

Op zoek naar de 'vergeten' verticale weerstand hoog in het bodemprofiel

- Erik Querner Alterra: erik.querner@wur.nl
- Jan van Bakel Alterra (thans De Bakelse Stroom): jan.van.bakel@hetnet.nl

1. Inleiding

De artikelen van Van der Gaast e.a. over verwaarlozing van ondiep in de ondergrond voorkomende verticale weerstand en de daaruit voortvloeiende 'numerieke verdroging', gepubliceerd in het tijdschrift H2O, hebben geleid tot veel discussie. Vooral de mate waarin stijghoogteverschillen in de bovenste paar meter volgens de auteurs optreden heeft verwondering gewekt en vooralsnog zijn de meningen over dit onderwerp sterk verdeeld. Om uit deze impasse te komen hebben wij getracht de verticale weerstand vanuit hydrologische kenmerken en veldmetingen te verklaren en te nuanceren.

Van der Gaast e.a. (2006, 2007, 2008) stellen dat verdroging veelal systematisch wordt overschat. Als voornaamste verklaring voeren zij hiervoor aan dat er ondiep in het profiel mogelijk een hoge weerstand voorkomt die bij grondwaterstandsmeting en -modellering wordt 'vergeten'. Zo'n weerstand zou tot gevolg hebben dat grondwaterstanden kunnen afwijken van stijghoogtes iets dieper in het profiel, op ca. 2 - 4 m diep, waar meestal de filters worden gesteld. Volgens de auteurs is de oorzaak hiervan dat de verticale doorlatendheid van de bovenste meters van het verzadigd grondwatersysteem aanmerkelijk lager is dan de horizontale, door Van der Gaast e.a. (2006) aangeduid als (verticale) anisotropie. De filters van freatische peilbuizen zijn om technische redenen in de loop der tijd steeds dieper gesteld, waardoor de gemeten waterstand in de buis steeds minder lijkt op de werkelijke grondwaterstand. In de praktijk wordt momenteel veelal onbedoeld gebruik gemaakt van piëzometers in plaats van freatische buizen. De filterlengte is veelal beperkt (een halve of één meter) en de buizen worden vaak dieper geplaatst om droogstaan te voorkomen.

Het geconstateerde verschil is door de auteurs aangeduid als 'numerieke verdroging'. Om diverse redenen is dat een verkeerde term (die wij in dit artikel desondanks blijven hanteren, maar wel later in het artikel nog op zullen ingaan), maar afgezien daarvan is de constatering dat er in het bovenste grondwater zulke grote verschillen in stijghoogte optreden die we kennelijk over het hoofd hebben gezien, uit fysisch oogpunt niet plausibel, zoals we in dit artikel uiteen zullen zetten. Want het door de auteurs genoemde 25 cm verschil (Van der Gaast e.a., 2008) bij een gemiddeld neerslagoverschot van 1 mm/d betekent een verticale weerstand van 250 d. Dat is ongeveer in dezelfde orde van grootte als de 'normale' drainageweerstand in gebieden met een slootafstand van 250 m en zonder buisdrainage. Dergelijke grote weerstanden moeten toch hun sporen achterlaten bij veldonderzoek of bij de eerste de beste validatie van modelresultaten.

Van Ek e.a. (2008), Boukes (2008) en Maas e.a. (2008) bediscussieerden de 'numerieke verdroging', gevolgd door reacties van Van der Gaast e.a. Een deugdelijke wetenschappelijke analyse van de omvang en de oorzaak van 'numerieke verdroging' ontbreekt echter op dit moment. In dit artikel gaan wij na of op grote schaal (in de letterlijke en figuurlijke betekenis) de verticale weerstand zijn gaan 'vergeten'. Waar in Nederland zou zo'n 'vergeten' weerstand kunnen voorkomen? Door het analyseren van gemeten grondwaterstanden en het uitvoeren en analyseren van modelsimulaties onderzochten wij in hoeverre de verticale weerstand hoog in het bodemprofiel een significante rol speelt en hoe grondwaterstanden door het jaar heen hierop reageren. Hiervoor zijn berekeningen uitgevoerd met de modelcode SIMGRO voor het modelgebied Lankheet met verschillende anisotropiefactoren. Op basis van al deze bevindingen wordt ingegaan op de 'problematiek' van de 'numerieke verdroging'. Wij hopen met dit artikel bij te dragen aan een deugdelijke wetenschappelijke analyse van de omvang en de oorzaken van een eventuele 'numerieke verdroging'.

2. Wat was de aanleiding de ‘vergeten’ weerstand uit de vergetelheid te halen

Van der Gaast en Massop (2003) schatten een gemiddeld verschil van minimaal 20 cm tussen getransformeerde grondwaterstandmetingen naar Gt-parameters in open boorgaten versus geschatte Gt-parameters op basis van peilbuisgegevens uit landbouwbuizen (met een maximale filterdiepte van vier meter). In de recente discussie over ‘numerieke verdroging’ blijkt het geconstateerde verschil van minimaal 20 cm te worden aangegeven als gemiddeld ongeveer 25 cm (Van der Gaast e.a., 2006). Van der Gaast e.a. (2007) schatten dat de ‘numerieke verdroging’ voor de GHG 27 cm is en voor de GLG 23 cm. Deze verschillen worden ingeschat op basis van oude grondwaterstands-informatie die beschikbaar is in de vorm van kaarten. Door deze te vergelijken met recente meetgegevens in peilbuizen zijn deze verschillen in Gt-parameters bepaald. Als je de GHG en GLG schat op basis van metingen in open boorgaten en deze vergelijkt met geschatte Gt-parameters op basis van metingen in landbouwbuizen, dan blijkt er een verschil te zijn van minimaal 20 cm. Deze verschillen zijn echter niet op één locatie waargenomen. Dat wil zeggen: er was geen sprake van één locatie waar zowel de Gt is geschat o.b.v. metingen in een open boorgat en een landbouwbuis. Je kunt je afvragen of je daardoor appels met peren aan het vergelijken bent. Landbouwbuizen hebben mogelijk vaak een andere locatie in het landschap dan de open boorgaten, waardoor je onbedoeld verschillen in GxG introduceert. Dit is reeds eerder geopperd door Hoogland e.a. (2004): peilbuizen staan vaak op makkelijk bereikbare en iets drogere locaties, zoals wegbermen of vlak bij een boerderij.

3. Analyse: Op zoek naar de ‘vergeten’ weerstand

3.1 Waar in Nederland speelt de ‘vergeten’ weerstand: een regionale afbakening

‘Numerieke verdroging’ heeft volgens Van der Gaast e.a. (2008) betrekking op een onjuiste inschatting van de grondwaterstand als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken. Kan er daardoor in grote delen van Nederland sprake zijn van grote verschillen in stijghoogte in het bovenste grondwater? Het gaat dus over een verschil in stijghoogte tussen pakweg 0,5-1,5 m en 3-4 m diep. Het optreden van schijngrondwaterstanden in de bouwvoor of plassen op het land als gevolg van structuurbederf en/of ploegzolen wordt nadrukkelijk in dit artikel niet meegenomen, omdat die ook bij open boorgaten niet worden gemeten.

Voor welke regio’s in Nederland zou er sprake kunnen zijn van een ‘vergeten’ verticale weerstand, die kan leiden tot het verkeerd inschatten van grondwaterstanden? Om te komen tot een regionale afbakening is Nederland verdeeld in regio’s op basis van hydrologische kenmerken (Massop e.a., 1997). Aan deze zogenaamde hydrotypen zijn eigenschappen toegekend op basis van boorinformatie en is een kaart gemaakt. Deze kaarteenheden zijn ten behoeve van het onderzoek naar Effectiviteit van Bemestingvrije Perceelsranden samengevoegd tot vijf geohydrologische profieltypen (Van Bakel e.a., 2007). Ruimtelijk is de ligging van deze vijf profieltypen in figuur 1 weergegeven.

