



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

H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop



ALTERRA
WAGENINGEN UR

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

H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht (projectnummer 5240812-01).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, december 2014

Alterra-rapport 2597
ISSN 1566-7197

Vroon, H.R.J. en H.T.L. Massop, 2014. *Verkennd onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Holten (fase 1)*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2597. 80 blz.; 42 afb.; 9 tab.; 29 ref.

In opdracht van de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht heeft Alterra in de periode november 2013 t/m september 2014 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs vijf raaien in het waterwingebied Holten (fase 1).

Als gevolg van grondwateronttrekking door het waterleidingbedrijf Vitens is in deze omgeving een verlaging van de grondwaterstand opgetreden. De ACSG onderzoekt op verzoek van Gedeputeerde Staten (GS) van Overijssel de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand. Het doel van dit onderzoek is het puntsgewijs, langs vijf raaien, verzamelen van relevante informatie over de bodemgesteldheid en de huidige freatische grondwaterstand. Daarnaast zijn de nu in het waterwingebied aanwezige grondwaterstandsbuizen 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 in of net boven het watervoerende pakket soms overeenkomen met de werkelijke freatische grondwaterstand. Voor twee van de zeven stambuizen blijkt, dat er geen significant verband aanwezig is tussen de gemeten stijghoogten in het watervoerend pakket (diepe filters) en de freatische grondwaterstanden (ondiepe filters). Voor één bodemprofiel is o.a. op basis van gemeten standen de verzadigde doorlatendheid van het keilempakket geschat op 1,7 cm/dag. In de bodemprofielen op de stuwwal of op de flank ervan komen veelvuldig weerstandbiedende lagen voor in de vorm van o.a. keileem of warvenklei. Deze lagen hebben vaak een dominante en/of sturende invloed op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand. Deze weerstandbiedende lagen hebben ook grote invloed op de doorwerking van de verlaging van de diepe grondwaterstand door grondwaterwinning vanuit het watervoerende pakket naar de freatische grondwaterstand. Deze invloed is niet overal gelijk.

De resultaten zullen door de ACSG onder meer worden gebruikt voor het vaststellen van de grootte en de omvang van de verlaging van de (freatische) grondwaterstand. De resultaten zullen ook worden gebruikt bij het nog uit te voeren gebiedsdekkend bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2). Aan de hand van deze informatie kan de ACSG uitspraken doen over de doorwerking van de verlaging van de diepe 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.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 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	13
	1.1 Achtergronden van het onderzoek	13
	1.2 Doel	14
	1.3 Werkwijze	14
2	Fysiografie	17
	2.1 Ligging en huidig bodemgebruik	17
	2.2 Bodemkundig-landschappelijke beschrijving	17
3	Methode	24
	3.1 Beoordeling van het bestaande peilbuizenmeetnet	24
	3.1.1 Bodemkundige gegevens	24
	3.1.2 Hydrologische gegevens	25
	3.1.3 Huidige hydrologische situatie	26
	3.2 Verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens	27
	3.2.1 Bodemkundige en bodemfysische gegevens	28
	3.2.2 Berekening van de GVG	29
	3.2.3 Peilbuisgegevens en doorlatendheid	29
	3.3 Dwarsdoorsneden	30
4	Resultaten	34
	4.1 Bodem en grondwatertrappen	34
	4.2 Rekengegevens: resultaten van de verwerking van bodemkundige en hydrologische gegevens tot rekengegevens	34
	4.2.1 Bodemfysische gegevens	34
	4.2.2 Hydrologische gegevens van de stambuislocaties	35
	4.2.3 Hydrologische gegevens van de buislocaties met alleen korte meetreeksen	47
	4.3 Dwarsdoorsneden	57
	4.3.1 Algemeen	57
	4.3.2 Opbouw diepere ondergrond en isohypsenbeeld 28-04-1995	57
	4.3.3 Beschrijving van de dwarsdoorsneden	61
	Literatuur	70
	Aanhangsel 1 Reken- en raadpleeggegevens voor de TCGB-tabel van de buislocaties (Alterra) in de raaien voor weidebouw	72
	Aanhangsel 2 Algemene gegevens van de stambuizen	73
	Aanhangsel 3 Gemeten grondwaterstanden	75

Woord vooraf

In opdracht van de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht heeft Alterra in de maanden november 2013 t/m september 2014 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs vijf raaien in het waterwingebied Holten (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 Holten van waterleidingbedrijf Vitens dat gelegen is aan de Geskesdijk te Holten.

Het onderzoek is uitgevoerd door ing. H.R.J. Vroon, ir. H.T.L. Massop, G.H. Stoffelsen en ing. E. Kiestra. De grondwaterstandsmetingen in de grondwaterstandsbuizen zijn voornamelijk uitgevoerd door firma Bos uit Nijkerk.

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 Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht heeft Alterra in de periode november 2013 t/m september 2014 een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd langs vijf raaien in het waterwingebied Holten (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 Overijssel de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand.

Op basis van hydrologisch onderzoek, dat door diverse cultuurtechnische bureaus is uitgevoerd, zijn verschillende verlagingssbeelden van de freatische grondwaterstand ontstaan, die nogal sterk van elkaar verschillen. Ter ondersteuning van het onderzoek naar de verlaging van de freatische grondwaterstand door de grondwaterwinning alsmede ter oriëntatie op de uit te voeren kartering van het gehele invloedsgebied van de grondwaterwinning (binnen de vastgestelde 5 cm-verlagingsslijn) heeft de ACSG aan Alterra verzocht een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uit te voeren.

In het onderzoeksgebied komen in het 'ondiepe' bodemprofiel veelvuldig weerstandbiedende lagen voor. Dit zijn lagen in het bodemprofiel die een dominante en/of sturende invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand, zoals lössleem, keileem en warvenklei. Hierdoor 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. 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 grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Holten.

Om een indruk te krijgen van het effect van de winning op de freatische grondwaterstand, mede ook ter verificatie van de met een model vastgestelde freatische verlaging, heeft de ACSG aan Alterra gevraagd om de verkenning uit te voeren op een aantal puntlocaties langs vijf vooraf vastgestelde raaien (Afb. 12) in casu de bodemgesteldheid en de huidige hydrologische situatie te onderzoeken.

De resultaten van het onderzoek zullen door de (ACSG) te Utrecht onder meer worden gebruikt als belangrijke hulpinformatie voor het vaststellen van de grootte en de omvang van de verlaging van de freatische grondwaterstand door het waterbedrijf Vitens. Verder zullen de resultaten worden gebruikt bij het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) dat mogelijk in 2015 uitgevoerd zal gaan worden.

Tenslotte zal de informatie worden gebruikt om te bepalen of de in het gebied aanwezige weerstandbiedende lagen (veelal keileem en lössleem) 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. Aan de hand van deze informatie kan de ACSG uitspraken doen over de doorwerking van de verlaging van de diepe grondwaterstand vanuit het pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand (GHG en GLG).

In het onderzoeksgebied komt een groot aantal (ca. 184) grondwaterstandsbuizen voor waarin regelmatig een grondwaterstand wordt of werd gemeten. Voor het onderzoek zijn niet alle grondwaterstandsbuizen relevant. Dit betekent dat eerst is onderzocht in welke mate deze 184 buizen relevant zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand en/of de filterstelling aanzienlijk buiten het boorbereik ligt. Dit is gebeurd op basis van een aantal selectiecriteria. In eerste instantie is er op basis van de continuïteit van de meetreeksen (tenminste 10 jaar) en diepte van de filterstelling (tot maximaal ca. 5 á 6 m-mv.), uitgezonderd een aantal relevante 'diepere' buizen (tot ca. 12 m - mv.) die op de hogere delen van de stuwwal liggen, een selectie gemaakt van de buizen die bij het verdere onderzoek zijn betrokken. Daarna is op basis van de info uit het TOP 10 VECTORBESTAND van

Nederland bekeken welke buizen in wegbermen en/of langs sloten en op erven of in de bebouwing liggen. Deze buizen zijn niet betrokken bij het onderzoek. Vervolgens zijn de geselecteerde buizen in het veld bezocht en beoordeeld op ligging en verdeling.

Er zijn op de locaties van de al aanwezige grondwaterstandsbuizen in het onderzoeksgebied geen profielbeschrijvingen gemaakt, waardoor ook geen informatie beschikbaar is over de filterstelling van de buizen in relatie tot de opbouw van het bodemprofiel. Om dit probleem te ondervangen is van elke geselecteerde meetlocatie een profielbeschrijving gemaakt. Als er één of meerdere weerstandbiedende lagen boven de filterstelling voorkomen, dan is/zijn naast deze buis één of meerdere nieuwe buizen geplaatst waarbij de diepte van de filterstelling is afgestemd op deze la(a)g(en). Alle geselecteerde buizen zijn opgenomen in de raaien. Indien van deze buizen een GHG en een GLG is berekend dan zijn deze buizen ook gebruikt om het GHG- en GLG-moment vast te stellen.

Uiteindelijk heeft Alterra op 39 puntlocaties, met een onderlinge afstand van gemiddeld ca. 430 meter langs vijf vooraf vastgestelde raaien (Afb. 12), een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd. Voor het vastleggen van de bodemgesteldheid per boorlocatie is met een Edelmanboor informatie verzameld over de profielopbouw van de bodem tot net onder het GLG-niveau (indien mogelijk of anderszins tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 5 á 6 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 in de door Alterra geplaatste buizen en in stambuizen gemeten grondwaterstanden of berekend met behulp van regressieanalyse. De informatie is vervolgens per punt vertaald naar een TCGB-code en de GHG, GVG en GLG. Ook zijn op een aantal 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. 1 jaar twee keer per maand (rond de 14^e en de 28^e) de grondwaterstand gemeten. Het meten van de grondwaterstanden in de peilbuizen is grotendeels door firma Bos uit Nijkerk uitgevoerd.

Voor het onderzoeken van een eventuele samenhang tussen de grondwaterstanden in buizen met de korte meetreeksen en de grondwaterstanden in de stambuizen is gebruik gemaakt van regressieanalyse met behulp van het statistische programmapakket GENSTAT (VSN, 2012). Om de mate van samenhang van de grondwaterstanden tussen de buizen met korte meetreeksen (alle door Alterra geplaatste buizen) en stambuizen zo goed mogelijk te beschrijven is gekozen voor een regressie met behulp van polynomen (1^e (lineaire functie) t/m 4^e graads ($y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 + e$)). Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is, dat in de periode waarover wordt gecorreleerd de grondwaterstand in de stambuizen het traject tussen het GHG- en het GLG-moment bestrijkt. De GHG's en GLG's van de buizen met korte meetreeksen zijn naast een veldschatting ook geschat (indien mogelijk) met het regressiemodel met de hoogst verklaarde variantie, de laagste standaardfout en natuurlijk een significante samenhang met de meetgegevens van één van de betreffende zeven stambuizen.

Verder zijn van iedere raai op twee momenten (een relatief droog en een relatief nat moment) 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. 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.

Uit het onderzoek is gebleken, dat vooral in het bodemprofiel op de stuwwal of op de flank ervan veel weerstandbiedende lagen in de vorm van keileem, warvenklei en lössleem binnen boorbereik voorkomen, die in meer of mindere mate invloed hebben op de hoogte en de fluctuatie van de freatische grondwaterstand. Op sommige locaties zijn namelijk minder of meer langdurige verschillen gemeten tussen de gemeten grondwaterstanden in filters die geplaatst zijn in het pakket onder deze lagen en de gemeten grondwaterstanden in filters die net boven of op de bovenste weerstandbiedende laag zijn geplaatst. Op een groot aantal buislocaties is in het ondiepste filter geen freatische grondwaterstand gemeten, omdat het filter gedurende de meetperiode droog stond. Er mag echter

niet zonder meer worden geconcludeerd, dat de aanwezige weerstandbiedende la(a)g(en) in het doorstroomde bodemprofiel geen invloed heeft op de hoogte en fluctuatiegrootte van het freatische grondwater, omdat de periode waarin de grondwaterstand is gemeten relatief droog is geweest. Hierdoor is mogelijk een deel van de weerstandbiedende lagen, die ervoor zorgen dat er schijnspiegels optreden, tijdens de meetperiode nog niet maximaal 'gezet' en/of kan er nog voldoende berging in het profiel aanwezig zijn geweest, waardoor het neerslagoverschot niet heeft gestagneerd op deze la(a)g(en).

Van één bodemprofiel is o.a. op basis van gemeten standen de verzadigde doorlatendheid van het keileempakket geschat op 1,7 cm/dag op basis van gemeten stijghoogteverschillen, dikte van het keileempakket en de wegzijgingsflux onder ca. GHG-omstandigheden.

Verder blijkt ook, dat de gemeten grondwaterstand in twee (28CP0061-d en 28CP0099-d) van de zeven stambuizen geen goede afspiegeling is van de freatische grondwaterstand. Op basis van regressieanalyse van de gemeten grondwaterstand in de stambuizen met de gemeten grondwaterstanden in de bijbehorende filters die geplaatst zijn net boven of op de keileem/warvenklei (korte meetreeks) of met de grondwaterstanden in andere stambuizen zijn de GXG's op deze locaties geschat.

Indien we alle informatie van de stambuislocaties in beschouwing nemen dan blijkt dat de periode waarin is gemeten relatief droog is geweest. Het GLG-moment is in alle stambuizen ruimschoots overschreden. Dit betekent dat de GLG's van de grondwaterstanden die zijn gemeten in de door Alterra geplaatste buizen middels regressiemodellen (indien een significant verband is aangetoond) met behulp van polynomen kan worden geschat.

Het GHG-moment is alleen in stambuis 28CP0061-d een aantal malen overschreden. In de overige stambuizen is het GHG-moment vanaf ca. 1 meter tot maximaal enkele decimeters niet bereikt. Dit betekent dat de uitkomsten van de GHG schattingen minder betrouwbaar zijn en dat we deze waarden met de nodige zorgvuldigheid dienen te hanteren. De schattingen van de GHG op deze buislocaties zijn dan ook vooral gebaseerd op veldschattingen.

Er blijken in dit gebied tussen de diverse grondwaterstandsbuizen grote faseverschillen voor te komen, die onder ander worden veroorzaakt door het verschil in berging, invloed van de winning, ligging van de buis, 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. Voor het maken van dwarsdoorsneden van de freatische grondwaterstand rond het GHG- en GLG-moment dient men zich daarom dan ook te richten op de grondwaterstanden die zijn gemeten in de relatief ondiepe buizen. Dit geldt ook voor het bepalen van het GHG- en GLG-moment voor het uitvoeren van gerichte opnames van de freatische grondwaterstand die zullen worden verricht in het mogelijk toekomstig gebiedsdekkende bodemkundig/hydrologisch onderzoek (fase 2) om de schattingen van de GHG en GLG op de boorlocaties te onderbouwen.

Alterra heeft op 30 nieuwe locaties profielbeschrijvingen gemaakt en grondwaterstandsbuizen geplaatst. Uit de resultaten blijkt dat in het gebied dat ligt tussen de buislocaties A-A1-10 en A-A1-1 dermate diepe grondwaterstanden (aanhangel 1, VVG's ca. 3 tot meer dan 6 m - mv.) voorkomen, dat hier de grondwaterstand in zowel de huidige als in de onbeïnvloede situatie geen invloed heeft op de groei van de gewassen. Daarnaast is het profiel in het fluctuatietraject van het grondwater veelal opgebouwd uit leemarm, grof zand met zeer ongunstige capillaire eigenschappen (ca. 40 á 50 cm), waardoor deze profielen al snel tot de hangwaterprofielen worden gerekend (van Soesbergen *et al.*, 1986). Dit geldt ook voor het gebied dat ligt rond buislocatie A-B1-4.

Op negen locaties is in het fluctuatietraject van het freatische grondwater één of meerdere weerstandbiedende la(a)g(en) in de vorm van lössleem, warvenklei en/of keileem aangetroffen. De weerstandbiedende lagen komen vooral voor in het gebied dat ligt op en langs de flank van de stuwwal of in de hogere gebiedsdelen ten oosten en zuidoosten van Holten.

Om het effect van deze weerstandbiedende lagen op de grondwaterstand met behulp van metingen te kunnen aantonen, zijn grondwaterstandsbuizen geplaatst met het filter tot vlak boven de weerstandbiedende laag en door de weerstandbiedende laag heen. Uit de metingen van de

grondwaterstanden 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 is er, als gevolg van weerstandbiedende lagen (veelal lössleem of keileem) in het bodemprofiel slechts op één buislocatie A-B1-1-o een schijnspiegel gemeten. Op de meeste buislocaties is in het ondiepste filter geen freatische grondwaterstand gemeten, omdat het filter droog stond. Er mag echter niet zonder meer worden geconcludeerd, dat de aanwezigheid van weerstandbiedende la(a)g(en) in het doorstroomde bodemprofiel geen invloed heeft op de hoogte en fluctuatiegrootte van het freatische grondwater, omdat de periode waarin de grondwaterstand is gemeten relatief droog is geweest. Hierdoor is mogelijk een deel van de weerstandbiedende lagen, die ervoor zorgen dat er schijnspiegels optreden, tijdens de meetperiode nog niet maximaal 'gezet' en/of kan er nog voldoende berging in het profiel aanwezig zijn geweest, waardoor het neerslagoverschot niet heeft gestagneerd op deze l(a)g(en). Verder zijn sommige keileemlagen zandig van karakter (28CP0128), waardoor ze weinig of geen invloed hebben op de verticale waterbeweging van het neerslagoverschot. Aangezien we, vanwege de relatief droge meetperiode, op de meeste locaties tussen het diepe en ondiepe filter geen verschil in stijghoogte of een schijnspiegel hebben kunnen aantonen, is de invloed van een weerstandbiedende laag op de GXG tijdens het schatten alleen meegenomen, wanneer het bodemprofiel boven de keileem duidelijk aanwijzingen geeft voor stagnatie. Bij twijfel hebben we de schattingen van de GXG vooralsnog gebaseerd op de gemeten grondwaterstanden in het diepste filter. Op buislocaties, waar geen grondwaterstanden zijn gemeten, is de Gt vooralsnog geschat zonder rekening te houden met de invloed van de weerstandbiedende l(a)g(en) in het doorstroomde bodemprofiel.

Voor het onderbouwen van de GXG schattingen in het onderzoeksgebied is niet alleen de grondwaterstandinformatie op de stambuislocaties van belang, maar ook de informatie op de buislocaties met korte meetreeksen (Afb. 12). Van deze buizen hebben we echter geen GXG kunnen berekenen, omdat de meetperiode hiervoor te kort is. Aangezien van deze buizen vanaf eind november 2014 twee maandelijkse meetgegevens bekend zijn, zijn deze metingen (alleen de Alterrabuizen) gecorreleerd met de meetgegevens van de stambuizen.

Van een aantal buizen is de GHG middels een regressiemodel geschat, wanneer er tussen de grondwaterstand in de Alterrabuizen en de grondwaterstand in één van de overige stambuizen een lineair verband (1^e graad polynoom) aanwezig is. Er dient hierbij wel te worden opgemerkt, dat deze schatting in het algemeen minder betrouwbaar is, omdat het GHG moment van de stambuis in de meetperiode waarover de correlatie is uitgevoerd niet is overschreden. Wanneer het regressiemodel is opgebouwd uit een 2^e, 3^e of 4^e graads polynoom, dan is het niet mogelijk om een betrouwbare schatting van de GHG te doen. Dit geldt ook voor sommige, niet reële geschatte GHG-waarden, die met behulp van een lineair regressiemodel zijn geschat. De GHG is dan geschat op basis van profielkenmerken, veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden in de betreffende buis en stambuizen.

Het GLG-moment is in alle stambuizen ruimschoots overschreden. Op grond hiervan hebben we de GLG's (indien mogelijk) van alle Alterrabuizen met behulp van regressiemodellen geschat. Van een aantal buizen is geen GHG en GLG geschat, omdat er tijdens de meetperiode geen grondwaterstand (droog) is gemeten. Op deze buislocaties is alleen de Gt geschat.

Op sommige buislocaties zijn twee verschillende Gt's geschat, omdat er in het ondiepste filter een schijnspiegel is gemeten. De natste Gt op deze locatie geldt alleen voor het ondiepst geplaatste peilfilter.

Uit de regressieanalyse blijkt, dat stambuis 28CP0017 het beste correleert met veertien Alterrabuizen die verdeeld langs alle raaien liggen, maar niet op de stuwwal. De samenhang is vooral zeer groot ($R^2 \geq 0,90$) bij niet te diepe freatische grondwaterstanden ($GHG < 200$ cm). Bij diepere GHG's neemt de samenhang snel af. Stambuis 28CL0060 heeft een zeer sterke samenhang ($R^2 \geq 0,93$) met drie Alterrabuizen die liggen in of nabij kwelgebieden in de relatief laagst gelegen gebiedsdelen van de raaien. Stambuis 28CP0099-d heeft een sterke tot zeer sterke samenhang (R^2 varieert van 0,77 t/m 0,90) met drie Alterrabuizen die liggen op de flank van de stuwwal (A-A1-10 en A-C1-1) of in de hoger gelegen gebiedsdelen langs de raaien. Buislocaties A-C1-3 en A-B1-2 met warvenklei in het doorstroomde bodemprofiel hebben respectievelijk een redelijk ($R^2 = 0,65$) en een zeer sterk verband

($R^2 \geq 0,95$) met stambuis 28CP0061-d. Op buislocatie A-C1-1 komt ook warvenklei in het doorstroomde profiel voor, maar deze buis correleert het beste met stambuis 28CP0267 die op de stuwwal ligt.

Voor het maken van dwarsdoorsneden op een relatief nat en een droger moment hebben we respectievelijk de data 28-01-2014 en 14-07-2014 genomen. Tijdens de opname van de (freatische) grondwaterstand in de grondwaterstandsbuizen varieerde de gemeten freatische grondwaterstand van rond tot enkele decimeters onder het GHG-niveau op 28-01-2014 en rond het GLG-niveau op 14-07-2014. Dit is vastgesteld aan de hand van gemeten *freatische* grondwaterstanden in de relatief 'nattere' stambuizen (GHG = < 156).

Voor de beschrijving van het verloop van de (freatische) grondwaterstand in de vijf raaien is naast de bodemopbouw van het 'ondiepe' profiel ook inzicht nodig in de opbouw van de 'diepere' ondergrond. Het Dinoloket geeft o.a. informatie over de (hydro-)geologische opbouw van de 'diepere' ondergrond. Deze vijf raaien zijn samengevoegd tot twee lange raaien (A1-D1 en B1-E1) over het puttenveld en een korte raai (C1-A). Er zijn geen raaien geprojecteerd in noordelijke richting.

Raai A1-D1

Door de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen in een deel van het traject van raai A1-D1 (Afb. 35 en 36) kunnen freatische grondwaterstand en stijghoogte in de het watervoerende pakket, waaraan op pompstation Holten water wordt onttrokken, verschillen. De filters van de bestaande grondwaterstandsbuizen staan in het watervoerende pakket of soms diep in de gestuwde afzettingen. De gemeten waterstanden in deze peilfilters zijn geïnterpreteerd als stijghoogten in het watervoerend pakket. In de ondiepe filters in de raai is op geen enkel moment een waterstand gemeten. In de diepe filters, die Alterra heeft geplaatst, is buiten het gestuwde traject (A-A1-9 t/m A-A1-6 en A1-E1 t/m A-E1-5) overal een waterstand gemeten, echter binnen het gestuwde traject staan de meeste buizen permanent droog (behalve op locatie A-A1-10). Er komen buiten het gestuwde traject geen weerstandbiedende lagen van betekenis in de ondergrond voor. Dit geldt ook voor de 'ondiepere' ondergrond op de buislocaties. In dit traject is het watervoerend pakket freatisch en zijn de stijghoogte en freatische grondwaterstand aan elkaar gelijk. Er is aan de westzijde van de stuwwal een relatief sterke afname van het verhang te zien. Dit kan mogelijk worden verklaard door een toename van de dikte van het watervoerend pakket en daarmee van het doorlaatvermogen van de ondergrond in combinatie met de invloed van grondwaterwinning. De winning heeft namelijk invloed op de stijghoogte ter plekke van de waterscheiding in de stuwwal en mogelijk ook op de ligging ervan. Door onttrekking wordt de verlaging van de stijghoogte vanaf het puttenveld van het pompstation Holten tot aan de waterscheiding afgevlakt en mogelijk iets naar het westen verlegd, waardoor de voeding in westelijke richting afneemt. In of nabij het gebied liggen meerdere grondwateronttrekkingen, zoals Nijverdal en Markelo, die elkaar in delen van het gebied beïnvloeden. Aangezien er geen raaien in noordelijke en verder in zuidoostelijke richting zijn geplaatst is het niet mogelijk om de invloed van de bovengenoemde winningen in beeld te krijgen. De winning van Holten is op basis van de metingen duidelijk zichtbaar als een afpompskegel in het puttenveld van het pompstation. Ten oosten van de winning is de grondwaterstand gelijk aan de stijghoogte in het watervoerend pakket. Op 14-7-2014 ligt de freatische grondwaterstand rond het GLG-niveau. Als gevolg van grondwaterwinning blijkt dat de freatische grondwaterstand in zuidoostelijk richting het maaiveld pas volgt vanaf A-D1-3-d. Buislocatie A-D1-4 ligt in een sterk door sloten gereguleerd kwelgebied. Nabij A-D1-5-d loopt het maaiveld sterk op, de grondwaterstand volgt deze stijging voor een groot deel.

Het verloop van de freatische grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 lijkt sterk op de situatie op 14-07-2014. Vanaf buislocatie A-D1-3 tot even voor buislocatie A-D1-4 neemt de invloed van de winning snel af. Door de drainerende werking van watervoerende sloten, die op korte afstand van buislocatie A-D1-4 zijn gelegen, wordt de 'top' van de freatische grondwaterstand enigszins afgevlakt. Vanaf deze locatie tot aan buislocatie A-D1-5 volgt de freatische grondwaterstand het maaiveld goed. Hier is de invloed van de winning niet meer waar te nemen.

Raai B1-E1

Een kort traject ten zuidwesten van het gestuwde traject is freatisch evenals het traject vanaf A-E1-1-d (Afb. 38 en 39) in noordoostelijke richting. Een smal traject van de raai in het zuidwesten ligt buiten

het traject met gestuwde afzettingen. In de 'diepere' ondergrond zijn hier geen weerstandbiedende lagen van betekenis aangetroffen. Dit geldt ook voor de 'ondiepe' ondergrond op buislocatie A-B1-5. In dit traject is de freatische grondwaterstand dan ook gelijk aan de stijghoogte. In de gestuwde afzettingen komen overal weerstandbiedende lagen voor die soms doorlopen tot aan het maaiveld (Boxtelklei). Tijdens het veldbodemkundig onderzoek zijn in de 'ondiepe' ondergrond op alle buislocaties weerstandbiedende lagen in de vorm van warvenklei, keileem en lössleem aangetroffen. In de 'ondiepe' filters in het gestuwde traject zijn waterstanden gemeten; deze waterstanden zijn als freatische grondwaterstanden geïnterpreteerd, maar zijn mogelijk schijnspiegels gezien het grote verschil met de stijghoogte (meer dan 6 m) in het onderliggende watervoerende pakket. In het traject met gestuwde afzettingen is de waterscheiding op basis van metingen aangetoond. Aan de noordoostelijke zijde van de gestuwde afzettingen is de afpompkegel van pompstation Holten herkenbaar. Ook is de invloed van de winning op de stijghoogte vanaf het puttenveld tot aan de waterscheiding in zuidwestelijke richting aangetoond. Onder invloed van winning wordt het verloop van de stijghoogte afgevlakt en mogelijk de waterscheiding iets naar het zuidwesten verlegd, waardoor de voeding in zuidwestelijk richting afneemt. Uit de resultaten van de regressieberekeningen is gebleken, dat de winning in het gestuwde traject voor een deel geen invloed heeft op de hoogte en het verloop van de freatische grondwaterstand. Er is namelijk op een aantal locaties geen verband aangetoond tussen de freatische grondwaterstanden en de stijghoogte in het watervoerend pakket. De verschillen tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte kunnen oplopen tot meer dan 6 meter. Vanaf buislocatie 28CP0128, die ligt in het puttenveld tot aan buislocatie A-E1-5 komen in de 'ondiepe' en 'diepe' ondergrond geen weerstandbiedende lagen van betekenis voor. In dit traject is de freatische grondwaterstand dan ook gelijk aan de stijghoogte. Op basis van de metingen blijkt, dat de invloed van de winning in noordoostelijke richting afneemt tot even voorbij buislocatie A-E1-4, waarna de freatische grondwaterstand het verloop van het maaiveld in noordoostelijke richting volgt. Even voor buislocatie A-E1-4 wordt de diepte van de grondwaterstand sterk beïnvloed door het waterlopensysteem van de Maatgraven met de zijtakken, die afwatert naar de Regge. Buislocatie A-E1-5 ligt in een kwelgebied. In perioden met een verdampingoverschot zakt de freatische grondwaterstand op deze locatie niet ver uit en wordt in natte perioden sterk afgevlakt door de drainerende werking van een nabijgelegen watervoerende sloot. Het verloop van de freatische grondwaterstand en stijghoogte op 28-01-2014 komt goed overeen met de situatie op 14-07-2014, alleen reikt nu de invloed van de winning vanaf het puttenveld in noordoostelijke richting niet tot even voorbij buislocatie A-E1-4, maar juist even voor buislocatie A-E1-3. Daarna volgt de freatische grondwaterstand sterk het verloop van het maaiveld.

