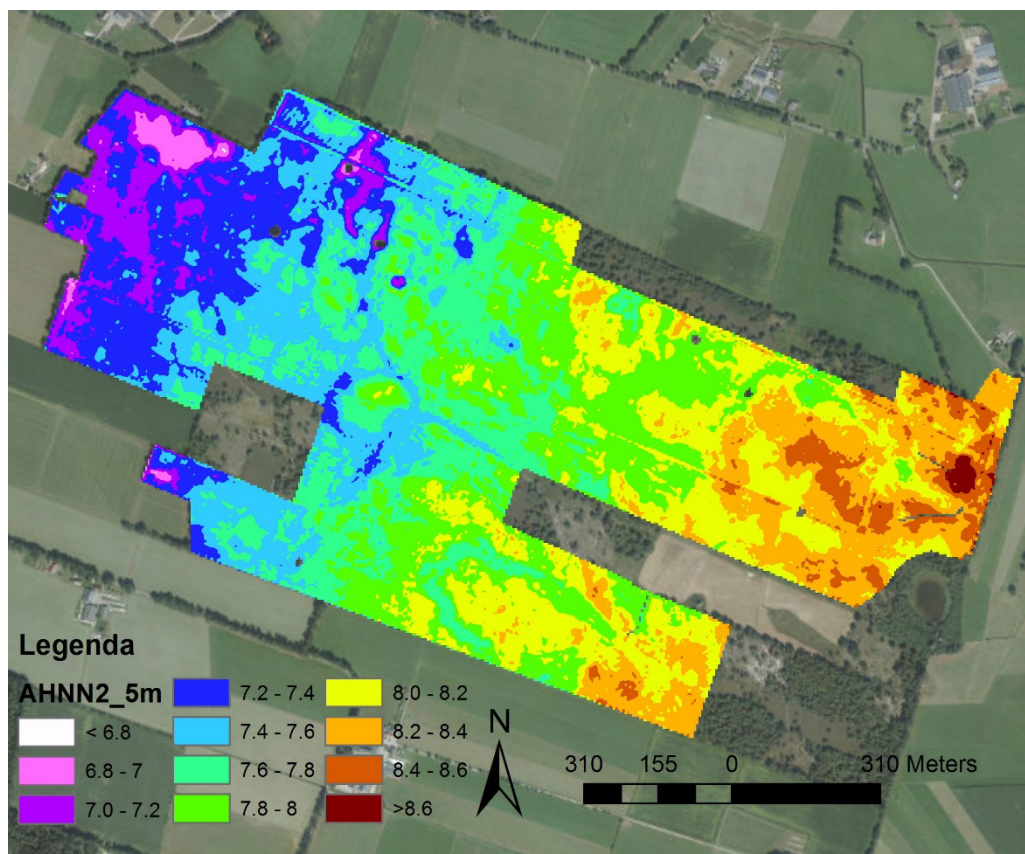
2 Materialen en methode

2.1 Studiegebied

Het studiegebied is het natuurgebied Boetelerveld in de provincie Overijssel (zie Figuur 2.1 voor de ligging). Figuur 2.2 laat zien hoe de hoogte van het maaiveld afneemt van zuidoost naar noordwest.

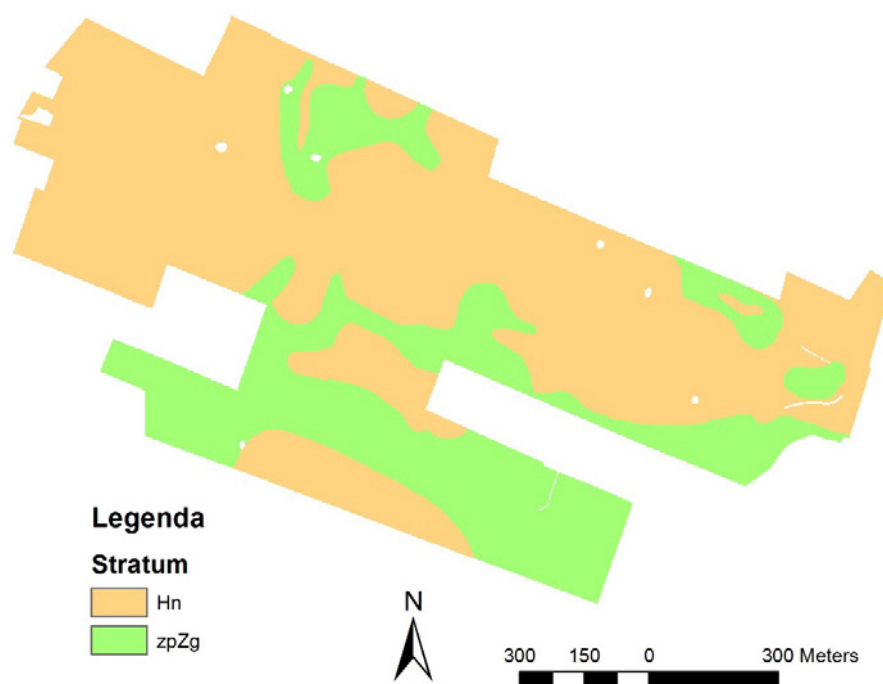


Figuur 2.1 Ligging van het studiegebied Boetelerveld.



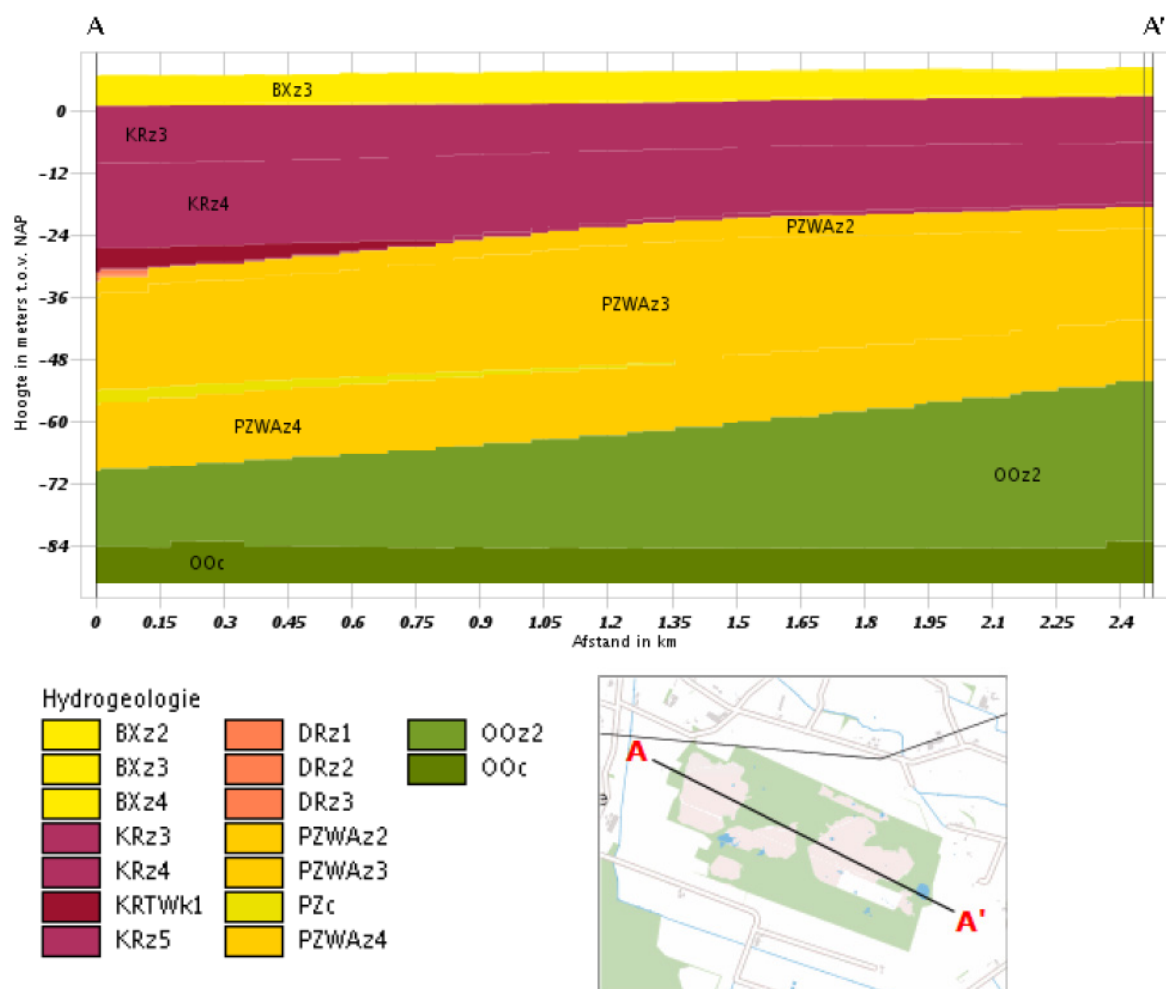
Figuur 2.2 Hoogteligging van het maaiveld in het Boetelerveld (m t.o.v. NAP).

Bodemkundig kunnen twee deelgebieden worden onderscheiden: relatief hoge terreingedeeltes met podzolgronden (Hn) en relatief lage terreingedeeltes met beekkeerdgronden (zpZg) (zie Figuur 2.3). Omdat de verspreiding van podzolgronden en beekkeerdgronden wordt verklaard uit relatieve hoogteverschillen die zich binnen een bepaalde afstand voordoen, wijken de patronen in Figuur 2.3 af van de patronen in absolute maaiveldhoogtes in Figuur 2.2.



Figuur 2.3 Bodemkundige strata (deelgebieden). Hn: podzolgronden. zpZg: beekkeerdgronden.

Figuur 2.4 geeft de bodemopbouw tot ca. NAP -90 m, van noordwest naar zuidoost, op basis van het landelijk model REGIS II v2.2 (www.dinoloket.nl). Figuur 2.4 laat zien dat de bodem vanaf maaiveld tot NAP -90 m vrijwel geheel uit zandige afzettingen (z is lithoklasse zand) bestaat. Dikke weerstandbiedende lagen worden niet aangetroffen onder het Boetelerveld. Beginnend vanaf maaiveld tot circa NAP bestaat de bodem uit afzettingen behorende tot de Formatie van Boxtel (BXz3). Deze zandige eenheid bestaat over het algemeen uit zeer fijn tot matig grof zand (105-300 µm), is zwak tot sterk siltig, lichtgeel tot donkerbruin en kalkloos tot sterk kalkhoudend. Binnen de Formatie van Boxtel kunnen leem en veenlagen voorkomen. Vervolgens treffen we tot circa NAP -20 tot -30 m fluviatiele Rijnafzettingen aan, behorende tot de Formatie van Kreftenheye (KRz3, KRz4). Dit is een zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit matig grof tot uiterst grof zand (210-2000 µm), is verder grijs tot bruin, kalkhoudend, bont en grindhoudend. In het westelijk deel van het Boetelerveld komen op ca. NAP -30 m glaciale afzettingen voor, behorende tot de Formatie van Drenthe (Drz1, Drz2, Drz3). Deze afzettingen bestaan hoofdzakelijk uit matig grof tot uiterst grof zand (210-2000 µm) en zijn zwak tot sterk grindhoudend. Tussen circa NAP -20 tot -30 m en NAP -55 tot -70 m komen over het gehele gebied fluviatiele afzettingen voor, behorende tot de Formaties van Peize en Waalre (PZWaz2, PZWaz3, PZWaz4). De afzettingen behorende tot de Formatie van Waalre bestaan voornamelijk uit uiterst fijn tot uiterst grof zand (63 - 2000 µm), zijn kalkloos tot kalkrijk, sporadisch schelphoudend, weinig tot matig glimmerhoudend met 'een spoor van' tot weinig donkere korrels, grijs tot witgrijs, soms bruingrijs, in de grovere fractie met (rood)bonte componenten. De afzettingen behorende tot de Formatie van Peize (PZc) bestaan hoofdzakelijk uit matig grof tot uiterst grof zand (210-2000 µm), zijn verder lichtgrijs tot wit, kalkloos, zwak tot matig grindig (fijn en matig grof; 2-16 mm), met in de fractie fijn grind zeer veel restkwarts. In het westelijk deel van het Boetelerveld komt op circa NAP -50 m binnen dit pakket een laag afzettingen voor die enkel behoren tot de Formatie van Peize. Deze afzettingen van oostelijke rivieren vormen een complexe eenheid, bestaande uit een afwisseling van zand, zandige klei, grof zand en klei, met weinig fijn zand en een spoor van veen en grind. Vanaf circa NAP -55 tot -70 m komen mariene afzettingen voor die behoren tot de Formatie van Oosterhout OOz2). Deze afzettingen vormen een zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit zeer fijn tot zeer grof zand (105-420 µm) met een spoor van tot weinig schelpgruis en schelpen, spoor glauconiet, grijs en grijsgroen.