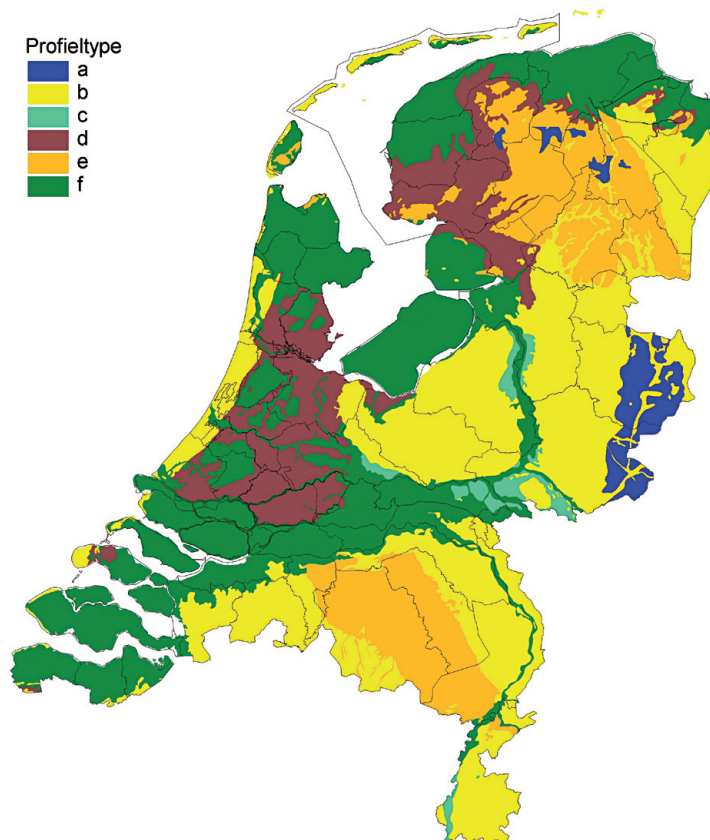
Waar zou een mogelijk ‘vergeten’ verticale weerstand in Nederland aan de orde kunnen zijn? Kijkend naar de profieltypen uit figuur 1:

- Klei- en veengebieden (profieltypen d en f): Gebieden met bovenin (zee- of rivier)klei en veen worden geohydrologisch geschematiseerd tot profieltypen met een afdekkend pakket. In die gebieden is het algemeen bekend dat de grondwaterstand verschilt met de potentiaal in de daar onder gelegen watervoerend pakket en is het aannemen van een verticale weerstand daarom vanzelfsprekend;

- Twee watervoerende pakketten gescheiden door slecht doorlatende laag (profieltype e): In gebieden met ondiep keileem (met name in Drenthe) wordt er terdege rekening gehouden met een verticale weerstand hoog in het profiel bij het meten van grondwaterstanden. De daar periodiek optredende schijngrondwaterstanden zijn een erkend probleem bij de modellering dat pas recent is aangepakt (Querner e.a., 2005; Berendrecht e.a., 2008). Als de slecht doorlatende laag dieper ligt (bv. in delen van de Centrale Slenk en gebieden met keileem) kan er sprake zijn van een 'vergeten' weerstand in het bovenste watervoerend pakket;
- Open zandgronden (profieltype b): Dit zijn gebieden waar mogelijk een 'vergeten' weerstand aanwezig is;
- Gebieden met een dun watervoerend pakket op ondoorlatende ondergrond (profieltype a): Ook hier kan sprake zijn van een 'vergeten' verticale weerstand, maar hier speelt niet het probleem van het te diep stellen van filters, vanwege de geringe dikte van de freatische aquifer.

Conclusie 1

De 'vergeten' weerstand speelt met name bij de open zandprofielen in Nederland, zoals de Veluwe, de Achterhoek, Twente, Salland, de Veenkoloniën en grote delen van Noord-Brabant en Limburg, en gebieden met een relatief dik watervoerend pakket op keileem of Brabantleem (delen van Noord-Brabant, Drenthe en Friesland). Hierbij gaat het om ca. 40% van Nederland.



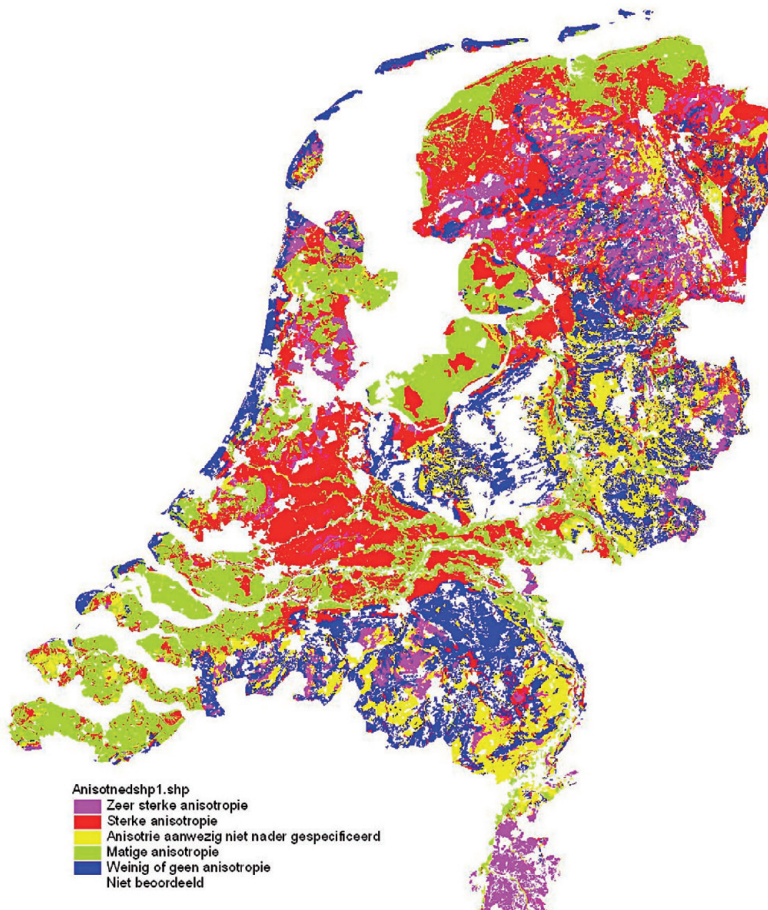
FIGUUR 1: INDELING VAN NEDERLAND IN 5 GEOHYDROLOGISCHE PROFIELTYPEN (VAN BAKEL E.A., 2007)

3.2 Kaart anisotropie

Van der Gaast e.a. (2006) presenteerden in hun eerste artikel over ‘numerieke verdroging’ een kaart van de anisotropie (figuur 2), om aan te geven waar mogelijk verschillen tussen de grondwaterstand en de stijghoogte in peilbuizen kunnen optreden. Deze kaart is afgeleid uit de Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000, dus de anisotropiekaart bevat informatie tot een diepte van 1,20 cm-mv. Er is een zeer sterke anisotropie (paars gekleurde vlakken) in gebieden met leem (Zuid-Limburg), keileem (Drenthe) en waar keileem heel ondiep aanwezig is (Achterhoek en Twente).

Een sterke anisotropie (rood) wordt met name aangegeven voor gebieden met veen en klei. In die gebieden wordt bij het geo-hydrologische schematiseren (t.b.v. modellering en monitoring) echter nagenoeg altijd een ondiepe verticale weerstand aangenomen, de Holocene deklaag.

Voor de zandgebieden is de indicatie voor de anisotropie in figuur 2, matig tot weinig anisotropie. Bij deze matige tot weinig anisotropie verwacht je dus een geringe weerstand hoog in het profiel, ofwel ook geen extreem verschil in grondwaterstanden freatisch en op enkele meters diepte. Uit het vorige onderdeel bleek echter dat met name binnen dit type gronden er mogelijk een ‘vergeten’ weerstand zou kunnen voorkomen. Deze kaart lijkt dus te conflicteren met de bedoeling van de auteurs om hiermee de ‘vergeten’ verticale weerstand hoog in het bodemprofiel aan te tonen.



FIGUUR 2: DE MATE VAN ANISOTROPIE VOOR NEDERLAND, AFGELEID VAN DE BODEMKAART 1 : 50 000 (VAN DER GAAST E.A. 2009)

3.3 Gemeten grondwaterstanden in de Achterhoek

Om een mogelijke verticale weerstand ondiep in het profiel te kunnen aantonen, zijn gemeten grondwaterstanden geanalyseerd. Hiervoor is het centrale deel van de Achterhoek genomen op basis van de bevindingen uit par. 3.1. Er is een selectie gemaakt van alle peilbuizen in dat deel van de Achterhoek, een open zandprofiel en waar maar één watervoerend pakket aanwezig is. Voorts zijn alleen die peilbuizen geselecteerd met twee filters op verschillende diepte. De DINO-database levert 32 geschikte buizen op waarbij het diepe filter niet lager dan 10 m onder maaiveld moet liggen. Hiervan staan er acht buizen in het Korenburgerveen die we uitsluiten, omdat het bekend is dat daar onder het veen een hoge weerstand aanwezig is. Bij drie buizen is het ondiepe filter op ca. 1,5 m en de diepere niet meer dan 4 m. Als voorbeeld zijn in figuur 3 de grondwaterstanden van de twee filters in peilbuis B33H0368 weergegeven. In figuur 3 zie je dat het verschil gering is, maar in de zomer zakt in het ondiepe filter de stand onder het traject van het filter en worden een aantal keer exact dezelfde grondwaterstanden in de tijd weergegeven, terwijl in werkelijkheid de grondwaterstand verder uitzakt. Een controle op dit soort fouten in het DINO-bestand blijft dus overduidelijk noodzakelijk!