Raai C1-A

Tijdens het maken van de profielbeschrijvingen zijn in de 'ondiepe' ondergrond op een aantal buislocaties weerstandbiedende lagen in de vorm van keileem aangetroffen. In zuidelijke richting reikt de invloed van de winning op de freatische grondwaterstand vanaf het puttenveld tot aan de waterscheiding op buislocatie 28CP0168. Door invloed van de winning lijkt het of de hoogte van de grondwaterstand ter plekke van de waterscheiding enigszins is afgevlakt, waardoor de voeding in zuidelijke richting afneemt. Uit de informatie van de 'ondiepe' boringen kan niet worden opgemaakt of er vanaf de onderkant van de boringen tot in het watervoerende pakket nog weerstandbiedende lagen voorkomen. Hierdoor weten we niet of de stijghoogte gelijk is aan de freatische grondwaterstand of dat er een verschil aanwezig is. Op buislocatie 28CP0168 is tussen de twee aanwezige filters, waarvan het diepste filter in het watervoerende pakket is geplaatst, wel een potentiaalverschil gemeten, waardoor we aan kunnen nemen dat tussen beide filters nog een weerstand van betekenis aanwezig is. Vanaf deze buislocatie richting het zuiden volgt de freatische grondwaterstand het verloop van het maaiveld. Het verloop van de freatische grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 lijkt sterk op de situatie op 14-07-2014.

Tenslotte zijn de resultaten van het onderzoek vastgelegd in dit rapport.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden van het onderzoek

Terminologie

Onder stijghoogte wordt verstaan; 'de potentiaal van het water, uitgedrukt als energiehoogte-equivalent (m). Bij het gebruik van de stijghoogte dient een referentieniveau gekozen te worden en worden andere deelpotentialen vaak verwaarloosd.'

Een schijnspiegel is: '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.'

Onder weerstandbiedende lagen wordt verstaan: 'lagen in het bodemprofiel die een dominante en/of sturende invloed hebben op de hoogte en fluctuaties van de freatische grondwaterstand, zoals lössleem, keileem en warvenklei.'

Het waterleidingbedrijf Vitens onttrekt in het gebied rondom Holten (Afb. 1, 2, 18 en 19) grondwater voor de drinkwatervoorziening en industriële doeleinden. Een groot aantal agrariërs ondervindt schade aan hun gewassen door een verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van deze winning. De Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) te Utrecht onderzoekt op verzoek van GS van Overijssel de invloed van deze grondwaterwinning op de grondwaterstand.



Afbeelding 1 en 2 Pompstation aan de Geskesdijk ten noordoosten van Holten (afbeelding rechts) en het puttenveld op het pompstationterrein (afbeelding links).

Op basis van hydrologisch onderzoek, dat door diverse cultuurtechnische bureaus is uitgevoerd, zijn verschillende verlagingssbeelden van de freatische grondwaterstand ontstaan, die nogal sterk van elkaar verschillen. Ter ondersteuning van het onderzoek naar de verlaging van de freatische grondwaterstand door de grondwaterwinning alsmede ter oriëntatie op de uit te voeren kartering van het gehele invloedsgebied van de grondwaterwinning (binnen de vastgestelde 5 cm-verlagingslijn) heeft de ACSG aan Alterra verzocht een verkennend bodemkundig-hydrologisch onderzoek uit te voeren.

Voor het onderzoek heeft de commissie ondermeer gebiedsdekkende informatie nodig over de bodemgesteldheid en de huidige hydrologische situatie. Deze informatie, die nodig is voor de uiteindelijke landbouwschadeberekeningen, is thans onvoldoende aanwezig. Verder is er ook onvoldoende informatie aanwezig over de grootte en de omvang van de verlaging van de

grondwaterstand na de ingreep. In het onderzoeksgebied komen in het 'ondiepe' bodemprofiel veelvuldig weerstandbiedende lagen (o.a. lössleem, keileem etc.) voor (Van Dodewaard en Kiestra, 1990). Hierdoor 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. 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 grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Holten.

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de huidige hydrologische situatie in het waterwingebied Holten 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. Indien er weerstandbiedende lagen aanwezig zijn dan dient men de filterstelling (filterdiepte) af te stemmen op de laagopbouw 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 ieder freatisch meetpunt een boorbeschrijving beschikbaar dient te zijn om de kwaliteit en representativiteit in zowel ruimte als in tijd van het meetpunt in te kunnen schatten. Daarnaast is aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn om een 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 o.a. de invloed van weerstandbiedende lagen op de freatische grondwaterstand te kunnen kwantificeren.

Om een indruk te krijgen van het effect van de winning op de freatische grondwaterstand, en ter verificatie van de met een model vastgestelde freatische verlaging, heeft de ACSG aan Alterra gevraagd om de verkenning uit te voeren. Op een aantal locaties langs vijf vooraf vastgestelde raaien (Afb. 12) is de bodemgesteldheid en de huidige hydrologische situatie te onderzocht. Het aantal en de ligging van de punten zijn door de ACSG in overleg met Alterra vastgesteld.

1.2 Doel

Doel van het onderzoek is het puntsgewijs, langs vijf raaien, verzamelen van relevante en betrouwbare informatie over de huidige freatische grondwaterstand in het invloedsgebied van de grondwaterwinning Holten. De resultaten zullen door de ACSG te Utrecht onder meer worden gebruikt als belangrijke hulpinformatie voor het vaststellen van de grootte en de omvang van de verlaging van de freatische grondwaterstand door het waterbedrijf Vitens. Verder zullen de resultaten van dit onderzoek worden gebruikt bij het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) dat mogelijk in 2015 uitgevoerd zal gaan worden.

Tenslotte zal de informatie worden gebruikt om te bepalen of de in het gebied aanwezige weerstandbiedende lagen (veelal keileem en lössleem) 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. Aan de hand van deze informatie kan de ACSG uitspraken doen over de doorwerking van de verlaging van de stijghoogte vanuit het pakket waaruit grondwater wordt gewonnen naar de freatische grondwaterstand (GHG en GLG).

1.3 Werkwijze

In het onderzoeksgebied (Afb. 12) komt een groot aantal (ca. 184) grondwaterstandsbuizen voor waarin regelmatig een grondwaterstand wordt of werd gemeten. Voor het onderzoek zijn niet alle grondwaterstandsbuizen relevant. Dit betekent dat eerst is onderzocht in welke mate deze 184 buizen relevant zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand en/of de filterstelling aanzienlijk buiten het boorbereik ligt. Dit is gebeurd op basis van een aantal selectiecriteria. In eerste instantie is er op basis van de continuïteit van de meetreeksen (tenminste ca. 10 jaar tot het voorjaar van 2013) en diepte van de filterstelling (tot maximaal ca. 5 á 6 m - mv.), uitgezonderd een aantal relevante 'diepere' buizen (tot ca. 12 m - mv.) die op de hogere delen van de stuwwal liggen, een selectie gemaakt van de buizen die bij het verdere onderzoek zijn betrokken. Daarna is op basis van de info

uit het TOP 10 VECTORBESTAND van Nederland bekeken welke buizen in wegbermen en/of langs sloten en op erven of in de bebouwing liggen. Deze buizen zijn niet betrokken bij het onderzoek. Vervolgens zijn de geselecteerde buizen in het veld bezocht en beoordeeld op ligging en verdeling.

Voor de locaties van de al aanwezige grondwaterstandsbuizen in het onderzoeksgebied zijn geen profielbeschrijvingen beschikbaar, waardoor ook geen informatie beschikbaar is over de filterstelling van de buizen in relatie tot de opbouw van het bodemprofiel. Voorts houdt dit in dat men op het ogenblik ook niet weet of deze buizen het verloop van de freatische grondwaterstand 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 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). Alle geselecteerde buizen zijn opgenomen in de raaien. Indien van deze buizen een GHG en een GLG is berekend dan zijn deze buizen ook gebruikt om het GHG- en GLG-moment vast te stellen. Op deze momenten is namelijk een gerichte opname van de grondwaterstand in alle buizen uitgevoerd. De informatie van de uiteindelijke geselecteerde buizen (stambuizen) worden bij het nog uit te voeren gebiedsdekkende bodemkundig-hydrologisch onderzoek (fase 2) gebruikt om de schattingen van GXG te onderbouwen.

Uiteindelijk heeft Alterra op 39puntlocaties, met een onderlinge afstand van gemiddeld ca. 430 meter langs vijf vooraf vastgestelde raaien (Afb. 12), 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 anderszins tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 5 á 6 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 door Alterra geplaatste buizen en in stambuizen gemeten grondwaterstanden. Bij sommige reeds bestaande grondwaterstandsbuizen is de GHG en GLG, vanwege de aanwezigheid van lange betrouwbare meetreeksen, niet geschat maar berekend. De informatie is vervolgens per punt vertaald naar een TCGB-code en de GHG, GVG en GLG. Ook zijn op een aantal 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. 1 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 (Afb. 3).



Afbeelding 3 *Het meten van de grondwaterstand met behulp van een peilklokje.*

Het meten van de grondwaterstanden in de peilbuizen is grotendeels door firma Bos uitgevoerd. Alterra heeft alleen de eerste twee metingen zelf verricht om te kijken of geplaatste buizen goed functioneren en om een medewerker van firma Bos de locaties van de nieuw geplaatste buizen te aan te wijzen. De meetgegevens zijn door firma Bos tweemaal per maand in een Excel-bestand naar Alterra gemaïld.

Van iedere raai zijn op twee momenten (rond het GLG-moment) en een relatief nat moment (rond het GHG-moment) in de opname periode dwarsdoorsneden gemaakt, waarin per boorlocatie, de maaiveldshoogte (cm t.o.v. NAP), de profielopbouw en de (freatische) grondwaterstand (cm t.o.v. NAP) is weergegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van het Actuele Hoogtebestand van Nederland (AHN2, 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.

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

2 Fysiografie

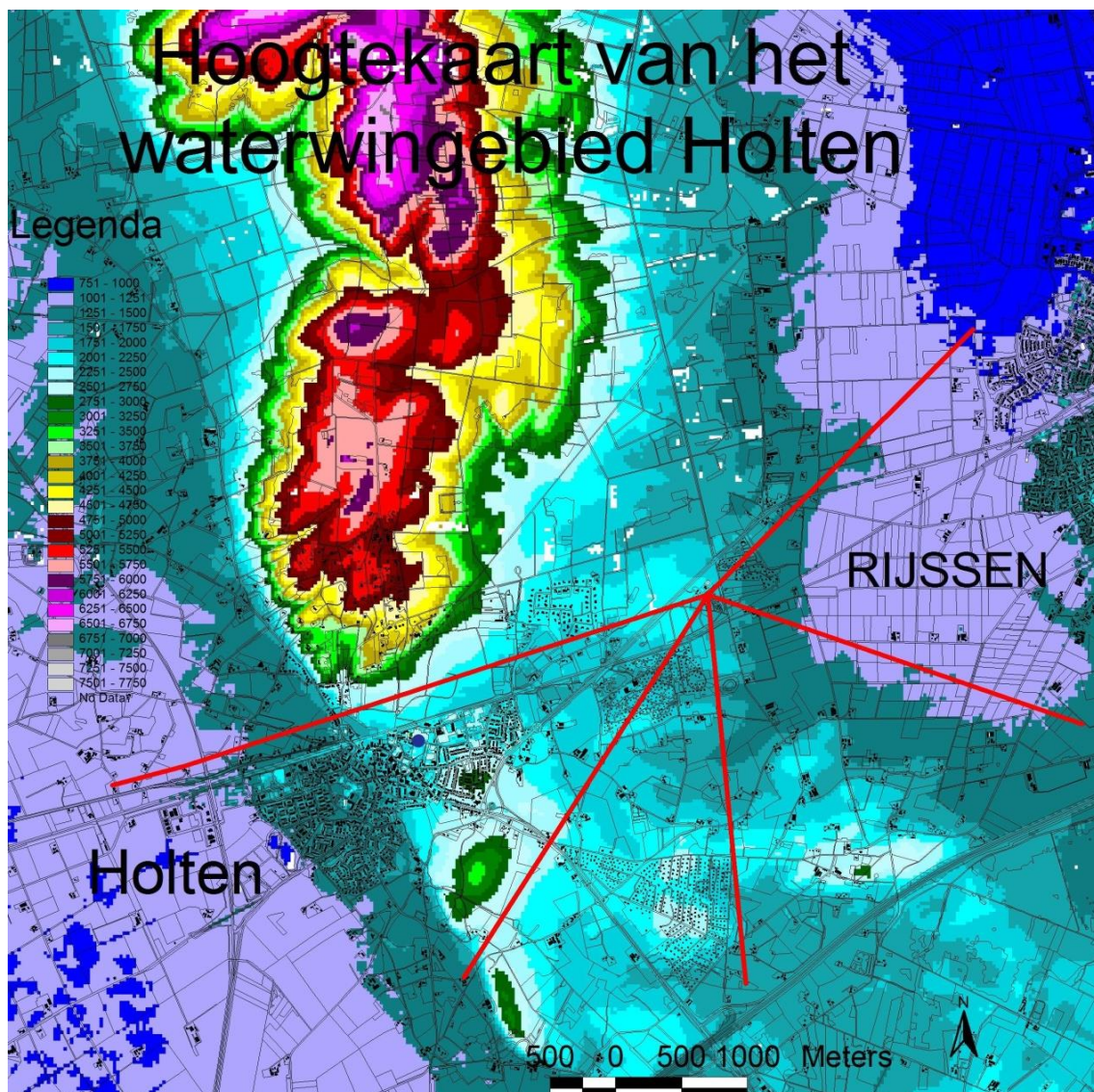
2.1 Ligging en huidig bodemgebruik

Het onderzoeksgebied ligt grotendeels ingeklemd tussen de dorpen Holten en Rijssen en wordt in het zuiden begrensd door de A1 (Afb. 4 en 12). Het onderzochte gebied komt voor op het bladen 28C en 28D van de Topografische kaart van Nederland, schaal 1 : 25.000.

Het bodemgebruik van het onderzochte gebied bestaat uit bos, weidebouw (gras en maïs) en akkerbouw.

2.2 Bodemkundig-landschappelijke beschrijving

Het onderzoeksgebied vertoont aanzienlijk hoogteverschillen (Afb. 4) die variëren van ca. 10 m + NAP in het noordoostelijk deel van het onderzoeksgebied (jonge ontginningsgronden ten noordwesten van Rijssen) tot meer dan 60 m + NAP in het gebied ten noorden van Holten (stuwwal).



Afbeelding 4 Hoogte (klassen in cm t.o.v. NAP) van het onderzoeksgebied (bron AHN2).

In het algemeen helt het gebied in noordoostelijke en westelijke richting respectievelijk sterk af richting respectievelijk Rijssen en Holten. Het landschap heeft zijn huidige vorm vooral te danken aan de invloed van het landijs. De onderlinge verschillen in hoogte van de geomorfologische eenheden zoals dekzandruggen, dekzandkoppen, dekzandvlakten (Afb. 5), essen, stuwwal, smeltwaterheuvels vormen het reliëf.



Afbeelding 5 Dekzandvlakte ten westen van Rijssen. Op de achtergrond is nog net de stuwwal ten noorden van Holten zichtbaar.

Het gebied is vrijwel geheel bedekt met afzettingen uit het pleistoceen; ze bestaan voornamelijk uit gestuwd materiaal (zand en grind), ijssmeltwaterafzettingen en dekzanden. In de voorlaatste ijstijd (Saalien) drukten grote ijsmassa's de bevroren ondergrond vooruit waardoor deze als grote platen dakpansgewijs op elkaar werden gestapeld. Zo ontstond uiteindelijk de stuwwal bij Holten (Afb. 6).



Afbeelding 6 Flank stuwwal ten noorden van Holten.

Het gestuwde materiaal bestaat voornamelijk uit grindhoudende grove zanden, die eerder in het vroeg- en midden pleistoceen door de grote rivieren zijn afgezet (Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk). Onder het landijs zette zich een grondmorene af, die uit keileem en keizanden bestaat. Dit materiaal bestaat deels uit materiaal dat door het landijs uit Scandinavië is opgenomen en tijdens het transport is fijngegreven en deels uit zand en klei dat in Duitsland en Nederland is opgenomen.

Bij het afsmelten van het landijs zetten zich voornamelijk grove zanden met grind af. Deze ijswaterafzettingen of fluvioglaciale afzettingen komen in het gebied ten zuidwesten van Rijssen voor en manifesteren zich in het landschap als heuvels en dalen.

Tijdens de laatste ijstijd (Weichselien) was de bodem tot op grote diepte permanent bevroren (permafrost). Hierdoor konden regen- en dooiwater niet in de ondergrond doordringen en stroomden over het oppervlak weg. In de stuwwallen vormden zich diepe dalen, waarlangs materiaal van hooggelegen delen werd afgevoerd. Dit materiaal zette zich in de dalmond als puinwaaier af. Het aan het oppervlak voorkomende grind (Afb. 7), dat voorkomt aan weerszijden van de Holterstraatweg, is mogelijk op deze wijze afgezet.



Afbeelding 7 Grind en stenen in de bovengrond in het gebied ten westen van Rijssen.

Tussen de stuwwallen van Rijssen en de Holterberg ontstond een stelsel van beken en werden fijne tot grove zanden met grind- en leemlagen afgezet. Deze fluvioperiglaciale afzettingen hebben veelal een gelaagd karakter.

In het laatste deel van het midden-Weichselien vonden op grote schaal zandverstuivingen plaats. Deze windafzettingen (oud dekzand) bestaan uit redelijk homogeen, veelal fijn zand, dat plaatselijk wordt afgewisseld door dunne leembandjes of grindsnoertjes. Het oude dekzand komt verspreid in het onderzoeksgebied voor en is qua dikte en oppervlakte de belangrijkste afzetting die aan het oppervlak voorkomt.

In het laat Weichselien vonden opnieuw grote verstuivingen plaats (jong dekzand). Dit materiaal is homogener en grover dan het oud dekzand. Ook dit materiaal komt verspreid aan het oppervlak voor (Dodewaard en Kiestra, 1990).

Vanaf het begin van het holoceen verbeterde het klimaat, waardoor er vrij snel weer een gesloten vegetatiedek werd gevormd. Hierdoor stopte ook de verstuiving van zand. In de lagere delen van het gebied (zuidwesten van Rijssen) met gebrekkige waterafvoer vormde zich onder mesotrofe omstandigheden zeggeveen en broekveen.

Ook de mens heeft grote invloed uitgeoefend op het landschap. In de middeleeuwen verstoorde de mens door ploegen, afplaggen en beweiding plaatselijk het vegetatiedek. Hierdoor kon de wind vat krijgen op het zand, verstoof het en werd als stuifzand in de vorm van duinen elders afgezet. Om dit verstuiven tegen te gaan zijn deze gebieden bebost.

De occupatie van het gebied begon in eerste instantie op de hooggelegen zandgronden. De bebouwing bestond hoofdzakelijk uit een aantal boerderijen die, wanneer ze niet te ver van elkaar lagen, een buurtschap vormden. Vlak bij de boerderijen zijn door de eeuwenlange potstalbemesting hooggelegen bouwlandgronden ontstaan. Deze hooggelegen escomplexen (Afb. 8) die vooral liggen in het gebied even ten noordwesten van Holten hebben, behalve langs de (steil)randen, weinig begroeiing.



Afbeelding 8 Groot escomplex met zandwegen ten noordoosten van Holten.

De laaggelegen gronden waren veelal als gras- en hooiland in gebruik (Afb. 9). Zo ontstond een 'hoevenlandschap' met een onregelmatige blokverkaveling met veel opgaande begroeiing (houtwallen) als perceelscheiding. De verder van het bedrijf gelegen gronden waren veelal nog niet ontgonnen en waren begroeid met bos, heide of vormden een moeras.



Afbeelding 9 Laaggelegen gronden met een relatief dicht slotenstelsel in het gebied ten zuidwesten van Rijssen.

Door het ontginnen en in cultuur nemen van steeds meer grond is in de loop van de twintigste eeuw de oppervlakte heidevelden sterk afgenomen. Op de plaats van de vroegere heidevelden ontstonden, mede door de invoering van kunstmest, de jonge ontginningsgronden.

De stuwwal ten noorden van Holten is grotendeels bebost. Afhankelijk van de hoogteligging en grondsoort komt naald-, loofbos of gemend bos voor.

Door de geohydrologische en geomorfologische geaardheid van het onderzoeksgebied komt tussen de Holterberg en Rijssen een aantal kwelzones voor (Dodewaard en Kiestra, 1990). De kwel komt nabij het maaiveld vooral voor in het relatief laag gelegen agrarische gebied dat grenst ten westen aan de bebouwing van Rijssen. Veel gronden in dit gebied hebben mede als gevolg van kwel periodiek te kampen met wateroverlast.

Het gebied watert in grote lijnen via een stelsel van sloten en beken af op de Regge. Een belangrijke waterloop die in het onderzoeksgebied ligt is de Maatgraven (Afb. 10) die ten oosten van Holten begint en uiteindelijk ten noorden van Rijssen uitmondt in de Regge.



Afbeelding 10 De Maatgraven direct grenzend aan de bebouwing ten westen van Rijssen.

Op het ogenblik is in delen van het gebied ten zuidwesten van Rijssen een aantal grootschalige natuurontwikkelingsprojecten in uitvoering. In dit gebied worden percelen afgeplagd (Afb. 11) en er vinden ingrepen plaats in de waterhuishouding, zoals het dempen van sloten en het verwijderen van drainage. Dit betekent dat de bodemgesteldheid in deze gebieden lokaal recentelijk sterk is gewijzigd of nog zal gaan wijzigen. Er is niet onderzocht wanneer deze ingrepen hebben plaatsgevonden en wanneer de projecten zijn afgerond. Dit valt buiten het kader van dit onderzoek.



Afbeelding 11 Recentelijk afgegraven perceel in het kader van natuurontwikkeling in het gebied ten zuidwesten van Rijssen.

3 Methode

3.1 Beoordeling van het bestaande peilbuizenmeetnet

3.1.1 Bodemkundige gegevens

In het najaar van 2013 zijn langs vijf raaien 39 grondboringen (Afb. 12) verricht en grondwaterstandsbuizen (A-A1-x, A-B1-x, A-C1-x, A-D1-x en A-E1-x buizen) geplaatst tot een diepte net onder het GLG-niveau (indien mogelijk of anders tot zover mogelijk), of tot maximaal ca. 6.00 m-mv.



Afbeelding 12 Ligging van de raaien en grondwaterstandsbuizen in het waterwingebied Holten. Het pompstation met het bijbehorende puttenveld ligt op de kruising van de raaien.

De filterstelling van de grondwaterstandsbuizen is, als het nodig was, afgestemd op de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatisch grondwater. Hierdoor kunnen er op één locatie meerdere buizen voorkomen (Afb. 12 en 13). In Afbeelding 12 zijn deze buislocaties met een x weergegeven. 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 horizonen;
- 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 13 Buislocatie A-B1-4-x ten zuiden van Holten 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 grondwaterfluctuatie worden beïnvloed, bijv. 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) en Van der Sluijs (1989). 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 tenminste ca. 10 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 13 tot maximaal 18 jaar lopend tot aan 1 april 2013. Deze periode is gekozen in verband met de redelijk constante onttrekking vanaf 1995, waardoor de hydrologie in het onderzoeksgebied door de winning vanaf dat moment niet veel meer zal zijn gewijzigd. Voor enkele geselecteerde grondwaterstandsbuizen is een periode korter dan 18 jaar aangehouden in verband met het ontbreken van grondwaterstanden of door fouten in de meetreeks. 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. 12 m lengte (stuwwal) met een filterlengte van meestal één meter. De periode waarin men in de door Alterra geplaatste peilbuizen grondwaterstanden heeft gemeten is echter te kort om GXG's te kunnen berekenen. Er zijn vanaf november 2013 tot vooralsnog eind september 2014 wel twee maandelijkse metingen beschikbaar, zodat de GXG's (schattingen) kunnen worden berekend (indien mogelijk) met behulp van regressieanalyse. Dit is geschied door de freatische grondwaterstanden die zijn gemeten in de door Alterra geplaatste buizen te correleren met de grondwaterstanden in de stambuizen. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is, dat in de periode waarover wordt gecorreleerd de grondwaterstand in de stambuizen zowel het GHG- als het GLG-moment bestrijkt. 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
VIo	40 – 80	120 – 180
VId	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 Bos 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 (variërend van 13 t/m 18 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 meetreeksen, 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. Voor het onderzoeken van een eventuele samenhang tussen de grondwaterstanden in buizen met de korte meetreeksen (responsvariabele) en de grondwaterstanden in de stambuizen (predictorvariabele) is gebruik gemaakt van regressieanalyse met behulp van het statistische programmapakket GENSTAT (VSN, 2012). Om de mate van samenhang van de grondwaterstanden tussen de buizen met korte meetreeksen (alle door Alterra geplaatste buizen) en stambuizen zo goed mogelijk te beschrijven is gekozen voor een regressie met behulp van polynomen (1^e (lineaire functie) t/m 4^e graads ($y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 + e$)). Deze vorm van regressie gaf ten opzichte van een aantal andere vormen van regressie, zoals regressie met behulp van exponentiële functies of logaritmische functies, voor alle buizen de hoogste fractie (R^2) verklaarde variantie, de laagste standaardfout en uit visueel oogpunt gezien de best passende functie door de metingen (Oude Voshaar, 1995). De GHG's en GLG's van de buizen met korte meetreeksen zijn uiteindelijk berekend (indien mogelijk) met het regressiemodel met de hoogst verklaarde variantie, de laagste standaardfout en natuurlijk een significante samenhang met de meetgegevens van één van de betreffende zeven stambuizen.

De opbrengstverandering van o.a. gras door 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 bijv. 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;
- 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 toepassing van 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 ondergrondtype. De klassenindelingen zijn gemaakt om het aantal rekeneenheden te beperken.

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

- boornummer
- raai
- bodemtype en grondwatertrap (Gt)
- TCGB-aanduiding voor:
 - bovengrond-vocht karakteristiek
 - 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 standaard eenheden: 15, 20, 25, 30, 35 en 40 cm. Deze standaarddikten zijn vastgesteld voor weidebouw (Bouwman, 1990).

