



Verkennd onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Noordbergum (fase 1)

H.R.J. Vroon en E. Kiestra



ALTERRA
WAGENINGEN **UR**

Verkenkend onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Noordbergum (fase 1)

H.R.J. Vroon en E. Kiestra

Alterra Wageningen UR
Wageningen, september 2013

Alterra-rapport 2468
ISSN 1566-7197

In opdracht van de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht heeft Alterra in januari 2012 t/m maart 2013 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs twee raaien in het waterwingebied Noordbergum (fase 1). Als gevolg van grondwateronttrekking door het pompstation Jhr. E.C. Storm van 's Gravesande (Noordbergum) van het waterleidingbedrijf Vitens is in deze omgeving een verlaging van de grondwaterstand opgetreden. Volgens een deel van de agrariërs in het onderzoeksgebied wordt schade ondervonden aan hun gewassen door een verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van deze winning. De ACSG onderzoekt op verzoek van Gedeputeerde Staten (GS) van Friesland de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand. Het doel van dit onderzoek is dan ook het puntsgewijs, langs twee raaien, verzamelen van relevante informatie over de bodemgesteldheid en de huidige freatische grondwaterstand. Ook zijn de nu in het waterwingebied aanwezige grondwaterstandsbuizen geselecteerd en vervolgens beoordeeld om de GXG-schattingen van het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) te kunnen onderbouwen. Uit het onderzoek is gebleken dat de gemeten grondwaterstanden in stambuizen met filters die zijn geplaatst onder de keileem de freatische grondwaterstand meestal niet overeenkomen met de werkelijke freatische grondwaterstand. Voor drie stambuizen blijkt een sterk lineair verband aanwezig te zijn tussen de grondwaterstand onder de keileem en de freatische grondwaterstand (ondiepe filters). Van drie bodemprofielen is o.a. op basis van gemeten standen de $K(\text{sat})$ van het keileempakket berekend (0.2 tot 1.5 cm/dag). De keileem heeft ook grote invloed op de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning vanuit het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand. Deze invloed is niet overal gelijk. De resultaten van fase 1 dienen als belangrijke hulpinformatie bij het nog uit te voeren gebiedsdekkend bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). Verder wordt aan de hand van het eventueel optreden van stijghoogteverschillen of schijnspiegels in de ondiepe ondergrond in perioden met een neerslagoverschot bepaalt of de in het gebied aanwezige weerstandbiedende lagen (veelal keileem) al dan niet doorlatend zijn. Dit betekent dat o.a. aan de hand van deze informatie de ACSG uitspraken kan doen over de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand vanuit het pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand (GHG en GLG). De resultaten staan beschreven in het onderhavige rapport en enkele digitale bestanden.

Trefwoorden: grondwaterstandsverlaging, gewasschade, grondwateronttrekking, keileem, grondwaterstandsmetingen, bodemkartering, grondwatertrappen, vlakkenkaart, weerstandbiedende lagen, stijghoogteverschillen, schijnspiegels.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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.

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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergronden van het onderzoek	9
	1.2 Doel van het onderzoek	10
	1.3 Werkwijze	10
2	Fysiografie	12
	2.1 Ligging en huidig bodemgebruik	12
	2.2 Bodemkundig-landschappelijke beschrijving van het gebied	12
3	Methode	15
	3.1 Bodemgeografisch onderzoek	15
	3.1.1 Bodemkundige gegevens	15
	3.1.2 Hydrologische gegevens	16
	3.1.3 Huidige hydrologische situatie	17
	3.2 Verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens	18
	3.2.1 Bodemkundige en bodemfysische gegevens	19
	3.2.2 Berekening van de GVG	20
	3.2.3 Peilbuisgegevens en doorlatendheid	20
	3.3 Dwarsdoorsneden	20
4	Resultaten	23
	4.1 Bodem en grondwatertrappen	23
	4.2 Rekengegevens: resultaten van de verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens	23
	4.2.1 Bodemfysische gegevens	23
	4.2.2 Hydrologische gegevens van de stambuizen	24
	4.2.3 Hydrologische gegevens van de peilbuizen (A-A1-x en B-B1-x buizen) langs de raaien	39
	4.3 Dwarsdoorsneden	47
	4.3.1 Gemeten grondwaterstanden langs raai A-A1	48
	4.3.2 Gemeten grondwaterstanden langs raai B-B1	50
	Literatuur	54
	Bijlage 1 Reken- en raadpleeggegevens	56
	Bijlage 2 Algemene gegevens van de stambuizen en de door Alterra bijgeplaatste peilbuizen	57
	Bijlage 3 Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen	59

Woord vooraf

In opdracht van de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht heeft Alterra in de maanden januari 2012 t/m maart 2013 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs twee raaien in het waterwingebied Noordbergum (fase 1).

Het onderzoek omvatte het puntsgewijs vastleggen van de bodemgesteldheid en de huidige hydrologische situatie. De resultaten van dit onderzoek worden door de ACSG onder meer gebruikt voor het vaststellen van de grootte en de omvang van de verlaging van de grondwaterstand door het pompstation.

Het onderzoek is uitgevoerd door ing. H.R.J. Vroon en ing. E. Kiestra en de grondwaterstandsmetingen in de grondwaterstandsbuizen zijn voornamelijk uitgevoerd door firma De Boer uit Veenwouden.

De organisatorische leiding van het project had dr. J.P. Okx.

De dank van Alterra gaat uit naar de grondeigenaren en de -gebruikers, die toestemming verleenden om veldwerk op hun percelen te verrichten.

Samenvatting

In opdracht van de ACSG te Utrecht heeft Alterra in de maanden januari 2012 t/m maart 2013 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs twee raaien in het waterwingebied Noordbergum (fase 1).

Volgens agrariërs in het onderzoeksgebied wordt schade ondervonden aan hun gewassen door een verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van deze winning. De ACSG onderzoekt op verzoek van Gedeputeerde Staten (GS) van Friesland de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand. Voor het onderzoek heeft de ACSG ondermeer gebiedsdekkende informatie nodig over de bodemopbouw en de hydrologische situatie. Deze informatie, die nodig is voor de uiteindelijke landbouwschadeberekeningen, is vooralsnog onvoldoende aanwezig.

Als gevolg van het veelvuldig voorkomen van weerstandbiedende lagen in het 'ondiepe' bodemprofiel, kan er een discrepantie zijn tussen de freatische grondwaterstand in het veld en de in de peilbuis gemeten 'freatische' grondwaterstand. De ACSG vindt onderzoek hiernaar wenselijk. De ACSG heeft aan Alterra gevraagd om eerst een verkennend onderzoek te doen naar de freatische grondwaterstand aan de hand van gemeten grondwaterstanden in negen bestaande en in vijftien nieuw geplaatste grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Noordbergum.

De resultaten van het onderzoek is belangrijke hulpinformatie bij het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). Verder wordt aan de hand van het eventueel optreden van stijghoogteverschillen of schijnspiegels in de ondiepe ondergrond in perioden met een neerslagoverschot bepaalt of de in het gebied aanwezige weerstandbiedende lagen (veelal keileem) in meer of minder mate doorlatend zijn. Dit betekent dat o.a. aan de hand van deze informatie de ACSG uitspraken kan doen over de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand vanuit het pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand (GHG en GLG).

In en nabij het onderzoeksgebied liggen een groot aantal (132) grondwaterstandsbuizen waarin regelmatig een grondwaterstand wordt of werd gemeten. Voor het gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek en het onderhavige verkennende onderzoek naar de freatische grondwaterstand zijn niet alle grondwaterstandsbuizen bruikbaar. Eerst is beoordeeld of de buizen geschikt zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand in het onderhavige gebied. Daarbij is gekeken naar de filterdiepte: buizen met een filters dieper dan 5 à 6 meter zijn buiten beschouwing gelaten. Ook buizen met een meetreeks van minder dan acht jaar vallen af. Bovendien moet de meetreeks continue zijn, dat wil zeggen dat er niet te veel hiaten in de meetreeks mogen zitten. Vervolgens zijn de geselecteerde buizen in de streek bezocht en beoordeeld op ligging en verdeling. Op de locaties van negen geselecteerde grondwaterstandsbuizen is met een Edelmanboor een grondboring verricht om het bodemprofiel te beschrijven. Als er één of meerdere weerstandbiedende lagen boven de filterstelling voorkomen, dan is/zijn naast deze buis één of meerdere buizen geplaatst waarvan de diepte van de filterstelling is afgestemd op deze la(a)g(en). De informatie van de definitief geselecteerde buizen (stambuizen) worden ondermeer gebruikt om de schattingen van GXG te onderbouwen in het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2).

Het doel van dit verkennende onderzoek is verder het op vijftien locaties (onderlinge afstand van ca. 500 m.) langs twee raaien (afb. 7, A-A1 en B-B1), verzamelen van relevante informatie over de bodemgesteldheid en de huidige freatische grondwaterstand in het waterwingebied. De ligging van de raaien is door de ACSG in nauw overleg met Alterra vastgesteld. Per boorlocatie is met een Edelmanboor informatie verzameld over de profielopbouw door de gronden tot net onder het GLG-niveau (indien mogelijk of anders tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 4.5 m -mv. te beschrijven. Van elke horizont is de dikte, de aard van het materiaal, het organische stofgehalte en de textuur geschat. Verder is per boorpunt het huidige grondwaterstandsverloop (GHG en GLG) geschat op basis

van hydromorfe kenmerken, vegetatie, locale ont- en afwateringssituatie en de in boorgaten en in stambuizen gemeten grondwaterstanden.

Deze informatie is vervolgens per punt vertaald naar een TCGB-code en de GHG, GVG en GLG. Op deze locaties zijn één of meerdere peilbuizen geplaatst met een filterstelling die is afgestemd op de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatisch grondwater. In deze buizen is gedurende ca. één jaar twee keer per maand (rond de 14^e en de 28^e) de grondwaterstand met een peilklokje gemeten. Het meten van de grondwaterstanden in de peilbuizen is grotendeels door firma De Boer uit Veenwouden uitgevoerd.

Verder zijn van iedere raai op twee momenten (een relatief droog (28-05-2012) en een relatief nat moment (12-01-2013)) in het opname jaar dwarsdoorsneden gemaakt, waarin per boorlocatie, de maaiveldhoogte (cm t.o.v. NAP) en de (freatische) grondwaterstand (cm t.o.v. NAP) is weergegeven. De maaiveldhoogte is afgeleid uit het Actuele Hoogtebestand van Nederland (AHN, vijf meter grid). De profielopbouw van de bodem is van iedere boring in de vorm van een bodemkundig/bodemfysisch geschematiseerde doorsnede in een aparte tabel weergegeven.

Uit dit onderzoek is gebleken dat in het gebied veel weerstandbiedende lagen in de vorm van keileem binnen boorbereik voorkomen, die in meer of mindere mate invloed hebben op de hoogte en de fluctuatie van de freatische grondwaterstand. Op de meeste locaties zijn namelijk minder of meer langdurig stijghoogteverschillen gemeten tussen de gemeten grondwaterstanden in filters die geplaatst zijn in het pakket onder de keileem en de gemeten grondwaterstanden in filters die net boven of op de keileem zijn geplaatst. Bij een drietal bodemprofielen is ook een indicatie gegeven over de verticale verzadigde doorlatendheid van het keileempakket op basis van gemeten stijghoogteverschillen, dikte van het keileempakket en de wegzijgingsflux onder ca. GHG-omstandigheden. Uit de resultaten blijkt, dat de verticale verzadigde doorlatendheid van de drie keileempakketten varieert van ca. 0.2 tot 1.5 cm/dag.

Verder blijkt ook dat de gemeten grondwaterstand in alle stambuizen geen goede afspiegeling zijn van de freatische grondwaterstand. Dit betekent ook dat de berekende GHG's en GLG's (uitgezonderd één stambuis) van de stambuizen niet direct kunnen worden gebruikt voor het onderbouwen van de schattingen van de GHG en GLG in het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). Op basis van stambuisregressie van de gemeten grondwaterstand in de filters die zijn geplaatst onder de keileem (lange meetreeks van ca. negen jaar) met de gemeten grondwaterstanden in de bijbehorende filters die geplaatst zijn net boven of op de keileem (korte meetreeks van tenminste een hydrologisch jaar) is gekeken of er een verband bestaat tussen beide filters. Uit de resultaten blijkt dat er bij drie stambuizen een sterk lineair verband aanwezig is tussen de grondwaterstand onder de keileem en de freatische grondwaterstand. Deze lineaire functies zijn uiteindelijk gebruikt voor het schatten van de freatische GXG op de drie stambuislocaties.

Uit de dwarsdoorsneden blijkt, dat door de aanwezigheid van de keileem in het doorstroomde profiel, de invloed van de grondwaterwinning tijdens het natte meetmoment (rond het GHG-moment) minder is dan tijdens het relatief droge meetmoment (aantal decimeters boven het GLG-niveau). Dit komt, omdat de freatische grondwaterstand op sommige locaties door de keileemlaag is gezakt (weinig weerstand). Verder is tijdens dit opnamemoment de verticale weerstand in het doorstroomde profiel aanzienlijk kleiner dan op het relatief natte meetmoment, waardoor de reducerende werking van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning vanuit het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand beperkt is. In raai B-B1 zijn visueel twee 'verlagingskegels' waar te nemen. De grootste verlaging vinden we in de nabijheid van het puttenveld in het Ritskebos. Omdat de verticale weerstand van het doorstroomde bodemprofiel door de aanwezigheid van deze lagen tijdens het GHG-moment aanzienlijk groter is dan tijdens het GLG-moment moet men bij een eventuele toekenning van een bepaalde verlaging van de grondwaterstand rekening houden met het feit dat de GHG op de meeste locaties minder is verlaagd dan de GLG.

De resultaten van het onderzoek zijn tenslotte vastgelegd in dit rapport.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden van het onderzoek

Het waterleidingbedrijf Vitens onttrekt in het gebied rondom Noordbergum (afb. 1, 2 en 13) grondwater voor de drinkwatervoorziening. Volgens een groot aantal agrariërs wordt schade ondervonden aan hun gewassen door een verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van deze winning. De ACSG onderzoekt op verzoek van GS van Friesland de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand. Voor het onderzoek heeft de commissie ondermeer gebiedsdekkende informatie nodig over de bodemopbouw en de hydrologische situatie. Deze informatie, die nodig is voor de uiteindelijke landbouwschadeberekeningen, ontbreekt grotendeels.



Afbeelding 1 en 2 *Pompstation Jhr. E.C. Storm van 's Gravesande (afbeelding links, ten zuidwesten van Noordbergum) en het puttenveld in het Ritskebos (afbeelding rechts, ten zuiden van Noordbergum).*

Door het veelvuldig voorkomen van weerstandbiedende lagen (o.a. keileem-, lössleem-, verkitte B- en venige lagen) in het 'ondiepe' bodemprofiel (Dodewaard E. van en G. Rutten, 1974, Kleijer et al., 1977, Van Holst et al., 1978 en Stoffelsen, G.H. en A.F. van Holst, 1981), kan er een discrepantie zijn tussen de freatische grondwaterstand in het veld en de in de peilbuis gemeten 'freatische' grondwaterstand. Voorts is er, als gevolg van het veelvuldig voorkomen van weerstandbiedende lagen in het 'ondiepe' bodemprofiel, ook onvoldoende duidelijkheid over het verloop van de freatische grondwaterstand in het waterwingebied. De ACSG vindt onderzoek hiernaar wenselijk. Daarom heeft de ACSG aan Alterra gevraagd om eerst een verkennend onderzoek te doen naar de freatische grondwaterstand aan de hand van gemeten grondwaterstanden in bestaande en nieuw te plaatsen grondwaterstands-buizen in het waterwingebied Noordbergum.

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de bodemkundig-hydrologische toestand in het gebied Noordbergum is het noodzakelijk dat er voldoende en betrouwbare informatie aanwezig is over de huidige freatische grondwaterstand. Het meten van de freatische grondwaterstand blijkt niet eenvoudig. Als er weerstandbiedende lagen aanwezig zijn, dan moet de filterstelling (filterdiepte) afgestemd worden op deze la(a)g(en) in de bodem. Het gebruik van een totaal geperforeerd peilfilter geeft afhankelijk van de situatie een gemiddelde stijghoogte, de diepe stijghoogte of de werkelijke freatische grondwaterstand weer (Van den Akker et al., 2010; Vroon, 2012; Ritzema et al., 2012). Dit betekent ook, dat voor elk freatisch meetpunt een boorbeschrijving beschikbaar moet zijn om de kwaliteit en representativiteit zowel in ruimte als in tijd van het meetpunt in te kunnen schatten. Daarnaast is aanvullend onderzoek nodig om een eventuele vertaalslag te kunnen maken tussen de

meetgegevens en de freatische grondwaterstand. Dit betekent dat er gedurende een langere periode in de buizen grondwaterstanden dienen te worden gemeten, om onder andere de invloed van weerstandbiedende lagen op de freatische grondwaterstand te kwantificeren.

Om globaal een indruk te krijgen van het effect van de winning op de freatische grondwaterstand heeft de ACSG aan Alterra gevraagd om op een aantal puntlocaties langs twee vooraf vastgestelde raaien (afb. 3) de bodemgesteldheid en de huidige hydrologische situatie te onderzoeken. Aantal en ligging van de punten zijn door Alterra in nauw overleg met de ACSG vastgesteld.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het onderzoek is het puntsgewijs, langs twee raaien, verzamelen van relevante informatie over de bodemgesteldheid en de huidige freatische grondwaterstand in het gebied Noordbergum in verband met de grondwaterwinning. Daarnaast wordt op basis van een aantal vastgestelde criteria de nu in het waterwingebied aanwezige grondwaterstandsbuizen geselecteerd en vervolgens beoordeeld om de GXG schattingen van het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) beter te kunnen onderbouwen.

De resultaten zijn belangrijke hulpinformatie bij het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). Ze worden ook gebruikt om te bepalen of de in het gebied aanwezige weerstandbiedende lagen (veelal keileem) al dan niet doorlatend zijn aan de hand van het eventueel optreden van stijghoogteverschillen of schijnspiegels in de ondiepe ondergrond in perioden met een neerslagoverschot. Dit betekent dat o.a. aan de hand van deze informatie de ACSG uitspraken kan doen over de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand vanuit het pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand (GHG en GLG).

Onder schijngrondwaterspiegel wordt verstaan: 'de grondwaterspiegel van een grondwaterlichaam gelegen op een slecht doorlatende laag waaronder een onverzadigde zone voorkomt; op nog grotere diepte bevindt zich een volgende grondwaterspiegel die via het grondwater in verbinding kan staan met het grotere (regionale) grondwaterlichaam.'

1.3 Werkwijze

Op vijftien puntlocaties, met een onderlinge afstand van gemiddeld ca. 500 meter langs twee vooraf vastgestelde raaien (afb. 7), heeft Alterra een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd. De ligging van de raaien is door de ACSG in nauw overleg met Alterra vastgesteld.

Voor het vastleggen van de bodemgesteldheid per boorlocatie is met een Edelmanboor informatie verzameld over de profielopbouw van de grond tot net onder het GLG-niveau (indien mogelijk of anders tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 4.5 m-Mv. Van elke horizont is de dikte, de aard van het materiaal, het organische stofgehalte en de textuur geschat. Verder is per boorpunt het huidige grondwaterstandsverloop (GHG en GLG) geschat op basis van hydromorfe kenmerken, vegetatie, lokale ont- en afwateringssituatie en de in boorgaten en in stambuizen gemeten grondwaterstanden. Deze informatie is vervolgens per punt vertaald naar een TCGB-code en de GHG, GVG en GLG. Ook zijn op deze locaties meerdere peilbuizen geplaatst met een filterstelling die is afgestemd op de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatisch grondwater. In deze buizen is gedurende ca. één jaar twee keer per maand (rond de 14^e en de 28^e) de grondwaterstand gemeten. Voor het meten van de grondwaterstand in de geplaatste buizen is gebruik gemaakt van een peilklokje. Het meten van de grondwaterstanden in de peilbuizen is grotendeels door firma De Boer (Veenwouden) uitgevoerd. Alterra heeft alleen de eerste twee metingen zelf verricht om te kijken of de geplaatste buizen goed functioneren en om een medewerker van firma De Boer de locaties van de nieuw geplaatste buizen aan te wijzen. De meetgegevens zijn door firma De Boer eenmaal per maand in een Excel-bestand naar Alterra gemaild.

Van iedere raai zijn op twee momenten (een relatief droog en een relatief nat moment) in de opname periode dwarsdoorsneden gemaakt, waarin per boorlocatie, de maaiveldhoogte (cm t.o.v. NAP) en de (freatische) grondwaterstand (cm t.o.v. NAP) is weergegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van het Actuele Hoogtebestand van Nederland (AHN, vijf meter grid). De profielopbouw van de bodem is van iedere boring in de vorm van een bodemkundig/bodemfysisch geschematiseerde doorsnede in een aparte tabel weergegeven.

Bij de al bestaande grondwaterstandsbuizen zijn in het verleden geen profielbeschrijvingen gemaakt. Dit kan inhouden dat nu ook niet bekend is of deze buizen het verloop van de freatische grondwaterstanden correct weergeven in verband met het veelvuldig voorkomen van weerstandbiedende lagen in het 'ondiepe bodemprofiel'. Om dit probleem te ondervangen is van elke geselecteerde meetlocatie een boorbeschrijving gemaakt in relatie tot de filterstelling.

In het onderzoeksgebied (afb. 7, gebied binnen de rode lijn) of net iets daarbuiten liggen nu ca. 132 grondwaterstandsbuizen waarin regelmatig een grondwaterstand wordt of werd gemeten. Voor het gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek en het onderhavige verkennende onderzoek naar de freatische grondwaterstand zijn niet alle grondwaterstandsbuizen geschikt. Dit betekent dat eerst is onderzocht in welke mate deze buizen relevant zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand. Dit gebeurt op basis van een aantal selectiecriteria. In eerste instantie is er op basis van de diepte van de filterstelling (tot maximaal ca. 5 á 6 m -mv.) en de continuïteit van de meetreeksen (ca. negen jaar tot het voorjaar van 2012) een selectie gemaakt van de buizen die bij het verdere onderzoek betrokken worden. Vervolgens zijn de geselecteerde buizen in het veld bezocht en beoordeeld op ligging en verdeling. Op de locaties van de grondwaterstandsbuizen die op basis van deze selectie zijn overgebleven, is een profielbeschrijving gemaakt. Als er één of meerdere weerstandbiedende lagen boven de filterstelling voorkomen, dan is/zijn naast deze buis één of meerdere buizen geplaatst waarvan de diepte van de filterstelling is afgestemd op deze la(a)g(en). De informatie van de uiteindelijke geselecteerde buizen (stambuizen) worden ondermeer in het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) gebruikt om de schattingen van GXG te onderbouwen.

De resultaten van het onderzoek zijn tenslotte vastgelegd in dit rapport.

2 Fysiografie

2.1 Ligging en huidig bodemgebruik

Het onderzoeksgebied ligt redelijk centraal rondom het dorp Noordbergum en wordt in het westen en zuiden begrensd door respectievelijk de plaatsen Hardegarijp en Bergum in het noorden door Veenwouden (afb. 4 en 7). Het onderzochte gebied komt voor op het blad 6D van de Topografische kaart van Nederland, schaal 1 : 25.000.

Het bodemgebruik van het onderzochte gebied bestaat hoofdzakelijk uit weidebouw (gras en maïs).

