



Jaco van der Gaast, Alterra
Harry Massop, Alterra
Henk Vroon, Alterra

Kwantificering verdroging

Bij het karakteriseren van de verdroging wordt onderscheid gemaakt in historische verdroging (grondwaterstandsaling) en bestuurlijke verdroging (vernattingsbehoefte). In dit artikel wordt verdroging gezien als een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand, ongeacht de gebiedsfunctie. Om verdroging in te schatten, wordt gebruik gemaakt van oude grondwaterstandsinformatie die beschikbaar is in de vorm van kaarten. Door deze te vergelijken met recente meetgegevens in peilbuizen is de verdroging te bepalen. In 2005 is een artikel verschenen waarin de verdroging in beeld werd gebracht op basis van karteerbare kenmerken⁵. Meer recent is een artikel uitgebracht over numerieke verdroging¹⁰. Combinatie van deze beide informatiebronnen maakt het mogelijk om zowel de werkelijke verdroging als de numerieke verdroging te kwantificeren.

De grondwatertrap (Gt) geeft de fluctuatie en het niveau van de grondwaterstand in de vorm van een gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) weer. Om de grondwatertrap (Gt) te bepalen, is een neerschalingstechniek beschikbaar die gebruikt kan worden om zowel de historische Gt's als de actuele Gt vast te stellen^{4,5}. Deze neerschalingstechniek combineert de kansverdelingen van de Gt-klasse met de maaiveldshoogteverdeling van een kaartvlak. De maaiveldshoogteverdeling voor een kaartvlak is af te leiden uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Voor de Gt-verdeling kan het gaan om een historische of een actuele verdeling. De kansverdeling voor de Gt is gebaseerd op een steekproef van puntgegevens die liggen binnen identieke kaartvlakken van de bodem- en Gt-kaart met een schaal van 1:50.000⁸. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van peilbuisinformatie, gerichte opnamen of veldschattingen die verzameld zijn in het kader van detailkarteringen. Door een lineaire transformatie van de Gt-verdeling per kaartvlak naar de maaiveldshoogteverdeling kunnen op eenvoudige wijze Gt-kaarten voor verschillende perioden worden neergeschaald.

Historische situatie

De historische verdroging is veelal groter dan de bestuurlijke. Voor dit artikel is als referentie uit het verleden de 'natuurlijke grondwatertrap' gebruikt, die kan worden afgeleid uit de ingeschatte situatie tijdens de bodemgenese¹¹. Deze natuurlijke grondwatertrap geeft bij benadering de grondwatersituatie omstreeks 1850 weer. In de meeste

gebieden geeft deze grondwatertrap globaal aan wat bij herstel de maximaal haalbare grondwatertrap is.

