

---

# De werkelijke weerstand

Jaco van der Gaast<sup>1</sup>

---

Naar aanleiding van de discussie rond numerieke verdroging is in het Stomingen (nummer 1, 2010) artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' door Querner en Van Bakel getracht de verticale weerstand vanuit hydrologische kenmerken en veldmetingen te verklaren en te nuanceren. In het artikel komen een aantal veronderstellingen naar voren die bepalend zijn voor de gehanteerde werkwijze, de conclusies en een aantal uitspraken. Dit is dan ook de reden om het artikel aan de hand van deze veronderstellingen, teneinde meer duidelijkheid te creëren, nader te analyseren. In een volgend artikel zal nader worden ingegaan op de selectiecriteria, representativiteit, bodemkundige situatie en meetgegevens van de gebruikte meetlocaties.

## Numerieke verdroging

Numerieke verdroging is gedefinieerd als een onjuiste inschatting (meestal te droog) van de grondwaterstand als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken die direct of indirect als gevolg van numerieke methoden zijn geïntroduceerd. Het kan hierbij ondermeer gaan om het onjuist interpreteren van meetgegevens, het berekenen van grondwaterstanden met (statistische) modellen of het berekenen van grondwaterkarakteristieken. De term numeriek is ingegeven door de aanleiding. Het gebruik van numerieke of digitale computermodellen heeft namelijk tot gevolg gehad dat we, om te voorkomen dat peilbuizen droogvallen, deze steeds dieper zijn gaan plaatsen. Voor een numeriek computermodel is het namelijk niet wenselijk dat perioden voorkomen waarin gegevens ontbreken.

Daarnaast heeft het gebruik van modellen tot gevolg dat we gedwongen zijn de complexe werkelijkheid te vereenvoudigen in relatief eenvoudige rekenregels. Daarnaast wordt ook de bodemkundige gesteldheid geschematiseerd in een beperkt aantal bodemprofielen waaraan gemiddelde bodemkarakteristieken worden toegekend. Dit vereenvoudigde beeld van de werkelijkheid kan medeverklarend zijn voor de veronderstelling dat we peilbuizen, zonder dat dit wetenschappelijk onderbouwd is, dieper konden plaatsen. De relatief ondiep voorkomende weerstand in de bodem als gevolg van bijvoorbeeld leemlaagjes hebben we, mede doordat deze in de computermodellen niet zijn opgenomen, over het hoofd gezien. De term verdroging is gehanteerd aangezien de grondwaterstand in veel gevallen te laag wordt ingeschat. Daarnaast kan worden opgemerkt dat er voor zowel landbouw als natuur gebruik wordt gemaakt van de term achtergrondverdroging.

---

<sup>1</sup> jaco@vdgaast.nl

## Verticale weerstand

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' is er van uitgegaan dat een verticale weerstand de belangrijkste verklaring is voor numerieke verdroging. Uit het voorgaande blijkt dat het bij numerieke verdroging in relatie tot modellering niet alleen gaat om de verticale weerstand maar om de schematisering en parametrisering van de bodem. Het schematiseren van de bodem in een beperkt aantal bodemprofielen waaraan gemiddelde bodemkarakteristieken worden toegekend heeft onder meer tot gevolg dat de verticale weerstand vaak wordt onderschat maar bijvoorbeeld ook tot gevolg dat de beschikbare berging in de bodem veelal wordt overschat (Van der Gaast e.a., 2008). Bij modelresultaten komt dit tot uiting in de fluctuatie van de grondwaterstand die in de modelresultaten vaak te klein is. In het artikel over de verticale weerstand is alleen het aspect over de verticale weerstand in beschouwing genomen. Hierdoor zijn de modelresultaten die beschreven zijn in het artikel niet toerijkend voor het trekken van conclusies met betrekking tot numerieke verdroging.

## Gemiddelde weerstand

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' is gebruik gemaakt van een gemiddeld verschil en is een getal van 25 centimeter overgenomen uit Van der Gaast e.a. (2008). Hierbij is er geen rekening mee gehouden dat deze 25 cm verschil betrekking heeft op getransformeerde grondwaterstands-waarnemingen naar Gt-parameters. Het betreft een geconstateerd verschil van 27 cm voor de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en 23 cm voor de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) (Van der Gaast e.a., 2007). Door uit te gaan van een gemiddeld verschil lijkt een neerslagoverschot van 1 mm/dag en een verticale weerstand van 250 dagen toepasbaar. Ook in de reactie van Van Eck e.a. (2008) is gebruik gemaakt van een neerslagoverschot van 1 mm/dag. In het weerwoord is indertijd door Van der Gaast e.a. het volgende aangegeven: *Met betrekking tot de verticale weerstand is in de artikelen duidelijk aangegeven dat het bij het GHG-moment hoofdzakelijk gaat om de weerstand tegen grondwaterstroming. Rond dit moment is de grondwateraanvulling in de orde van drie millimeter per dag en komt de gemiddelde weerstand daardoor uit op 90 dagen (0,27/0,003). Op het GLG-moment spelen ook ander aspecten, zoals het gebruik van lineaire tijdreeksanalyse, een rol.*

De berekende verticale weerstand van 250 dagen en de vergelijking met de drainageweerstand is dus niet toepasbaar. Daarnaast kan worden aangegeven dat de analyse op basis van de peilbuizen, doordat gebruik is gemaakt van de gemiddelde grondwaterstand in plaats van de GHG en GLG, niet toepasbaar is. Hierdoor kan ook worden aangegeven dat de conclusie in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat er geen grote verschillen in stijghoogte aanwezig zijn, geen betrekking heeft op de getallen die genoemd zijn in relatie tot numerieke verdroging. Daarnaast kan worden opgemerkt dat eventuele lagere standen in natte perioden en eventuele hogere standen in droge perioden door het gebruik van de gemiddelde grondwaterstand in meer of mindere mate tegen elkaar kunnen wegvallen.