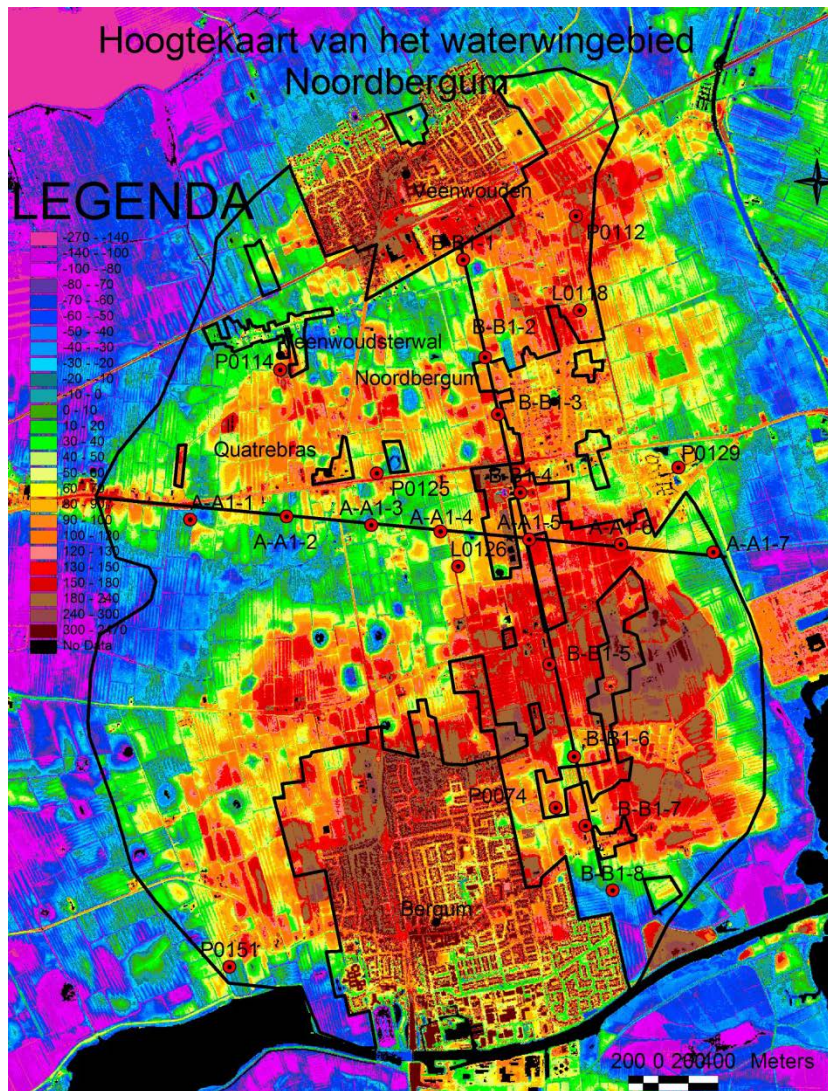
2.2 Bodemkundig-landschappelijke beschrijving van het gebied

In het waterwingebied worden twee landschapsvormen, een zandlandschap (voornamelijk het midden en oostelijk deel van het onderzoeksgebied) en een veenlandschap (westelijk en het uiterst zuidelijke deel van het onderzoeksgebied), onderscheiden, die geleidelijk in elkaar overgaan. Het zandlandschap wordt globaal gevormd door een dekzandrug waarop de plaatsen Bergum en Noordbergum liggen. Dit landschap is kleinschalig (afb. 3) met relatief veel bebouwing, singels en kleine bosopstanden. In dit gebied loopt de dikte van de humushoudende bovengrond bij de zandgronden nogal uiteen; deze hangt nauw samen met de ontginningsgeschiedenis. De oude cultuurgronden komen in het gebied het meeste voor. Deze gronden hebben een humeuze bovengrond, variërend van 30-50 cm tot soms meer dan 50 cm (zuidoosten van Bergum). De dikke cultuurdekken (> 50 cm) zijn meestal op hoogstgelegene terreingedeelten ontstaan door eeuwenlange bemesting met plaggen uit de zgn. potstal. Binnen een groot deel van de zandgronden komt op wisselende diepte keileem voor. Deze laag heeft in het algemeen een stagnerende werking op de waterafvoer, waardoor de gronden plaatselijk nat kunnen worden.



Afbeelding 3 Kleinschalig zandlandschap even ten oosten van Bergum.

Plaatselijk komen steilranden voor die door zandafgraving zijn ontstaan. De hoogteligging varieert van ca. 0 tot 3 m + NAP (afb. 4) (Dodewaard et. al., 1974; AHN, 2012).



Afbeelding 4 Hoogte (klassen in cm t.o.v. NAP) van het onderzoeksgebied.

Het veenlandschap (afb. 5) bestaat vooral uit moerige gronden en in mindere mate uit veengronden. Het is een vrij vlak gebied. De hoogteligging varieert voornamelijk tussen -1 – 0 m + NAP (afb. 4). Ook komt in dit gebied veelvuldig keileem in de ondergrond voor. De moerige gronden hebben veelal een veentussenlaag waarop, vaak door menselijke invloed een zanddek is ontstaan.



Afbeelding 5 *Veenlandschap ten westen van Bergum.*

Verder komen er in het gebied ook dobben (afb. 6) voor, die soms behoorlijk diep kunnen zijn (enkele meters). In de meeste dobben bestaat de bodem uit veen. In sommige gevallen is in of rondom de dobben veen voor turfwinning weggegraven. Sommige dobben zijn aangevuld met zand en/of keileemresten om ze enigszins begaanbaar te maken.



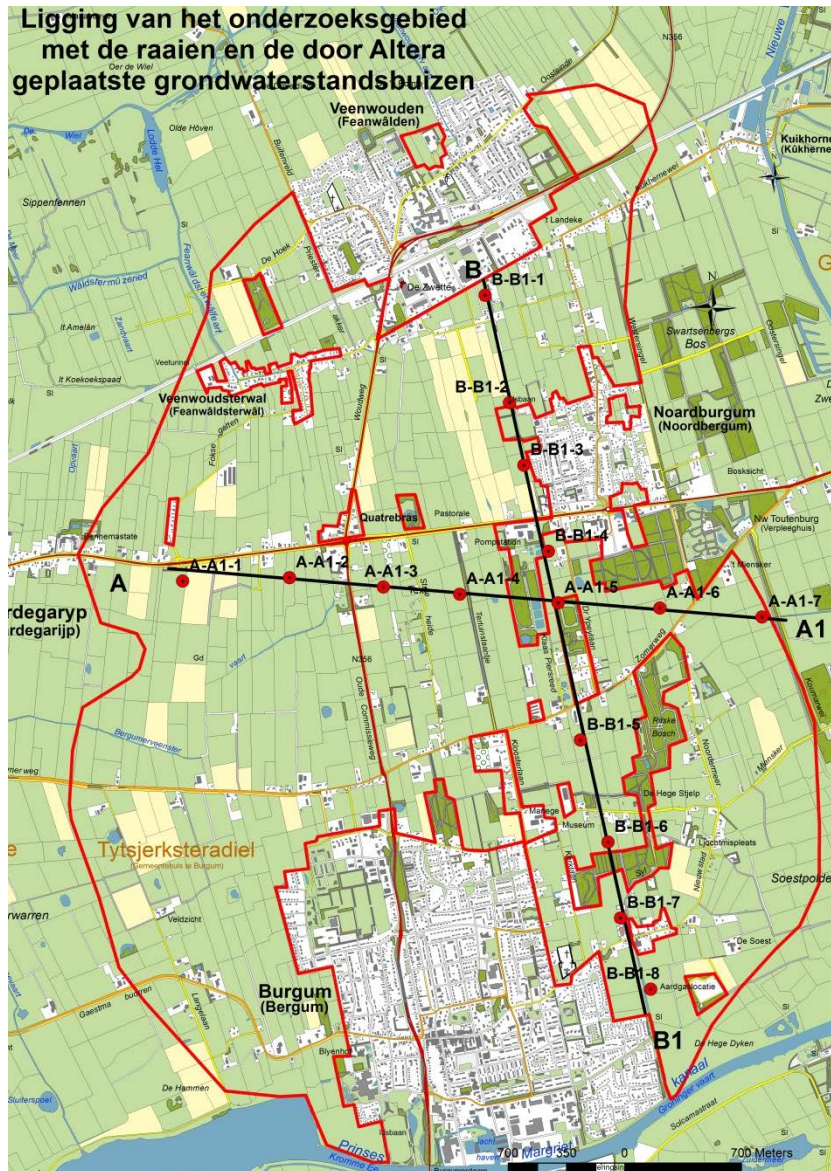
Afbeelding 6 *Dobbe in het zuidwesten van het waterwingebied.*

3 Methode

3.1 Bodemgeografisch onderzoek

3.1.1 Bodemkundige gegevens

In de periode januari 2012 t/m maart 2013 zijn langs twee raaien vijftien grondboringen (afb. 7) verricht en grondwaterstandsbuizen (A-A1-x en B-B1-x buizen) geplaatst tot een diepte net onder het GLG-niveau (indien mogelijk of anders tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 4.50 m -mv.



Afbeelding 7 Ligging van de raaien en de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Noordbergum.

De filterstelling van de grondwaterstandsbuizen is afgestemd op de aanwezigheid van weerstand-biedende lagen in het fluctuatietraject van het freatisch grondwater. Hierdoor komen er op alle locaties twee of drie buizen voor (afb. 8 en 9). De onderlinge afstand tussen de boorlocaties bedraagt gemiddeld ca. 500 m. Verder zijn bij de boorlocaties ook de bodemprofielen beschreven en

geregistreerd met een veldcomputer (Husky Hunter). In de profielbeschrijving is ondermeer vastgelegd:

- De subgroep van de bodemclassificatie (De Bakker en Schelling, 1989) op basis van dikte, aard en opeenvolging van de verschillende horizonten;
- De bewortelbare diepte, effectieve wortelzone (gras) en eventueel ook de verwerkingsdiepte;
- Het organische stofgehalte, het lutumgehalte, het leemgehalte en de mediaan (M50) van de zandfractie van de onderscheiden lagen;
- Geologische informatie, het voorkomen van afwijkende materiaalsoorten, zoals grof zand, moerig materiaal en keileem.



Afbeelding 8 Buislocatie B-B-7 met twee door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen.

Het boorregister is opgeslagen in het archief van Alterra en is in digitale vorm alleen beschikbaar voor de opdrachtgever.

3.1.2 Hydrologische gegevens

De gebruikswaarde van de gronden berust vooral op bodemfactoren, die sterk door de grondwaterstand en fluctuatie worden beïnvloed, bijvoorbeeld het vochtleverend vermogen, de aëratie en de stevigheid van de bovengrond.

De freatische grondwaterstand op een willekeurige plaats varieert in de loop van het jaar en van jaar tot jaar. Verder varieert de fluctuatie van het freatisch grondwater door verschil in grondsoort, profielopbouw, ont- en afwateringstoestand, grondwateronttrekkingen, neerslag en verdamping.

Het jaarlijks wisselende verloop van de freatische grondwaterstand op een willekeurige plaats is te herleiden tot een regiemcurve. De top en het dal van de grondwaterregiemcurve geven het niveau aan tot waar de grondwaterstand gemiddeld in de winter stijgt (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, GHG) en in de zomer daalt (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, GLG) (Stol, 1960; Knibbe en Marsman, 1961; Van Heesen en Westerveld, 1966; Van Heesen, 1971). De GHG en GLG worden berekend door het middelen van respectievelijk de drie hoogst gemeten grondwaterstanden (HG3) en de drie laagst gemeten grondwaterstanden (LG3) in een hydrologisch (1 april t/m 31 maart) jaar. Dit is proefondervindelijk vastgesteld door Knibbe en Marsman (1961) en Van de Sluijs en Van Egmond (1976). Om de GHG en GLG te berekenen worden respectievelijk de HG3 en de LG3 over minimaal acht aaneengesloten hydrologische jaren gemiddeld. Voor het bodemkundig-hydrologisch onderzoek in waterwingebieden wordt de GHG en GLG meestal berekend over een periode van ca. tien jaar (Vroon et al., 2012; Ritzema et al. 2012). Voor dit onderzoek is de GHG en de GLG echter berekend over een aaneengesloten periode van ca. negen jaar tot aan 1 april 2012. Dit is gedaan in verband met een

sterke afname van de grondwaterwinning vanaf 1979 tot 2003. Vanaf 2003 tot heden blijft de grondwaterwinning jaarlijks redelijk constant, waardoor de hydrologie in het onderzoeksgebied door grondwaterwinning vanaf 2003 niet veel meer is gewijzigd. Voor enkele geselecteerde grondwaterstandsbuizen is een periode korter dan negen jaar aangehouden in verband met het ontbreken van grondwaterstanden of door fouten in de meetreeks. De berekende xLG3 en xHG3 (geen GHG's en GLG's) zullen in het fase 2 onderzoek alleen een indicatief karakter hebben. Er wordt bij de berekeningen van de GHG's en GLG's uitgegaan van twee metingen per maand op of omstreeks de 14^e en de 28^e, in buizen van twee tot ca. vijf m lengte met een filterlengte van meestal één meter.

De waarden voor de GHG en de GLG kunnen van plaats tot plaats verschillen. Voor de ruimtelijke interpretatie is een klassenindeling voor de GHG en GLG, de zogenaamde grondwatertrappen ontworpen, deze is betrekkelijk ruim van opzet (Brouwer et al., 1996). Elk van deze grondwatertrappenklassen (Gt-klasse) is door een GHG- en GLG-traject gedefinieerd. De Gt-klassen zijn aangegeven met Romeinse cijfers en een lettertoevoeging (tabel 1).

Tabel 1

Trajectgegevens voor de Gt.

Gt	GHG traject in cm - mv.	GLG traject in cm - mv.
Ia	< 25 cm	< 50
IIa	< 25 cm	50 - 80
IIb	25 - 40	50 - 80
IIc	40 - 80	50 - 80
IIIa	< 25	80 - 120
IIIb	25 - 40	80 - 120
IVu	40 - 80	80 - 120
IVc	80 - 120	80 - 120
Vao	< 25	120 - 180
Vad	< 25	> 180
Vbo	25 - 40	120 - 180
Vbd	25 - 40	> 180
Vlo	40 - 80	120 - 180
Vld	40 - 80	> 180
VIIo	80 - 140	120 - 180
VIIId	80 - 140	> 180
VIIIo	> 140	120 - 180
VIIIId	> 140	> 180

Tijdens het bodemgeografisch onderzoek is het huidige GHG- en GLG-niveau geschat en samen met de Gt-klasse in een profielbeschrijving vastgelegd.

3.1.3 Huidige hydrologische situatie

Voor het vaststellen van de huidige hydrologische situatie wordt de GLG (doorgaans in de nabijheid van de permanent gereduceerde zone, de Cr-horizont) als leidraad genomen. Vanaf dit niveau is het profiel naar beneden toe volledig gereduceerd en heeft het minerale materiaal meestal een (blauw) grijze kleur. De kleurintensiteit op dit niveau is echter sterk afhankelijk van de hoeveelheid en de aard van het ijzer in de grond. Ontijzerde of ijzerarme gronden, zoals humuspodzolgronden, vertonen veel minder duidelijke kleurverschillen dan ijzerhoudende gronden. Het is daarom niet eenvoudig een GLG-niveau in ijzerarme profielen vast te stellen. Dit geldt bij een ongewijzigde hydrologische situatie, maar des te meer bij een wijziging van de grondwaterstand.

De schatting van het GHG-niveau is ook gebaseerd op hydromorfe kenmerken, meestal bestaande uit roestvlekken en kleurintensiteit, in afhankelijkheid van de fluctuatie van het grondwater. Bij de interpretatie van deze kenmerken wordt ook gelet op de textuur van het profiel (dit geldt ook voor de GLG). Bij een bepaalde GHG zullen in sterk of zeer sterk lemige, zeer fijnzandige gronden de hydromorfe kenmerken als gevolg van een dikke, vol capillaire zone hoger in het bodemprofiel voorkomen dan bij zwak lemige of leemarme matig fijnzandige gronden. Dit heeft tot gevolg dat de eerst genoemde gronden, uit het oogpunt van de landbouw (vochtleverend vermogen, draagkracht etc.), natter zijn dan de minder lemige of grofzandige of matig fijnzandige profielen.

Om de geschatte GHG- en GLG-waarden van de buislocaties zo goed mogelijk te onderbouwen zijn door Alterra en door firma De Boer gedurende ca. één jaar, twee maal per maand (14^e en 28^e) de grondwaterstanden gemeten. De standen zijn met betrekking tot het GHG- en GLG-niveau getoetst aan langjarige gegevens (ca. negen jaar) van de geselecteerde grondwaterstandsbuizen (aangeduid als stambuizen).

De selectie van de grondwaterstandsbuizen die worden gebruikt voor dit onderzoek en voor het nog uit te voeren bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) is gebaseerd op basis van ligging, continuïteit en lengte van de meetreeks, profielopbouw en diepte van het filter. Van de geselecteerde buislocaties zijn de bodemprofielen beschreven en geregistreerd met een veldcomputer (Husky Hunter).

3.2 Verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens

Veranderingen van freatische grondwaterstanden kunnen leiden tot een verandering in de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht. Dit kan gevolgen hebben voor de groei van bijvoorbeeld landbouwgewassen. De mate waarin een verandering in de gewasgroei optreedt, hangt ondermeer af van de grondwaterstanden (onbeïnvloede situatie), de grootte van de verlaging, de profielopbouw, het gewas en de weersgesteldheid.

De geïnventariseerde bodemkundige, bodemfysische en hydrologische gegevens kunnen ondermeer worden gebruikt om een eerste indruk te krijgen over mogelijke opbrengstveranderingen van het gewas op de plekken van de boorlocaties.

De opbrengstverandering van o.a. gras door de grondwaterstandsverandering wordt berekend met raadpleegtabellen (in casu de TCGB-tabel). De TCGB-tabel (gebaseerd op berekeningen met het pseudo-stationaire model Must (De Laat, 1972 en 1982) is door de voormalige Technische Commissie Grondwaterbeheer (voorganger van de ACSG) ontwikkeld om de opbrengstdepressie van gras door vochttekort als gevolg van grondwateronttrekking, op een eenvoudige manier snel te kunnen bepalen (Bouwman, 1990). Bij de bepaling van de opbrengstdepressie van bijvoorbeeld gras door vochttekort met de TCGB-tabel gaat men er vanuit, dat de hoeveelheid vocht die de plant opneemt, geleverd wordt door:

- De hoeveelheid opneembaar vocht in de effectieve wortelzone,
- De aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone door neerslag tijdens het groeiseizoen en
- De hoeveelheid vocht die door capillair transport vanuit het grondwater via de onverzadigde ondergrond naar de onderkant van de effectieve wortelzone wordt aangevoerd.

Voor de uiteindelijke berekening van het aantal kg droge stof aan opbrengstvermindering per mm vochttekort voor gras wordt uitgegaan van een door Van Boheemen (1981) gevonden relatie tussen de meeropbrengst per mm vocht en de bruto potentiële productie.

De bodemkundige, bodemfysische en hydrologische gegevens, die in het veld zijn verzameld, zijn niet direct bruikbaar voor berekeningen met de TCGB-tabel. Wij hebben daarom deze gegevens per punt geschematiseerd en vertaald naar een TCGB-code. Enkele bodemfysische parameters die voor de TCGB-tabel noodzakelijk zijn om de opbrengstverandering van gras te kunnen berekenen, zijn door de TCGB ingedeeld in klassen. Deze parameters zijn vocht karakteristieken van de effectieve wortelzone, dikte van de effectieve wortelzone en het ondergrondstype. De klassenindelingen zijn gemaakt om het aantal rekeneenheden te beperken.

De volgende (reken)gegevens zijn per boring in tabelvorm aangegeven (bijlage 1):

- Boornummer
- Raai
- Bodemtype en grondwatertrap (Gt)
- TCGB-aanduiding voor:

- Bovengrond-vochtkarakteristiek
- Dikte effectieve wortelzone
- Ondergrondtype
- Huidige hydrologische situatie, in de vorm van:
 - GHG
 - GVG
 - GLG

In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe deze rekengegevens zijn afgeleid.

3.2.1 Bodemkundige en bodemfysische gegevens

3.2.1.1 Effectieve wortelzone

Voor de effectieve wortelzone zijn aard en dikte van de humushoudende bovengrond bepalend. De effectieve wortelzone wordt gedefinieerd als het gedeelte van de bovengrond, waarin 80% van de wortelmasa aanwezig is (Rijtema, 1971).

Door de grote verscheidenheid in dikten van de effectieve wortelzone heeft de TCGB de dikte van deze zone ingedeeld in zes standardeenheden: 15, 20, 25, 30, 35 en 40 cm. Deze standaarddikten zijn vastgesteld voor weidebouw (Bouwmans, 1990).

3.2.1.2 Vochtkarakteristieken van de effectieve wortelzone

De hoeveelheid opneembaar bodemvocht in de effectieve wortelzone is afhankelijk van de dikte van deze laag en van de hoeveelheid beschikbaar vocht per decimeter grond. De hoeveelheid beschikbaar vocht in de effectieve wortelzone wordt bepaald door gebruik te maken van een schema op basis van een reeks standaardvochtkarakteristieken uit 'Krabbenborg, 1983'. Er is een relatie vastgesteld tussen de aard (afhankelijk van het bodemtype), granulaire samenstelling (textuur) en het organische stofgehalte enerzijds en het percentage vocht bij verschillende vochtspanningen anderzijds. Met deze relatie kan aan de effectieve wortelzone van elk boorpunt een gemiddelde vochtkarakteristiek worden toegekend.

3.2.1.3 Ondergrondtype

Naast het vochthoudend vermogen van de effectieve wortelzone is ook de bijdrage vanuit het grondwater van belang. Bepalend hiervoor is de afstand van de onderkant van de effectieve wortelzone tot het grondwater en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond. Het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt bepaald door de $K(h)$ -relaties van de verschillende lagen in de ondergrond. Voor het bepalen van het capillair geleidingsvermogen wordt uitgegaan van de $K(h)$ -relaties die door Wösten et al. (1987) bepaald zijn voor een aantal ondergrondbouwstenen. Als maat voor het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt de kritieke z -afstand gebruikt. Hieronder verstaat men de maximale afstand tussen het grondwater en de onderkant van de effectieve wortelzone, waarover een bepaalde vochtstroom (flux) nog mogelijk is. Er wordt aangenomen dat een flux van 2 mm/dag als aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone in Nederland meestal toereikend is om een gewas optimaal te laten groeien (Van Soesbergen et al., 1986). Door variatie in diepte, dikte en samenstelling van de bodemlagen bestaat een grote verscheidenheid aan ondergrondtypen. Deze ondergrondtypen kunnen echter voor capillaire eigenschappen en vochtleverantie een grote mate van overeenkomst vertonen. Op grond hiervan heeft de TCGB voor zandgronden een standaardreeks samengesteld van in totaal elf ondergrondtypen.

Bij de toedeling van de ondergronden naar één van de elf standaardondergrondtypen is gebruik gemaakt van het door De Laat (1972) ontwikkelde rekenmodel VPOS. Dit model wordt gebruikt voor het berekenen van de onverzadigde stroming in pseudo-stationaire toestand van gelaagde bodemprofielen. Om de onderscheiden ondergrondtypen in de standaardondergrondtypenreeks te kunnen onderbrengen, hebben we de uitkomsten (VPOS) van de kritieke z -afstanden en de vochtdeficiënten bij een flux van twee mm/dag en één mm/dag in de VPOS-tabellen met elkaar vergeleken. Daarna zijn op basis van onderlinge verwantschap alle ondergrondtypen vertaald naar één van de elf standaardondergrondtypen (Stolp en Vroon, 1990).

3.2.2 Berekening van de GVG

Voor de berekening van de opbrengstdepressie worden de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) ingevoerd. Aangezien productie nauw gerelateerd is aan verdamping door het gewas, is voor gras aangenomen dat de groei begint op het tijdstip dat de verdamping de neerslag overtreft. In Nederland wordt hiervoor 1 april aangehouden (TCGB-tabel) en de gemiddelde grondwaterstand op die datum wordt aangeduid als GVG.

De GVG is voor dit gebied berekend (afgerond op 5 cm nauwkeurig) met de volgende formule: $GVG = 5,4 + 0,83 * GHG + 0,19 * GLG$ (Van der Sluijs, 1982). Als er weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel aanwezig zijn die invloed hebben op de GVG, dan is de GVG (indien relevant) geschat aan de hand van profiel- en veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden tijdens het GVG-moment.

3.2.3 Peilbuisgegevens en doorlatendheid

Op basis van het stijghoogteverschil kan een inschatting worden gemaakt van de weerstand (c-waarde) en doorlatendheid (k-waarde) van de keileem (Van der Gaast et al., 2008). De gegevens die hiervoor noodzakelijk zijn, zijn het verschil in stijghoogte over de weerstandsbiedende laag (keileem) en de waterflux over deze laag (formule 1). Als de weerstand van de weerstandsbiedende laag bekend is kan de doorlatendheid van het materiaal eenvoudigweg worden berekend door de laagdikte te delen door de berekende weerstandswaarde (formule 2).

$$c = \frac{h_s - h_g}{q_v} \quad (1)$$

$$k = \frac{d}{c} \quad (2)$$

Waarin:

- c : Weerstand van de weerstandsbiedende laag (dagen)
- h_s : Stijghoogte onder de weerstandsbiedende laag (m t.o.v. referentieniveau)
- h_g : Stijghoogte boven de weerstandsbiedende laag (m t.o.v. referentieniveau)
- q_v : Verticale flux door de weerstandsbiedende laag (m/dag)
- k : Doorlatendheid van het materiaal (m/dag)
- d : Dikte van de weerstandsbiedende laag (m)

Het stijghoogteverschil kan mits de peilfilters goed zijn gesitueerd worden gemeten. Het is hierbij van belang dat de peilfilters representatief zijn geplaatst in de ruimte, zodat de invloed van waterlopen en verharding minimaal zijn. Naast deze ruimtelijke criteria is het ook van belang dat de peilfilters op de representatieve diepte worden geplaatst. De verticale flux is niet meetbaar en zal op een andere manier moeten worden bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van een methode die ook is toegepast in het bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het kader van de EHS in de westelijke randzone van het Fochteloërveen (Van der Gaast et al., 2008). Op GHG-moment, het moment dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand voorkomt, is er een neergaande verticale flux van gemiddeld ca. 3 mm/d (Van der Gaast et al., 2006). Deze schatting van de flux is gebruikt om op sommige locaties de verticale verzadigde doorlatendheid van een storende laag te bepalen indien voor deze perioden ook het stijghoogteverschil bekend is.