3.2.1.2 Vocht karakteristieken 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 kubieke decimeter grond. De hoeveelheid beschikbaar vocht in de effectieve wortelzone wordt bepaald door gebruik te maken van een schema op basis van een reeks standaardvocht karakteristieken 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 vocht karakteristiek 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 tussenliggende 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 en 2001) 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 vochtdeficiëntie bij een flux van 2 mm/dag en 1 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). Indien 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)
- hs : Stijghoogte onder de weerstandsbiedende laag (m t.o.v. referentieniveau)
- hg : Stijghoogte boven de weerstandsbiedende laag (m t.o.v. referentieniveau)
- qv : 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 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 vijf raaien (Afb. 12, raaien A-A1, A-B1, A-C1, A-D1 en A-E1) met respectievelijk een lengte van ca. 4,7, 3,4, 2,9, 3 en 2,8 km. Het beginpunt van de raaien ligt in het centrum van het puttenveld op het terrein van het pompstation (Afb. 12, kruising van de raaien). Langs elke raai zijn op een afstand van gemiddeld 430 m in het totaal 39 grondboringen gedaan en profielbeschrijvingen gemaakt die vervolgens bodemkundig/bodemfysisch zijn geschematiseerd in 39 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 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 en 2001), 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 (rond het GHG- en GLG-moment) van de maaiveldshoogte en de grondwaterstand t.o.v. NAP gemaakt. Om de invloed van de winning op de grondwaterstand, met name de omvang van de 'afpompekegel', goed in beeld te krijgen zijn de raaien A-A1, A-D1, A-B1 en A-E1 samengevoegd tot twee raaien, namelijk A1-D1 en B1-E1.

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 liggen. 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 boring(buis) A-B1-5 (Afb. 14). Ook hebben we geen boringen verricht in de buurt van watergangen of greppels, omdat deze watergangen invloed kunnen hebben op de freatische grondwaterstand in de grondwaterstandbuizen.



Afbeelding 14 Ligging van buislocatie A-A1-7 (1 filter) even ten noordwesten van Holten.

Het is ook wenselijk dat bij de keuze van de boorlocatie in het boorgat wel freatisch grondwater wordt gemeten. Soms is dat niet mogelijk, omdat de grondwaterstand op een boorlocatie in de stuwwal te diep zit (bijvoorbeeld buislocaties A-A1-2 en A-A1-4). Hierdoor hebben we tussen deze locaties een aantal reeds bestaande buizen van Vitens meegenomen (bijvoorbeeld 28CP0267 en 28CP0268 (Afb. 15)), die soms even buiten de raaien liggen. De begindieptes van de filters van deze buizen zijn allen diep geplaatst, zodat zij ver buiten het boorbereik (vaak meer dan 10 m -mv.) van het onderhavige onderzoek liggen. Hierdoor is het niet mogelijk om objectieve uitspraken te doen of we te maken hebben met een freatische grondwaterstand of een stijghoogte (gedetailleerde informatie van een deel van het bodemprofiel ontbreekt). De grondwaterstanden die tijdens het onderzoek zijn gemeten in deze buizen dienen dus met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Van sommige stambuizen is echter wel een GHG en GLG berekend, omdat deze kunnen worden gecorreleerd met de grondwaterstanden in de Alterra buizen die qua ligging overeenkomen met deze stambuizen.



Afbeelding 15 Ligging van buis 28CP0268 even buiten raai A-A1 (links in de begroeiing).

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 ca. de 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 (rond GHG-moment) en een droog moment (rond GLG-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). 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 stijghoogte 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 en 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 AHN2 (vijf meter grid) indien het buislocaties betreft waar alleen door Alterra buizen zijn geplaatst. Bij de reeds bestaande buizen is de hoogte overgenomen die Alterra van Vitens heeft gekregen. 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 aanhangsel 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) en 'Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften' (Ten Cate *et al.*, 1995).

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 zes standaarddikten onderscheiden: 15, 20, 25, 30, 35 en 40 cm (aanhangsel 1).

Op basis van de in paragraaf 3.3.1.2 beschreven relatie, voor het toekennen van een standaardvochtkarakteristiek aan de effectieve wortelzone, zijn in dit gebied drie verschillende standaardvochtkarakteristieken onderscheiden: A, B en C (aanhangsel 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
3	(II-1-5)	A	43	39	38	36	30	22	17	16	13	11	9	7	6	5
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

4.2.1.2 Ondergrondtypering

De toedeling van de ondergrondopbouw naar één van de elf TCGB-standaardondergrondtypen heeft geresulteerd in de volgende zeven verschillende standaardondergrondtypen: O1, O3, O4, O5, O7, O9 en O11 (Tabel 4 en aanhangsel 1). In deze tabel is ook opgenomen uit welke bouwstenen de onderscheiden ondergrondtypen zijn opgebouwd.

Tabel 4

Onderscheiden standaardondergrondtypen volgens de TCGB-indeling.

Tabelcode	Profielopbouw van de ondergrond
O1	Homogeen grof zand; kritieke Z= 50 cm (Staringreeks O5)
O3	" leemarm zand; kritieke Z= 90 cm (Staringreeks O1)
O4	" zwak lemig zand; kritieke Z= 110 cm (Staringreeks O2)
O5	" sterk lemig zand; kritieke Z= 130 cm (Rijtema R4)
O7	Grof zand vanaf 60 cm beneden de effectieve wortelzone
O9	Leemlaag vanaf 60 cm beneden de effectieve wortelzone en doorlopend tot 100 cm beneden de effectieve wortelzone
O11	Moerige laag tot 20 cm beneden de effectieve wortelzone

4.2.2 Hydrologische gegevens van de stambuislocaties

Op basis van de uitgevoerde selectie op een totaal van 184 grondwaterstandsbuizen blijkt, dat er in het onderzoeksgebied slechts zeven stambuizen, 28CP0017, 28CP0099-x, 28CP0168-x, 28CP0267, 28CP0268, 28CL0060 (Afb. 16) en 28CP0061-x van Vitens (Afb. 12) overblijven met voldoende lange continue meetreeksen (variërend van 13 t/m 18 jaar), een correcte ligging en niet te diepe filters (tot maximaal ca. 12 m-mv. op de stuwwal) om een indruk te krijgen van de huidige hydrologische situatie in het onderzoeksgebied. De grondwaterstandsbuizen 28CP0070-x en 28CP0128 en L0053 (Afb. 12) kunnen in verband met te korte of hiaten in de meetreeksen niet als stambuis worden gebruikt. De informatie van deze buizen is echter wel gebruikt in de dwarsdoorsneden.

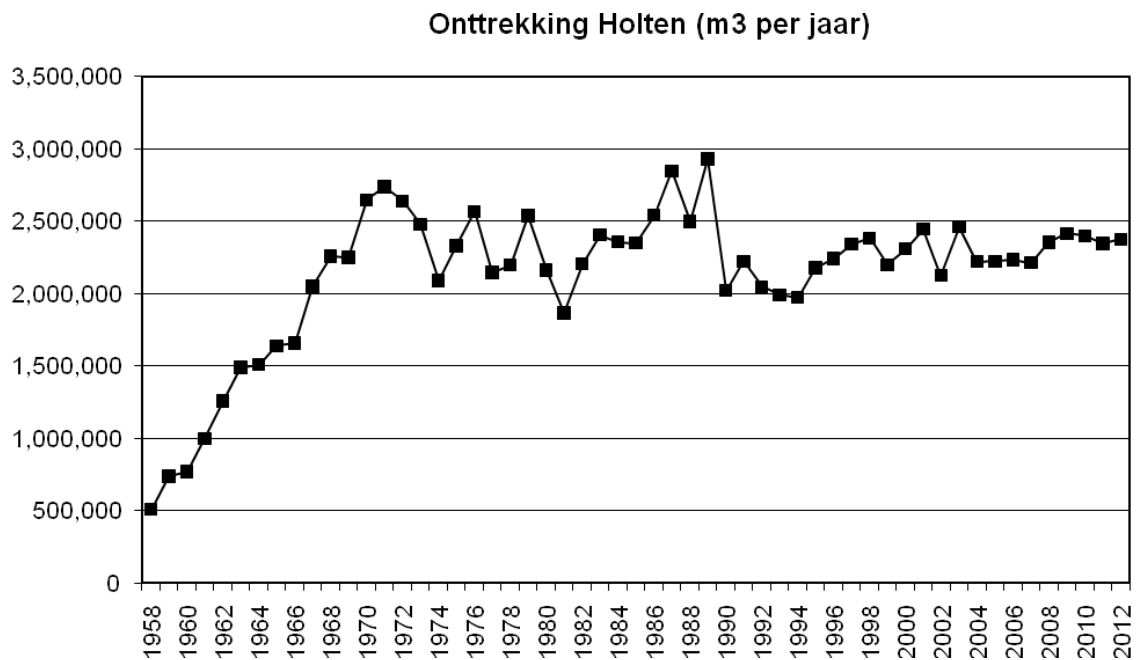


Afbeelding 16 Ligging van een geselecteerde stambuis 28CL0060 naast een droge greppel ten noordoosten van Holten.

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

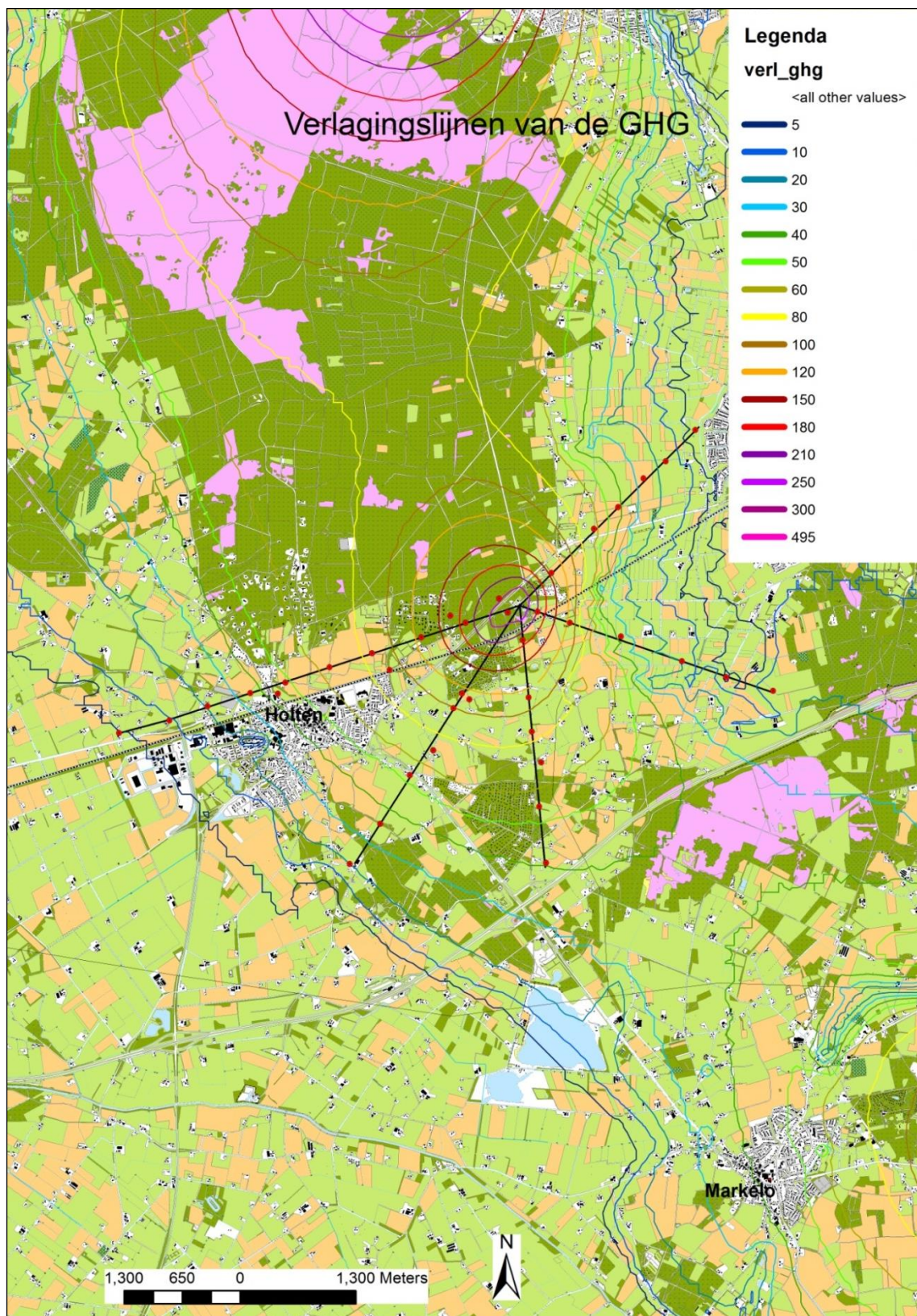
Helaas liggen de geselecteerde stambuizen niet regelmatig over het gehele gebied verdeeld en vertegenwoordigen ze niet alle in het gebied voorkomende Gt-klassen (geen 'natte' Gt's, zoals Gt Ia,

IIa, IIIa, IIIb, IVu, Vao, Vbo(d)) en bodems (Van Dodewaard en Kiestra, 1990) die van invloed kunnen zijn op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater. Verder dient nog te worden opgemerkt dat de hydrologie in het onderzoeksgebied vanaf 1995 door grondwaterwinning nauwelijks is gewijzigd vanwege een vrijwel constante onttrekking per jaar van ca. 2,4 mln m³/jaar (Afb. 17). Dit betekent dat de GHG's en GLG's van de meeste geselecteerde buizen in het onderzoeksgebied maximaal zijn berekend over de periode 1995 tot en met 1 april 2013 (18 jaar).

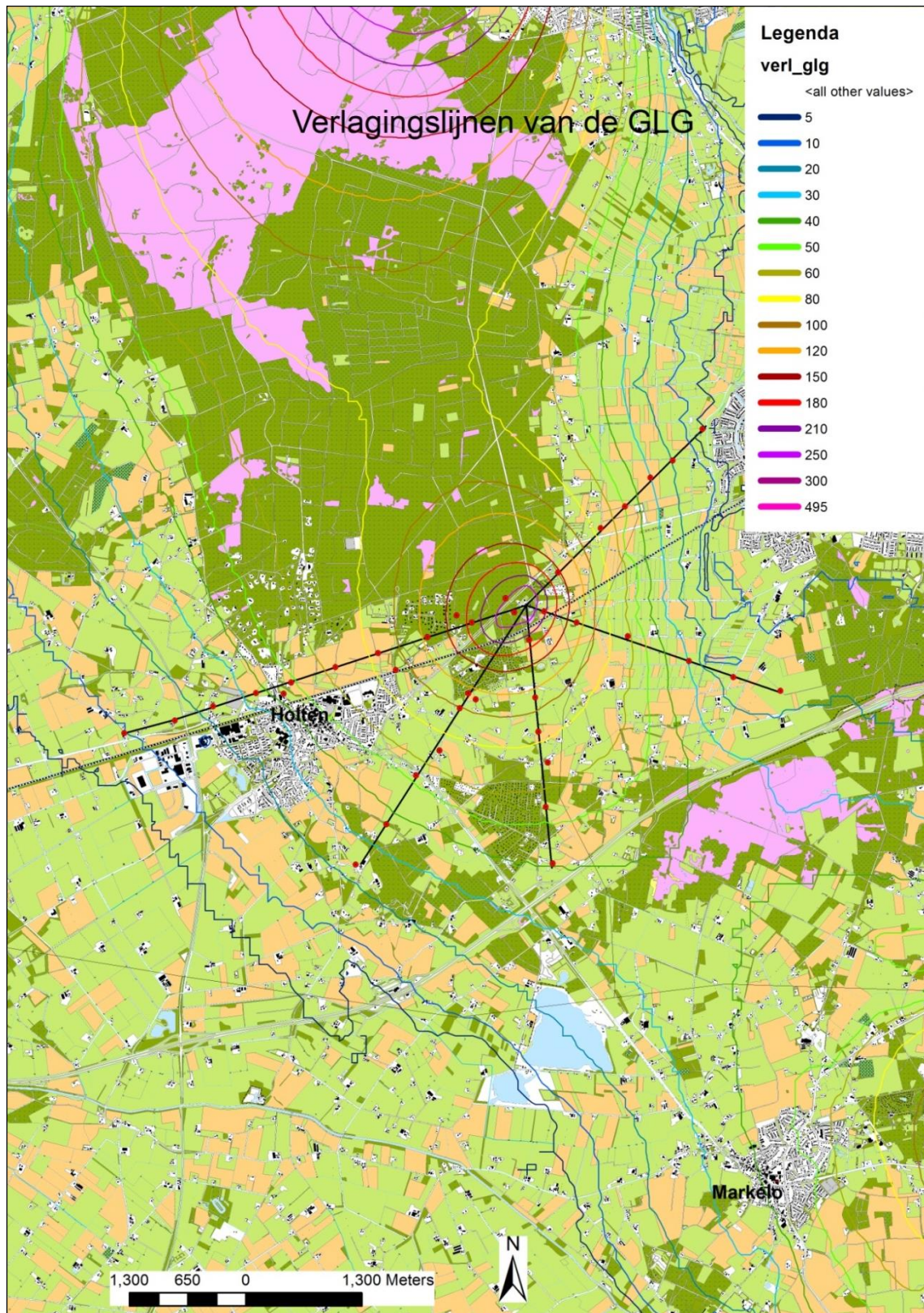


Afbeelding 17 Onttrekkingsgegevens in miljoen m³/jaar van het pompstation Holten.

In Afbeeldingen 18 en 19 staan de berekende verlaginglijnen van de GHG en GLG (cm) bij een onttrekking van ca. 2,4 mln m³/jaar weergegeven. Hierbij is ook rekening gehouden met de verlagingen die worden veroorzaakt door de pompstations die liggen in Nijverdal (noorden van Holten) en Markelo (zuidoosten van Holten). Aangezien nog veel onduidelijk is over het verloop van de verlaginglijnen en dus ook de grootte van het invloedsgebied heeft de opdrachtgever besloten om de lengte van de meeste raaien voorlopig te beperken tot ruim binnen de berekende 5 cm verlaginglijn.



Afbeelding 18 Berekende verlaging van de GHG (cm), in het ondiepe – freatische pakket in het onderzoeksgebied bij een winning van ca. 2,4 mln m³/jaar (bron ACSG).

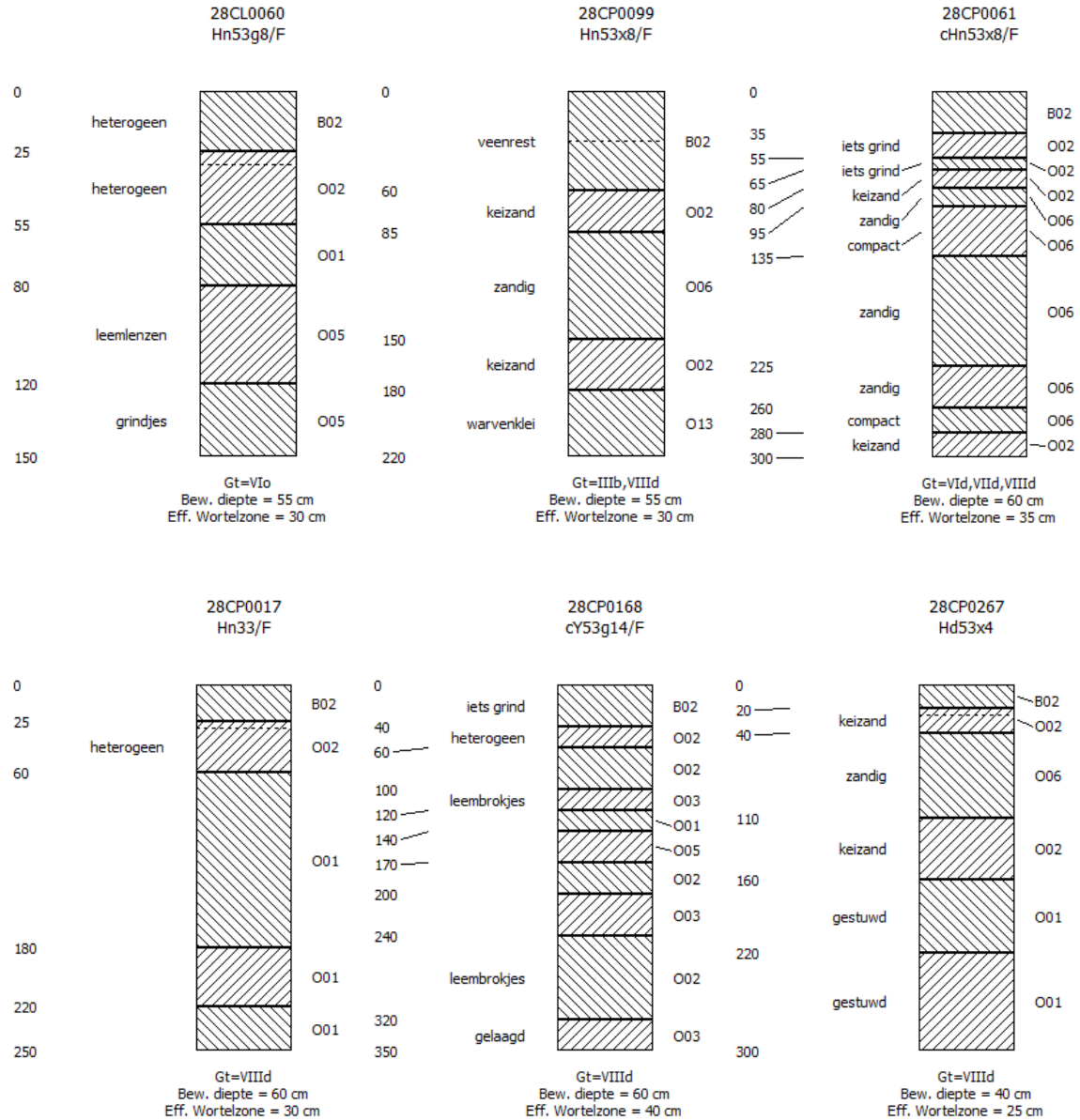


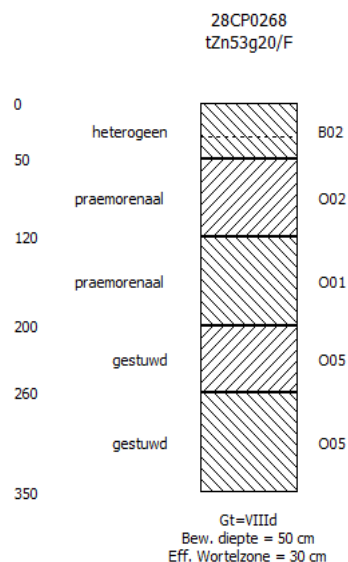
Afbeelding 19 Berekende verlaging van de GLG (cm), in het ondiepe – freatische pakket in het onderzoeksgebied bij een winning van ca. 2,4 mln m³/jaar (bron ACSG).

In Afbeelding 20 staan de geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische profielen ter plekke van de geselecteerde stambuizen weergegeven. Op drie stambuislocaties blijkt, dat het bodemprofiel in het fluctuatietraject van het freatische grondwater in meer of mindere mate is opgebouwd uit zandige of zware keileem (Buislocaties 28CP0099, 28CP0267 en 28CP0061). De zandige keileemlaag die in het bodemprofiel op buislocatie 28CP0267 net onder de bouwvoor is aangetroffen is sterk verweerd en

stagneert niet. Dat deze laag niet stagneert blijkt ook uit het voorkomen van een haarpodzolprofiel (xerogron). Deze profielen kunnen zich namelijk alleen ontwikkelen buiten de invloed van grond- en/of stagnatiewater.

Het materiaal boven de keileem bestaat uit goed doorlatend matig fijn zwak lemig keizand en dekzand. Het materiaal onder de keileem bestaat binnen boorbereik uit goed doorlatend, matig fijn, zwak lemig keizand.





Afbeelding 20 Geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische boorprofielen van de zeven stambuisbuislocaties.

Op buislocatie 28CP0099 komt op een diepte van 180 cm-mv. een zeer dichte laag warvenklei voor (Afb. 21). Dit materiaal ook wel bekkenklei genoemd bestaat uit zeer compacte laagjes zware klei met daarin soms dunne zandlaagjes die meestal een warven gelaagdheid vertonen. De bruinzwarte kleur is afkomstig van humus en fijne plantenresten die mogelijk afkomstig zijn van de afbraak van tertiare bruinkoolafzettingen in noordoost Europa. Op deze locatie hebben we het materiaal onder de warvenklei niet aan kunnen boren vanwege het voorkomen van een laag slappe warvenklei.



Afbeelding 21 Compacte laag humushoudende zeer zware warvenklei.

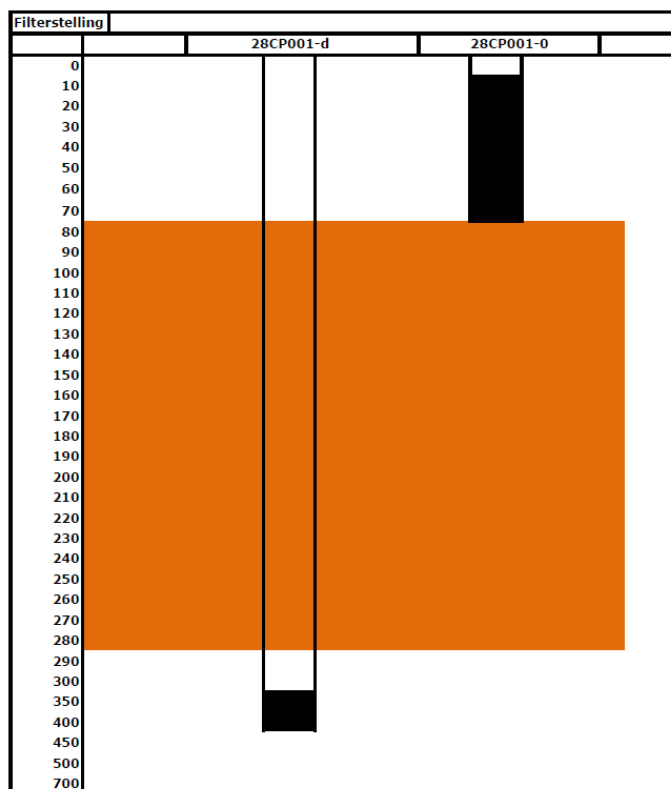
Van de stambuizen B28C0099-d en 28CP0061-d kan worden vermeld dat de gemeten grondwaterstanden in het ondiepste filter mogelijk geen goede weergave zijn van de freatische

grondwaterstand, omdat het filter namelijk geheel door de weerstandbiedende la(a)g(en) heen is geplaatst (Afb. 20 en aanhangsel 2). Om de invloed van de weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel op de grondwaterstand nader te kunnen onderzoeken en om te verifiëren of de gemeten grondwaterstand in de bestaande filters overeenkomen met de gemeten freatische grondwaterstand heeft Alterra op deze buislocaties één ondiepe grondwaterstandsbuis bijgeplaatst. Deze buizen liggen hoogstens tot een halve meter van de stambuizen verwijderd. De filterstelling (filterdiepte) is hierbij afgestemd op de weerstandbiedende la(a)g(en) in de bodem.