Situatie in de COLN-periode

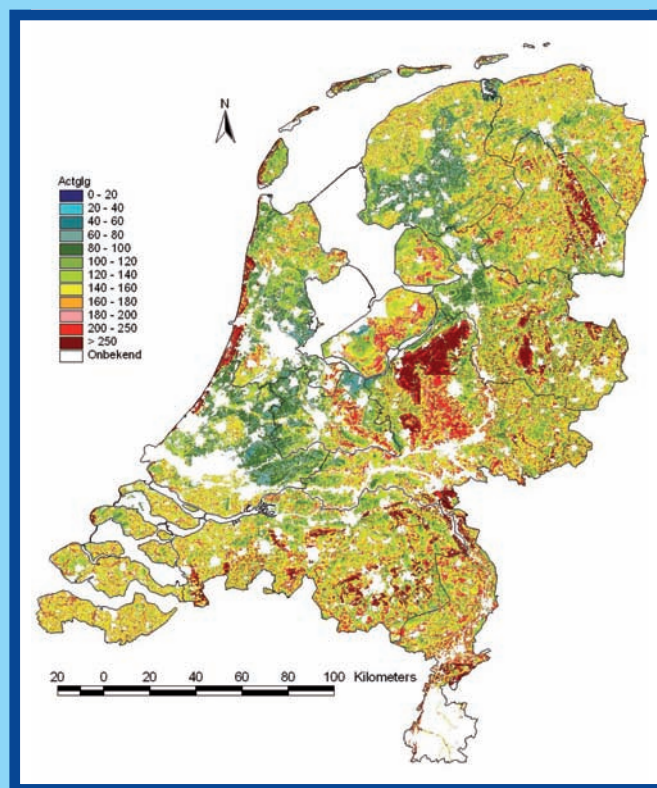
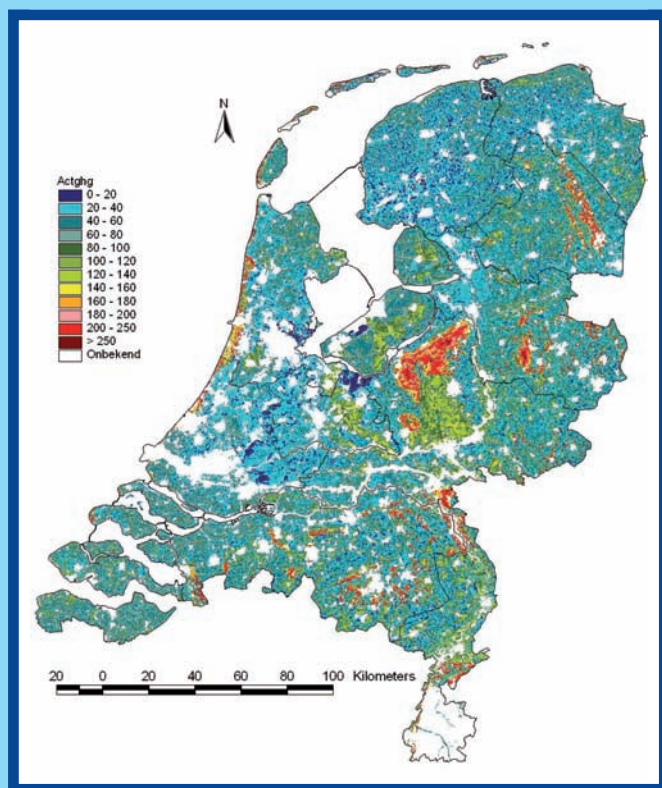
In het begin van de jaren 50 van de vorige eeuw is onderzoek gedaan naar de landbouwwaterhuishouding van Nederland. Dit onderzoek is uitgevoerd door de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland - T.N.O. (COLN)^{11,16}. In het kader van dit onderzoek zijn o.a. grondwaterstandskarten gemaakt voor de gemiddelde wintersituatie en de gemiddelde zomersituatie. Omdat voor het bepalen van de verdroging meestal gebruik wordt gemaakt van de GxG is het van belang inzicht te hebben in het verschil tussen de GHG in de COLN-periode en de gemiddelde wintersituatie uit de COLN-periode en de GLG in de COLN-periode en de gemiddelde zomersituatie uit de COLN-periode.

Voor het bepalen van de tijdvakken, die in de COLN-periode het beste gebruikt konden worden voor het bepalen van de gemiddelde winter- en zomersituatie, is gebruik gemaakt van grondwaterregimecurves^{7,14}. Uit analyse van deze curves is naar voren gekomen dat voor het wintertijdvak de periode tussen 14 november en 14 februari genomen kan worden en voor het zomertijdvak de periode tussen 14 juni en 14 september¹⁶. Uiteindelijk is bij de COLN-kartering om praktische redenen gebruik gemaakt van metingen op slechts enkele specifieke meetdagen. In de COLN-periode heeft men validaties uitgevoerd om te bepalen in hoeverre de kaartgemiddelden overeenkomen met de eerdergenoemde tijdvak-

gemiddelden. Uit deze analyse blijkt dat gemiddeld voor heel Nederland de kaarten voor de wintersituatie iets natter (2,5 tot 6,5 cm op respectievelijk 1 en 2 meter diepte) en voor de zomersituatie iets droger (9 tot 17 cm op respectievelijk 1 en 2 meter diepte) uitvallen dan de tijdvakgemiddelden¹.

Deze waarden kunnen echter per provincie verschillen. Ook Stol⁶ komt tot de conclusie dat de kaarten op iets extremere waarden zijn gebaseerd dan het tijdvakgemiddelde. Door Colenbrander² is voor het Leerinkbeekgebied eveneens een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde grondwaterdiepte-kaarten over de periode 1952-1966 en de kaarten die gemaakt zijn in de COLN-periode. Uit deze vergelijking blijkt dat de COLN-kaart voor de winter een nattere stand aangeeft en voor de zomer een drogere stand. Hierdoor komt ook Colenbrander tot de conclusie dat de COLN-kaarten ongeveer de GHG en GLG weergeven. Recentelijk is een reconstructie van de historische grondwaterkarakteristiek uitgevoerd¹². In deze studie is gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse om de grondwaterstandsfluctuatie en de bijbehorende GHG en GLG te bepalen. Hierbij is ervan uitgegaan dat de GHG en GLG op basis van tijdreeksanalyse klimaatrepresentatief is.