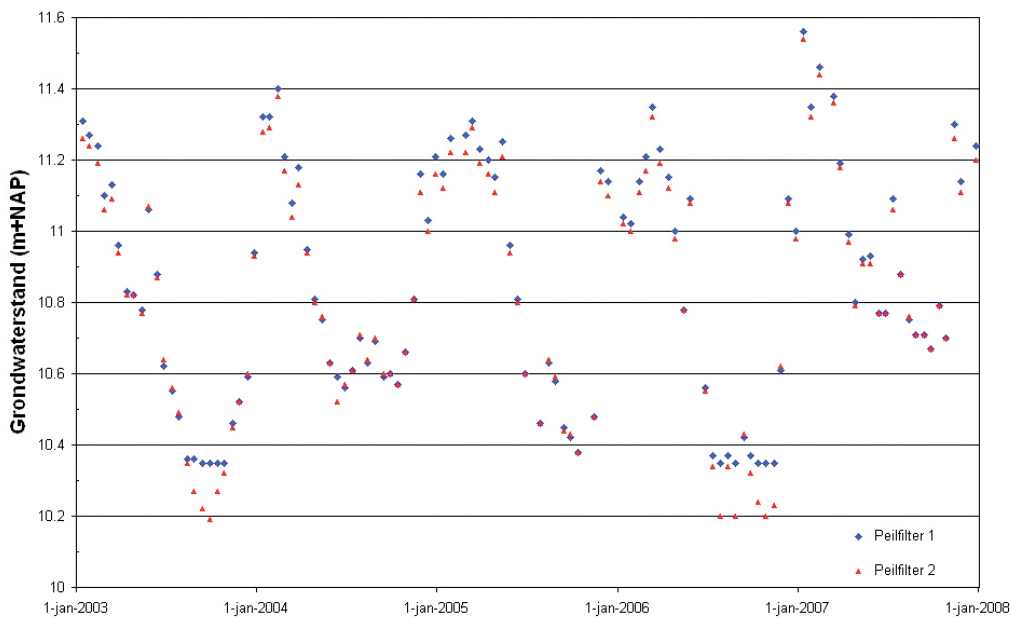
Ook het verschil in type registratie (handmatig of met een automatische drukopnemer) kan onverklaarbare verschillen geven, zoals in figuur 4 is aangegeven. De 14-daagse waarnemingen tot aan eind 2003 geven een heel gering verschil, maar voor 2004 met een continue registratie loopt het verschil aanzienlijk op. De jaren erna is er weer een gering verschil. Bij deze peilbuis is het jaar 2004 niet meegenomen om de verschillen te berekenen.

Van alle 24 buizen geeft tabel 1 de verschillen in stijghoogte tussen de filters. Voor een deel is de stijghoogte in het ondiepe filter hoger dan in het diepere filter, er is dan een neerwaartse stroming of anderzijds een negatief verschil geeft een opwaartse stroming. Naast het gemiddelde verschil is ook de RMSE (Root Mean Square Error) in tabel 1 aangegeven. Voor 2 buizen is het verschil groter dan 0,1 m. Bij peilbuis B41B0249 is er een verschil van 23 cm, maar binnen een straal van 1,5 km zijn er 5 buizen met een zeer geringe RMSE (2, 2, 4, 5 en 7 cm). Ook bij peilbuis B34C0252 staan er binnen een straal van 250 m zelfs 3 buizen met een RMSE van 1, 2 en 7 cm. Let wel: alleen als er bij de peilbuis een verticale grondwaterstroming aanwezig is, kan er bij de metingen een stijghoogteverschil worden waargenomen.

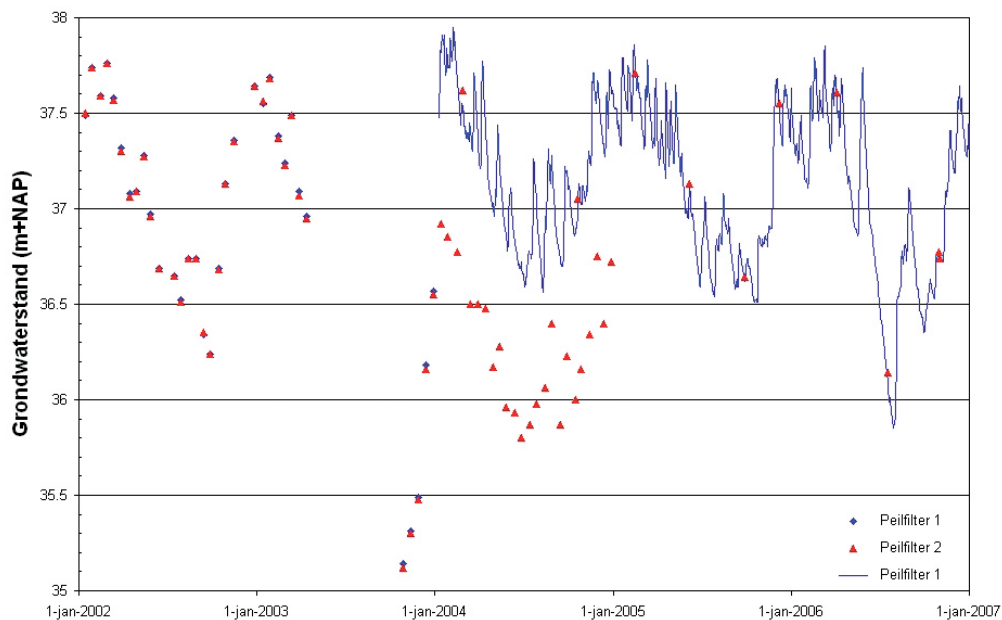
Conclusie 2

Uit deze analyse van metingen in peilbuizen blijken er geen grote verschillen in stijghoogte aanwezig te zijn die in de orde van decimeters komen. Het blijft bij verschillen tot hooguit 4 á 5 cm. Lokaal kan er ondiep altijd wel een laagje met een hogere weerstand aanwezig zijn, waardoor er wat grotere verschillen in grondwaterstanden worden gemeten. In twee gevallen was er sprake van een groter verschil, maar in de omgeving waren er dan buizen met een gering verschil.

Ook de kaart met anisotropie (figuur 2) geeft voor de Achterhoek veelal weinig of geen anisotropie, dus dat klopt.



FIGUUR 3: GEMETEN GRONDWATERSTANDEN IN PEILBUIS B33H0368 MET 2 PEILFILTERS OP 1,5 EN 3,6 M DIEPTE



FIGUUR 4: GEMETEN GRONDWATERSTANDEN IN PEILBUIS B41E0321 MET 2 PEILFILTERS OP 4,6 EN 9,2 M DIEPTE

TABEL 1: VERSCHIL IN GEMETEN GRONDWATERSTANDEN BIJ 2 PEILFILTERS OP VERSCHILLENDE DIEPTE IN DE ACHTERHOEK

Locatie	Maaiveld (m+NAP)	Gem. diepte	Gem. diepte filter 1	Aantal waar-filter 2	Verskil in grwst nemingen	RMSE (m) ¹⁾	Opmerking
B33H0368_002	12,09	1,56	3,63	156	0,02	0,03	zie fig. 3
B33H0369_002	12,66	1,70	4,67	154	0,03	0,10	zie tekst
B34C0252_002	13,51	1,19	1,95	106	0,02	0,15	
B34C0274_002	16,09	2,64	9,39	90	-0,01	0,06	
B34C0276_002	14,33	2,59	9,64	116	0,01	0,01	
B34C0277_002	14,39	2,80	4,60	116	-0,01	0,01	
B34C0279_002	14,53	2,71	4,71	107	0,00	0,02	
B34C0280_002	15,53	3,50	4,50	62	0,03	0,07	
B34C0295_002	16,67	2,10	9,46	112	-0,01	0,05	
B34C0299_002	12,70	1,72	4,18	114	-0,02	0,09	
B34C0306_002	14,85	3,69	7,66	113	0,00	0,02	
B34D0378_002	15,62	4,96	9,45	111	0,00	0,01	
B40H0108_002	14,26	4,55	8,41	81	0,04	0,05	
B41A0196_002	17,70	3,46	8,63	131	0,00	0,02	
B41A0217_002	16,29	2,53	7,94	134	0,00	0,01	
B41A0234_002	17,87	1,40	8,66	113	0,00	0,01	
B41B0225_002	20,59	1,77	3,79	134	0,00	0,02	
B41B0240_002	19,54	1,64	5,50	79	0,01	0,05	
B41B0248_002	19,64	1,89	4,97	79	0,00	0,02	
B41B0249_002	19,68	1,91	4,56	78	-0,23	0,23	zie tekst
B41B0251_002	19,23	1,78	3,70	132	0,03	0,04	
B41C0064_002	14,29	4,47	9,46	68	0,00	0,02	
B41E0321_002	38,61	4,62	9,16	89	0,01	0,02	zie fig. 4
B41E0322_002	39,88	4,60	7,47	60	0,03	0,05	

1) Verschil is de grondwaterstand in het ondiepe filter min de stijghoogte in het diepere filter

3.4 Gemeten grondwaterstanden in de Achterhoek: kaart uit Ernst e.a. (1970)

In Van der Gaast e.a. (2008) wordt een kaart van de Achterhoek getoond met verschillen in stijghoogte (zie figuur 5). Bij deze kaart schrijven de auteurs: "In het verleden, in ieder geval tot en met de jaren 70-80 van de vorige eeuw, was deze informatie (= ondiep aanwezig zijn van een verticale weerstand - EQ & JvB) algemeen bekend en werden er zelfs incidenteel kaarten gemaakt van de stijghoogteverschillen voor een gedeelte van het zandgebied van Nederland. Naast het feit dat het in het verleden bekend was dat in zogeheten open zandprofielen stijghoogteverschillen voor kunnen komen, geeft de kaart aan dat het geen incidentele verschillen zijn maar dat deze nagenoeg overal voor kunnen komen".