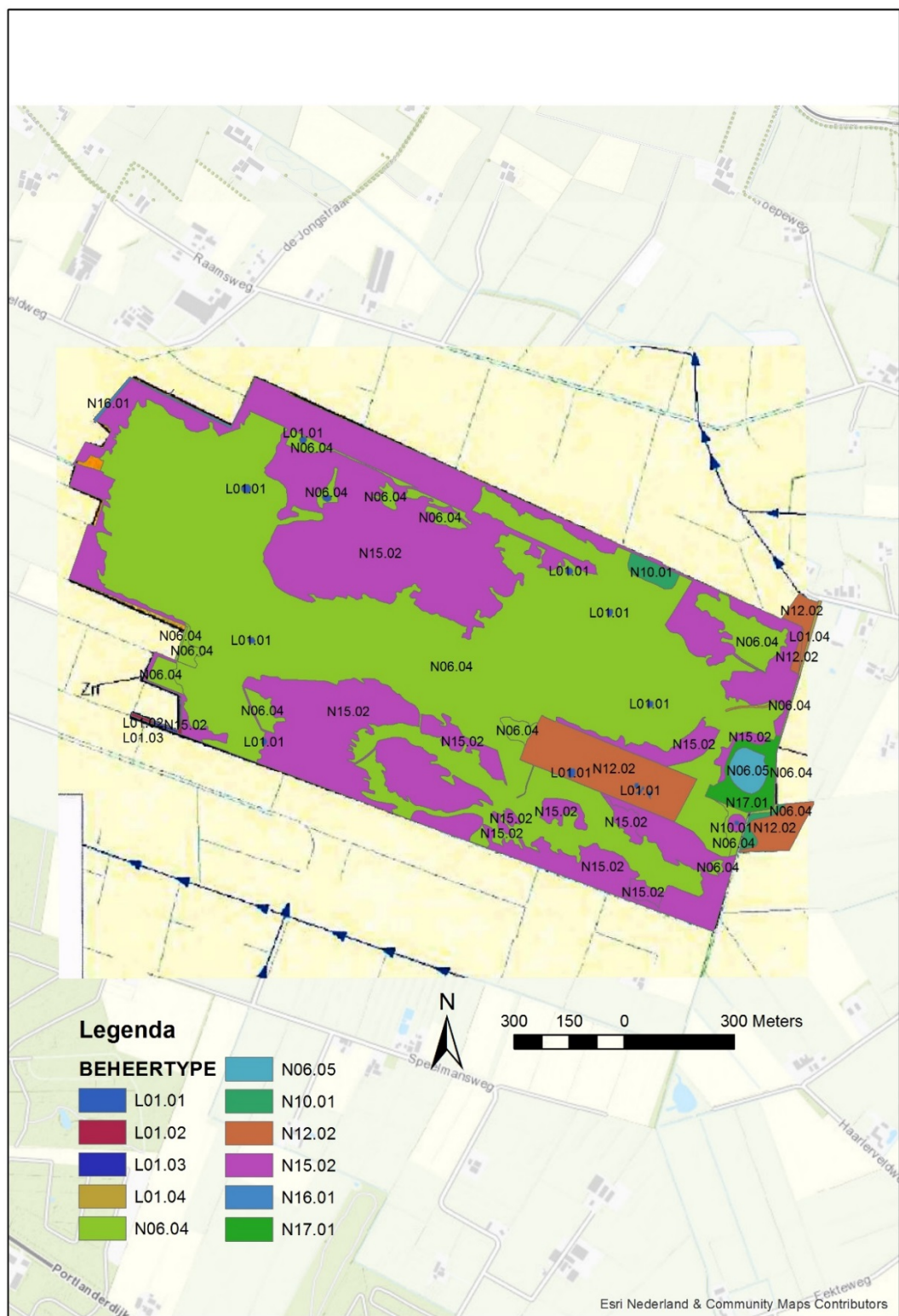


Figuur 2.4 Geohydrologisch dwarsprofiel van het studiegebied Boetelerveld.

Figuur 2.5 laat zien welke SNL-beheertypen er door de beheerder van het Boetelerveld worden nagestreefd; Tabel 2.1 geeft de definities van deze typen.

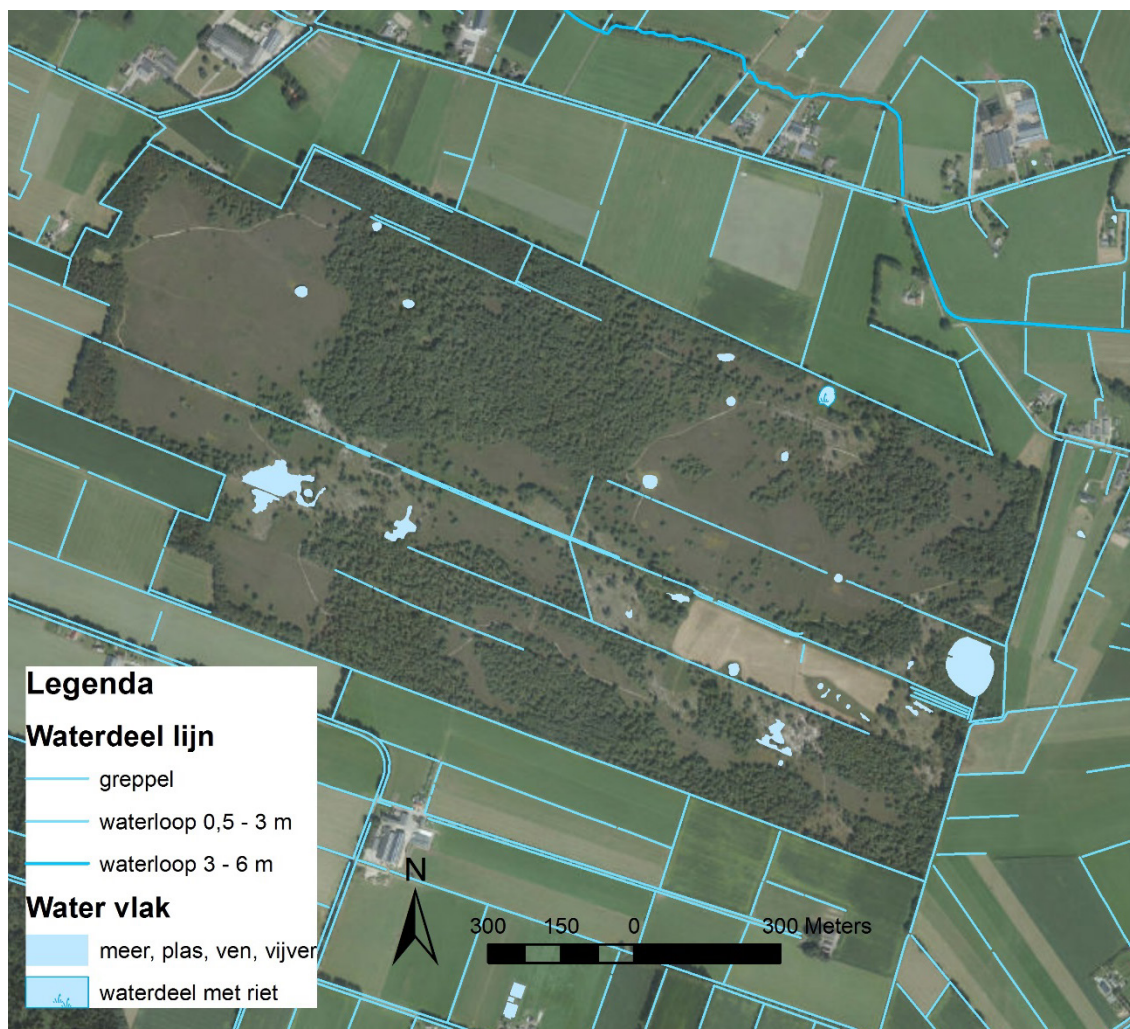
Tabel 2.1 Definitie van de SNL-beheertypen in het Boetelerveld (zie Figuur 2.5).

Natuurtypen (N) en landschapselementtypen (L)	Beheertypen
L01 Groenblauwe landschapselementen	L01.01 Poel en klein historisch water
	L01.02 Houtwal en houtsingel
	L01.03 Elzensingel
	L01.04 Bossingel en bosje (vervallen per 1-2-2017)
N06 Voedselarme venen en vochtige heiden	N06.04 Vochtige heide
	N06.05 Zwak gebufferd ven
N10 Vochtige schraalgraslanden	N10.01 Nat schraalgrasland
N12 Rijke graslanden en akkers	N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland
N15 Droge bossen	N15.02 Dennen-, eiken-, beukenbos
N16 Bossen met productiefunctie	N16.01 Droog bos met productie
N17 Cultuurhistorische bossen	N17.01 Vochtig hakhout en middenbos



Figuur 2.5 Kaart van de SNL-beheertypen die in het Boetelerveld worden nagestreefd (Bron: Provincie Overijssel).

In het Boetelerveld zijn enkele sloten, greppels, poelen en plassen of vennen aanwezig. Figuur 2.6 geeft de ligging van dit oppervlaktewater.



Figuur 2.6 Ligging van oppervlaktewater in het Boetelerveld (Bron: TOP10NL).

2.2 Gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand

Voor het Boetelerveld is de volgende gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand beschikbaar:

- de grondwatertrappenkaart, behorende bij de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000;
- de kaart van de grondwaterdynamiek of Gd-kaart (Finke et al. 2005; Van Kekem et al. 2005);
- de karteerbare-kenmerkenkaart van GHG en GLG (Van der Gaast et al. 2010);
- GHG- en GLG-kaarten die zijn gemaakt met behulp van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) (Knotters et al. 2013);
- GHG- en GLG-kaarten die zijn gemaakt met behulp van Hydrologie Stone (Knotters et al. 2013).

Omdat het doel is om de praktische haalbaarheid van het validatiemeetnet te toetsen en niet om de kwaliteit van verschillende kaarten met elkaar te vergelijken, beperkt deze studie zich tot validatie van de Gd-kaart (= tweede bullet) in het studiegebied Boetelerveld.

2.3 Meten van de freatische grondwaterstand

Wij hanteren de definities van freatische grondwaterspiegel en grondwaterstand die Ritzema et al. (2012) geven. De freatische grondwaterspiegel of freatisch vlak is de bovenste grondwaterspiegel beschouwd vanaf het bodemoppervlak. De grondwaterstand is de hoogte ten opzichte van een referentieniveau (meestal t.o.v. N.A.P.; soms ook t.o.v. maaiveld) van een punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft (m).

Als er stagnerende lagen in een bodemprofiel voorkomen, kan het nodig zijn om te meten in meerdere filters op verschillende diepten teneinde de diepte onder het bodemoppervlak vast te stellen van het punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft. Bijlage 1 geeft de bodemkundige profielbeschrijvingen en de filterdiepten voor de tien geselecteerde locaties. Als er een stagnerende laag aanwezig is, dan is ernaar gestreefd om één filter boven deze laag te plaatsen. Het diepere filter is telkens zo geplaatst dat de onderkant van het filter zich één of enkele decimeters in de volledig gereduceerde zone bevindt, overeenkomstig de gangbare praktijk.

De grondwaterstanden zijn gemeten met automatische drukopnemers (Divers¹) met een frequentie van viermaal per dag.

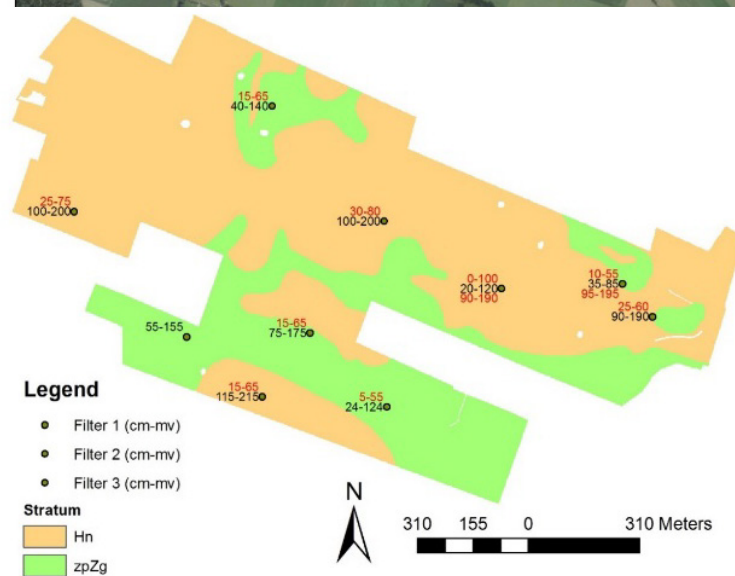
2.4 Selectie van de validatielocaties en filterdiepten

Omdat het primaire doel van dit onderzoek het toetsen van de praktische haalbaarheid van een validatiemeetnet van peilbuizen is, streven we bij de selectie van locaties naar een zo groot mogelijke variatie in verschillende situaties. Om budgettaire redenen kon het aantal locaties niet meer dan tien bedragen. Deze tien locaties zijn geselecteerd door middel van een gestratificeerde, enkelvoudig aselechte kanssteekproef. Hierbij zijn vijf locaties geselecteerd in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgrond' en vijf in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgrond', zie Figuur 2.3. Op deze wijze wordt nagestreefd dat de belangrijkste verschillen in bodemgesteldheid in de steekproef zijn vertegenwoordigd. Vervolgens streven we een zo groot mogelijke ruimtelijke spreiding van locaties binnen de bodemkundige hoofdstrata na, door elk van de twee hoofdstrata te verdelen in vijf compacte geografische strata en één locatie per compact geografisch stratum te loten. Compacte geografische strata zijn deelgebieden die zijn gevormd op basis van minimalisatie van de mean squared shortest distance (MSSD) van de punten in het deelgebied tot het centrum van het deelgebied. De indeling in compacte geografische strata is gerealiseerd met het R-package *spcosa* (Walvoort et al. 2010).

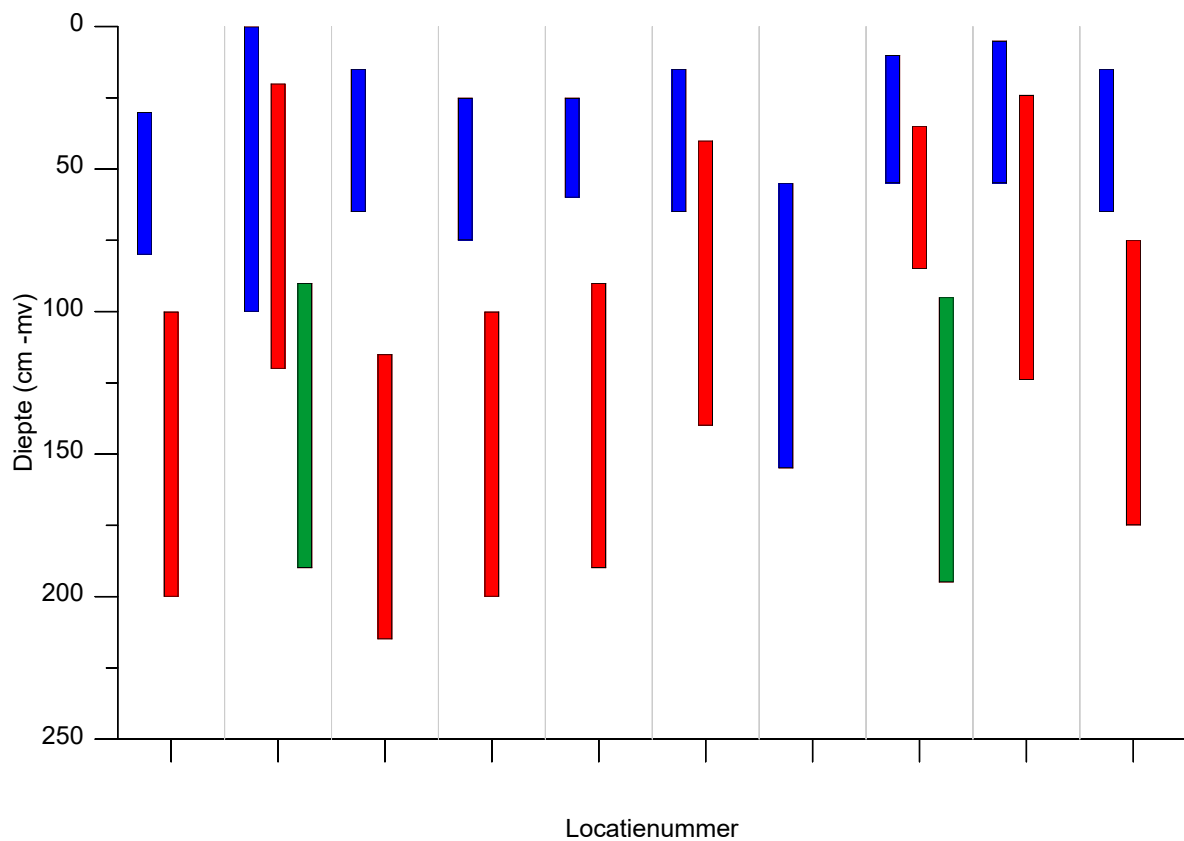
Als het primaire doel zou zijn geweest om een gemiddelde met standaardfout te schatten, zou het aantal locaties per compact geografisch stratum minimaal twee hebben bedragen. Het nadeel is dan echter dat er een kans is dat punten vlak bij elkaar liggen, waardoor de ruimtelijke spreiding en daarmee de variatie in verschillende veldsituaties afneemt. Gemiddelden zijn met één punt per compact geografisch stratum nog steeds te schatten. De standaardfouten zijn te schatten met de *collapsed strata estimator* (Cochran, 1977; blz. 139), maar deze standaardfouten bevatten wel een bias: de standaardfout wordt overschat.

