



Jaco van der Gaast, Alterra

Henk Vroon, Alterra

Harry Massop, Alterra

Oorzaak en gevolg van numerieke verdroging

Het digitale tijdperk heeft onder meer tot gevolg gehad dat de technieken en methoden om de grondwaterstand te meten, zijn aangepast. Numerieke verdroging heeft betrekking op een onjuiste inschatting van de freatische grondwaterstand als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken. Hierdoor is de interpretatie van relatief eenvoudige metingen van de grondwaterstand in een aantal situaties niet meer correct. Dit heeft tot gevolg dat de freatische grondwaterstand in veel gevallen te laag wordt ingeschat, waardoor de verdroging in Nederland vaak systematisch wordt overschat. Aangezien een verkeerde inschatting van de freatische grondwaterstand meerdere gevolgen heeft, worden in dit artikel een aantal relevante maatschappelijke consequenties beschreven. Numerieke verdroging geeft tevens een verklaring voor het verschil tussen de waarneming en ervaringen van grondebruikers en grondwaterstandsgegevens op basis van metingen of modelberekeningen. Hierdoor kan de kennis op het gebied van numerieke verdroging een brugfunctie vervullen tussen theorie en praktijk om draagvlak voor meer realistische oplossingen voor bijvoorbeeld het oplossen van verdrogingsproblemen, alsook de belasting van het oppervlaktewater en grondwater met nutriënten/bestrijdingsmiddelen te bevorderen. Samenvattend kan worden gesteld dat ook binnen de hydrologie geldt 'meten is weten, mits we weten wat we meten'.

Het niveau van de freatische grondwaterstand is van belang voor gebruiksfuncties zoals landbouw, natuur en het stedelijk gebied. De freatische grondwaterstand is het niveau waarop het grondwater een druk heeft die gelijk is aan de atmosferische druk. Onder dit niveau zijn alle poriën gevuld met water. Het verloop van de grondwaterstand wordt sinds de jaren 60 gekarakteriseerd door middel van een grondwatertrap, die de fluctuatie en het niveau van het grondwater weergeeft. De freatische grondwaterstand kan op verschillende manieren worden bepaald, bijvoorbeeld door middel van open boorgaten, peilbuizen en schattingen aan de hand van bodemkundige, landschappelijke en waterhuishoudkundige kenmerken.

In een onderzoek naar de karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland⁷⁾ is een gemiddeld verschil van ongeveer 25 cm geconstateerd tussen getransformeerde grondwaterstandsmetingen naar Gt-parameters in open boorgaten versus die in peilbuizen (landbouwbuizen met een maximale filterdiepte van vijf meter). Deze constatering heeft geleid tot nader onderzoek naar meet- en karteringsmethoden in relatie tot verdroging⁹⁾. Uit dit

onderzoek blijkt dat de verdroging in termen van een verlaging van de gemiddelde freatische grondwaterstand berekend op basis van peilbuisgegevens, in vergelijking met kaarten waarop de grondwatertrap is weergegeven, is overschat. De Gt's op de kaarten zijn in het veld geschat op basis van onder meer profielkenmerken (bijvoorbeeld storende lagen in het bodemprofiel en roest en reductieverschijnselen), vegetatie, ont- en afwateringssituatie en landschappelijke ligging, al dan niet aangevuld met informatie uit gerichte grondwaterstandsopnamen in boorgaten en in peilbuizen. In een tweede analyse, waarbij gebruik is gemaakt van veldschattingen van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG), is nogmaals getracht deze overschatting van de verdroging te kwantificeren¹⁰⁾. De overschatting van de verdroging in de tweede analyse bedraagt wederom ongeveer 25 cm, gemiddeld gezien over Nederland. De verschillen kunnen echter sterk variëren van plaats tot plaats en in de tijd en kunnen omschreven worden als numerieke verdroging⁹⁾.