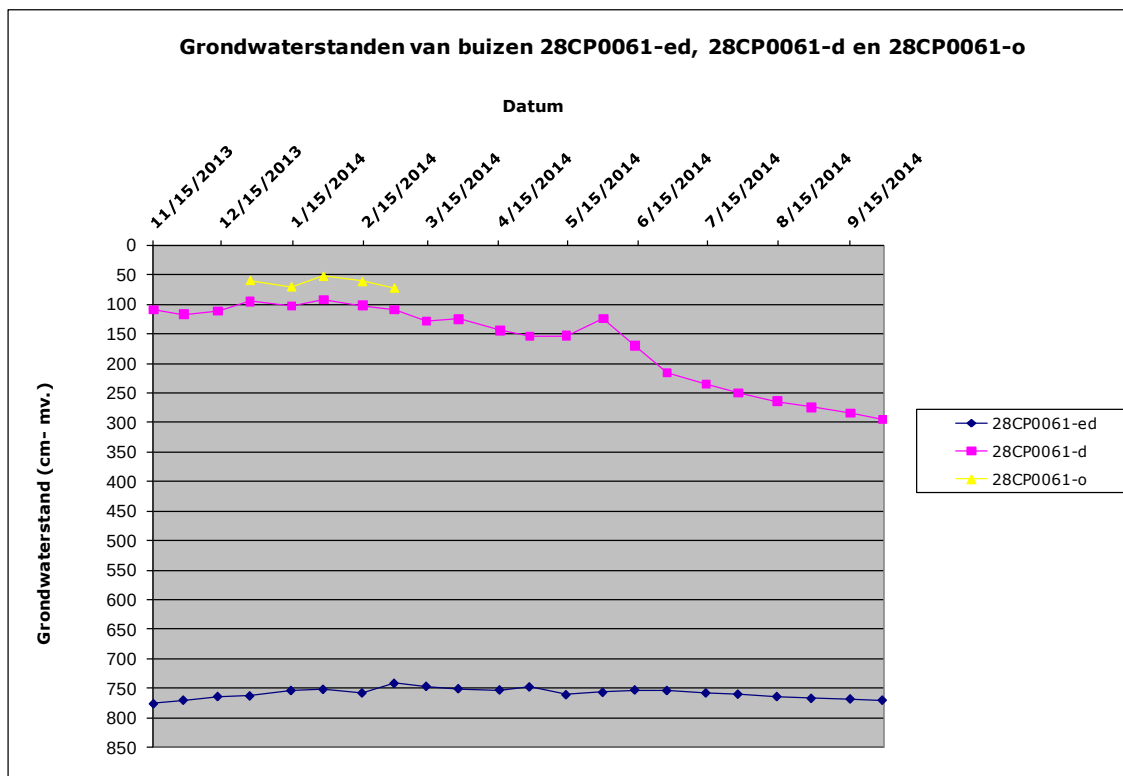
Afbeelding 22 Ligging van stambuis 28CP0061-d en buizen 28CP0061-ed en 28CP0061-o (Alterrabuis). De Alterrabuis is niet op de foto te zien, maar ligt op ca. 25 cm afstand van de stambuis onder een tegel 'begraven'.

In Afb. 23 staat als voorbeeld de filterstelling van grondwaterstandsbuis 28CP0061-d (Afb. 22) en het extra bijgeplaatste peilfilter 28CP0061-o weergegeven. Op deze buislocatie is nog een grondwaterstandsbuis (28CP0061-ed) aanwezig met een relatief diep filter die begint op een diepte van ca. 13,50 m - mv. (aanhangsel 2). Deze buis is niet in de beschouwing meegenomen, omdat de bodemkundige informatie van het bodemprofiel slechts tot ca. 3 m-mv. beschikbaar is. De peilfilters zijn onderling tot maximaal op ca. 25 cm afstand geplaatst. Voor de buizenset B28C0274-x geldt hetzelfde principe en wordt daarom niet nader beschouwd. De resultaten van de metingen van de grondwaterstand in de stambuizen en in de bijgeplaatste buizen staan vermeld in aanhangsel 3 en in Tabel 4. In Afbeelding 23 zijn de filters van de grondwaterstandsbuizen weergegeven in de vorm van een zwarte kolom. In het bodemprofiel (een matig fijn, zwak lemige laarpodzolgrond met keileem in de ondergrond beginnend op 80 cm - mv.: cHn53x8) komt één keileemlaag voor die in afbeelding met een oranje band is weergegeven. De ondergrond onder de enigszins verwerkte bovengrond (ca. 35 cm dik) is tot deze laag opgebouwd uit goed doorlatend, matig fijn, zwak lemig dekzand en uit goed doorlatend, matig fijn leemarm keizand. De 200 cm dikke keileemlaag is sterk gelaagd en is opgebouwd uit zandige en zware keileem. Op een diepte van 280 cm - mv. gaat de keileemlaag over in goed doorlatend matig fijn zwak lemig keizand. Er dient te worden opgemerkt dat we op deze locatie, in verband met te hoge grondwaterstanden, niet dieper hebben kunnen boren dan ca. 300 cm - mv. Hierdoor hebben we niet kunnen vaststellen of er tot aan de bovenkant van het filter 28CP0061-d (begint op ca. 350 cm-mv.) eventueel nog een weerstandbiedende laag voorkomt.



Afbeelding 23 Diepte en lengte van het filter (zwart) van stambuis 28CP0061-d en buis en de extra bijgeplaatste ondiepe buis 28CP0061-0 en de ligging en dikte van de weerstandbiedende keileemlaag (oranje) in het bodemprofiel.

In Afbeelding 24 zijn in een grafiek de meetgegevens van de drie peilfilters weergegeven. Tussen het ondiepe (28CP0061-o) en het diepe filter (28CP0061-d) is gedurende een groot deel van de winterperiode van 2013 – 2014 een permanent stijghoogte verschil te zien. Het is maar de vraag in hoeverre we hier te maken hebben met een schijnspiegel. Mogelijk betreft het een situatie met een permanent voorkomend stijghoogteverschil in verzadigde toestand. In het voorjaar en in de zomerperiode van 2014 staat het ondiepe peilfilter net boven de keileem droog. In de afbeelding kunnen we zien dat de verschillen in grondwaterstand tussen de twee relatief ondiepe filters 28CP0061-d en 28CP0061-o in de meetperiode kunnen oplopen tot wel 41 cm (14 februari 2014). De twee diepere peilfilters geven voor de gehele meetperiode eveneens een permanent stijghoogteverschil te zien. Het diepste (peilfilter 28CP0061-ed) geeft gedurende de meetperiode altijd de diepste grondwaterstand. De verschillen in grondwaterstand tussen beide filters zijn relatief groot en kunnen tijdens de meetperiode oplopen tot wel 668 cm. Aangezien er geen bodemkundige informatie beschikbaar is over de diepere ondergrond is het op basis van de beschikbare informatie niet te verklaren of we te maken hebben met een of meerdere schijnspiegel(s) of een permanent stijghoogteverschil in verzadigde toestand. Vermoedelijk betreft het een schijnspiegel vanwege het grote verschil met de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket. Door de hogere stijghoogte van het filter 28CP0061-d vindt er permanent wegzijging plaats. In Afbeelding 24 is ook te zien dat het stijghoogteverschil en daarmee de wegzijging niet constant is in de tijd. In de relatief natte winterperiode is de wegzijging groter dan in de zomerperiode. Het stijghoogteverschil (verschil tussen buis 28CP0061-d en buis 28CP0061-o) rond het GHG-moment (28-02-2014) bedraagt ongeveer 37 cm. Indien wordt uitgegaan van een neerslagoverschot van 2 tot 4 mm/dag bedraagt de weerstand van de keileem 185 tot 92,5 dagen. Dit komt, uitgaande van een keileemdikte van 2,00 meter overeen met een verticale verzadigde doorlatendheid van 1,1 tot 2,2 cm/dag.



Afbeelding 24 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden/stijghoogten in stambuis 28CP0061-d, buis 28CP0061-ed en in de door Alterra bijgeplaatste buis 28CP0061-o.

Indien we naar de correlatie tussen de filters 28CP0061-ed en 28CP0061-d kijken dan blijkt, dat er geen significant verband aanwezig is (Tabel 5). De grondwaterstand die is gemeten in het ondiepste filter (28CP0061-o) blijkt echter wel een verband te hebben met de grondwaterstand die is gemeten in het diepe filter (28CP0061-d, $R^2 = 0,81$). Er dient hierbij wel te worden opgemerkt dat de regressieberekening is gebaseerd op slechts vijf gemeten grondwaterstanden in het ondiepste filter. Voorts geldt het model alleen voor die perioden, wanneer in het ondiepe filter een freatische grondwaterstand wordt gemeten.

Tabel 5

Onderlinge correlaties van peilfilters op buislocatie 28CP0061.

Buisnr. (aantal waarnemingen)	Stijghoogte locatie 28CP0061-d (n=22) (y)	Freatische grondwaterstand locatie 28CP0061-o (n=5) (y)
Stijghoogte 28CP0061-ed (n=22) (x)	Geen verband	Geen verband
Stijghoogte 28CP0061-d (n=22) (x)		$Y = 1.128x - 50,2$ $R^2 = 0,81$ standaardfout 3,57 cm

Voor het vaststellen van de grootte en omvang van de freatische grondwaterstandsverlagingen door de diverse hydrologische ingrepen zijn ondermeer de absolute waarden van de huidige GXG's nodig. De berekende GHG's en GLG's van de stambuizen (voor ligging zie Afb. 12) zijn opgenomen in Tabel 7. Hierbij wordt opgemerkt, dat van de door Alterra bijgeplaatste buizen 28CP0099-o en 28CP0061-o de meetperiode te kort is (minder dan 8 jaar), waardoor we de GHG en GLG niet hebben kunnen berekenen. Aangezien van deze buizen vanaf eind november 2014 twee maandelijks meetgegevens bekend zijn hebben we deze metingen gecorreleerd met de meetgegevens (op hetzelfde moment) van de stambuizen. Voor het regressiemodel van buis 28CP0061-o waarmee de

GXG is geschat wordt verwezen naar Tabel 5. Met behulp van dit lineaire model is alleen de GHG geschat, omdat deze buis tijdens perioden met een neerslagtekort periodiek droogvalt. In Tabel 6 staat de informatie van buis 28CP0099-o met betrekking tot de individuele parameters van het lineaire regressiemodel $y = \beta_0 + \beta_1 x + e$ weergegeven. De variabele y (responsvariabele) in het model geeft grondwaterstand in de buis met de korte meetreeks aan, terwijl met de variabele x de grondwaterstand in de stambuis wordt bedoeld. Voor een betrouwbare schatting van de GXG in buizen met korte meetreeksen is het van belang dat de schatting ligt binnen het meetbereik van de regressieperiode. Voor het schatten van de GHG op basis van dit model is het GHG-moment in de stambuis gedurende de meetperiode op diverse momenten overschreden (aanhangel 3 en Tabel 7).

Tabel 6

Parameters van het regressiemodel.

Naam buis	Beste correlatie met stambuis	Aantal correlatie dagen (N)	β_0	β_1	fractie verklaarde variantie (R^2)	Standaardfout (e in cm)
28CP0099-o	28CP0061-d	15	-29,71	0,5738	0,88	7,66

Uit de regressieanalyse blijkt, dat het verband tussen de gemeten grondwaterstanden in grondwaterstandsbuis 28CP0099-o en de gemeten grondwaterstanden in de zeven stambuizen het grootst is met stambuis 28CP0061-d ($R^2 = 0,88$). Het GHG-moment is in deze stambuis een aantal malen overschreden (Aanhangel 3 en Tabel 7). Dit betekent, dat met behulp van het model een betrouwbare schatting van de GHG mogelijk is. Tijdens zeer droge perioden valt buis 28CP0099-o periodiek droog. De perioden zijn meestal echter droger dan het GLG moment van buis 28CP0061-d. Dit betekent dat deze relatie ook kan worden gebruikt voor een schatting van de GLG en dat GHG- en GLG-schattingen kunnen worden gebruikt voor onderbouwing van de veldschattingen bij de uitvoering van het mogelijk toekomstige gebiedsdekkende bodemkundig/hydrologisch onderzoek. De grondwaterstanden in buis 28CP0099-o zijn ook gecorreleerd met de grondwaterstanden in de naast gelegen stambuis 28CP0099-d. Uit de resultaten van de regressieanalyse is gebleken, dat er geen significant verband aanwezig is.

Tabel 7

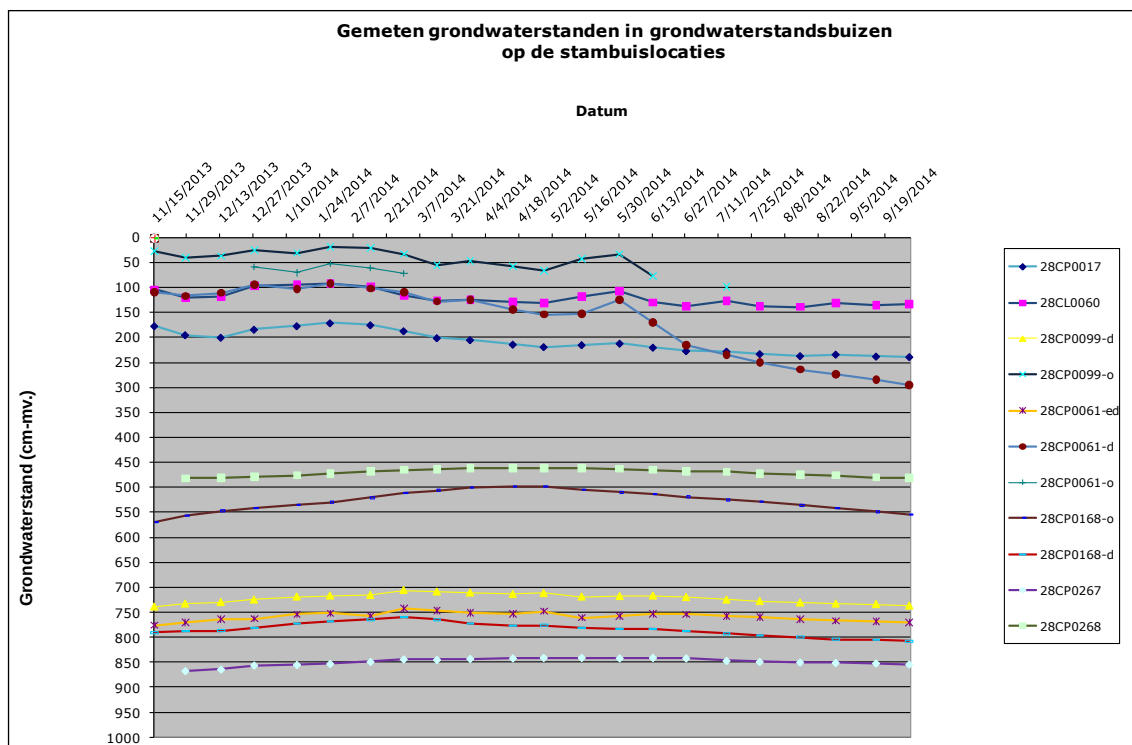
Berekende (tot 31 maart 2013) en geschatte GHG's, GLG's in cm-mv. van de geselecteerde stambuizen en eventueel ondiep bijgeplaatste buizen in het waterwingebied Holten.

BUISNUMMER	BUISNUMMER (ALIAS)	X-COÖRDINAAT (M)	Y-COÖRDINAAT (M)	MAATVELD CM T.O.V. NAP	GHG	GLG	GT	GT geschat	OPMERKING
28CP0017	B28C0312	228776	479730	1317	156	223	VIIIId		GHG en GLG berekend over periode van 18 jaar
28CL0060	B28C0410	229081	478520	1237	73	126	VIo		GHG en GLG berekend over periode van 18 jaar
28CP0099-d	B28C0099-d	227378	477815	1980	662	715	VIIIId		GHG en GLG berekend over een periode van 16 jaar
28CP0099-o	B28C0099-o	227378	477815	1980	34*	107		IIIb	Alterrabis,
28CP0061-d	B28C0274-d	226971	477242	2050	111	238	VIId		GHG en GLG berekend over periode van 18 jaar
28CP0061-o	B28C0274-o	226971	477242	2050	75*	Drg		VIId	Alterrabis
28CP0168-o	B28C0168-o	228185	477107	2078	444	520	VIIIId		GHG en GLG berekend over een periode van 13 jaar
28CP0267	B28C0267	227163	478754	2050	786	836	VIIIId		GHG en GLG berekend over een periode van 17 jaar
28CP0268	B28C0268	226482	478144	1740	413	457	VIIIId		GHG en GLG berekend over een periode van 18 jaar

* schattingen met behulp van een regressiemodel

Uit de resultaten (Tabel 7) van de berekende GHG- en GLG-waarden van de stambuizen blijkt, dat de fluctuatie (GLG-GHG) van het grondwater varieert van ca. 44 cm (28CP0268) tot 127 cm (28CP0061-d). De grootte van de fluctuatie (GLG-GHG) hangt in dit gebied vooral af van de samenstelling en diepte van de weerstandbiedende lagen in het fluctuatietraject van het freatische grondwater, de filterstelling van de grondwaterstandsbuizen in relatie tot de weerstandbiedende lagen en de ligging van de grondwaterstandsbuizen in het landschap (op de stuwwal of ernaast). Ook speelt de berging van het doorstroomde bodemprofiel een belangrijke rol in de grootte van de fluctuatie.

Indien we alle informatie van de stambuislocaties (7 stuks) in beschouwing (Tabel 7 en aanhangsel 3 en Afb. 25) nemen dan blijkt, dat de periode waarin is gemeten relatief droog is geweest. De grondwaterstandsbuizen 28CP0061-o en 28CP0099-o (geen stambuizen) vallen tijdens perioden met een neerslagtekort periodiek droog.



Afbeelding 25 Tijdstijghoogtegrafiek van de gemeten grondwaterstanden in cm t.o.v. mv. in de grondwaterstandsbuizen op de stambuislocaties vanaf 15 november 2013 t/m 29 september 2014.

De laagste grondwaterstanden in de relatief diepe buizen met lage GHG's (Tabel 7, GHG ≥ 415 cm - mv.) op de stuwwal of op de flank ervan zijn gemeten in de periode 15-11-2013 en 28-11-2013, terwijl die in de relatief ondiepe buizen met hogere GHG's (Tabel 7, GHG ≤ 156 cm - mv.) op en naast de stuwwal zijn gemeten in de periode 14-08-2014 t/m 29-09-2014. Het GLG-moment is in alle stambuizen ruimschoots overschreden. Dit betekent dat de GLG's van de grondwaterstanden die zijn gemeten in de door Alterra geplaatste buizen middels regressiemodellen (indien een significant verband is aangetoond) met behulp van polynomen kan worden geschat.

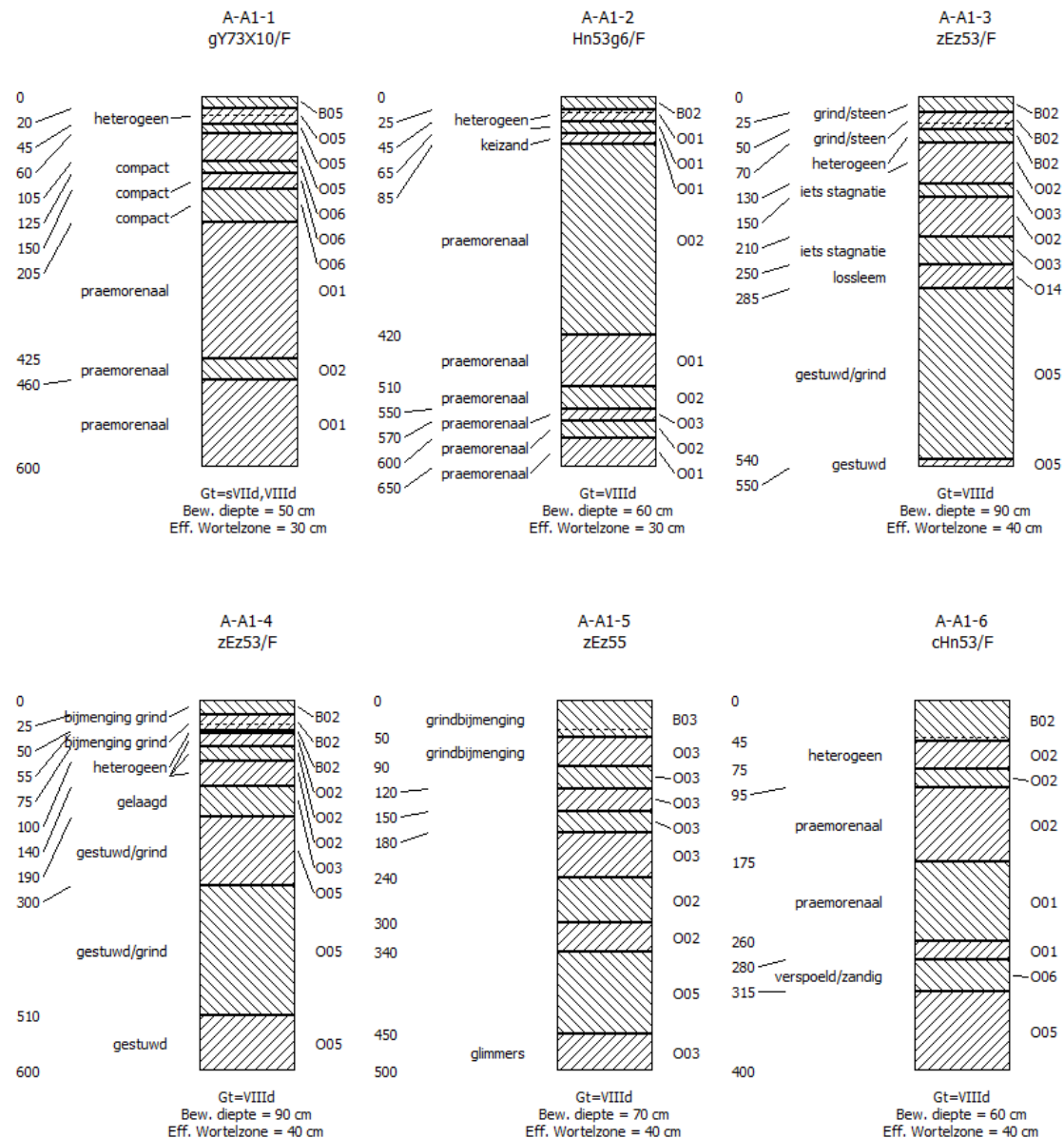
De hoogste grondwaterstanden in de relatief ondiepe buizen zijn allen gemeten op 28-1-2014. In de relatief diepe grondwaterstandsbuizen zijn de hoogste grondwaterstanden gemeten in de periode 28-02-2014 t/m 28-04-2014. Het GHG-moment is alleen in stambuis 28CP0061-d een aantal malen overschreden. In de overige stambuizen is de GHG met ca. 1 meter tot maximaal enkele decimeters onderschreden. Dit betekent dat de uitkomsten van de GHG schattingen minder betrouwbaar zijn en dat deze waarden met de nodige zorgvuldigheid dienen te worden geïnterpreteerd. De schattingen van de GHG op deze buislocaties zijn dan ook vooral gebaseerd op veldschattingen.

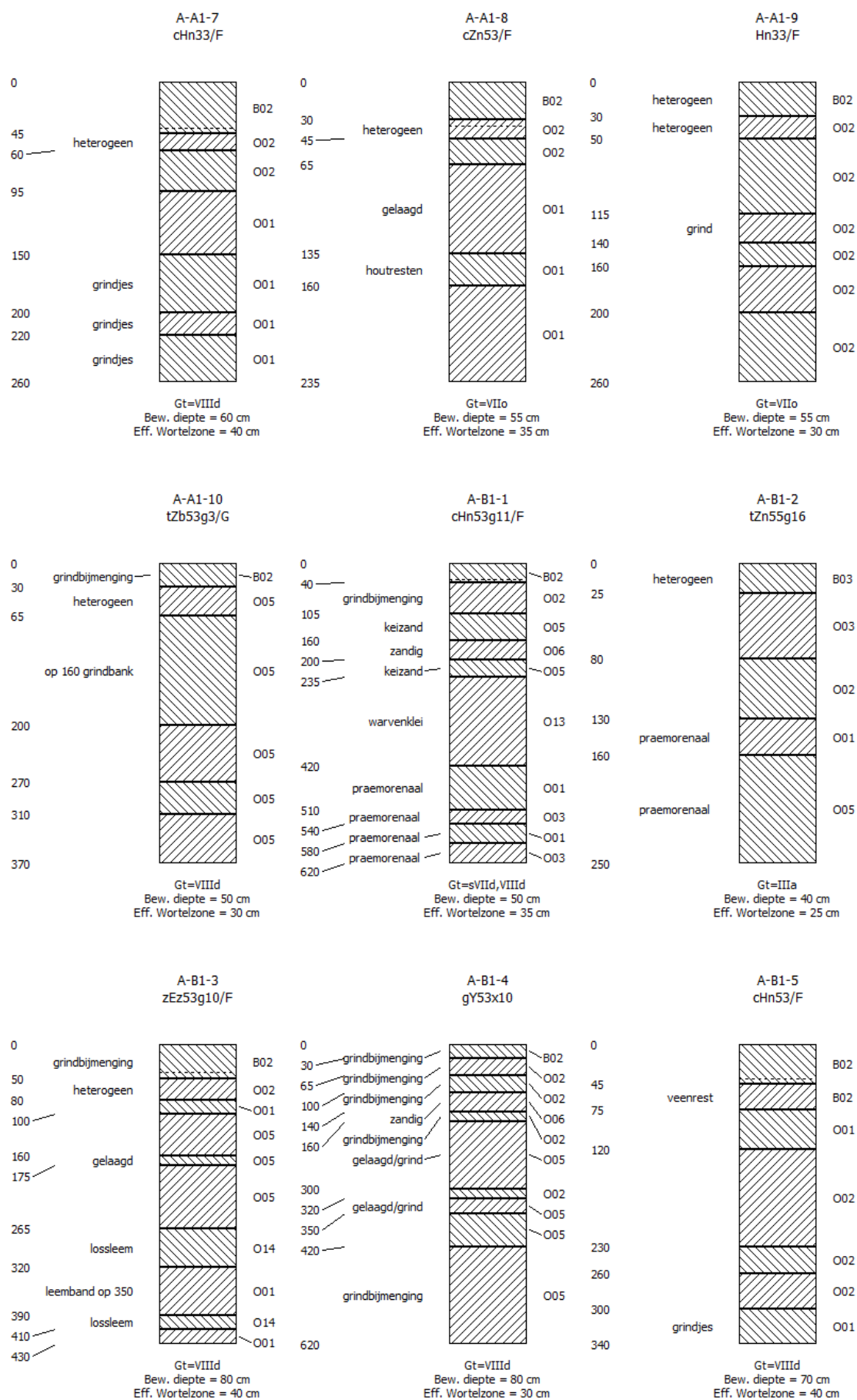
Uit Afbeelding 25 blijkt ook dat de grondwaterstand in de relatief diepe buizen op of langs de flank van de stuwwal een redelijk gelijkmatig verloop vertoont. Dit geldt ook voor de grondwaterstanden in de relatief ondiepe buizen. In de maand mei is er relatief veel neerslag gevallen. De grondwaterstanden in de ondiepe buizen (Gt IIb, VIo, VIId en VIIId) reageren sterk op het neerslagoverschot, terwijl de grondwaterstanden in de diepere filters (Gt VIIId) hierop niet of nauwelijks reageren. Verder blijkt, dat de momenten van zowel de hoogste als ook de laagst gemeten grondwaterstanden van de relatief ondiepe en diepe filters niet samen vallen. Dit blijkt ook uit de langjarige meetgegevens van de stambuizen. Er blijken in dit gebied tussen de diverse grondwaterstandsbuizen grote faseverschillen voor te komen, die onder ander worden veroorzaakt door het verschil in berging, invloed van de winning, ligging van de buis, 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. Voor het maken van dwarsdoorsneden van de freatische grondwaterstand rond het GHG- en GLG-moment dient men zich daarom dan ook te richten op de grondwaterstanden die zijn gemeten in de relatief ondiepe buizen. Dit geldt ook voor het bepalen van het GHG- en GLG-moment voor het uitvoeren van gerichte opnames van de freatische grondwaterstand die zullen worden verricht in het mogelijk toekomstig

