

---

# 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 toerikend 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 grondwaterstands daling 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.

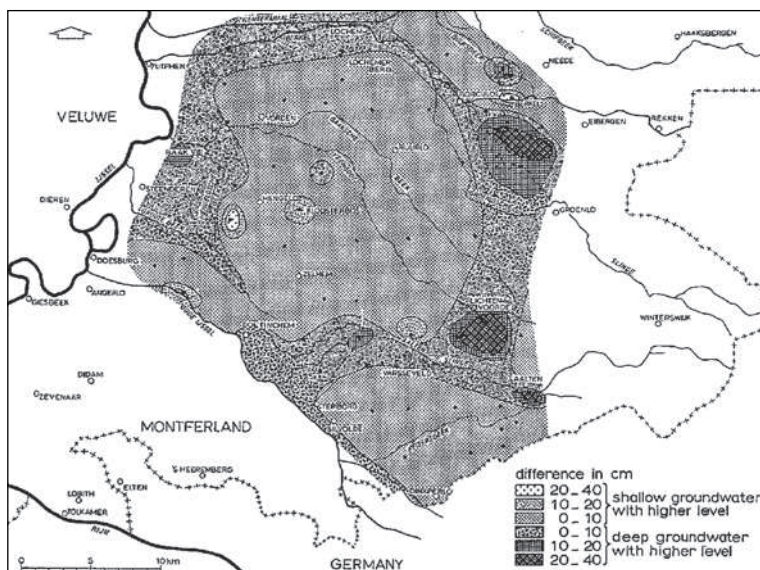


Fig. 9  
Differences in hydraulic head between shallow and deep groundwater, measured on November 7, 1968 in 58 double piezometer wells with filters at 3 and 10 to 20 meter below surface.

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 grondwater niveau 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.



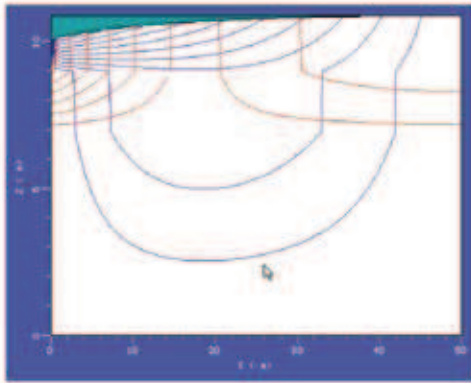
## GHG en GLG

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.

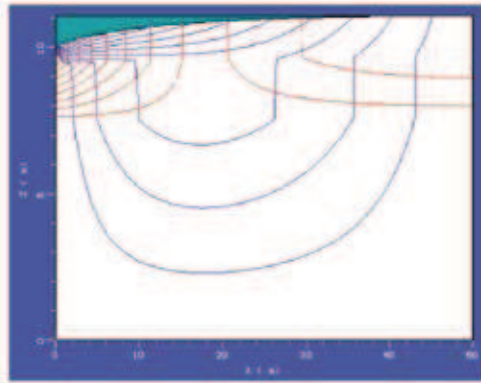
De gebruikte laagopbouw en doorlatendheden komen ongeveer overeen met hetgeen beschreven is in het artikel 'Op zoek naar de "vergeten" verticale weerstand hoog in het bodemprofiel'. De bovenste laag is een freatisch pakket met een doorlatendheid van 2 m/d. De weerstandsbiedende laag (laag 2) heeft een 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 sturingreeks 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 slomp, antropogene verdichting (ploegzool), inspoelingslagen en ondiepe leem, klei of veenlagen (bijvoorbeeld gliede, meerbodem).

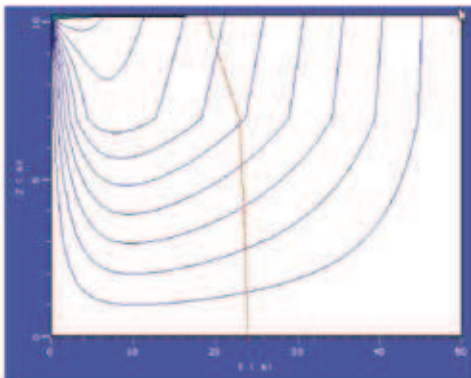


Opbolling 87 cm



Opbolling 109 cm

Indien in de voorbeeldberekening de weerstandsbiedende 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 weerstandsbiedende laag van belang is. Dit belang is groter naarmate een weerstandsbiedende 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

---

# Reactie op artikel 'De werkelijke weerstand' van Jaco van der Gaast

Jan van Bakel

---

Datum: woensdag 23 mei 2012

Het dossier 'Numerieke verdroging' beschouwde ik tot voor kort als voorlopig gesloten, in afwachting van het onderzoek van Alterra. De reactie van Jaco van de Gaast op het artikel van Erik Querner en mij geeft aan dat dat voor hem in ieder geval niet geldt. Dat is zijn goed recht. Erik gaf aan momenteel niet te willen reageren en ik wil alleen op hoofdlijnen reageren.

1. Ik kan zijn kritiek op het schematiseren van de bodem in een beperkt aantal bodemprofielen alleen maar van harte onderschrijven. Dat gebruik van meer bodemprofielen structureel zal leiden meer verticale weerstand is echter een onbewezen stelling.
2. Dat een overschatting van de berging in de bodem een oorzaak is van 'Numerieke verdroging' is een nieuw en mijn inziens oneigenlijk argument. Met hetzelfde gemak kan ik beredeneren dat minder berging frequenter leidt tot meer maaiveldafvoer en dus minder 'doordegrondse' stroming en dus een geringere gemiddelde opbolling. Overigens heeft dit punt (en het vorige) weinig te maken met 'Numerieke verdroging' maar alles met het 'opdrogen' van onderzoeksgelden voor bodemfysisch onderzoek.
3. Van der Gaast schrijft enerzijds dat het gebruik van de anisotropiekaart niet is toegestaan omdat die maar tot op een diepte van 1,20 m betrekking heeft, maar anderzijds worden de door ons gebruikte peilbuizen bekritiseerd omdat nagenoeg alle filters onder 1,20 m zitten. Er zit mijn inziens enige spanning in deze redenering.
4. In het oorspronkelijke model van Lankheet is inderdaad met één laag gerekend. Er is niet gerekend met het oorspronkelijk model maar met een 3-lagenmodel en dus raakt dit kritiekpunt kant noch wal.
5. SIMGRO rekt in freatisch pakket niet met constante D maar met variabele d.
6. Voor elke hydroloog is het duidelijk dat de drainageweerstand afhangt van de diepteligging van de weerstandbiedende laag: hoe ondieper, hoe minder de fractie van het grondwater op weg naar de sloot die aan deze weerstand 'kan ontsnappen'. Het correct schematiseren is een punt dat bovenaan staat (of hoort te staan) bij *Good Modeling Practice* maar heeft weinig met de onderhavige kwestie te maken.