Bij de plaatsing van de peilbuizen is een bodemkundige profielbeschrijving van elk van de tien locaties gemaakt, zie Bijlage 1. Op basis van deze profielbeschrijvingen is ter plekke besloten hoeveel filters er op een locatie worden geplaatst en op welke diepte. Figuur 2.7 geeft de ligging van de tien validatielocaties en Figuur 2.8 geeft de diepten van de filters.

¹ Productnamen zijn alleen ter informatie vermeld, niet ter aanprijzing.



Figuur 2.7 Ligging van de validatielocaties, met een of meerdere filters per locatie. De diepten van deze filters zijn, aangegeven in cm.



Figuur 2.8 Filterdiepten in het validatiemetnet Boetelerveld. Ligging van de locaties: zie Figuur 2.7.

2.5 Kwantificeren van nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand, zoals de Gd-kaart, kan worden gekwantificeerd door deze informatie te vergelijken met de waarnemingen die zijn verricht op de tien validatielocaties. De voorspelfout op validatielocatie i in stratum h , $i=1\dots n_h$, wordt als volgt berekend:

$$e_{hi} = \hat{z}_{hi} - z_{hi}$$

waarin \hat{z}_{hi} de voorspelling is en z_{hi} de waarneming op locatie i in stratum h . De gemiddelde voorspelfout wordt geschat met

$$\hat{e} = \sum_{h=1}^{\ell} a_h \hat{e}_h$$

met a_h de relatieve oppervlakte van stratum h , ℓ het aantal strata en

$$\hat{e}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} e_{hi}$$

De variantie van de gemiddelde voorspelfout wordt berekend met

$$s^2(\hat{e}) = \sum_{h=1}^{\ell} a_h^2 s^2(\hat{e}_h)$$

met

$$s^2(\hat{e}_h) = \frac{1}{n_h(n_h - 1)} \sum_{i=1}^{n_h} (e_{hi} - \hat{e}_h)^2$$

Omdat er één locatie per geografisch stratum is geloot en er ten minste twee punten nodig zijn om varianties te schatten, is gebruikgemaakt van de *collapsed stratum estimator* voor de variantie (Cochran, 1977; blz. 138-140). Hierbij zijn de oorspronkelijke vijf geografische strata per bodemkundig hoofdstratum samengevoegd tot twee geografische strata per bodemkundig hoofdstratum: één met twee punten en één met drie punten. De variantie van de gemiddelde voorspelfout zal hierdoor iets worden overschat.

De standaardafwijking van de voorspelfouten e_{hi} is een maat voor de toevallige fout in ruimtelijke voorspellingen. Daarnaast is informatie over deze standaardafwijking nodig om de steekproefomvang te berekenen bij het toetsen van de kwaliteit aan een norm. De benodigde steekproefomvang is een van de onderzoeksvragen in deze pilotstudie. De standaardafwijking van de voorspelfouten berekenen we als volgt:

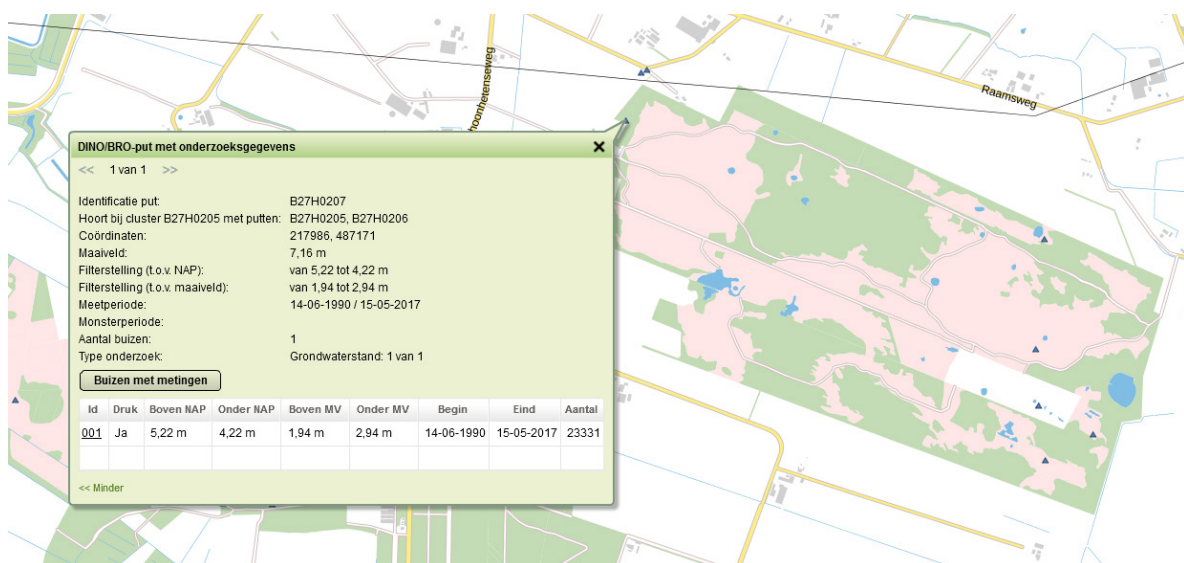
$$s(e) = \sqrt{\widehat{e^2} - (\hat{e})^2 + s^2(\hat{e})}$$

waarin $\widehat{e^2}$ analoog aan \hat{e} is geschat uit de gekwadrateerde voorspelfouten.

De Gd-kaart geeft ruimtelijke voorspellingen van gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG's en GLG's). Om deze ruimtelijke voorspellingen te valideren, zijn idealiter reeksen van dertig jaar nodig die onder een ongewijzigd hydrologisch regime zijn waargenomen (bijv. Ritzema et al. 2012). Als deze reeksen niet beschikbaar zijn, kunnen de GHG's en GLG's worden geschat uit kortere reeksen, eventueel verlengd tot dertig jaar met behulp van een tijdreeksmodel en langjarige neerslag- en verdampingsgegevens. Voor de validatielocaties in het Boetelerveld zijn slechts reeksen beschikbaar van één hydrologisch jaar. Het gemiddelde van de drie hoogste en drie laagste grondwaterstanden bij een halfmaandelijkse meetfrequentie (HG3 en LG3) zullen we beschouwen als een schatting voor de GHG en de GLG. In de volgende paragraaf analyseren we in hoeverre de HG3 en de LG3 afwijken van de GHG en de GLG die zijn geschat uit een lange waarnemingsreeks voor een locatie aan de rand van het studiegebied.

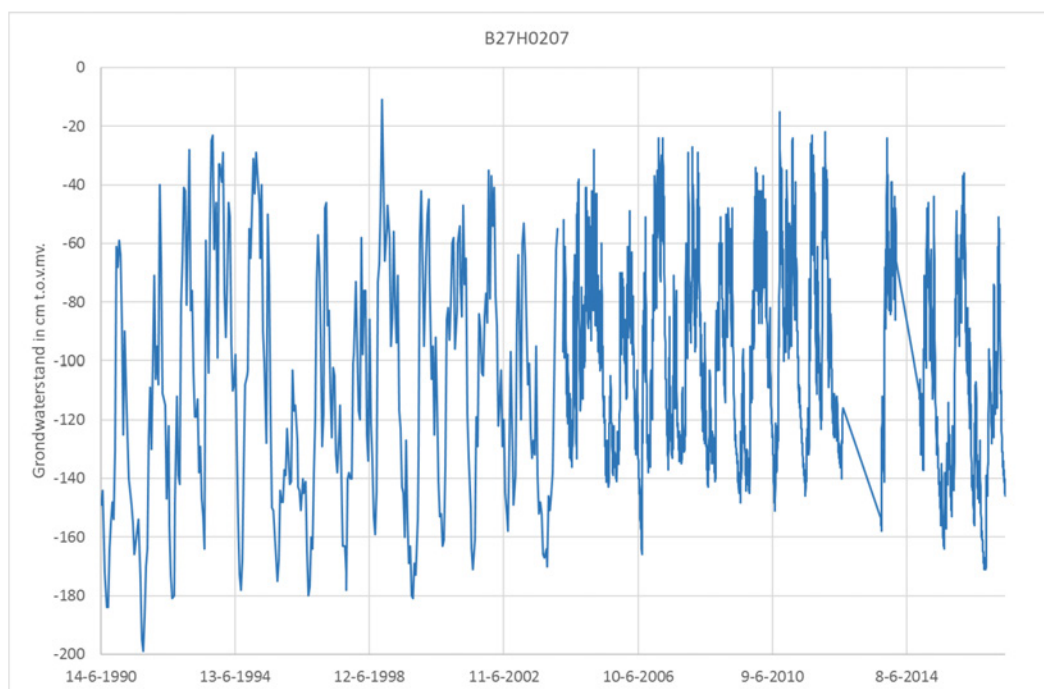
2.6 Vergelijking van HG3 en LG3 met GHG en GLG

Op basis van een analyse van een lange grondwaterstandsreeks die aan de rand van het Boetelerveld is waargenomen, beoordeelden we hoe deze HG3 en LG3 zich verhouden tot de GHG en GLG die zijn geschat op basis van langjarige reeksen. Figuur 2.9 geeft de locatie van deze buis.



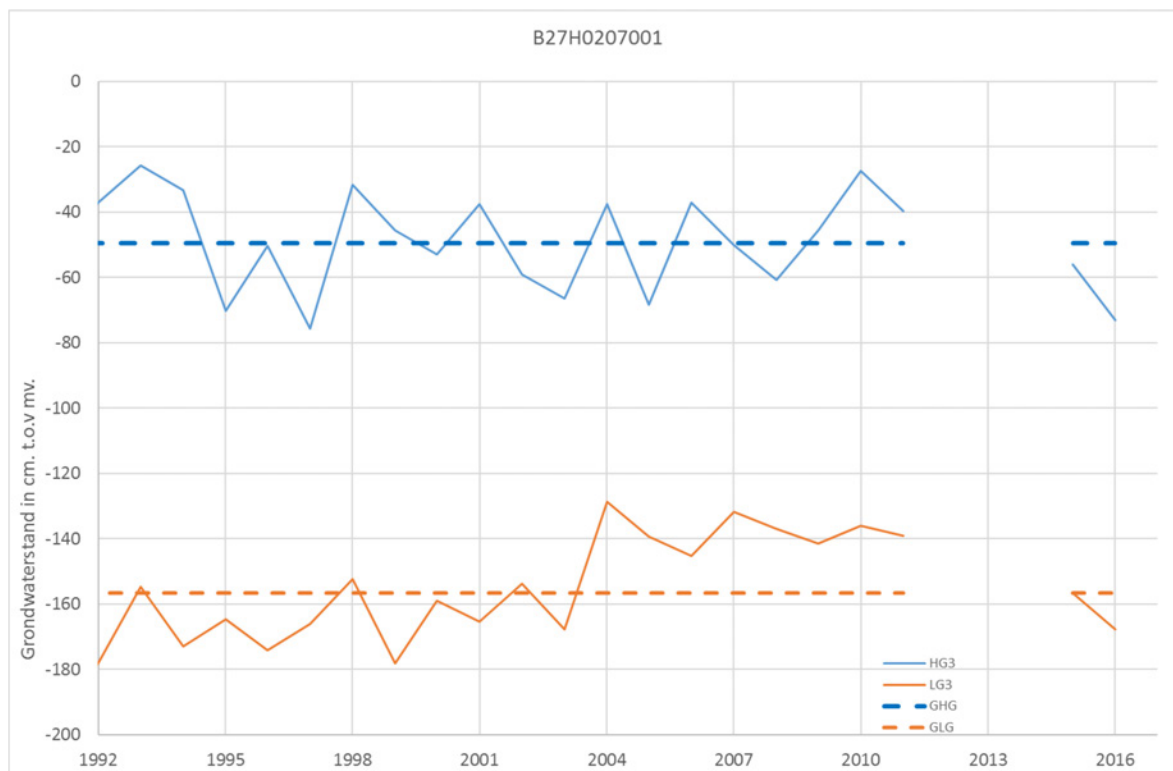
Figuur 2.9 Ligging van buis B27H0207 met een langjarige stijghoogtereeks (Bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>).

Figuur 2.10 geeft de tijdreeks van stijghoogten die in buis B27H0207 is waargenomen. In 2004 is na het plaatsen van een drukopnemer overgeschakeld op een hogere meetfrequentie. In 2012 en 2014 zijn enkele perioden met ontbrekende waarnemingen.



Figuur 2.10 Tijdreeks van stijghoogten voor buis B27H0207.

Figuur 2.11 geeft de HG3's en LG3's en een schatting van de GHG en GLG op basis van de tijdreeks van 1990 tot en met 2016.



Figuur 2.11 HG3's, LG3's en GHG en GLG, geschat uit waargenomen stijghoogten tussen 1991 en 2016 in buis B27H0207.