Oorzaak

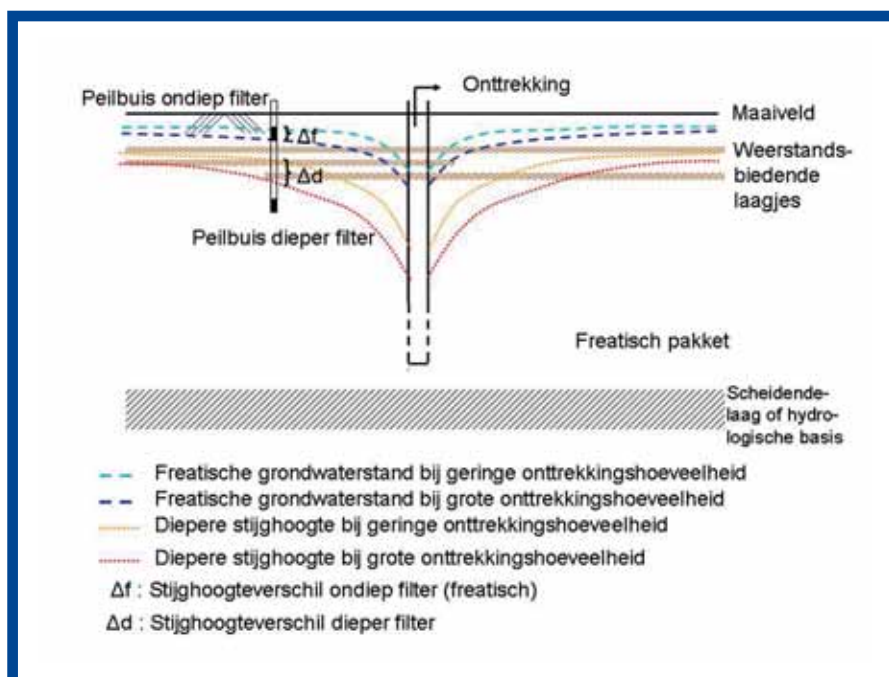
Numerieke verdroging kan worden gedefinieerd als een onjuiste inschatting (meestal

te droog) van de freatische grondwaterstand als gevolg van verkeerde meet- en/of rekentechnieken die direct of indirect als gevolg van numerieke methoden zijn geïntroduceerd. Het belangrijkste voorbeeld van het genereren van numerieke verdroging is het steeds dieper plaatsen van peilbuizen met een dieper gelegen filter om droogstand van peilbuizen te voorkomen. Een peilbuis is een buis met een geperforeerd deel die in de bodem wordt geplaatst om het niveau van het grondwater vast te stellen of voor bewaking van de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater. De aanleiding voor het dieper plaatsen van peilbuizen zijn zowel numeriek als praktisch van aard. Numerieke methoden, zoals het kalibreren/ijken van een tijdreeksmodel (computermodel), kunnen worden beïnvloed door droge standen in een peilbuis. Met droge standen in peilbuizen wordt het ontbreken van meetgegevens als gevolg van een grondwaterstand onder het niveau van de onderkant van het filter bedoeld. Daarnaast heeft het gebruik van automatische registratieapparatuur in de vorm van drukopnemers tot gevolg dat het een voorwaarde is dat een peilbuis permanent water bevat. Hierdoor heeft het digitale tijdperk, waarin veel gebruik wordt gemaakt van numerieke methoden, geleid

tot een overschatting van de grondwaterstandsval, welke omschreven zou kunnen worden als numerieke verdroging, waarbij de term numeriek vooral is ingegeven door de aanleiding. Vanuit deze benadering had digitale verdroging ook als term kunnen worden gehanteerd.

In het artikel met de titel 'Verdroging veelal systematisch overschat'⁹⁾ is het mechanisme achter het geconstateerde verschil tussen metingen in open boorgaten en metingen in te diep geplaatste peilbuizen reeds beschreven en onderbouwd. Door de gelaagdheid (anisotropie) van de bodem hebben we veelal te maken met een weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Van anisotropie wordt gesproken indien een materiaal niet in alle richtingen dezelfde eigenschappen heeft. Binnen de hydrologie betekent dit dat de hydraulische doorlatendheid op de schaal van primaire sedimentaire structuren anisotroop is. Sedimentaire structuren zijn variabel georiënteerd binnen en tussen lagen als gevolg van variatie in ruimte en tijd van de aanvoerrichting van sedimenten²⁾. Daarnaast is voor anisotropie van belang in welke mate de bodemlagen afzonderlijk worden beschouwd, waardoor anisotropie mede afhankelijk is van de gehanteerde schaal. Bij de afvoer van het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) zal het grootste deel van het water altijd de weg van de minste weerstand volgen. De verdeling van de grondwaterstroming (fluxverdeling) is omgekeerd evenredig met de weerstand. Aangezien de afstand tot een waterloop over het algemeen relatief groot is, zal in perioden met een neerslagoverschot een verticale neerwaartse stroming door deze ondiepe weerstands biedende lagen plaatsvinden. Vervolgens kan het grootste deel van het af te voeren water via een relatief goed doorlatende laag in de ondergrond tot afvoer komen. Deze laag verzorgt het grootste deel van de afvoer (laterale stroming) naar de ontwateringsmiddelen (sloten, beken, wijken, buisdrainage). Het gevolg van deze weerstand in het bodemprofiel is, dat vooral in periodiek natte perioden met een neergaande grondwaterstroming (flux) de drukhoogte boven de relatief slecht doorlatende lagen hoger is dan onder deze weerstands biedende lagen. Dit drukhoogteverschil is nodig om de neergaande beweging van het grondwater mogelijk te maken en geeft tevens de verklaring voor het geconstateerde verschil in grondwaterstand tussen ondiepe peilfilters of open boorgaten en buizen met een dieper filter. In extreme situaties, wanneer de weerstand van de weerstands biedende laag hoog is, kan als gevolg van een zeer geringe verticale doorlatendheid - mits de diepe stijghoogte voldoende laag is - een onverzadigde zone ontstaan onder de weerstands biedende laag. Een onverzadigde zone is het deel van de grond waarin de poriën zowel water als lucht kunnen bevatten. Wanneer dit aan de orde is, dan heeft men te maken met een schijn-grondwaterspiegel.