Tot slot: Moeten wij de slotopmerking en citaten daarin als “Het behoud van het vakgebied is belangrijker geworden dan de werkelijkheid die het probeert te beschrijven, verklaren en voorspellen” zien als persoonlijke kritiek of is het algemeen bedoeld? Want dat zijn nogal grote woorden. In het eerste geval voel ik me beledigd en in het tweede geval is de slotopmerking volstrekt misplaatst. Jaco van der Gaast heeft wel degelijk een punt (en dat staat ook met zoveel woorden in ons artikel opgeschreven en heb ik op de lezing van de NHV-dag in mei 2011 ook verteld) en ik vind het bijzonder jammer dat zijn boodschap door dergelijke opmerkingen ondersneeuwt.

Jan van Bakel



---

# Numerieke verdroging en schadeonderzoek voor grondwateronttrekkingen

Jaco van der Gaast

---

Bij het bepalen van de landbouwkundige schade als gevolg van een grondwateronttrekking wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van grondwaterstromingsmodellen. Ze worden gebruikt om zowel het door een grondwateronttrekking beïnvloede gebied als de verlaging door die grondwateronttrekking te bepalen. Deze modellen zijn echter veelal onderhevig aan numerieke verdroging, waardoor onjuiste en misleidende informatie kan worden gegenereerd. In dit artikel worden een aantal relevante aspecten met betrekking tot het gebruik van numerieke modellen en berekeningsmethoden bij het bepalen van landbouwkundige schade op perceelsniveau nader toegelicht.

## Inleiding

Het onttrekken van water aan de bodem (bijvoorbeeld drinkwaterwinning, industriële onttrekking en bronbemaling) veroorzaakt een verlaging van de grondwaterstand. Deze verlaging kan schade veroorzaken aan onder andere landbouwgewassen, bossen, natuur en gebouwen. Daarnaast kan schade ontstaan doordat veedrenking wordt beperkt. Zowel de Grondwaterwet als de nieuwe Waterwet schrijft voor dat de schade als gevolg van een grondwateronttrekking of infiltratie door de vergunninghouder (veroorzaker van de schade) moet worden ondervangen of vergoed. Het vaststellen van de oorzaak en de grootte van de schade is meestal erg gecompliceerd en tijdrovend, en vraagt specifieke deskundigheid. Daarom biedt zowel de Grondwaterwet als de nieuwe Waterwet de mogelijkheid om een onderzoek te laten verrichten. Een verzoek om een onderzoek moet worden ingediend bij de Gedeputeerde Staten van de desbetreffende provincie. De nieuwe Waterwet kent, in tegenstelling tot zoals dat in de Grondwaterwet het geval was, geen verplichting tot het inschakelen van een commissie van deskundigen voor de beoordeling van een schadevordering. De gezamenlijke provincies hebben echter besloten om onderzoek te laten uitvoeren door één landelijk opererende commissie. Deze commissie kan worden beschouwd als een commissie die de Commissie van Deskundigen Grondwaterwet (CDG) zal opvolgen (CDG 2010).

Allereerst wordt een hydrologisch onderzoek uitgevoerd. Hiermee wordt inzicht verkregen in het verloop van de grondwaterstand met en zonder de invloed van een grondwateronttrekking. Het verschil tussen beide situaties geeft de verandering van de grondwaterstand als gevolg van de grondwateronttrekking aan. Hierbij wordt ook rekening gehouden met andere factoren die de grondwaterstand beïnvloeden,

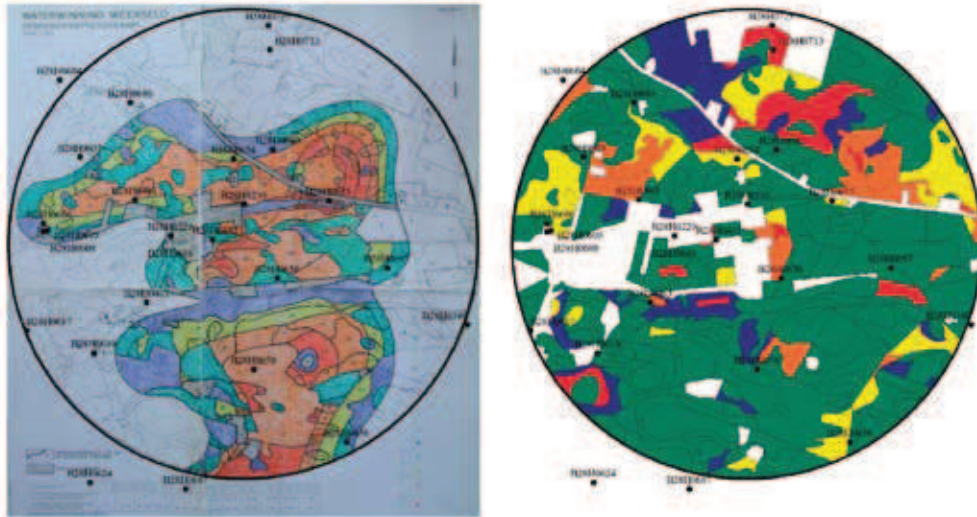
zoals andere grondwateronttrekkingen of infiltraties, weersomstandigheden, waterbeheersingswerken, berekening en achtergrondverdroging. Om de invloeden te kwantificeren wordt doorgaans gebruik gemaakt van modelberekeningen, analyse van grondwaterstandsgegevens en bodemkundige- en waterhuishoudkundige karteringen. In de loop der tijd is de CDG in toenemende mate gebruik gaan maken van geo-hydrologische modellen. De CDG is van mening dat - mits getoetst op onafhankelijkheid, betrouwbaarheid en geschiktheid - veel van deze modellen bruikbaar lijken voor de Commissie en dat door het gebruik van modellen de (grond)waterhuishouding steeds beter in beeld komt (jaarverslag CDG 2005).

Uit recent onderzoek is echter gebleken dat de grondwaterstand of de hiervan afgeleide Grondwatertrapinformatie (Gt) als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken niet altijd juist wordt geschat. Hierdoor kunnen methoden die gebruikt worden bij het bepalen van de schade als gevolg van een waterwinning onderhevig zijn aan numerieke verdroging, hetgeen onjuiste en misleidende informatie tot gevolg heeft. In dit artikel wordt aan de hand van een voorbeeldgebied nader ingegaan op een aantal relevante aspecten bij het gebruik van peilbuisinformatie, numerieke modellen en berekeningsmethoden.