## Wetenschappelijke analyse

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt het volgende gesteld: Een deugdelijke wetenschappelijke analyse van de omvang en de oorzaak van numerieke verdroging ontbreekt echter op dit moment. Rond het onderwerp is echter een WOT-rapport beschikbaar (Van der Gaast e.a., 2009). Op de website van WUR staat het volgende: De WOT Natuur & Milieu is in 2004 begonnen met de reeks Planbureau rapporten, nu WOT-rapporten genoemd. In deze reeks worden wetenschappelijke publicaties opgenomen met onderzoeksresultaten die als bouwstenen dienen voor een van de WOT-producten. WOT-rapporten voldoen aan hoge eisen van wetenschappelijke verantwoording. Ze ondergaan een wetenschappelijke review. Met de stelling dat een deugdelijke wetenschappelijke analyse van de omvang en de oorzaak van numerieke verdroging ontbreekt wordt een wetenschappelijk WOT-rapport uit Wageningen dat aan hoge eisen van wetenschappelijke verantwoording voldoet door de auteurs niet erkend. Daarnaast wordt met de stellingname dat een deugdelijke analyse van de omvang en de oorzaak van numerieke verdroging ontbreekt voorbijgegaan aan de beschikbare internationale en oude literatuur. Vooral de internationale literatuur is helder over het gebruik van meetgegevens die onderhevig zijn aan fouten en/of onjuiste interpretatie (Nielsen en Schalla, 2006).

## Vergelijking gegevens

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' is bij de aanleiding om de "vergeten" weerstand uit de vergetelheid te halen een beschrijving over verschillen opgenomen. In deze beschrijving worden een aantal veronderstellingen beschreven die niet juist zijn. Om de verwarring niet groter te maken is in plaats van in te gaan op de onjuiste veronderstellingen de herkomst van de getallen door de jaren heen beschreven.

In 2003 is er een onderzoek met de titel 'Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland' afgerond (van der Gaast en Massop, 2003). In het kader van deze studie zijn ten behoeve van modelkalibratie verschillende gegevensbestanden met betrekking tot grondwaterkarakteristieken gegenereerd. De gegevensbestanden hebben betrekking op gegevens afkomstig van stambuizen, overige buizen en gerichte opnamen. Ter controle zijn de GHG en GLG van alle 3 de gegevensbestanden vergeleken met de landsdekkend beschikbare Gt-informatie uit de 1:50.000 bodem- en Gt-kaart. Hierbij is de GHG en GLG informatie van de 3 puntinformatiebronnen over de vlakdekkende bodem- en Gt-kaartinformatie gelegd. Hierbij zijn opmerkelijke verschillen tussen de 3 puntinformatiebronnen voor zowel de GHG als GLG geconstateerd. Het gemiddelde verschil tussen de bodem- en Gt-kaart en de stambuizen is voor de GHG 46,7 cm en voor de GLG 46,5 cm. Het gemiddelde verschil tussen de bodem- en Gt-kaart en de gerichte opnamen is voor de GHG 20,2 cm en voor de GLG 20,9 cm. Men zou echter mogen verwachten dat deze verschillen voor beide gegevensbronnen ongeveer gelijk zouden zijn. Temeer er bedacht dient te worden dat de gerichte opnamegegevens middels regressie zijn afgeleid van de stambuisinformatie. Het verschil tussen beide puntinformatiebronnen is zowel voor de GHG als de GLG

in de orde van 25 cm. Als mogelijke verklaringen voor het verschil zijn indertijd de representativiteit van de buislocaties, de afvlakkende werking van de stambuisregressie en de begrenzing van de voorspellingen genoemd. Daarnaast is aangegeven dat buislocaties niet altijd representatief zijn voor een kaartvlak en vaak nabij boeren erven of in wegbermen gelegen zijn die vaak iets hoger liggen, waardoor het verschil tussen de Gt-kaart en buisgegevens kan worden overschat.