Tabel 2.2 geeft de schattingen van GHG en GLG en de HG3 en LG3 die voor de validatieperiode, het hydrologische jaar 2016, zijn berekend. De HG3 is 23 cm dieper dan de GHG, de LG3 is 11 cm dieper dan de GLG. Bij de interpretatie van eventuele systematische fouten in voorspelde GHG en GLG dient hier rekening mee gehouden te worden.

Tabel 2.2 *Schattingen van GHG en GLG op basis van waargenomen stijghoogtes tussen 1991 en 2016 en berekende HG3 en LG3 voor het hydrologische jaar 2016 (cm).*

Buis	HG3 (2016)	LG3(2016)	GHG	GLG
B27H0207001	-73	-168	-50	-157

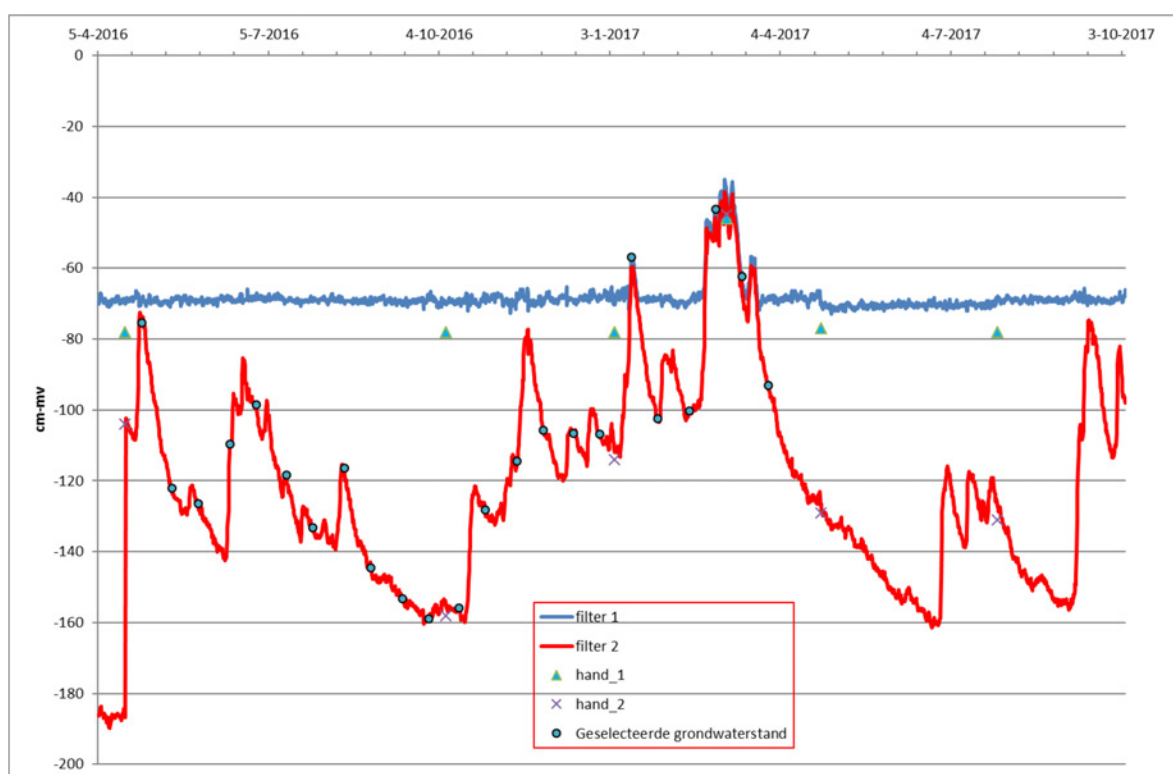
3 Resultaten

3.1 Tijdreeksen van grondwaterstanden

Op tien locaties zijn gedurende een hydrologisch jaar en zeven maanden stijghoogtes van grondwater gemeten, in één tot drie filters per locatie, afhankelijk van de profielopbouw. In de volgende subparagrafen beschrijven en interpreteren we deze waarnemingen per locatie.

3.1.1 Locatie 1-1

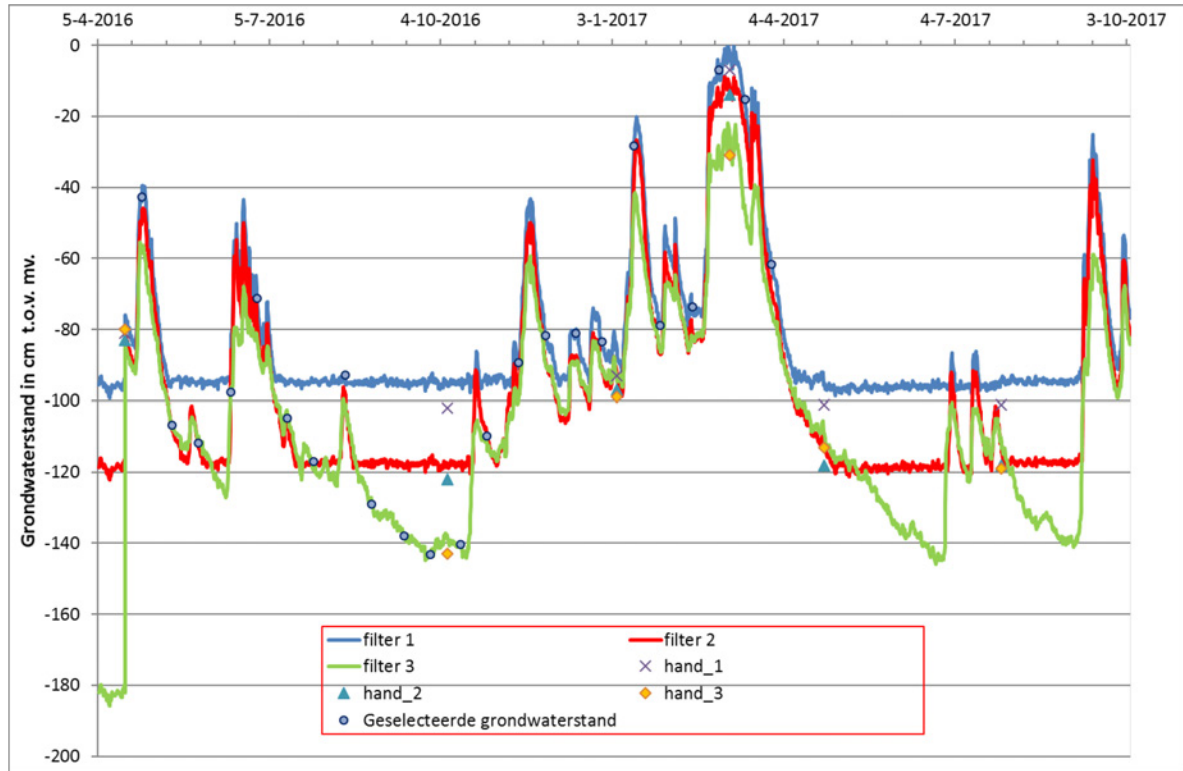
Figuur 3.1 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 1-1. Deze locatie ligt in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgronden'. In het profiel zijn geen duidelijk stagnerende lagen aangetroffen (Bijlage 1). De stijghoogteverschillen tussen de beide filters bedragen enkele centimeters.



Figuur 3.1 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 1-1. Diepte filter 1: 30-80 cm-mv, diepte filter 2: 100-200 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.2 Locatie 1-2

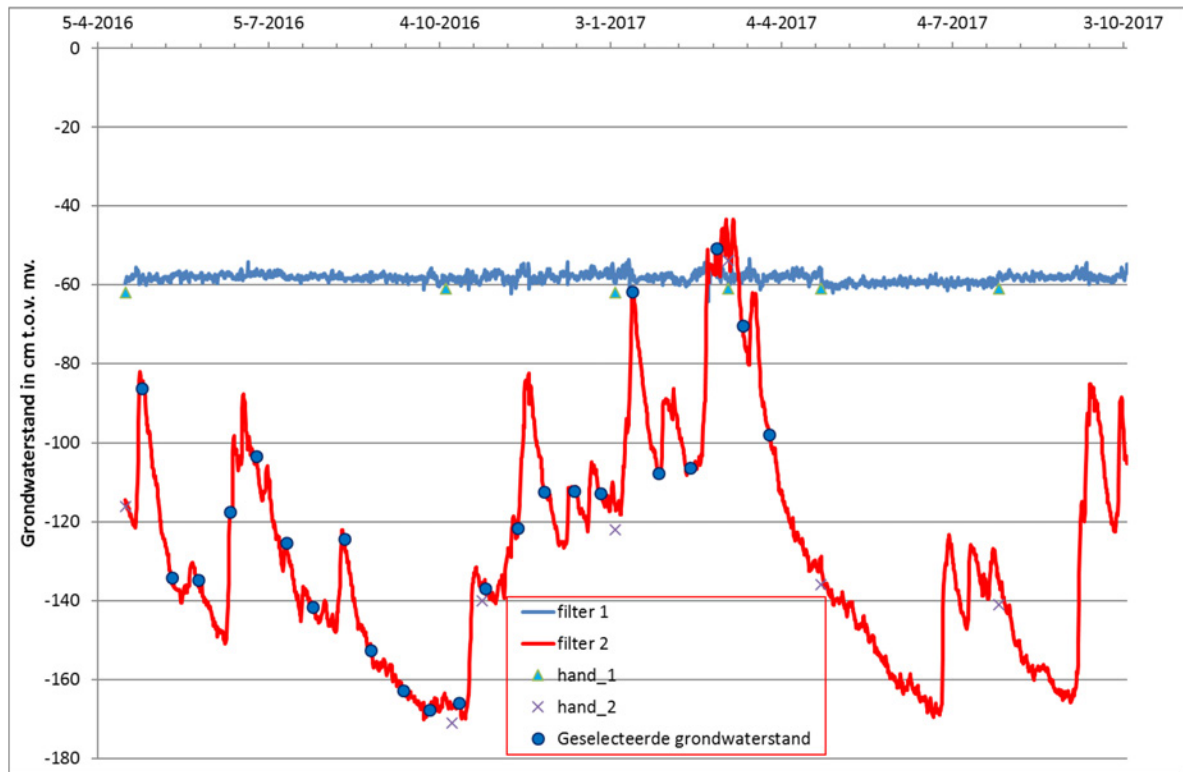
Figuur 3.2 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 1-2, in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgronden'. De laag tussen 110 en 140 cm kan stagnerend werken, zie Bijlage 1. Filter 1 staat boven deze laag, filter 2 eindigt boven in deze laag en filter 3 staat door deze laag heen, wat interpretatie van de ondiepe standen in dit filter moeilijk maakt. Voor de berekening van de HG3 worden daarom de standen uit het ondiepe filter gebruikt.



Figuur 3.2 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 1-2. Diepte filter 1: 0-100 cm-mv; diepte filter 2: 20-120 cm-mv; diepte filter 3: 90-190 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijks waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.3 Locatie 1-3

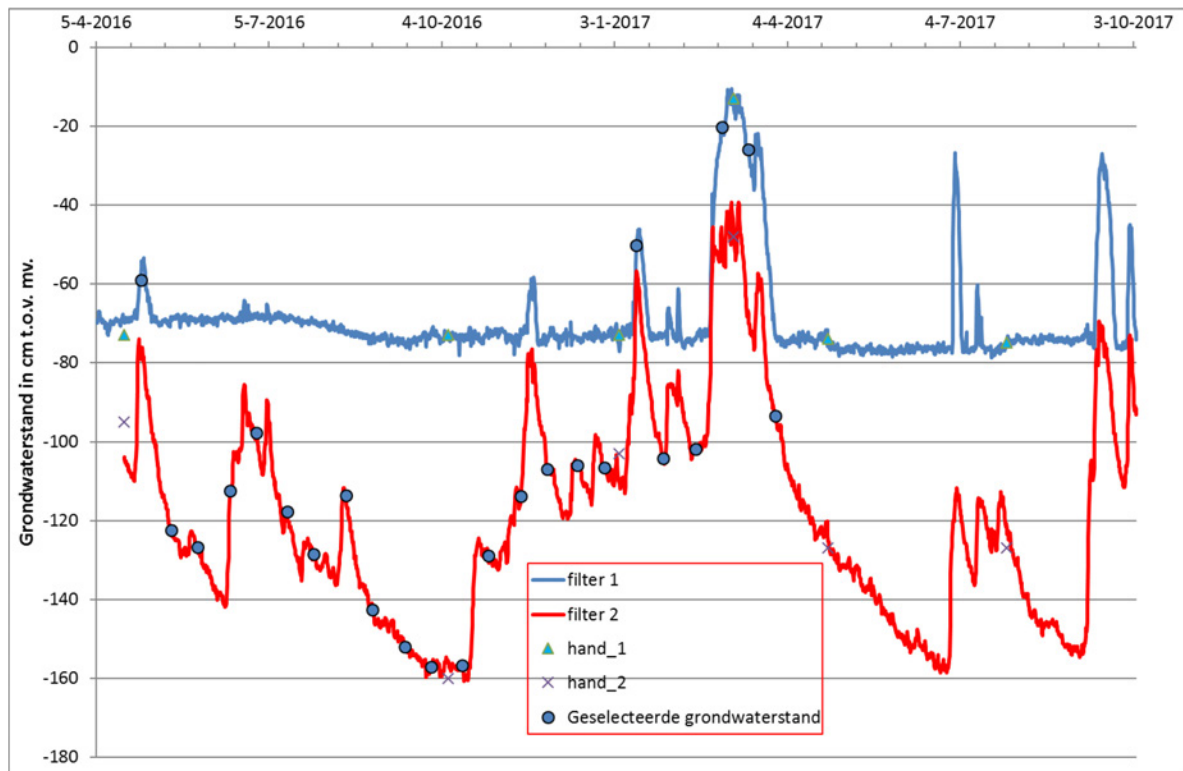
Figuur 3.3 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 1-3, in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgronden'. Mogelijk werkt laag van 50 tot 95 cm stagnerend, zie Bijlage 1. In het eerste filter, tot 65 cm diepte, is geen waterstand gemeten. Gedurende korte tijd komt de 'diepe' stijghoogte boven het ondiepe filter uit dat niet reageert, wat lijkt op een kwelsituatie.