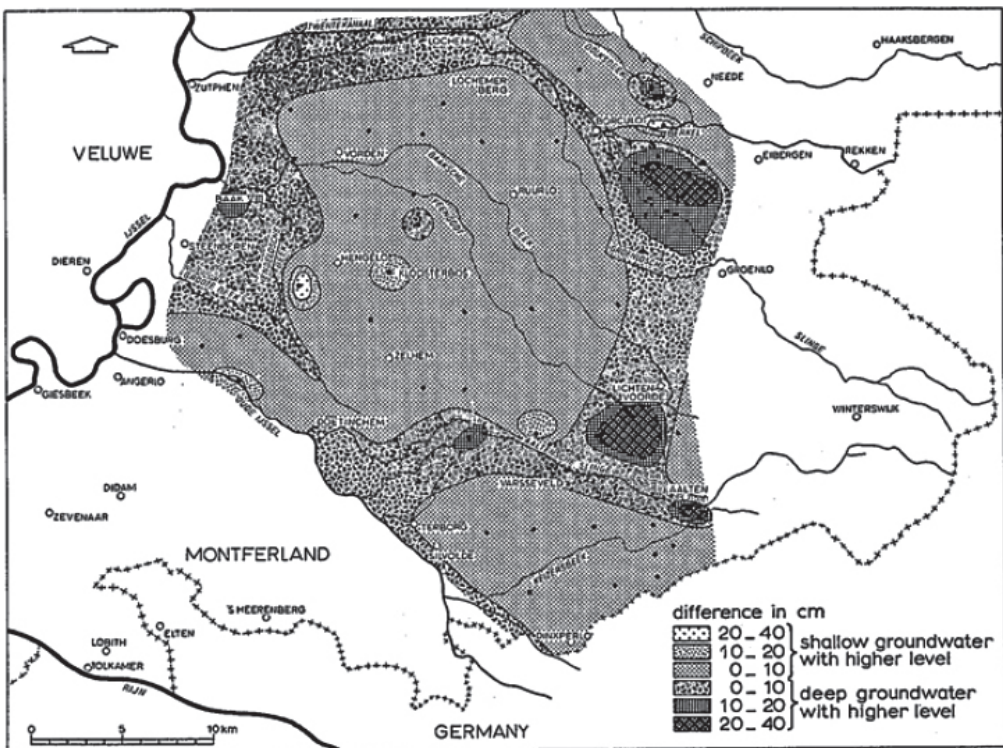
Het suggereert dat er tot de jaren zestig dus wel degelijk aandacht was voor grote verschillen in stijghoogte in het bovenste grondwater. Op de kaart worden echter verschillen in stijghoogten weergegeven tussen een filter op 3 m en op 10-20 m beneden maaiveld (Ernst e.a., 1970). Het is maar wat je ondiep in het bodemprofiel noemt! In het artikel over oorzaken en gevolg van 'numerieke verdroging' (Van der Gaast et al, 2008) wordt aangegeven dat het gaat om het verschil in stijghoogte tussen diep en ondiep grondwater; het diepe filter in het watervoerende pakket en een filter in de zone waarin de grondwaterstand fluctueert. In de context van dat artikel in H₂O, wordt de suggestie gewekt dat de metingen ook daadwerkelijk freatisch en op pakweg 3-4 m diepte zijn uitgevoerd. In die context wordt immers gesproken over te diep geplaatste buizen. Een groot deel van het gebied heeft een verschil van minder dan 10 cm, waarbij de freatische stand hoger is, dus neerwaartse stroming. Dit areaal wordt geschat op ca. 70% van het getoonde gebied. In het overige deel is de stand in de ondiepe peilbuis lager, dus een opwaartse stroming. De getoonde stijghoogteverschillen in figuur 5 doen zich dus voor over een dikte van 7 tot 17 m. Het plaatje geeft daardoor ook gebieden weer met grotere stijghoogteverschillen waarbij er een weerstandsbiedende laag aanwezig is en die ook op geologische kaarten staan aangegeven. Links boven in figuur 5, in de omgeving van Zutphen, is een slechtdoorlatende afzetting aanwezig (Eem en Drenthe formaties). De Grontmij-studie over drinkwaterwinnings in de Achterhoek en

de kaartbijlagen van de Rijks Geologische Dienst (Grontmij, 1995) geeft hier gedetailleerde informatie over. Dat er voor dat gebied in figuur 5 een stijghoogteverschil wordt aangegeven is dus gewoon het stijghoogteverschil over een 'niet vergeten'* slecht doorlatende laag.

*: Dat wil zeggen: niet vergeten in regionale, geo-hydrologische studies, zoals die bv. worden uitgevoerd om de effecten van ingrepen te bepalen.

Conclusie 3

De kaart van Ernst e.a. (1970) geeft de stijghoogteverschillen weer tussen een filter op 3 m en op 10-20 m beneden maaiveld. Het is dus niet reëel om deze kaart te gebruiken om een verticale weerstand hoog in het bodemprofiel aan te tonen.

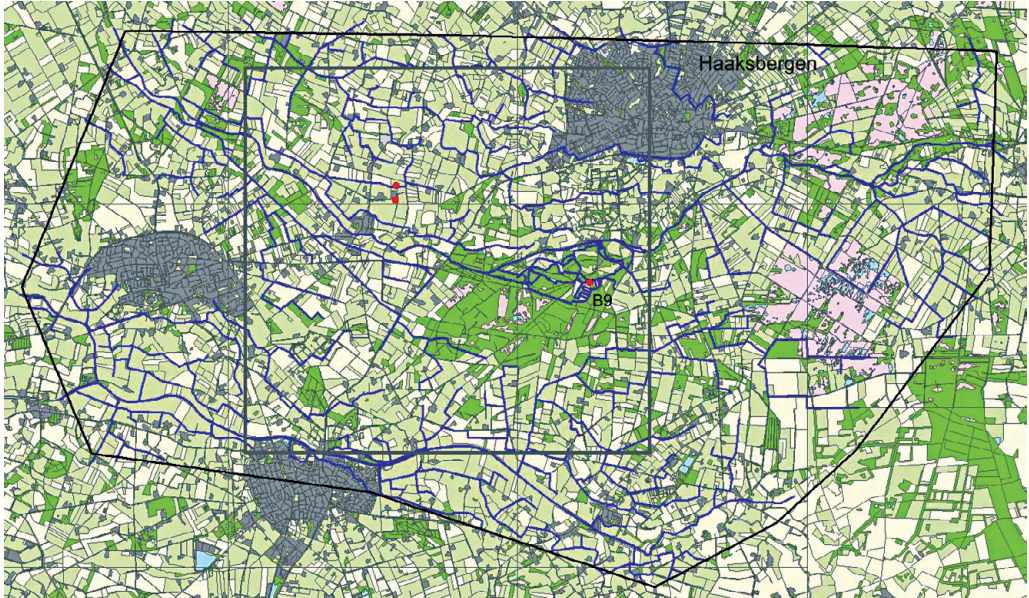


FIGUUR 5: VERSCHIL IN STIJGHOOGTE TUSSEN HET DIEPE EN ONDIEPE GRONDWATER, GEMETEN OP 7 NOVEMBER 1968 IN 58 DUBBELE PIËZOMETERLOCATIES MET EEN FILTER OP 3 M EN OP 10-20 M MIN MAAIVELD (ERNST E.A., 1970)

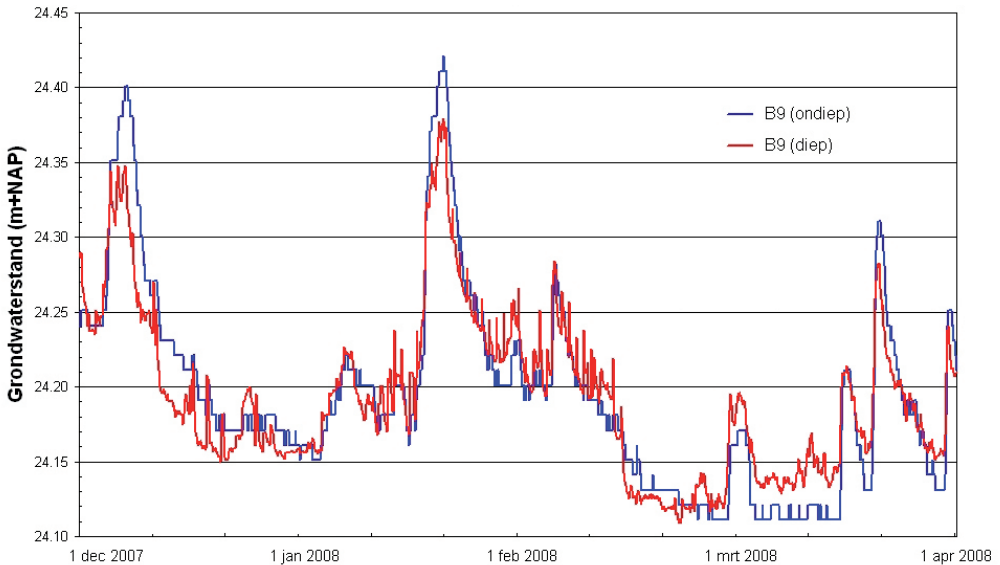
3.5 Gemeten grondwaterstanden voor peilbuis op het landgoed Het Lankheet

Op het landgoed Het Lankheet (zie figuur 6) is een peilbuis aanwezig met een filter op 1,8 m diep en op ca. 8-10 m diep. Deze peilbuis, B9, ligt precies in een noord-zuid lopend glaciaal dal dat is opgevuld met zand. In de naast de peilbuis gelegen rietvelden wordt dagelijks water uitgepompt en ingelaten, zodoende is er een fluctuatie over een dag. De grondwaterstand en de stijghoogte in het diepe filter reageren ook op de dagelijkse fluctuaties. Onder natte omstandigheden (hevige neerslag en dus hogere grondwaterstanden) loopt het verschil op tot ca. 5 cm (zie figuur 7). Als je dan kijkt wat er voor een potentiaalverschil over een diepte van ca 2-3 m optreedt, dan is

dit nagenoeg verwaarloosbaar, dus in dat gebied is er geen sprake van een 'vergeten' verticale weerstand. De mate van anisotropie is gering, wat in overeenstemming is met de gegevens gepresenteerd in figuur 2, weinig of geen anisotropie.