In 2006 is een onderzoek met de titel 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' afgerond (Van der Gaast e.a., 2006). In het kader van deze studie is een alternatieve methode voor het actualiseren van de grondwatertrappenkaart ontwikkeld. Hiervoor is in eerste instantie gebruik gemaakt van puntinformatie op basis van peilbuisgegevens die wederom zijn vergeleken met de bodem- en Gt-kaart 1:50.000. Vervolgens is gebruik gemaakt van puntinformatie afkomstig van recente digitaal beschikbare detailkarteringen. Deze puntinformatie heeft betrekking op veldschattingen die aan de hand van boringen gecombineerd met veldinformatie en metingen in het kader van ruilverkavelings- en herinrichtingsprojecten zijn verzameld. Ook deze puntinformatie is vergeleken met de bodem- en Gt-kaart 1:50.000. Het verschil tussen beide puntinformatiebronnen ten opzichte van de bodem- en Gt-kaart bleek voor de GHG 27 cm en voor de GLG 23 cm te zijn. Het gebruik van een geheel andere informatiebron, zijnde de veldschattingen, bleek wederom te resulteren in een verschil van ongeveer 25 cm voor zowel de GHG als de GLG. Naast de conclusie dat het voor het bepalen van de grondwaterstandsvaling ten opzichte van de bodem- en Gt-kaart 1:50.000 uitmaakt welke actuele gegevensbron wordt gebruikt is vooral de overeenkomst in de getallen opmerkelijk. Dit was dan ook de reden om de oorzaak van de geconstateerde verschillen nader te onderzoeken. Uit nader literatuuronderzoek is gebleken dat halverwege de vorige eeuw veel onderzoek naar het meten van grondwaterstanden is gedaan. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat de discrepantie tussen de meetgegevens voor het grootste deel wordt veroorzaakt door (micro)gelaagdheid in de bodem en de hiermee samenhangende verschillen in doorlatendheid (Knibbe, 1969; Nielsen en Schalla, 2006). Indien deze (micro)gelaagdheid niet in beschouwing wordt genomen kunnen we spreken van anisotropie. Daarom is in de conclusies van het onderzoek 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' het volgende opgenomen: *De discrepantie tussen de buisgegevens en de detailkarteringsinformatie wordt waarschijnlijk voor het grootste deel veroorzaakt door geringe verticale doorlatendheden als gevolg van anisotropie in het bodemprofiel tussen het filterniveau en de freatische grondwaterstand.*

Uit het voorgaande blijkt dat de veronderstelling in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat de gevonden verschillen alleen betrekking heeft op metingen in peilbuizen en open boorgaten (gerichte opnamen) niet juist.

## Vergelijking kaarten

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' is gebruik gemaakt van de hydrotypenkaart die in het kader van onderzoek naar de bufferzone is vereenvoudigd tot vijf geohydrologische profielen. De hydrotypenkaart is

een kaart die voornamelijk is afgeleid van de geologische kaart. Dit heeft tot gevolg dat deze kaart weinig informatie over het bodemprofiel geeft en bovendien grofschalig is (1:600.000). De anisotropiekaart is afgeleid van de bodemkaart 1:50.000 en is daardoor gebaseerd op bodemkundige gegevens tot een diepte van 1,2 meter. In het artikel wordt aangegeven dat in het Holocene deel van Nederland bij het geohydrologisch schematiseren nagenoeg altijd een ondiepe verticale weerstand wordt aangenomen. Hierbij is sterk geredeneerd vanuit het gebruik van modellen. De anisotropiekaart is echter een kaart die aangeeft in welke mate anisotropie kan worden verwacht op basis van gegevens tot 1,2 meter diepte. Aangezien de filters van peilbuizen veelal dieper zijn geplaatst geeft de anisotropie kaart een eerste inschatting van de kans dat meetgegevens in peilbuizen geen betrekking hebben op de freatische grondwaterstand. De veronderstelling in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat de auteurs van het artikel 'Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging' met deze kaart de bedoeling hadden de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel aan te tonen is niet juist. Hiervoor zijn gedetailleerdere gegevens tot grotere diepte noodzakelijk.

### **Gebruikte peilbuizen**

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat de in het artikel gebruikte peilbuizen gebruikt kunnen worden om uitspraken te doen over numerieke verdroging. Het ondiepe filter van een aantal van de gebruikte peilbuizen is echter al enkele meters diep en zit daarmee in tegenstelling tot hetgeen halverwege de vorige eeuw is voorgeschreven onder het grondwatervlak. Hierdoor kunnen deze peilbuizen niet gebruikt worden om uitspraken te doen over numerieke verdroging. Ook de veronderstelling in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat de peilbuizen kunnen worden gebruikt om uitspraken te doen over de anisotropiekaart die gebaseerd is op bodemkaartgegevens met een diepte tot 1,2 meter is niet juist aangezien nagenoeg alle filters onder de 1,2 meter zitten.

### **Kaart uit Ernst e.a. (1970)**

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat de kaart uit het artikel van Ernst e.a. (1970) betrekking heeft op het stijghoogteverschil tussen filters op 3 m en op 10-20 m beneden maaiveld. Deze informatie is afkomstig van het afbeeldingonderschrift. In de tekst van het desbetreffende artikel is echter aangegeven dat het gaat om 58 locaties met een diep filter in het watervoerend pakket en een filter in de zone waarin de grondwaterstand fluctueert. Het gaat dus niet om filters op 3 meter maar waarschijnlijk om filters tot 3 meter. Hierdoor heeft de kaart voor een groot gedeelte van het gebied betrekking op de weerstand van het dekzand. De conclusie dat het niet reëel is om deze kaart te gebruiken om een verticale weerstand hoog in het bodemprofiel aan te tonen is dan ook niet juist. Hierbij kan ook worden opgemerkt dat de kaart alleen is gebruikt om aan te geven dat men in het verleden wel rekening hield met stijghoogteverschillen in dekzandgebieden.