Om de overschatting van de verdroging bij het meten in te diep geplaatste buizen



Afb. 1: Situatieschets waarin de effecten van een toename van een onttrekking op de grondwaterstand in relatie tot metingen met peilbuizen is weergegeven.

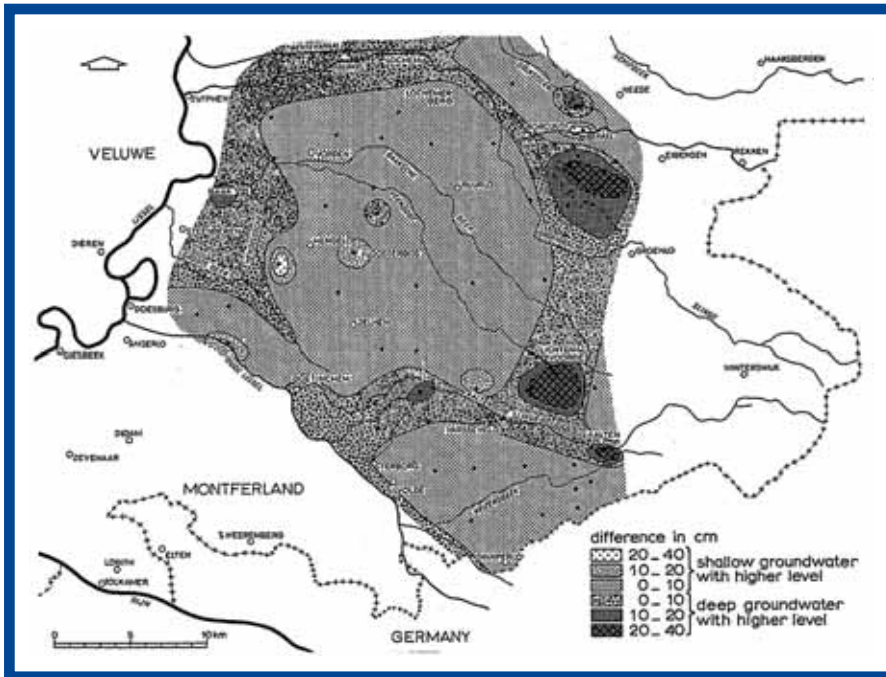
inzichtelijk te maken, kan bijvoorbeeld worden uitgegaan van een onttrekking in een freatisch pakket die is toegenomen (afbeelding 1). Dan zal de afpompegel groter worden. Dit heeft tot gevolg dat zowel het beïnvloede areaal als de verlaging toenemen. Indien relatief hoog in het bodemprofiel weerstands biedende laagjes voorkomen, zal de freatische verlaging, welke gemeten kan worden in de ondiepe peilbuis (Δf), kleiner zijn dan de verlaging van de stijghoogte in het dieper gesitueerde peilfilter (Δd), ook al vinden de metingen op dezelfde locatie plaats (afbeelding 1). Hetzelfde geldt ook voor die gebieden waar sloten de weerstands biedende laagjes doorsnijden.

In de praktijk blijkt ook vaak dat de waarnemingen en de hiermee samenhangende ervaring, soms omschreven als 'beleving', van grondgebruikers en terreinbeheerders ten aanzien van de hydrologische situatie op de percelen anders is dan metingen aangeven. Grondgebruikers en terreinbeheerders ervaren de grondwatersituatie vaak natter. Numerieke verdroging geeft de verklaring en onderbouwing van het verschil tussen de 'beleving' en metingen in te diep geplaatste peilbuizen. Hierdoor kan kennis op het gebied van numerieke verdroging de brugfunctie vervullen om de kloof tussen de theorie en praktijk te dichten, aangezien de theorie immers altijd dient te voldoen aan de praktijk.

In het verleden, in ieder geval tot en met de jaren 70-80 van de vorige eeuw, was deze informatie algemeen bekend en werden er zelfs incidenteel kaarten gemaakt van de c-waarde in het dekzand¹⁴⁾ of met stijghoogteverschillen⁵⁾ voor een gedeelte van het zandgebied van Nederland (afbeelding 2). Naast het feit dat het in het verleden bekend was dat in zogeheten open zandprofielen

stijghoogteverschillen voor kunnen komen, geeft de kaart aan dat het geen incidentele verschillen zijn maar dat deze nagenoeg overal voor kunnen komen. Op de kaart is tevens te zien dat er zowel positieve als negatieve verschillen voor kunnen komen. In de gebieden met een neerwaartse grondwaterstroming (wegzijgingsgebieden) heeft het ondiepe grondwater een hogere stijghoogte en in de gebieden met een opwaartse grondwaterstroming (kwelgebieden) heeft het ondiepe grondwater een lagere stijghoogte.