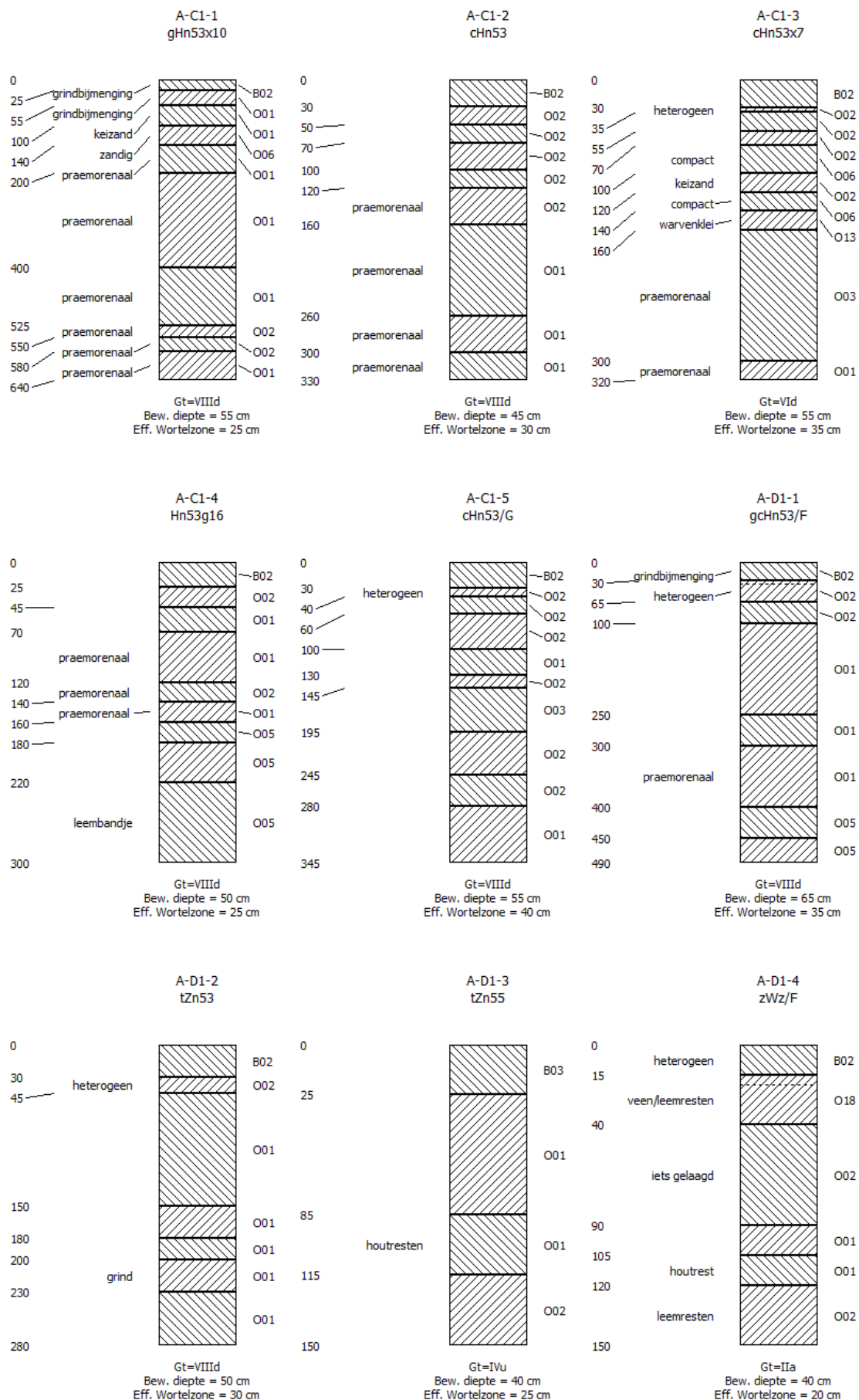
Uit de metingen blijkt verder (aanhangsel 3 en Afb. 25) dat de aangetroffen weerstandbiedende lagen (warvenklei en keileem) in het fluctuatietraject van het grondwater op de buislocaties 28CP0099 en 28CP0061 gedurende de meetperiode meer of minder invloed hebben op de hoogte en de fluctuatie van de freatische grondwaterstand in de peilfilters. De verschillen in gemeten grondwaterstanden tussen het ondiep geplaatste filter (-o) en de diepere filters (-d) variëren hier van een aantal decimeters (28CP0099) tot meer dan zes meter 28CP0061. Uit de metingen, analyses en beschouwingen volgt, dat als gevolg van het voorkomen van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel, de filterstelling een duidelijke invloed heeft op de hoogte en fluctuatie van de freatische grondwaterstand. Dit betekent dat op basis van bovengenoemde informatie de freatische GHG en GLG in deze stambuizen niet correct wordt weergegeven.

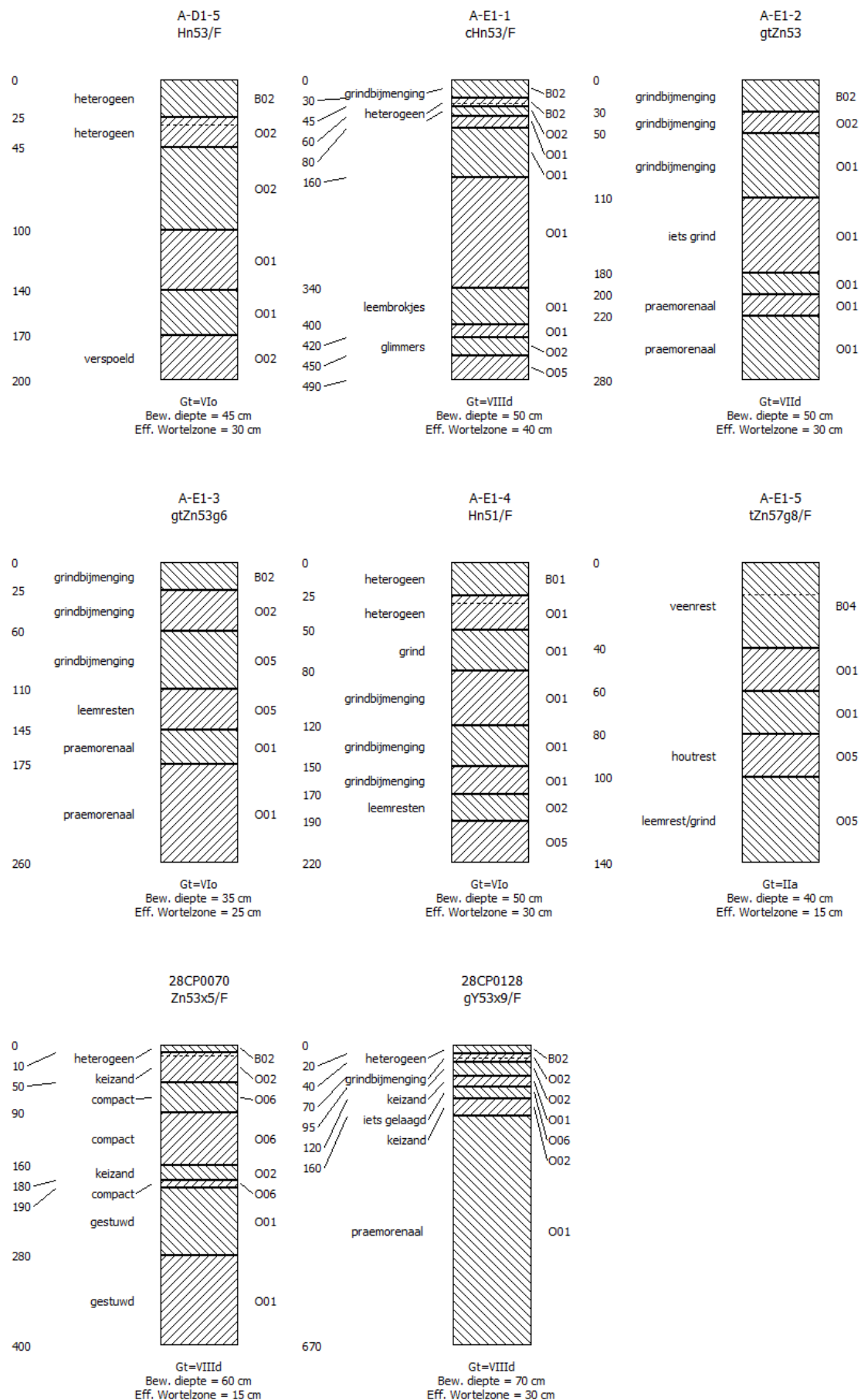
4.2.3 Hydrologische gegevens van de buislocaties met alleen korte meetreeksen

Alterra heeft op 30 nieuwe locaties profielbeschrijvingen gemaakt en grondwaterstandsbuizen geplaatst. In Afbeelding 26 staan geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische profielen ter plekke van alle buislocaties met kortlopende reeksen (inclusief twee buislocaties van Vitens) weergegeven, die gebruikt zijn voor het maken van de dwarsdoorsneden.









Afbeelding 26 Geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische boorprofielen van 32 buislocaties met kortlopende meetreeksen.

Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek blijkt, dat in het gebied dat ligt tussen de buislocaties A-A1-10 en A-A1-1, dermate diepe grondwaterstanden (aanhangel 1, GVG's ca. 3 tot meer dan 6 m - mv.) voorkomen dat de grondwaterstand in zowel de huidige als in de onbeïnvloede situatie geen invloed heeft op de groei van de gewassen. Daarnaast is het profiel in het fluctuatietraject van het grondwater veelal opgebouwd uit leemarm, grof zand met zeer ongunstige capillaire eigenschappen (ca. 40 á 50 cm), waardoor deze profielen al snel tot de hangwaterprofielen worden gerekend (van Soesbergen *et al.*, 1986). Dit geldt ook voor het gebied dat ligt rond buislocatie A-B1-4.

Op buislocaties A-A1-1, A-A1-3, A-B1-1, A-B1-3, A-B1-4, A-C1-1, A-C1-3, 28CP0070 en 28CP0128 (Afb. 12 en 26) is in het fluctuatietraject van het freatische grondwater één of meerdere weerstandbiedende la(a)g(en) in de vorm van, lössleem (O14), warvenklei (O13) en/of keileem (O06) aangetroffen. De begindiepte van deze weerstandbiedende la(a)g(en), begint op deze locaties op een diepte van respectievelijk 105, 250, 235, 265, 100, 100, 70, 50 en 25 cm - mv. Om het effect van deze weerstandbiedende lagen op de grondwaterstand met behulp van metingen te kunnen aantonen, zijn grondwaterstandsbuizen geplaatst met respectievelijk een filter tot vlak boven de weerstandbiedende laag en een filter door de weerstandbiedende laag heen. Op buislocatie A-B1-2 begint op een diepte van 250 cm - mv. een laag zeer zware warvenklei. Dit materiaal hebben we vanwege te natte omstandigheden niet voldoende naar boven kunnen halen om een goede beschrijving van het materiaal te geven. Daarom is de boordiepte dan ook beperkt tot 250 cm - mv.

Uit de metingen van de grondwaterstanden (aanhangel 3) blijkt, dat de invloed van de weerstandbiedende lagen op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater soms aanzienlijk kan zijn. Gedurende het veldbodemkundig onderzoek is er, als gevolg van weerstandbiedende lagen (veelal lössleem of keileem) in het bodemprofiel slechts op één buislocatie A-B1-1-o een schijnspiegel gemeten. Op de meeste buislocaties is in het ondiepste filter geen freatische grondwaterstand gemeten, omdat het filter droog stond. Er mag echter niet zonder meer worden geconcludeerd, dat de aanwezige weerstandbiedende la(a)g(en) in het doorstroomde bodemprofiel geen invloed heeft op de hoogte en fluctuatiegrootte van het freatische grondwater, omdat de periode waarin de grondwaterstand is gemeten relatief droog is geweest. Hierdoor is mogelijk een deel van de weerstandbiedende lagen, die ervoor zorgen dat er schijnspiegels kunnen optreden, tijdens de meetperiode nog niet maximaal 'gezet' en/of kan er nog voldoende berging in het profiel aanwezig zijn geweest, waardoor het neerslagoverschot niet heeft gestagneerd op deze la(a)g(en). Dit geldt vooral voor de weerstandbiedende lagen die relatief diep in het bodemprofiel (A-B1-3) en/of in bosgebieden (A-A1-1) voorkomen. Het bodemprofiel op locatie A-A1-1 bestaat uit moderpodzolgrond (.Y..x10) met keileem in de ondergrond beginnend op een diepte van ca. 100 cm - mv. In een bodemprofiel kan zich alleen een moderpodzol (xerogron) ontwikkelen, wanneer er geen invloed van (freatisch) grondwater aanwezig is. Dit betekent, dat de mogelijke stagnerende werking van de keileemlaag op het neerslagoverschot geen invloed heeft gehad op de ontwikkeling van de moderpodzol, waaruit volgt dat het optreden en de hoogte van een schijnspiegel op de keileemlaag beperkt of niet aanwezig is. Verder zijn sommige keileemlagen zandig van karakter (28CP0128), waardoor ze weinig of geen invloed hebben op de verticale waterbeweging van het neerslagoverschot. Aangezien we, vanwege de relatief droge meetperiode, op de meeste locaties tussen het diepe en ondiepe filter geen verschil in stijghoogte of een schijnspiegel hebben kunnen aantonen, is de invloed van een weerstandbiedende laag op de GXG tijdens het schatten alleen meegenomen, wanneer het bodemprofiel boven de keileem duidelijk aanwijzingen geeft voor stagnatie. Bij twijfel hebben we de schattingen van de GXG vooralsnog gebaseerd op de gemeten grondwaterstanden in het diepste filter. Op buislocaties, waar geen grondwaterstanden zijn gemeten, is de Gt vooralsnog geschat zonder rekening te houden met de invloed van de weerstandbiedende la(a)g(en) in het doorstroomde bodemprofiel. Het gestuwde materiaal, dat vaak onder de weerstandbiedende la(a)g(en) voorkomt (A-A1-3, A-B1-4 en 28CP0070), bestaat tot aan de maximale boordiepte voornamelijk uit zeer goed doorlatend, matig grof, leemarm zand. Het matig fijne, leemarme tot zwak lemige praemorenale zand, dat ook op een aantal locaties onder de weerstandbiedende la(a)g(en) voorkomt (A-A1-1, A-C1-1, A-C1-3 en 28CP0128), heeft in het algemeen een matig tot goede verticale verzadigde doorlatendheid. De weerstandbiedende lagen komen vooral voor in het gebied dat ligt op en langs de flank van de stuwwal of in de hogere gebiedsdelen ten oosten en zuidoosten van Holten.

Voor het onderbouwen van de GXG schattingen in het onderzoeksgebied (fase 1 en mogelijk fase 2) is niet alleen de grondwaterstandinformatie op de stambuislocaties van belang, maar ook de informatie op de buislocaties met korte meetreeksen (Afb. 12). Van deze buizen hebben we echter geen GXG kunnen berekenen, omdat de meetperiode hiervoor te kort is. Aangezien van deze buizen vanaf eind november 2014 twee maandelijkse meetgegevens bekend zijn, zijn deze metingen (alleen de Alterrabuizen) gecorreleerd met de meetgegevens van de stambuizen. In Tabel 8 staan de geschatte GHG- en GLG-waarden (indien mogelijk) op de buislocaties (Alterrabuizen) langs de raaien en de informatie met betrekking tot de individuele parameters van de regressiemodellen vermeld. Voor de grondwaterstanden en algemene buisinformatie, zoals ligging, buis- en filterlengte wordt verwezen naar de aanhangsels 2 en 3.

Tabel 8

Geschatte GHG's en GLG's op de buislocaties langs de raaien en de parameters van de regressiemodellen.

Naam buis	GHG (cm - mv.)	GLG (cm - mv.)	Gt	Correlatie met stambuis (R ²)	Fractie verklaarde variantie (R ²)	Aantal correlatie dagen (N)	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	Standaardfout (e in cm)
A-A1-1-(o)	85*	> 600	sVIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
		droog										
A-A1-1-(d)	> 600	> 600	sVIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
droog	droog	droog										
A-A1-2-d	> 650	> 650	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-A1-3-(o en d)	> 550	> 550	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-A1-4-d	> 600	> 600	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-A1-5-(o en d)	> 600	> 600	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-A1-6-d	201	275	VIIIId	28CP0017	0,95	22	30.6	1.0939				5,7
A-A1-7-d	145	221	VIIIId	28CP0017	0,97	22	-32.19	1.1343				4,2
A-A1-8-d	89	163	VIIId	28CP0017	0,96	22	-82.0	1.0972				5,1
A-A1-9-d	86	159	VIIId	28CP0017	0,95	22	-85.5	1.0976				5,5
A-A1-10-d	276	317	VIIIId	28CP0099-d	0,86	22	-235.4	0.7722				3,0
A-B1-1-o	120*	> 220	sVIIId	28CP0267	0,71	15	17073058	-53203	46.6	0	-0.00001061	12,3
		droog										
A-B1-1-d	> 620	> 620	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-B1-2-d	17	109	IIIId	28CP0061-d	0,95	22	-64.50	0.7296				12,1
A-B1-3-o	>240	> 240	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-B1-3-d	240*	323	VIIIId	28CP0099-d	0,90	22	-1515	2.571				8,4
A-B1-4-(o en d)	> 620	> 620	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-B1-5-d	188	275	VIIIId	28CP0017	0,98	22	-15.76	1.3049				4,7
A-C1-1-o	> 100	> 100	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	droog	droog										
A-C1-1-d	526	580	VIIIId	28CP0099-d	0,77	22	-152.3	1.024				5,4

Naam buis	GHG (cm - mv.)	GLG (cm - mv.)	Gt	Correlatie met stambuis (R ²)	Fractie verklaarde variantie (R ²)	Aantal correlatie dagen (N)	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	Standaardfout (e in cm)
A-C1-2-d	200*	282	VIIIId	28CP0017	0,88	22	756	-5.80	0.01648			8,5
A-C1-3-o	> 80 droog	> 80 droog	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
A-C1-3-d	60*	279	VIId	28CP0061-d	0,65	22	207.16	0.3023				15,4
A-C1-4-d	150*	188	VIIIId	28CP0017	0,80	22	-3780	59.8	-0.3	0.000		5,3
									502			
A-C1-5-o	> 160 droog	> 160 droog	VIIIId	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
A-C1-5-d	220*	266	VIIIId	28CP0061-d	0,77	22	214.98	0.2283				8,8
A-D1-1-d	410	438	VIIIId	28CP0017	0,62	22	345.5	0.4146				7,2
A-D1-2-d	174	219	VIIIId	28CP0017	0,97	22	69.88	0.6675				2,8
A-D1-3-d	45*	82	IVu	28CL0060	0,97	22	115.9	-1.529	0.01002			2,1
A-D1-4-d	20*	75	IIa	28CL0060	0,96	22	154.0	-2.706	0.01647			3,4
A-D1-5-d	43	121	VIo	28CP0017	0,93	22	-137.1	1.1572				7,2
A-E1-1-d	360*	436	VIIIId	28CP0017	0,73	22	592	-2.08	0.00618			6,6
A-E1-2-d	124	207	VIIId	28CP0017	0,98	22	-69.67	1.2384				3,7
A-E1-3-d	50*	152	VIo	28CP0017	0,95	22	-225.7	1.6938				9,3
A-E1-4-d	59	134	VIo	28CP0017	0,90	22	-116.8	1.1248				8,7
A-E1-5-d	12	58	IIa	28CL0060	0,93	22	-52.05	0.8710				3,7

* De GHG is geschat op basis van profielkenmerken, veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden.

In paragraaf 4.2.2 is reeds verwoord, dat het GHG-moment tijdens de meetperiode alleen in stambuis 28CP0061-d is overschreden. Dit betekent dat een schatting van de GHG alleen betrouwbaar is, indien er een verband aanwezig tussen de gemeten grondwaterstand in de Alterrabuizen en bovengenoemde stambuis (bijv. buis A-C1-3-d). Van een aantal buizen is de GHG middels een regressiemodel geschat, wanneer er tussen de grondwaterstand in de Alterrabuizen en één van de overige stambuizen een lineair verband (1^e graad polynoom) aanwezig is (bijv. A-E1-3-d). Er dient hierbij echter wel te worden opgemerkt, dat de schatting in het algemeen minder betrouwbaar is, omdat het GHG moment van de stambuis in de meetperiode waarover de correlatie is uitgevoerd niet is overschreden. Wanneer het regressiemodel is opgebouwd uit een 2^e, 3^e of 4^e graads polynoom, dan is het niet mogelijk om een betrouwbare schatting van de GHG te doen (bijv. A-C1-2-d). Dit geldt ook voor sommige, niet reële geschatte GHG-waarden, die met behulp van een lineair regressiemodel zijn geschat. De GHG is dan geschat op basis van profielkenmerken, veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden in de betreffende buis en stambuizen.

Het GLG-moment is in alle stambuizen ruimschoots overschreden. Op grond hiervan hebben we de GLG's (indien mogelijk) van alle Alterrabuizen met behulp van regressiemodellen geschat. Van een aantal buizen is geen GHG en GLG geschat, omdat er tijdens de meetperiode geen grondwaterstand (droog) is gemeten. Op deze buislocaties is alleen de Gt geschat.

Uit de regressieanalyse blijkt, dat stambuis 28CP0017 het beste correleert met veertien Alterrabuizen die verdeeld langs alle raaien liggen, maar niet op de stuwwal. De samenhang is vooral zeer groot ($R^2 \geq 0,90$) bij niet te diepe freatische grondwaterstanden ($GHG < 200$ cm). Bij diepere GHG's neemt de samenhang snel af. Stambuis 28CL0060 heeft een zeer sterke samenhang ($R^2 \geq 0,93$) met drie Alterrabuizen die liggen in of nabij kwelgebieden (Dodewaard en Kiestra, 1990) in de relatief laagst gelegen gebiedsdelen van de raaien. Stambuis 28CP0099-d heeft een sterke tot zeer sterke

samenhang (R^2 varieert van 0,77 t/m 0,90) met drie Alterrabuizen die liggen op de flank van de stuwwal (A-A1-10 en A-C1-1) of in de hoger gelegen gebiedsdelen langs de raaien. Buislocaties A-C1-3 en A-B1-2 met warvenklei in het doorstroomde bodemprofiel hebben respectievelijk een redelijk ($R^2 = 0,65$) en een zeer sterk verband ($R^2 \geq 0,95$) met stambuis 28CP0061-d. Op buislocatie A-C1-1 komt ook warvenklei in het doorstroomde profiel voor, maar deze buis correleert het beste met stambuis 28CP0267 die op de stuwwal ligt.

Uit de resultaten (Tabel 8) van de geschatte GHG- en GLG- waarden blijkt, dat de fluctuatie (GLG-GHG) van het freatische grondwater varieert van ca. 46 cm (buislocatie A-C1-5) tot meer dan 500 cm (buislocatie A-B1-1). Er dient hierbij echter wel te worden opgemerkt dat de grootte van de fluctuatie van het freatische grondwater in de meeste buizen niet betrouwbaar is, omdat de GHG middels een regressiemodel is geschat zonder dat het GHG-moment is bereikt of overschreden en omdat er in een aantal Alterrabuizen geen grondwaterstand is gemeten, waardoor het soms niet mogelijk is om de GHG en GLG te schatten.

Op buislocatie A-B1-1 zijn twee verschillende Gt's geschat, omdat er in het ondiepste filter (A-B1-1-o) een schijnspiegel is gemeten. De natste Gt op deze locatie geldt alleen voor het ondiepst geplaatste peilfilter. Dit geldt ook voor buislocatie A-A1-1, alleen hebben we op deze locatie in het ondiepste filter geen freatisch grondwater gemeten. De Gt in het ondiepste filter berust op een schatting aan de hand van profielkenmerken.

De hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater op de buislocaties hangt vooral af van aard, samenstelling en dikte en de ligging van de weerstandbiedende lagen in het doorstroomde profiel. Ook speelt de invloed van grondwaterwinning, kwel, berging en geografische ligging een belangrijke rol op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater. De meeste grondwaterstandsbuizen langs de raaien zijn geplaatst in gebieden met meer of minder wegzijging.

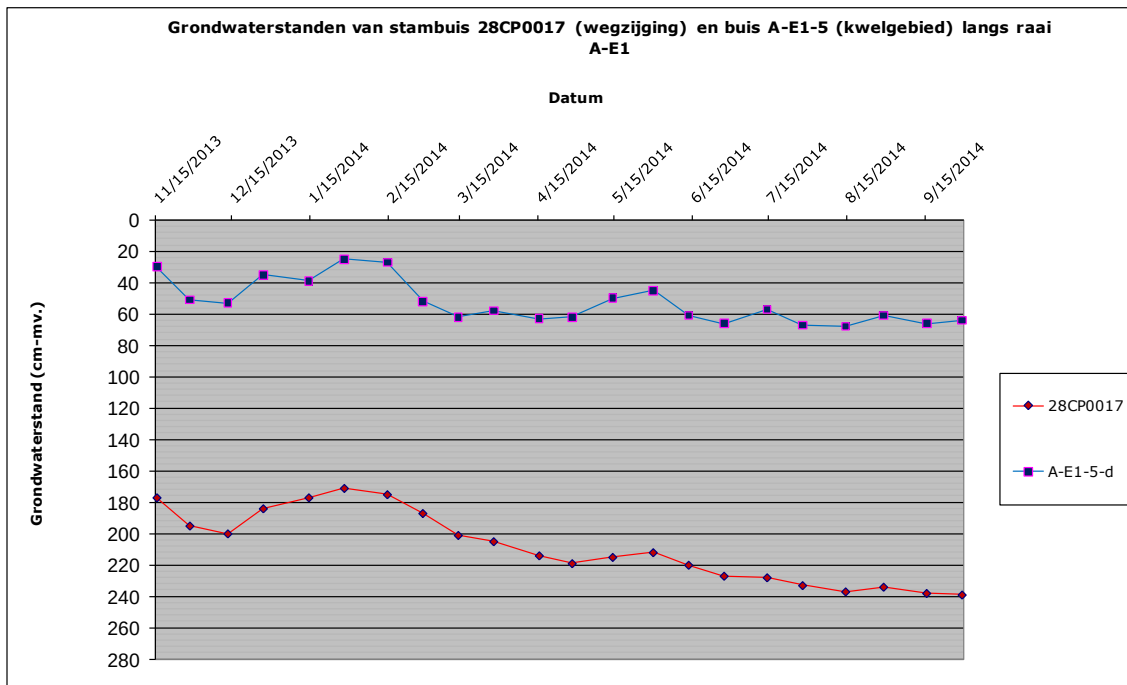
In de laagste gelegen gebieden (gebied vanaf A-E1-4 t/m A-E1-5 (Afb. 27) en A-D1-3 tot A-D-5) is de fluctuatie als gevolg van kwel al dan niet in combinatie met het voorkomen van leemarm grof zand in het doorstroomde bodemprofiel (Dodewaard en Kiestra, 1990) niet groot (Tabel 8 en aanhangsel 3). Op buislocatie A-E1-5 bedraagt de fluctuatie slechts 46 cm.



Afbeelding 27 Ligging van buislocatie A-E1-5 even ten zuidwesten van Rijssen.

Op deze locatie met Gt IIa komt een gooreerdgrond (hydro-eerdgrond; profiel is ontwikkeld onder natte omstandigheden) met leemarm matig grof zand beginnend op een diepte van 80 cm - mv. in het

profiel voor (tZn..g8/F). Dat het profiel onder natte omstandigheden is ontwikkeld, blijkt ook uit het voorkomen van veenresten in de verwerkte bovengrond. Om het verloop van de grondwaterstand in dit kwelgebied in beeld te krijgen is de grondwaterstand op deze locatie in figuur 28 weergegeven samen met de grondwaterstand die is gemeten in stambuis 28CP0017. Deze buislocatie met Gt VIIId ligt even ten zuidwesten van buislocatie A-E1-5, in dezelfde raai, echter in een gebied met alleen wegzijging. Dat deze buislocatie ligt in een gebied met wegzijging blijkt ook uit de ontwikkeling van een veldpodzolgrond (hydropodzolgrond; profiel ontwikkeld onder invloed van (freatisch) grondwater in een situatie met wegzijging) in het profiel (Hn..). Tijdens perioden met een neerslagtekort (vooral vanaf eind juni tot eind september 2014) hebben we op locatie 28CP0017 te maken met een freatische grondwaterstand die alleen daalt (wegzijging). Daarentegen blijft de freatische grondwaterstand op buislocatie A-E1-5, als gevolg van kwel, vrijwel constant. Tijdens de relatief natte periode in mei en begin juni reageert de grondwaterstand in buis A-E1-5, als gevolg van minder berging, sterker op het neerslagoverschot dan de grondwaterstand in de stambuis. In de winterperiode, waarbij de grondwaterstand op buislocatie A-E1-5 zelfs stijgt tot enkele decimeters onder het maaiveld, is de reactie van het neerslagoverschot op de grondwaterstand in de stambuis groter. Dit komt door de drainerende werking van een watervoerende sloot op ca. 12 meter afstand van de buislocatie A-E1-5, waardoor de hoogte van de freatische grondwaterstand enigszins wordt afgevlakt.