De kaart met het stijghoogteverschil heeft betrekking op gemeten verschillen op 7 november 1968 op 58 locaties. Door in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' uitspraken te doen over arealen wordt verondersteld dat een incidentele meting op 1 dag representatief is voor het areaal waar neerwaartse en waar opwaartse stroming plaatsvindt. De mate en richting van de stroming kan echter in de tijd in meer of mindere mate verschillen. Hierdoor is het de vraag of een meting op 1 dag representatief is voor uitspraken met betrekking tot arealen.

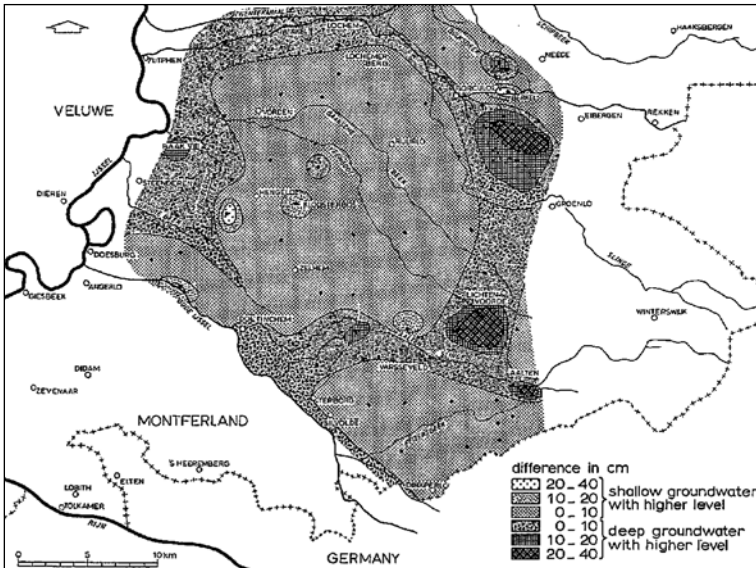


Fig. 9 Differences in hydraulic head between shallow and deep groundwater, measured on November 7, 1968 in 58 double piezometer wells with filters at 3 and 10 to 20 meter below surface.

escarpment, to the transition zone of the gently sloping area west of the line Zelhem-Vorden, and to the flat IJssel valley. Finally, it should be noted that the fluctuations in the narrow strips of land bordering the rivers are strongly related to the changes in water level of these rivers. Some of these rivers, as for example the Oude IJssel, have weirs to maintain a constant water level.

6.4. Differences in hydraulic head between deep and shallow groundwater

The available contour maps could not be used to determine the difference in hydraulic head between the shallow and the deep groundwater, because these maps refer to different dates. Moreover, the accuracy is insufficient due to errors in measurement and interpolation. However, there are 58 observation wells which have a deep filter in the aquifer and

another filter in the zone in which the water table fluctuates. The differences in hydraulic head measured in the two filters of these wells on the November 7, 1968, presented in fig. 9, varied from -34 to +34 cm. In the middle part of the Pleistocene basin the hydraulic head of the deep water is smaller than that of the shallow groundwater, which means that a downward flow of groundwater must exist. In front of the terrace escarpment, along some of the major water courses (e.g. the river Berkel) and near the village of Baak on the other hand, the head of the deep water is larger which means that an upward flow of groundwater will be present.

The maps of figs. 8 and 9 show the same trend which can be explained by the fact that the lower areas have in general an upward flow of groundwater and small drain spacings, preventing large seasonal water table fluctuations.

Fig. 10 gives an example of the course of the water

## Metingen Lankheet

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat met de metingen op het landgoed Lankheet de totale weerstand van de ondiepe ondergrond wordt gemeten. Het ondiepe filter heeft een diepte van 1,8 meter en het diepe 8-10 meter. Het gaat dus om een potentiaalverschil over een lengte van ca 7 meter. Het is echter de vraag of het filter is gesitueerd in het fluctuatietraject van de grondwaterstand en of de meetgegevens daarmee het volledige verschil weergeven. Daarnaast wordt verondersteld dat de weerstand gelijkmatig over het gehele traject van 7 meter is verdeeld. In werkelijkheid kan het grootste gedeelte van de weerstand worden veroorzaakt door een leemlaagje op een bepaalde diepte. De stelling dat indien gekeken wordt naar een diepte van 2-3 m het stijghoogteverschil nagenoeg verwaarloosbaar is, is dan ook niet toepasbaar. Hierdoor kan de conclusie in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat er geen sprake is van een noemenswaardige verticale weerstand niet worden getrokken. Daarnaast is het opmerkelijk dat het kennelijk niet bezwaarlijk is om voor Lankheet een peilbuis met een diep filter op 8-10 meter te gebruiken en wel bezwaarlijk de kaart uit Ernst e.a. (1970) als voorbeeld te gebruiken waar het diepe filter in het watervoerende pakket op circa 10–20 meter diepte staat.