Dit impliceert dat in kwelgebieden sprake is van numerieke vernatting. Kwelgebieden worden echter gekenmerkt door natte omstandigheden, waardoor de aanleiding voor het dieper plaatsen van buizen minder aanwezig is. Ondiep geplaatste buizen zullen immers als gevolg van de kwel met de hiermee samenhangende natte omstandigheden niet droogvallen. Daarnaast kan worden opgemerkt dat men bij het meten van grondwaterstanden of stijghoogten in kwelgebieden veel bewuster omgaat met de meetgegevens in relatie tot de filterstelling. Deze informatie is namelijk noodzakelijk indien onderzoek wordt verricht naar kwel aan de hand van stijghoogteverschillen. Indien gekeken wordt naar arealen, dan blijkt dat het areaal aan kwelgebieden ten opzichte van de wegzijgingsgebieden vele malen kleiner is, waardoor eventuele numerieke vernatting in freatische buizen ook minder vaak voor zal komen. 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 optreden⁹⁾. Hierdoor kan een neerslaglens (zone met regenwatertype) in een kwelgebied ontstaan⁶⁾.



Afb. 2: Verschil in stijghoogte tussen het diepe en ondiepe grondwater, gemeten op 7 november 1968 in 58 dubbele piëzometerlocaties met een diep filter in het watervoerende pakket en een filter in de zone waarin de grondwaterstand fluctueert⁵⁾.

Technisch inhoudelijke gevolgen

Afvoer

Indien men geen rekening houdt met een verticale weerstand hoog in het bodemprofiel, dan wordt de weerstand tegen de grondwaterstroming naar ontwateringsmiddelen (drainageweerstand) onderschat. Deze heeft op zijn beurt tot gevolg dat de interactie tussen grond- en oppervlaktewater te intensief wordt verondersteld. In de drainageformule van Ernst (1962)⁴⁾ is echter wel rekening gehouden met een mogelijke verticale weerstand. Aangezien vooral in het zandgebied te weinig bekend is over deze verticale weerstand (zowel fysisch als ook de ruimtelijke verbreiding), kan deze moeilijk worden geparametriseerd en wordt deze weerstand mede hierdoor vaak niet in modellen meegenomen. Voorts is deze weerstand in het ondiepe bodemprofiel ook lange tijd verwaarloosbaar geacht, omdat het effect van deze weerstand op de grondwaterstand niet was onderkend dan wel niet werd gemeten als gevolg van onjuist geplaatste buizen.

Een bijkomend aspect is de afhankelijkheid van tijd en situatie. Indien het waterprobleem van onderaf komt als gevolg van kwel, is de weerstand hoog in het bodemprofiel als gevolg van gelaagdheid (anisotropie) minder belangrijk, tenzij deze weerstandsbiedende laag dieper is dan ongeveer een meter en de kwel voor een belangrijk deel tegenhoudt. Indien het waterprobleem voornamelijk van bovenaf komt in perioden met relatief veel neerslag, zal een groot deel van het overtollige neerslagwater (uitgezonderd bovengrondse afvoer) door de ondiepe bodemlagen moet stromen alvorens het naar de ontwateringsmiddelen kan. In deze situatie is de verticale weerstand hoog in het bodemprofiel van groot belang. Daarnaast wordt de effectiviteit van maatregelen door aanpassingen in of aan het ontwateringstelsel overschat,

omdat hierdoor de interactie tussen grond- en oppervlaktewater in werkelijkheid kleiner is dan gemiddeld. Naast de overschatting van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater heeft anisotropie hoog in het bodemprofiel ook tot gevolg dat de voeding van het grondwater veelal wordt overschat. In de voedingsweerstand wordt namelijk vooral in zandgebieden de verticale weerstand als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel doorgaans niet meegenomen. Dit heeft tot gevolg dat de infiltratie trager verloopt en de berging op het maaiveld meestal groter is dan verondersteld, hetgeen weer effect kan hebben op de verhouding tussen de ondergrondse afvoer en de bovengrondse afvoer, waarbij het aandeel bovengrondse afvoer ook meestal groter is dan verondersteld.