FIGUUR 6: HET MODELGEBIED LANKHEET MET DE BELANGRIJKSTE WATERLOPEN EN BEBOUWING



FIGUUR 7: GEMETEN GRONDWATERSTANDEN EN STIJGHOOGTEN OP CA 8-10 M DIEP OP HET LANDGOED HET LANKHEET

Conclusie 4

Voor een peilbuis op het landgoed Lankheet, zuidelijk van Haaksbergen zijn metingen vergeleken met een filter op ca. 1,8 m en op een diepte van 8-10 m. Het blijkt dat er geen sprake is van een noemenswaardige verticale weerstand.

4. Modelanalyses met anisotropie in het bodemprofiel

Met behulp van modelsimulaties is onderzocht in hoeverre een verticale weerstand hoog in het bodemprofiel een significante rol speelt in het optreden van grote verschillen in grondwaterstanden. Daarnaast geeft het inzicht in het stijghoogtepatroon in de tijd.

Het modelgebied ligt zuidelijk van Haaksbergen op de grens van Overijssel en Gelderland (zie figuur 6). Door het modelgebied stromen van oost naar west de Buurserbeek en de Berkel. In figuur 6 zijn deze beken en de overige waterlopen in het modelgebied weergegeven. Het landgebruik in het modelgebied is met name bouwland, grasland en bos. Het maaiveld over het modelgebied varieert van circa 20 tot 34 m +NAP. Er komen in dit gebied met name zand- en veengronden voor. Uit boringen blijkt dat redelijk ondiep al zeer slecht doorlatende lagen voorkomen, bestaande uit onder andere keileem. In het oostelijk deel van het modelgebied bevindt de keileem zich slechts enkele meters beneden maaiveld. Boven de keileem liggen beter doorlatende afzettingen. Binnen een groot deel van het gebied is de dikte van deze doorlatende laag ca. 2 tot 10 m. Het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket is in de orde van 10 tot 300 m²/d (Van Bakel e.a., 2007).

4.1 Opzet van het rekenmodel

Voor het oorspronkelijke onderzoek op het Lankheet is het Lankheet SIMGRO model gebruikt om de effecten van waterzuivering en waterberging op het landgoed vast te stellen en als gevolg hiervan de veranderingen in beekafvoeren (Mulder & Querner, 2008). Het modelgebied is ca. 12 000 ha groot en opgedeeld in 16 950 knooppunten met elk een invloedsgebied. Voor het landgoed Lankheet en de omgeving is elk invloedsgebied ca. 0,025 ha groot. Buiten dit interessegebied neemt de afmeting toe en is op de modelrand ca. 3 ha. Om met het model te kunnen rekenen zijn aan de invloedsgebieden en waterlooptrajecten gegevens toegekend. Voor de invloedsgebieden zijn dit maaiveldhoogte, landgebruik, bodemtype en bodemopbouw. Voor de waterlooptrajecten gaat het om de afmeting, bodemhoogte en stromingsweerstand. In het modelgebied wordt onderscheid gemaakt in drie klassen ontwateringsmiddelen: beken, sloten en maaiveld drainage.

Voor de oorspronkelijke toepassing van het model voor het onderzoek op Het Lankheet bestond het grondwater uit één laag (een watervoerend pakket). Voor de huidige rekenexperimenten met verschillende anisotropiefactoren worden er drie lagen gebruikt, waarbij de tweede laag de weerstandsbiedende laag is. Bij het toepassen van een grote verticale weerstand zou het daarvoor mogelijk worden dat er schijngrondwaterstanden kunnen gaan optreden. In versie 4 van SIMGRO is het simuleren van dit proces niet mogelijk. Wij gebruikten bij de simulaties voor dit artikel een versie waarmee schijngrondwaterstanden kunnen worden gesimuleerd (Querner e.a., 2005, 2006), ontwikkeld om de hydrologische effecten van keileem in het stroomgebied van de Drentsche Aa te simuleren.

Het toegepaste concept voor de simulatie van schijngrondwaterstanden gaat er van uit dat op basis van de stijghoogte boven en onder de weerstandslaag, de verticale weerstand van die laag wordt gecorrigeerd, om zo de flux door deze laag goed te laten berekenen. Ook de bergingscoëfficiënt boven en onder de weerstandslaag verandert afhankelijk van de grondwaterstanden. Met deze aanpassingen is het mogelijk met het model schijngrondwaterstanden redelijk goed te voorspellen, en blijft de waterbalans van het topsysteem sluitend.

4.2 Verticale weerstand hoog in het bodemprofiel

Voor de simulaties is uitgegaan van een 2 m dikke laag waarin de verticale weerstand is gevarieerd. Hierboven is nog een laag van 1 m dik aangenomen als watervoerend pakket. De gebruikte parameterwaarden staan weergegeven in tabel 2. In een viertal berekeningen is de verticale doorlatendheid gevarieerd, te weten: 0,1; 0,05, 0,02 en 0,01 m/d. Bij een freatische horizontale doorlatendheid van 2 m/d volgt een anisotropiefactor van respectievelijk 20, 40, 100 en 200.

TABEL 2: OVERZICHT VAN DE GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISATIE VAN DE ONDERGROND

Laag	Laagdikte (m)	Doorlatendheid (k) (m/d)	Verticale weerstand (d)
1	2	-	-
2	2	0,1 ; 0,05 ; 0,02 en 0,01	20, 40, 100 en 200
3	variabel	8 - 10	-

4.3 Resultaten simulatie(s)

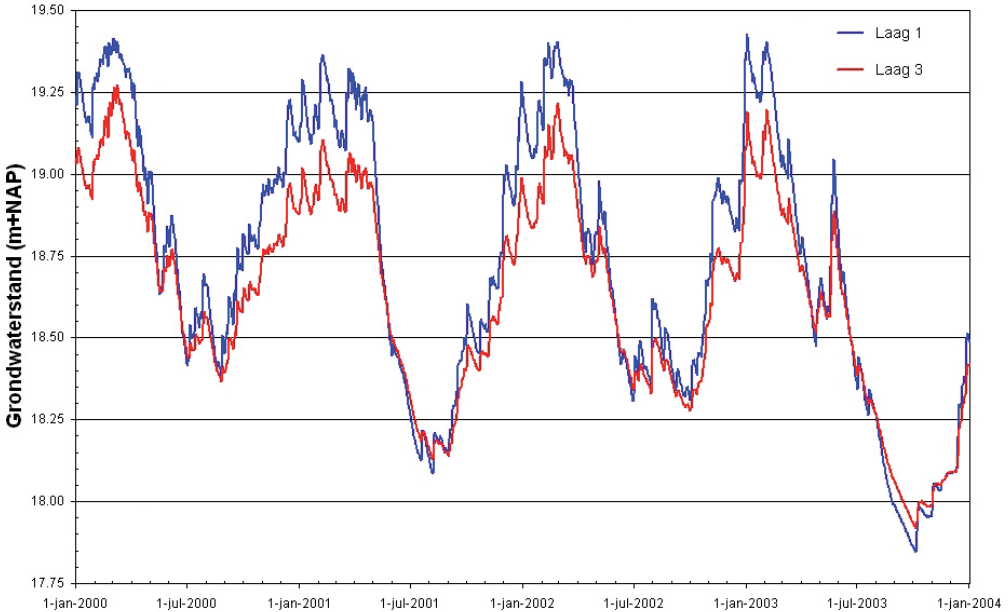
Nadat in de SIMGRO code het berekenen van schijngrondwaterstanden was geïmplementeerd, werden bij een hoge verticale weerstand (c=100 en 200 d) deze schijngrondwaterstanden ook berekend voor een zeer beperkt aantal knooppunten in het modelgebied. Na een periode met veel neerslag treden er dan schijnspiegels op. Het zijn die gebieden waar de grondwaterstand in laag 3 lager is dan de onderkant van de laag 2 (3 m-mv). Hieraan wordt verder geen aandacht besteed.