De veronderstelling in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat de metingen in het landgoed Lankheet gebruikt kunnen worden om uitspraken te doen over de anisotropiekaart is gezien de diepte van 1,8 meter van het ondiepe filter in vergelijking met de anisotropiekaart die is gebaseerd op informatie tot 1,2 meter niet juist.

## Modellering

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat de modellering inzicht geeft in het stijghoogtepatroon in de tijd. Het model geeft alleen inzicht in het stijghoogtepatroon indien naast een verticale weerstand ook gebruik wordt gemaakt van de correcte berging, de correcte doorlatendheden en drainageweerstand die in meer of mindere mate kunnen verschillen in de tijd.

Uit de metingen in het landgoed Lankheet is gebleken dat er periodiek stijghoogteverschillen voor kunnen komen. Het is opmerkelijk dat voor de oorspronkelijke toepassing van het model voor het onderzoek op Het Lankheet gebruik is gemaakt van een model bestaande uit één laag (een watervoerend pakket). Het gebruik van een model bestaande uit één laag heeft tot gevolg dat stijghoogteverschillen niet kunnen worden uitgerekend. Daarnaast heeft het tot gevolg dat er bijvoorbeeld geen uitspraken over kwel kunnen worden gedaan. Aangezien alle stroming in het model in één laag plaats vindt is er geen onderscheid te maken tussen afvoer naar een waterloop en kwel. Het gebruik van meerdere modellen geeft hiervoor meer mogelijkheden. Hierbij dient echter wel te worden opgemerkt dat bij het gebruik van SIMGRO rekening dient te worden gehouden met een variabele  $kD$ -waarde. Een weerstandsbiedende laag

op geringe diepte heeft namelijk tot gevolg dat de kD-waarde van het watervoerende pakketje er boven bij veranderingen in de grondwaterstand sterk zal fluctueren. Dit heeft tot gevolg dat de kD-waarde en de drainageweerstand telkens moet worden aangepast. Bovendien kunnen ondiep voorkomende weerstands biedende laagjes afhankelijk van het grondwaterniveau droog vallen waardoor deze weerstand tijdsafhankelijk kan zijn. Hierbij kan ook zwel en krimp van bodemlagen een rol spelen, waardoor het tijdsafhankelijke aspect van de verticale weerstand nog complexer wordt. Daarnaast kan worden opgemerkt dat in de gebruikte modelbenadering alleen is ingegaan op de weerstand terwijl ook de berging veelal wordt overschat.

## Kwel

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat de kwel het grootst is in het voorjaar. Deze veronderstelling is gebaseerd op modelresultaten en komen niet overeen met bevindingen op basis van meetgegevens. In het eerder genoemde artikel van Ernst e.a. (1970) is op basis van meetgegevens aangegeven dat het stijghoogteverschil tussen het diepe en ondiepe grondwater in de tijd relatief constant is en de kwel en wegzijging daardoor een geringe variatie in de tijd hebben. De veronderstelling op basis van modelberekeningen dat de kwel het grootste is in het voorjaar wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de stijghoogte naast kwel wordt beïnvloed door afvoer. Het voert te ver om hier in dit artikel nader op in te gaan. Op dit onderwerp zal in een ander artikel nader worden ingegaan.

## Numerieke vernatting

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat bij een neerwaartse grondwaterstroming (wegzijgingsflux) sprake is van numerieke verdroging en bij een opwaartse grondwaterstroming (kwelflux) sprake is van numerieke vernatting. Hiermee wordt voorbijgegaan aan het feit dat er in natte perioden als gevolg van een neerslagoverschot sprake is van een neerwaartse grondwaterstroming die in combinatie met de aanwezigheid van ont- en afwateringsmiddelen in tegenstelling tot de verwachting ook in kwelgebieden een neerwaartse grondwatergradiënt kan veroorzaken (Van der Gaast e.a., 2006c; Dalton e.a., 2007; Van der Gaast e.a., 2009). In het artikel Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging is hierover het volgende opgenomen: *Tot slot moet worden opgemerkt dat ook in kwelgebieden de freatische grondwaterstand in natte perioden een hogere stijghoogte kan hebben om het overtollige neerslagwater af te kunnen voeren. In dergelijke gevallen kan in een kwelgebied tegelijk en/of afwisselend numerieke vernatting en verdroging optreden. Hierdoor kan een neerslaglens (zone met regenwatertype) in een kwelgebied ontstaan.* Het in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' veronderstellen van een synoniem tussen wegzijging en numerieke verdroging en kwel en numerieke vernatting is dus niet juist.

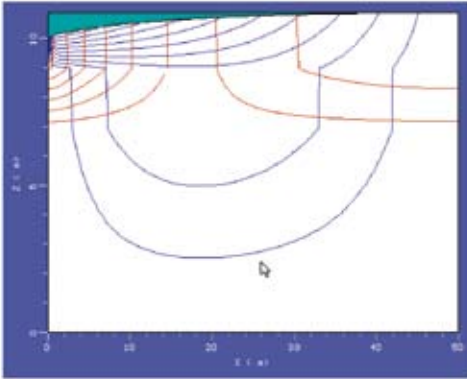


In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat de verschillen in GHG en GLG over de weerstandsbiedende laag eenduidig in beeld kunnen worden gebracht. De rekenresultaten zullen naast de gehanteerde weerstand van de weerstandsbiedende laag ook afhangen van gebruikte bodemfysische karakteristieken en het niveau van de weerstandsbiedende laag. Het niveau van de weerstandsbiedende laag is namelijk in meer of mindere mate bepalend voor de mogelijkheid om overtollig neerslagwater boven de weerstandsbiedende laag af te voeren. Om dit te illustreren zijn enkele berekeningen met het programma Flonet (Guigier en Frind 1999) uitgevoerd.