3.3 Dwarsdoorsneden

In het onderzoeksgebied liggen twee raaien (afb. 3, raai A-A1 en B-B1) met respectievelijk een lengte van ca. 3,5 en 4,3 km. Het beginpunt van beide raaien ligt in de nabijheid van de berekende vijf cm verlagingslijn (afb. 7, gebied langs de buitenste rode lijn). Langs elke raai zijn op een afstand van gemiddeld 500 m (variatie van 320 tot 830 m), zeven (raai A-A1) en acht (raai B-B1) grondboringen gedaan en profielbeschrijvingen gemaakt die vervolgens bodemkundig/bodemfysisch zijn

geschematiseerd in respectievelijk zeven en acht profielen. De geschematiseerde profielen hebben we op grond van technische redenen afzonderlijk gepresenteerd in een aparte tabel en niet in combinatie met de dwarsdoorsneden van de maaiveldshoogte en de (freatische) grondwaterstand. De boorlocaties, waar de grondwaterstandsbuizen (raai A-A1 en B-B1) zijn geplaatst, zijn in het veld met een GPS vastgelegd.

Voor het bodemfysisch karakteriseren van de onderscheiden bodemhorizonten in de doorsneden is gebruik gemaakt van de coderingen (tabel 2) uit de Staringreeks (Wösten et al., 1987), aangevuld met relevante hydrologisch informatie die bij het beschrijven van de bodemprofielen in het veld is meegenomen. Naast een bodemkundige/bodemfysische schematisering van de bodemprofielen zijn van iedere raai ook twee dwarsdoorsneden (relatief nat en een droog moment) van de maaiveldshoogte en de grondwaterstand t.o.v. NAP gemaakt.

Tabel 2

Coderingen van de bouwstenen uit de Staringreeks.

Code	Beschrijving
B01	Bovengrond : Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
B02	Bovengrond : Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B03	Bovengrond : Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B04	Bovengrond : Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B05	Bovengrond : Grof zand
B06	Bovengrond : Keileem
B07	Bovengrond : Zeer lichte zavel
B08	Bovengrond : Matig lichte zavel
B09	Bovengrond : Zware zavel
B10	Bovengrond : Lichte klei
B11	Bovengrond : Matig zware klei
B12	Bovengrond : Zeer zware klei
B13	Bovengrond : Zandige leem
B14	Bovengrond : Siltige leem
B15	Bovengrond : Venig zand
B16	Bovengrond : Zandig veen en veen
B17	Bovengrond : Venige klei
B18	Bovengrond : Kleilig veen
O01	Ondergrond : Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
O02	Ondergrond : Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O03	Ondergrond : Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O04	Ondergrond : Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O05	Ondergrond : Grof zand
O06	Ondergrond : Keileem
O07	Ondergrond : Beekleem
O08	Ondergrond : Zeer lichte zavel
O09	Ondergrond : Matig lichte zavel
O10	Ondergrond : Zware zavel
O11	Ondergrond : Lichte klei
O12	Ondergrond : Matig zware klei
O13	Ondergrond : Zeer zware klei
O14	Ondergrond : Zandige leem
O15	Ondergrond : Siltige leem
O16	Ondergrond : Oligotroof veen
O17	Ondergrond : Mesotroof en eutroof veen
O18	Ondergrond : Moerige tussenlaag

Om van iedere raai een dwarsdoorsnede te kunnen maken moeten de boringen bij voorkeur in een rechte lijn genomen worden. Soms is dat niet mogelijk, omdat de buislocatie in de bebouwing ligt. Op deze locaties kan de bodem ernstig verstoord zijn. Hierdoor liggen enkele boringen (buizen) even buiten de raai, zoals de boringen(buizen) A-A1-1. Ook hebben we geen boringen verricht in de buurt van watergangen of greppels, omdat deze invloed kunnen hebben op de freatische grondwaterstand in de grondwaterstandbuizen.



Afbeelding 9 Ligging van buislocatie B-B1-3 (drie filters) even ten westen van Noordbergum.

Voor het maken van een dwarsdoorsnede van de freatische grondwaterstand is het ook van belang dat de grondwaterstanden in de peilbuizen zoveel mogelijk op één moment worden gemeten. Daarom wordt op elke 14^e en 28^e van iedere maand gedurende ca. één jaar van alle geselecteerde stambuizen en door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen de grondwaterstand gemeten.

Voor het maken van de dwarsdoorsneden is een relatief nat en een droog moment tijdens het onderzoek gekozen.

Als er tijdens het boren werd vermoed dat een aangetroffen weerstandbiedende laag mogelijk invloed heeft op de hoogte van de freatische grondwaterstand, dan zijn er twee of meerdere filters geplaatst, waarbij de diepte van één filter reikt tot aan de weerstandbiedende laag (ondiepe buis) en één filter die reikt tot enkele decimeters onder deze laag (diepe buis) en soms bij dikke weerstandbiedende lagen (ca. > 1 m) nog een filter in de weerstandbiedende laag. Het filter van de diepe buis begint net onder de weerstandbiedende laag. Het boorgat rondom deze buizen is vanaf de onderkant van de weerstandbiedende laag opgevuld met bentonietklei (sterk zwellende klei), waardoor randstroming wordt voorkomen. Als er een verschil in grondwaterstand is gemeten dan is de grondwaterstand die is gemeten in het ondiepste filter als freatische grondwaterstand en in het diepste filter als grondwaterstand in de dwarsdoorsnede meegenomen. Hierbij moet over het bovenstaande nog worden opgemerkt dat een gemeten grondwaterstand in een boorgat die reikt tot onder de weerstandbiedende laag een min of meer gemiddelde grondwaterstand aangeeft en in bepaalde situaties de freatische grondwaterstand boven de weerstandbiedende laag en de grondwaterstand onder de weerstandbiedende laag niet goed weergeeft (Vroon, 2008; Vroon, 2012; Van den Akker, 2010).

De informatie over de hoogte van het maaiveld t.o.v. NAP die we hebben gebruikt voor het maken van de dwarsdoorsneden is afkomstig van het AHN (vijf meter grid). Via een GIS-bewerking is een koppeling gemaakt tussen de ligging van de boorlocatie en de ligging van het maaiveld t.o.v. NAP. Op deze manier is vervolgens ook de gemeten grondwaterstand in cm -mv. omgezet naar een grondwaterstand t.o.v. NAP.

Verder hebben we van elke raai een korte beschrijving gegeven over de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatische grondwater die meer of minder invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van de grondwaterstand en de doorwerking van de verlaging vanuit het watervoerende pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand.

4 Resultaten

4.1 Bodem en grondwatertrappen

De resultaten van de onderscheiden bodemtypen en grondwatertrappen in het onderzoeksgebied zijn opgenomen in bijlage 1. Voor een verklaring en beschrijving van de gebruikte coderingen en begrippen wordt verwezen naar het rapport 'Bodemgeografisch onderzoek in landinrichtingsgebieden; bodemvorming, methoden en begrippen' (Brouwer et al., 1996).

4.2 Rekengegevens: resultaten van de verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens

4.2.1 Bodemfysische gegevens

4.2.1.1 Dikte en aard van de effectieve wortelzone

De toedeling van de effectieve wortelzone per boorlocatie naar één van de zes standaarddikten is gebeurd op basis van de bodemeenheid, verwerkingsgraad en het voorkomen van storende lagen. In het gebied zijn de volgende standaarddikten onderscheiden: 25, 30, 35 en 40 cm (bijlage 1).

Op basis van de in paragraaf 3.3.1.2 beschreven relatie, voor het toekennen van een standaardvocht-karakteristiek aan de effectieve wortelzone, zijn in dit gebied drie verschillende standaardvocht-karakteristieken onderscheiden: B, C en D (bijlage 1). De gegevens die bij deze vochtkarakteristieken horen zijn opgenomen in tabel 3.

Tabel 3

Aan de effectieve wortelzone toegekende standaardvochtkarakteristieken met volumefracties vocht bij verschillende pF-waarden.

Nr.	Vochtkarakteristiek DLO-Staring centrum- indeling	TCGB- indeling	Volumefractie vocht (%) bij pF													
			0,0	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,2
5	(V-1-2)	B	48	42	40	39	34	25	20	19	15	12	8	7	6	5
12	(III-1-5)	C	46	43	42	41	37	30	24	22	18	14	11	9	8	7
15	(I-1-2)	D	59	55	54	53	51	45	35	34	30	24	20	17	15	14

4.2.1.2 Ondergrondtypering

De toedeling van de ondergrondopbouw naar één van de elf TCGB-standaardondergrondtypen heeft geresulteerd in de volgende vier verschillende standaardondergrondtypen: O3, O4, O8, en O9 (tabel 4 en bijlage 1). In deze tabel is ook opgenomen uit welke bouwstenen de onderscheiden ondergrondtypen zijn opgebouwd.

Tabel 4

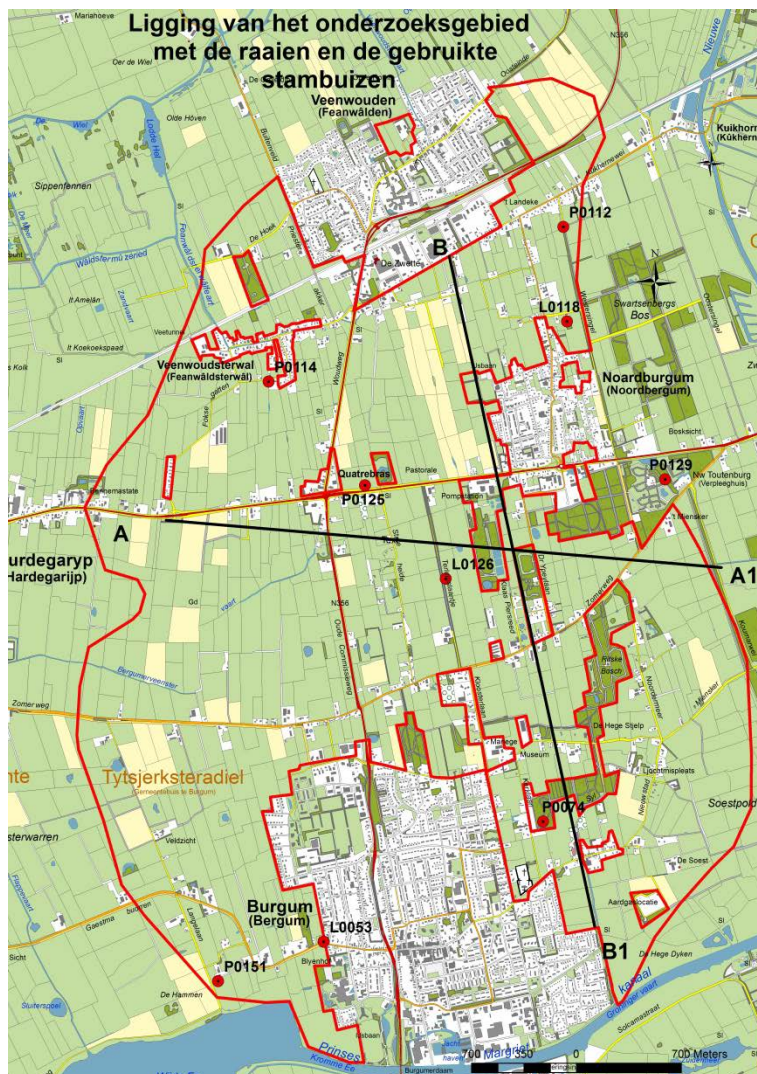
Onderscheiden standaard ondergrondtypen volgens de TCGB-indeling.

Tabel- Profielopbouw van de ondergrond
code

03	Homogeen	leemarm zand; kritieke Z= 90 cm (Staringreeks 01)
04	'	zwak lemig zand; kritieke Z= 110 cm (Staringreeks 02)
08	Leemlaag vanaf 25 cm beneden de effectieve wortelzone en	doorlopend tot 60 cm beneden de effectieve wortelzone
09	Leemlaag vanaf 60 cm beneden de effectieve wortelzone en	doorlopend tot 100 cm beneden de effectieve wortelzone

4.2.2 Hydrologische gegevens van de stambuizen

Op basis van de uitgevoerde selectie op een totaal van 132 grondwaterstandsbuizen blijkt, dat er in het landbouwgebied slechts zeven stambuizen, L0118, P0074, P0112, P0114, P0125, L0126 en P0129 van Vitens en overige instanties (afb. 10 en 11) overblijven met voldoende lange continue meetreeksen (ca. negen jaar), een correcte ligging en niet te diepe filters (begindiepte filter tot maximaal ca. vijf tot zeven m-mv.) om een indruk te krijgen van de huidige hydrologische situatie in het gehele onderzoeksgebied. De grondwaterstandsbuizen P0151 en L0053 (afb. 10) kunnen in verband met te korte meetreeksen niet als stambuis worden gebruikt. Ze hebben in het fase 2 onderzoek alleen een informatief karakter.



Afbeelding 10 Ligging van de geselecteerde grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Noardburgum.

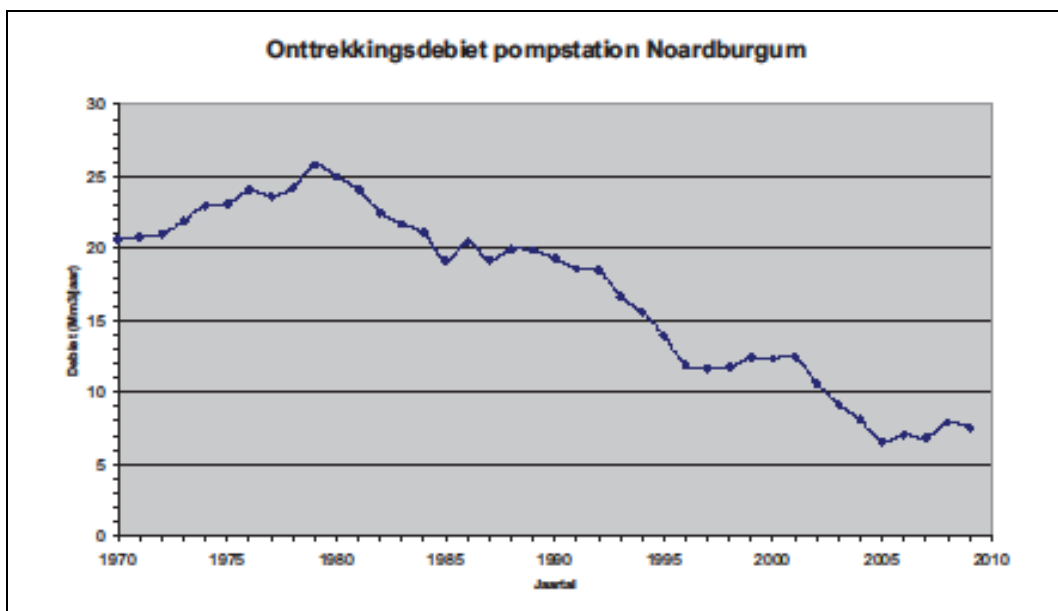
Voor de algemene buisinformatie van deze buizen, zoals ligging, buis- en filterlengte wordt verwezen naar bijlage 2.



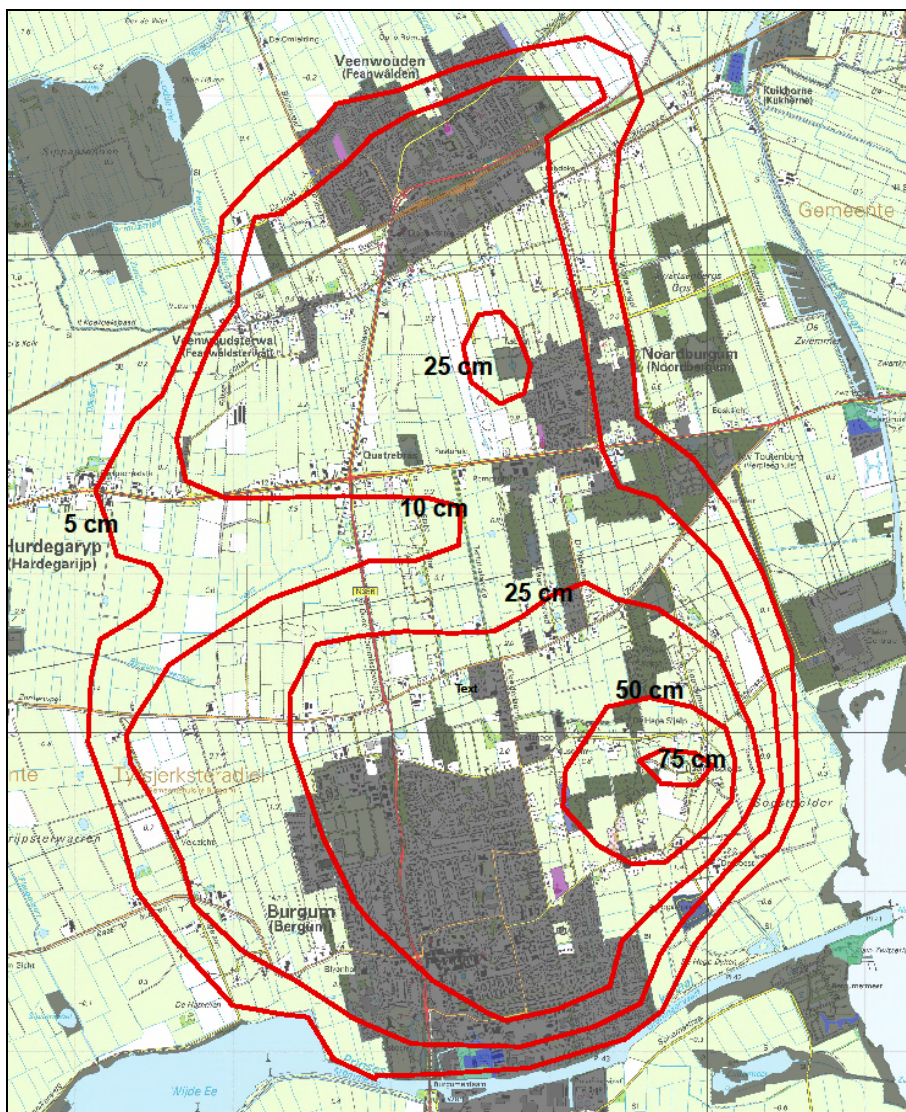
Afbeelding 11 Ligging van een geselecteerde stambuis (P0074).

Helaas liggen de geselecteerde stambuizen niet gelijkmatig over het gehele gebied verdeeld en vertegenwoordigen ze niet alle in het gebied voorkomende Gt-klassen (geen 'natte' Gt's, zoals Gt Ia, IIa, IIIa, IIIb, Va(o,d), Vbd en Vld) en bodems (Dodewaard, E. van en G. Rutten, 1974 en Stoffelsen, G.H. en A.F. van Holst, 1981) die van invloed kunnen zijn op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater. Verder wordt opgemerkt dat de hydrologie in het waterwingebied vanaf 1979 (ca. $26 \cdot 10^6$ m³/jaar) tot 2003 (ca. $8 \cdot 10^6$ m³/jaar) aanzienlijk is gewijzigd door een sterke afname van de winning (afb. 12) als gevolg van problemen met de waterkwaliteit. Vanaf 2003 tot heden blijft de winning jaarlijks redelijk constant (ca. $8 \cdot 10^6$ m³/jaar), waardoor de hydrologie door grondwaterwinning vanaf dat moment niet veel meer zal zijn gewijzigd.

In afb. 13 staan de nieuwe berekende verlagingslijnen bij een winning van $7,5 \cdot 10^6$ m³/jaar. In afb. 10 is te zien dat, behalve buis P0129, alle stambuizen binnen het nieuwe invloedsgebied van het pompstation liggen (gebied binnen de buitenste rode lijn). Door wijzigingen in de grondwaterwinning en het stabiliseren van het hydrologisch systeem als gevolg van deze veranderingen kunnen de gemeten grondwaterstanden in de stambuizen tot 1 april 2003 niet worden gebruikt voor de berekening van de GXG's van de stambuizen die gebruikt zullen worden voor onderbouwing van de GXG-schattingen tijdens het gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). We hebben dan ook de GXG's van de stambuizen berekend vanaf het moment dat de winning jaarlijks redelijk constant is (1 april 2003) t/m 1 april 2012 (ca. negen jaar).



Afbeelding 12 Onttrekkingsgegevens in $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ van het pompstation Jhr. E.C. Storm van 's Gravesande (bron Vitens).



Afbeelding 13 Berekende verlaging van de GLG (cm), in het ondiepe – freatische pakket bij Noardburgum bij een winning van $7,5 \text{ mln m}^3/\text{jaar}$ op de locatie Ritskebos (bron Vitens).

L0126 tZn55x8/F

0 verwerkt B03
35 heterogeen O02
55 keizand O01
80 zandige keileem O06
110
dichte keileem O06
230
premorenaal O02
300
Gt=Vbo
Worteldiepte = 60 cm

L0118 cZn53x9/F

0 homogeen B02
45 verwerkt B02
55 keizand O02
70 keizand O02
85 compact O06
130 keizand O02
190 compact O06
220 premorenaal O02
270
Gt=Vbo, VIo
Worteldiepte = 70 cm

L0053 cHn33x10/F

0 verwerkt B02
60 keizand O02
80 keizand O02
95
dichte keileem O06
335 premorenaal O02
360
Gt=VIId
Worteldiepte = 80 cm

P0074 cHn33x12/F

0 homogeen B02
40 verwerkt B02
60
keizand O02
110 zandige keileem O06
120
135
premorenaal O02
280
Gt=VIId
Worteldiepte = 70 cm

P0114 cHn53/F

0 verwerkt B02
55 humusband O01
85 gelaagd O02
115 keizand O02
140
dichte keileem O06
325 premorenaal O02
350
Gt=VIId, VIId
Worteldiepte = 60 cm

P0112 cHn53w6/H

0 homogeen B02
40 verwerkt B02
55 veraard O18
70 keizand O02
100
150
dichte keil., kalkh. O06
380
Gt=VIo
Worteldiepte = 60 cm

P0151 cHn53x11/F

0 homogeen B02
40 verwerkt B02
45 heterogeen O02
60 O01
105
dichte keileem O06
300 premorenaal O02
320
Gt=Vao, VIId
Worteldiepte = 60 cm

P0129 Hn55x9/F

0 verwerkt B02
85
zandig O02
180 keizand O02
210
dichte keileem O02
280
dichte keil., kalkh. O02
335 premorenaal O02
350
Gt=VIo, VIIo
Worteldiepte = 60 cm

P0125 zEz55x8

0 homogeen B03
50 keizand O02
65 keizand O01
80 dichte keileem O06
120
keizand O01
175 zandige keileem O06
200
dichte keileem O06
300 premorenaal O02
340
Gt=Vbd, VIId
Worteldiepte = 60 cm

Dus bijna alle (stam)buisen staan in profielen met weerstandbiedende lagen. Het materiaal boven de keileem bestaat meestal uit matig tot goed doorlatend matig of zeer fijn zwak lemig en/of leemarm zand. Het materiaal onder de keileem bestaat uit matig tot goed doorlatend, praemorenaal, matig fijn zwak lemig zand. Op buislocatie P0112 hebben we te maken met een zeer dikke laag dichte keileem

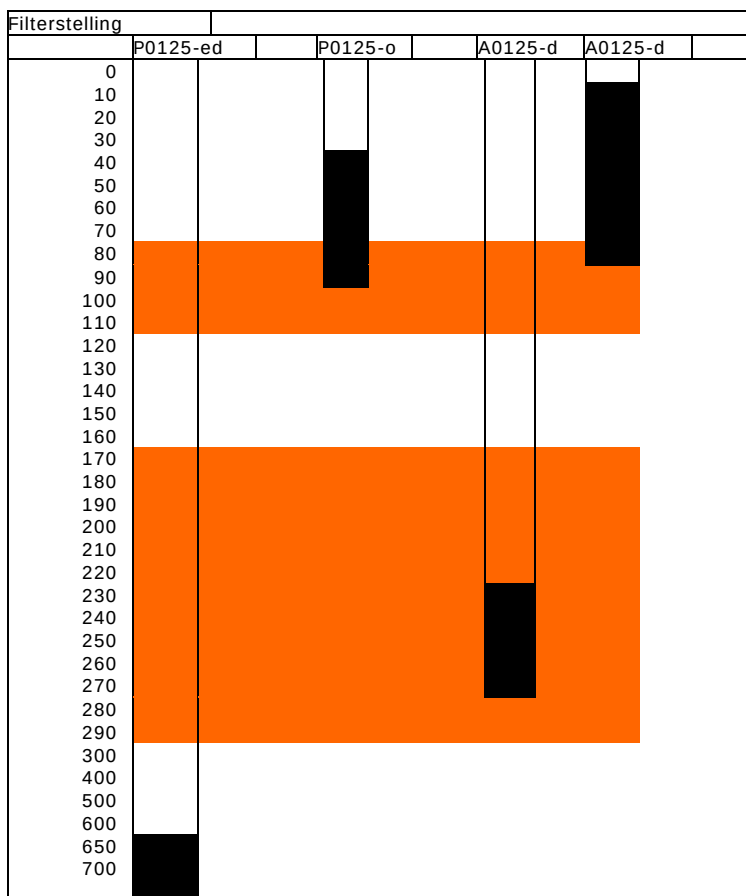
(tenminste 230 cm dik). We hebben op deze locatie het praemorenale zand niet aan kunnen boren. Van acht (stam)buizen met uitzondering van buis P0074, is aannemelijk, dat de gemeten grondwaterstanden in het diepste filter geen goede weergave zijn van de freatische grondwaterstand. Dit wordt veroorzaakt doordat het filter geheel door de weerstandbiedende la(a)g(en) is geplaatst (afb. 14 en bijlage 2). We gaan er hierbij ook van uit dat het filter van buis P0112-d geheel in het praemorenale zand is geplaatst. Om de invloed van de weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel op de grondwaterstand nader te onderzoeken, en om te verifiëren of de gemeten grondwaterstand in de bestaande filters overeenkomen met de gemeten freatische grondwaterstand heeft Alterra op bijna alle buislocaties (uitgezonderd locatie P0074) één of meerdere filters bijgeplaatst. Daarbij is de diepte en positie van het filter gekozen afhankelijk van de weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel. Deze buizen liggen hoogstens tot een halve meter van de (stam)buizen verwijderd. De filterdiepte en -lengte is hierbij afgestemd op de weerstandbiedende la(a)g(en) in de bodem.