Het voorbeeldgebied betreft een grondwateronttrekking nabij Weerselo, provincie Overijssel. Voor het gebied is in 1972 een schaderegeling afgesloten. Hiertoe heeft de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa), voorganger van de CDG, in 1972 een onderzoek naar de verdrogingschade aan grasland in het waterwingebied Weerselo afgerond. In het kader van dit onderzoek is onder meer de opbrengstdepressie als gevolg van de grondwateronttrekking bepaald (Afbeelding 1, links). In oktober 2010 ontving de commissie van Gedeputeerde Staten van Overijssel een verzoek om onderzoek met betrekking tot een nieuwe schaderegeling voor het gebied rond het pompstation Weerselo (Lemselo) van de Waterleiding Maatschappij Overijssel NV (WMO). Het verzoek is – mede namens de belanghebbende agrariërs in het gebied - ingediend door de werkgroep water van de Gewestelijke Land- en Tuinbouw Organisatie (GLTO) Weerselo. De commissie heeft zich op de problematiek georiënteerd. In het gebied en aan de grondwateronttrekking hebben geen noemenswaardige veranderingen plaatsgevonden. Het verzoek betreft in feite een herziening van de bestaande schaderegeling die per 1 januari 2001 door de WMO is opgezegd, omdat een aantal uitgangspunten die aan deze regeling ten grondslag ligt naar haar mening niet meer met de werkelijke situatie overeenstemmen (jaarverslag CDG, 2001). Ten aanzien van de optredende verlagingen zijn nieuwe inzichten beschikbaar gekomen uit een modelstudie. Met het model zijn op verzoek van de commissie nog specifiekere berekeningen uitgevoerd. Berekend zijn de grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG), alsmede de verlagingen in beide situaties (jaarverslag CDG 2003/4). De CDG heeft in 2010 de regeling herzien. In het kader van deze herziening is onder meer de opbrengstdepressie als gevolg van de grondwateronttrekking bepaald (Afbeelding 1, rechts).

Als de berekende opbrengstverandering zoals bepaald in 1972 en 2010 naast elkaar worden gezet is te zien dat de verschillen aanzienlijk kunnen oplopen (Afbeelding 1). Uit het voorgaande blijkt dat deze verschillen niet zozeer het gevolg zijn van feitelijke veranderingen in de hydrologische omstandigheden, maar een gevolg zijn van verschillen in inzicht. Aangezien de verschillen in de berekende opbrengstverandering van invloed zijn op het door de CDG toegekende schadebedrag is een nadere verklaring

van de verschillen in de berekende opbrengstverandering door de grondwateronttrekking op zijn plaats. In dit artikel wordt nader ingegaan op de mogelijke invloed van aspecten die te maken hebben met numerieke verdroging.



**Afbeelding 1:** Berekende opbrengstverandering als gevolg van een grondwateronttrekking nabij Weerselo (COGROWA onderzoek 1972 links, CDG onderzoek 2010 rechts).

### Numerieke verdroging

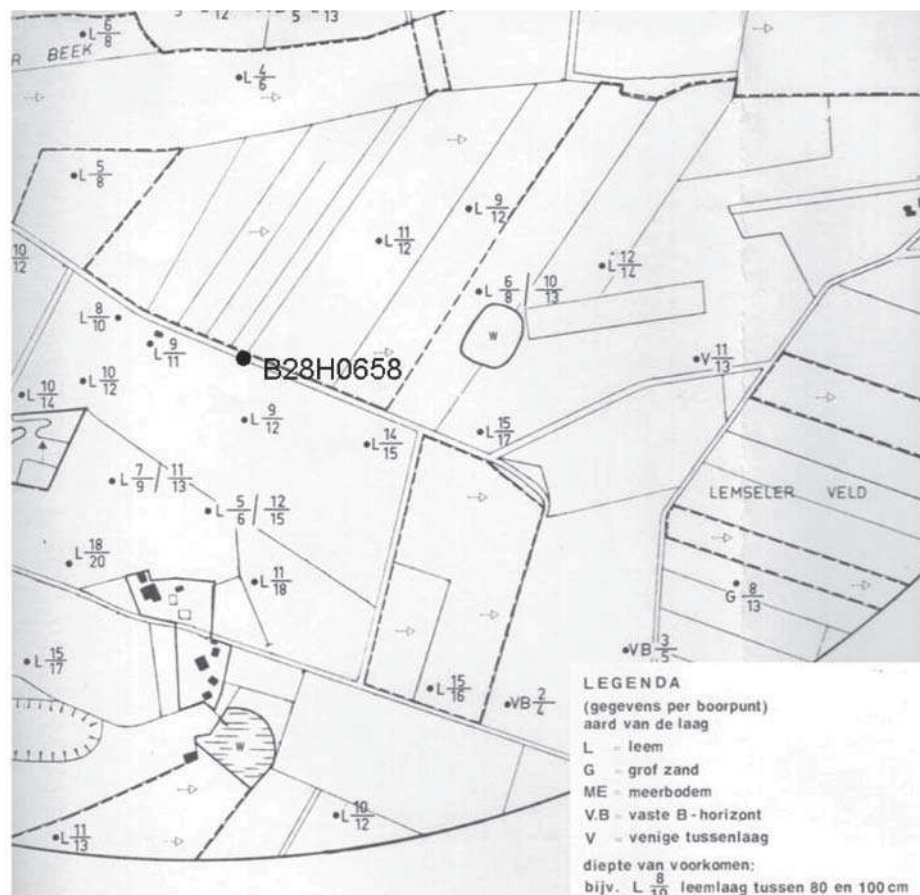
Numerieke verdroging is gedefinieerd als een onjuiste inschatting (meestal te droog) van de grondwaterstand als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken die direct of indirect als gevolg van numerieke methoden zijn geïntroduceerd. Het kan hierbij onder meer gaan om het onjuist interpreteren van 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 praktisch 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. Hierbij is ook de bodemkundige gesteldheid geschematiseerd in een beperkt aantal bodemprofielen waaraan gemiddelde bodemkarakteristieken worden toegekend. Dit vereenvoudigde beeld van de werkelijkheid heeft tot gevolg gehad dat we in de veronderstelling waren dat we peilbuizen, zonder dat dit wetenschappelijk onderbouwd was, dieper konden plaatsen. De relatief ondiep voorkomende weerstand in de bodem door 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. Op deze achtergrondverdroging wordt later in dit artikel nader ingegaan.

## Meetgegevens

Het freatisch vlak is het grondwaterniveau waar beneden alle grondporiën met water gevuld zijn en de waterdruk gelijk is aan de atmosferische druk. Dit bovenste grondwaterniveau is van belang voor de vegetatie en wordt in dit artikel verder grondwaterstand genoemd. De grondwaterstand wordt gemeten in peilbuizen. Een peilbuis is een buis met een geperforeerd deel, die in de bodem wordt geplaatst om het niveau van het grondwater gedurende langere tijd te kunnen meten. Een peilbuis is in veel gevallen gemaakt van plastic (PVC) en heeft een diameter van circa 2,5 cm. Het geperforeerde gedeelte aan de onderzijde van de buis wordt ook wel het filterdeel genoemd en is in de regel 0,5 of 1 meter lang. Recent onderzoek heeft aangetoond dat het filterdeel van peilbuizen veelal te diep is geplaatst om de grondwaterstand correct te kunnen meten (van der Gaast e.a., 2006). Vooral in natte perioden heeft dit tot gevolg dat de gemeten waterstand lager is dan de werkelijke grondwaterstand. Indien een peilfilter diep is geplaatst zal de druk en de hiermee samenhangende stroming die door het overtollige neerslagwater wordt veroorzaakt via de bodem naar het lager gelegen niveau van het filter moeten worden doorgegeven. Door gelaagdheid en het voorkomen van bijvoorbeeld leemlagen in de ondiepe ondergrond zal er op veel plaatsen weerstand zijn tegen deze neerwaartse stroming. Hierdoor is de gemeten waterstand in de peilbuis vooral in natte perioden veelal lager dan de werkelijke grondwaterstand. Dit heeft tot gevolg dat we, zoals ook aangegeven in de internationale literatuur, te maken kunnen hebben met onjuiste misleidende informatie (Nielsen en Schalla, 2006; van der Gaast e.a., 2009). Recentelijk zijn in de buurt van Weerselo op korte afstand van een bestaande peilbuis, die binnen het invloedsgebied van een waterwinning ligt, metingen uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van meerdere peilbuizen op verschillende dieptes (van den Akker e.a., 2009; van der Gaast e.a., 2009). Uit deze metingen is gebleken dat de bestaande peilbuis de grondwaterstand te diep en derhalve niet juist weergeeft. Deze onjuiste weergave van de grondwaterstand wordt op deze locatie veroorzaakt door één of meerdere leemlagen, die de neerwaartse stroming van het grondwater belemmeren.