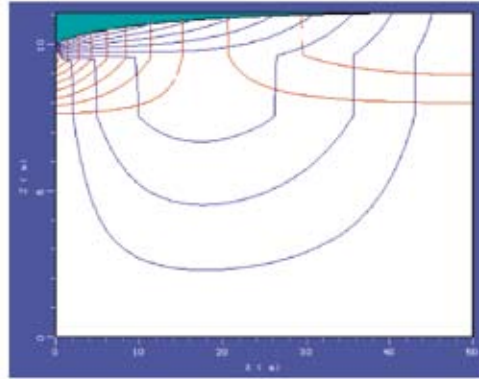
De gebruikte laagopbouw en doorlatendheden komen ongeveer overeen met hetgeen beschreven is in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel'. De bovenste laag is een freatisch pakket met een doorlatendheid van 2 m/d. De weerstandsbiedende laag (laag 2) heeft een doorlatendheid van 0,02 m/d (weerstand 100 dagen), is 2 m dik en zit op het niveau van 7 tot 9 meter (gerekend vanaf de onderkant zie afbeelding).

Het watervoerend pakket heeft een doorlatendheid van 10 m/d en een dikte van 7 meter. Er is uitgegaan van een slootafstand van 100 m, een ontwateringsdiepte van 1 m en een grondwateraanvulling van 3 mm/d, hetgeen ongeveer overeenkomt met GHG-moment. Uitgaande van deze gegevens wordt midden tussen de sloten een opbolling berekend van 87 cm. Indien in de berekeningen de weerstandsbiedende laag een halve meter naar boven wordt verschoven en er verder niets aan de invoer wordt veranderd heeft dit tot gevolg dat de dikte van het freatisch pakket afneemt. Hierdoor kan het overtollige water minder gemakkelijk zijdelings tot afvoer komen, hetgeen tot uiting komt in een hogere opbolling (109 cm) en een toename van de grondwaterstroming in het onderste watervoerend pakket. Deze voorbeeldberekening illustreert dat rond GHG-moment het verschil in opbolling als gevolg van het verschuiven van de weerstandsbiedende laag 22 cm kan bedragen.

Uit het voorgaande wordt ook duidelijk dat het eenvoudigweg toepassen van de wet van Darcy ( $q = \Delta h / c$ ) om het stijghoogteverschil uit te rekenen ook niet toepasbaar is. De grondwateraanvulling op GHG-moment is ongeveer 3 mm/d. Deze waarde is afkomstig van modelberekeningen met het modelcode SWAP (Van Dam e.a., 1997) waarbij de fluxen door het grondwatervlak op de dagen die gebruikt zijn voor het bepalen van de GHG zijn gemiddeld. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor de bodemschematisatie en parametrisatie gebruik is gemaakt van de standaard gebruikte 21 bodemprofielen waaraan de gemiddelde waarden van de staringreeks zijn gekoppeld. Het is vervolgens de opeenvolging van lagen met bijbehorende dikte, diepte en doorlatendheden in combinatie met de ontwateringsafstand (slootafstand) die bepalend zijn voor de stroming die door de weerstandsbiedende laag gaan. Zeer ondiep voorkomende weerstandsbiedende lagen hebben tot gevolg dat nagenoeg al het overtollige neerslag water door de weerstandsbiedendelaag heen moet of over het maaiveld tot afvoer komt. Dit is dan ook de belangrijkste verklaring voor (langdurige)plasvorming als gevolg van slemp, antropogene verdichting (ploegzool), inspoelingslagen en ondiepe leem, klei of veenlagen (bijvoorbeeld gliede, meerbodem).

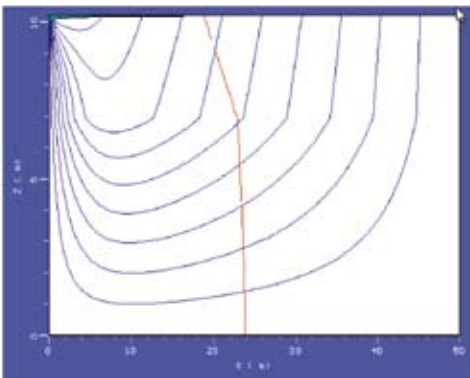


Opbolling 87 cm



Opbolling 109 cm

Indien in de voorbeeldberekening de weerstandsbedende laag wordt verwijderd en hieraan de doorlatendheid van de bovenste laag wordt toegekend (2 m/d) is de berekende opbolling 22 cm (zie afbeelding). Hieruit komt naar voren dat een weerstand van 100 dagen op geringe diepte de grondwaterstand in de rekenvoorbeelden met respectievelijk 65 en 87 cm kan verhogen ( $87-22=65$  en  $109-22=87$ ). Dit verschil heeft niet zozeer betrekking op een meetverschil maar betrekking op een verschil als gevolg van de gehanteerde schematisering en parametrisering bij de modellering.