Afbeelding 15 Ligging van stambuis P0125-ed (foto links) en buis P0125-o (foto rechts).

In afb. 16 staat als voorbeeld de filterstelling van de grondwaterstandsbuizen P0125-ed, P0125-o (afb. 15) en de twee extra geplaatste peilfilters A0125-d en A0125-o weergegeven. De peilfilters zijn onderling tot maximaal op ca. 50 cm afstand geplaatst. Voor de overige buizensets geldt hetzelfde principe en worden daarom niet nader beschouwd. De resultaten van de metingen van de grondwaterstand in de (stam)buizen en in de bijgeplaatste buizen staan vermeld in bijlage 3, afb. 17 en in tabel 7. In de bovengenoemde afbeelding zijn de filters weergegeven in de vorm van een zwarte kolom.

In het bodemprofiel, een matig fijn, sterk lemige en keerdgrond met keileem in de ondergrond beginnend op 80 cm -mv. aangeduid als zEZ55x8, komen twee keileemlagen voor die in afbeelding 16 met een oranje band zijn weergegeven. De ondergrond onder de ca. 50 cm dikke homogene bovengrond is tot deze bovenste keileemlaag opgebouwd uit goed doorlatend, matig fijn, zwak lemig dekzand en uit goed doorlatend, matig fijn leemarm keizand. De 55 cm dikke laag tussen de twee keileemlagen bestaat uit goed doorlatend matig fijn leemarm keizand en begint op een diepte van 120 cm -mv. Op een diepte van 300 cm-mv. gaat de tweede keileemlaag over in het zwak lemige praemorenale zand. Er dient te worden opgemerkt dat we op deze locatie, in verband met te hoge grondwaterstanden, niet dieper hebben kunnen boren dan ca. 340 cm -mv. Hierdoor hebben we niet kunnen vaststellen of het diepste filter P0125-ed in het praemorenale zand is geplaatst maar we gaan er wel vanuit.

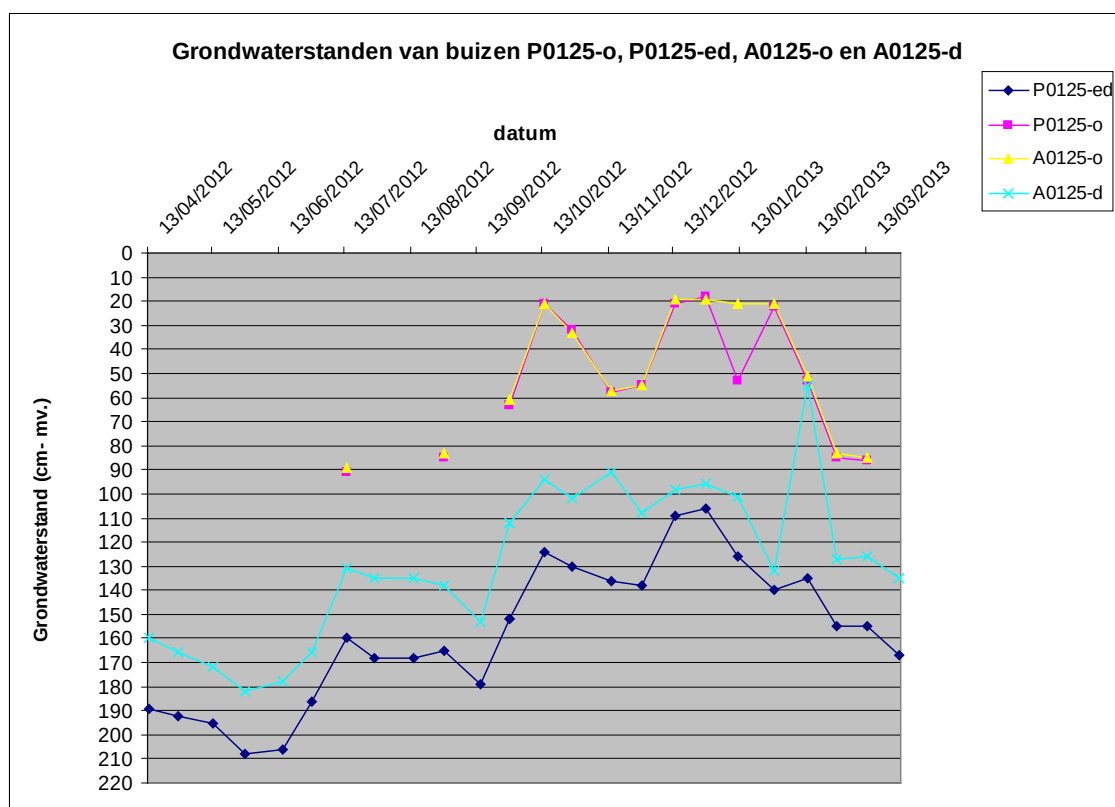


Afbeelding 16 Diepte en lengte van het filter (zwart) van stambuis P0125-ed en buis P0125-o en de extra geplaatste buizen A0125-d en A0125-o en de ligging en dikte van de weerstandbiedende keilemlagen (oranje) in het bodemprofiel.

In afbeelding 17 zijn in een grafiek de meetgegevens van de vier peilfilters weergegeven. Deze locatie heeft in de zomer- en de winterperiode van 2012-2013 een permanent stijghoogteverschil. In de zomerperiode staan de ondiepe peilfilters bovenin de keileem vaak droog. De twee diepere peilfilters geven voor de gehele meetperiode wel een permanent stijghoogteverschil te zien. Het is maar de vraag hoeverre we hier te maken hebben met een schijngrondwaterspiegel. Mogelijk betreft het een situatie met een permanent voorkomend stijghoogteverschil in verzadigde toestand.

In de afbeelding zijn de verschillen in grondwaterstand tussen de twee relatief ondiepe peilbuizen P0125-o en A0125-o gering. De gemeten verschillen in de periode april 2012 t/m maart 2013 kunnen oplopen tot maximaal 2 cm. Op 12 januari is in peilfilter P0125-o een onverklaarbare diepere stand van 32 cm gemeten t.o.v. peilfilter A0125-o. Het diepste peilfilter (P0125-ed) geeft de diepste grondwaterstand. In drogere perioden vallen de ondiepe buizen snel droog, waardoor er geen verschil kan worden gemeten. In de grafiek is dit in de vorm van een onderbroken lijn weergegeven. In de afbeelding is ook te zien dat de stijghoogte boven of in de keileem gedurende de meetperiode altijd hoger is dan de stijghoogte onder de keileem. Door de hogere stijghoogte boven de keileem vindt er permanent wegzijging plaats. In de afbeelding is ook te zien dat het stijghoogteverschil en daarmee de wegzijging niet constant in de tijd is. In de relatief natte winterperiode is de wegzijging groter dan in de zomerperiode.

Het stijghoogteverschil tussen buis P0125-ed en buis A0125-o rond het GHG-moment (28-12-2012) bedraagt 87 cm. Indien wordt uitgegaan van een neerslagoverschot van 2 tot 4 mm/dag bedraagt de weerstand van de keileem 435 tot 217.5 dagen. Dit komt, uitgaande van een keileemdikte van 1.45 meter (buis A0125-o staat 10 cm in de keileem) overeen met een verticale verzadigde doorlatendheid van 0.3 tot 0.7 cm/dag



Afbeelding 17 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in stambuis P0125-ed en buis P0125-o en in de door Alterra geplaatste buizen A0125-o en A0125-d.

Uit afbeelding 17 blijkt ook dat de gemeten verschillen in grondwaterstand tussen de filters soms langdurig voorkomen. Uit een statistische analyse (two sample nonparametric test, de Wilcoxon matched-pairs test) van de gemeten grondwaterstanden in de buizen blijkt (tabel 5), dat de grondwaterstanden in de diepe filters, P0125-ed en A0125-d, significant (tweezijdig bij een overschrijdingskans van 5%) van elkaar verschillen. Deze grondwaterstanden verschillen ook significant van de grondwaterstanden die zijn gemeten in de twee ondiepe filters (P0125-o en A0125-o). De gemeten grondwaterstanden in de ondiepe filters verschillen onderling niet significant van elkaar. Er dient hierbij wel te worden opgemerkt, dat in de buizen P0125-o en A0125-o in de periode januari 2012 t/m maart 2013, van de 27 opnames, respectievelijk slechts 15 (uitbijter van de gemeten grondwaterstand op 12 januari 2013 is buiten beschouwing gelaten) en 16 maal een grondwaterstand is gemeten (bijlage 3). Tijdens de overige opnames stond er geen water in de buizen.

Tabel 5

Resultaten van een statistische analyse tussen de filters op buislocatie P0125.

Buisnr. (aantal waarnemingen)	P0125-ed (n=27)	A0125-d (n=27)	P0125-o (n=15)
A0125-d (n=27)	<0,001		
P0125-o (n=15)	<0,001	<0,001	
A0125-o (n=16)	<0,001	<0,001	0,068

Als we naar de stijghoogte in het praemorenaal zand onder de keileem kijken in buis P0125-ed dan blijkt het peilfilter A0125-d in de keileem het beste te correleren met de peilbuis P0125-ed ($R^2 = 0.81$, tabel 6). Peilfilter P0125-ed heeft ook nog een vrij sterk lineair verband met de peilbuizen boven de keileem (A0125-o en P0125-o). Als de onderlinge correlaties van peilfilters boven de keileem (buizen A0125-o en P0125-d) worden bekeken dan blijken de correlaties hoog te zijn ($R^2 = 0.90$). Er is weinig verband (R^2 ca. 0.13) tussen het peilfilter in de keileem (A0125-d) en de peilbuizen boven de keileem (A0125-o en P0125-o). Er dient hierbij wel te worden opgemerkt dat de relaties tussen de diepe en ondiepe peilfilters alleen gelden voor relatief langdurig nattere perioden (herfst en winter), omdat tijdens droge perioden (voorjaar, zomer) in de ondiepe peilfilters meestal geen freatische grondwater-

stand is gemeten (filters staan droog). Verder zijn deze lineaire relaties alleen geldig op deze locatie en onder de huidige winningsomstandigheden en hoeveelheden, waardoor voorspellingen voor toekomstige situaties onbetrouwbaar kunnen zijn.

Tabel 6

Onderlinge correlaties van peilfilters op buislocatie P0125.

Buisnr. (aantal waarnemingen)	Stijghoogte locatie A0125-d (n=27) (y)	Stijghoogte locatie P0125-o (n=15) (y)	Stijghoogte locatie A0125-o (n=16) (y)
Stijghoogte locatie P0125-ed (n=27) (x)	$Y=1.0079 x - 31$ $R^2 = 0.81$ standaardfout 13.3 cm	$Y=1.329 x - 129.9$ $R^2 = 0.72$ standaardfout 14.0 cm	$Y=1.376 x - 137.4$ $R^2 = 0.73$ standaardfout 14.1 cm
Stijghoogte locatie A0125-d (n=27) (x)		$Y=0.539 x - 3.0$ $R^2 = 0.12$ standaardfout 25.0 cm	$Y=0.569 x - 8.2$ $R^2 = 0.13$ standaardfout 25.4 cm
Stijghoogte locatie P0125-o (n=15) (x)			$Y=0.9912 x - 0.11$ $R^2 = 0.99$ standaardfout 2.49 cm

* $R^2 \cdot 100 =$ % Verklaarde variantie.

Voor het vaststellen van de grootte en omvang van de freatische grondwaterstandsverlagingen door diverse hydrologische ingrepen hebben we ondermeer de absolute waarden van de huidige GXG nodig. De berekende GHG's en GLG's van de stambuizen (voor ligging zie afb. 10) zijn opgenomen in tabel 7. Hierbij wordt opgemerkt dat van sommige buizen de GXG niet is berekend, omdat de meetperiode minder dan acht jaar is, waardoor we de GHG en GLG niet nauwkeurig kunnen schatten. Dit geldt vooral voor de grondwaterstandsbuizen L0053 (meetperiode 7 jaar) en P0151 (meetperiode vijf jaar). We hebben voor deze buizen geen tijdreeksanalyse toegepast om de ontbrekende grondwaterstanden te berekenen, omdat we alleen willen uitgaan van werkelijk gemeten grondwaterstanden. Dit is van belang omdat we een beeld willen krijgen van oorzaken, zoals weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het grondwater, winningsinvloeden, faseverschillen, kwel etc., die meer of minder invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van de grondwaterstand. In tabel 7 staat daarom bij deze buizen geen waarde voor de berekende GHG en GLG vermeld. Op de meeste locaties zijn twee Gt's geschat, omdat er in de peilfilters op deze locaties grote stijghoogteverschillen zijn gemeten.

Tabel 7

Berekende GHG's, GLG's, xHG3's, xLG3's (tot 31 maart 2012) en het gemiddelde van de 3 Hoogste en Laagste 3 grondwaterstanden (periode 1-04-2012-31-03-2013) in cm-mv. van de geselecteerde (stam)buizen en eventueel ondiep bijgeplaatste buizen in het waterwingebied Noordbergum.

Naam	X-coördinaat (m)	Y-coördinaat (m)	Maatveld cm t.o.v. NAP	GHG	GLG	xHG3	xLG3	Gt	Gt (geschat)	HG3 (1-04- 2012 - 31-03- 2013)	LG3 (1-04- 2012 - 31-03- 2013)	OPMERKING
L0053-ed	194728	578646	117	?	?	138	> 232		VIIId	147	221	xHG3 en xLG3 periode 7 jaar, 7LG3 droger
A0053-o	194728	578646	117	?	?				VId	60	Droog	Altterrabuis, LG3 niet berekend
L0118-ed	196353	582752	110	57	147			VIo		62	115	GHG en GLG-periode 9 jaar
A0118-o	196353	582752	110	?	?				Vbo	37	Droog	Altterrabuis, LG3 niet berekend
A0118-d	196353	582752	110	?	?				Vbo	40	111	Altterrabuis
P0074-ed	196193	579442	100	103	215			VIIId		75	181	GHG en GLG-periode 9 jaar
P0074-o	196193	579442	100	?	?				VIIId	74	Droog	LG3 niet berekend
P0112-ed	196328	583378	152	70	143			VIo		78	125	GHG en GLG-periode 9 jaar
P0112-o	196328	583378	152	?	?				Vio	88	Droog	LG3 niet berekend
A0112-d	196328	583378	152	?	?				Vio	89	130	Altterrabuis
P0114-ed	194360	582354	111	146	239			VIIId		137*	209	GHG en GLG-periode 9 jaar, * meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
P0114-d	194360	582354	111	?	?				VId	23*	123	meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
A0114-d	194360	582354	111	?	?				VId	30	127	Altterrabuis
P0125-ed	195003	581667	120	100	231			VIIId		113	203	GHG en GLG-periode 9 jaar
P0125-o	195003	581667	120	?	?				Vbd	20	Droog	LG3 niet berekend
A0125-o	195003	581667	120	?	?				Vbd	20	Droog	Altterrabuis, LG3 niet berekend
A0125-d	195003	581667	120	?	?				VIIId	94	177	Altterrabuis
L0126-ed	195543	581049	78	39	163			Vbo		27*	133	GHG en GLG-periode 8 jaar, * meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
L0126-o	195543	581049	78	?	?				Vbo	25*	>110	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
A0126-d	195543	581049	78	?	?				Vbo	34*	124	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
P0129-ed	197008	581706	92	91	163			VIIo		75	132	
P0129-o	197008	581706	92	?	?				Vio	46	Droog	LG3 niet berekend
A0129-d	197008	581706	92	?	?				Vio	48	137	
P0151-ed	194022	578385	63	?	?	113	197		VId	46*	107	xHG3 en xLG3 periode 5 jaar, * meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
P0151-o	194022	578385	63	?	?				Vao	17*	67	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
A0151-d	194022	578385	63	?	?				Vao	14*	65	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water

Uit de berekende GHG- en GLG-waarden van de geselecteerde grondwaterstandsbuizen in tabel 7 blijkt dat de fluctuatie (GLG-GHG) van het grondwater varieert van ca. 73 cm (P0112) tot 131 cm (P0125). De grootte van de fluctuatie hangt in dit gebied vooral af van de invloed van de grondwaterwinning, de aard, samenstelling en diepte van de weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatische grondwater en de filterstelling van de grondwaterstandsbuizen in relatie tot de weerstandbiedende lagen. Ook speelt de berging van het bodemprofiel een belangrijke rol in de grootte van de fluctuatie.

In tabel 7 staan ook de berekende HG3's en LG3's (periode 1 april 2012 - 31 maart 2013) van de grondwaterstanden in de stambuizen en overige buizen vermeld. De HG3's en LG3's zijn ondermeer van belang, omdat dit de basisgegevens zijn voor de uiteindelijke berekening van de GHG en GLG. Verder zeggen de HG3 en LG3 ook iets over hoe nat of hoe droog een hydrologisch jaar is t.o.v. de GHG en GLG. Ook kunnen de HG3 en LG3 worden gebruikt om de dominante en/of sturende invloed van weerstandbiedende lagen, die voorkomen in het fluctuatietraject van het freatische grondwater, op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand aan te tonen en eventueel te kwantificeren. Dit is van groot belang bij de onderbouwing van de GXG-schattingen in fase 1 en fase 2.

Uit de grondwaterstandsgegevens (bijlage 3 en afb. 23) blijkt, dat de drie hoogste grondwaterstanden (HG3) allen zijn gemeten in de periode 14-10-2012 t/m 29-01-2013. De drie laagste grondwaterstanden (LG3) zijn daarentegen gemeten in de periode 13-05-2012 t/m 14-09-2012. Grote faseverschillen tussen de buizen zijn in dit hydrologisch jaar niet aangetroffen. Uit de metingen blijkt ook, dat de momenten waarop de drie laagste als ook de drie hoogste grondwaterstanden zijn gemeten in het algemeen behoorlijk verspreid in de tijd liggen. Dit komt onder andere door het wisselende weer in het hydrologische jaar, verschil in berging, ligging van de buis (bijvoorbeeld in de nabijheid van bomen), de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel, de werking van de ont- en afwateringsmiddelen en het reliëf, waardoor het niveau van de grondwaterstand op zowel lokaal als ook regionaal niveau aanzienlijk kan verschillen. Uit de metingen blijkt ook dat op sommige locaties de momenten waarop de drie hoogste grondwaterstanden (HG3) zijn gemeten in de diepe buizen (L118-ed, P0125-ed) niet gelijk zijn aan de momenten waarop de drie hoogste standen zijn gemeten in de relatief ondiepe buizen (A118-o en -d, A0125-d). Dit geldt in nog grotere mate voor de LG3. Dit betekent ook dat het moment waarop men een gerichte grondwaterstandsopname voor zowel de GHG als ook voor de GLG gaat uitvoeren (fase 2), men zich vooral dient te richten op de standen die zijn gemeten in de relatief ondiepe buizen.

Uit de HG3 waarden in de zeven stambuizen blijkt, dat we te maken hebben met omstandigheden die gemiddeld 6 cm natter zijn en, variëren van -13 cm droger tot + 28 cm natter dan de GHG. Hierbij moet worden opgemerkt, dat gedurende enkele zeer natte meetmomenten in stambuizen L0126 en P0114 geen grondwaterstand is gemeten, omdat het meetpunt onderwater stond. Hierdoor zal het berekende gemiddelde voor de HG3 voor het betreffende hydrologisch jaar iets natter zijn dan nu is berekend. De zomersituatie (LG3) was echter beduidend natter 28 cm en variërend van + 18 cm natter tot + 32 cm natter dan de GLG.

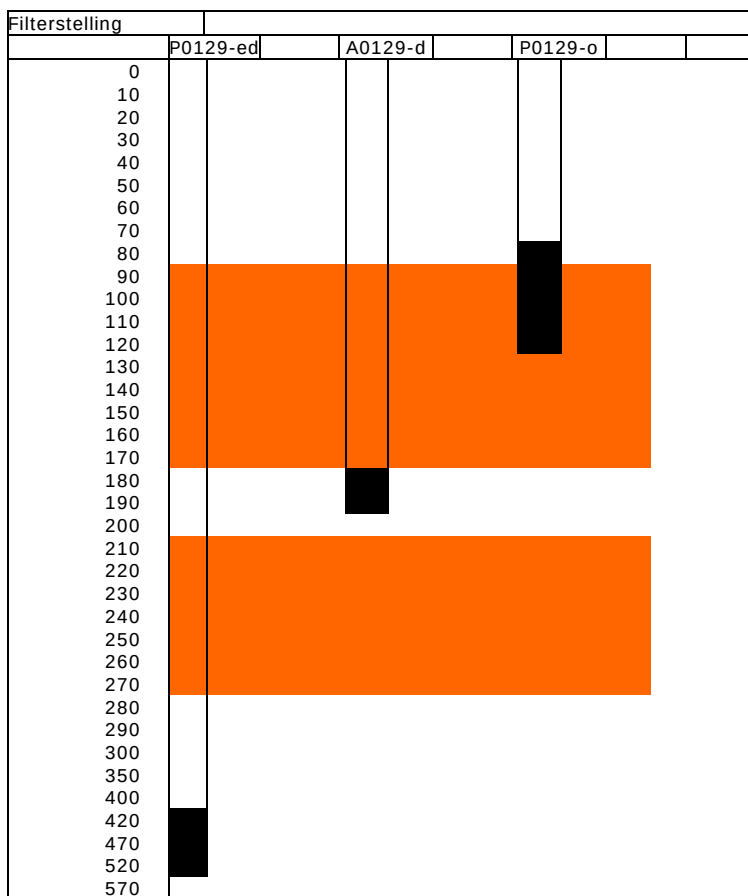
Dat de filters die in of door de keileem zijn geplaatst de *freatische* grondwaterstand niet correct weergeven, blijkt zowel uit de gemeten grondwaterstanden en berekende HG3 en LG3 die respectievelijk in het bijlage 3 en in tabel 7 staan vermeld. Uit tabel 7 blijkt namelijk dat zowel de HG3 als ook de LG3 van de (stam)buizen waarvan het filter door de keileem is geplaatst in vrijwel alle gevallen dieper is dan de HG3 (soms tot meer dan 90 cm) en de LG3 (soms tot meer dan 85 cm) van de filters die in of boven de keileem zijn geplaatst. Op de buislocaties van P0114, L0126 en P0151 kunnen we de HG3's van de buizen onderling niet met elkaar vergelijken, omdat één of meerdere filters tijdens enkele zeer natte meetmomenten in het hydrologische jaar onder water stonden. Op de buislocaties L0126, P0074, P0114, P0112, P0151, P0129 en P0125 is naast een of meerdere diepe filters onder de keileem ook een filter op of net in de keileem geplaatst. Uit tabel 7 en bijlage 3 blijkt dat deze filters de freatische grondwaterstand wel correct weergeven alleen worden zij niet frequent (een aantal zelfs vier maal per jaar) waargenomen en zijn ze meestal aan de korte kant, waardoor ze tijdens perioden met een neerslagtekort snel droogvallen. Hierdoor kan zowel de GHG (te weinig metingen) als ook de GLG (vallen meestal droog) niet worden berekend.

Naast weerstandbiedende lagen kan de invloed van bomen op vooral de GLG soms aanzienlijk zijn.