Ruimtelijke interactie

Het niet verdisconteren van anisotropie hoog in het bodemprofiel heeft ook tot gevolg dat de interactie tussen gebieden anders is dan veelal wordt verondersteld. Mazure merkte in 1936 tijdens onderzoek in de Wieringermeer dat een reductie van de kwel optreedt bij toename van de afstand tot de toenmalige Zuiderzeedijk. "Er bleek een reductiefactor op te treden, welke een functie was van de verhouding van den straal R van den dijk en een lengte λ , welke wordt bepaald door de eigenschappen van den ondergrond en de bovenlaag en gelijk is aan \sqrt{kDc} ." De spreidingslengte (λ) is dus een maat voor de invloedsafstand van peilverschillen tussen gebieden. De formule van Mazure is gebaseerd op effectberekeningen in het eerste watervoerende pakket. In de meeste gevallen is men echter geïnteresseerd in de beïnvloeding op de freatische grondwaterstand. Voor effectberekeningen op de freatische grondwaterstand moet naast het toevoegen van de drainageweerstand ook rekening gehouden worden

met de weerstand die aanwezig is tussen het eerste watervoerende pakket en het freatische pakket. Bij de hogere weerstand als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel is de ruimtelijke interactie via het watervoerende pakket tussen gebieden groter (grotere spreidingslengte (λ)). Aangezien we vooral geïnteresseerd zijn in de freatische beïnvloeding in plaats van de beïnvloeding van het watervoerende pakket, dient men echter rekening te houden met de doorwerking vanuit het watervoerende pakket naar de freatische grondwaterstand. Deze doorwerking hangt af van de verhouding tussen de weerstand van het afdekkende pakket en de drainageweerstand⁸⁾. Naarmate de weerstand van het afdekkende pakket groter is, zal de freatische beïnvloeding kleiner zijn.

Grondwatermodellen

Ook modellen, welke geijkt zijn op freatische grondwaterstanden uit peilbuizen (ondiepe peilbuizen tot een diepte van vijf meter), kunnen numerieke verdroging introduceren. Het kalibreren van modellen op grondwaterstanden uit peilbuizen die de freatische grondwatersituatie te droog weergeven, leidt ertoe dat de grondwaterstand met het model te droog wordt berekend. Deze te lage grondwaterstand kan alleen worden berekend indien de drainage/intreeweerstand te laag en/of de doorlatendheid van het freatische pakket te hoog wordt gekalibreerd. Hierdoor wordt de interactie tussen grond- en oppervlaktewater ten onrechte te intensief ingeschat, hetgeen ook effect heeft op effectberekeningen bij het doorrekenen van maatregelen. Een te intensieve interactie tussen het grond- en oppervlaktewater heeft tevens tot gevolg dat de grondwaterstandsfluctuatie (verschil tussen gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)) in de berekeningen te klein is. Het kan ook de c -waarde van de weerstandsbiedende laag onder het freatische pakket zijn die door de kalibratie te laag wordt ingeschat. In dit geval moet het bij een goed gekalibreerd model samengaan met een hogere inschatting van het doorlaatvermogen van het pakket eronder aangezien het teveel aan water van boven weer weg moet stromen. Een te droge inschatting van de grondwatertrap met modellen heeft directe gevolgen voor nabewerkingen in de vorm van geschiktheidsbeoordelingen en schadeberekeningen.

Grondwateronttrekkingen

De anisotropie in het bodemprofiel heeft ook gevolgen voor het berekenen van de doorwerkingen van de veranderingen van de grondwaterstand in het freatische pakket naar het ondiepe grondwater als gevolg van grondwaterwinningen (afbeelding 1). Meestal wordt het effect van anisotropie in het bodemprofiel op de doorwerking niet of nauwelijks meegenomen, waardoor veranderingen in de grondwaterstand in het freatische pakket te veel lijken door te werken richting het ondiepe grondwater. Daarnaast zal ook het door de grondwaterwinning beïnvloede gebied in werkelijkheid groter zijn dan in eerste instantie wordt bepaald, omdat de spreidingslengte



Mais met schade als gevolg van wateroverlast op een gedraineerd perceel op een drainageproefveld te Scheerwolde (augustus 2007).

als gevolg van deze veelal niet verdisconterende weerstand in werkelijkheid groter is, hetgeen ook effect heeft op de grondwateraanvulling.

Maatschappelijke gevolgen

Verdroging

Het antiverdrogingsbeleid van de afgelopen jaren is ingezet op basis van informatie waarbij de verdroging in termen van een verlaging van de grondwaterstand met het oog op voorgaande te hoog is ingeschat. Om de mate van verdroging vast te stellen, wordt immers veelal gebruik gemaakt van grondwaterstandsgegevens^{17,3)}. Het onderkennen van numerieke verdroging heeft tot gevolg dat het verdrogingsprobleem in termen van een freatische grondwaterstands daling minder groot is dan tot nu toe verondersteld is. Hierdoor is het verdrogingsprobleem voor zover het betrekking heeft op een grondwaterstands daling getalsmatig minder groot en de oplossing in termen van hydrologisch herstel derhalve dichterbij. Dit heeft ook tot gevolg dat het beleid uiteindelijk doelgerichter en efficiënter kan worden uitgevoerd. Het merendeel van de voorgestelde maatregelen heeft namelijk betrekking op vernatting, terwijl de informatie op het gebied van numerieke verdroging de vernattingsopgave minder groot maakt. Ook in de Tweede Kamer wordt gesproken over hydrologisch herstel (Tweede Kamer 30 800 XIV nr 134) en niet zozeer over ecologisch