Opbolling 22

Aan de hand van de voorbeeldberekeningen is duidelijk gemaakt dat hierbij onder meer het niveau van een weerstandsbedende laag van belang is. Dit belang is groter naarmate een weerstandsbedende laag ondieper in de bodem voorkomt en de afstand tussen ontwateringsmiddelen groter is. Dit is het gevolg van een beperking van de horizontale stroming in dunne freatische pakketten waardoor er een weerstand tegen horizontale stroming aanwezig is. Daarnaast kan worden opgemerkt dat hierdoor het grondwater eerder tot in maaiveld kan komen. Hierdoor kan er ook vaker en meer oppervlakkige afstroming plaatsvinden. De veronderstelling dat met een regionaal model uitspraken kunnen worden gedaan over arealen waarin de GHG verschilt zonder

gebruik te maken van de juiste parametrisering van de ondiepe ondergrond is dan ook niet reëel. Ook de veronderstelling dat terugkoppelingseffecten enkel gesimuleerd kunnen worden met een gedistribueerd model en dat dit een groot voordeel is ten opzichte van andere modellen is niet juist. Indien geen gebruik wordt gemaakt van de juiste concepten, schematisering en parameters zullen onvolkomenheden in een gebied effecten hebben op hun omgeving waardoor het juist een nadeel kan zijn. Het voorgaande maakt ook duidelijk dat de conclusie naar aanleiding van de modelberekeningen in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' op basis van de gehanteerde berekeningen niet op zijn plaats is.

## Grondwateraanvulling

In het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' wordt verondersteld dat het mechanisme dat het gevolg is van numerieke verdroging op zowel GHG als GLG betrekking heeft op de grondwateraanvulling. Onder meer in het artikel 'kwantificering verdroging' (Van der Gaast e.a., 2007) is echter duidelijk aangegeven dat niet de weerstand en grondwateraanvulling maar het gebruik van tijdreeksanalyse rond GLG-moment een belangrijke rol speelt bij de te lage inschatting van de grondwaterstand. Daarnaast is in het artikel 'Verdroging veelal systematisch overschat' (van der Gaast e.a., 2006) de grondwateraanvulling (flux door het grondwatervlak) voor zowel GHG als GLG in de vorm van een kaart met gemiddelden van respectievelijk -2,9 en 0,4 mm/d weergegeven. De stelling in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel' dat op basis van de door Van der Gaast en Massop genoemde getallen zouden betekenen dat dan aan het eind van de zomer (GLG-moment) de grondwateraanvulling maar een fractie kleiner moet zijn dan aan het einde van de winter (GLG-moment) en dit hydrologisch gezien onwaarschijnlijk is, is dan ook misplaatst.

## Terminologie

Het is opmerkelijk dat numerieke verdroging als term veel kritiek oproept terwijl bij de bepaling van de schade voor de landbouw als gevolg van grondwateronttrekkingen gebruik wordt gemaakt van de term achtergrondverdroging.

Naast de letterlijke betekenis van de term numerieke verdroging is er ook een figuurlijke betekenis. Numerieke modellen kunnen namelijk ook tot verdroging van kennis leiden. Het gebruik van modellen heeft tot gevolg dat we gedwongen zijn om de complexe werkelijkheid te vereenvoudigen teneinde deze vereenvoudigde concepten in de vorm van formules op te kunnen nemen in een model. De toenemende aandacht voor modellen in de afgelopen decennia heeft tot gevolg gehad dat voor veel modelleers deze vereenvoudigde concepten een afspiegeling zijn geworden van de werkelijkheid (simulacrum). Dit is dan ook één van de redenen dat we meetlocaties verkeerd zijn gaan inrichten en de meetgegevens verkeerd zijn gaan interpreteren. Het gebruik van onjuiste meetinformatie voor het ijken van modellen heeft weer tot gevolg dat rekenresultaten de werkelijkheid niet correct weergeven,

hetgeen de herkenbaarheid niet ten goede komt. Al met al ben ik tot de conclusie gekomen dat we in een schijnwerkelijkheid zijn terechtgekomen waarbij een wisselwerking is ontstaan tussen het verkeerd interpreteren van metingen en het gebruik van (statistische) modellen. Dit heeft het simulacrum versterkt waardoor we eigenlijk te maken hebben met een wetenschappelijke dwaling die in de afgelopen twee à drie decenia heeft plaatsgevonden.

## Samenvattend

Querner en Van Bakel hebben gezocht naar de “vergeten” verticale weerstand hoog in het bodemprofiel. Hierbij is verondersteld dat alleen informatie over een weerstand afdoende is, waardoor een aantal andere relevante aspecten, zoals het niveau van de weerstands biedende laag, buiten beschouwing zijn gelaten. De werkelijke weerstand is afhankelijk van de opeenvolging van lagen met bijbehorende dikte, diepte en doorlatendheden in combinatie met de ontwateringsafstand (slootafstand) en varieert hierdoor sterk in de ruimte. De werkelijke weerstand is bovendien tijdsafhankelijk aangezien weerstands biedende laagjes afhankelijk van het grondwaterniveau droog kunnen vallen en zwel en krimp van bodemlagen een rol kan spelen.