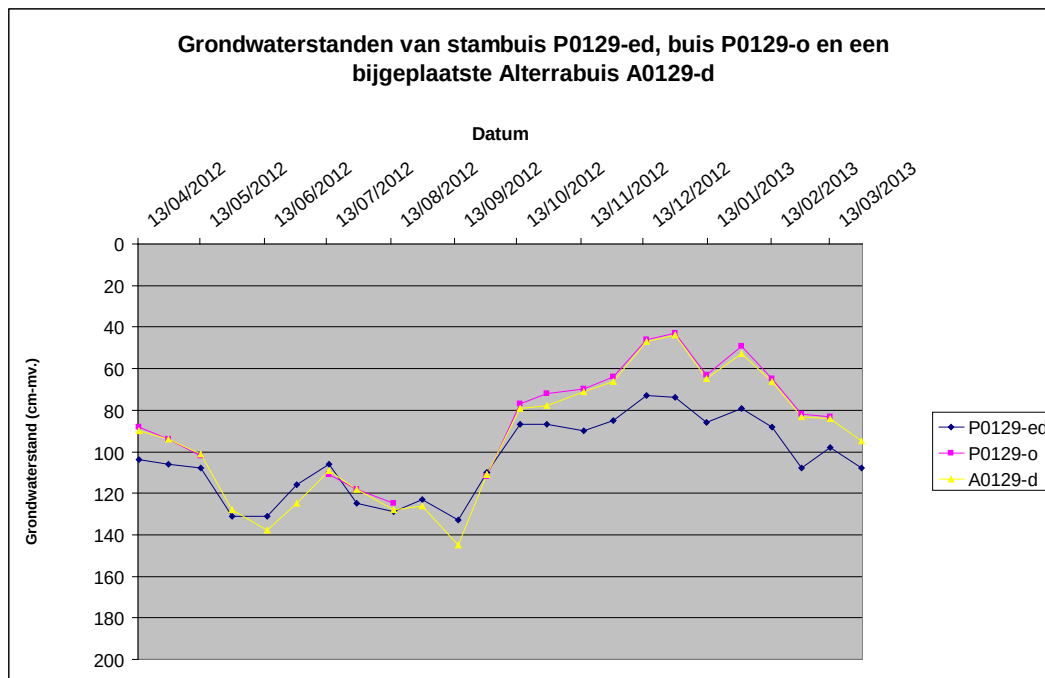
Afbeelding 18 *Ligging van buislocatie P0129 vlak naast twee grove dennen.*

Op buislocatie P0129 staat op minder dan één meter afstand van de drie peilfilters (P0129-ed, P0129-o, A0129-d) twee ca. acht m hoge grove dennen (afb. 13 en 18), waarbij we tijdens het boren op deze locatie dikke boomwortels hebben aangetroffen tot op een diepte van 110 cm -mv. Deze boomwortels onttrekken tijdens het groeiseizoen vocht aan de bodem, waardoor de freatische grondwaterstand ter plaatse kan worden beïnvloed. De filters van de buizen A0129-d en P0129-ed zijn respectievelijk geplaatst in een laag goed doorlatend zwak lemig matig fijn keizand en in het praemorenale zand (afb. 19).



Afbeelding 19 Diepte en lengte van het filter (zwart) van stambuis P0129-ed en buis P0129-o en de extra geplaatste buizen A0125-d en de ligging en dikte van de weerstandbiedende keileemlagen (oranje) in het bodemprofiel.

Uit de gemeten standen (afb. 20) blijkt dat de grondwaterstanden in peilfilter P0129-ed vanaf half oktober tot in het vroege voorjaar aanzienlijk lager zijn dan de gemeten freatische grondwaterstanden in de peilfilters A0129-d en P0129-o. Door de permanent hogere stijghoogte boven de keileem gedurende deze periode vindt er wegzijging plaats. De HG3 van buis P0129-ed is zelfs 27 cm droger is dan de HG3 van buis A0129-d (tabel 7). In de afbeelding is tevens te zien dat het stijghoogteverschil en daarmee de wegzijging niet constant in de tijd is. Vanaf april daalt de (freatische) grondwaterstand in de peilfilters A0129-d en P0129-o (valt droog) als gevolg van grondwateronttrekking door de grove den en wegzijging sneller dan de grondwaterstand in het praemorenale zand (onder de keileem) tot zelfs enkele malen dieper dan het niveau van de grondwaterstand onder de keileem.



Afbeelding 20 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in stambuis P0129-ed en buis P0129-o en in de door Alterra geplaatste buis A0129-d.

Dat dit gevolgen heeft voor de LG3 en op de GLG blijkt wel uit tabel 7. Buis A0129-d heeft, als gevolg van de grondwateronttrekking door de grove den, voor het hydrologisch jaar 2012-2013 een LG3 die 5 cm lager is dan de LG3 van buis P0129-ed.

Het stijghoogteverschil tussen buis P0129-ed en buis A0129-d rond het GHG-moment (14-11-2012) bedraagt ongeveer 19 cm. Als wordt uitgegaan van een neerslagoverschot van 2 tot 4 mm/dag bedraagt de weerstand van de tweede keileemlaag 95 tot 47.5 dagen. Dit komt, uitgaande van een keileemdikte van 0.70 meter overeen met een verticale verzadigde doorlatendheid van 0.7 tot 1.5 cm/dag. De weerstand van de beide keileemlagen kan niet goed worden bepaald, omdat het ondiepe filter (P0129-o) een stuk in de eerste keileemlaag staat. Dit maakt analyses met betrekking tot het bepalen van de weerstand van de keileem minder nauwkeurig.

Uit onderzoek van Bakker (Bakker et al., 1995) blijkt, dat de invloed van bomen op de grondwaterstand, opgegeven als fractie van zijn hoogte, varieert van 0.3 tot 2 keer de boomhoogte. Dit is niet alleen afhankelijk van de boomsoort, maar ook van het klimaat en de bodemopbouw. Uit dat onderzoek bleek o.a. dat er op een locatie met wilgen in een zware kleigrond zelfs verschillen in grondwaterstanden werden gemeten die konden oplopen tot wel meer dan één meter. De grootste onttrekking vond plaats rond de stammen van de bomen.

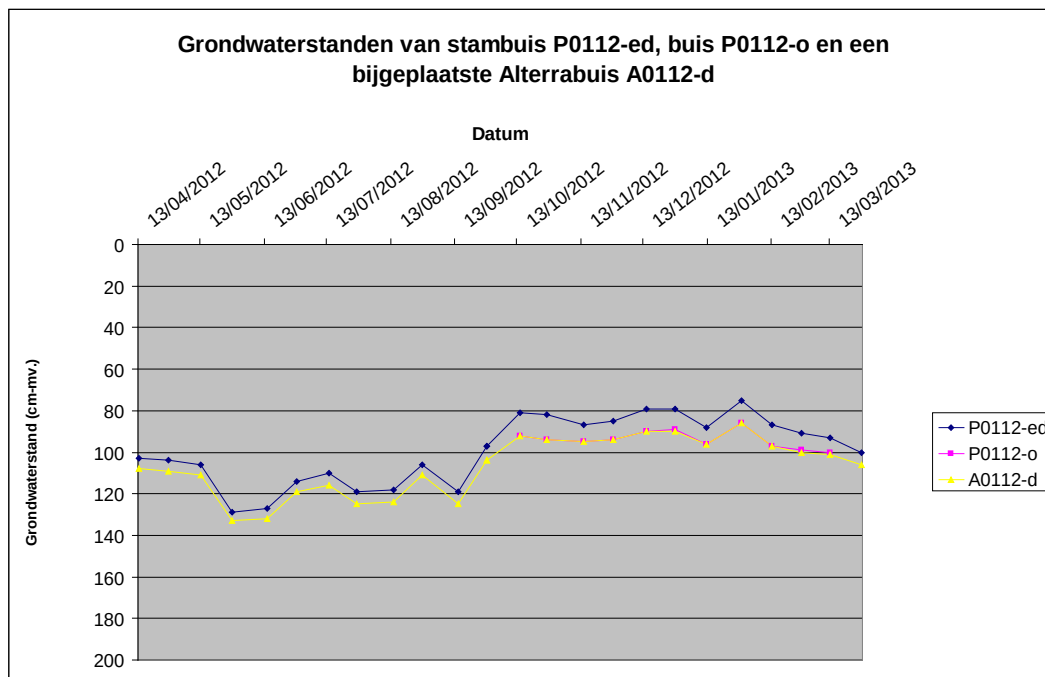
Het een en ander geldt ook voor de peilfilters op locatie P0112 (afb. 21). De locatie ligt op ca. 7 meter afstand van een ca. 1.70 m diepe sloot, waardoor deze vooral in de winterperiode een drainerende functie heeft op de freatische grondwaterstand.

Verder ligt de buislocatie in een houtwal met een relatief dichte opstand van jonge en wat oudere bomen. Op ca. 1,2 m en 2 m afstand van de buislocatie staan twee ca. 6 meter hoge zomereiken. Tijdens het boren zijn op een diepte van ca. 75 cm boomwortels aangetroffen. De keileem begint hier op een diepte van 150 cm -mv. (afb. 14). Het materiaal boven de keileem bestaat uit matig tot goed doorlatend leemarm tot zwak lemig matig fijn zand. Het pakket keileem is ca. 195 cm dik en dicht (afb. 14).



Afbeelding 21 Ligging van buislocatie P0112 in een Houtwal.

De filters van de buizen P0112-o, A0112-d en P0112-ed zijn respectievelijk geplaatst in een laag goed doorlatend leemarm en zwak lemig matig fijn zand, keileem en in het praemorenale zand. De verschillen tussen de gemeten grondwaterstanden in de twee relatief ondiepe peilfilters P0112-o en A0112-d zijn verwaarloosbaar klein (bijlage 3) en niet significant verschillend. Het verschil tussen de HG3's van deze filters bedraagt slechts één cm (tabel 7).

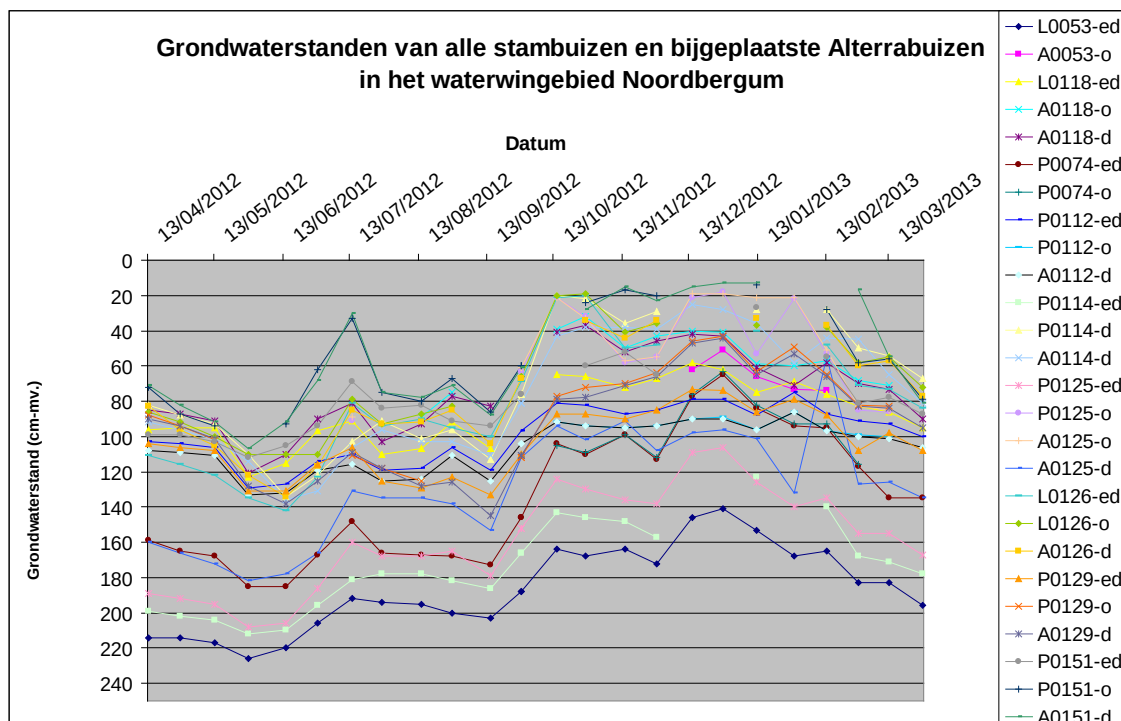


Afbeelding 22 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in stambuis P0112-ed en buis P0112-o en in de door Alterra geplaatste buis A0112-d.

De verschillen in grondwaterstanden tussen de ondiepe filters (P0112-0 en A0112-d) en het diepe filter (P0112-ed) zijn groter (bijlage 3) tot soms wel 11 cm (afb. 22). Dit blijkt ook uit de verschillen tussen de HG3's en LG3's. Door een combinatie van drainage (sloot) en grondwateronttrekking door bomen (verdamping) en wegzijging blijkt, dat in het hydrologisch jaar 2012-2013 de HG3 van buis A0112-d 11 cm droger is dan de HG3 van buis P0112-ed. Doordat de grondwaterstand in het groeiseizoen daalt neemt de drainerende invloed van de sloot af, maar neemt de grondwateronttrekking door de bomen juist toe. Het verschil in LG3 tussen de peilfilters A0112-d en P0112-ed in tabel 7 bedraagt voor het hydrologisch jaar 2012-2013 uiteindelijk nog vijf cm

Uit de metingen in bijlage 3 blijkt dat de aangetroffen weerstandbiedende lagen (voornamelijk keileem) in het fluctuatietraject van het grondwater op de buislocaties L0126, P0074, P0114, P0151, L0126 en P0118 gedurende de meetperiode ook invloed hebben op de hoogte en de fluctuatie van de freatische grondwaterstand in de peilfilters. De verschillen in gemeten grondwaterstanden tussen het ondiep geplaatste filter en de diepere filters variëren hier van enkele centimeters (P0074) tot meer dan één meter (P0114). Dit betekent dat de HG3's, en indien gemeten ook de LG3's van de peilbuizen in tabel 7 in dit jaar minder of meer van elkaar afwijken.

In afb. 23 staan in een tijdstijghoogtegrafiek alle gemeten grondwaterstanden (bijlage 3) in de (stam)buizen weergegeven vanaf 14 april 2012 t/m 28 maart 2013 (één hydrologisch jaar).



Afbeelding 23 Tijdstijghoogtegrafiek van de gemeten grondwaterstanden in cm t.o.v. m.v.v. in alle (stam)buizen vanaf 14 april 2012 t/m 28 maart 2013.

Tijdens droge perioden vallen sommige buizen droog. Verder is er als gevolg van diverse omstandigheden (bijvoorbeeld onder water staan meetpunt) in sommige buizen niet gemeten (bijlage 3). In de grafiek is dit in de vorm van een onderbroken lijn weergegeven. Uit de grafiek blijkt ook de piekerigheid van vooral de ondiepe peilfilters tijdens het relatief natte zomer en winterseizoen. De filters staan meestal net boven of net in de keileem. Dit materiaal is slecht doorlatend en heeft een geringe waterberging, waardoor de grondwaterstand in natte perioden (bv. winter) stagneert en in droge perioden (vooral zomers) soms diep wegzakt (diepe filters). Uit de afbeelding blijkt ook, dat de grondwaterstanden van de relatief 'diepe' filters (bijvoorbeeld buis P0114-ed) trager reageren op het neerslagoverschot dan de grondwaterstanden in de relatief 'ondiepe' peilfilters (P0114-o). Dit blijkt vooral in de relatief natte september en oktober maanden van 2012, waardoor als gevolg van aanzienlijke hoeveelheden neerslag de freatische grondwaterstand in de relatief 'natte' buizen snel stijgt, terwijl de grondwaterstand in de relatief 'diepe' filters aanzienlijk minder snel stijgt. Verder dient nog te worden opgemerkt dat alle buizen liggen in een gebied met wegzijging.

Uit de metingen, analyses en beschouwingen volgt, dat als gevolg van het voorkomen van weerstand-biedende lagen in het bodemprofiel, de filterstelling een duidelijke invloed heeft op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand en de momenten waarop de drie hoogste en laagste grondwaterstanden worden bereikt. Dit betekent ook dat op basis van bovengenoemde informatie de freatische GXG in bijna alle stambuizen niet correct wordt weergegeven. De freatische GXG kan echter, mits er een goede correlatie is met de ondiepe peilfilters, middels lineaire regressieberekeningen uit de diepe peilfilters worden geschat. In tabel 8 staan de lineaire regressiefuncties met de bijbehorende geschatte GHG's en GLG's van stambuizen weergegeven. Deze regressie relaties kunnen alleen onder de huidige winningsomstandigheden en hoeveelheden gebruikt worden voor de onderbouwing van de GHG- en GLG-schattingen bij de uitvoering van het onderhavige onderzoek en dat in het fase 2.

Tabel 8

Lineaire regressiefuncties van drie stambuizen voor het bepalen van de freatische GXG en de geschatte GHG- en GLG-waarden.

Buisnr.	Regressiefunctie voor het schatten van de freatische GHG	Regressiefunctie voor het schatten van de freatische GLG	Geschatte GHG (cm)	Geschatte GLG (cm)
P0074-ed ($R^2 = 0.99$ met buis P0074-o)	GHG = 1.0242 * P0074-ed - 3.59, se = 1.3 cm	P0074-ed (geen schatting, werkelijke waarde)	99	215 (werkelijke waarde)
L0126-ed ($R^2 = 0.95$ met buis L0126-o)	GHG = 0.8088 * L0126-ed + 3.63, se = 6.2 cm	Geen schatting mogelijk	35	
L0118-ed ($R^2 = 0.86$ met buis A0118-o)	GHG = 1.167 * L0118-ed - 31.31, se = 6.0 cm	Geen schatting mogelijk	35	
L0126-ed ($R^2 = 0.92$ met buis A0126-d)	Geen freatische schatting mogelijk	GLG = 0.9003 * A0126-d + 0.27, se = 8.6 cm		147
L0118-ed ($R^2 = 0.91$ met buis A0118-d)	Geen freatische schatting mogelijk	GLG = 1.227 * L0118-ed - 32.18, se = 6.6 cm		148

4.2.3 Hydrologische gegevens van de peilbuizen (A-A1-x en B-B1-x buizen) langs de raaien

Voor het onderbouwen van de GXG schattingen in het onderzoeksgebied (fase 1 en 2) is niet alleen de grondwaterstandinformatie van de (stam)buizen van belang, maar ook de informatie van de grondwaterstanden die zijn gemeten in de buizen die liggen langs de raaien A-A1 en B-B1 (afb. 7). Van deze buizen hebben we echter geen GXG kunnen berekenen, omdat de meetperiode hiervoor te kort is. We hebben de GXG van deze buizen dan ook geschat aan de hand van profielkenmerken, gemeten grondwaterstanden in deze buizen en de informatie van de stambuizen. De geschatte GHG's en GLG's van de buizen staan in tabel 9 vermeld. Voor de grondwaterstanden en algemene buisinformatie, zoals ligging, buis- en filterlengte wordt verwezen naar de bijlagen 2 en 3.

Uit de geschatte GHG- en GLG-waarden in tabel 9 blijkt, dat de fluctuatie (GLG-GHG) van het grondwater varieert van ca. 65 cm (locatie B-B1-8-d) tot ca. 180 cm (B-B1-5-d). Op een aantal locaties zijn twee verschillende Gt's geschat, omdat er in de peilfilters op deze locaties grote stijghoogteverschillen zijn gemeten. De natste Gt's op deze locaties gelden allen voor de ondiepste geplaatste peilfilters.

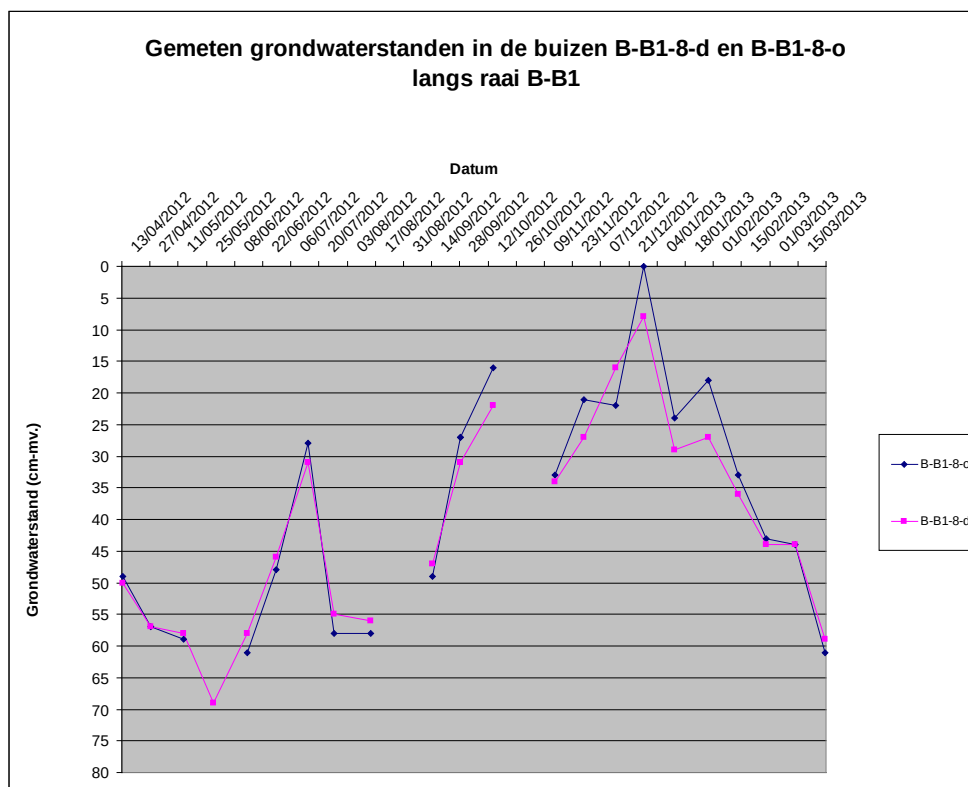
De fluctuatie van het grondwater is in het uiterste zuiden van raai B-B1 gebied niet groot, omdat dit gebied ligt op de overgang van een gebied met permanente wegzijging naar een gebied met kwel (Dodewaard E. van en G. Rutten, 1974 en Stoffelsen, G.H. en A.F. van Holst, 1981). Dit blijkt ook uit

de gemeten grondwaterstanden (bijlage 3 en afb. 25) in de peilfilters op locatie B-B1-8 (afb. 24, Gt IIIa).



Afbeelding 24 Ligging van buislocatie B-B1-8 even ten zuidoosten van Bergum.

Op deze locatie komt een matig fijnzandige, sterk lemige bruine beekeerdgrond (gleygrond) voor met een matig dik dek (cbZg55x7) en keileem in de ondergrond. Tijdens perioden met een neerslagtekort (voorjaar en zomer 2012) hebben we op deze locatie in het ondiepe peilfilter soms te maken met een freatische grondwaterstand die enkele centimeters dieper is dan de grondwaterstand in het dieper geplaatste peilfilter (kwel). Tijdens perioden met een neerslagoverschot (vooral winter 2012-2013) geldt het tegenovergestelde (wegzijging). Verder bestaat het materiaal boven en onder de ca. 40 cm dikke zandige keileemlaag (minder weerstand) uit goed doorlatend zwak lemig keizand (afbeelding 26).



Afbeelding 25 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in de buizen B-B1-8-o en B-B1-8-d.

Dit materiaal heeft een relatief grote berging en een goede verticale verzadigde doorlatendheid, waardoor uiteindelijk de fluctuatie van het grondwater op deze locatie niet groot is. Voor locatie A-A1-7 geldt vrijwel hetzelfde alleen is de fluctuatie van het freatische grondwater groter (Gt Vao).

Op alle overige locaties langs de raaien zijn in het doorstroomde profiel dichte keileemlagen aangetroffen (afb. 26). De hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater op deze locaties hangt vooral af van aard, samenstelling en dikte van de keileemlagen in het doorstroomde profiel. Ook speelt de invloed van grondwaterwinning een belangrijke rol op de hoogte en fluctuatie (locatie B-B1-5) van het freatische grondwater. Alle buizen langs de raai (uitgezonderd locatie A-A1-7 en B-B1-8) zijn geplaatst in een gebied met meer of minder wegzijging. Het materiaal is onder de bouwvoor tot aan de keileem meestal opgebouwd uit goed doorlatend zwak lemig keizand en/of matig tot goed doorlatend zwak lemig en/of leemarm dekzand met matige capillaire eigenschappen. Keileem heeft zeer slechte capillaire eigenschappen.

Tabel 9

Geschatte GHG's, GLG's en berekende HG3's en LG3's van de buizen in de raaien A-A1 en B-B1 in het waterwingebied Noordbergum.