Uit recent onderzoek is echter gebleken dat het niet mogelijk is klimaatseffecten, bij het gebruik van lineaire tijdreeksen, geheel uit te schakelen^{3,6,8}. Uiteindelijk is er, ondanks de onzekerheid over het verschil tussen de COLN-kaarten en de GHG en GLG, voor gekozen de COLN-kaarten zonder aanpassing te gebruiken bij het bepalen van de verdroging.



Afb. 1: Neergeschaalde actuele GHG (links) en GLG (rechts)⁹⁾

Situatie tijdens de bodemkartering (schaal 1:50.000)

De landsdekkende bodemkaart (schaal 1:50.000) is gekarteerd in de periode 1960-1998. In deze periode is naast de bodem ook de Gt gekarteerd. Door deze lange karteringsperiode is het lastig de kaart te gebruiken in het verdrogingsonderzoek. De kaart is immers niet representatief voor één moment. De kaart kan op een eenvoudige manier worden neergeschaald en is reeds eerder gepubliceerd^{4,5)}.

Actuele situatie

Voor de actuele situatie zijn Gt-kaarten gemaakt, waarbij gebruik is gemaakt van de neerschalingstechniek in combinatie met peilbuisgegevens^{4,5)}. Hierbij zijn de buislocaties over de Gt-vlakken van de bodemkaart 1:50.000 gelegd. Vervolgens is het actuele zwaartepunt van de Gt-kaartvlakken van de bodemkaart bepaald, waarna met behulp van de neerschalingstechniek een actueel beeld van de GxG kon worden bepaald. In dit onderzoek uit 2005 is gebleken dat de actuele situatie op basis van peilbuisgegevens te droog kan uitvallen als gevolg

van anisotropie in het bodemprofiel. Vooral in gebieden met een Gt V (GHG < 40 cm, GLG > 120 cm) kan de GHG, als gevolg van de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag, op basis van een peilbuis te droog worden ingeschat. Recentelijk is gebleken dat er in veel situaties een discrepantie kan voorkomen tussen de grondwaterstand gemeten in een peilbuis en de freatische grondwaterstand, gemeten in een open boorgat of in een totaal geperforeerde buis, hetgeen aangeduid kan worden als numerieke verdroging^{8,9)}.

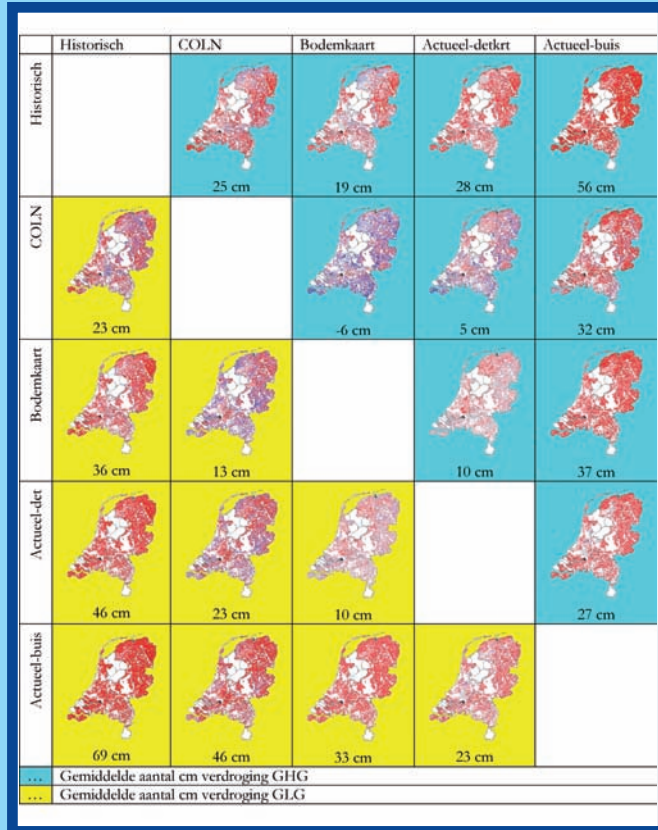
Door gebruik te maken van veldschattingen uit detailkarteringen is dit probleem te ondervangen. Bij veldschattingen wordt naast informatie van peilbuizen immers ook rekening gehouden met de ont- en afwateringssituatie, vegetatie, landschap en informatie uit het bodemprofiel zoals o.a. gelaagdheid of anisotropie. Daarnaast wordt in de boorgaten meestal een gerichte opname uitgevoerd. Hierdoor is het beter om op basis van de puntgegevens uit digitaal beschikbare recente detailkarteringen de verandering in de Gt te bepalen.