Afbeelding 28 Tijdstijghoogtegrafiek van de grondwaterstanden in twee buizen langs raai A-E1.

In Afbeelding 30 staan in een tijdstijghoogtegrafiek alle gemeten grondwaterstanden (aanhangel 3) op 32 buislocaties met kort lopende reeksen weergegeven vanaf 15 november 2013 t/m 29 september 2014. Vanaf eind juni valt buis A-B1-10 droog. Ook is er, als gevolg van het later opnemen van twee buizen van Vitens in de raaien, op 15 november geen grondwaterstand gemeten.

In de afbeelding is vooral het 'tragere' en redelijk gelijkmatige verloop van de relatief diepe grondwaterstanden te zien op de buislocaties 28CP0128, 28CP0070, A-C1-1, A-E1-1-d, A-A1-10-d, die allen zijn gelegen op de stuwwal of op de flank ervan, ten opzichte van de buislocaties in de overige gebieden.

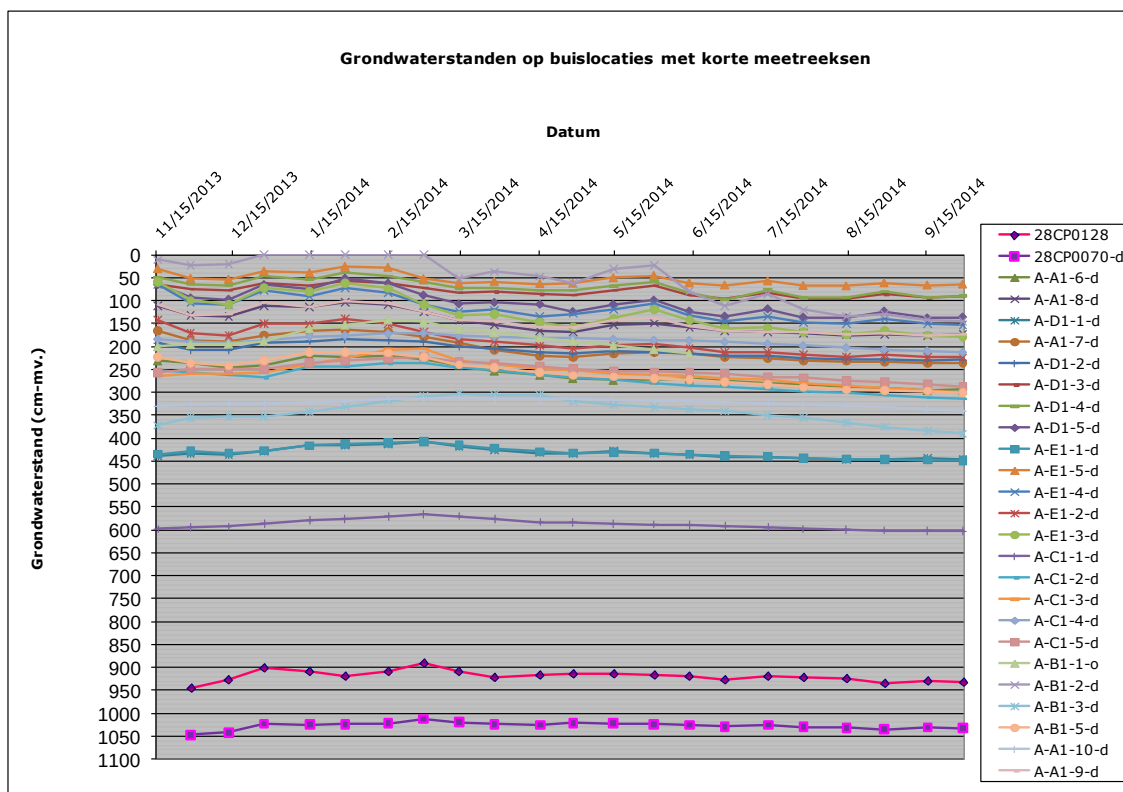
De trend van het verloop van het grondwater is vanaf half november tot en met half december in buizen met niet te diepe freatische grondwaterstanden (Tabel 8, GHG = < 250 cm - mv., bijv. A-A1-9, A-E1-2 en A-D1-5), als gevolg van een relatief drogere periode, alleen maar dalende. Voor buislocaties op de flank en op de stuwwal met relatief diepe grondwaterstanden (Gt VIIId, GHG > 250 cm - mv., bijv. 28CP00128, A-A1-10, A-B1-5) geldt het omgekeerde. Vanaf half december wordt

op de buislocaties met niet te diepe grondwaterstanden tot en met half februari, na een periode met een aanzienlijk neerslagoverschot, continu een stijging van het (freatisch) grondwater gemeten. Daarentegen is een reactie op het neerslagoverschot in de vorm van een stijging van de grondwaterstand in de diepe filters op de flank en op de stuwwal nauwelijks waarneembaar. Vanaf half februari tot en met half april vertoont de grondwaterstand in alle grondwaterstandsbuizen, als gevolg van een periode met een neerslagtekort, een meer of minder dalend verloop. De daling is het sterkst op de buislocaties met niet te diepe grondwaterstanden in alle gebieden met wegzijging. De grondwaterstand in de stuwwal reageert nauwelijks op dit neerslagtekort. Vanaf half april tot en met begin juni is er een periode met relatief veel neerslag. De relatief 'nattere' buislocaties (bijv. A-E1-5, A-B1-2 en A-D1-4) met Gt IIa, IIIa, IVu en VIo reageren snel op het neerslagoverschot, terwijl de grondwaterstand op de 'droge' buislocaties (Gt VIIId) in de stuwwal niet of nauwelijks reageert op het neerslagoverschot. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in berging boven het grondwatervlak (lager in verband met relatief natte grondwaterstanden al dan niet in combinatie met het voorkomen van weerstandbiedende lagen en de werking van het ont- en afwateringssysteem) in het bodemprofiel ten opzichte van de 'diepere' buizen Gt's VIIo (Afb. 29), VIIId en VIIId (meer berging in verband met relatief diepere grondwaterstanden).



Afbeelding 29 Ligging van buislocatie A-A1-8 met Gt VIIo even ten westen van Holten.

De grondwaterstand op alle 'natte' buislocaties (Gt IIa, IIIa, IVu en VIo) reageert snel op perioden waarin neerslagoverschot en neerslagtekort elkaar afwisselen (vanaf half juni-eind september) en vertoont hierdoor een enigszins piekerig verloop. De grondwaterstand op de wat 'drogere' buislocaties (Gt VIIo en VIIId tot een GHG van ca. 250 cm – mv.), die niet op de stuwwal liggen, vertoont daarentegen een continue dalend verloop. Het effect van de wisselende weersgesteldheid op grondwaterstand zien we, vanwege het vlakke verloop, ook niet terug bij de diepe grondwaterstandsbuizen op de stuwwal en op de flank van de stuwwal.



Afbeelding 30 Tijdstijlhoogtegrafiek van de grondwaterstanden op 32 buislocaties met een korte meetreeks.

4.3 Dwarsdoorsneden

4.3.1 Algemeen

Voor het maken van dwarsdoorsneden op een relatief nat en een droger moment zijn respectievelijk de data 28-01-2014 en 14-07-2014 geselecteerd. Tijdens de opname van de (freatische) grondwaterstand in de grondwaterstandsbuizen varieerde de gemeten freatische grondwaterstand rond één tot enkele decimeters onder het GHG-niveau op 28-01-2014 en rond het GLG-niveau op 14-07-2014. Dit is vastgesteld aan de hand van gemeten *freatische* grondwaterstanden (aanhangel 3) in de relatief 'nattere' stambuizen (Tabel 7, GHG = < 156).

Uit dit onderzoek en uit eerder uitgevoerd bodemkundig-hydrologisch onderzoek (Dodewaard en Kiestra, 1990) is gebleken, dat in een groot deel van het gebied als gevolg van het voorkomen van weerstandbiedende lagen (bv. keileem en lössleem etc.) in het bodemprofiel stijghoogteverschillen of schijnspiegels 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 dwarsdoorsneden alleen de maaiveldhoogten (t.o.v. NAP) en de gemeten (freatische) grondwaterstanden (t.o.v. NAP) ter plekke van de boorlocaties worden gepresenteerd.

4.3.2 Opbouw diepere ondergrond en isohypsenbeeld 28-04-1995

Voor de beschrijving van het verloop van de (freatische) grondwaterstand in de raaien is naast de bodemopbouw van het 'ondiepe' profiel ook inzicht nodig in de opbouw van de 'diepere' ondergrond. Het Dinoloket geeft informatie over de (hydro-)geologische opbouw van de 'diepere' ondergrond, ook

zijn isohypsenbeelden voor 3 watervoerende pakketten beschikbaar die gelden voor 28-4-1995 (<http://www2.dinoloket.nl/nl/DINOMap.html>).

In Afbeelding 31 is de globale bodemopbouw ter plaatse van pompstation Holten weergegeven ontleend aan Dinoloket.

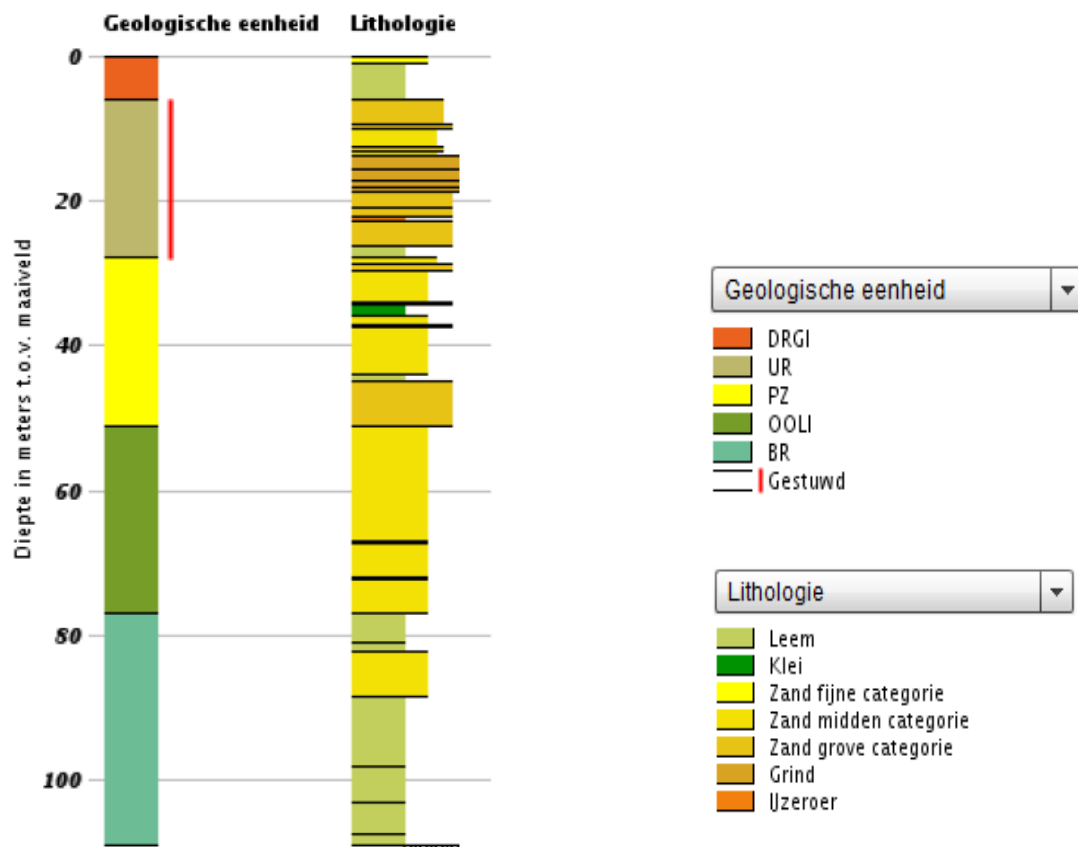
Boormonsterprofiel en interpretatie DGM v2.2

Identificatie: B28C0128

Coördinaten: 227818, 478796

Maaiveld: 19,70 m

Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 109,00 m



Afbeelding 31 Geologische formaties en lithologie van boring B28C0128 (alias 28CP0128) (Bron: Dinoloket).

Uit Afbeelding 31 zijn de ondiep aanwezige geologische formaties af te leiden. Aan het maaiveld komen meestal afzettingen voor die behoren tot de formatie van Boxtel voor. Op buislocatie B28C0128 ontbreken deze afzettingen. Dit klopt ook met de boorbeschrijving van Alterra (Afb. 26). Vanaf maaiveld tot ca. 6 m - mv. komen afzettingen voor behorende tot de formatie van Drenthe in de vorm van keileem. Uit de boorbeschrijving van Alterra komt deze formatie voor tot een diepte van 160 cm - mv., waarbij op 95 cm - mv. het leemarme keizand overgaat in een laag keileem die slechts 25 cm dik is. Er dient hierbij echter wel te worden opgemerkt, dat de boorlocatie van Alterra op het terrein van het puttenveld enkele tientallen meters van de grondwaterstandsbuis B28C0128 verwijderd ligt, vanwege de aanwezigheid van forse boomwortels in het bodemprofiel op de buislocatie. Vervolgens komen op een diepte van ca. 6 - 28 m - mv. gestuwde afzettingen voor behorende tot de formatie van Urk. Tussen 28 - 51 m - mv. komen veelal zandige afzettingen voor behorende tot de formatie van Peize. Van 51 tot 77 m - mv. komen eveneens zandige afzettingen

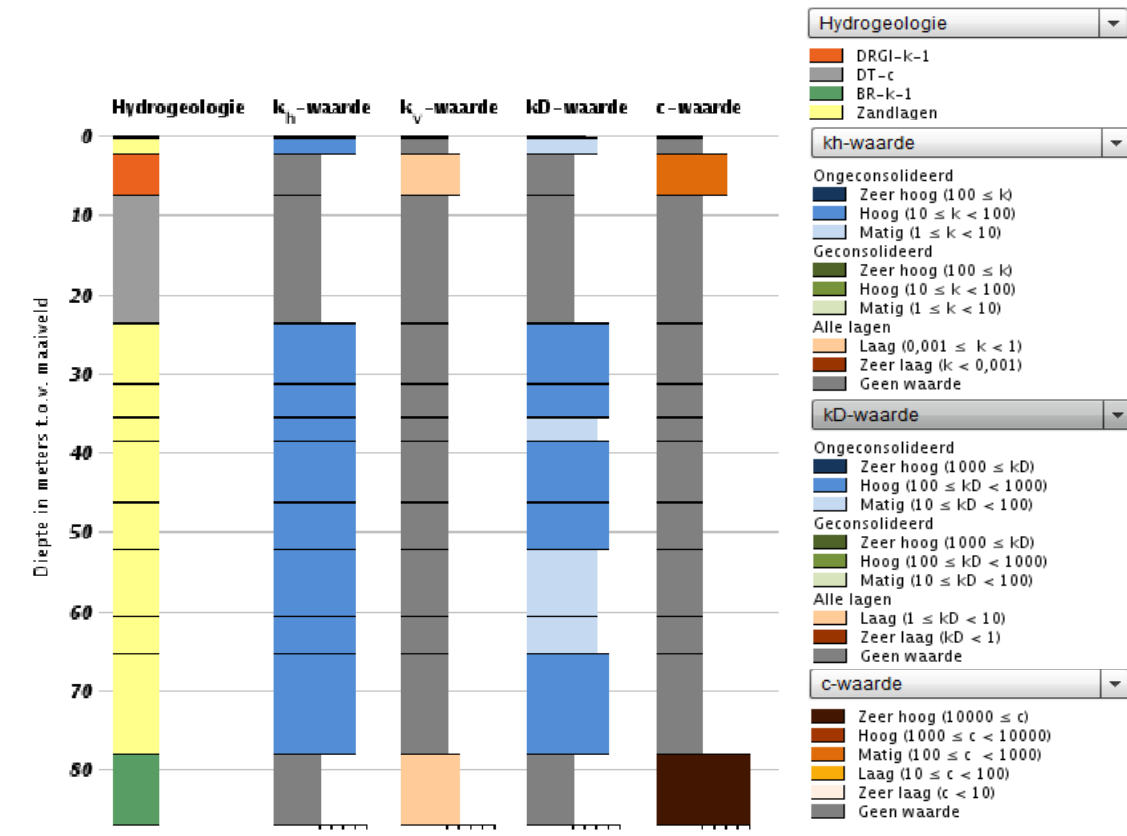
voor behorende tot de formatie van Oosterhout. Op 77 m – mv. beginnen de afzettingen van Breda, bestaande o.a. uit een dik pakket sterk zandige leem. De bovenkant van de formatie van Breda kan worden beschouwd als de geohydrologische basis. De geologische afzettingen kunnen worden vertaald in goed en slecht doorlatende afzettingen. In Afbeelding 32 is de hydro-geologische opbouw volgens Dinoloket weergegeven.

Appelboor REGIS II v2.1

Coördinaten: 227835, 478780

Maaiveld: 20,68 m

Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 87,00 m



Afbeelding 32 Hydro-geologische opbouw van de ondergrond ter plaatse van pompstation Holten (Bron: Dinoloket).

Uit Afbeelding 32 blijkt dat globaal tussen ca. 25 m en 75 m - mv. een zandig pakket, overwegend bestaande uit zand (fijn tot en met grof zand), grind en/of schelpen, behorende tot de Formatie van Peize en Oosterhout, voorkomt met een hoge doorlatendheid. Dit pakket wordt aan de onderzijde begrensd door afzettingen van de Formatie van Breda, overwegend bestaande uit klei, zandige klei en/of kleiig zand, met een hoge weerstand. Het zandpakket wordt aan de bovenzijde afgedekt door een ca. 15 m dik pakket gestuwde afzettingen, met daarboven een ca. 5 m dik pakket afzettingen van de Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten, deze afzettingen bestaan overwegend uit klei, zandige klei en/of kleiig zand, en hebben een relatief hoge weerstand. Deze kleiige afzettingen worden aan de bovenzijde afgedekt door afzettingen behorende tot de Formatie van Bostel, overwegend bestaande uit zand (fijn tot en met grof zand), grind en/of schelpen. De opbouw volgens Afbeelding 32 wijkt enigszins af van de schematisatie volgens Cattenstart (1983)¹ (Tabel 9).

Tabel 9

Geohydrologische opbouw pompstation Holten (Cattenstart, 1983).

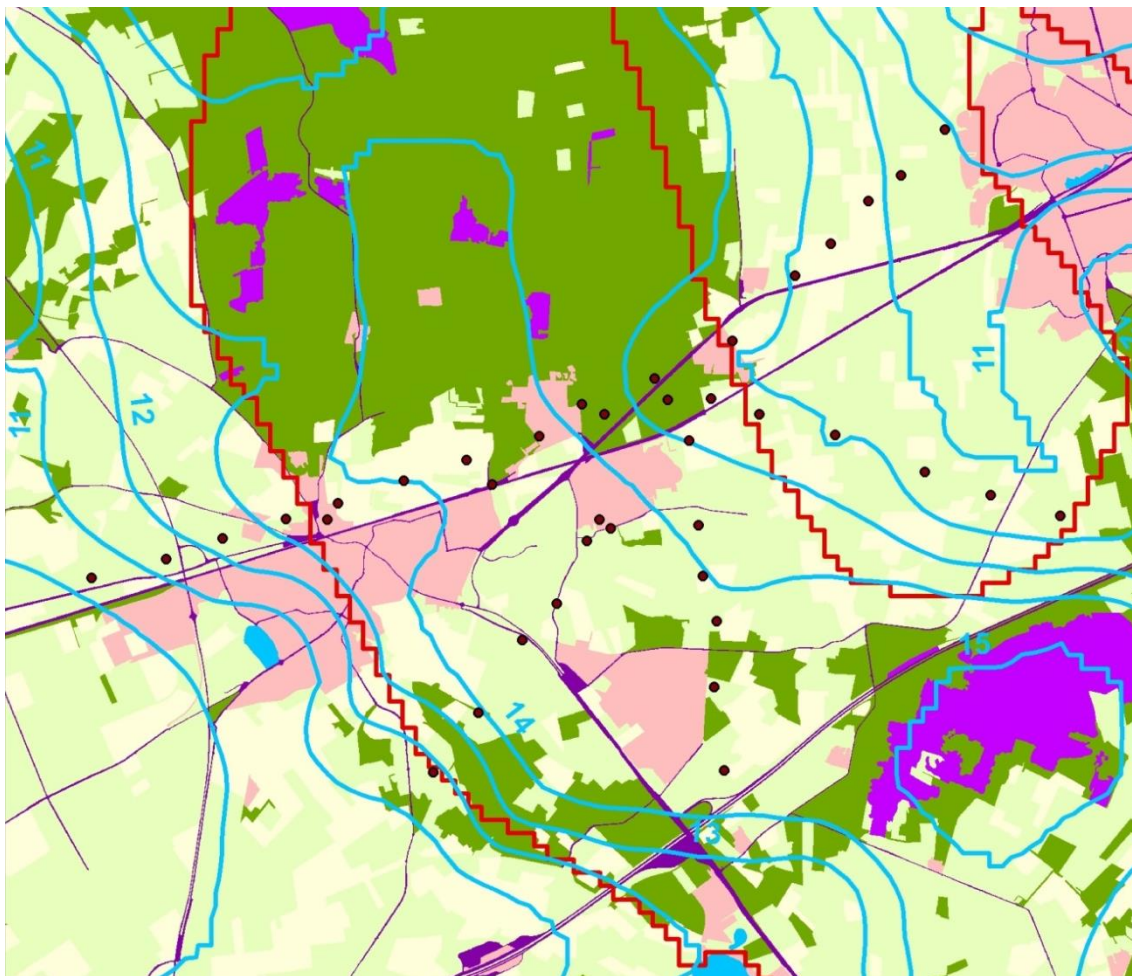
Diepte tov NAP in m	Lithologie	Stratigrafie ¹	Geohydrologische betekenis
+20 - +5	Fijne zanden met plaatselijk leemlagen	Form. van Twente	Watervoerend pakken
+5 - -5	Grof zand	Form. van Drenthe	
-5 - -100	Matig grof tot grof slibhoudend zand	Form. van Scheemda, Harderwijk, Enschede en Urk	
>-100	Klei- en sterk kleihoudend glauconietzand	Formatie van Breda	Slecht doorlatende basis

Ter plaatse van het pompstation is een pompproef gehouden, het doorlaatvermogen van de ondergrond is door het RID vastgesteld op 1150 m²/dag.

In het kader van dit onderzoek zijn diepe en ondiepe grondwaterstandbuizen geplaatst in de raaien (figuur 12). De onderkant van de nieuw geplaatste peilfilters bevindt zich tussen ca. 0,80 en 6,50 m - mv. Het pompstation is gesitueerd op de flank van de stuwwal. Ter plaatse van de stuwwal komen gestuwde afzettingen voor in de ondergrond. De raaien zijn over de stuwwal heen gelegd en liggen voor een deel buiten het gebied met gestuwde afzettingen in de ondergrond. De horizontaal afgezette kleilagen kunnen aanvankelijk als gevolg van de stuwing door het landijs zijn scheefgesteld. In gestuwde lagen kunnen weerstanden aanwezig zijn tegen verticale stroming van het grondwater. Daarnaast vormen keileem- en kleilagen weerstandbiedende lagen tegen verticale stroming. Door de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen in delen van het onderzoeksgebied dient onderscheid te worden gemaakt tussen de freatische grondwaterstand en de grondwaterstand, (ook wel stijghoogte genoemd) in het watervoerende pakket, gemeten in een peilfilter in dit pakket, dat zich onder het gestuwde pakket bevindt. In gebieden waar weerstandbiedende lagen ontbreken zijn de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het watervoerend pakket gelijk aan elkaar, dit geldt voor delen van de raaien die buiten de stuwwal, ten westen en oosten van de stuwwal, liggen. Bij de bespreking van de afzonderlijke raaien wordt hier nader op ingegaan.

Voor de omgeving van het pompstation zijn isohypsenbeelden beschikbaar via het Dinoloket. Deze beelden geven een globaal beeld van de richting waar het grondwater naar toestroomt. Omdat de freatische grondwaterstand sterk wordt beïnvloed door de aanwezigheid van ondiepe weerstand biedende lagen is het isohypsenbeeld voor het 2^e watervoerende pakket weergegeven (Afbeelding 33).

¹ Cattenstart gebruikt de oude benamingen voor de geologische formaties.



Afbeelding 33 Isohypsenpatroon van het 2^e watervoerende pakket.

Uit het isohypsenbeeld blijkt, dat ten westen van pompstation een waterscheiding ligt. De stuwwal is een infiltratiegebied. Het grondwater ten oosten van de waterscheiding stroomt in noordoostelijke richting af terwijl het grondwater ten westen van de waterscheiding in zuidwestelijke richting stroomt. Uit het isohypsenbeeld komt ook de invloed van pompstation Holten tot uiting. De rode lijn geeft de begrenzing aan van het gebied met gestuwde afzettingen.

Vanuit het puttenveld zijn vijf raaien uitgezet (Afbeelding 12) om een overzicht te krijgen van de freatische grondwaterstand in de omgeving van het puttenveld. Deze vijf raaien zijn, zoals in hoofdstuk 3.3 is verwoord, samengevoegd tot twee lange raaien over het puttenveld en een korte raai, namelijk raai A1-D1, deze loopt van west-oost over het puttenveld, raai B1-E1, deze loopt van zuidwest naar noordoost over het puttenveld en raai A-C1, deze loopt vanuit zuidelijke richting tot aan het puttenveld. Er zijn geen raaien geprojecteerd in noordelijke richting.

In de volgende paragrafen worden de drie raaien achtereenvolgens beschreven, waarbij als eerste de geohydrologische opbouw, ontleend aan het Dinoloket, van de raai wordt weergegeven. Deze doorsnede geeft inzicht in het voorkomen en de verspreiding van slecht doorlatende lagen. Vervolgens worden de grondwaterstanden/stijghoogten op een relatief droog (nabij GLG) en op een relatief nat moment (nabij GHG) weergegeven en beschouwd.