Naam	Mv. t.o.v. NAP	Geschatte GHG (cm -mv.)	Geschatte GLG (cm -mv.)	Geschatte Gt	HG3 (31-03- 2012 – 31-03-2013) (cm -mv.)	LG3 (31-03-2012 - 31-03-2013) (cm -mv.)	Opmerking
A-A1-1-o*	-9	20	?	Vao	8*	90	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
A-A1-1-d*	-9	20	125	Vao	12*	92	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
A-A1-2-o	29	25	?	Vbo	19	droog	LG3 niet berekend
A-A1-2-d	29	30	155	Vbo	22	126	
A-A1-3-o	23	35	?	Vbo	29	droog	LG3 niet berekend
A-A1-3-d	23	35	130	Vbo	37*	95	* meetpunt èèn moment tijdens meetperiode onder water
A-A1-4-o	76	30	?	Vbo	23	droog	
A-A1-4-d	76	30	170	Vbo	22	145	
A-A1-4-ed*	76	35	170	Vbo	27	144	
A-A1-5-o	131	45	?	Vld	31	droog	LG3 niet berekend
A-A1-5-d	131	45	190	Vld	33	161	
A-A1-5-ed	131	85	190	Vld	73	160	
A-A1-6-o	172	25	?	Vbo	18	104	
A-A1-6-d	172	25	135	Vbo	19	104	
A-A1-7-o	2	20	?	Vao	16	91	
A-A1-7-d	2	25	125	Vbo	21	93	
B-B1-1-o	114	20	?	Vao	13*	118	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
B-B1-1-d	114	20	150	Vao	12*	120	* meetpunt enkele momenten tijdens meetperiode onder water
B-B1-2-o	56	65	?	Vld	59	droog	LG3 niet berekend
B-B1-2-d	56	65	195	Vld	65*	169	* meetpunt èèn moment tijdens meetperiode onder water
B-B1-3-o	117	70	?	Vld	59	droog	LG3 niet berekend
B-B1-3-d	117	60	190	Vld	50	165	
B-B1-3-ed	117	115	255	Vld	103	223	
B-B1-4-o	80	25	?	Vbo	14	droog	LG3 niet berekend
B-B1-4-d	80	25	165	Vbo	16	132	
B-B1-4-ed	80	70	175	Vld	62	148	
B-B1-5-o	186	60	?	Vld	52	droog	LG3 niet berekend
B-B1-5-d	186	60	240	Vld	49	202	
B-B1-5-ed	186	240	385	Vld	231	356	
B-B1-6-o	52	30	?	Vbd	21	droog	LG3 niet berekend
B-B1-6-d	52	60	215	Vld	52	187	
B-B1-7-o	135	95	?	Vld	87	droog	LG3 niet berekend
B-B1-7-d	135	115	250	Vld	104	231	
B-B1-8-o	-17	20	?	IIIa	18	droog	LG3 niet berekend
B-B1-8-d	-17	25	90	IIIb	22	62	

*) -o, -d en -ed betekent respectievelijk ondiep, diep en extra diep geplaatst filter. Zie voor filter gegevens bijlage 2.

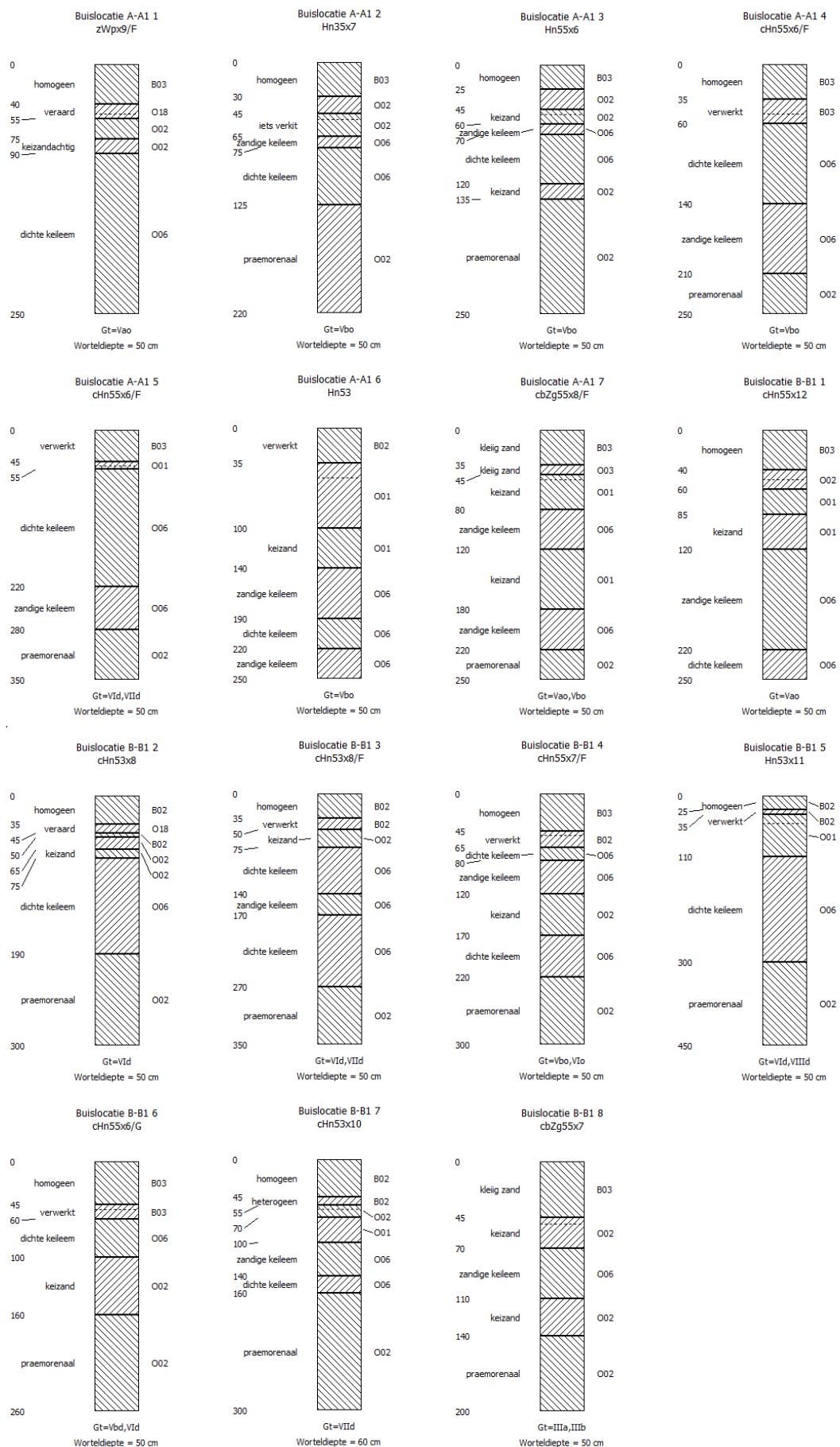
Als keileem hoog in het bodemprofiel voorkomt (< 80 cm -mv.) dan zijn deze gronden, vooral wanneer we te maken hebben met zwak lemige jonge ontginninggronden (dikte bouwvoor = < 30), droogtegevoelig. Tijdens periodiek droge perioden treden hier al snel vochttekorten aan de gewassen op.

Uit de resultaten van de grondwaterstandsmetingen in bijlage 3 blijkt, dat de invloed van de weerstandbiedende lagen op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater soms aanzienlijk kan zijn. Gedurende het veldbodembkundig onderzoek zijn er, als gevolg van weerstandbiedende lagen (keileem) in het bodemprofiel, op de meeste locaties stijghoogteverschillen gemeten. Deze weerstandbiedende lagen hebben in een gebied met een verlaging van de grondwaterstand, als gevolg van bijvoorbeeld een waterwinning, ook invloed op de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand (geringer) vanuit het eerste watervoerende pakket naar de freatische grondwaterstand in de winter, in het vroege voorjaar en in de zomer. Hierdoor zal in de meeste situaties de grondwaterstandsverlaging in de zomer (GLG) groter zijn dan in de winter (GHG) en in het vroege voorjaar (GVG).

Om het effect van deze weerstandbiedende lagen op de grondwaterstand met metingen te kunnen aantonen, zijn op alle locaties in de raaien grondwaterstandsbuizen geplaatst met het filter tot vlak boven de weerstandbiedende laag, soms in de weerstandbiedende laag en door de weerstandbiedende laag heen. Naast het effect van weerstandbiedende lagen op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand heeft ook de grondwaterwinning invloed hierop (bijvoorbeeld buislocatie B-B1-5). Deze locatie ligt even ten westen van het puttenveld van de grondwaterwinning (afb. 26) en heeft een weerstandbiedende laag in het doorstroomde bodemprofiel (afb. 27). In afbeelding 28 staat de filterstelling van de grondwaterstandsbuizen BB1-5-o, B-B1-5-d en B-B1-5-ed weergegeven. Voor de overige buizensets geldt hetzelfde principe en worden daarom niet nader beschouwd.

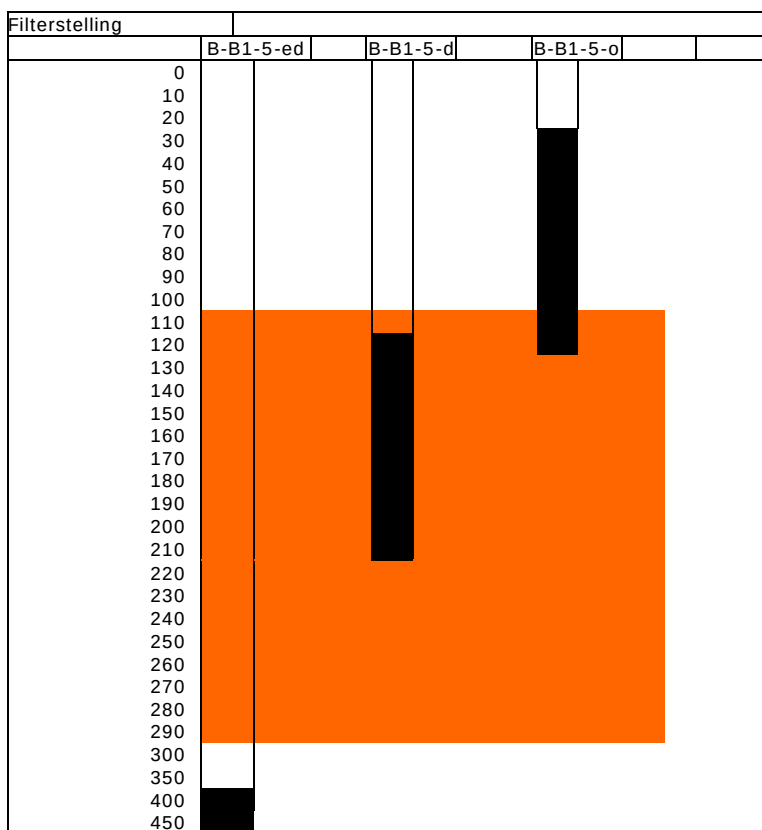


Afbeelding 26 Ligging van de grondwaterstandsbuizen B-B1-5-o, B-B1-5-d en B-B1-5-ed nabij het Ritskebos.



Afbeelding 27 Geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische boorprofielen van de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen langs de raaien A-A1 en B-B1.

In de afbeelding zijn de filters weergegeven in de vorm van een zwarte kolom. In het bodemprofiel (een matig fijnzandig, zwak lemige veldpodzolgrond met keileem beginnend op een diepte van 110 cm -mv.: Hn53x11) komt een ca. 190 cm dikke dichte keileemlaag voor. In de afbeelding is deze laag met een oranje band weergegeven. Op een diepte van ca. 300 cm -mv. gaat de keileem over in zeer fijn, zwak lemig praemorenaal zand. Het materiaal onder de bouwvoor bestaat tot de keileem uit goed doorlatend matig fijn leemarm dekzand.

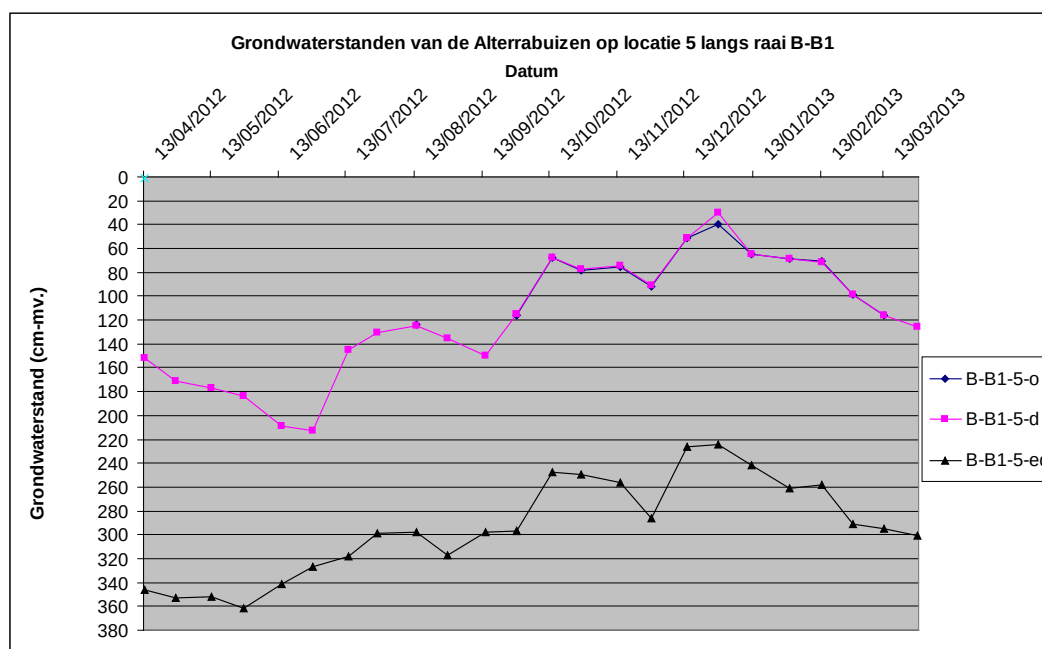


Afbeelding 28 Diepte en lengte van de filters (zwart) op locatie B-B1-5 en de ligging en dikte van de keileem (oranje) in het bodemprofiel.

In afbeelding 29 zijn de meetgegevens van de peilbuizen op locatie B-B1-5 weergegeven. De peilfilters zijn onderling op ca. 35 cm afstand geplaatst. Deze locatie heeft tijdens de gehele meetperiode een permanent stijghoogteverschil. Het stijghoogteverschil wordt, als het niveau van de grondwaterstand in het diepste filter zich bevindt in het praemorenale zand (> 300 cm -mv.) veroorzaakt door een schijnspegel. Echter wanneer dit niveau zich bevindt in de laag dichte keileem kan er ook sprake zijn van een permanent stijghoogteverschil in verzadigde toestand. Door de hogere stijghoogte boven en in de keileem vindt er permanent wegzijging plaats. In de afbeelding is tevens te zien dat het stijghoogteverschil en daarmee de wegzijging niet constant in de tijd is (mogelijk speelt ook de invloed van de grondwaterwinning hierin een rol).

De gemeten verschillen tussen de twee relatief ondiepe filters (BB1-5-o en B-B1-5-d) zijn niet groot en kunnen in het hydrologische jaar 2012-2013 oplopen tot maximaal ca. 10 cm. De verschillen tussen het diepste filter (B-B1-5-ed) en de ondiepe filters zijn aanzienlijk en kunnen oplopen tot wel 195 cm. Het diepste peilfilter B-B1-5-ed heeft in de gemeten periode altijd de diepste grondwaterstand. Het ondiepste filter (BB1-5-o) heeft alleen in nattere perioden water. Tijdens drogere periode valt deze buis vrij snel droog. Als we de momenten van de drie hoogste grondwaterstanden in bovengenoemde filters vanaf 14-12-2012 t/m 12-01-2013 nader beschouwen (bijlage 3), dan zien we dat deze gelijk zijn. Dit geldt echter niet voor de drie laagst gemeten grondwaterstanden. In het filter B-B1-5-ed worden deze bereikt op 27-04-2012, 13-04-2012 en 28-05-2015, terwijl dit in het filter B-B1-5-d pas plaatsvindt op 28-05-2012, 14-06-2012 en 28-06-2012. Het filter B-B1-5-o stond op deze momenten droog. Verder kan nog worden vermeld dat in de periode tussen 28-05-2012 en

13-06-2012 het filter B-B1-5-d in het groeiseizoen reageert op de gewasverdamping, terwijl het filter B-B1-5-ed mogelijk sneller reageert op verschillen in grondwaterwinning.



Afbeelding 29 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in de peilfilters BB1-5-o, B-B1-5-d en B-B1-5-ed.

Uit afbeelding 29 blijkt ook dat de gemeten verschillen in grondwaterstand tussen de filters soms langdurig voorkomen. Uit een statistische analyse (two sample nonparametric test, de Wilcoxonmatched-pairs test) van de gemeten grondwaterstanden in de buizen blijkt (tabel 10), dat de grondwaterstanden in het diepe filter (B-B1-5-ed) significant (tweezijdig bij een overschrijdingskans van 5%) verschillen van de grondwaterstanden in de twee ondiepere filters (B-B1-5-d en BB1-5-o). Uit de analyse blijkt ook dat de gemeten grondwaterstanden in de filters B-B1-5-d en BB1-5-o onderling bij overschrijdingskans van 5% niet significant van elkaar verschillen. Er moet hierbij wel worden opgemerkt, dat in buis B-B1-5-o in de periode eind maart 2012 t/m maart 2013, van de 25 opnamen, slechts dertien maal een grondwaterstand is gemeten. Tijdens de overige opnamen stond de buis droog.

Tabel 10

Resultaten van een statistische analyse tussen de filters op buislocatie B-B1-5.

Buisnr. (aantal waarnemingen)	B-B1-5-ed (n=25)	B-B1-5-d (n=25)
B-B1-5-ed (n=25)		
B-B1-5-d (n=25)	<0,001	
B-B1-5-o (n=13)	<0,001	0,92

Indien we naar de stijghoogte in het praemorenale zand onder de keileem kijken in buis B-B1-5-ed dan blijkt dat er een sterk lineair verband is ($R^2 = 0.90$) tussen de stijghoogte onder de keileem en de freatische grondwaterstand boven de keileem (B-B1-5-o)(tabel 11). Er dient echter wel te worden opgemerkt dat deze correlatie alleen geldt voor perioden dat er in het ondiepe peilfilter freatisch grondwater is gemeten dus tijdens langdurige perioden met een neerslagoverschot. De relatie voor het bepalen van de freatische grondwaterstand mag niet gebruikt worden voor als er in het ondiepe filter geen water wordt gemeten (droog). Voor deze perioden kan de lineaire relatie tussen het extra diepe filter (B-B1-5-ed) en het diepe filter (B-B1-5-d) worden gebruikt (tabel 11). De correlatie ($R^2 = 0.86$) van de grondwaterstanden tussen beide filters is ook sterk lineair, maar minder dan tussen de filters B-B1-5-o en B-B1-5-d. De buislocatie B-B1-5 ligt niet ver van het puttenveld in het Ritskebos. Aangezien de buizen onderling sterk lineair zijn gecorreleerd en zowel periodiek droge als ook natte perioden bestrijken zouden deze functies op deze locatie gebruikt kunnen worden voor een doorvertaling van de verlaagde grondwaterstand door grondwaterwinning (onder de huidige winnings-

omstandigheden en hoeveelheden) in het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand. Hoe het met de andere buislocaties zit is niet nader onderzocht, omdat dit buiten het kader van dit onderzoek valt.

Tabel 11

Onderlinge correlaties van peilfilters op buislocatie B-B1-5.

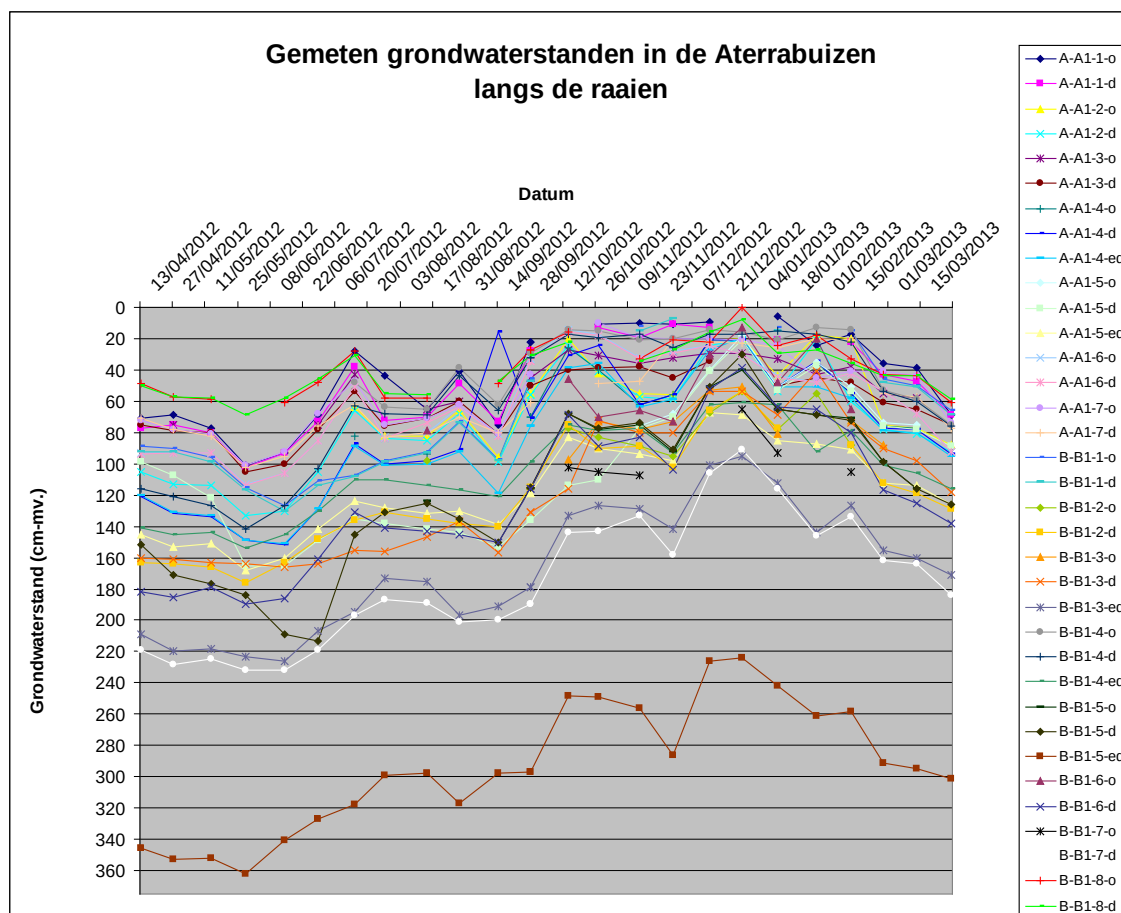
Buisnr. (aantal waarnemingen)	Stijghoogte locatie B-B1-5-d (n=25) (y)	Stijghoogte locatie B-B1-5-o (n=13) (y)
Stijghoogte locatie B-B1-5-ed (n=25) (x)	$Y = 1.1349 x - 214.9$ $R^2 = 0.86$ standaardfout 18.3 cm	$Y = 0.9325 x - 164.2$ $R^2 = 0.90$ standaardfout 7.43 cm
Stijghoogte locatie B-B1-5-d (n=25) (x)		$Y = 0.9429 x + 5.54$ $R^2 = 0.99$ standaardfout 2.45 cm

* $R^2 \times 100 =$ % Verklaarde variantie.

Het stijghoogteverschil rond het GHG-moment (datum op basis van de stambuizen) bedraagt ongeveer 175 cm. Indien wordt uitgegaan van een neerslagoverschot van 2 tot 4 mm/dag bedraagt de weerstand van de keileem 875 tot 437,5 dagen. Dit komt, uitgaande van een keileemdikte van 1,75 meter (ondiepe buis staat 20 cm in de keileem) overeen met een verticale verzadigde doorlatendheid van 0.2 tot 0.4 cm/dag.

Uit de analyse van de onderzochte grondwaterstandsbuizen blijkt, dat als gevolg van het voorkomen van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel, de filterstelling in bovengenoemde situatie een duidelijke invloed heeft op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstanden en het moment waarop de hoogste grondwaterstanden worden bereikt. Dit houdt in, dat men bij het schatten van de GXG en het meten van grondwaterstanden (fase 1 en 2) rekening dient te houden met het voorkomen van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel.

In afbeelding 30 staan in een tijdstijghoogtegrafiek alle gemeten grondwaterstanden (bijlage 3) in de buizen langs de twee raaien weergegeven vanaf 13 april 2012 t/m 28 maart 2013. Tijdens drogere perioden vallen sommige buizen tijdelijk droog. Ook is er, als gevolg van diverse omstandigheden, in sommige buizen een enkele maal niet gemeten. In de grafiek is dit in de vorm van een onderbroken lijn of een markering weergegeven. De trend van het verloop van het grondwater is vanaf begin april t/m half juni alleen maar dalende. Vanaf half juni wordt tot half juli, na een periode met een aanzienlijk neerslagoverschot, continue een stijging van het (freatisch) grondwater gemeten. De grondwaterstand in de ondiepe filters boven of net in de keileem vertonen een redelijk gelijkmatig doch piekerig verloop. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de grondwaterstand boven de keileem snel reageert op het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping). Uit de grafiek blijkt ook het 'tragere' en redelijk gelijkmatige verloop van de grondwaterstand in de diepere filters B-B1-3-ed, B-B1-5ed, B-B1-4ed, B-B1-6d en B-B1-7-d t.o.v. de ondiepe filters.



Afbeelding 30 Tijdstijlhoogtegrafiek van de gemeten grondwaterstanden in cm -mv. in de Aterrabuizen langs de raaien vanaf 13 april 2012 t/m 28 maart 2013.