In afbeelding 1 is het resultaat in de vorm van

kaartbeelden weergegeven. In de afbeelding zijn patronen van relatief hooggelegen droge gebieden binnen het zandgebied en bijvoorbeeld de veel nattere veengebieden duidelijk zichtbaar. Voor de Veluwe is een duidelijke kaartbladgrens te zien. Deze grens is het gevolg van verschillen in ouderdom van opnamen van de kaartbladen van de bodemkaart en de hiermee samenhangende benaming van de Gt's. Voor validatie van de kaart in vergelijking met andere kaarten wordt verwezen naar een studie die door Van der Gaast et al.⁹⁾ in het beheergebied van Waterschap Regge en Dinkel is uitgevoerd.

Verdroging

Door de kaarten voor de verschillende perioden van elkaar af te trekken is de verandering in de GHG en GLG in de tijd te bepalen. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat de kaarten elk een andere herkomst en bepalingmethode hebben, waardoor onnauwkeurigheden bij de vergelijking kunnen ontstaan. In afbeelding 2 zijn de verschillen tussen de kaarten alsmede de gemiddelde verdroging weergegeven. In de kaarten is in de vorm van de rode kleur vooral verdroging te zien, alhoewel er naast



Afb. 2: Verschillen in GHG en GLG van landsdekkende kaarten die representatief zijn voor verschillende perioden

verdroging ook vernatting (blauwe kleur) wordt berekend. Indien naar het gemiddelde voor heel Nederland wordt gekeken, geven nieuwere kaarten bijna altijd verdroging.

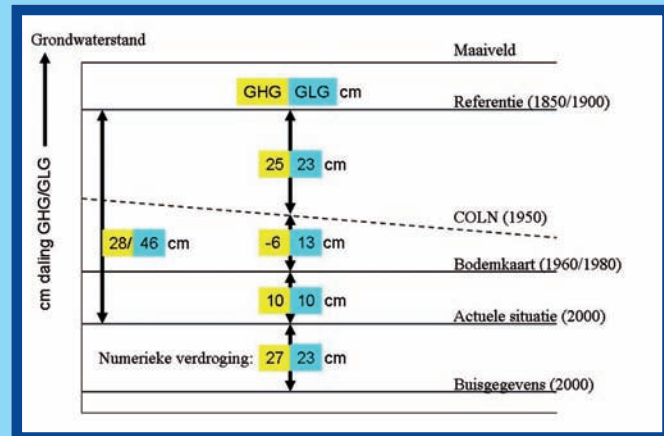
In afbeelding 3 is de gemiddelde verdroging in relatie tot de verschillende gegevensbronnen weergegeven. In de afbeelding is de verdroging schematisch weergegeven. In tegenstelling tot de overige gegevensbronnen is, gezien de onzekerheid over de COLN-gegevens, voor deze gegevens gebruik gemaakt van een stippellijn. De helling van de stippellijn geeft de richting van de onzekerheid aan. Zoals eerder beschreven berust de GHG immers wellicht op een iets nattere situatie en de GLG op een iets drogere situatie. In de afbeelding valt op dat het verschil in GHG tussen de COLN-kaart en de Bodemkaart 1:50.000 negatief is, hetgeen duidt op vernatting. Hieruit komt naar voren dat de COLN-wintergrondwaterstand gemiddeld voor heel Nederland waarschijnlijk droger is dan de GHG. De Gt-schatting op de bodemkaart is vooral gebaseerd op de eigenschappen van de locatie ter plaatse en het bodemprofiel, terwijl de COLN alleen rekening houdt met

de gemeten grondwaterstand. Hierdoor wordt ook het effect van de anisotropie niet meegenomen. Als gevolg hiervan is het wellicht plausibel dat de COLN-kaart zelfs iets droger is.