In het gebied rond het pompstation nabij Weerselo zijn in het begin van de jaren 70 van de vorige eeuw onderzoeken ingesteld naar de bodemgesteldheid. Het doel van deze onderzoeken was na te gaan wat de eventuele gevolgen voor de landbouw zouden zijn, indien water onttrokken zou worden aan de bovenste bodemlagen. Het betreft een onderzoek naar de bodemgesteldheid van het waterwingebied Weerselo (Bles en Steeghs, 1971) en de uitbreiding waterwingebied Weerselo (van het Loo en van Holst, 1974). In deze onderzoeken zijn naast de bodemgesteldheid en grondwatersituatie ook afwijkende lagen in kaart gebracht. Op deze afwijkende lagenkaart zijn meerdere binnen 200 cm beneden maaiveld aangetroffen bijzondere lagen aangegeven. Doordat de afwijkende lagen qua begindiepte en dikte sterke verschillen vertonen en soms zeer plaatselijk voorkomen, is de aanwezigheid per boorpunt aangegeven. Daarbij is tevens de aard van de afwijkende laag en de begin- en einddiepte genoteerd. De afwijkende lagen hebben betrekking op lagen zoals leem (meer dan 50% leem) en venige tussenlagen die storend kunnen werken (Bles en Steeghs, 1971). Een uitsnede van de kaart met de locatie van een peilbuis is ter illustratie in afbeelding 2 weergegeven. Uit de kartering komt naar voren dat leemlagen in bijna het gehele gebied voorkomen en deze op korte afstand sterk wisselen in dikte en diepte. Boven de zone die permanent met

water is verzadigd, is deze laag vaak sterk roestig, hetgeen kan wijzen op de stagnerende invloed op de waterbeweging (Bles en Steeghs, 1971). Ook uit de recente metingen onder en boven deze laag komt naar voren dat de leemlagen stagnerend werken (van den Akker e.a., 2009; van der Gaast e.a., 2009).



**Afbeelding 2:** Uitsnede van de afwijkende lagenkaart waarop het voorkomen, de diepte en de dikte van bijzondere lagen per boorpunten met een boordiepte tot 2 meter zijn weergegeven.

## Modellering

Bij het modelleren van de grondwaterstroming wordt vaak gebruik gemaakt van peilbuisgegevens om modellen op te ijken of modellen mee te toetsen. Hierbij is het van belang gebruik te maken van de juiste informatie. Een veel voorkomend probleem is echter dat verondersteld wordt dat peilbuizen de grondwaterstand weergeven terwijl deze in werkelijkheid te diep zijn geplaatst. Dit heeft tot gevolg dat voor een deel van de gegevens onbedoeld gebruik wordt gemaakt van peilbuisinformatie die de grondwaterstandsituatie veelal te droog weergeeft. Bij de waterwinning te Weerselo is zowel voor de ijking van het model (Minnema en Snepvangers, 2004) als voor de toetsing (CDG, 2010) gebruik gemaakt van peilbuisgegevens. Aangezien er voor

het waterwingebied te Weerselo een afwijkende lagenkaart beschikbaar is kan worden bekeken in hoeverre de bij de toetsing gebruikte peilbuizen onder ondiep voorkomende leemlagen zijn gesitueerd (tabel 1). Uit deze tabel blijkt dat het filter van nagenoeg alle peilbuizen die gebruikt zijn voor de toetsing dieper is dan 2 meter en, gezien het voorkomen van leemlagen in de omgeving van de peilbuizen, de meeste peilbuizen naar alle waarschijnlijkheid onder of in een leemlaag zijn geplaatst. Derhalve kan worden geconcludeerd dat, in tegenstelling tot hetgeen verondersteld is, de toetsing op veel peilbuislocaties geen betrekking heeft op het voor de vegetatie van betekenis zijnde bovenste grondwater.

Bij het bepalen van schade als gevolg van een grondwaterwinning kan men in eerste instantie geneigd zijn te denken dat de veelal te laag gemeten grondwaterstanden tot gevolg hebben dat de berekende schade groter is dan de werkelijke schade. Er zijn echter een aantal aspecten die anders uit kunnen pakken. Deze aspecten rond numerieke verdroging worden hierna nader toegelicht.

Peilbuis	Hoogte maaiveld (cm + NAP)	Bovenkant filter (cm - maaiveld)	Onderkant filter (cm - maaiveld)
B28H0340	2370	1110	1310
B28H0456	2360	1090	1190
B28H0461	2055	805	1005
B28H0462	2030	800	1000
B28H0463	1970	700	900
B28H0604	1875	225	325
B28H0609	1975	325	425
B28H0617	1983	193	293
B28H0619	2152	207	257
B28H0624	2276	211	311
B28H0654	2084	240	340
B28H0655	2119	117	217
B28H0656	2169	229	329
B28H0657	2241	356	456
B28H0658	2204	240	340
B28H0687	2314	271	371
B28H0690	1945	210	310

**Tabel 1:** Filterdiepte van de peilbuizen die gebruikt zijn bij de toetsing.

### Effect op de grondwatermodellering

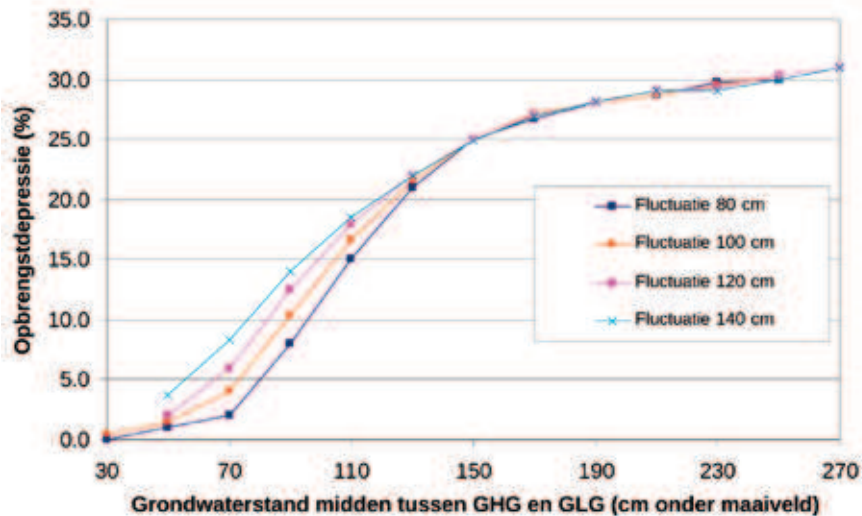
Het ijken van een grondwaterstromingsmodel op grondwaterstandsgegevens die de situatie op een aantal locaties niet juist weergeven heeft gevolgen voor de modellering. De veelal te droge situatie kan alleen worden gemodelleerd indien het overtollige neerslagwater gemakkelijk en snel weg kan. In de meeste modellen zal dit tot gevolg hebben dat de interactie tussen grond- en oppervlaktewater in het model te gemakkelijk kan plaatsvinden (van der Gaast e.a., 2008). Dit aspect wordt versterkt