Vanaf half juli t/m half oktober reageren vooral de ondiepe filters snel op perioden waarin neerslagoverschot en neerslagtekort elkaar afwisselen. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in berging van het grondwater (geringer) in verband met de relatief al hogere grondwaterstanden in combinatie met het voorkomen van weerstandbiedende lagen en de geringe werking van het ont- en afwateringsstelsel. Dit geldt ook voor de periode vanaf half oktober 2012 t/m eind januari 2013. Vanaf dat moment dalen de grondwaterstanden continue tot eind maart 2013.

4.3 Dwarsdoorsneden

Voor het maken van de dwarsdoorsneden op een relatief nat en een droger moment hebben we respectievelijk de data 12-01-2013 en 28-05-2012 genomen. Tijdens de opname van de (freatische) grondwaterstand in de grondwaterstandsbuizen varieerde de gemeten grondwaterstand meestal één tot enkele decimeters boven en onder het GHG-niveau op 12-01-2013 tot een aantal decimeters boven het GLG-niveau op 28-05-2012. Dit is vastgesteld aan de hand van gemeten grondwaterstanden in de stambuizen (tabel 7 en bijlage 3).

Uit dit onderzoek en uit eerder uitgevoerd bodemkundig-hydrologisch onderzoek (Dodewaard E. van en G. Rutten, 1974, Kleijer et al, 1977, Van Holst et al, 1978 en Stoffelsen, G.H. en A.F. van Holst, 1981) is gebleken, dat in een groot deel van het gebied als gevolg van het voorkomen van weerstandbiedende lagen (bijvoorbeeld. keileem, lössleem, versmeerde veenlagen etc.) in het bodemprofiel stijghoogteverschillen of schijngrondwaterspiegels voorkomen, die invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand. Aangezien gedetailleerde informatie over de aard, samenstelling, diepte, dikte en verbreiding van deze lagen voor de tussenliggende gebieden in de raaien ontbreekt, bleek het niet zinvol om de grondwaterstand voor de tussenliggende gebieden te interpoleren. Er is op basis van het ontbreken van deze informatie besloten dat in de dwarsdoor-

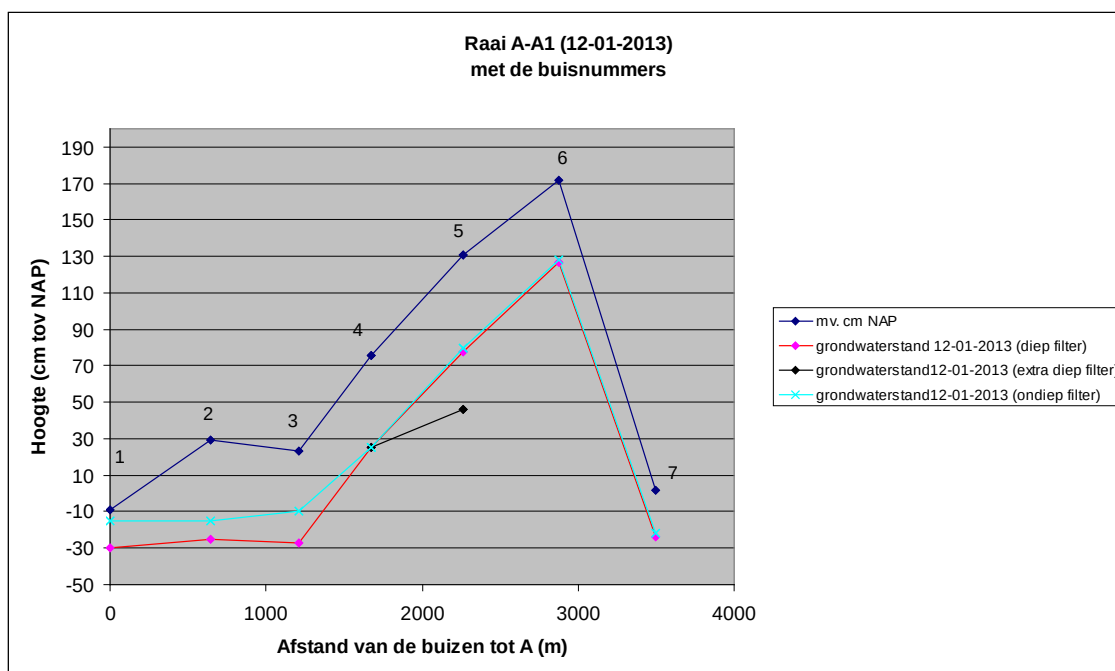
sneden alleen de maaiveldhoogten (t.o.v. NAP) en de gemeten (freatische) grondwaterstanden (t.o.v. NAP) ter plekke van de boorlocaties worden gepresenteerd.

4.3.1 Gemeten grondwaterstanden langs raai A-A1

In afb. 31 en 32 (bijlagen 2 en 3) staan respectievelijk de hoogte van het maaiveld en de gemeten (freatische) grondwaterstand in de buizen langs raai A-A1 weergegeven op 12-01-2013 (relatief nat moment) en 28-05-2012 (relatief droger moment). In de afbeeldingen zien we dat de hoogte van het maaiveld vanaf de dekzandrug ten zuiden van Noordbergum (afb. 4 en 7) naar het westen sterk helt richting Quatrebras om vervolgens langzaam af te lopen tot aan Hardegarijp. In het oosten helt het maaiveld vanaf de dekzandrug ten zuiden van Noordbergum sterk richting de Koumarwei (zuidoosten van Noordbergum).

Tijdens het natte moment volgt de freatische grondwaterstand (ondiepe filters), vanaf buislocatie A-A1-1 tot aan A-A1-3, als gevolg van het voorkomen van dichte keileemlagen in het fluctuatietraject van het grondwater en het verschil in berging, de hoogte van het maaiveld nauwelijks. De grondwaterstand in de diepe filters volgt het maaiveld, als gevolg van een mindere verticale weerstand, het maaiveld beter. Door de hogere stijghoogte van het freatische grondwater boven de keileem vindt er op dit opname moment wegzijging plaats. Op buislocatie A-A1-1 dient nog wel te worden opgemerkt dat het diepste filter niet door de dichte laag keileem is geplaatst. Hierdoor zal het verschil in stijghoogte tussen de freatische grondwaterstand en de grondwaterstand onder de keileem waarschijnlijk groter zijn. Dit geldt in mindere mate voor de buislocaties A-A1-5 en A-A1-6. Op deze locaties is het diepste filter in een laag zandige keileem (minder weerstand) geplaatst. Vanaf buislocatie A-A1-4 tot aan buislocatie A-A1-6 volgt de freatische grondwaterstand (ondiepe filters) de hoogte van het maaiveld goed. Op de locaties A-A1-4, A-A1-6 en A-A1-7 zijn op het natte meetmoment geen of nauwelijks stijghoogteverschillen gemeten tussen het ondiepe filter en het diepe filter. Hieruit mag men niet concluderen dat ze er niet zijn. Op 29-01-2013 is er op locatie A-A1-4 een stijghoogteverschil van 17 cm gemeten. Op buislocatie A-A1-6 zijn de stijghoogteverschillen ook op andere meettijdstippen niet groot. Ze bedragen hooguit enkele centimeters. Dit betekent dat de invloed van de relatief dunne dichte keileemlaag (30 cm) op een diepte van ca. 180 cm -mv. niet groot is op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand en de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand onder de keileem naar de freatische grondwaterstand. Op locatie A-A1-7 komt een verwerkte matig fijn zandige, sterk lemige bruine bekeerddgrond voor met een matig dik dek (cbZg55x8/F). Er zijn twee ca. 40 cm dikke zandige keileemlagen aanwezig op een diepte van 80 en 180 cm -mv. Er is op deze locatie tijdens het opnamemoment een stijghoogteverschil van slechts 2 cm gemeten (wegzijging). Ook hier zijn tijdens de meetperiode grotere stijghoogteverschillen gemeten tot wel 39 cm (wegzijging). Op deze locatie komt periodiek kwel voor. Dit blijkt uit de standen op 29-01-2013 en 13-02-2013, waarbij het diepe filter hogere standen gaf dan het ondiepe filter. De gemeten stijghoogteverschillen waren respectievelijk 25 en 20 cm.

Bij buislocatie A-A1-5 (afb. 31) is duidelijk een verlaging van de grondwaterstand onder de keileem waar te nemen, dat wordt veroorzaakt door grondwaterwinning. Uit de resultaten van de metingen (bijlage 3) blijkt, dat op locatie A-A1-5 tijdens dit meetmoment tussen het ondiepste en diepste filter een stijghoogteverschil is gemeten van 34 cm (wegzijging). Het stijghoogteverschil tussen de twee relatief ondiepe filters (A-A1-5-o en A-A1-5-d) bedroeg op dat moment slechts 2 cm (wegzijging). Hieruit blijkt, dat het pakket keileem op deze locatie een sterk reducerende werking heeft op de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand onder de keileem naar de freatische grondwaterstand.

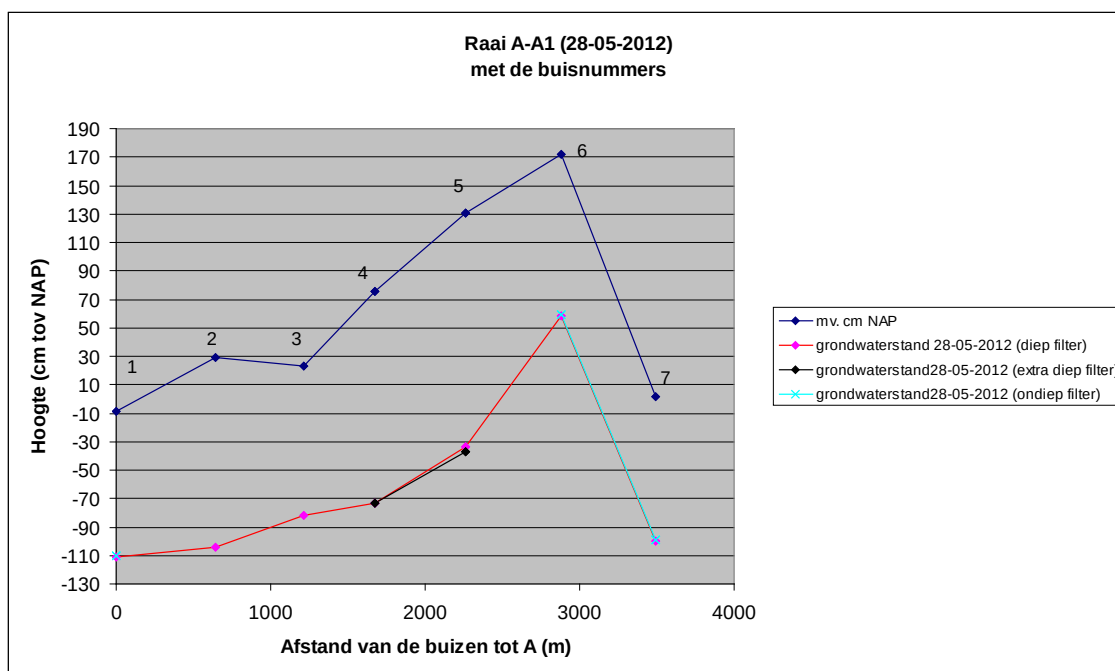


Afbeelding 31 Maaiveldhoogte en de gemeten (freatische) grondwaterstand (in cm t.o.v. NAP) op 12-01-2013 in de buizen langs raai A-A1.

Tijdens het relatief droog moment op 28-05-2012 (afb. 32) zijn er geen of nauwelijks stijghoogteverschillen gemeten (tot maximaal 3 cm, wegzijging).

Dit komt, omdat de meeste ondiepe filters droog staan (A-A1-2-o, A-A1-3-o, A-A1-4-o en A-A1-5-o), waardoor er geen stijghoogteverschillen kunnen worden gemeten en/of doordat de freatische grondwaterstand op sommige locaties door de keileemlaag is gezakt (A-A1-2). Verder is op dit tijdstip (richting GLG moment, voornamelijk capillaire flux) de verticale weerstand in het doorstroomde profiel aanzienlijk kleiner dan op het natte meetmoment op 12-01-2013 (rond het GHG-moment, vooral een wegzijgingsflux), waardoor de reducerende werking van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand vanuit het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand beperkt is.

In afb. 32 is vanaf buislocatie A-A1-2 een verlaging van de grondwaterstand waar te nemen die globaal doorloopt tot aan buislocatie A-A1-6. Het puttenveld in het Ritskebos ligt het dichtst bij de buislocaties A-A1-5 en A-A1-6. De grootste verlaging van de grondwaterstand is waar te nemen op buislocatie A-A1-5.



Afbeelding 32 Maaiveldhoogte en de gemeten (freatische) grondwaterstand (in cm t.o.v. NAP) op 28-05-2012 in de buizen langs raai A-A1.

4.3.2 Gemeten grondwaterstanden langs raai B-B1

In afb. 34 en 35 (bijlagen 2 en 3) staan respectievelijk de hoogte van het maaiveld en de gemeten (freatische) grondwaterstand in de buizen langs raai B-B1 weergegeven op 12-01-2013 (relatief nat moment) en 28-05-2012 (relatief droog moment). In de afbeeldingen zien we dat de hoogte van het maaiveld grillig helt vanaf het Ritskebos (afb. 4 en 7) richting het noorden (Veenwouden) en sterk grillig helt richting het zuiden (net ten oosten van Bergum). Het perceel, waarin buislocatie B-B1-6 ligt, is door afgraving (zandwinning) aanzienlijk verlaagd. Op de hoogtekaart (afb. 4) en de grafieken (afb. 34 en 35) is dit duidelijk af te lezen. In de bodemcode (afb. 26) staat de afgraving middels een code G aangegeven (cHn55x6/G).



Afbeelding 33 Afgegraven perceel op buislocatie B-B1-6 even ten oosten van Bergum

In de afbeeldingen is ook een depressie op buislocatie B-B1-4 te zien. Dit relatief vlakke perceel is tot een diepte van 65 cm -mv. sterk verwerkt. Mogelijk heeft men hier door diepe grondbewerking de variatie in hoogte van het maaiveld sterk genivelleerd.

In afb. 34 kunnen we zien, dat tijdens het relatief natte opname moment, de freatische grondwaterstand (ondiepe filters) de hoogte van het maaiveld enigszins volgt. Locale (vooral aard, samenstelling, dikte en diepte van de keileem, reliëf en berging) en regionale factoren (vooral grondwaterwinning) hebben overal in de raai meer of minder invloed op de hoogte van de freatische grondwaterstand. Op elke buislocatie in de raai kom(t)en in het doorstroomde bodemprofiel (een) of meerdere keileemla(a)g(en) voor die minder of meer invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater. Verder ligt buislocatie B-B1-2 op de helling naar een laaggelegen Dobbe. Hierdoor zal er, ondanks dat de dichte keileem hier begint op een diepte van ca. 75 cm -mv., laterale afstroming over de keileem plaatsvinden naar de Dobbe, waardoor de freatische grondwaterstand (in combinatie met invloed van de grondwaterwinning) uiteindelijk lager (Gt Vld) is dan op basis van de opbouw van het bodemprofiel mag worden verwacht (afb. 26).

Op elke buislocatie (uitgezonderd locatie B-B1-1-d) staat het diepste filter geheel in het praemorenale zand. Op alle buislocaties in de raai is de freatische grondwaterstand (ondiepste filters) hoger (uitgezonderd buislocatie B-B1-2) dan de grondwaterstand onder de keileem (diepste filters). Door de hogere stijghoogte van het freatische grondwater vindt er op alle buislocaties (uitgezonderd locatie B-B1-2) in de raai minder of meer wegzijging plaats. Er moet nog wel worden opgemerkt dat het diepste filter op locatie B-B1-1 niet door de tweede laag keileem is geplaatst. Hierdoor zal het verschil in stijghoogte tussen de freatische grondwaterstand en de grondwaterstand onder de keileem waarschijnlijk groter zijn. De grootste stijghoogteverschillen van 187 cm en 41 cm zijn respectievelijk gemeten op buislocaties B-B1-5 en B-B1-4.

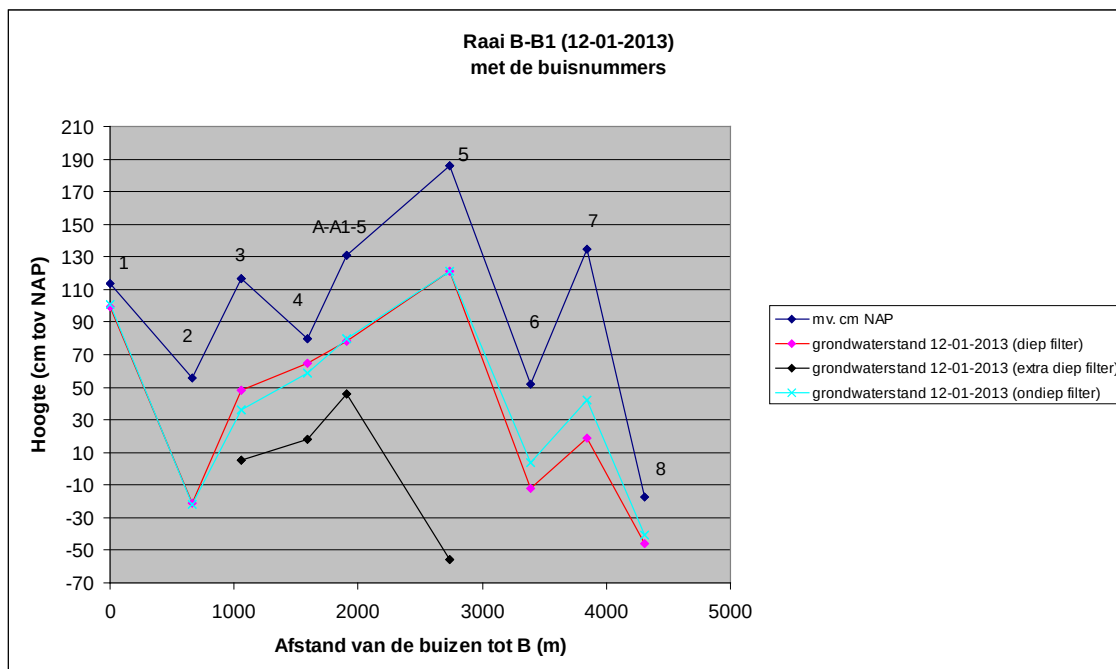
In afb. 34 is in de diepste filters, vanaf buislocatie A-A1-5, visueel duidelijk een verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning waar te nemen ('kegel') die globaal doorloopt tot aan buislocatie B-B1-7. Het puttenveld (Ritskebos) ligt het dichtst bij de buislocaties B-B1-5 en B-B1-6. De relatief grootste verlaging van de grondwaterstand is waar te nemen op buislocatie B-B1-5. Door de sterk reducerende werking van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand in het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand is de verlaging van de freatische grondwaterstand (ondiepe filters) vanaf locatie A-A1-5 tot aan buislocatie B-B1-7 veel minder goed waar te nemen (visueel alleen op de buislocaties A-A1-5 en B-B1-5).

In afbeelding 34 is vanaf locatie A-A1-5 tot aan locatie B-B1-1 visueel een tweede verlaging van de grondwaterstand ('kegel') door grondwaterwinning waar te nemen. De verlaging van de grondwaterstand is op buislocatie B-B1-2 het grootst. De locatie ligt in het centrum van een 25 cm cirkelvormige berekende verlagingsslijn in afb. 13. De dichte keileem begint op deze locatie op een diepte van 75 cm -mv en is ca. 115 cm dik. De reducerende invloed van de keileem op de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand vanuit het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand is op dit meetmoment nihil. Ook op andere natte meetmomenten blijkt de invloed van de keileem op de gemeten stijghoogteverschillen niet groot te zijn (maximaal 7 cm). Zoals eerder vermeld ligt de locatie op de flank van een helling naar een laaggelegen Dobbe. Naast de minder reducerende invloed van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand moet ook nog worden opgemerkt, dat een deel van het neerslagoverschot via laterale stroming over de keileem in de Dobbe stroomt (vaak plasdras tijdens langdurige perioden met neerslagoverschot, bijvoorbeeld winter) en niet ter plaatse van de buislocatie in de ondergrond infiltreert. Hierdoor is de netto flux, die normaliter via wegzijging in de ondergrond infiltreert, tijdens het GHG-moment geringer dan op andere locaties. Dit heeft natuurlijk ook invloed op het stijghoogteverschil (geringer) tussen de freatische grondwaterstand en de grondwaterstand onder de keileem.

Op buislocaties B-B1-3 en B-B1-4 zijn tijdens dit meetmoment in het middelste filter hogere grondwaterstanden gemeten dan in het ondiepe filter. De stijghoogteverschillen bedroegen respectievelijk 12 en 6 cm. Er kunnen diverse oorzaken zijn, zoals een periode met vorst al dan niet in combinatie met een verandering in luchtdruk (verandering weertype, vorst en sneeuw). Twee dagen voor het onderhavige opnamemoment brak er in het noorden van Nederland een koudeperiode aan. De nacht

voor het opnamemoment en een deel van de opnamedag heeft het in het gebied licht gevoren. De genoemde weersinvloeden kunnen van invloed zijn op de gemeten verschillen, zoals op buislocatie B-B1-3. Dit type stijghoogteverschil is tijdens de gehele meetperiode alleen op dit meettijdstip gemeten. Verder kan nog worden vermeld dat de locatie ligt in een relatief vlak perceel (afb. 3) met een diep filter (-d) die is geplaatst in een laag zandige keileem.

Op locatie B-B1-4 hebben we ook op een ander meetmoment (14-11-2012) een hogere grondwaterstand in het middelste filter gemeten dan in het ondiepste filter, alleen was deze toen minder groot (4 cm). De weersgesteldheid was op dat moment relatief rustig (ook enkele dagen voorafgaand aan de meting) en het had niet gevoren. De locatie ligt op ca. 20 meter afstand ten zuiden van een sterk (ca. 100 cm) opgehoogd perceel (afb. 4). Het 50 cm lange filter begint op een diepte van 130 cm -mv. en is geheel geplaatst in een 50 cm dikke tussenlaag goed doorlatend zwak lemig keizand die begint op een diepte van 120 cm -mv. De dichte keileem begint op een diepte van 65 cm -mv. Het is mogelijk dat de laag keizand (weinig weerstand) soms iets wordt gevoed (kwel) door het geïnfilterde water vanuit het aanliggend hoger gelegen gebied. Dit betekent echter wel dat deze laag door moet lopen tot in het aanliggende perceel (dit is niet nader onderzocht).

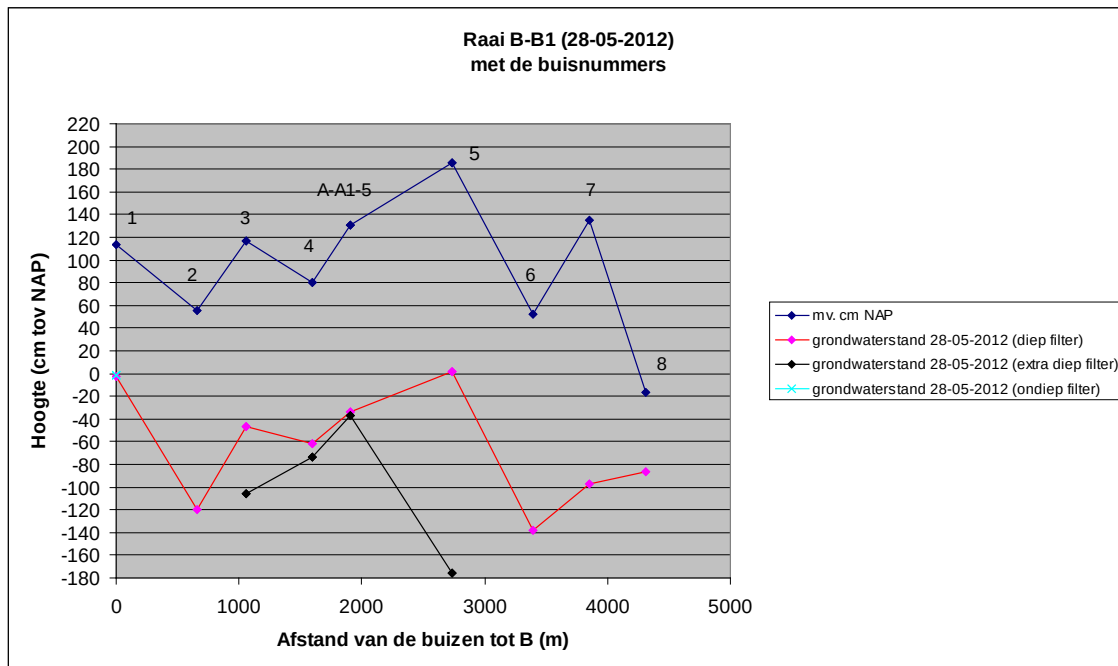


Afbeelding 34 Maaiveldhoogte en de gemeten freatische grondwaterstand (in cm t.o.v. NAP) op 12-01-2013 in de buizen langs raai B-B1.