Figuur 3.3 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 1-3. Diepte filter 1: 15-65 cm-mv; diepte filter 2: 115-215 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.4 Locatie 1-4

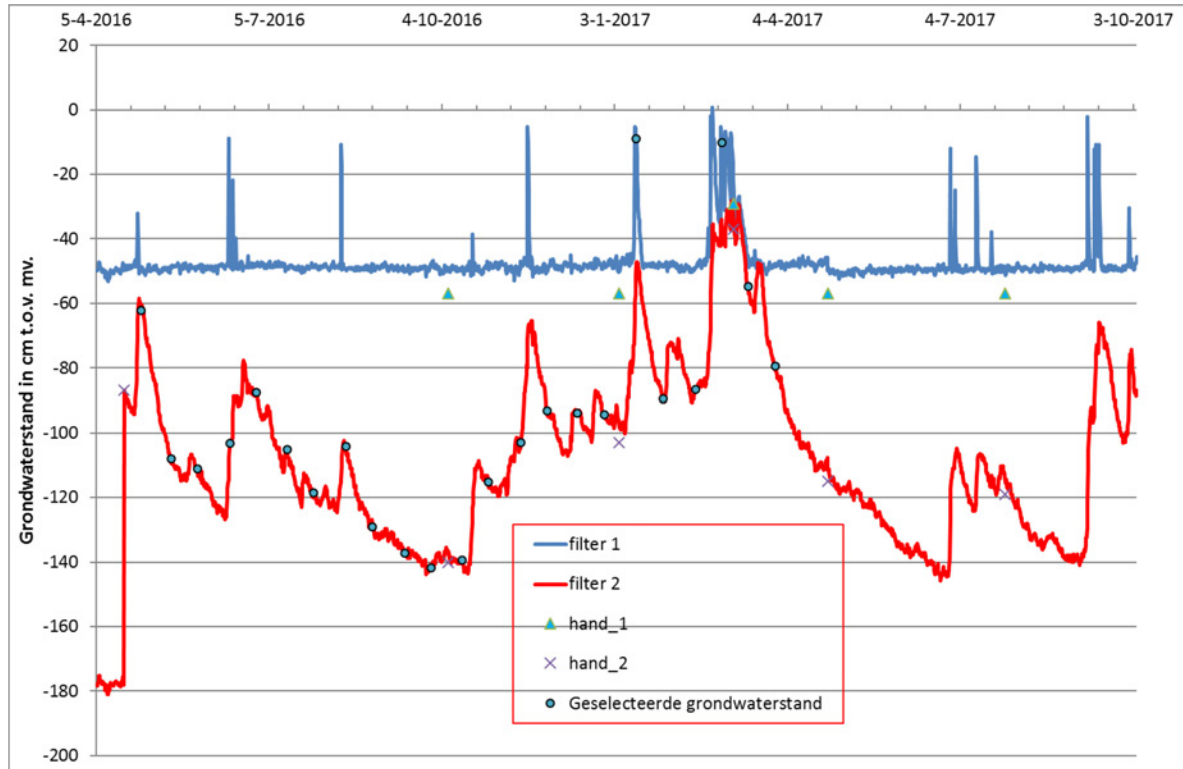
Figuur 3.4 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 1-4, in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgronden'. Blijkbaar werkt de ijzerrijke laag tussen 70 en 135 cm-mv stagnerend gezien de peilverschillen tussen filter 1 en 2.



Figuur 3.4 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 1-4. Diepte filter 1: 25-75 cm-mv, diepte filter 2: 100-200 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.5 Locatie 1-5

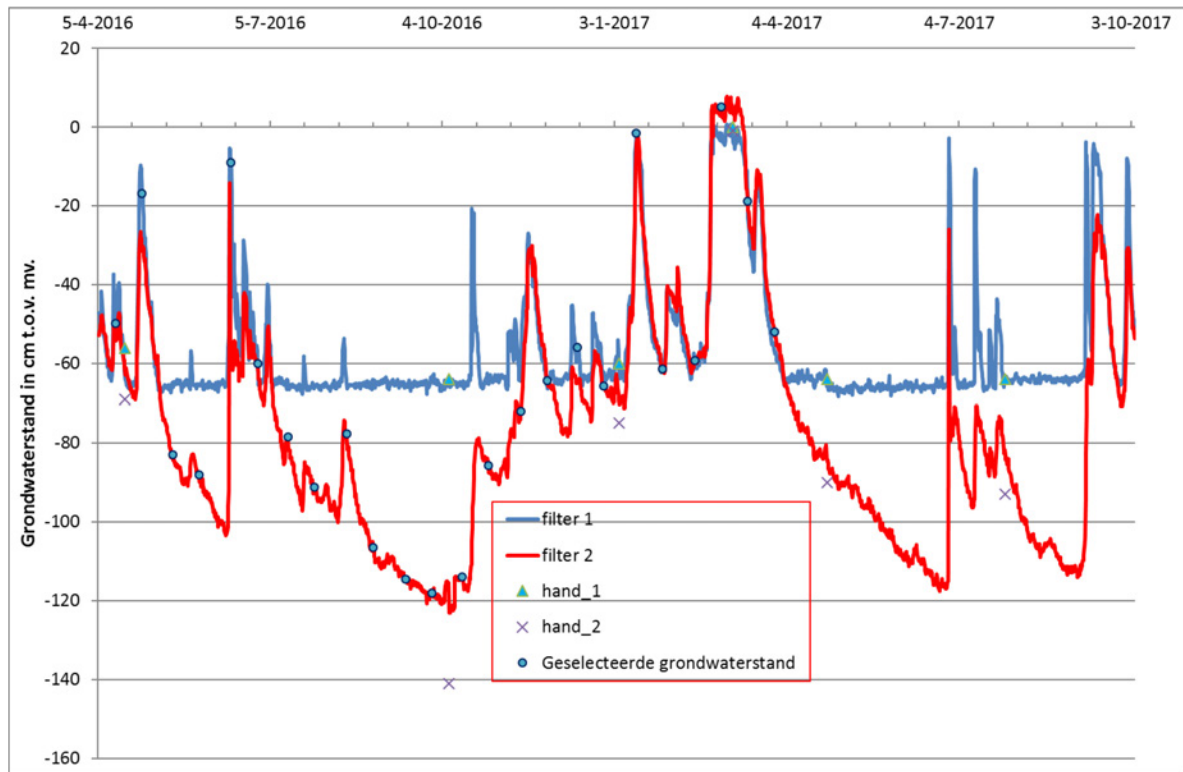
Figuur 3.5 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 1-5, in het bodemkundige hoofdstratum 'podzolgronden'. De laag tussen 50 en 110 cm-mv lijkt stagnerend te werken op de grondwaterstandsfluctuatie. Opmerkelijk is echter dat er geen uitdemping is in het ondiepe filter: het water is vrijwel net zo snel weg als dat het in het filter komt. In paragraaf 3.2 analyseren we dit verschijnsel nader.



Figuur 3.5 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 1-5. Diepte filter 1: 25-60 cm-mv; diepte filter 2: 90-190 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.6 Locatie 2-1

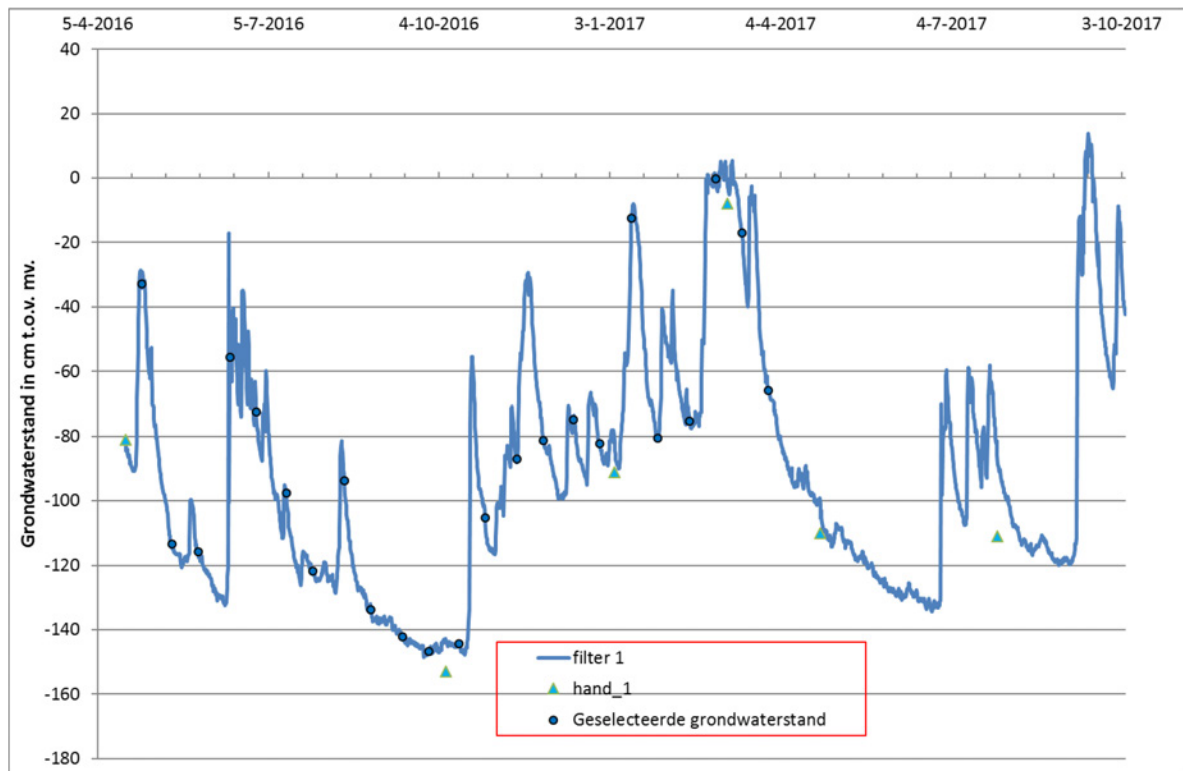
Figuur 3.6 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 2-1, in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgronden'. Tot 80 cm diepte is het profiel sterk lemig, met een leemarm laagje tussen 55 en 65 cm. Het lijkt erop dat hier in de winter sprake is van opwaartse flux (kwel), omdat in het diepe filter hogere standen worden gemeten dan in het ondiepe filter.



Figuur 3.6 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 2-1. Diepte filter 1: 15-65 cm-mv; diepte filter 2: 40-140 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijkse waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.7 Locatie 2-2

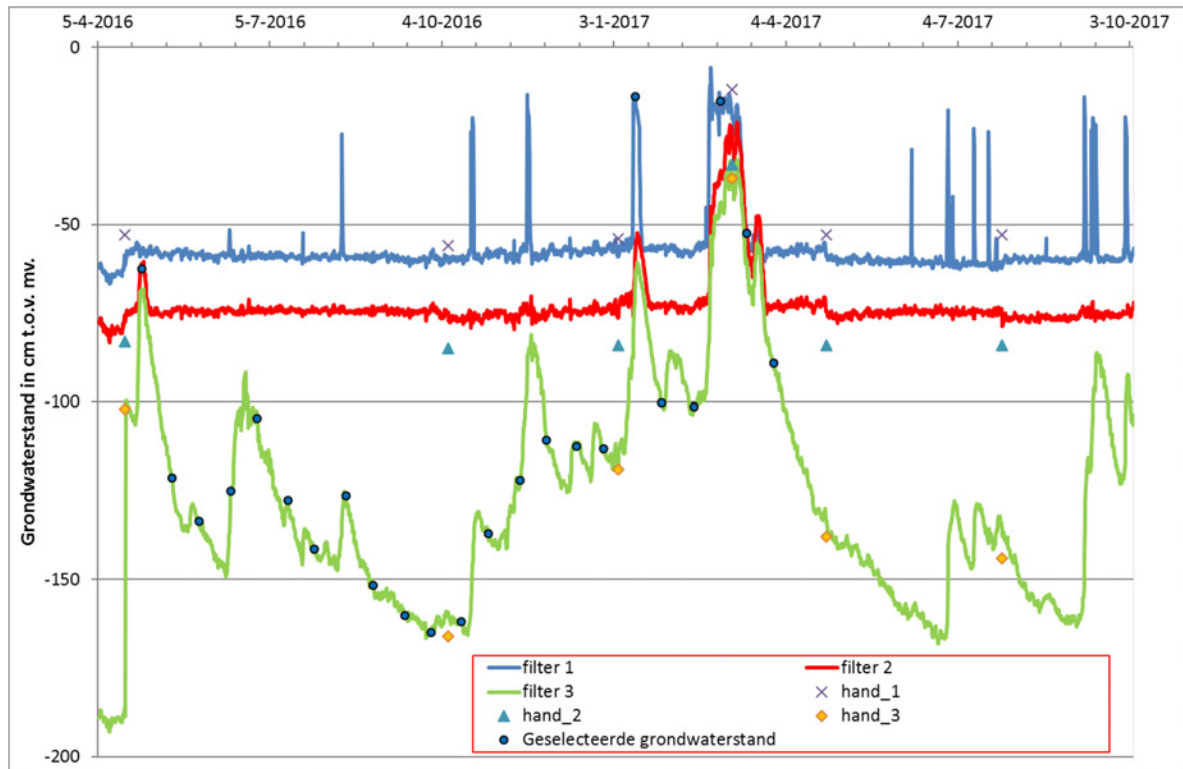
Figuur 3.7 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 2-2, in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgronden'. Omdat in het profiel geen stagnerende lagen werden aangetroffen (zie Bijlage 1), is op deze locatie één filter geplaatst.