indien ondiep voorkomende leemlagen zoals in Weerselo niet of onvoldoende in modellen worden meegenomen. Daarnaast dient te worden opgemerkt dat in regionale en landsdekkende modellen de bodem momenteel wordt gemodelleerd op basis van 21 standaard bodemprofielen. Aan deze 21 standaard profielen worden gemiddelde bodemvocht- en doorlatendheidskarakteristieken gekoppeld. Met deze sterke vereenvoudiging van de bodemkundige gesteldheid kunnen veel situaties niet worden gesimuleerd. Zowel het ijken van modellen op gedeeltelijk onjuiste grondwaterstandsgegevens als het gebruik van sterk vereenvoudigde bodemkundige informatie heeft afvlakking tot gevolg. Deze afvlakking zal in modelresultaten tot uiting komen in de vorm van een te geringe fluctuatie van de grondwaterstand.

Om de gevolgen van deze afvlakking te illustreren is voor een veel voorkomende bodem in het waterwingebied (code: C 25 3) de opbrengstdepressie voor verschillende fluctuaties berekend (Afbeelding 3). Voor de berekening van de opbrengstverandering als gevolg van een grondwaterwinning wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde TCGB-tabellen (Bouwmans, 1990). Deze tabellen geven voor een reeks van 52 standaard-bodemprofielen de opbrengstdepressie van gras weer als gevolg van vochttekort en wateroverlast bij verschillende grondwaterstandsverlopen. Voor het grondwaterstandsverloop wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) op 1 april) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG).

In het voorbeeld (Afbeelding 3) is er van uitgegaan dat de gemiddelde grondwaterstand correct is gemodelleerd. Uit de afbeelding komt naar voren dat de berekende opbrengstdepressie bij een geringe fluctuatie altijd lager uitkomt. De mate waarin deze lager uitkomt is afhankelijk van de grondwaterstandssituatie. Bij relatief ondiepe grondwaterstanden is de opbrengstdepressie door vochttekort gering en weinig afhankelijk van de fluctuatie. Naarmate de grondwaterstand lager wordt neemt de opbrengstdepressie als gevolg van vochttekort toe. Ook de fluctuatie is in dit middentraject van de grondwaterstand van groot belang.

Bij verdere toename van de grondwaterstandsdiepte gaan de depressiecurven naar elkaar toe (convergeren) en vallen vervolgens samen. Er is dan hoofdzakelijk sprake van een hangwaterprofiel. De depressiecurve laat vervolgens een geringe stijging zien als gevolg van een zeer geringe capillaire nalevering vanuit het grondwater. Indien bij de modelberekeningen de gemiddelde grondwaterstand niet correct is gemodelleerd maar het model bijvoorbeeld systematisch te droog is zal de berekende schade hoger uitkomen. Indien het model geen systematische verschillen heeft kan niet op voorhand worden aangegeven of de berekende schade systematisch te hoog of te laag uit zal komen. Het voert te ver om de vergelijking tussen de berekende schade voor en na de winning in alle mogelijke situaties te belichten. Indien voor zowel de situatie met als zonder de invloed van een grondwateronttrekking gebruik wordt gemaakt van afgevlakte grondwaterstandsinformatie zal het toegekende schadebedrag in de meeste gevallen enigszins hoger uitkomen.



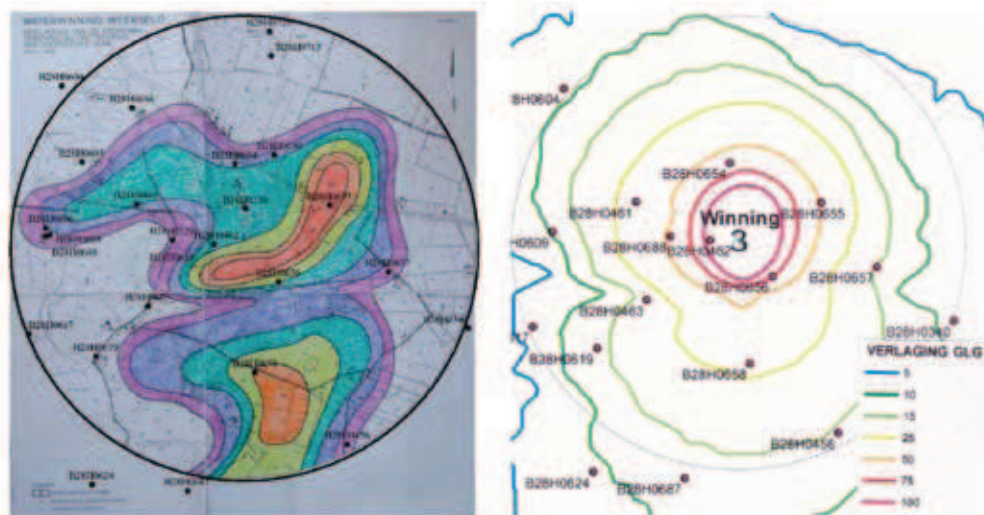
**Afbeelding 3:** Relatie tussen de gemiddelde grondwaterstand (midden tussen de GHG en GLG) en de opbrengstdepressie voor verschillende fluctuaties.