Tijd-stijghoogtelijnen

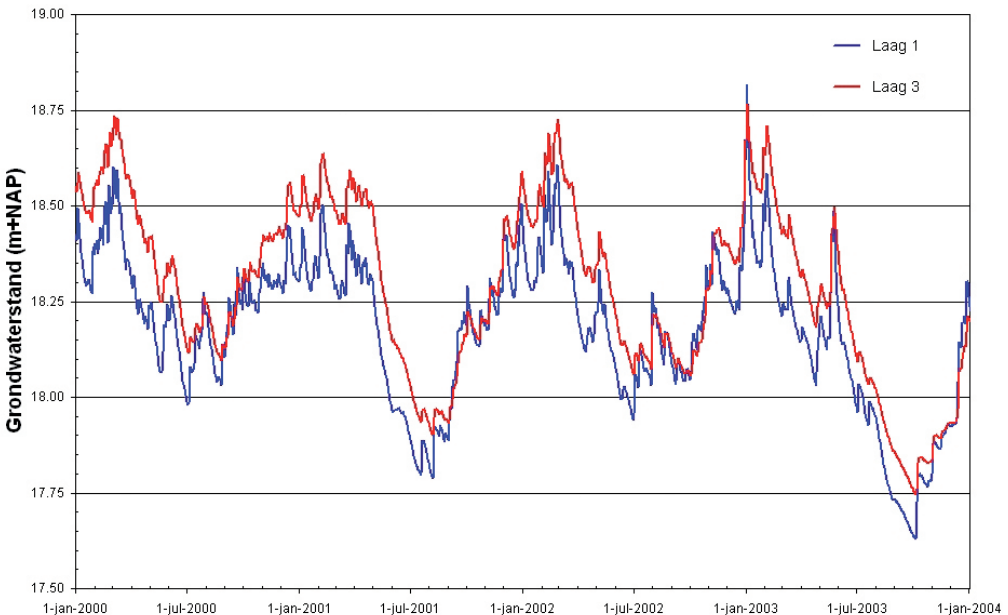
Voor de vier verschillende weerstanden van de weerstandsbiedende laag zijn berekeningen uitgevoerd voor een periode van 4 jaar (1 jan 2000 t/m 1 april 2004). In figuur 8 is voor de berekening met een verticale weerstand van 200 dagen de grondwaterstand boven (freatisch) en onder de weerstandsbiedende laag (laag 3) weergegeven. Deze locatie ligt tussen twee waterlopen in en er komt met name wegzijging voor. Indien deze hoge weerstand zou voorkomen, dan is met name in de wintermaanden de grondwaterstand ca. 0,2 tot 0,25 m hoger in vergelijking met de stand in laag 3 (figuur 8). De grondwateraanvulling die met name in de winter optreedt bepaalt het verschil in de stijghoogte tussen de twee lagen. In de zomer is het verschil aanmerkelijk minder en ca. 2 maanden van het jaar is er zelfs geen sprake van wegzijging, maar van een opwaartse stroming.

Figuur 9 geeft de situatie weer voor een punt met kwel (ter plaatse van een waterloop) en ook met een verticale weerstand van 200 dagen.. In dit geval is de grondwaterstand onder de weerstandsbiedende laag meestal hoger dan de freatische stand. Het grootste verschil, ca. 0,2-0,25 m, treedt op ongeveer een maand na het GHG-moment. Daarna neemt het verschil snel af en is

in het najaar het kleinst (tot ca. -0,05 m). De opwaartse stroming (kwel) is dus het grootst in het voorjaar en in het najaar is er zelfs een neerwaartse stroming die voor deze locatie ruim 1 maand van het jaar optreedt.



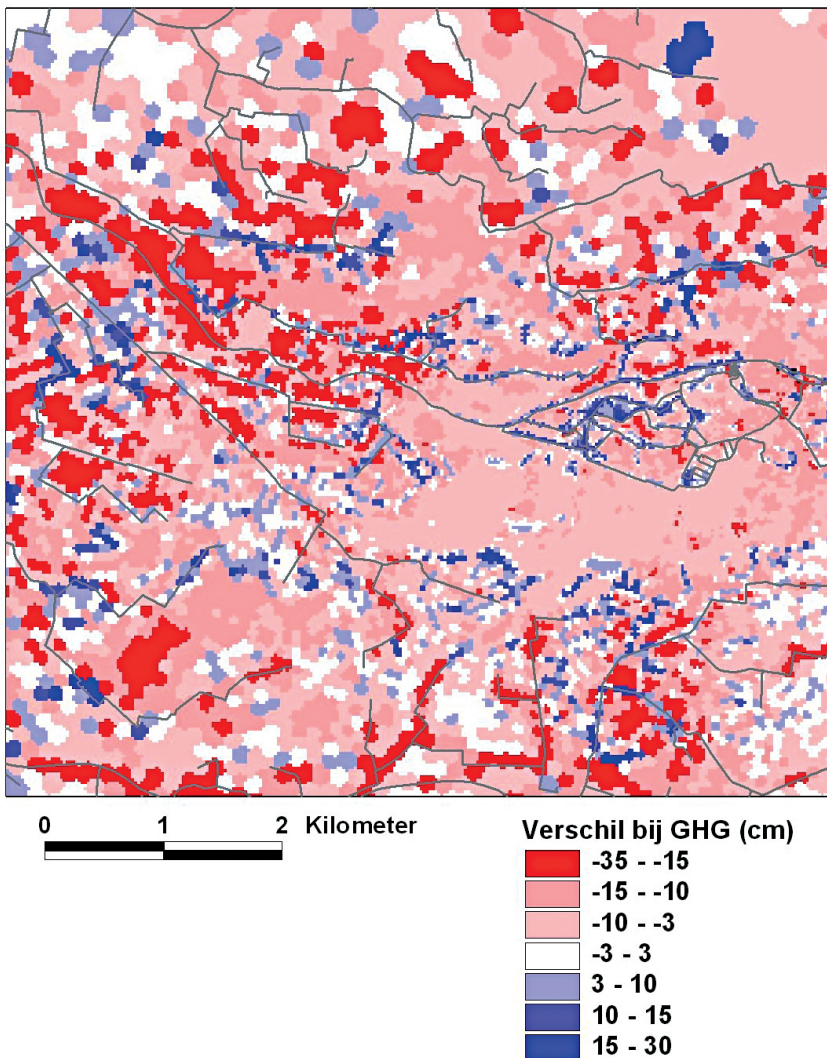
FIGUUR 8: VERSCHIL IN GRONDWATERSTAND TUSSEN LAAG 3 EN FREATISCH (ROOD) VOOR EEN LOCATIE MET WEGZIJGING, BIJ EEN VERTICALE WEERSTAND VAN 200 DAGEN (VOOR LOCATIE ZIE FIGUUR 6)



FIGUUR 9: VERSCHIL IN GRONDWATERSTAND TUSSEN LAAG 3 EN FREATISCH VOOR EEN LOCATIE MET KWEL, BIJ EEN VERTICALE WEERSTAND VAN 200 DAGEN (VOOR LOCATIE ZIE FIGUUR 6)

GHG en GLG

Om voor een gebied, weergegeven in figuur 6, de verschillen in grondwaterstanden boven en onder de weerstandsbiedende laag vast te stellen, is gebruik gemaakt van de GxG-systematiek (De Vries en van Wallenburg, 1990). De GHG en GLG zijn berekend voor de grondwaterstand en ook voor laag 3 onder de weerstandsbiedende laag. Figuur 10 geeft een beeld van het verschil in de GHG tussen laag 3 en freatisch voor een deel van het modelgebied Lankheet bij een weerstand van 100 dagen. In gebieden met kwel zijn de grondwaterstanden in laag 3 hoger dan freatisch (blauwe kleuren in figuur 10). Bij wegzijging zijn de grondwaterstanden in laag 3 lager dan freatisch (kleuren roze tot rood). In figuur 10 is er een verticale weerstand van 100 dagen aangenomen (ofwel een anisotropiefactor van 40). Het patroon van rode en blauwe vlakken geeft aan waar er respectievelijk wegzijging is (gebieden tussen de grotere waterlopen) en waar er kwel is (beekdalen). In de rode gebieden kun je spreken van 'numerieke verdroging' en in de blauwe gebieden van numerieke vernatting (grondwaterstanden juist lager dan stijghoogtes op 3-5 m).



FIGUUR 10: VERSCHIL IN GHG TUSSEN LAAG 3 EN FREATISCH BIJ EEN WEERSTAND VAN C=100 D

Om de verschillen in GHG en GLG over de weerstandsbiëdende laag eenduidig in beeld te brengen is voor de 4 berekeningen de procentuele verdeling van de verschillen uitgezet. Deze verdeling voor GLG en GHG is weergegeven in figuur 11. De verschillen zijn aangegeven als positief voor wegzijging en negatief voor kwel. Voor de GLG en een c-waarde van 10 dagen ligt het verschil tussen de 0,02 en -0,02 m (bij een verandering > 5%). Bij een weerstand van 40 dagen is het verschil tussen de 0,03 en -0,03 m. Voor een weerstand van 100 en 200 dagen is het verschil tussen de 0,05 en -0,05 m. Voor de GHG en een weerstand van 10 dagen is het verschil tussen de -0,01 en 0,06 m (voor verandering > 5%). Bij een weerstand van 40 dagen is dit tussen de -0,03 en 0,09 m. Voor een weerstand van 100 d is dit tussen de 0,0 en 0,18 m en bij een weerstand van 200 d is dit tussen de 0,04 en 0,24 m. Voor de GHG kan het verschil oplopen tot 25 cm, maar voor de GLG tot hooguit 5 cm.