Figuur 3.7 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 2-2. Diepte filter: 55-155 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.8 Locatie 2-3

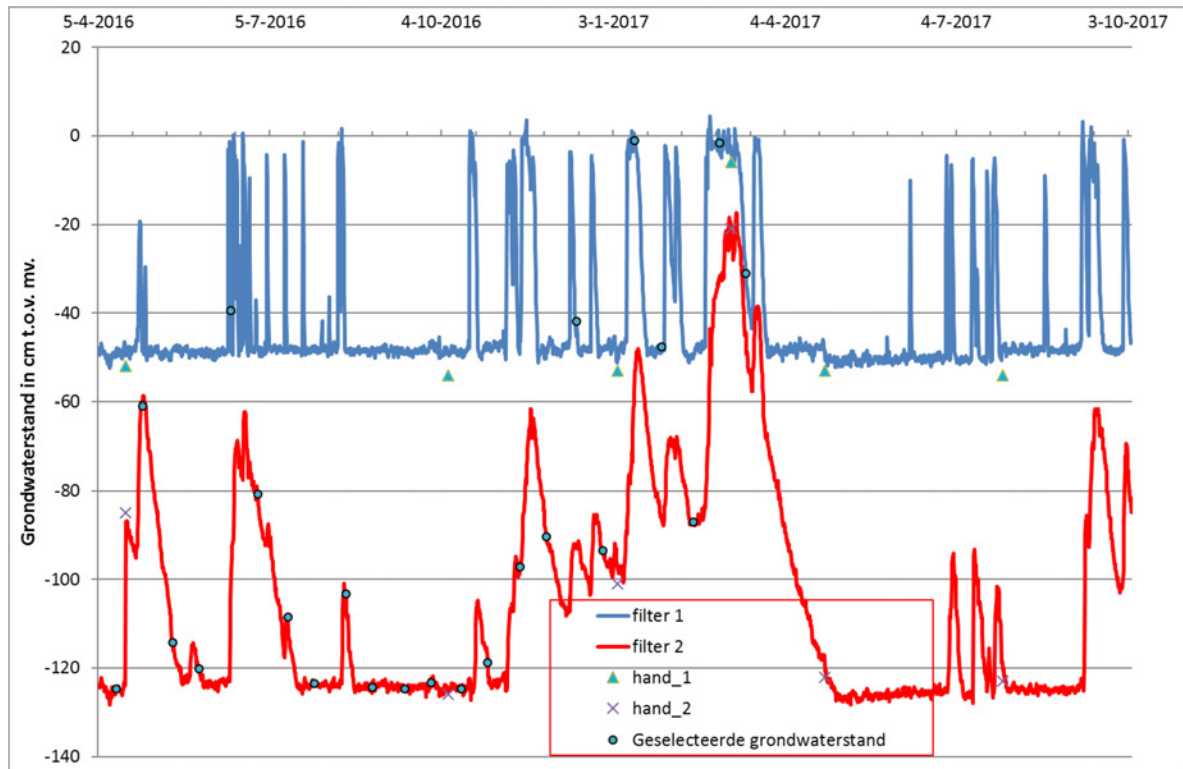
Figuur 3.8 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 2-3, in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgronden'. Filter 1 staat iets in de ijzerrijke laag die op 50 cm begint. Het is mogelijk dat dit filter toch in of boven deze laag staat als gevolg van een verschil in maaiveldhoogte tussen de filterlocatie en de locatie van de profielbeschrijving. Filter 2 staat boven de zeer sterk lemige laag van 85 tot 120 cm-mv. Filter 3 begint in die laag. Verschillen in standen duiden op stagnatie en neerwaartse flux.



Figuur 3.8 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 2-3. Diepte filter 1: 10-55 cm-mv; diepte filter 2: 35-85 cm-mv; diepte filter: 3 95-195 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.9 Locatie 2-4

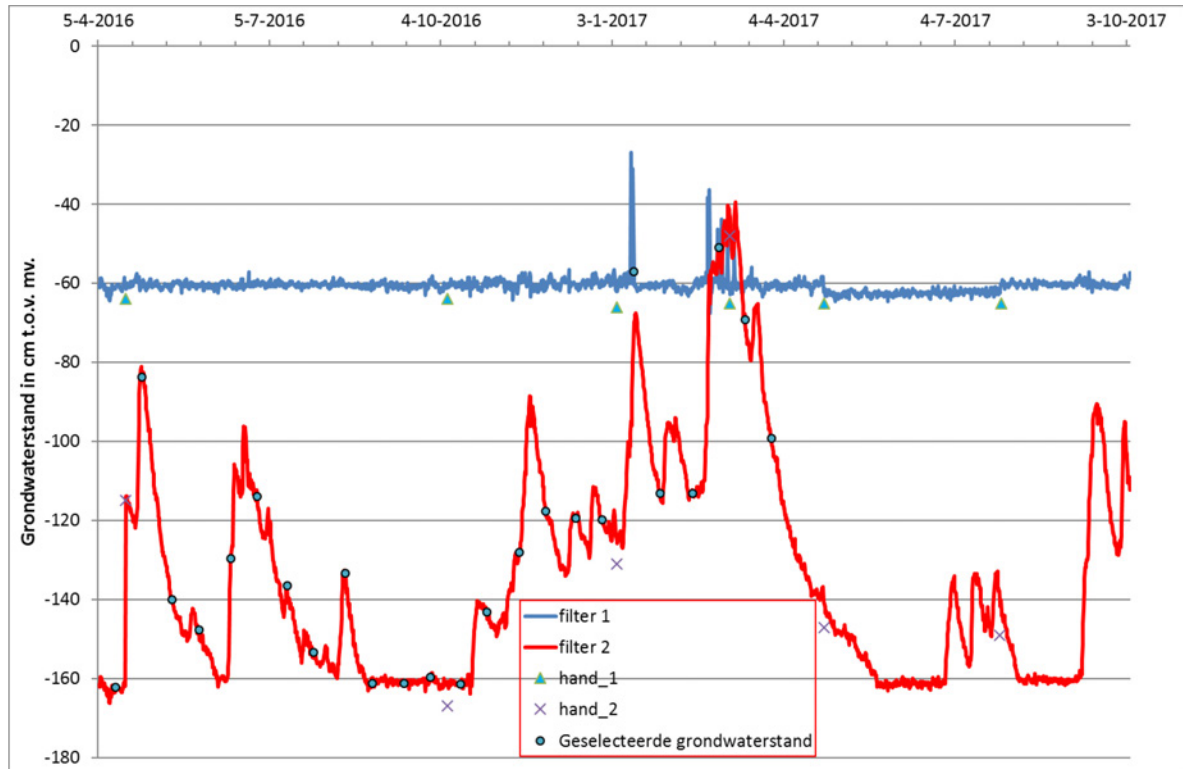
Figuur 3.9 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 2-4, in het bodemkundige hoofdstratum 'beekerdgronden'. Onder een sterk lemige bovengrond bevindt zich een zeer sterk lemige laag tussen 50 en 75 cm. Filter 1 staat boven de zeer sterk lemige laag, filter 2 staat erdoorheen, dus ontvangt water zowel van boven als van onder de laag. Het ondiepe filter schiet snel vol met water, maar is dat ook snel weer kwijt. Filter 2 valt droog, waardoor uit de standen niet zonder meer LG3's kunnen worden berekend.



Figuur 3.9 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 2-4. Diepte filter 1: 5-55 cm-mv; diepte filter 2: 24-124 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 14.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.1.10 Locatie 2-5

Figuur 3.10 geeft een tijdreeksplot van de stijghoogtes die zijn gemeten op locatie 2-5, in het bodemkundige hoofdstratum 'beekeerdgronden'. Op een zeker moment is er sprake van een drukverschil van 13 cm tussen filter 1 en 2. Er zijn perioden dat het diepe filter hoger staat dan het ondiepe filter, wat duidt op een kwelsituatie. Het ondiepe filter kan droog staan, terwijl de 'stijghoogte' in het diepe filter boven de bodem van het ondiepe filter uitkomt. De piek in het ondiepe filter valt op 13-14 januari, terwijl het diepe filter het maximum bereikt op 15 januari, wanneer het ondiepe filter weer is drooggevallen. Filter 2 valt droog, waardoor uit de standen niet zonder meer LG3's kunnen worden berekend.



Figuur 3.10 Tijdreeksen van stijghoogtes op locatie 2-5. Diepte filter 1: 15-65 cm-mv; diepte filter 2: 75-175 cm-mv. De lijnen geven de metingen met drukopnemers in de filters weer, de symbolen geven de handmatige waarnemingen in de filters weer. Met stippen zijn de halfmaandelijke waarnemingen (op de 14^e en de 28^{ste} om 12.00 u) weergegeven die zijn gebruikt voor het berekenen van de HG3 en de LG3.

3.2 Pieken in het ondiepe filter

Uit de tijdreeksplots in de vorige paragraaf blijkt dat op de locaties 1-5, 2-1, 2-3 en 2-4 pieken optreden in de stijghoogtes die worden gemeten in de ondiepe filters. In mindere mate treedt dit op bij locatie 1-4 en 2-5. Na een neerslaggebeurtenis stijgt de stijghoogte in het ondiepe filter snel, van onderkant buis tot soms in het maaiveld, om vervolgens weer even snel te dalen tot onderkant buis. Dit kan verschillende oorzaken hebben: 1) instroming van oppervlakkig water langs de buiswand; 2) een effect dat vergelijkbaar is met het Wieringermeereffect (Dekker et al. 2016); 3) een effect dat vergelijkbaar is met het Lisse-effect (Dekker et al. 2016). Het Lisse-effect, het Wieringermeereffect en het omgekeerd Wieringermeereffect kenmerken zich door snelle en grote grondwaterstandsschommelingen. Het Lisse-effect wordt veroorzaakt door luchtinsluiting tussen het infiltratiefront en het freatisch vlak, terwijl het Wieringermeer- en het omgekeerd Wieringermeereffect het gevolg zijn van conversie van de grondwaterzone in de vol-capillaire zone en andersom, na respectievelijk geringe verdamping en geringe neerslaghoeveelheden.

Gezien de plasvorming die in het gebied na neerslag optreedt, is een mogelijke oorzaak voor de pieken in het ondiepe filter dat oppervlakkig water langs de buiswand het filter instroomt, de buis tijdelijk vult en vervolgens van daaruit infiltreert in de bodem. De standen die als gevolg hiervan worden gemeten in het filter kunnen dan niet als freatische grondwaterstanden worden beschouwd, omdat ze zeer lokaal worden veroorzaakt door oppervlakkig water en niet door grondwater. Om oppervlakkige instroming als mogelijke oorzaak uit te sluiten, is in de zomer van 2017 op de locaties van twee ondiepe filters waar pieken optraden, namelijk locaties 1-5 en 2-4, een constructie geplaatst om te voorkomen dat oppervlakkig water of regenwater langs de buiswand kan instromen. De constructie bestond uit een wijde buis die in de grond rond de peilbuis werd gedrukt, zie Figuur 3.11. De deksel voorkwam dat zich regenwater in de buis zou verzamelen, luchttoevoer was wel mogelijk. Vervolgens werden de metingen met enkele maanden voortgezet tot begin oktober 2017. Uit de metingen (Figuren 3.5 en 3.8) blijkt dat ook na het plaatsen van de constructie pieken blijven optreden in de stijghoogtes die in de ondiepe filters zijn gemeten op locatie 1-5 en 2-4. Dit patroon wijkt sinds het plaatsen van de constructie niet af van de periode ervoor en van de patronen op vergelijkbare locaties (2-1 en 2-4). Instroming van oppervlakkig water sluiten we daarom uit als oorzaak van het optreden van pieken in de ondiepe filters.



Figuur 3.11 Plaatsing van een ring met deksel om instroming van oppervlakkig water of regenwater langs de buiswand te voorkomen.

3.3 Grondwaterstandskarakteristieken

Om de nauwkeurigheid van GHG's en GLG's van de Gd-kaart voor het studiegebied te kunnen kwantificeren, berekenden wij de HG3's en LG3's voor het hydrologisch jaar van april 2016 tot en met april 2017. Deze vergeleken we met de voorspellingen van de GHG en GLG op de Gd-kaart. Bij de interpretatie van systematische afwijkingen hielden we rekening met het verschil tussen de HG3 (LG3) en GHG (GLG) dat was berekend voor buis B27H0207 (zie paragraaf 2.6). Tabel 3.1 geeft de resultaten van deze vergelijking.

Tabel 3.1 *Vergelijking van GHG's en GLG's volgens de Gd-kaart met HG3's en LG3's voor het hydrologische jaar van april 2016 tot april 2017. Waarden van GHG, HG3, GLG en LG3 in cm -maaiveld, verschilwaarden in cm.*

Locatie	GHG	HG3	GHG-HG3	GLG	LG3	GLG-LG3
1-1	66	54	12	184	156	28
1-2	24	17	7	159	140	19
1-3	41	61	-20	166	165	1
1-4	64	32	32	174	155	19
1-5	24	25	-1	154	139	15
2-1	47	2	45	169	116	53
2-2	48	10	38	164	144	20
2-3	37	59	-22	161	162	-1
2-4	39	11	28	166	-#	-
2-5	49	59	-10	169	-#	-

#: In verband met periode met droogval van het onderste filter kon geen LG3 (en dus geen verschil GLG-LG3) berekend worden.

Het verschil tussen GHG en HG3 is voor het studiegebied gemiddeld 13,6 cm. De nauwkeurigheid van dit geschatte gemiddelde is berekend met de collapsed-strata-methode (zie paragraaf 2.5), waarbij de geografische strata als volgt zijn samengevoegd tot vier collapsed strata: (1-1,1-2,1-3), (1-4,1-5), (2-1,2-2,2-3) en (2-4,2-5). De standaardfout van het geschatte gemiddelde is 16,0 cm. Dit is een conservatieve (pessimistische) schatting met de collapsed-stratummethode. Op basis van deze steekproef kan niet een systematisch verschil tussen de GHG volgens de Gd-kaart en de HG3 in het hydrologische jaar 2016 worden aangetoond.

De standaardafwijking van de verschillen tussen GHG en HG3 is nuttige voorinformatie bij het bepalen van de benodigde steekproefomvang om te toetsen of de kwaliteit van GHG-voorspellingen aan een norm voldoet. Uit het gemiddelde van de gekwadrateerde verschillen, het kwadraat van het gemiddelde verschil en de gekwadrateerde standaardfout berekenen we een standaardafwijking van 25,6 cm.

Het verschil tussen GLG en LG3 is voor het studiegebied gemiddeld 19,1 cm. Omdat er twee ontbrekende waarnemingen zijn, is de standaardfout niet berekend.

Uit de analyse van langjarige gegevens uit DINO-buis B27H0207 in paragraaf 2.6 bleek dat de HG3 en LG3 zich in het hydrologische jaar 2016 dieper bevonden dan de GHG en de GLG. De HG3's en LG3's die bij de validatie zijn waargenomen, zijn echter gemiddeld genomen ondieper dan de GHG en GLG volgens de Gd-kaart. Op zes van de tien validatielocaties werd een HG3 berekend die ondieper was dan de GHG, terwijl op zeven van de acht bemeeten locaties een LG3 werd berekend die ondieper was dan de GLG. Dit duidt erop dat de Gd-kaart voor het studiegebied te diepe ruimtelijke voorspellingen geeft van de GHG en GLG; dit lijkt voor de GLG iets meer het geval te zijn dan voor de GHG.