herstel, terwijl de ernst van het verdrogingsprobleem momenteel mede wordt ingeschat op basis van ecologische aspecten. Het voorkomen van plantensoorten wordt echter naast de vochttoestand ook voor een groot deel bepaald door kwaliteitsaspecten van water, bodem en bodemleven. Voor het hydrologisch herstel heeft kennis op het gebied van numerieke verdroging tot gevolg dat de voorgestelde vernattingsmaatregelen in een groot aantal situaties minder intensief hoeven te zijn, omdat ze beter aansluiten bij de situatie. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat indien het omringende landbouwgebied te droog is ingeschat, ook de ruimte voor vernattingsmaatregelen vanuit landbouwkundig oogpunt veelal kleiner is. Daarnaast kunnen ook bepaalde buffergebieden minder groot zijn dan dat ze op basis van eerdere berekeningen/visies zijn bepaald. De meer realistische oplossingen voor het verdrogingsprobleem hebben ook tot gevolg dat er zowel aan de kant van de agrariërs als aan de kant van de natuurorganisaties gemakkelijker draagvlak voor te vinden zal zijn. Enerzijds heeft dit te maken met het feit dat minder rigoureuze maatregelen noodzakelijk zijn en de bufferzones rond natuurgebieden veelal minder ruimte vragen. Anderzijds heeft de kennis op het gebied van numerieke verdroging tot gevolg dat de resultaten overeenkomen met de ervaringen en kennis van de betrokkenen in het gebied.

Landbouwschade in relatie tot grondwaterwinningen

Numerieke verdroging heeft ook effect op schadeberekeningen op basis van bijvoorbeeld modelberekeningen. Het gaat hierbij vooral om het effect op de natschade die door de te lage gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) te laag wordt berekend. Ook dit is vooral het gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel. Hierdoor wordt de doorwerking van de verandering van de grondwaterstand, bijvoorbeeld als gevolg van een freatische grondwateronttrekking, richting het ondiepe grondwater aanzienlijk gereduceerd. In het algemeen is het effect van anisotropie op de doorwerking van de verlaging van de grondwaterstand bij de GHG en gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) kleiner dan bij de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), omdat de grondwateraanvulling tijdens GHG en GVG groter is en de weerstand hoog in het bodemprofiel meestal groter is dan bij de GLG.

Dit houdt dan ook in, dat de eventuele berekende wateroverlastvermindering als gevolg van een grondwaterwinning in werkelijkheid ook minder is dan wanneer er geen anisotropie aanwezig is. Hierdoor kan bijvoorbeeld bij waterwinningen de verminderde natschade worden overschat. Hier tegenover staat dat de droogteschade kan zijn overschat. De droogteschade wordt ten opzichte van natschade echter als minder



Greppel in een graslandperceel om wateroverlastproblemen te reduceren (april 2007).

problematisch ervaren. Daarnaast wordt bij landbouwschade bij grondwaterwinningen vaak gebruik gemaakt van een correctie op de verdroging in de vorm van een achtergrondverdroging (meestal wordt 10 tot 30 cm aangehouden). Het is echter de vraag of de achtergrondverdroging met het oog op numerieke verdroging in het verleden goed is ingeschat. Aangezien de voedingsweerstand en daarmee de grondwateraanvulling wordt beïnvloed door anisotropie hoog in het bodemprofiel kan ook het areaal waarover de grondwateronttrekking invloed heeft, veranderen. Een geringere grondwateraanvulling heeft immers bij een gelijkblijvende onttrekking tot gevolg dat het onttrokken water uit een groter gebied afkomstig moet zijn, hetgeen overeenkomt met de grotere ruimtelijke interactie via het watervoerende pakket.

Waterbeheer

Kennis over numerieke verdroging en anisotropie hoog in het bodemprofiel is ook van belang voor het waterbeheer. Een verticale weerstand hoog in het bodemprofiel is immers mede bepalend voor de mate waarin de grondwaterstand in het beheergebied van een waterschap te beheersen valt. Uit agrohydrologisch onderzoek in 1996¹¹⁾ blijkt dat de effectiviteit van peilverhoging in waterlopen op de grondwaterstand in belangrijke mate wordt bepaald door de verticale weerstand

van het bodemprofiel. Vooral in nattere perioden worden de sturingsmogelijkheden van het grondwater door het oppervlaktewatersysteem beperkt door relatief slecht doorlatende lagen hoog in het bodemprofiel en de hiermee samenhangende, vaak ten onrechte verwaarloosde, verticale component van de drainageweerstand. Numerieke verdroging is hierdoor ook van belang voor de mate waarin grondwater gestuurd peilbeheer plaats kan vinden en daarmee ook voor de Waternoodsystematiek (GGOR) en het grondwatergestuurd peilbeheer. Daarnaast heeft de mate waarin sturing van het grondwater mogelijk is, onder andere gevolgen voor het inschatten van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen die bijvoorbeeld in het kader van landinrichtingsprojecten zijn uitgevoerd. Het effect van deze ingrepen op de oorspronkelijke gekarteerde Gt's (meestal natte Gt's) is minder naarmate de verticale weerstand in het bodemprofiel groter is, waardoor de veronderstelde verbeteringen van de voormalige natte percelen in de vorm van drogere Gt's minder zullen zijn dan dat men in eerste instantie heeft ingeschat.