Tabel 3 geeft het areaal weer bij een verschil in grondwaterstand over de weerstands laag bij GHG. Bij een weerstand van 100 d zal er in 59% van het gebied een verschil zijn van meer dan 0,05 m. Dit areaal neemt af tot 10% voor een verschil van >0,15 m. Bij 200 dagen is het verschil van >0,1 m in 57% van het gebied, >0,15 in 39% en >0,20 m nog maar 24%. Voor dit areaal met een stijghoogteverschil van 20 cm komt de grondwateraanvulling op 1 mm/d (op basis van de Wet van Darcy die stelt dat: $q = \Delta h / c$; waarbij: c (weerstand) = (0,20 m / 200) = 0,001, ofwel 1 mm/d). Dit is dan de verticale grondwaterstroming over de weerstands laag. Het neerslagoverschot zal op het moment van GHG wel hoger zijn, zoals Van de Gaast e.a. (2008) aangeven, maar er treedt ook berging op en er stroomt water zijdelings naar greppels en slootjes. Niet al het water zal immers vertikaal naar beneden stromen, omdat deze weerstand, aangenomen als 200 d, veel meer is dan de horizontale weerstand (anisotropie is 200). Dit terugkoppelingseffect kan enkel gesimuleerd worden met een gedistribueerd model en is een van de grote voordelen t.o.v. de vaak gebruikte 1D of quasi 2D modelconcepten. Hier gaat, naar onze mening, ook de redenatie van de auteurs niet op die stelt dat er een verschil van 0,27 m kan optreden bij een verticale weerstand van 90 d en een verticale stroming van 3 mm/d (van Ek e.a., 2008 en weerwoord auteurs). Een verticale stroming van 3 mm/d over de weerstands laag lijkt ons veel te hoog.

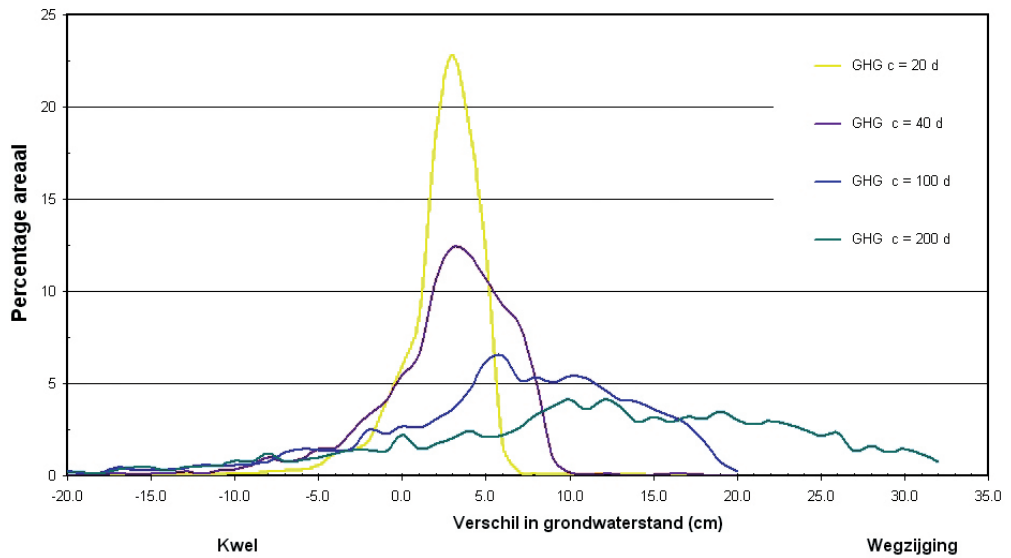
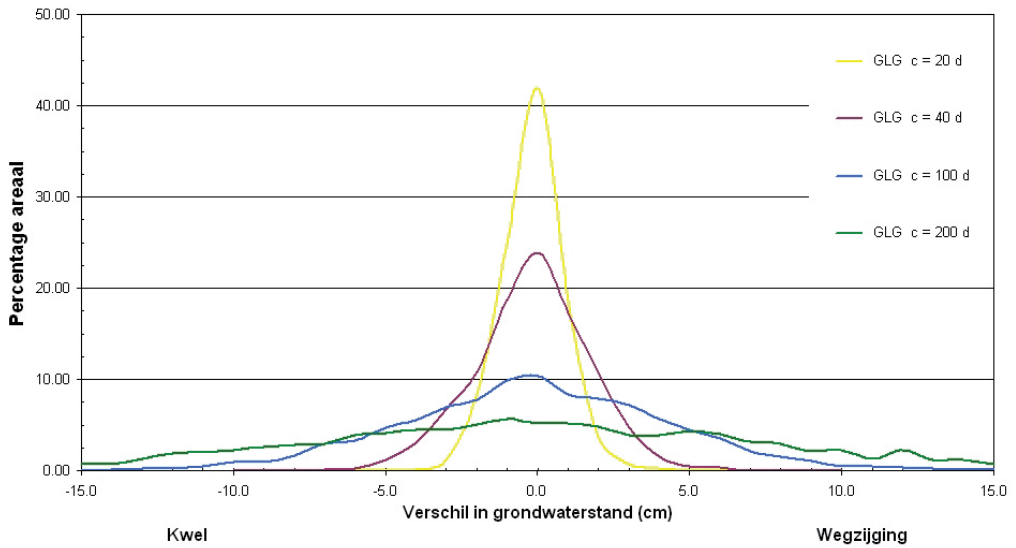
TABEL 3: PERCENTAGE VAN HET GETOONDE GEBIED (FIGUUR 10) MET EEN VERSCHIL IN GRONDWATERSTAND

Verticale weerstand (d)	>0,05 m (m)	>0,10 m (m)	>0,15 m (m)	>0,20 m (m)
10	2,5	0,4	0,1	0,0
40	24	0,7	0,4	0,1
100	59	32	10	1,1
200	72	57	39	24

Conclusie 5

Het blijkt dat met name in de wintermaanden de grondwaterstand hoger kan zijn dan op een diepte van ca. 3-4 m. In de zomer is het verschil aanmerkelijk minder (geringe grondwateraanvulling) en zijn er zelfs perioden dat er geen wegzijging is maar een opwaartse stroming.

Uit de berekeningen blijkt ook dat de verschillen in grondwaterstanden alleen bij een verticale weerstand van 200 dagen aanzienlijk worden. Een verschil van meer dan 20 cm komt ook dan nog maar in ca 24% van het areaal voor (tabel 3).



FIGUUR 11: PROCENTUELE VERDELING VAN HET VERSCHIL IN GRONDWATERSTANDEN OVER EEN WEERSTANDSLAAG VOOR DE GLG (BOVEN) EN GHG (ONDER)

5. Discussie

In dit artikel is in detail gekeken naar de mogelijke aanwezigheid van een ‘vergeten’ verticale weerstand hoog in het profiel. De ‘vergeten’ verticale weerstand blijkt alleen voor de zandgebieden relevant te kunnen zijn, wat ca. 40% van Nederland beslaat. Een kaart met de mate van anisotropie voor Nederland lijkt in tegenspraak te zijn hiermee (figuur 2). Voor de zandgebieden geeft deze kaart matig tot weinig anisotropie.

Uit analyses van gemeten grondwaterstanden in de Achterhoek blijkt niet dat er daar sprake is van een beduidende ‘vergeten’ verticale weerstand hoog in het profiel. Voor een open zandprofiel is het aannemelijk om rekening te houden met verschillen in stijghoogte in de orde van 4 cm. Bij dat verschil in stijghoogte en een neerwaartse stroming van 1 mm/d is de verticale weerstand zo’n 40 dagen. Dit lijkt ons een aannemelijke waarde voor de ondiepe verticale weerstand.

Van der Gaast e.a. (2006, 2008) spreken alleen over ‘numerieke verdroging’, ofwel gebieden met een neerwaartse grondwaterstroming. Verdroging als beleidsthema speelt in natuurgebieden. Natuurgebieden in hoog-Nederland (zandgebieden) liggen met name in beekdalen en hebben daardoor een hydrologische situatie met kwel. Je zou dan moeten spreken van numerieke vernatting. Grondwaterstanden zijn dan juist lager dan stijghoogtes op iets grotere diepte. Voor de EHS is vastgesteld (pers. med. Rolf Kemmers (Alterra)) dat 57% van het areaal infiltratie gebied is en de rest matige tot sterke kwel gebied. Als je van de gebieden met infiltratie de gebieden aftrekt waar het probleem van de ‘numerieke verdroging’ geen rol speelt (zoals de Veluwe en andere gebieden met echte hangwaterprofielen) dan is er in natuurgebieden waarschijnlijk vaker sprake van numerieke vernatting dan van ‘numerieke verdroging’.