4.3.3 Beschrijving van de dwarsdoorsneden

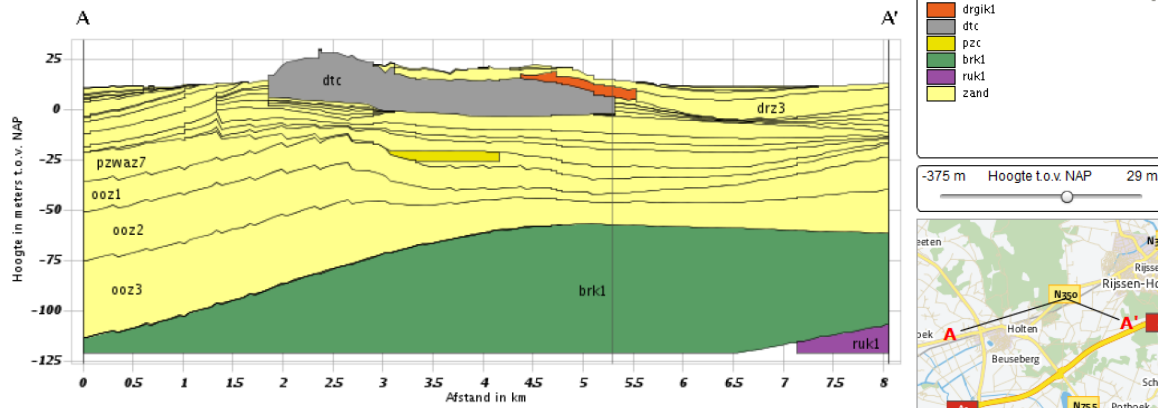
Raai A1-D1

In figuur 34 is de geohydrologische dwarsdoorsnede van raai A1-D1 weergegeven. De geohydrologische basis wordt gevormd door afzettingen van de formatie van Breda, deze liggen aan de oostkant op ca. 60 m - NAP en aan de westkant op ca. 115 m - NAP. Zowel aan de west- als de oostkant van de raai dagzoomt het watervoerend pakket. Het watervoerend pakket neemt, door het wegduiken van de formatie van Breda, in westelijke richting toe in dikte. In het midden van de raai tussen 2 en 5,3 km komt een pakket gestuwde afzettingen voor, die aan de westkant dagzomen en in

oostelijke richting worden afgedekt door zandige afzetting van de Formatie van Bortel. De basis van de gestuwde afzettingen ligt op ca. NAP. Tussen km 4,3 en 5,6 komt een laag keileem (Formatie van Drenthe, laagpakket van Gieten) voor in de ondergrond. Deze laag wordt aan de bovenzijde afgedekt door afzettingen van de Formatie van Bortel en aan de onderzijde door gestuwde afzettingen of zandige afzettingen, behorende tot de Formatie van Peize, die onderdeel uitmaken van het onderliggende watervoerende pakket. In gestuwde afzettingen kunnen scheef-gestelde lagen met een lage doorlatendheid voorkomen, ook de keileemafzettingen hebben meestal een geringe doorlatendheid. Door de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen in een deel van het traject van raai A1-D1 kunnen grondwaterstand en stijghoogte in de het watervoerende pakket, waaraan op pompstation Holten water wordt onttrokken, verschillen.

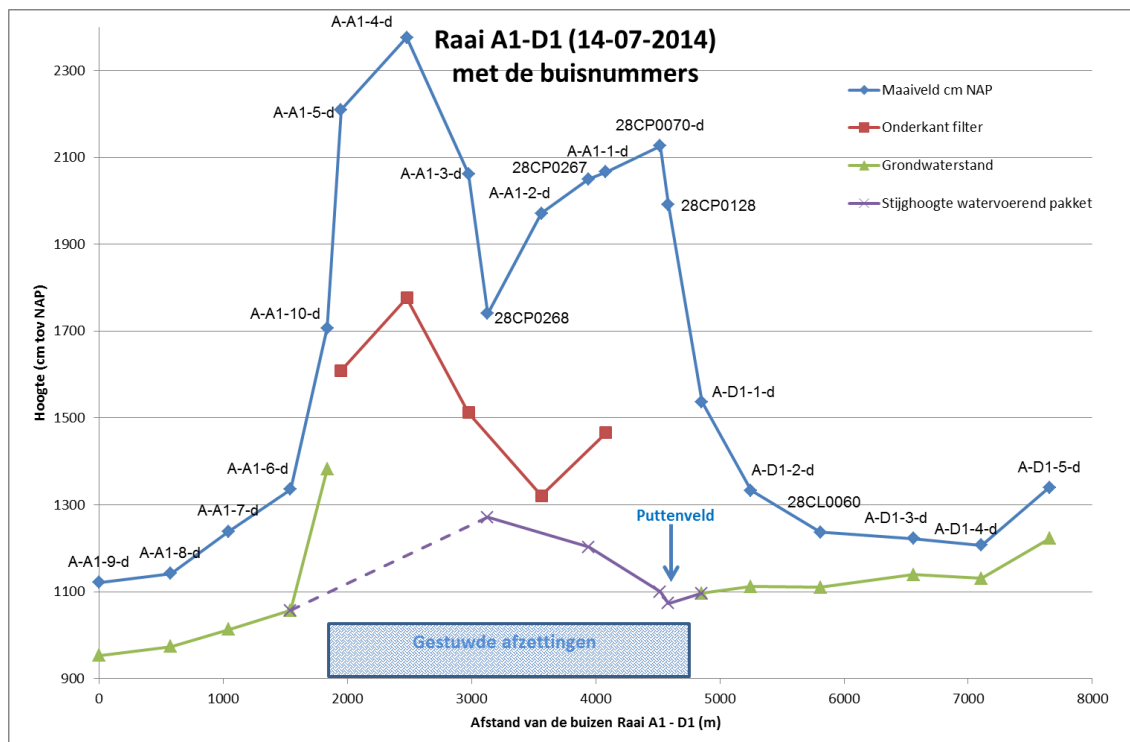
Verticale Doorsnede REGIS II v2.1

Hoogte t.o.v. NAP: -121



Figuur 34 Geohydrologische dwarsdoorsnede raai A1-D1.

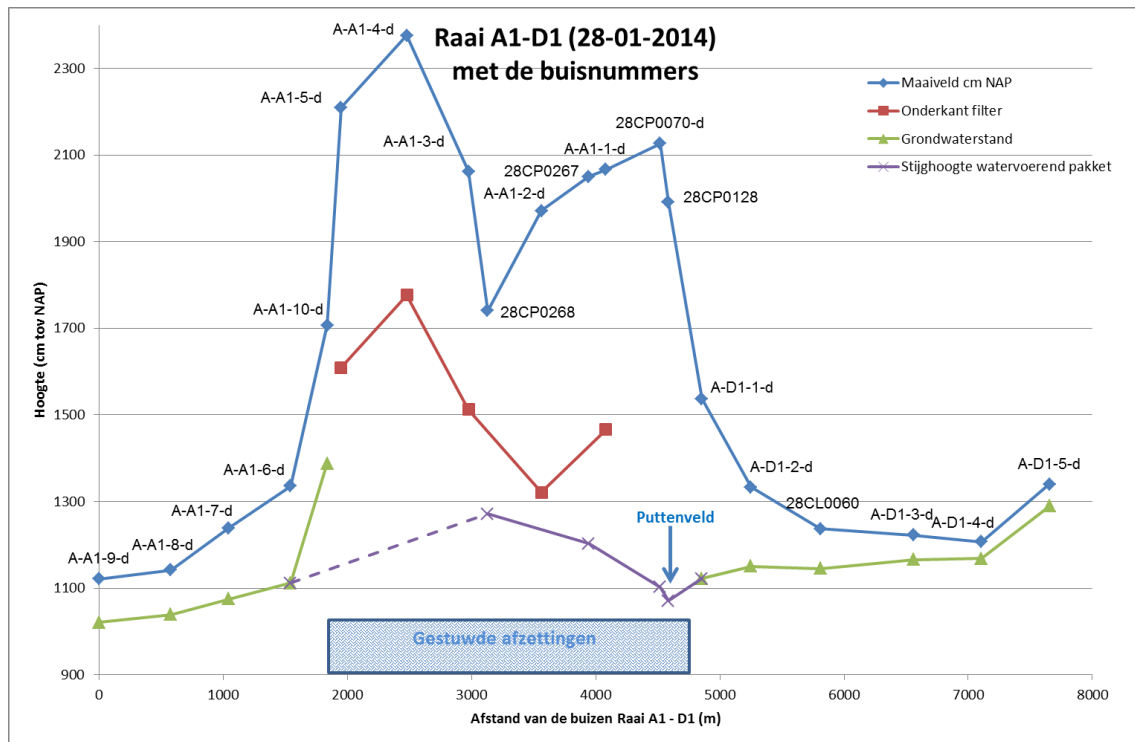
In Afbeelding 35 is het verloop van de grondwaterstand/stijghoogte op 14-07-2014 (relatief droge situatie) weergegeven.



Afbeelding 35 Grondwaterstand/stijghoogte op 14-07-2014 in raai A1-D1.

Voor het bodemkundig/hydrologisch onderzoek zijn op een aantal locaties diepe grondwaterstandsbuizen en indien er weerstandbiedende lagen binnen boorbereik zijn aangetroffen ook ondiepe filters geplaatst in de raai. Verder is gebruik gemaakt van de reeds bestaande grondwaterstandsbuizen van Vitens. De filters van de bestaande grondwaterstandsbuizen staan in het watervoerende pakket of soms diep in de gestuwde afzettingen. De gemeten waterstanden in deze peilfilters zijn geïnterpreteerd als stijghoogten in het watervoerend pakket. In de ondiepe filters in de raai is op geen enkel moment een waterstand gemeten. In de diepe filters, die Alterra heeft geplaatst, is buiten het gestuwde traject (A-A1-9 t/m A-A1-6 en A1-D1 t/m A-D1-5) overal een waterstand gemeten, echter binnen het gestuwde traject staan de meeste buizen permanent droog, waardoor er geen waterstand is gemeten (behalve op locatie A-A1-10). Om toch enige informatie aan deze locaties te ontleen is in de figuur de onderkant van het peilfilter weergegeven. In het traject met gestuwde afzettingen kunnen de freatische grondwaterstand en stijghoogte in het watervoerend pakket verschillen bij de aanwezigheid van slecht-doorlatende (gestuwde) lagen of een lage doorlatendheid van het gestuwde pakket. Zoals eerder vermeld is op buislocatie A-A1-10-d een waterstand gemeten in het diepste filter; dit filter staat boven in de gestuwde leemarme grofzandige afzettingen (Afb. 26). Omdat gegevens over de weerstand in de diepere ondergrond in het traject tussen A-A1-6-d en 28CP0268 ontbreken is de stijghoogtelijn in dit traject gestippeld; in dit traject ligt waarschijnlijk ook de waterscheiding. Of er naast A-A1-10-d ook ter plaatse van andere buizen weerstand aanwezig is tussen het watervoerend pakket en de diepe filters kan mogelijk blijken als er waterstanden kunnen worden gemeten in de filters, die nu nog droog staan. Op locatie A-A1-2-d komt tot een diepte van 650 cm –mv. geen weerstandbiedende laag binnen boorbereik voor (Afb. 26). De grondwaterstand bevindt zich op basis van Afbeelding 35 (doorgetrokken stijghoogtelijn) op ca. 100 cm afstand onder deze boordiepte, waardoor de weerstand vanaf deze diepte beperkt of afwezig is. Volgens Afbeelding 34 komen buiten het gestuwde traject geen weerstandbiedende lagen van betekenis in de ondergrond voor. Dit geldt ook voor de 'ondiepere' ondergrond op de buislocaties (Afb. 26). In dit traject is het watervoerend pakket freatisch en zijn de stijghoogte en freatische grondwaterstand aan elkaar gelijk. In Afbeelding 35 is aan de westzijde van de stuwwal een relatief sterke afname van het verhang tussen A-A1-7-d en A-A1-9-d te zien. Dit kan mogelijk worden verklaard door een toename van de dikte van het watervoerend pakket (Afb. 34) en daarmee van het doorlaatvermogen van de ondergrond in combinatie met de invloed van grondwaterwinning. De winning heeft namelijk invloed op de stijghoogte ter plekke van de waterscheiding in de stuwwal en mogelijk ook op de ligging ervan (in de afbeelding niet goed waar te nemen). Door de onttrekking wordt het verloop van de stijghoogte vanaf het puttenveld van het pompstation Holten tot aan de waterscheiding verlaagd en mogelijk iets naar het westen verlegd, waardoor de voeding in westelijke richting afneemt. In of nabij het gebied liggen meerdere grondwateronttrekkingen, zoals Nijverdal en Markelo; de berekende verlagingsbeelden (Afb. 18 en 19) laten zien dat de winningen in delen van het gebied elkaar beïnvloeden. Aangezien er geen raaien in noordelijke en verder in zuidoostelijke richting zijn geplaatst is het niet mogelijk om de invloed van de bovengenoemde winningen in beeld te krijgen. De invloed van deze winningen op de freatische grondwaterstand/stijghoogte in het onderzoeksgebied kan dus niet nader worden beschouwd. Deze is echter wel meegenomen in de berekening van de GHG- en GLG-verlaging in de Afbeeldingen 18 en 19. De winning van Holten is duidelijk zichtbaar als een afpompskegel aan de oostelijke rand van de gestuwde afzettingen, waarvan het centrum ligt in het puttenveld van het pompstation (buislocatie 28CP0128). Ten oosten van de winning is de grondwaterstand gelijk aan de stijghoogte in het watervoerend pakket. Op 14-7-2014 manifesteert de freatische grondwaterstand zich rond het GLG-niveau. Dit betekent dat het hydrologische systeem redelijk stabiel is. De ont- en afwateringsmiddelen zijn geheel of gedeeltelijk drooggefallen en werken daardoor niet of nauwelijks, waardoor de afvoer tijdens dit moment beperkt is. Dit betekent dat de freatische grondwaterstand, bij afwezigheid van weerstandbiedende lagen in het doorstroomde bodemprofiel, de variatie in hoogte van het maaiveld sterk zal volgen. Door invloed van grondwaterwinning zien we dat de freatische grondwaterstand in zuidoostelijk richting het maaiveld volgt vanaf A-D1-3-d. Buislocatie A-D1-4 ligt in een sterk door sloten gereguleerd kwelgebied. Tijdens drogere perioden zakt het freatische grondwater op deze locatie als gevolg van kwel nauwelijks dieper weg. Nabij A-D1-5-d loopt het maaiveld sterk op, de grondwaterstand volgt deze stijging voor een groot deel.

In figuur 36 is het verloop van de grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 weergegeven in een relatief natte situatie.



Afbeelding 36 Grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 in raai A1-D1.

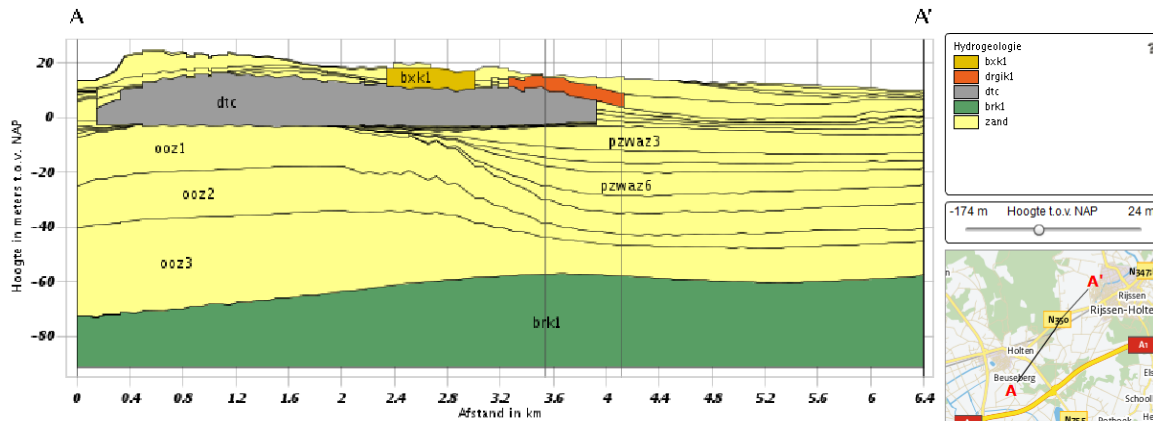
Het verloop van de freatische grondwaterstand/stijghoogte in figuur 36 komt goed overeen met Afbeelding 35. Door de nattere omstandigheden zien we dat de grondwaterstand zich dicht onder het maaiveld bevindt. Ook in deze figuur is de invloed van de winning in zuidoostelijke richting waar te nemen tot buislocatie A-D1-3. Vanaf buislocatie A-D1-3 tot even voor buislocatie A-D1-4 neemt de invloed van de winning snel af. Door de drainerende werking van watervoerende sloten, die op korte afstand van buislocatie A-D1-4 zijn gelegen, wordt de 'top' van de freatische grondwaterstand enigszins afgevlakt. Vanaf deze locatie tot aan buislocatie A-D1-5 zien we dat de freatische grondwaterstand het maaiveld goed volgt en dat de invloed van de winning niet meer is waar te nemen.

Raai B1-E1

In Afbeelding 37 staat de geohydrologische dwarsdoorsnede van raai B1-E1 weergegeven.

Verticale Doorsnede REGIS II v2.1

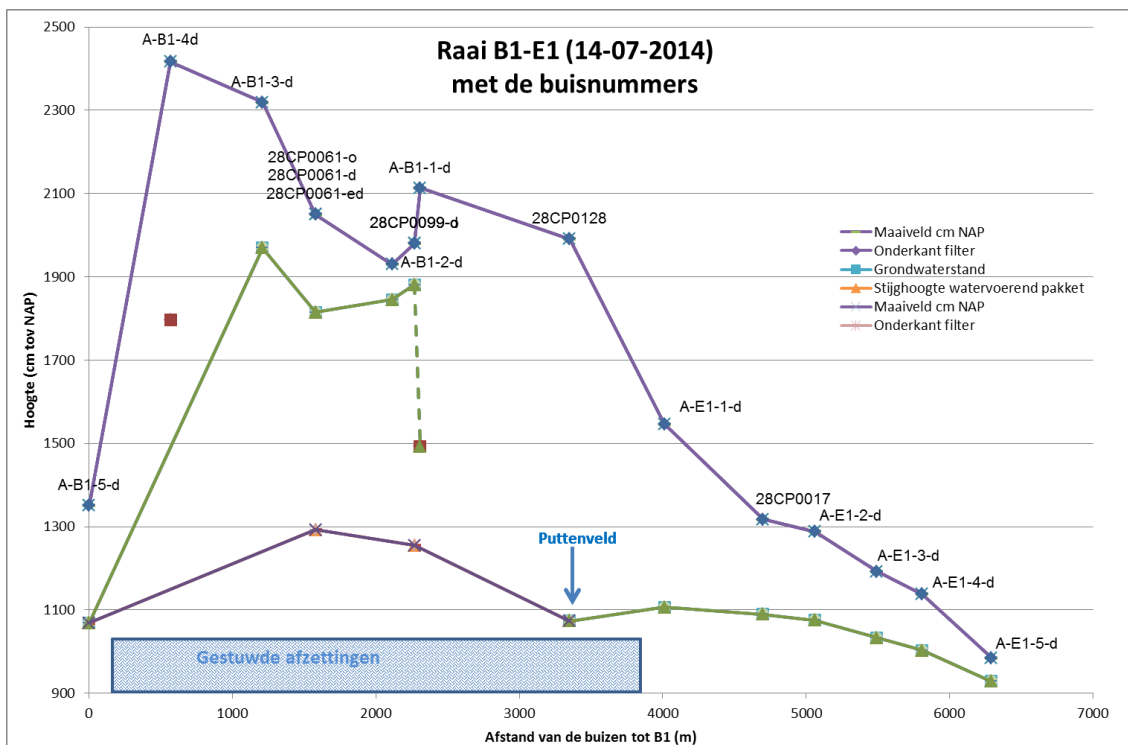
Hoogte t.o.v. NAP: -91



Afbeelding 37 Geohydrologische dwarsdoorsnede raai B1-E1.

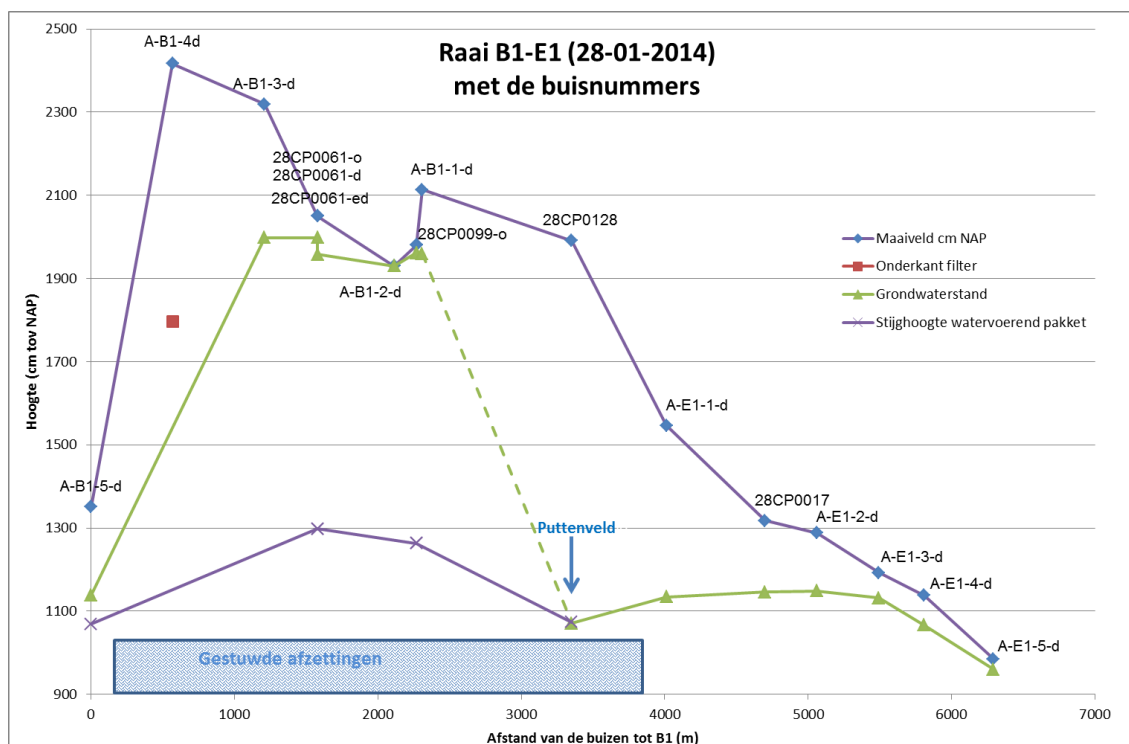
De geohydrologisch basis ligt aan de noordoost kant op ca. 60 m - NAP en aan de zuidwest kant op ca. 70 m - NAP. Tussen 0,2 en 3,8 km komen gestuwde afzettingen in de ondergrond voor met de basis op ca. NAP. De gestuwde afzettingen worden afgedekt door zandige afzettingen behorende tot de formatie van Boxtel. Tussen 2,3 en 3,0 km liggen kleiige afzettingen van Boxtel direct op de gestuwde afzettingen. Aan de oostzijde van het gestuwde traject, direct op de gestuwde afzettingen, tot voorbij het gestuwde traject, als scheiding tussen de afzettingen van Peize en Boxtel, komt tussen ca. 3,3 en 4,1 km een laag keileem (Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten) voor. Zowel de keileem, Boxtelklei als de gestuwde lagen, kunnen weerstand bieden tegen verticale stroming, waardoor er verschil ontstaat tussen de stijghoogte in het watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand. Een kort traject van ca. 200 m ten zuidwesten van het gestuwde traject is freatisch evenals het traject vanaf A-E1-1-d (zie voor ligging Afbeelding 38) in noordoostelijke richting.

In Afbeelding 38 is het verloop van de freatische grondwaterstand/stijghoogte op 14-07-2014 weergegeven in een relatief droge situatie.



Afbeelding 38 Grondwaterstand/stijghoogte op 14-07-2014 in raai B1-E1.

Raai B1-E1 loopt van zuidwest naar noordoost over het puttenveld van het pompstation Holten. Een smal traject van de raai in het zuidwesten ligt buiten het traject met gestuwde afzettingen. In de 'diepere' ondergrond zijn hier geen weerstandbiedende lagen van betekenis aangetroffen. Dit geldt ook voor de 'ondiepe' ondergrond op buislocatie A-B1-5. In dit traject is de freatische grondwaterstand dan ook gelijk aan de stijghoogte. In het traject met gestuwde afzettingen (ca. 200 m – 3800 m vanuit zuidwestelijk richting) zijn voor de locaties met filters in het watervoerend pakket de gemeten waterstanden als stijghoogten weergegeven. In de gestuwde afzettingen komen overal weerstandbiedende lagen voor, die soms doorlopen tot aan het maaiveld (Boxtelklei). Tijdens het veldbodemkundig onderzoek zijn in de 'ondiepe' ondergrond op alle buislocaties weerstandbiedende lagen in de vorm van warvenklei (28CP0099, A-B1-2 en A-B1-1), keileem (A-B1-4, 28CP0061, 28CP0099, A-B1-1 en 28CP0128) en lössleem (A-B1-3) aangetroffen. In twee van de nieuw geplaatste peilfilters, gelegen binnen het traject met gestuwde afzettingen, zijn geen waterstanden gemeten; de onderkant van deze filters zijn aangegeven met een rood vierkantje in Afbeelding 38. In de overige 'ondiepe' filters in het gestuwde traject zijn wel waterstanden gemeten; deze waterstanden zijn als freatische grondwaterstanden geïnterpreteerd, maar zijn mogelijk schijnspiegels gezien het grote verschil met de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket. In buis 28CP0099 is in het diepe filter een waterstand van 12,55 m+ NAP gemeten en in de ondiepe buis een freatische grondwaterstand van 18,81 m+ NAP. Dit is een verschil van 6,26 m. De filters (onderkant) bevinden zich op resp. 14,17 en 1,20 m +NAP, resp. boven de keileem en onderin het gestuwde deel van de ondergrond. Op slechts 40 m van deze peilbuis in noordoostelijke richting ligt peilbuis A-B1-1-d, deze geeft, met onderkant filter op 14,93 m+ NAP, geen water. Omdat het verloop van de grondwaterstand vanaf 28CP0099 onduidelijk is, is de lijn gestippeld tot onderkant peilfilter A-B1-1-d. In het traject met gestuwde afzettingen is de waterscheiding in het watervoerend pakket zichtbaar. Aan de noordoostelijke zijde van de gestuwde afzettingen is de afpompkegel van Holten herkenbaar. Ook is de invloed van de winning op de stijghoogte vanaf het puttenveld tot aan de waterscheiding in zuidwestelijke richting goed waar te nemen. Door deze invloed wordt het verloop van de stijghoogte afgevlakt en mogelijk de waterscheiding iets naar het zuidwesten verlegd, waardoor de voeding in zuidwestelijk richting afneemt. Uit de resultaten van de regressieberekeningen is gebleken, dat de winning in het gestuwde traject voor een deel geen invloed heeft op de hoogte en het verloop van de freatische grondwaterstand. Er is namelijk op een aantal locaties geen verband aangetoond tussen de freatische grondwaterstanden en de stijghoogte in het watervoerend pakket. De verschillen tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte kunnen oplopen tot meer dan 6 meter. Vanaf buislocatie 28CP0128, die ligt in het puttenveld tot aan buislocatie A-E1-5 komen in de 'ondiepe' en 'diepe' ondergrond geen weerstandbiedende lagen van betekenis voor. In dit traject is de freatische grondwaterstand dan ook gelijk aan de stijghoogte. In de afbeelding zien we, dat de invloed van de winning in noordoostelijke richting afneemt tot even voorbij buislocatie A-E1-5, waarna de freatische grondwaterstand het verloop van het maaiveld in noordoostelijke richting volgt. Even voor buislocatie A-E1-4 wordt de diepte van de grondwaterstand sterk beïnvloed door het waterlopensysteem van de Maatgraven met de zijtakken, die afwatert naar de Regge. Buislocatie A-E1-5 ligt in een kwelgebied. In perioden met een verdampingsoverschot zakt de freatische grondwaterstand op deze locatie niet ver uit en wordt in natte perioden sterk afgevlakt door de drainerende werking van een nabijgelegen (ca. 12 m) watervoerende sloot.



Afbeelding 39 Grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 in raai B1-E1.