Bij het plaatsen van de filters zijn bodemkundige profielbeschrijvingen gemaakt, waarbij ook een schatting van de GHG en GLG is gemaakt op basis van profiel- en veldkenmerken. Tabel 3.2 vergelijkt deze schattingen met de HG3's en de LG3's die voor de validatielocaties zijn berekend. Het verschil tussen de veldschattingen van de GHG en de HG3's die berekend zijn voor de validatielocaties bedraagt voor het studiegebied gemiddeld -5,0 cm. Voor dit geschatte gemiddelde is met de collapsed-strata-methode een standaardfout berekend van 12,3 cm. Op basis van deze steekproef kan dus niet een systematisch verschil tussen de veldschattingen van de GHG en de HG3 in het hydrologische jaar 2016 worden aangetoond. Het verschil tussen GLG en LG3 is voor het studiegebied gemiddeld -1,6 cm. Omdat er twee ontbrekende waarnemingen zijn, is de standaardfout niet berekend.

Tabel 3.2 *Vergelijking van veldschattingen van GHG's en GLG's met HG3's en LG3's voor het hydrologische jaar 2016. Waarden in cm -maaiveld.*

Locatie	GHG	HG3	GHG-HG3	GLG	LG3	GLG-LG3
1-1	45	54	-9	156	156	0
1-2	20	17	3	125	140	-15
1-3	45	61	-16	150	165	-15
1-4	20	32	-12	174	155	19
1-5	45	25	20	130	139	-9
2-1	0	2	-2	110	116	-6
2-2	15	10	5	130	144	-14
2-3	50	59	-9	150	162	-12
2-4	20	11	9	130	-#	-
2-5	30	59	-29	135	-#	-

#: In verband met periode met droogval van het onderste filter kon geen LG3 (en dus geen verschil GLG-LG3) berekend worden.

De veldschattingen van GHG en GLG wijken minder af van de HG3's en LG3's die voor de validatielocaties zijn berekend dan de GHG's en GLG's volgens de Gd-kaart. Bovendien is de afwijking in de richting van het verschil tussen GHG (GLG) en de HG3 (LG3) voor 2016 dat in paragraaf 2.6 is berekend.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Het doel van dit onderzoek was om een pilot-meetnet voor de validatie van grondwaterstandsinformatie in gebieden met verdrogingsgevoelige natuur in te richten en de praktische haalbaarheid van dit meetnet te toetsen. Deze toetsing richtte zich op de beantwoording van vijf vragen:

1. Is de inrichting van een validatiemeetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar?

Wij concluderen dat de inrichting van een validatiemeetnet op basis van selectie van locaties met een kanssteekproef praktisch uitvoerbaar is. Het is mogelijk gebleken om in een natuurgebied op tien gelote locaties gedurende één jaar en zeven maanden in filters op verschillende diepten de grondwaterstand te meten. De gelote ruimtelijke coördinaten konden in het veld worden gelokaliseerd met een gps. De standen werden gemeten met behulp van automatische drukopnemers.

2. Hoe dienen peilbuizen te worden geplaatst om de freatische grondwaterstand te kunnen meten?

Wij concluderen dat plaatsing van meerdere filters met verschillende diepten op één locatie nodig is om ondiepe grondwaterstanden nauwkeurig te kunnen meten, HG3's nauwkeurig te kunnen berekenen en GHG's nauwkeurig te kunnen schatten. Op zeven locaties weken de standen in het ondiepe filter, boven een stagnerende laag, af van de standen in het diepere filter. Op vijf locaties werden de ondiepste standen in het ondiepe filter gemeten.

3. Welke technische aanpassingen aan de meetapparatuur zijn nodig bij de inrichting van een meetnet op basis van een kanssteekproef?

In dit studiegebied bleek het nodig te zijn om de filters met een hekje te beschermen tegen beschadiging door vee. Hoewel er geen effect van oppervlakkige instroming is gemeten, moet worden voorkomen dat dit kan optreden.

4. Hoeveel meetpunten zijn nodig om een nauwkeurige uitspraak over de kwaliteit van gebiedsdekkende grondwaterstandsinformatie te kunnen doen?

Wij concluderen dat tien validatiepunten voldoende waren om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van de Gd-kaart voor het studiegebied Boetelerveld. Het toetsen aan een kwaliteitsnorm viel buiten dit onderzoek. Hoeveel waarnemingen nodig zijn om een dergelijke toets uit te voeren, hangt af van:

- de spreiding in voorspelfouten. Daarover geeft dit onderzoek informatie: de standaardafwijking van de verschillen tussen GHG en HG3 is 25,6 cm.
- de *error rates*. Dit zijn de kansen die worden toegelaten voor het ten onrechte concluderen dat de kwaliteit van ruimtelijke voorspellingen voldoet of niet. Deze dienen vooraf te worden vastgesteld, bij voorkeur met een kosten-batenanalyse.
- de afwijking van de kwaliteitsnorm die niet meer toelaatbaar wordt geacht.

5. Wat is de kwaliteit van gebiedsdekkende informatie over de grondwaterstand in het studiegebied en hoe nauwkeurig is die kwaliteit vastgesteld?

In deze pilotstudie is alleen de kwaliteit van de Gd-kaart voor het studiegebied Boetelerveld onderzocht. De GHG's en GLG's volgens de Gd-kaart blijken beide dieper te zijn dan de HG3's en LG3's die voor de validatielocaties zijn berekend voor het hydrologische jaar 2016, namelijk respectievelijk 13,6 en 19,1 cm. Uit analyse van een lange reeks aan de rand van het studiegebied bleek dat de HG3 en LG3 zich in 2016 respectievelijk 23 en 11 cm dieper dan de GHG en GLG bevonden. Dit betekent dat de GHG die op de Gd-kaart voor het Boetelerveld wordt weergegeven, gemiddeld circa 36 cm te diep zou zijn. De GLG zou gemiddeld circa 30 cm te diep zijn. Voor het gemiddelde van de verschillen tussen GHG en HG3 kon een standaardfout van 16,0 cm worden berekend. Dat betekent dat een verschil van circa 36 cm statistisch significant is bij een significantieniveau van 0,05. Voor de GLG konden we niet vaststellen of het verschil van circa 30 cm significant is.

4.2 Aanbevelingen

1. Deze validatie wijst uit dat voor het Boetelerveld de Gd-kaart GHG's en GLG's weergeeft die te diep zijn. Wij bevelen aan om de oorzaken hiervan te onderzoeken. Omdat zowel GHG als GLG te diep worden voorspeld, kan het missen van ondiepe standen door verkeerde filterstelling niet de enige oorzaak zijn.
2. Uit de meetreeksen bleek een grote 'piekerigheid' in tijdelijke grondwaterstanden die werden gemeten in een ondiep filter boven een storende laag, ongeveer tot 50 à 100 cm diep. Oppervlakkige instroom langs de filterwand kon als oorzaak worden uitgesloten. Wij bevelen aan om te onderzoeken of deze snel stijgende en dalende grondwaterstanden worden veroorzaakt door processen die vergelijkbaar zijn met het Wieringermeereffect of het Lisse-effect.
3. Wij raden aan om te onderzoeken in hoeverre de zeer snel stijgende en dalende grondwaterstanden die boven een storende laag kunnen optreden, ecologisch en landbouwkundig relevant zijn, gezien het zeer tijdelijke optreden ervan.
4. Wij adviseren ten slotte om te analyseren aan welke kwaliteitsnormen een kaart van GHG en GLG minimaal moet voldoen en *error rates* vast te stellen voor toetsing aan deze normen.

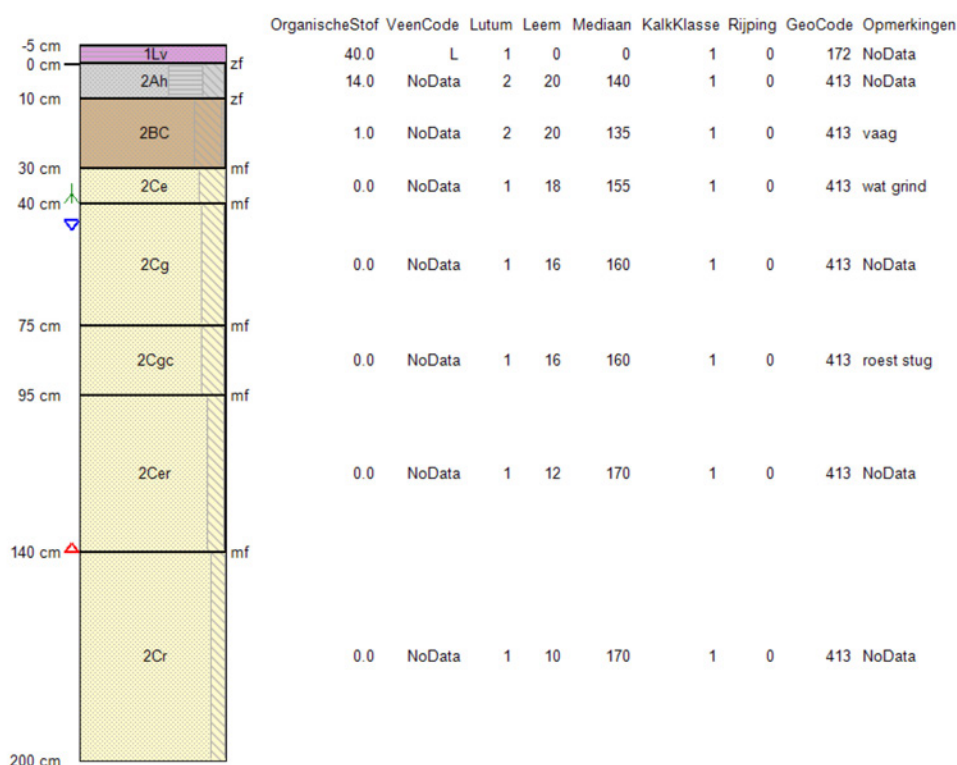
Literatuur

- Cochran, W.G., 1977. *Sampling techniques*. New York, Wiley.
- Dekker, L.W., K. Oostindie en J.G. Wesseling, 2016. Lisse effect, Wieringermeer effect en omgekeerd Wieringermeer effect: internationaal onderkend. *Stromingen* **26**(2): 23-38.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries, 2005. Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie. *Stromingen* **11**(1): 27-41.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop, 2010. *Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken*. Amersfoort, Stowa, rapport 2010-41.
- Kekem, A.J. van, T. Hoogland en J.B.F. van der Horst, 2005. *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten*. Wageningen, Alterra, rapport 1080.
- Knotters, M., T. Hoogland en D.J. Brus, 2013. *Validatie van grondwaterstandskarten met de Landelijke Steekproef Kaarteenheden*. Wageningen, Alterra, rapport 2440.
- Knotters, M. en T. Hoogland, 2015. *Validatiemetnet voor grondwaterstands-informatie over verdroging. Fase 1: probleemverkenning en inventarisatie*. Wageningen, Alterra, rapport 2660.
- 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. *Metten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid*. Wageningen, Alterra, rapport 2345.
- 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.

Bijlage 1 Profielopbouw en filterdiepten

Locatie 1-1

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801015 Locatie : NoData Coördinaten : 218912,486730 Hoogte : 7.89 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 5k433 Bew. diepte : 40 cm Eff. worteld. : 40 cm	Grondwater Gt : Vlo GHG : 45 cm GLG : 140 cm
Afgeleide gegevens kD : 11774.9 cm ² /d c : 24.1 d ZKrit bij 1 mm/d : 142 cm ZKrit bij 2 mm/d : 122 cm VKrit bij 1 mm/d : 193 mm VKrit bij 2 mm/d : 150 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 1.59 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.04 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 16.10 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.11 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.44 cm/d
Opmerking: 1_1_1		



Filter 1: 30-80 cm. Filter 2: 100-200 cm.

Locatie 1-2

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801008 Locatie : NoData Coördinaten : 219239,486542 Hoogte : 7.7 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 2r433/G Bew. diepte : 40 cm Eff. worteld. : 40 cm	Grondwater Gt : Vao GHG : 20 cm GLG : 125 cm
Afgeleide gegevens kD : 11045.5 cm ² /d c : 3.5 d ZKrit bij 1 mm/d : 138 cm ZKrit bij 2 mm/d : 117 cm VKrit bij 1 mm/d : 173 mm VKrit bij 2 mm/d : 134 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 0.40 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.02 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 12.83 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.10 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.67 cm/d
Opmerking: 1_2_1 kop afgegraven		

		OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
0 cm	1AB	mf	3.0	NoData	1	20	165	1	0	693 wat grind
10 cm	1Bhg	mf	0.0	NoData	1	20	155	1	0	413 wat fijn grind
30 cm	1Cg1	mf	0.0	NoData	1	12	165	1	0	413 geel
70 cm	1Cg2	mf	0.0	NoData	1	17	170	1	0	413 grijs, slecht gsorteerd
110 cm	2Cer	zf	1.0	NoData	3	40	110	1	0	422 waterhard leem
140 cm	3Cr	mf	0.0	NoData	1	10	170	1	0	413 wat fijn grind
190 cm										

Filter 1: 0-100 cm. Filter 2: 20-120 cm. Filter 3: 90-190 cm.

Locatie 1-3

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801013 Locatie : NoData Coördinaten : 218571,486240 Hoogte : 7.86 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 4i422i5/F Bew. diepte : 50 cm Eff. worteld. : 50 cm	Grondwater Gt : Vlo GHG : 45 cm GLG : 150 cm
Afgeleide gegevens kD : 15322.1 cm ² /d c : 5.0 d ZKrit bij 1 mm/d : 139 cm ZKrit bij 2 mm/d : 118 cm VKrit bij 1 mm/d : 167 mm VKrit bij 2 mm/d : 129 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 1.82 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.04 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 17.37 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.12 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.38 cm/d
Opmerking: 1_3_1; 2 filters		

		OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
0 cm	mf									
	1Ah/	5.0	NoData	1	17	160		1	0	693 wat grindjes
50 cm	mf									
	1Cg/	1.0	NoData	1	17	160		1	0	693 NoData
50 cm	zf									
	2Cg	0.0	NoData	4	40	100		1	0	413 NoData
95 cm	zf									
	2Cer	0.0	NoData	2	17	135		1	0	413 NoData
150 cm	mf									
	2Ce	0.0	NoData	1	14	160		1	0	413 NoData

Filter 1: 15-65 cm. Filter 2: 115-215 cm.