Monitoring

Kennis op het gebied van numerieke verdroging is van belang om aan te kunnen geven in hoeverre de gemeten stijghoogte overeenkomt met de freatische grondwaterstand. Dit geldt voor zowel metingen in

peilbuizen als voor incidentele metingen in open boorgaten, de zogeheten gerichte opnames. Anisotropie hoog in het bodemprofiel is immers bepalend voor de representativiteit van de metingen. Vooral bij incidentele metingen is het tijdstip van meten en de 'tijdsafstand' tot de GHG of GLG van belang. Als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel kan periodiek een natte grondwatersituatie optreden. Deze is in hoge mate bepalend voor een incidenteel gemeten grondwaterstand. Naarmate het moment van meten verder verwijderd is van het GHG- of GLG-moment, is de representativiteit van de meting geringer. Om dit probleem te ondervangen, wordt gebruik gemaakt van regressieanalyse, de stambuisregressie. Hierbij wordt de relatie gelegd tussen metingen in peilbuizen op hetzelfde tijdstip als de incidentele metingen en de GHG of GLG. Hierbij wordt echter veelal geen rekening gehouden met eventuele faseverschillen met betrekking tot de GHG en GLG en de overschrijdingsduur hiervan. De GHG en GLG hebben een overschrijdingsduur van ongeveer 20 tot 40 dagen. Indien de freatische grondwaterstand voor bijvoorbeeld 50 dagen per jaar wordt beïnvloed door een relatief slecht doorlatende leemlaag, is deze laag in hoge mate bepalend voor de GHG. Indien een gerichte opname wordt uitgevoerd in een relatief droge periode, hoeft de leemlaag geen invloed te hebben op de gemeten grondwaterstand. Dit heeft

tot gevolg dat de meting correct kan zijn, maar de berekende GHG middels stambuis-regressie te laag uit zal vallen. Het gegeven voorbeeld kan uiteraard ook andersom voorkomen. Het komt er echter op neer dat voor zowel metingen in peilbuizen als metingen in open boorgaten geldt: meten is weten mits we weten wat we meten. De kennis over wat we meten, is met betrekking tot de freatische grondwaterstand vooral van belang om de representativiteit van de metingen in zowel ruimte als tijd te kunnen bepalen. Voor de kennis over wat we meten, is weer kennis over numerieke verdroging van belang. Met betrekking tot het meten van de freatische grondwaterstand kan worden gesteld dat de waarde en representativiteit van de metingen niet kan worden bepaald zonder informatie te hebben over de bodemgesteldheid, aangezien deze kennis van het systeem noodzakelijk is om meetgegevens te kunnen interpreteren.

Waterkwaliteit

Water is voor veel stoffen de drager, waardoor de stroming van water door de grond bepalend is voor de verplaatsing van stoffen. Als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel is de berekende ondiepe oppervlakkige afvoer in de modelberekeningen meestal onderschat, waardoor de diepe ondergrondse afvoer wordt overschat. Dit heeft onder meer directe gevolgen voor waterkwaliteitsberekeningen. Hierdoor is kennis op het gebied van anisotropie ook van belang voor bijvoorbeeld het beleid ten aanzien van bestrijdingsmiddelen en mest.

Oplossingsrichting

Om op een juiste manier te kunnen beoordelen of grondwaterstandsmetingen op puntlocatie als de freatische grondwaterstand kunnen worden beschouwd, heeft men met name informatie over de bodemgesteldheid nodig. Dit betekent dat voor ieder freatisch meetpunt een boorbeschrijving beschikbaar dient te zijn teneinde de kwaliteit en representativiteit in zowel ruimte als tijd van het meetpunt in te kunnen schatten. Voor nieuw in te richten freatische meetpunten is het opstellen van een protocol met betrekking tot de meetopstelling in relatie tot de bodemgesteldheid aan te bevelen. Hiervoor dient wellicht naast een literatuurstudie voor specifieke bodemgroepen nog aanvullend onderzoek te worden gedaan. Hierbij dient ook aandacht te worden besteed aan het effect van kortsluitstroming bij het gebruik van langere peilfilters die eventuele weerstands biedende lagen doorsnijden. In dit geval wordt een gemiddelde grondwaterstand over het doorboorde profiel bepaald en niet een potentiaal op een bepaalde diepte, hetgeen in de COLN-studie is geaccepteerd¹³. Ook voor het bestaande meetnet is het voor het meten van de freatische grondwaterstand van belang dat de bodemgesteldheid voor deze locaties in relatie tot de filterstelling bekend is. Daarnaast zal aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn om een eventuele vertaalslag te kunnen maken tussen de reeds beschikbare meetgegevens en de freatische grondwaterstand.