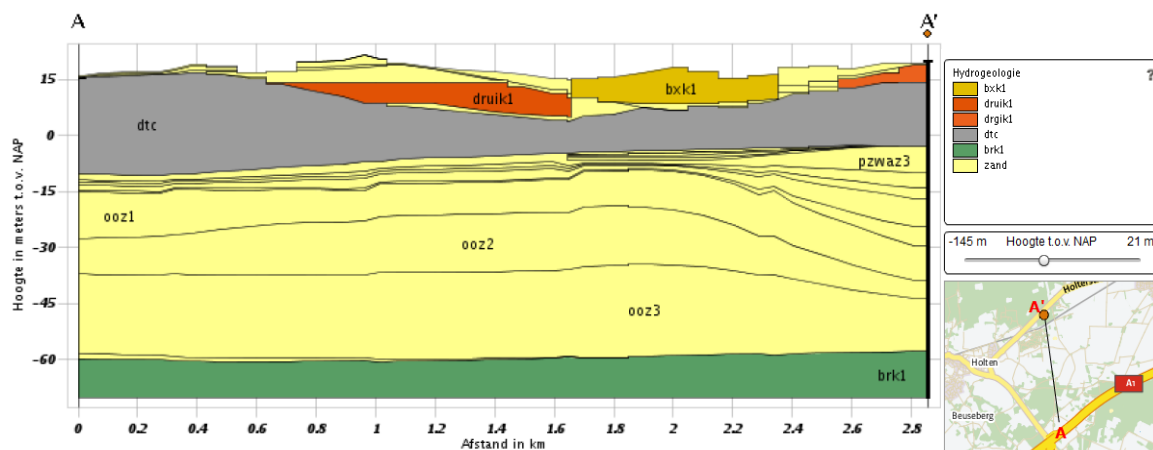
In Afbeelding 39 is het verloop van de freatische grondwaterstand en stijghoogte op 28-1-2014 weergegeven. Het beeld komt sterk overeen met Afbeelding 38; alleen is nu de invloed van de winning vanaf het puttenveld in noordoostelijke richting niet tot even voorbij buislocatie A-E1-4 waar te nemen, maar juist even voor buislocatie A-E1-3. Daarna volgt de freatische grondwaterstand sterk het verloop van het maaiveld. Verder is in tegenstelling tot Afbeelding 38 in peilfilter A-B1-1-d wel een freatische grondwaterstand gemeten, waarschijnlijk in de vorm van een schijnspegel. Dit geldt ook voor het ondiepste filter (-o) op stambuislocatie 28CP0061; alleen weten we niet of we op deze locatie te maken hebben met een schijnspegel of een permanent stijghoogteverschil in verzadigde toestand. Uit paragraaf 4.2.2 volgt dat de grondwaterstand in natte perioden een sterk verband heeft met de grondwaterstand in het diepe filter (-d), maar geen verband heeft met de grondwaterstand in het diepste filter (-ed). Ook blijkt dat het reeds bestaande ondiepe filter (-d) de freatische grondwaterstand als gevolg van een 'ondiepe' keileemlaag in het bodemprofiel niet correct weergeeft. Omdat het verloop van de grondwaterstandslijn vanaf A-B1-1-d in de richting van het centrum van de winning onduidelijk is, is het traject gestippeld.

Raai C1-A

In Afbeelding 40 staat de geohydrologische dwarsdoorsnede van raai C1-A weergegeven. De raai loopt vanuit zuidelijke richting tot aan het puttenveld.

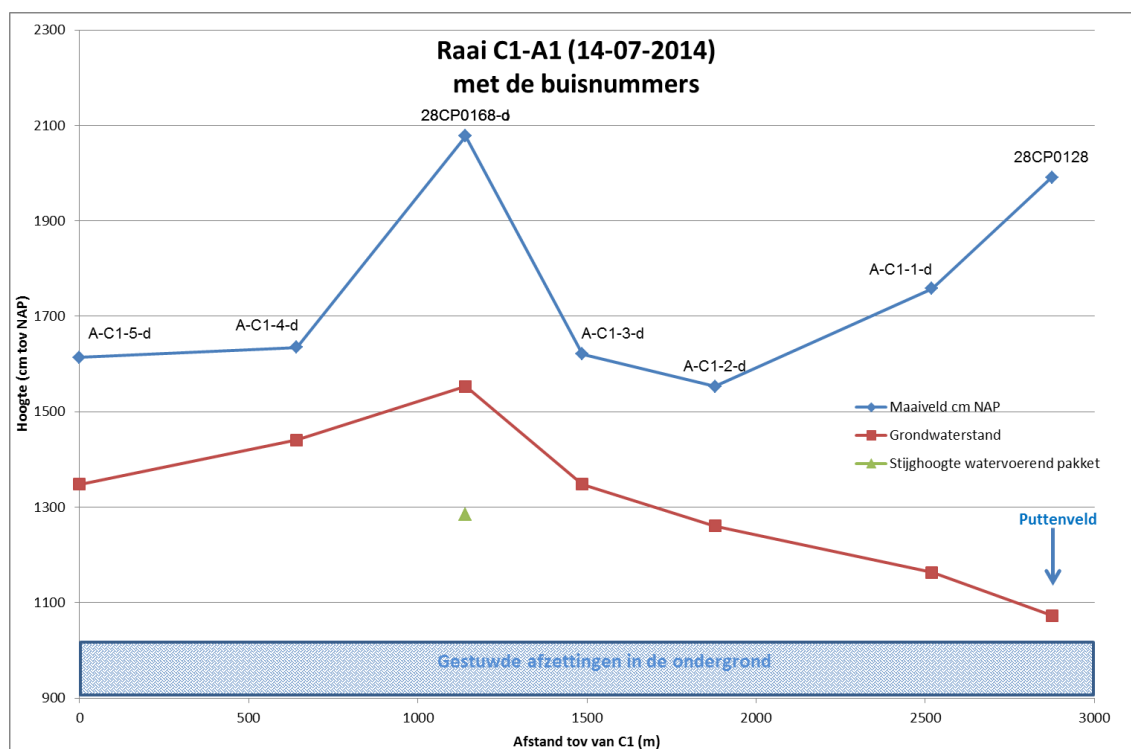
Verticale Doorsnede REGIS II v2.1

Hoogte t.o.v. NAP: -70



Afbeelding 40 Geohydrologische dwarsdoorsnede raai C1-A.

De geohydrologische basis ligt op ca. 60 m - NAP. In deze raai wordt het watervoerend pakket over de gehele lengte afgedekt door gestuwde afzettingen. De onderkant van de laag met gestuwde afzettingen helt van ca. 5 m - NAP nabij het puttenveld tot ca. 10 m - NAP in het zuiden. In het zuiden dagzomen de gestuwde afzettingen. In noordelijke richting worden de gestuwde afzettingen afgedekt door zandlagen met daarbinnen vaak een slecht doorlatende laag bestaande uit keileem (nabij het puttenveld) of kleilagen behorende tot de Formatie van Drenthe of Bostel.

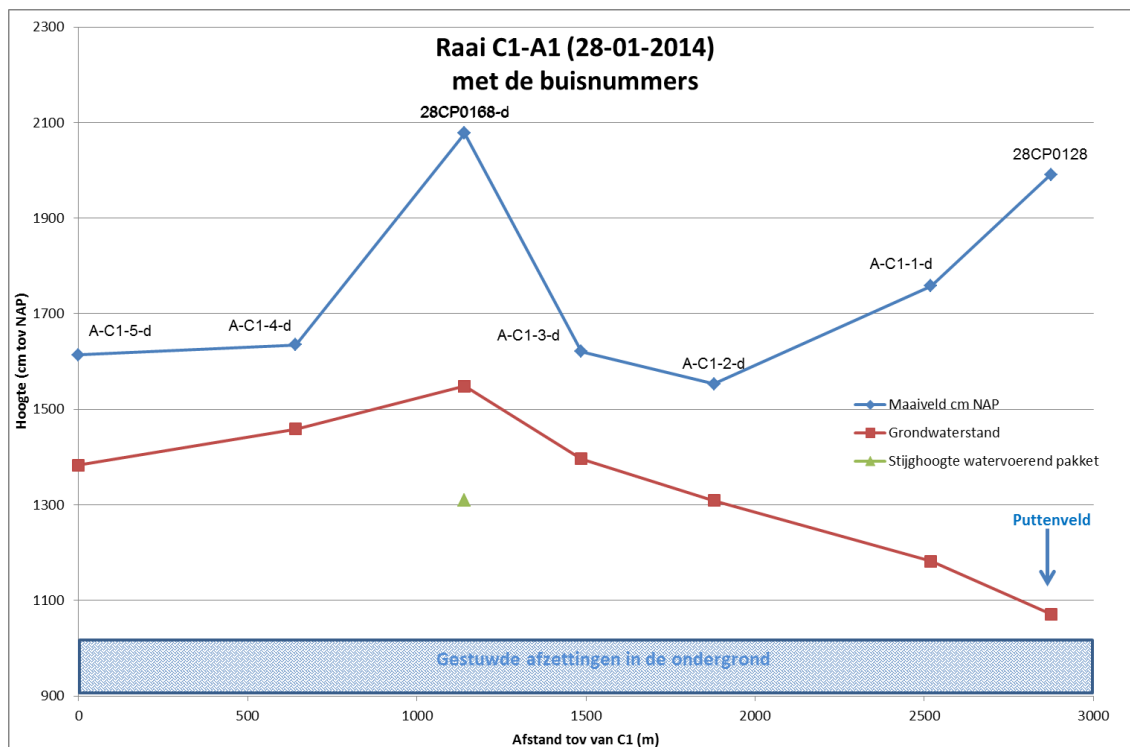


Afbeelding 41 Grondwaterstand/stijghoogte op 14-07-2014 in raai C1-A.

In de gestuwde afzettingen komen overal weerstandbiedende lagen voor, die soms doorlopen tot aan het maaiveld (Bostelklei). Tijdens het maken van de profielbeschrijvingen zijn in de 'ondiepe' ondergrond op de buislocaties weerstandbiedende lagen in de vorm van keileem (28CP0128, A-C1-1, A-C1-3, 28CP0168 en 28CP0128) aangetroffen. In de raai staan twee peilbuizen met diepe filters

onderin de gestuwde afzettingen c.q. het onderliggende watervoerende pakket. Locatie 28CP0168 heeft naast een diep filter (stand 12,85 m+ NAP) ook een ondiep filter (stand 15,53 m+ NAP), tussen beide filters is het potentiaalverschil 2,68 m. Op buislocatie 28CP0128 is geen ondieper filter beschikbaar. Hier is bodem uitgeboord tot 6,70 – mv. waarbij alleen op een diepte van 95 cm – mv. en laag keileem van slechts 25 cm is aangetroffen. De aanwezige keileem is verweerd en heeft weinig of geen stagnerende invloed op het neerslagoverschot. Dit blijkt ook uit het voorkomen van een moderpodzol in het bodemprofiel. Een moderpodzol kan zich alleen ontwikkelen wanneer er geen invloed van (freatisch) grondwater aanwezig is. Dit betekent, dat de mogelijke stagnerende werking van de keileemlaag op het neerslagoverschot geen invloed heeft gehad op de ontwikkeling van de moderpodzol, waaruit volgt dat het optreden en de hoogte van een schijnspegel op de keileemlaag beperkt of niet aanwezig is. De gemeten stijghoogte op deze locatie kan met een grote mate van waarschijnlijkheid als freatisch worden geschouwd. Voor bepaling van het verloop van de freatische grondwaterstand zijn aanvullend nieuwe peilbuizen geplaatst in de raai. In geen van de 'ondiepe' filters is tijdens de meetperiode een freatische grondwaterstand gemeten. Daarentegen zijn in de 'diepere' grondwaterstandsbuizen wel grondwaterstanden gemeten.

In Afbeelding 41 zien we dat vanaf het puttenveld richting het zuiden, de invloed van de winning op de freatische grondwaterstand afneemt tot aan de waterscheiding op buislocatie 28CP0168. Door invloed van de winning lijkt het of de hoogte van de grondwaterstand ter plekke van de waterscheiding enigszins is afgevlakt, waardoor de voeding in zuidelijke richting afneemt. Uit de informatie van de 'ondiepe' boringen kan niet worden opgemaakt of er vanaf de onderkant van de boringen tot in het watervoerende pakket nog weerstandbiedende lagen voorkomen. Hierdoor weten we niet of de stijghoogte gelijk is aan de freatische grondwaterstand of dat er een verschil aanwezig is. Op buislocatie 28CP0168 is tussen de twee aanwezige filters, waarvan het diepste filter in het watervoerende pakket is geplaatst, wel een potentiaalverschil gemeten, waardoor we aan kunnen nemen dat tussen beide filters nog een weerstand van betekenis aanwezig is. Vanaf deze buislocatie richting het zuiden volgt de freatische grondwaterstand het verloop van het maaiveld. Op basis van de beperkte boorinformatie en het ontbreken van grondwaterstanden in het watervoerende pakket kan niet worden opgemaakt of op deze locaties de freatische grondwaterstand gelijk is aan de stijghoogte.



Afbeelding 42 Grondwaterstand/stijghoogte op 28-01-2014 in raai C1-A.

In Afbeelding 42 is het verloop van de freatische grondwaterstand/stijghoogte op 28-1-2014 weergegeven. Het beeld komt sterk overeen met Afbeelding 41.

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.
- 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.
- Dodewaard, E. van en E. Kiestra, 1990. *De bodemgesteldheid van de landinrichtingsgebieden Rijssen en Enter: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek en geschiktheidsbeoordeling voor akker- en weidebouw*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 88.
- 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. *Standaardvochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1680.
- Laat, P.J.M. de, 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. de, 1982. *MUST a simulation model for unsaturated flow*. Report of international Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.

-
- Oude Voshaar, J.H., 1995. *Statistiek voor onderzoekers*. Wageningen, Wageningen Pers.
- 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. *Metten 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. *Verkennd onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Mander (fase 1)*. Wageningen, Alterra. Rapport 2325.
- VSN International (2012). *GenStat Reference Manual (Release 15), Part 1 Summary*. Hemel Hempstead, UK: VSN International.
- 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.

Aanhangsel 1 Reken- en raadpleeg- gegevens voor de TCGB-tabel van de buislocaties (Alterra) in de raaien voor weidebouw

Raai	Buislocatie (Alterra)	Bodemtype en grondwater-trap (Gt)	TCGB-aanduiding			Huidige hydrologische situatie in cm - mv.		
			Bovengrond vochtkarakteristiek	Dikte(cm) effectieve wortelzone	Ondergrondtype	GHG	GVG	GLG
A-A1	1	gY73x10/F-sVIIId	B	30	O1	85	602	603
A-A1	2	Hn53g6/F-VIIIId	B	30	O7	651	652	653
A-A1	3	zEz53/F	B	40	O4	551	552	553
A-A1	4	zEz53/F	B	40	O4	601	602	603
A-A1	5	zEz55	C	40	O5	501	502	503
A-A1	6	cHn53/F-VIIIId	B	40	O4	200	225	275
A-A1	7	cHn33/F-VIIIId	B	40	O4	145	170	220
A-A1	8	cZn53/F-VIIo	B	35	O4	90	110	165
A-A1	9	Hn33/F-VIIo	B	30	O4	85	105	160
A-A1	10	tZb53g3/G-VIIIId	B	30	O1	275	295	315
A-B1	1	cHn53g11/F-sVIIId	B	35	O4	120	150	621
A-B1	2	tZn55g16-IIIa	C	25	O5	15	40	110
A-B1	3	zEz53g10/F-VIIIId	B	40	O4	240	265	325
A-B1	4	gY53x10-VIIIId	B	30	O3	621	622	623
A-B1	5	cHn53/F-VIIIId	B	40	O4	525	550	580
A-C1	1	gHn53x10-VIIIId	A	25	O3	560	590	640
A-C1	2	cHn53-VIIIId	B	30	O4	200	225	280
A-C1	3	cHn53x7-VId	B	35	O9	60	100	280
A-C1	4	Hn53g16-VIIIId	B	25	O3	150	165	190
A-C1	5	cHn53/G-VIIIId	B	40	O4	220	240	265
A-D1	1	gcHn53/F-VIIIId	B	35	O4	410	430	440
A-D1	2	tZn53-VIIIId	B	30	O3	175	195	220
A-D1	3	tZn55-IVu	C	25	O3	45	60	80
A-D1	4	zWz/F-IIa	C	20	O11	20	35	75
A-D1	5	Hn53/F-VIo	B	30	O4	45	65	120
A-E1	1	cHn53/F-VIIIId	B	40	O4	360	385	435
A-E1	2	gtZn53-VIIId	B	30	O3	125	150	205
A-E1	3	gtZn53g6-VIo	B	25	O7	50	75	150
A-E1	4	Hn51/F-VIo	A	30	O3	60	80	135
A-E1	5	tZn57g8/F-IIa	C	15	O3	10	25	60

Aanhangsel 2 Algemene gegevens van de stambuizen

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

Buis-nummer	Buisnummer (alias)	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Bovenkant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filter-lengte (cm)	Opmerking
28CP0017	B28C0312	228776	479730	1317	41	747	100	
28CL0060	B28C0410	229081	478520	1237	50	500	100	
28CP0099-d	B28C0099-d	227378	477815	1980	55	1417	100	
28CP0099-o	B28C0099-o	227378	477815	1980	-5	120	100	Alterra-buis
28CP0061-ed	B28C0274-ed	226971	477242	2050	34	1549	200	
28CP0061-d	B28C0274-d	226971	477242	2050	33	354	100	
28CP0061-o	B28C0274-o	226971	477242	2050	-10	60	50	Alterra-buis
28CP0168-o	B28C0168-o	228185	477107	2078	51	626	100	
28CP0168-d	B28C0168-d	228185	477107	2078	50	2468	500	
28CP0128	B28C0128	227812	478790	1991	64	2420	200	
28CP0070-d	B28C0070-d	227712	478947	2126	69	2867	100	
28CP0070-o	B28C0070-o	227712	478947	2126	47	100	50	Alterra-buis
28CP0267	B28C0267	227163	478754	2050	65	1502	200	
28CP0268	B28C0268	226482	478144	1740	71	1100	200	

Algemene gegevens van de door Alterra geplaatste peilbuizen.

Buis-nummer	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Boven-kant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filter-lengte (cm)	Opmerking
A-A1-1-o	227333	478676	2066	-5	120	100	
A-A1-1-d	227333	478676	2066	-5	600	100	
A-A1-2	226837	478512	1971	-5	650	100	
A-A1-3-o	226285	478333	2062	-15	250	50	
A-A1-3-d	226285	478333	2062	-10	550	100	
A-A1-4	225809	478176	2376	-5	600	100	
A-A1-5-o	225311	478003	2209	-10	200	100	
A-A1-5-d	225311	478003	2209	-10	600	100	
A-A1-6	224918	477885	1336	0	400	100	
A-A1-7	224438	477738	1239	-5	260	100	
A-A1-8	224010	477578	1142	-8	235	100	
A-A1-9	223445	477438	1121	0	260	100	
A-A1-10	225230	477879	1707	0	370	100	
A-B1-1-o	227295	477880	2113	-8	220	100	
A-B1-1-d	227295	477880	2113	-8	620	100	
A-B1-2	227200	477716	1930	-10	250	100	
A-B1-3-o	226710	476965	2319	-10	240	100	
A-B1-3-d	226710	476965	2319	-10	430	100	
A-B1-4-o	226376	476417	2417	-10	120	100	
A-B1-4-d	226376	476417	2417	-10	620	100	
A-B1-5	226035	475965	1351	-7	340	100	
A-C1-1-o	227976	478479	1758	0	100	50	
A-C1-1-d	227976	478479	1758	0	640	100	
A-C1-2	228045	477836	1553	-10	330	100	
A-C1-3-o	228080	477452	1621	-5	80	50	

Buis-nummer	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Boven-kant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filter-lengte (cm)	Opmerking
A-C1-3-d	228080	477452	1621	-5	320	100	
A-C1-4	228163	476612	1635	-10	300	100	
A-C1-5-o	228239	475977	1614	0	160	50	
A-C1-5-d	228239	475977	1614	0	345	100	
A-D1-1	228142	478798	1537	-5	490	100	
A-D1-2	228507	478676	1333	-8	280	100	
A-D1-3	229764	478243	1222	-10	150	100	
A-D1-4	230262	478064	1207	-8	150	100	
A-D1-5	230789	477910	1340	0	200	100	
A-E1-1	228301	479236	1546	-10	490	100	
A-E1-2	229048	479973	1288	0	280	100	
A-E1-3	229333	480296	1192	-10	260	100	
A-E1-4	229583	480488	1138	0	220	100	
A-E1-5	229916	480839	985	-10	140	100	

- **Buisnummer:** naam van de buis. A1-A1-x, A-B1-x, A-C1-x, A-D1-x en A-E1-x-buizen zijn buizen die door Alterra zijn geplaatst. De overige buizen zijn bestaande buizen van Vitens of enkele ondiepe buizen die door Alterra (-o) zijn bijgeplaatst;
- **Buisnummer (alias):** andere naam die ook wel voor de buizen van Vitens worden gebruikt;
- **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.

Aanhangsel 3 Gemeten grondwaterstanden

Gemeten grondwaterstanden (cm – mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf 15 november 2013 t/m 13 juni 2014.

Naam	Datum														
	11/15/13	11/28/13	12/13/13	12/27/13	1/14/14	1/28/14	2/14/14	2/28/14	3/14/14	3/28/14	4/15/14	4/28/14	5/14/14	5/30/14	6/13/14
28CP0017	177	195	200	184	177	171	175	187	201	205	214	219	215	212	220
28CL0060	104	120	119	97	95	92	99	116	126	124	129	131	118	107	130
28CP0099-d	739	733	730	725	719	717	716	706	709	711	714	712	719	718	717
28CP0099-o	27	40	37	25	31	19	21	33	56	47	58	67	43	33	77
28CP0061-ed	776	770	764	763	754	752	758	742	747	751	753	748	761	757	753
28CP0061-d	109	117	111	95	103	92	102	109	128	125	144	154	153	124	170
28CP0061-o	Dr ¹	Dr	Dr	59	70	52	61	72	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
28CP0168-o	570	557	547	541	535	530	521	512	506	501	499	499	505	510	514
28CP0168-d	791	788	787	781	773	768	765	760	765	772	777	776	782	783	784
28CP0128	N ¹	944	928	900	910	920	908	891	909	921	917	914	915	917	918
28CP0070-d	N	1047	1042	1023	1025	1024	1022	1013	1020	1024	1026	1021	1022	1024	1026
28CP0070-o	N	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
28CP0267	N	867	864	856	855	853	849	844	845	843	842	841	841	842	841
28CP0268	N	482	481	479	476	473	468	465	464	462	461	461	462	463	465
A-A1-1-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-1-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-2-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-3-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-4-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-5-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-6-d	231	237	246	241	220	224	221	227	240	253	262	269	273	272	270
A-A1-8-d	111	132	135	111	113	103	108	125	142	153	165	168	153	149	157
A-D1-1-d	438	434	436	429	416	415	413	408	418	425	432	433	428	434	437
A-A1-7-d	166	186	190	175	166	164	167	178	192	207	220	224	216	213	216
A-D1-2-d	192	207	208	192	188	183	186	190	200	204	212	216	211	212	216
A-D1-3-d	64	75	77	62	68	56	61	72	82	81	86	88	77	67	87
A-D1-4-d	48	63	66	46	53	39	46	60	73	72	77	78	68	58	83
A-D1-5-d	65	94	97	65	75	51	62	88	107	104	108	124	108	99	123
A-E1-1-d	435	428	432	427	416	412	410	407	415	422	429	432	430	432	435
A-E1-5-d	30	51	53	35	39	25	27	52	62	58	63	62	50	45	61
A-E1-4-d	65	105	108	78	90	72	83	108	124	120	135	128	119	106	131
A-E1-2-d	142	171	176	150	151	140	150	168	185	189	198	204	198	195	203
A-E1-3-d	59	99	109	72	80	61	73	108	132	130	148	157	138	119	142

Gemeten grondwaterstanden (cm – mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf 15 november 2013 t/m 13 juni 2014.

Naam	Datum														
	11/15/13	11/28/13	12/13/13	12/27/13	1/14/14	1/28/14	2/14/14	2/28/14	3/14/14	3/28/14	4/15/14	4/28/14	5/14/14	5/30/14	6/13/14
A-C1-1-d	598	594	593	586	579	576	571	565	570	576	583	584	587	588	590
A-C1-1-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-C1-2-d	252	257	262	268	244	244	237	236	245	252	262	267	273	279	284
A-C1-3-d	264	260	259	256	239	225	206	205	230	239	248	252	259	263	265
A-C1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-C1-4-d	184	190	192	187	178	176	172	171	177	179	180	181	184	186	187
A-C1-5-d	257	250	250	249	236	231	225	223	232	237	244	249	253	255	257
A-C1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-1-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-1-o	200	195	194	188	161	153	142	146	162	169	180	188	198	206	215
A-B1-2-d	11	23	20	0	0	0	0	0	51	37	47	62	30	22	79
A-B1-3-d	372	356	352	353	343	331	318	308	303	306	306	319	327	332	337
A-B1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-5-d	222	235	242	230	213	212	214	223	240	247	257	263	266	269	272
A-A1-10-d	330	326	325	324	321	319	315	313	312	313	314	315	317	318	320
A-B1-4-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-4-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-9-d	108	131	130	104	113	100	106	125	143	146	158	159	143	138	155

Gemeten grondwaterstanden (cm – mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf 27 juni 2014 t/m 29 september 2014.

Naam	Datum						
	6/27/14	7/14/14	7/28/14	8/14/14	8/29/14	9/15/14	9/29/14
28CP0017	227	228	233	237	234	238	239
28CL0060	138	127	137	139	131	136	134
28CP0099-d	720	725	728	731	733	734	737
28CP0099-o	Dr	99	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
28CP0061-ed	754	758	760	764	767	768	770
28CP0061-d	216	235	250	264	274	284	295
28CP0061-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
28CP0168-o	519	525	529	536	542	549	554
28CP0168-d	788	793	797	800	804	805	808
28CP0128	927	918	921	924	935	929	933
28CP0070-d	1029	1026	1030	1032	1035	1031	1033
28CP0070-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
28CP0267	842	847	849	850	851	852	854
28CP0268	468	469	472	474	476	480	481
A-A1-1-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-1-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-2-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-3-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-4-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-5-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-6-d	275	279	283	288	291	295	294
A-A1-8-d	166	168	171	175	174	177	174
A-D1-1-d	440	441	443	446	447	444	447
A-A1-7-d	223	226	230	232	233	237	235
A-D1-2-d	220	221	226	228	229	230	229
A-D1-3-d	96	83	95	96	86	94	91
A-D1-4-d	97	76	94	93	80	93	89
A-D1-5-d	134	118	136	138	123	138	136
A-E1-1-d	438	440	444	445	447	448	449
A-E1-5-d	66	57	67	68	61	66	64
A-E1-4-d	145	135	147	150	140	150	152
A-E1-2-d	212	213	218	222	217	223	224
A-E1-3-d	160	159	168	173	165	175	179

Gemeten grondwaterstanden (cm – mv.) in de door Alterra geplaatste grondwaterstandsbuizen en stambuizen vanaf 27 juni 2014 t/m 29 september 2014.

Naam	Datum						
	6/27/14	7/14/14	7/28/14	8/14/14	8/29/14	9/15/14	9/29/14
A-C1-1-d	592	595	598	599	601	602	603
A-C1-1-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-C1-2-d	288	292	298	301	306	312	313
A-C1-3-d	269	273	279	285	290	295	301
A-C1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-C1-4-d	190	194	198	202	206	209	212
A-C1-5-d	260	266	268	275	278	282	287
A-C1-5-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-1-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-1-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-2-d	111	85	120	134	130	141	144
A-B1-3-d	341	350	356	366	375	384	390
A-B1-3-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-5-d	278	282	289	294	295	297	300
A-A1-10-d	321	325	327	329	332	338	340
A-B1-4-d	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-B1-4-o	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr	Dr
A-A1-9-d	165	168	169	174	170	176	173

¹ N Niet gemeten.

² Dr Droog, geen grondwaterstand gemeten.

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

Alterra-rapport 2597
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 2597
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.