Locatie 1-4

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801009 Locatie : NoData Coördinaten : 218047,486756 Hoogte : 7.02 Landgebruik : WN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 4k423 Bew. diepte : 40 cm Eff. worteld. : 40 cm	Grondwater Gt : Vao GHG : 20 cm GLG : 135 cm
Afgeleide gegevens kD : 12066.0 cm ² /d c : 5.0 d ZKrit bij 1 mm/d : 142 cm ZKrit bij 2 mm/d : 122 cm VKrit bij 1 mm/d : 199 mm VKrit bij 2 mm/d : 155 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 0.36 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.02 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 13.05 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.10 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.55 cm/d
Opmerking: 1_4_2		

		OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
0 cm	zf									
	1Ah	10.0	NoData	2	23	130		1	0	693 bijna moerig
25 cm	zf									
	1ACg	1.0	NoData	1	23	130		1	0	413 wat fijn grind
45 cm	zf									
	1Cg	0.0	NoData	1	17	130		1	0	413 NoData
70 cm	zf									
	1Cgc	0.0	NoData	1	17	130		1	0	413 ijzerrijk
135 cm	zf									
	1Cr	0.0	NoData	1	16	130		1	0	413 NoData
220 cm										

Filter 1: 25-75 cm. Filter 2: 100-200 cm.

Locatie 1-5

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801006 Locatie : NoData Coördinaten : 219661,486463 Hoogte : 8.08 Landgebruik : BX	Bodem Bodetype : Geb. code : 5k433 Bew. diepte : 70 cm Eff. worteld. : 70 cm	Grondwater Gt : Vlo GHG : 45 cm GLG : 130 cm
Afgeleide gegevens kD : 9775.3 cm ² /d c : 24.4 d ZKrit bij 1 mm/d : 188 cm ZKrit bij 2 mm/d : 153 cm VKrit bij 1 mm/d : 306 mm VKrit bij 2 mm/d : 222 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 1.69 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.04 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 12.69 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.10 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.75 cm/d
Opmerking: 1_5_1 leemlaag		

			OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
-5 cm	1Lv	mf	40.0	L	1	0	0	1	0	171	NoData
0 cm	1Ah	mf	10.0	NoData	1	24	160	1	0	693	NoData
10 cm	1BCg	mf	3.0	NoData	1	20	160	1	0	413	fijn grind
20 cm	1Cg	mf	0.0	NoData	1	18	160	1	0	413	fijn grind
50 cm	2Cg1	zf	0.0	NoData	5	45	100	1	0	422	roestig
80 cm	2Cg2	zf	0.0	NoData	3	30	120	1	0	412	zeer fijn
110 cm	2Cer	zf	1.0	NoData	1	18	140	1	0	412	wat hout
130 cm	2Cr	mf	1.0	NoData	1	10	170	1	0	413	wat fijn grind, en houtrest
190 cm											

Filter 1: 25-60 cm. Filter 2: 90-190 cm.

Locatie 2-1

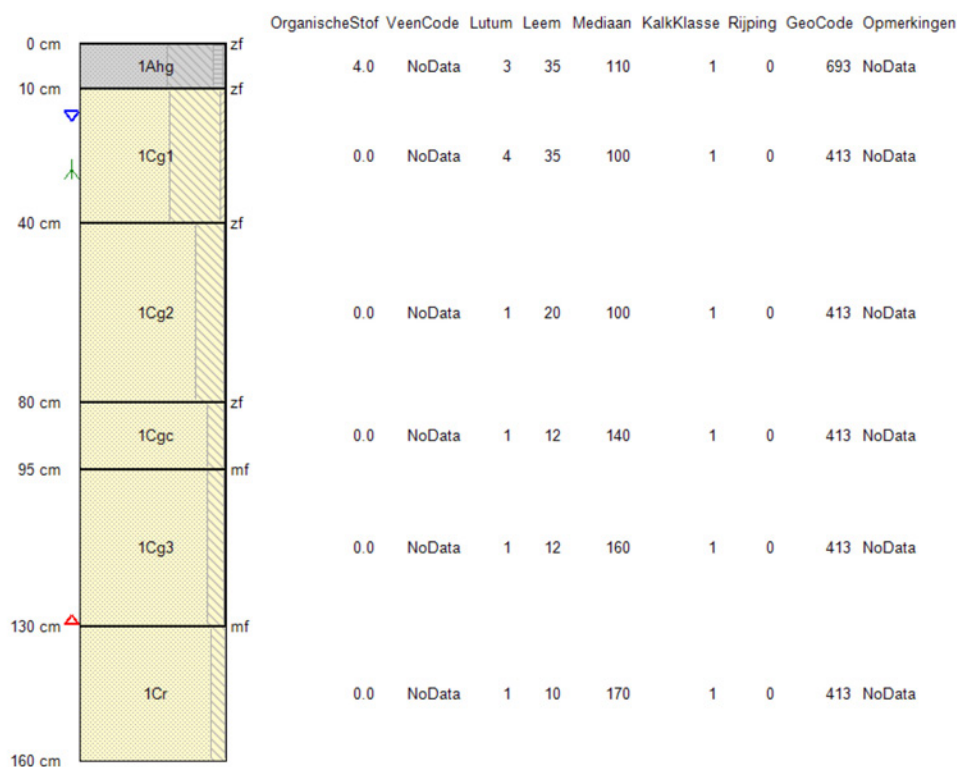
Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801014 Locatie : NoData Coördinaten : 218599,487051 Hoogte : 7.19 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 4i423 Bew. diepte : 40 cm Eff. worteld. : 40 cm	Grondwater Gt : IIIa GHG : 0 cm GLG : 110 cm
Afgeleide gegevens kD : 8489.1 cm ² /d c : 3.0 d ZKrit bij 1 mm/d : 129 cm ZKrit bij 2 mm/d : 108 cm VKrit bij 1 mm/d : 162 mm VKrit bij 2 mm/d : 122 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : -9999.00 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : -9999.00 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 8.07 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.08 -	Qmax QMaxGHG : -9999.00 cm/d QMaxGLG : 0.75 cm/d
Opmerking: 2_1_2		

		OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
0 cm	1Ahg/	zf	6.0	NoData	1	20	145	1	0	413 wat grindjes
10 cm	1Cg/	zf	1.0	NoData	1	20	145	1	0	413 NoData
10 cm	1BCg	zf	1.0	NoData	1	20	145	1	0	413 NoData
25 cm	1Cg1	mf	0.0	NoData	1	16	160	1	0	413 wat roest
40 cm	1Cgc	mf	0.0	NoData	1	20	160	1	0	413 veel roest
55 cm	1Cg2	mf	0.0	NoData	1	8	200	1	0	413 veel grindjes
65 cm	1Cu	zf	0.0	NoData	1	20	130	1	0	413 fijn
80 cm	1Cg3	mf	0.0	NoData	1	12	165	1	0	413 wat grind
110 cm	1Cr	mf	0.0	NoData	1	12	165	1	0	413 NoData
140 cm										

Filter 1: 15-65 cm. Filter 2: 40-140 cm

Locatie 2-2

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801010 Locatie : NoData Coördinaten : 218360,486405 Hoogte : 7.64 Landgebruik : WN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 5h424 Bew. diepte : 30 cm Eff. worteld. : 30 cm	Grondwater Gt : Vao GHG : 15 cm GLG : 130 cm
Afgeleide gegevens kD : 9119.5 cm ² /d c : 2.9 d ZKrit bij 1 mm/d : 178 cm ZKrit bij 2 mm/d : 150 cm VKrit bij 1 mm/d : 284 mm VKrit bij 2 mm/d : 217 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 0.27 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.02 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 12.25 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.09 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.54 cm/d
Opmerking: 2_2_1		



Filter 1: 55-155 cm.

Locatie 2-3

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801007 Locatie : NoData Coördinaten : 219577,486555 Hoogte : 8.12 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 2r433 Bew. diepte : 50 cm Eff. worteld. : 50 cm	Grondwater Gt : Vlo GHG : 50 cm GLG : 150 cm
Afgeleide gegevens kD : 9842.4 cm ² /d c : 5.0 d ZKrit bij 1 mm/d : 142 cm ZKrit bij 2 mm/d : 121 cm VKrit bij 1 mm/d : 174 mm VKrit bij 2 mm/d : 137 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 1.92 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.04 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 16.23 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.11 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.43 cm/d
Opmerking: 2_3_2 roest en leemlaag		

			OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
-5 cm	1Ln	mf	30.0	L	1	0	0	1	0	172	NoData
0 cm	1Ah	mf	10.0	NoData	2	22	160	1	0	693	NoData
15 cm	1ACg	mf	0.0	NoData	1	20	160	1	0	413	NoData
35 cm	1BCg	mf	1.0	NoData	1	20	160	1	0	413	NoData
50 cm	1Cg1	mf	0.0	NoData	1	14	160	1	0	413	veel roest
70 cm	1Cg2	mf	0.0	NoData	1	12	170	1	0	413	wat fijn grind
85 cm	2Cg	zf	0.0	NoData	4	35	110	1	0	422	wat roestig
120 cm	3Cg	mf	0.0	NoData	2	20	155	1	0	412	NoData
150 cm	3Cr	mf	1.0	NoData	1	10	170	1	0	413	wat org stof
195 cm											

Filter 1: 10-55 cm. Filter 2: 35-85 cm. Filter 3: 95-195 cm.

Locatie 2-4

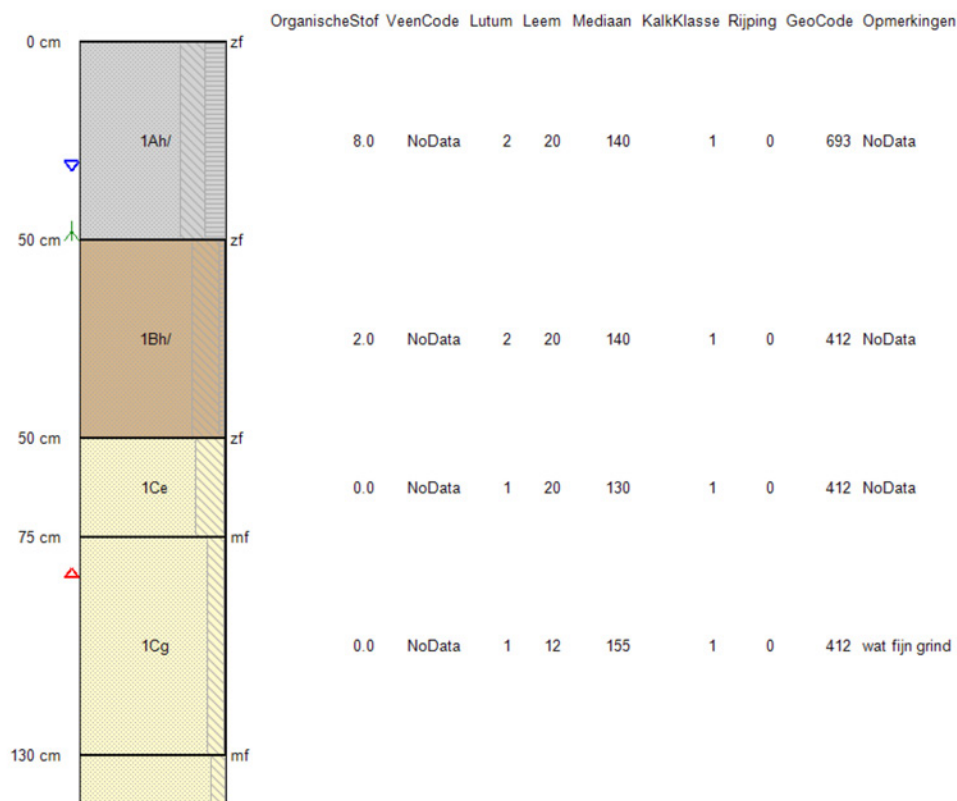
Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801012 Locatie : NoData Coördinaten : 218919,486211 Hoogte : 8.07 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 2r433 Bew. diepte : 50 cm Eff. worteld. : 50 cm	Grondwater Gt : Vao GHG : 20 cm GLG : 130 cm
Afgeleide gegevens kD : 7104.2 cm ² /d c : 3.6 d ZKrit bij 1 mm/d : 197 cm ZKrit bij 2 mm/d : 156 cm VKrit bij 1 mm/d : 330 mm VKrit bij 2 mm/d : 227 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 0.36 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.02 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 12.18 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.09 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.75 cm/d
Opmerking: 2_4_1		

		OrganischeStof	VeenCode	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	Rijping	GeoCode	Opmerkingen
0 cm	mf									
	1Ahg	10.0	NoData	1	20	160		1	0	693 wat grindjes
20 cm	mf									
	1BCg	1.0	NoData	1	20	160		1	0	693 NoData
40 cm	mf									
	1Cgc	0.0	NoData	1	14	170		1	0	413 ijzerrijk
50 cm	zf									
	2Cg1	0.0	NoData	4	35	120		1	0	413 NoData
75 cm	zf									
	2Cg2	0.0	NoData	1	20	145		1	0	413 gelaagd
130 cm	mf									
	2Cr	0.0	NoData	1	14	160		1	0	413 NoData
150 cm										

Filter 1: 5-55 cm. Filter 2: 24-124 cm.

Locatie 2-5

Algemeen Gebied : 8228 Profielid : 822801011 Locatie : NoData Coördinaten : 218705,486418 Hoogte : 7.91 Landgebruik : BN	Bodem Bodemtype : Geb. code : 2r423/F Bew. diepte : 50 cm Eff. worteld. : 50 cm	Grondwater Gt : Vbo GHG : 30 cm GLG : 135 cm
Afgeleide gegevens kD : 11123.1 cm ² /d c : 5.8 d ZKrit bij 1 mm/d : 179 cm ZKrit bij 2 mm/d : 138 cm VKrit bij 1 mm/d : 271 mm VKrit bij 2 mm/d : 177 mm	Berging Brg.vol.GHG bij -0.29 cm/d : 0.72 cm Brg.cof.GHG bij -0.29 cm/d : 0.02 - Brg.vol.GLG bij 0.04 cm/d : 12.00 cm Brg.cof.GLG bij 0.04 cm/d : 0.09 -	Qmax QMaxGHG : 0.75 cm/d QMaxGLG : 0.59 cm/d
Opmerking: vlakbij met leem dichtgemaakte sloot; 2_5_1		



Filter 1: 15-65 cm. Filter 2: 75-175 cm.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2867
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2867
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