### Berekende verlaging

Het onvoldoende meenemen van ondiep voorkomende weerstandsbiedende lagen heeft tot gevolg dat de berekende verlaging van de grondwaterstand nabij de winlocatie te groot is en het gebied waarbinnen verlaging plaatsvindt te klein is. Indien er weerstandsbiedende lagen aanwezig zijn zullen deze namelijk tot gevolg hebben dat de grondwaterstandsverlaging geringer is, de verlaging in een groter gebied plaatsvindt en de grondwaterstandsverlaging zich pas na enige tijd zal stabiliseren. Deze weerstandsbiedende lagen zijn zelden gelijkmatig met betrekking tot zowel de diepte als dikte in een gebied verspreid. Dit heeft tot gevolg dat ook de weerstand niet gelijkmatig over het gebied is verdeeld. Afhankelijk van de geohydrologische opbouw van de ondergrond kan dit zelfs tot gevolg hebben dat de maximale grondwaterstandsverlaging niet ter plaatse van de winning maar op enige afstand op een locatie waar de weerstand van de weerstandsbiedende (leem)lagen relatief gering is plaatsvinden. Het pakket waaruit onttrokken wordt kan immers via 'zwakke' plekken in de er boven gelegen weerstandsbiedende (leem)lagen gemakkelijker worden gevoed dan via (leem)lagen die veel weerstand hebben. In een onderzoek naar de verdrogings schade in het waterwingebied Weerselo uit 1972 is geconstateerd dat de gevonden verlaging geen regelmatige relatie met de afstand vanaf het centrum van de wateronttrekking, vertoont (Cogrowa, 1972). De toentertijd gemaakte kaart met verlaginglijnen geeft de grootste verlaging ten zuiden en oosten van het centrum van de wateronttrekking (Afbeelding 4). Zonder nadere informatie over de verbreiding, dikte en weerstand van de relatief ondiep voorkomende weerstandsbiedende lagen is op voorhand niet aan te geven of het onvoldoende meenemen van de ruimtelijke variatie van de weerstand van deze lagen de berekende schade op een locatie verhogen of verlagen. Indien de verlaging als gevolg van de grondwaterwinning die bepaald is in 1972 en 2010 naast elkaar worden gezet kunnen we de verschillen beoordelen (Afbeelding 4).



Uit vergelijking van de twee komt naar voren dat de verschillen aanzienlijk kunnen zijn. Nabij het centrum van de winlocatie kunnen de verschillen oplopen tot circa 70 cm. Ook op basis van grondwatertrapinformatie kan worden geconcludeerd dat de berekende verlaging rond de winlocatie niet plausibel is. Uit vergelijking komt tevens naar voren dat de invloed van de Lemselerbeek op de verlaging tussen beide bepalingsmethoden verschilt.



**Afbeelding 4:** Grondwaterstandsverlaging als gevolg van de grondwateronttrekking nabij Weerselo (COGROWA 1972 links, CDG 2010 Rechts).

Ondiep voorkomende weerstandsbiedende lagen hebben ook tot gevolg dat het effect van een waterwinning in de natte winterperiode anders uit kan werken dan in de droge zomerperiode. In de droge zomerperioden kan een gedeelte van de weerstand namelijk wegvallen doordat het grondwater zich onder een gedeelte van de ondiep voorkomende weerstandsbiedende lagen kan bevinden. Hierdoor is de weerstand veelal variabel in de tijd, hetgeen in modellen vaak niet wordt meegenomen. Hierdoor wordt de verlaging van de GHG veelal overschat. Bij schadeberekeningen wordt de door de waterwinning veroorzaakte droogteschade (gedeeltelijk) gecorrigeerd voor de vermindering van de natschade. Door de overschatting van de GHG verlaging wordt ook de vermindering van de natschade overschat. Door deze verminderde natschade af te trekken van de droogteschade kan de schadevergoeding systematisch te laag uitkomen. Voor het waterwingebied nabij Weerselo heeft de CDG het positieve effect van de vermindering van de natschade slechts voor 10% in mindering gebracht, waardoor dit aspect in dit voorbeeldgebied gunstig is voor het toegekende schadebedrag.

### Achtergrondverdroging

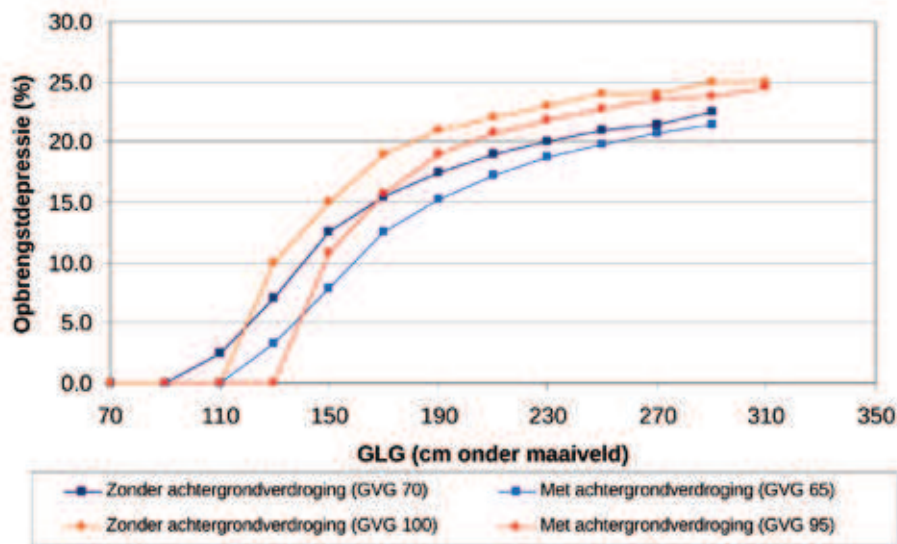
Bij het bepalen van de schade als gevolg van een grondwaterwinning wordt er van uitgegaan dat de grondwaterstandsvaling gedeeltelijk is veroorzaakt door andere invloeden. Deze achtergrondverdroging kan, afhankelijk van de locatie, onder andere veroorzaakt zijn door waterhuishoudkundige maatregelen, beregning, de effecten van verstedelijking (toename van het verhard oppervlak) en toegenomen verdamping van landbouw-

gewassen of door bebossing. Deze veranderingen veroorzaken een verminderde voeding van het grondwater. In het verleden zijn er echter ook ontwikkelingen geweest die tot gevolg hadden dat de voeding van het grondwater is toegenomen. Om grond geschikt te maken voor de landbouw zijn storende lagen door middel van diepe grondbewerking 'gebroken' waardoor de grondwateraanvulling is toegenomen. Ook de neerslag is in de loop van de afgelopen anderhalve eeuw toegenomen van gemiddeld circa 700 naar 800 mm/jaar (van der Gaast e.a., 2009). De bovenstaande veranderingen die van invloed zijn op de grondwateraanvulling kunnen worden onderverdeeld in abrupte, geleidelijke en incidentele veranderingen. In het waterwingebied Weerselo hebben gedurende de winning geen abrupte veranderingen zoals waterhuishoudkundige maatregelen of grondverbeteringen van betekenis plaatsgevonden. Ook de toename van verharding en bebossing, welke een geleidelijke daling van de grondwaterstand kunnen veroorzaken spelen in het waterwingebied geen rol van betekenis. Uit een waterbalansstudie voor het stroomgebied van de Oude IJssel voor de periode 1955-1990 blijkt dat er geen stijgende of dalende trend van de jaarlijkse gewasverdamping aanwezig is (van Leeuwen, 1991). Uitgaande van het feit dat in het balansgebied slechts geringe vochttekorten zijn opgetreden wordt in deze studie tevens aangegeven dat in vergelijkbare gebieden de gewasverdamping waarschijnlijk eveneens niet is toegenomen. Beregening is een gebiedsafhankelijke in meer of mindere mate incidentele oorzaak van grondwaterstands-daling. Ook beregening speelt in het waterwingebied Weerselo geen rol van betekenis.