Bij zowel het ruimtelijke als het tijdsafhankelijke aspect is de positie (diepte) van weerstands biedende lagen van belang. Daarnaast kan worden opgemerkt dat in het artikel ‘Op zoek naar de “vergeten” verticale weerstand hoog in het bodemprofiel’ een groot aantal veronderstellingen zijn opgenomen die van grote invloed zijn op de gehanteerde werkwijze, conclusies en uitspraken. Hierdoor komt de vraag naar voren in hoeverre verdroging van kennis en/of een weerstand tegen het onderkennen van verkeerde veronderstellingen een rol speelt. Het lijkt er dan ook op dat de werkelijke weerstand voornamelijk voortkomt uit het ontbreken van de bereidheid om meet- en interpretatiemethoden, modellen en modelinvoergegevens fundamenteel aan te passen teneinde de praktijksituatie beter te benaderen.

## Slotopmerking

Op 20 juni 2011 organiseerde de KNAW een themabijeenkomst over de bruikbaarheid van wetenschappelijke modellen waarin het draaide om de relatie tussen de virtuele wereld van modellen en de werkelijke wereld. Hoe bruikbaar is de virtuele wereld van wetenschappelijke modellen om aspecten van de waargenomen wereld te begrijpen, te manipuleren of te voorspellen? Hebben we er vertrouwen in dat bepaalde vragen over de werkelijkheid adequaat met een bepaald model beantwoord kunnen worden? Deze en andere vragen kwamen aan de orde in de themabijeenkomst met als doel het analyseren van de foutenbronnen in de wereld van de wetenschappelijke modellen en het identificeren en begrijpen van de verschillen en overeenkomsten in het gebruik van deze modellen tussen diverse vakgebieden (bron: <http://www.knaw.nl/Pages/DEF/29/650.bGFuZz1OTA.html>).

In de lezenswaardige voordracht van prof. dr. Frans J.C. Willekens met als titel: “Modellen zijn noodzakelijke denkkaders” is onder meer het volgende aan de orde gekomen. *In de wetenschap worden modellen zelden aan de kant gezet wanneer zij niet langer geschikt zijn om de werkelijkheid te begrijpen, ook wanneer die werkelijk-*

heid is veranderd. Veelal worden ze marginaal aangepast en volgt een roep om meer en betere data en betere calibratietechnieken. Het model zelf staat zelden fundamenteel ter discussie. Waarom? Ik denk dat de verklaring gevonden kan worden in het model als gedeeld interpretatiekader. Het fundamenteel ter discussie stellen van een dominant interpretatiekader of paradigma bedreigt de cohesie, stabiliteit en continuïteit van het vakgebied. Het behoud van het vakgebied is belangrijker geworden dan de werkelijkheid die het probeert te beschrijven, verklaren en voorspellen. Hierbij zijn de gevolgen van de maatschappij buiten beschouwing gelaten. Het is dan ook de vraag in welke mate dit aspect binnen het hydrologische vakgebied een rol speelt en of de Nederlandse discussie rond numerieke verdroging gezien de beschikbare internationale literatuur en de gevolgen voor vele individuen binnen de maatschappij gerechtvaardigd is.

## Literatuur

- Dalton M.G., B.E. Huntsman en K. Bradbury (2007)** Acquisition and interpretation of water-level data; in: The essential handbook of ground-water sampling. D.M. Nielsen and G.L. Nielsen. CRC Press, New York
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen (1997)** *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*; Report 71, Subdep. Water Resources, Wageningen University, Technical document 45, Alterra Green World Research, Wageningen
- Ernst L., N. de Ridder en J. de Vries (1970)** A geohydrologic study of East Gelderland: Netherlands; in: Geologie en mijnbouw nr. 6, pag. 457-488
- Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop (2003)** Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland, Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties; Alterra-rapport 819, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon en I.G. Staritsky (2006)** Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken; Alterra-rapport 1339, ISSN 1566-7197, Alterra, Wageningen
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J. Vroon (2007)** Kwantificering verdroging; in: H2O, nr 3, pag. 25-28
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop (2008)** Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging; in: H2O, nr 5, pag 51-56
- Guigier J., M. en E.O. Frind (1991)** FLONET (version 2.0); Two-dimensional steady-state flownet generator; Waterloo Centre for Groundwater Research, Waterloo (Ontario, Canada)
- Ek, R. van, P de Louw, J. Hoogewoud en F. Claessen (2008)** Reactiestuk op 'Numerieke verdroging'; in: H2O nr. 11, pag. 14-16
- Gaast J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J. Vroon (2009)** Actuele grondwatersituatie in natuurgebieden, een pilotstudie; Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 94

**Knibbe, M. (1969)** Gleygronden in het dekzandgebied van Salland; Proefschrift, Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen

**Nielsen, D.M. en R. Schalla (2006)** Design and installation of ground-water monitoring Wells; in: D.M. Nielsen, Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground-Water Monitoring. CRC Press, New Mexico

**Querner, E. en J. van Bakel (2010)** Op zoek naar de “vergeten” verticale weerstand hoog in het bodemprofiel; in: Stromingen 16 nr. 1, pag. 5-24