De modelsimulaties geven inzicht in het verschil in grondwaterstanden hoog in het profiel bij een aangenomen weerstand. De grondwaterstand is hoger dan onder de weerstandslaag bij een neerwaartse stroming, waarbij de grondwateraanvulling de drijvende kracht achter de stroming is. Door de geringe verdamping in de winter is de grondwateraanvulling nu eenmaal aanmerkelijk hoger dan in de zomer. In figuur 11 komt dit ook goed tot uiting: een gering verschil in de zomer. Opmerkelijk is dat Van der Gaast en Massop (2007) aangeven dat het verschil voor de GHG 27 cm bedraagt en voor de GLG 23 cm. Dan zou aan het einde van de zomer (GLG-moment) de grondwateraanvulling maar een fractie kleiner moeten zijn dan aan einde van de winter (GHG-moment) en dat is hydrologisch gezien onwaarschijnlijk. Wij vermoeden dan ook dat door de vergelijking landbouwbuizen en open boorgaten die niet op dezelfde locatie staan, er een verschil in GxG is geïntroduceerd. Peilbuizen liggen omwille van bereikbaarheid vaker in goed gedraineerde wegbermen of huispercelen (Hoogland et al, 2004), waardoor je, bij een vergelijking tussen beide metingen, onbedoeld verschillen introduceert.

6. Is ‘numerieke verdroging’ plausibel?

In maart 2008 werd door Van der Gaast e.a. (2008) het artikel gepubliceerd met de titel ‘Oorzaak en gevolg van ‘numerieke verdroging’’. Ook werd er een persbericht door Alterra uitgegeven: Uit onderzoek van Alterra blijkt dat de grondwaterstand in Nederland soms flink verkeerd wordt ingeschat. Maatregelen om verdroging tegen te gaan kunnen dan minder noodzakelijk, minder effectief of te duur zijn. De oorzaak hiervan is een verschil tussen de gemeten grondwaterstanden en de werkelijke grondwaterstanden.

Een krasse uitspraak die door velen werd verbonden met het beleidsthema Verdroging. De waterwereld in Nederland werd wakker. Een storm brak los en reacties op het artikel kwamen er dan ook van alle kanten.

Met de term 'numerieke verdroging' moet vooral bedoeld worden dat we door m.n. de eisen die automatisering in het waterbeheer stelt, we niet meer de werkelijke grondwaterstand meten maar de stijghoogte in buizen met filters beneden de diepste grondwaterstanden. Je kunt dus spreken van een verschil in de methode van meten. Een koppeling met het woord Verdroging veronderstelt direct een link met het beleidsthema verdroging. Hierbij is verdroging het verschijnsel waarbij de hoeveelheid beschikbaar grondwater in een natuurgebied van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen of waarbij ter compensatie van een te lage grondwaterstand of een te geringe kweldruk, water van een andere, gebiedsvreemde kwaliteit moet worden aangevoerd (V&W, 1994).

Het geconstateerde verschil van 25 cm is door de auteurs gebaseerd op het analyseren en onderling vergelijken van grondwaterstanden die niet op één en dezelfde locatie zijn gemeten. Voor analyses omtrent verdroging moeten veranderingen eenduidig worden vastgesteld, zoals tijdreeksanalyse van stijghoogtes in filters die tijdens de analyseperiode niet van plaats zijn veranderd (zowel in horizontale als verticale zin) en waarvan de filterstelling zodanig is dat die de grondwaterstand voldoende goed weergeeft. Maar mogelijk ook door het opsporen van veranderingen op een andere geaccepteerde manier, zoals door bodemkundig onderzoek. Combinaties zijn mogelijk, maar in alle gevallen moet gelden: geen appels met peren vergelijken. De methode om verdroging aan te tonen, moet eenduidig zijn en betrekking hebben op een homogene reeks. Vergelijkingen van puntwaarnemingen met het vlakgemiddelden waarin ze staan voor een bepaalde periode kunnen wel aangeven dat er systematische verschillen zijn tussen de methodes van vaststellen GHG en GLG, maar zijn niet betrouwbaar om hiermee structurele veranderingen aan te tonen, laat staan beleidsuitspraken op te baseren.

Het door Van der Gaast e.a. gestelde dat verdroging veelal systematisch wordt overschat behoeft om meerdere redenen nuancering. Allereerst een regionale nuancering gelet op de verschillende geohydrologische situaties, zoals weergegeven in figuur 1. Daarnaast gaat het niet alleen om een verdrogend effect (bij neerwaartse stroming), maar ook om een vernattend effect (bij opwaartse stroming nabij waterlopen), zoals is weergegeven in figuur 10. Uit de analyses van gemeten grondwaterstanden in de Achterhoek blijkt bovendien dat er verschillen in stijghoogte zijn hoog in het bodemprofiel die hooguit 4 á 5 cm bedragen.

Samenvattend: Van der Gaast e.a. hebben wel degelijk een punt met het uit de vergetelheid halen van de verticale anisotropie, maar ons inziens is de grootte ervan en daardoor de impact op het mogelijk verkeerd meten en modelleren door hen overschat, mede als gevolg van onjuist en selectief weergeven van metingen en het kwantificeren van de overschatting (gemiddeld 25 cm) die op grote schaal (situatie met open zandprofiel) onwaarschijnlijk is. Dé manier om echt uitsluitel te krijgen over de grootte van de 'vergeten' weerstand is het doen van gericht veldonderzoek, om deze onomstotelijk vast te stellen. Alterra gaat met een dergelijke monitoring campagne nog dit jaar van start. De discussie over het onderwerp is dus zeer zeker niet voorbij!

Literatuur

- Boukes, H. (2008)** Vertroebeling verdrogingsdiscussie. Kanttekeningen bij 'Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging', H2O nr. 11, pag. 17-18.
- Berendrecht, W., A.Lourens en J. van Bakel (2008)** Ontwikkeling en implementatie MODFLOW-schijngrondwaterspiegelconcept in MIPWA model Noord-Nederland. Deltares-rapport 2008-U-R0478/A.
- De Vries, F. en C. van Wallenburg (1990)** Met de nieuwe grondwatertrappenindeling meer zicht op het grondwater. Landinrichting 30(1), pag. 31-36.
- Ek, R. van, P. de Louw, J. Hoogewoud en F. Claessen (2008)** Reactiestuk op 'Numerieke verdroging'. H2O nr. 11, pag. 14-16.
- Ernst L., N. de Ridder en J. de Vries (1970)** A geohydrologic study of East Gelderland: Netherlands. Geologie en mijnbouw nr. 6, pag. 457-488.
- Grontmij (1995)** Modelleringsysteem Oost-Gelderland; Ecohydrologische effecten drinkwaterwinning. De Bilt, Oktober 1995.
- Hoogland, T., D.J. Brus, G.B.M. Heuvelink en M. Knotters (2004)** Hoe de kartering van de grondwaterstand (nog) beter kan. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1032, 88 blz.
- Maas, K., J., van Asmuth en H. Runhaar (2008)** Kanttekeningen bij 'Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging'. H2O nr. 9, pag. 22-24.
- Maas, K.J. (2008)** Omgekeerde hydrologie? H2O nr. 22, pag. 36.
- Mulder, H.M. & E.P. Querner (2008)** Waterberging op het landgoed Lankheet: Mogelijkheden en consequenties voor het watersysteem. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1674, 52 blz.
- Querner, E.P., M. Rakhorst, A.G.M. Hermans en S. Hoegen (2005)** Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau; Pilot Noord West Drentse Beken. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1240, 80 blz.
- Querner, E.P., S. Hoegen, A.G.M. Hermans en M. Rakhorst (2006)** Een nieuw SIMGRO model voor de beken in Drenthe. H2O 39e jaargang, No 18, pag. 94-97.
- Van Bakel, P.J.T., H.T.L. Massop en A. van Kekem (2007)** Locatiekeuze ten behoeve van het onderzoek naar bemestingvrije perceelsranden; Hydrologische en bodemkundige karakterisering van de proeflocaties. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1457, 79 blz.
- Van der Gaast J.W.J. en H.T.L. Massop (2003)** Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland; bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties. Alterra-rapport 819, 83 blz.
- Van der Gaast J., H. Vroon en H. Massop (2006)** Verdroging veelal systematisch overschat. H2O nr. 21, pag. 39-43. V&W (1994) Evaluatienota Water; regeringsbeslissing; aanvullende maatregelen en financiering 1994-1998. SDU, Den Haag.
- Van der Gaast, J.W.J. en H.Th.L. Massop (2007)** De hydrologie voor het beheersgebied van waterschap Velt en Vecht; Een karakterisering op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1686, 137 blz.
- Van der Gaast J., H. Massop en H. Vroon (2007)** Kwantificering verdroging. H2O nr 3, pag 25-28.
- Van der Gaast J., H. Vroon en H. Massop (2008)** Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging. H2O nr. 5, pag. 51-56.
- Van der Gaast J. e.a. (2009)** Actuele grondwatersituatie in natuurgebieden; een pilotstudie. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 94, 134 blz.