De achtergrondverdroging is gebaseerd op peilbuisgegevens in het eerste water-voerende pakket die in veel, maar niet alle, gevallen een daling van de grondwaterstand laten zien. De achtergrondverdroging is bepaald op basis van statistische modellering van tijdreeksen. Hiervoor zijn lineaire modellen opgesteld tussen de grondwaterstijg-hoogte en het neerslagoverschot (neerslag minus potentiële verdamping). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat gemeten grondwaterstanden kunnen worden gecorrigeerd voor de invloeden van het klimaat (Rolf, 1989). Uit nader onderzoek is echter gebleken dat het moeilijk is een klimaatsrepresentatieve GHG en GLG te voorspellen met behulp van lineaire tijdreeksmodellen (van der Gaast en Massop, 2005). Daarnaast is gebleken dat de GLG bij het gebruik van tijdreeksanalyse structureel lager uit kan komen dan bij het gebruik van meetgegevens (van der Gaast en Massop, 2005). De achtergrondverdroging is bepaald aan de hand van peilbuisgegevens in het eerste watervoerende pakket. De effecten van verdroging vinden echter plaats op het niveau van de grondwaterstand. Daarnaast blijkt de achtergrondverdroging in de meeste gevallen te zijn begonnen eind 50er begin 60er jaren van de vorige eeuw en is de daling in het natte seizoen mogelijk groter dan in het droge seizoen (Rolf, 1989). Bij de bepaling van de achtergrond-verdroging is er voor gekozen meetpunten te selecteren die representatief zijn voor veranderingen in de grondwaterstand voor een ruime omgeving. Daarom zijn juist dieper gesitueerde meetpunten in het eerste watervoerende pakket gekozen (Rolf, 1989). De berekende achtergrondverdroging heeft dus vaak geen betrekking op de grondwaterstand die van belang is voor de vegetatie, hetgeen Rolf (1989) ook aangeeft. Gezien de gehanteerde onderzoeksmethode bij de bepaling van de achtergrond-verdroging is het de vraag of deze op de juiste wijze is bepaald en in welke mate deze dient te worden meegenomen bij schadeberekeningen.

Indien gebruik wordt gemaakt van een model om de verlaging als gevolg van een grondwaterwinning te berekenen kan het verdisconteren van een achtergrondverdroging

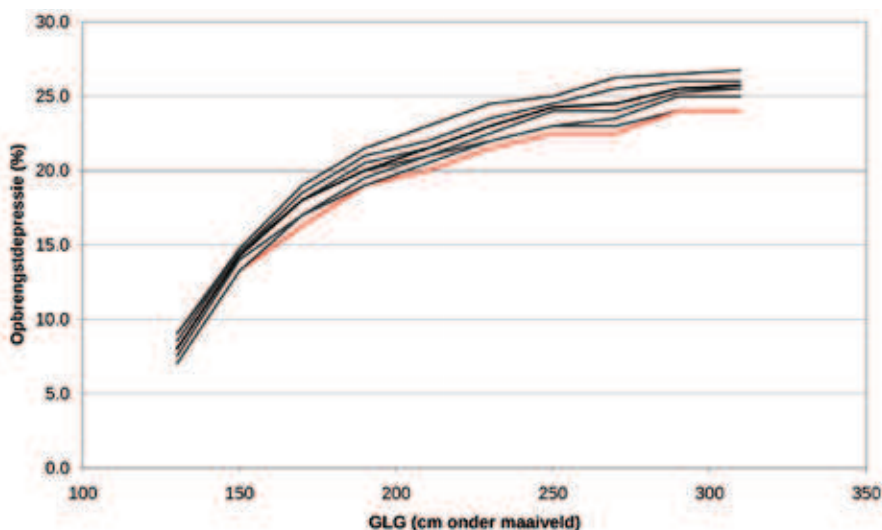
expliciet worden meegenomen. De grondwaterstands daling is immers uitgerekend met een model waarin de grondwaterwinning is meegenomen. Naast de grondwaterwinning kunnen andere invloeden bij de modellering worden meegenomen. Hierdoor kan naast het effect van een onttrekking het effect van de achtergrondverdroging worden uitgerekend. Het is echter opmerkelijk dat de achtergrondverdroging in het grondwaterwingebied te Weerselo ruimtelijk gezien bijna uniform is en deze onder natte omstandigheden kleiner is dan onder droge omstandigheden. Voor het waterwingebied Weerselo wordt gebruik gemaakt van een achtergrondverdroging van 5 cm voor de GHG en CVG en 15 cm voor de GLG. Tijdens de uitbreidingskartering welke in 1973 is uitgevoerd, is de GLG via metingen in tijdelijke buizen op een groot aantal locaties vastgesteld. Recentelijk is in 2007 een zogenaamde raaienkartering uitgevoerd. Uit nadere analyse blijkt dat enkele locaties in beide studies zijn bezocht. Indien de GLG uit beide studies voor deze locaties wordt vergeleken blijkt het verschil zeer gering te zijn. Hieruit blijkt dat de GLG zich na de winning, die in 1966 is gestart, in ieder geval sinds 1973 heeft gestabiliseerd. Hieruit blijkt tevens dat een geleidelijke daling in de vorm van een achtergrondverdroging niet plausibel is. Alleen ingrepen die tussen 1966 en 1973 hebben plaatsgevonden zouden naast de winning een oorzaak kunnen zijn voor een grondwaterstands daling. Aangezien in deze periode geen noemenswaardige ingrepen hebben plaatsgevonden is het de vraag of het juist is om rekening te houden met een achtergrondverdroging bij de schadeberekening. Indien gebruik wordt gemaakt van achtergrondverdroging heeft dit tot gevolg dat de berekende opbrengstdepressie lager uitkomt. Om dit te illustreren is voor een veel voorkomende bodem in het waterwingebied de opbrengstdepressie zonder en met het hanteren van een achtergrondverdroging weergegeven (Afbeelding 5). Hiervoor is uitgegaan van een GVG van 70 en 100 cm en een achtergrondverdroging van 5 cm voor de GVG en 15 cm voor de GLG. Uit de afbeelding komt naar voren dat de berekende opbrengstdepressie indien gebruik wordt gemaakt van een achtergrondverdroging altijd lager uitkomt. De mate waarin deze lager uitkomt is afhankelijk van de grondwaterstandssituatie.



**Afbeelding 5:** Relatie tussen de GLG en de opbrengstdepressie uitgaande van een GVG van 70 en 100 cm voor een situatie met en zonder het hanteren van een achtergrondverdroging.

## Bepaling van de GVG

De gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) wordt door middel van een formule bepaald uit de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). In de loop der tijd zijn er 8 verschillende formules gegeneerd. Uit recent onderzoek is gebleken dat deze verschillende formules een grote verscheidenheid in de berekende GVG laten zien (van der Gaast e.a., 2009). Aangezien het vochttekort mede afhankelijk is van de GVG zijn de verschillen in de berekende GVG van invloed op de berekende opbrengstdepressie. Ter illustratie is in afbeelding 6 het verloop van de opbrengstdepressie uitgaande van de 8 beschikbare formules om de GVG te berekenen voor een podzolgrond met een Gt VI (GHG = 60 cm) weergegeven. Uit de afbeelding komt naar voren dat verschillen in de berekende opbrengstdepressie alleen al door het hanteren van een andere formule op kan lopen tot enkele procenten. De rode lijn in de afbeelding is de formule die in het schadeonderzoek te Weerselo is gebruikt. Deze formule geeft de grootste afwijking voor de GVG en een hiermee samenhangende systematisch te lage opbrengstdepressie. Indien voor zowel de situatie met als zonder de invloed van een grondwateronttrekking gebruik wordt gemaakt van dezelfde formule om de GVG te berekenen kan de toegekende schade in geringe mate zowel te hoog als te laag uitkomen.