Op het 'droge' moment (afb. 35) kunnen we zien dat de freatische grondwaterstand het maaiveld vrij goed volgt. Verder zijn er t.o.v. het relatief natte opname moment minder grote of geen stijghoogteverschillen gemeten. Dit komt omdat alle ondiepe filters (uitgezonderd filter B-B1-1) droog staan (-o), waardoor er geen stijghoogteverschillen kunnen worden gemeten en/of doordat de freatische grondwaterstand op sommige locaties door de keileemlaag is gezakt (B-B1-6 en B-B1-7). Verder is tijdens dit opnamemoment de verticale weerstand in het doorstroomde profiel aanzienlijk kleiner dan op het relatief natte meetmoment, waardoor de reducerende werking van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning vanuit het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand beperkt is.

In afb. 35 zijn in het verloop van de grondwaterstand in de diepste filters, visueel twee 'verlagingskegels' waar te nemen. De eerste 'verlagingskegel' loopt vanaf buislocatie B-B1-1 (diepste filter staat op deze locatie niet in het praemorenale zand) tot aan buislocatie A-A1-5 en is het diepst op buislocatie B-B1-2. De tweede 'verlagingskegel' is veel dieper (nabij het puttenveld) en loopt vanaf buislocatie A-A1-5 door tot tenminste aan buislocatie B-B1-8. De verlaging van de grondwaterstand is het grootst op locatie B-B1-5. Door de sterk reducerende werking van de keileem op de verlaging van de grondwaterstand in het pakket onder de keileem naar de freatische grondwaterstand is de

verlaging van de freatische grondwaterstand op de locaties B-B-1-3 en B-B1-5 aanzienlijk beperkt. Op het meetmoment zijn er op deze locaties stijghoogteverschillen gemeten van respectievelijk 59 cm en 132 cm. Op locatie B-B1-5 hebben we te maken met een schijnspiegel. Doordat de verticale weerstand van het doorstroomde bodemprofiel door aanwezigheid van keileem tijdens het GHG moment aanzienlijk groter is dan tijdens het GLG moment moet men bij een eventuele toekenning van een bepaalde verlaging van de grondwaterstand rekening te houden met het feit dat GHG op deze locaties minder is verlaagd dan de GLG.



Afbeelding 35 Maaiveldhoogte en de gemeten freatische grondwaterstand (in cm t.o.v.NAP) op 28-05-2012 in de buizen langs raai B-B1.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, W.J.M. de Groot, H.R.J. Vroon, F.J.E. van der Bolt, A.J. van Kekem, 2010. Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk. Wageningen, Alterra. Rapport 1735.
- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Wageningen, PUDOC.
- Bakker, J.W., J.J. van den Akker, P. Cornelissen en D. Boels, 1995. Oorzaak en preventie van schade aan wegen door vochtonttrekking door bomen. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 318.
- Bohemen, P.J.M. van, 1981. Toename van de productie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW-nota 1298.
- Bouwmans, J.M.M., 1990. Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Utrecht, Nota Secretariaat TCGB.
- Brouwer, F., J.A.M. ten Cate en A. Scholten, 1996. Bodemgeografisch onderzoek in landinrichtingsgebieden; bodemvorming, methoden en begrippen. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 157. Tweede, gewijzigde druk, bewerkt door J.A.M. ten Cate, H. Kleijer en J. Stolp.
- Cate J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, maart 1977. Onderzoek naar de invloed van de wateronttrekking door het pompstation te Tietjerksteradeel (Noordbergum + Ritskebos) op de stijghoogte van het grondwater. Utrecht, Nota Technisch-Secretariaat, GW 279.
- Dodewaard E. van en G. Rutten, 1974 "De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Tietjerksteradeel". Wageningen, STIBOKA. Rapport 1027.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H. Th. L. Massop, 2006. Verdroging veelal systematisch overschat; in: H2O, nr. 21, pag. 39-43.
- Gaast, J.W.J. van der en E. Kiestra, 2008. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het kader van de inrichting van de EHS in de westelijke randzone van het Fochteloërveen. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1329.
- Heesen, H. van en G. Westerveld, 1966. Karakterisering van het grondwaterstandsverloop op de bodemkaart. Cultuurtechnisch tijdschrift, jaargang 5.
- Heesen, H. van, 1971. De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten. Boor en Spade 17, p. 127 - 149. Wageningen, Stiboka.
- Knibbe M. en B. Marsman, 1961. Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden. Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no. 16). Wageningen, Stiboka.
- Krabbenborg, A.J., 1983. Standaardvocht karakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1680.
- Laat, P.J.M., 1972. Een automatische berekening met behulp van een digitale computer van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking volgens het algoritme van Rijtema. Wageningen, LH, afd. Cultuurtechniek. Scriptie
- Laat, P.J.M., 1982. MUST a simulation model for unsaturated flow. Report of international Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.
- Locher en de Bakker 1987. Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch
- Kleijer, H. en E. van Dodewaard, 1977. "Waterwinning Tietjerksteradeel(Noordbergum): profielbeschrijvingen van diepboringen. Toelichting op meetgegevens". Wageningen, STIBOKA. Rapport 1367.
- Holst, A.F. van en H. Makken, 1978. "Droogteschade Bergum. Bodemkundig-hydrologische inventarisatie van 20 kwekerijpercelen van de relatieve verdamping voor twee hydrologische situaties.". Wageningen, STIBOKA. Rapport 1402.

-
- Stoffelsen, G.H. en A.F. van Holst, 1981. "Waterwinning Tietjerksteradeel : bodemkundig - hydrologisch onderzoek naar grondwaterstands dalingen en droogteschade". Wageningen, STIBOKA. Rapport 1461.
- Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekkingen. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota nr. 578.
- Ritzema, H.P., G.B.M. Heuvelink, M. Heinen, P.W. Bogaart, F.J.E. van der Bolt, M.J.D. Hack-ten Broeke, T. Hoogland, M. Knotters, H.T.L. Massop en H.R.J. Vroon, 2012. Meten en interpreteren van grondwaterstanden : analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Wageningen, Alterra. Rapport 2345.
- Sluijs, P. van der en Th. Van Egmond, 1976. Facetten van grondwatertrappen in zandgronden. Wageningen, Stiboka. Rapport 1329.
- Sluijs, P. van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. H2O tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 15-3: 42-46.
- Sluijs, P. van der en H.C. van Heesen, 1989. Veranderingen in de berekening van de GHG en GLG. Landinrichting 29, 1: 18-21.
- Soesbergen, G. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.
- Stolp, J. en H.R.J. Vroon, 1990. Een snelle methode voor het berekenen van kritieke z-afstanden en verzadigingstekorten bij twee fluxen (2 en 1 mm/dag) in gelaagde bodemprofielen tijdens de veldopname. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 92.
- Stol, P.H., 1960. Grondwaterstanden onder verschillende klimatologische omstandigheden. Overdruk uit het landbouwkundig tijdschrift 72 ste jaargang no. 18.
- Vroon, H.R.J. & F. Brouwer, 2008. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het waterwingebied "Vierlingsbeek". Alterra, Wageningen, Alterra. Rapport 1758.
- Vroon, H.R.J. en G.H. Stoffelsen, 2012. Verkennend onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Mander (fase 1). Wageningen, Alterra. Rapport 2325.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven en ondergrond in Nederland: De Staringreeks. Wageningen, ICW en STIBOKA. ICW-rapport nr. 18 en STIBOKA-rapport nr. 1932.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentiekarakteristieken en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks. Wageningen, Alterra-rapport nr. 153.

Bijlage 1 Reken- en raadpleeggegevens

Reken- en raadpleeggegevens voor de TCGB-tabel van de buislocaties in de raaien A-A1 en B-B1 voor weidebouw in het waterwingebied Noordbergum.

Raai	Buislocatie (Alterra)	Bodemtype en grondwater trap (Gt)	TCGB-aanduiding			Huidige hydrologische situatie in cm - Mv.		
			Bovengrond vocht karakteristiek	Dikte (cm) effectieve wortelzone	Ondergrondtype	CHG (geschat)	GVG (bere-kend)	GLG (geschat)
A-A1	1	zWpx/F-Vao	D	30	O9	20	45	125
A-A1	2	Hn35x/Vbo	D	25	O9	30	60	155
A-A1	3	Hn55x/Vbo	D	30	O8	30	55	130
A-A1	4	cHn55x/F-Vbo	C	35	O8	30	65	170
A-A1	5	cHn55x/F-Vld	B	35	O8	45	80	190
A-A1	6	Hn53/F-Vbo	C	30	O3	25	50	135
A-A1	7	cbZg55x-Vao	C	30	O9	20	45	125
B-B1	1	cHn55x-Vao	C	30	O4	20	50	150
B-B1	2	cHn53x-Vld	C	35	O9	65	95	195
B-B1	3	cHn53x/F-Vld	B	35	O9	70	100	190
B-B1	4	cHn55x/F-Vbo	C	35	O8	25	60	165
B-B1	5	Hn53x-Vld	B	30	O3	60	100	240
B-B1	6	cHn55x/G-Vbd	C	40	O8	30	70	215
B-B1	7	cHn53x-VIld	B	40	O9	95	130	250
B-B1	8	cbZg55x-IIla	C	30	O9	20	40	90

Bijlage 2 Algemene gegevens van de stambuizen en de door Alterra bijgeplaatste peilbuizen

Naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Bovenkant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filterlengte (cm)	Opmerking
L0053-ed	194728	578646	117	-24	-400	50	
A0053-o	194728	578646	117	-3	-105	100	Alterrabuis
L0118-ed	196353	582752	110	-8	-490	50	
A0118-o	196353	582752	110	-4	-90	85	Alterrabuis
A0118-d	196353	582752	110	-6	-180	30	Alterrabuis
P0074-ed	196193	579442	100	46	-591	100	
P0074-o	196193	579442	100	47	-122	50	
P0112-ed	196328	583378	152	40	-521	100	
P0112-o	196328	583378	152	44	-105	50	
A0112-d	196328	583378	152	-6	-200	30	Alterrabuis
P0114-ed	194360	582354	111	-13	-623	100	
P0114-d	194360	582354	111	-13	-190	50	
A0114-d	194360	582354	111	-8	-280	50	Alterrabuis
P0125-ed	195003	581667	120	-13	-697	100	
P0125-o	195003	581667	120	-11	-100	50	
A0125-o	195003	581667	120	-11	-90	85	Alterrabuis
A0125-d	195003	581667	120	-13	-260	50	Alterrabuis
L0126-ed	195543	581049	78	-16	-619	100	
L0126-o	195543	581049	78	-15	-120	50	
A0126-d	195543	581049	78	-12	-210	50	Alterrabuis
P0129-ed	197008	581706	92	41	-518	100	
P0129-o	197008	581706	92	42	-125	50	
A0129-d	197008	581706	92	-4	-200	20	Alterrabuis
P0151-ed	194022	578385	63	-12	-490	100	
P0151-o	194022	578385	63	-11	-140	100	
A0151-d	194022	578385	63	-8	-250	50	Alterrabuis

Algemene gegevens van de stambuizen en de door Alterra geplaatste peilbuizen.

Naam	X-coör-Dinaat	Y-coör-dinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Bovenkant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filterlengte (cm)	Opmerking
A-A1-1-o	193760	581360	-9	-5	-105	50	
A-A1-1-d	193760	581360	-9	-5	-255	100	
A-A1-2-o	194401	581380	29	-5	-100	50	
A-A1-2-d	194401	581380	29	-5	-220	100	
A-A1-3-o	194965	581324	23	-5	-80	50	
A-A1-3-d	194965	581324	23	-6	-245	50	
A-A1-4-o	195425	581280	76	-5	-90	50	
A-A1-4-d	195425	581280	76	-5	-180	100	
A-A1-4-ed	195425	581280	76	-5	-300	50	
A-A1-5-o	196015	581228	131	5	-95	100	
A-A1-5-d	196015	581228	131	5	-200	100	
A-A1-5-ed	196015	581228	131	5	-240	50	
A-A1-6-o	196626	581196	172	-5	-140	100	
A-A1-6-d	196626	581196	172	-5	-240	50	
A-A1-7-o	197240	581142	2	-5	-180	100	
A-A1-7-d	197240	581142	2	-5	-250	50	
B-B1-1-o	195576	583087	114	-6	-150	100	
B-B1-1-d	195576	583087	114	-6	-240	50	
B-B1-2-o	195723	582438	56	-5	-100	100	
B-B1-2-d	195723	582438	56	-5	-300	50	
B-B1-3-o	195809	582060	117	-5	-100	100	
B-B1-3-d	195809	582060	117	-5	-220	100	
B-B1-3-ed	195809	582060	117	-5	-340	50	
B-B1-4-o	195957	581540	80	-5	-100	100	
B-B1-4-d	195957	581540	80	-5	-180	50	
B-B1-4-ed	195957	581540	80	-5	-280	50	
B-B1-5-o	196149	580398	186	-6	-120	100	
B-B1-5-d	196149	580398	186	-6	-220	100	
B-B1-5-ed	196149	580398	186	-6	-450	50	
B-B1-6-o	196315	579782	52	-6	-80	100	
B-B1-6-d	196315	579782	52	-6	-260	50	
B-B1-7-o	196390	579322	135	8	-110	100	
B-B1-7-d	196390	579322	135	8	-320	100	
B-B1-8-o	196571	578893	-17	-6	-80	50	
B-B1-8-d	196571	578893	-17	-6	-200	50	

- **Peilbuisnummer/naam:** naam of nummer van de buis. A-A1-x/B-B1-x-buizen (raai A-A1en B-B1) zijn buizen die door Alterra zijn geplaatst. De overige buizen zijn bestaande buizen van Vitens of overige instanties.
- **X-coördinaat:** X-coördinaat in meters.
- **Y-coördinaat:** Y-coördinaat in meters.
- **Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm):** hoogte van het maaiveld in cm t.o.v. NAP.
- **Bovenkant buis (cm -mv.):** Bovenkant van de grondwaterstandsbuis in cm t.o.v. maaiveld.
- **Onderkant filter (cm -mv.):** Onderkant filter in cm t.o.v. maaiveld.
- **Opmerking:** eventuele opmerkingen die relevant zijn voor de metingen.

Bijlage 3 Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstands- buizen en stambuizen

Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf januari 2012 t/m maart 2013
Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf januari 2012 t/m maart 2013.

Naam	Datum														
	17-01-2012	12-03-2012	28-03-2012	13-04-2012	27-04-2012	13-05-2012	28-05-2012	14-06-2012	28-06-2012	14-07-2012	27-07-2012	14-08-2012	28-08-2012	14-09-2012	28-09-2012
L0053-ed	214	217	226	220	206	192	170	195	200	203	194	168	164	172	188
A0053-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
L0118-ed	95	95	123	115	97	91	102	107	92	107	110	66	72	67	N
A0118-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	89	75	Dr	Dr	32	50	43	N
A0118-d	87	91	121	110	90	81	97	93	77	83	103	37	52	46	N
P0074-ed	165	168	185	185	167	148	212	167	168	173	166	110	99	113	146
P0074-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	109	99	112	Dr
P0112-ed	104	106	129	127	114	110	159	118	106	119	119	82	87	85	97
P0112-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	94	95	94	Dr
A0112-d	109	111	133	132	119	116	119	124	111	125	125	94	95	94	104
P0114-ed	202	204	212	210	196	181	165	178	182	186	178	146	148	157	166
P0114-d	88	93	110	134	122	103	78	101	96	113	91	22	36	29	76
A0114-d	96	102	114	136	131	106	88	103	103	111	96	38	38	39	81
P0125-ed	192	195	208	206	186	160	155	168	165	179	168	130	136	138	152
P0125-o	Dr	Dr	Dr	Dr	dr	91	dr	dr	85	Dr	dr	32	58	55	63
A0125-o	dr	dr	dr	dr	dr	89	dr	dr	83	Dr	dr	33	57	55	61
A0125-d	166	172	182	178	166	131	122	135	138	153	135	102	91	108	112
L0126-ed	116	122	135	142	123	81	78	90	95	100	94	20	50	48	69
L0126-o	92	100	110	110	110	79	78	87	83	dr	93	19	41	36	66
A0126-d	96	105	122	134	117	85	81	92	85	104	93	34	44	34	67
P0129-ed	106	108	131	131	116	106	166	129	123	133	125	87	90	85	110
P0129-o	94	102	Dr	Dr	Dr	111	160	125	Dr	Dr	118	72	70	64	112
A0129-d	94	101	128	138	125	109	114	128	126	145	118	78	71	66	111
P0151-ed	99	103	112	105	94	69	72	82	91	94	84	60	52	65	76
P0151-o	87	94	Dr	93	62	33	64	80	67	86	75	24	17	20	60
A0151-d	82	92	107	92	68	30	67	78	71	88	75	28	15	23	61

Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf januari 2012 t/m maart 2013.

Naam	Datum											
	14-10-2012	27-10-2012	14-11-2012	28-11-2012	14-12-2012	28-12-2012	12-01-2013	29-01-2013	13-02-2013	27-02-2013	13-03-2013	28-03-2013
L0053-ed	146	141	153	168	165	183	183	196	214	217	226	220
A0053-o	62	51	66	73	74	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
L0118-ed	58	62	75	69	76	83	86	95	95	95	123	115
A0118-o	40	41	59	60	57	68	71	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A0118-d	42	43	61	71	58	70	73	90	87	91	121	110
P0074-ed	77	65	84	94	95	117	135	135	165	168	185	185
P0074-o	76	63	82	93	93	116	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
P0112-ed	79	79	88	75	87	91	93	100	104	106	129	127
P0112-o	90	89	96	86	97	99	100	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A0112-d	90	90	96	86	97	100	101	106	109	111	133	132
P0114-ed	Ow	Ow	123	Ow	140	168	171	178	202	204	212	210
P0114-d	Ow	Ow	28	Ow	28	50	54	67	88	93	110	134
A0114-d	25	28	36	58	44	45	65	81	96	102	114	136
P0125-ed	109	106	126	140	135	155	155	167	192	195	208	206
P0125-o	21	18	53	22	53	85	86	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A0125-o	19	19	21	21	51	83	85	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A0125-d	98	96	101	132	55	127	126	135	166	172	182	178
L0126-ed	Ow	Ow	40	Ow	48	71	73	84	116	122	135	142
L0126-o	Ow	Ow	37	Ow	38	58	55	72	92	100	110	110
A0126-d	Ow	Ow	33	Ow	37	60	57	77	96	105	122	134
P0129-ed	73	74	86	79	88	108	98	108	106	108	131	131
P0129-o	46	43	63	49	65	82	83	Dr	94	102	Dr	Dr
A0129-d	47	44	65	53	66	83	84	95	94	101	128	138
P0151-ed	Ow	Ow	27	Ow	55	81	78	87	99	103	112	105
P0151-o	Ow	Ow	14	Ow	28	58	56	79	87	94	Dr	93
A0151-d	15	13	13	Ow	Ow	17	55	81	82	92	107	92

Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen vanaf maart 2012 tot april 2013.

Naam	Datum															
	28-03-2012	13-04-2012	27-04-2012	13-05-2012	28-05-2012	14-06-2012	28-06-2012	14-07-2012	27-07-2012	14-08-2012	28/08/2012	14-09-2012	28-09-2012	14-10-2012	27-10-2012	14-11-2012
A-A1-1-o	81	71	69	77	101	93	69	28	44	65	41	75	22	Ow	11	10
A-A1-1-d	82	77	75	80	102	93	73	38	72	70	49	73	28	Ow	13	19
A-A1-2-o	100	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	64	82	82	66	96	55	20	42	55
A-A1-2-d	103	105	113	114	133	130	105	66	84	85	68	99	56	24	41	57
A-A1-3-o	Dr	Dr	75	Dr	Dr	Dr	75	43	Dr	65	60	Dr	45	27	31	36
A-A1-3-d	85	75	79	80	105	100	78	54	76	71	60	81	50	40	39	38
A-A1-4-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	82	Dr	94	Dr	Dr	70	26	40	62
A-A1-4-d	109	121	132	134	149	152	129	87	100	98	91	16	71	31	24	62
A-A1-4-ed	109	120	131	133	149	151	129	89	101	100	92	119	76	39	36	64
A-A1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	76
A-A1-5-d	98	99	107	122	165	165	149	135	138	142	144	153	136	114	110	77
A-A1-5-ed	124	145	153	151	168	160	142	124	128	132	130	139	119	83	90	94
A-A1-6-o	98	93	93	93	113	106	85	51	83	80	64	81	33	14	17	32
A-A1-6-d	99	94	93	93	114	106	85	51	84	74	64	82	34	16	18	33
A-A1-7-o	87	72	78	81	101	92	68	47	75	71	62	81	43	Ow	10	19
A-A1-7-d	89	71	78	82	102	95	76	62	83	80	70	80	61	Ow	49	47
B-B1-1-o	82	89	90	96	115	127	111	107	98	92	73	97	46	Ow	Ow	12
B-B1-1-d	88	92	92	99	117	130	114	108	99	93	74	98	47	Ow	Ow	15
B-B1-2-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	98	Dr	Dr	Dr	77	83	89
B-B1-2-d	143	163	164	166	176	163	148	136	131	135	138	140	115	75	90	89
B-B1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	97	73	78
B-B1-3-d	179	160	161	163	164	166	164	155	156	147	137	157	131	116	72	80
B-B1-3-ed	182	209	220	218	223	226	207	195	173	175	197	191	179	133	127	129
B-B1-4-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	48	64	65	39	62	29	14	15	21
B-B1-4-d	109	116	121	127	142	127	103	63	68	69	44	66	32	17	19	17
B-B1-4-ed	125	141	145	144	154	145	130	110	110	114	117	121	99	75	79	77
B-B1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	124	Dr	Dr	116	68	78	75
B-B1-5-d	140	152	171	177	184	209	213	145	131	125	135	150	115	68	77	74
B-B1-5-ed	318	346	353	352	362	341	327	318	299	298	317	298	297	248	249	256
B-B1-6-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	79	Dr	Dr	Dr	46	70	66
B-B1-6-d	153	182	185	179	190	186	161	131	141	143	145	150	116	69	89	83
B-B1-7-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	102	105	107
B-B1-7-d	198	219	228	225	232	232	219	197	187	189	201	200	190	144	143	133
B-B1-8-o	65	49	57	59	Dr	61	48	28	58	58	N	49	27	16	N	33
B-B1-8-d	61	50	57	58	69	58	46	31	55	56	N	47	31	22	N	34

Gemeten grondwaterstanden (cm -mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen vanaf maart 2012 tot april 2013.

Naam	Datum								
	28-11-2012	14-12-2012	28-12-2012	12-01-2013	29-01-2013	13-02-2013	27-02-2013	13-03-2013	28-03-2013
A-A1-1-o	11	9	Ow	6	24	17	36	39	69
A-A1-1-d	11	13	Ow	21	Ow	22	43	47	69
A-A1-2-o	56	21	20	44	18	20	75	77	88
A-A1-2-d	59	24	21	54	21	60	78	81	92
A-A1-3-o	32	29	29	33	43	38	55	58	Dr
A-A1-3-d	45	34	Ow	50	45	48	61	65	75
A-A1-4-o	56	21	21	51	35	55	76	77	Dr
A-A1-4-d	56	21	21	51	34	55	77	78	94
A-A1-4-ed	59	27	19	51	51	58	79	80	95
A-A1-5-o	68	40	18	51	35	51	74	75	Dr
A-A1-5-d	70	41	21	53	37	54	76	78	89
A-A1-5-ed	98	67	69	85	87	91	112	114	126
A-A1-6-o	28	24	30	44	48	42	54	68	92
A-A1-6-d	29	24	30	45	48	42	54	68	92
A-A1-7-o	20	20	21	24	45	41	41	44	74
A-A1-7-d	21	22	23	26	20	21	55	57	77
B-B1-1-o	Ow	Ow	Ow	13	Ow	15	46	50	66
B-B1-1-d	7	Ow	Ow	15	Ow	Ow	48	51	69
B-B1-2-o	95	67	54	78	55	88	Dr	Dr	Dr
B-B1-2-d	102	66	54	77	Ow	88	112	119	129
B-B1-3-o	73	53	51	81	Dr	72	88	Dr	Dr
B-B1-3-d	80	54	54	69	41	74	90	98	118
B-B1-3-ed	142	101	95	112	144	127	155	160	171
B-B1-4-o	20	14	16	21	13	14	53	59	75
B-B1-4-d	26	17	17	15	17	22	54	60	76
B-B1-4-ed	93	62	61	62	92	79	101	106	116
B-B1-5-o	92	51	40	65	69	71	99	116	Dr
B-B1-5-d	91	51	30	65	69	72	99	116	126
B-B1-5-ed	286	226	224	242	261	258	291	295	301
B-B1-6-o	73	31	13	48	20	65	Dr	Dr	Dr
B-B1-6-d	104	52	39	64	65	80	117	125	138
B-B1-7-o	Dr	Dr	65	93	Dr	105	Dr	Dr	Dr
B-B1-7-d	158	106	91	116	146	134	162	164	184
B-B1-8-o	21	22	0	24	18	33	43	44	61
B-B1-8-d	27	16	8	29	27	36	44	44	59

Opmerkingen:

De afkorting Dr is gebruikt als de buis tijdens de opname droog stond; de afkorting Ow is gebruikt als de buis tijdens het meetmoment onder water stond en er niet kon worden gemeten. Is er tijdens een meetmoment in een buis niet gemeten dan is de afkorting N gebruikt

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2468
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2468
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