De anisotropie van het bodemprofiel kan in beeld worden gebracht op basis van informatie uit bodemkaarten. Hierbij dient te worden opgemerkt dat op de bodemkaart niet alle informatie vermeld staat die noodzakelijk is om de mate van anisotropie in het bodemprofiel op een juiste manier kwalitatief te kunnen beoordelen. Hiervoor dient men echter ook de boorpuntinformatie te raadplegen. Daarnaast dient te worden opgemerkt dat boorpuntinformatie betrekking heeft op geroerdemonsternamen, waardoor zwak storende leembandjes moeilijk worden waargenomen en deze alleen worden beschreven indien de lagen een dikte hebben van minimaal vijf centimeter.

Voor een getalsmatige vertaalslag moet de bodemkundige informatie worden omgezet naar bodemfysische informatie. Deze fysische eigenschappen van de bodem hebben betrekking op de doorlatendheids- en bodemvocht karakteristiek van afzonderlijke bodemhorizonten. Hierbij is het vooral van belang dat de bodemfysische informatie niet wordt gemiddeld, maar dat deze voor de specifieke bodemlagen zo veel mogelijk afzonderlijk worden meegenomen. Op deze wijze kunnen bijvoorbeeld kaarten worden gemaakt van de verticale weerstand in het bodemprofiel. Vervolgens kan deze informatie gebruikt worden bij het bepalen van drainageweerstanden en de ruimtelijke interactie tussen gebieden. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de verticale weerstand als gevolg van een variatie van de grondwaterstand in de tijd ook in de tijd kan verschillen. De bodemfysische informatie wordt ook gebruikt in hydrologische modellen. Het aanpassen van deze bodemfysische informatie heeft tot gevolg dat de doorlatendheden en bergingsmogelijkheden van de bodem veelal afnemen, hetgeen directe gevolgen heeft op de berekende grondwaterstanden, afvoeren, verdamping, kwel/wegzijging, enz. Daarnaast zijn de bovengenoemde aanpassingen van belang voor stoftransport. Om anisotropie hoog in het bodemprofiel correct te kunnen modelleren, kan het naast het verbeteren van de invoergegevens ook noodzakelijk zijn dat modellen worden aangepast.

LITERATUUR

- 1) Beugelink G., A. van Hinsberg, R. van Oostenbrugge, J. Clement en S. van Tol (2006). Hotspotkaart verdrogingsbestrijding. Milieu- en NatuurPlanbureau.
- 2) Berg E. van den (2003). The impact of primary sedimentary structures on groundwater flow; A multi-scale sedimentological and hydrogeological study in unconsolidated eolian dune deposits. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- 3) Braat L., A. van Amstel, A. Gerritsen, C. van Gool, N. Gremmen, C. Groen, H. Rolf, J. Runhaar en J. Wiertz (1989). Verdroging van natuur en landschap in Nederland. Beschrijving en analyse. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- 4) Ernst L. (1962). Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Proefschrift Universiteit van Wageningen.

- 5) Ernst L., N. de Ridder en J. de Vries (1970). A geohydrologic study of East Gelderland: Netherlands. Geologie en mijnbouw nr. 6, pag. 457-488.
- 6) Ernst L. (1983). Wegzijging en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. Rapport 7. ICW.
- 7) Van der Gaast J. en H. Massop (2003a). Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland; bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties. Alterra. Rapport 819.
- 8) Van der Gaast J. en H. Massop (2003b). Spreidingslengte voor het beheersgebied van Waterschap Veluwe; een maat voor het bufferzonebeleid. Alterra. Rapport 653.
- 9) Van der Gaast J. en H. Massop (2006). Verdroging veelal systematisch overschat. H₂O nr. 21, pag. 25-29.
- 10) Van der Gaast J., H. Massop en H. Vroon (2007). Kwantificering verdroging. H₂O nr. 3, pag. 25-28.
- 11) LBL (1996). Water op Peil. Perspectieven van waterconserving in het zandgebied van Noord-Brabant; een agro-hydrologische analyse. LBL Noord-Brabant.
- 12) Mazure J. (1936). Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Algemene landsdrukkerij. pag. 67-131.
- 13) Visser W. (1958). De landbouwwaterhuishouding van Nederland. COLN-TNO.
- 14) Wit K., H. Massop, J. te Beest en M. Wijnsma (1987). Hydrologische en bodemfysische parameters van het hoofdkanaal van de Twenthekanaalen. (Traject Eefde-Lochem). ICW-nota 1751.