**Afbeelding 6:** Relatie tussen de GLG en de opbrengstdepressie voor een Gt VI uitgaande van een GHG van 60 cm voor 8 verschillende formules om de GVG te berekenen.

## Conclusie

Numerieke verdroging kan via verschillende wegen van invloed zijn op de berekende schade. Een onjuiste inschatting van de grondwaterstand kan, indien gekeken wordt naar systematische verschillen, worden onderverdeeld in de volgende oorzaken:

- Het gebruik van grondwaterstromingsmodellen waarin de bodemgesteldheid onvoldoende wordt meegenomen heeft tot gevolg dat de berekende grondwaterstandsfluctuatie te gering is. De toegekende schade kan hierdoor in geringe mate veelal te hoog uitkomen.

- Het gebruik van grondwaterstromingsmodellen waarin de bodemgesteldheid onvoldoende wordt meegenomen heeft tot gevolg dat de vermindering van de natschade wordt overschat. Indien deze verminderde natschade geheel in rekening wordt gebracht kan de toegekende schade hierdoor in meer of mindere mate systematisch te laag uitkomen.
- Het verkeerd interpreteren van meetgegevens heeft onder meer tot gevolg dat de achtergrondverdroging geen betrekking heeft op de bovenste grondwaterstand die van belang is voor de vegetatie en derhalve niet op de juiste wijze is toegepast. De toegekende schade kan hierdoor in meer of mindere mate systematisch te laag uitkomen.
- Het gebruik van grondwaterstromingsmodellen waarin de bodemgesteldheid onvoldoende wordt meegenomen heeft tot gevolg dat de berekende grondwaterstandsverlaging als gevolg van een grondwateronttrekking nabij het pompstation veelal te hoog en op grotere afstand veelal te laag is. De toegekende schade kan hierdoor in meer of mindere mate zowel te hoog als te laag uitkomen.
- Het op een verkeerde manier genereren van afgeleide gegevens heeft tot gevolg dat de gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) niet op de juiste wijze is berekend. De toegekende schade kan hierdoor in geringe mate zowel te hoog als te laag uitkomen.

Het navolgende betreft een citaat uit het jaarverslag van de CDG (2009):

*In het eerste, gecombineerde jaarverslag 1995/1996 formuleert de CDG twee algemene onderzoeksvragen:*

- *De eerste betreft geconstateerde verschillen tussen de met een model berekende verlaging van de grondwaterstand door een grondwateronttrekking en de verlaging van de grondwaterstand die volgt uit het verschil tussen gekarteerde vroegere en huidige waterhuishoudkundige situatie. Met maatwerk tracht de commissie dergelijke verschillen grotendeels te nivelleren. Zo worden bijvoorbeeld irreële omstandigheden die bij de reconstructie van de uitgangssituatie zouden ontstaan als berekende verlagingen worden gesuperponeerd op actuele, gemeten, waar nodig gecorrigeerd.*
- *De tweede vraag betreft het feit dat in gebieden waar geen aanwijsbare grondwateronttrekkingen of ingrepen in de waterhuishouding hebben plaatsgevonden, de grondwaterstand toch vrij algemeen is verlaagd met ca. 20 cm. Algemeen wordt verondersteld dat deze verlaging, die men aanduidt met de term achtergrondverdroging, veroorzaakt wordt door cumulatie van effecten van een groot aantal ingrepen, die geen afzonderlijk meetbare verlagingen veroorzaken. Hierbij kan onder meer gedacht worden aan de invloeden van verstedelijking, bebouwing, toename verdamping van landbouwgewassen en waterhuishoudkundige ingrepen. Achtergrondverdroging is voor de commissie een belangrijk fenomeen. Ze hanteert als uitgangspunt dat er geen reden is voor de onttrekker voor vergoeding van de schade door het deel van een geconstateerde grondwaterstandsverlaging dat moet worden toegeschreven aan achtergrondverdroging. Ook in 2009 zijn deze problemen nog uiterst actueel.*

Uit het voorgaande blijkt dat de CDG al lange tijd geleden onderzoeksvragen heeft geformuleerd rond het gebruik van modelberekeningen en het hanteren van een achtergrondverdroging die nog steeds actueel zijn. Numerieke verdroging geeft voor een belangrijk deel antwoord op de door de CDG gestelde onderzoeksvragen. Daarnaast blijkt dat juist de door de CDG genoemde aspecten van numerieke verdroging

systematische verschillen in de berekende schade kunnen veroorzaken die significant zijn. Ook kan worden aangegeven dat deze systematische verschillen tot gevolg hebben dat de berekende schade in meer of mindere mate veelal te laag uitkomt. Hierdoor kunnen grondgebruikers ten onrechte worden benadeeld.

## Literatuur

**Akker, J.J.H. van den, W.J.M. de Groot, H.R.J. Vroon, F.J.E. van der Bolt en A.J. van Kekem (2009)** Stijghoogteverschillen en verdichting: Een eerste Twentse verkenning in de praktijk; Alterra-rapport 1735, Wageningen

**Bles, B.J. en B.H. Steeghs (1971)** De bodemgesteldheid van het waterwingebied Weerselo; Stiboka, Wageningen

**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; Technische Commissie Grondwater Beheer, Utrecht

**CDG (2010)** Schadeonderzoek grondwateronttrekking Weerselo. Commissie van Deskundigen Grondwaterwet, Utrecht

**Cogrowa (1972)** Nota inzake verdrogingschade aan grasland in het waterwingebied Weerselo (Ov.); Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht

**Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop (2005)** Hoe nauwkeurig is de grondwatertrap op buislocaties te bepalen?; in: Stromingen, jaargang 11, no 4, blz 5-17

**Gaast, J.W.J. van der, H. Vroon en H.Th.L. Massop (2006)** Verdroging veelal systematisch Overschat; in: H2O, nr 21., blz 39-43

**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

**Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J. Vroon (2009)** Actuele grondwaterstands situatie in natuurgebieden: Een Pilotstudie; Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 94, Wageningen

**Leeuwen, P.E.R.M. van (1991)** Achtergrond verdroging, ruis of signaal?; Provincie Gelderland, Arnhem

**Loo, H. van het en A.F. van Holst (1974)** Uitbreiding waterwingebied Weerselo: De bodemgesteldheid; Stiboka, 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

**Rolf, H.L.M. (1989)** Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: Analyse periode 1950-1986; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage

**Snepvangers, J., W. Berendrecht en B. Minnema (2007)** MIPWA: Methodiek-ontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer; TNO-rapport (2007-U-R0972/A), Utrecht