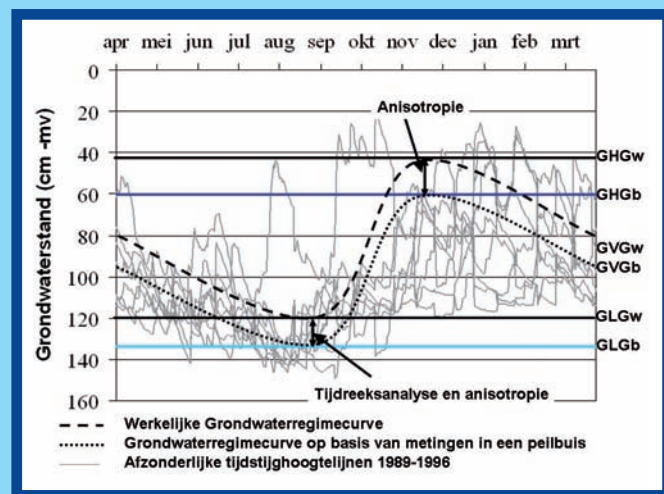
Dankzij deze analyse is het ook mogelijk de numerieke verdroging te kwantificeren, welke uitkomt op ongeveer 25 cm. Deze waarde komt ongeveer overeen met het gemiddelde verschil tussen de GxG op basis van stambuizen (peilbuizen met stijgbuis) en de GxG op basis van gerichte opnamen (boorgat zonder stijgbuis) dat door Van der Gaast en Massop³⁾ is geconstateerd. Voor de GHG kunnen dergelijke getallen verklaard worden door de eerdergenoemde anisotropie in de bovengrond. Rond het GLG-moment is het te verwachte effect van de anisotropie echter kleiner. Een mogelijke verklaring voor het lager uitkomen van de GLG op buislocaties is het gebruik van lineaire tijdreeksanalyse. Eerder onderzoek door Van der Gaast en Massop^{3),6)} heeft aangetoond dat er mogelijk een systematisch verschil is tussen de GLG op basis van meetgegevens en de GLG op basis van lineaire tijdreeksanalyse. Het gevonden systematische verschil is in de orde van 10

cm, terwijl de numerieke verdroging uitkomt op bijna 25 cm. In gebieden met wegzijging is het in droge perioden waarschijnlijk ook mogelijk dat er een verschil bestaat tussen de freatische grondwaterstand en een piëzometer op grotere diepte. Wellicht is een combinatie van beide aspecten voldoende om de numerieke verdroging te verklaren (afbeelding 4). Voor beide aspecten geldt echter dat deze nader onderzocht dienen te worden.

Ter vergelijking is ook de recent afgeleide kaart van de grondwaterdynamiek (de GD-kaart) gebruikt om de verdroging te kwantificeren¹³⁾. De GD-kaart is beschikbaar voor het zandgebied. Bij het vergelijken van de neergeschaalde actuele Gt-kaart en de GD-kaart blijkt dat de GD-kaart voor de GHG 6 cm en voor de GLG 9 cm droger is. Ten opzichte van de bodemkaart 1:50.000 is de GD-kaart voor de GHG 15 cm droger en voor de GLG 18 cm droger. Voor de totale verdroging ten opzichte van de historische situatie is de GD-kaart 37 en 57 cm droger voor respectievelijk de GHG en de GLG. Deze getallen geven ook aan dat de verdroging op basis van buis informatie wordt overschat. Het verschil tussen de actuele Gt op basis



Afb. 3: Schematische weergave van de verdroging bij vergelijking van verschillende gegevensbronnen



Afb. 4: Het mogelijke effect van anisotropie en het gebruik van tijdreeksanalyse op het grondwaterregime. De toevoeging w heeft betrekking op de werkelijke GxG, de toevoeging b heeft betrekking op een GxG op basis van buismetingen.

van de neerschaling en de GD-kaart is relatief gering en kan verklaard worden uit de afvlakking in de GD-kaart, waardoor relatief natte Gt's droger worden en droge Gt's natter worden. Aangezien de droge gebieden met een GHG of GLG dieper dan twee meter in de gehele analyse buiten beschouwing zijn gelaten, wordt de afvlakking in de GD-kaart niet meer helemaal gecompenseerd aan de droge kant, waardoor het gemiddelde iets te droog uit kan vallen. Daarnaast is voor de GD-kaart gebruik gemaakt van buisgegevens bij de kriging-interpolatie. De relatief te droge buizen hebben hierdoor lokaal een verdrogend effect, waardoor de kaart enigszins droger uit kan vallen.

Ook in recent gepubliceerd onderzoek is de gemiddelde verdroging berekend. Van der Gaast en Massop⁵⁾ hebben een soortgelijke tijdreeks gemaakt, waarbij ervan werd uitgegaan dat de actuele situatie kan worden afgeleid uit buisgegevens. Hierdoor was, zoals zij al vermoedden, de totale verdroging overschat. Later hebben Knotters en Jansen¹⁵⁾ tijdreeksen gemaakt van verschillende kaarten. De getallen uit die studie komen voor een groot deel overeen met deze studie. Het verschil tussen de historische situatie en de COLN-periode verschilt echter met deze studie. De nauwkeurigheid van de berekende verschillen is moeilijk aan te geven. Uit recent onderzoek is echter gebleken dat op buislocaties de GHG met een standaarddeviatie van 5 cm en de GLG met een standaarddeviatie van 10 cm te bepalen is⁶⁾. Mede hierdoor moet bij de berekende verschillen waarschijnlijk rekening gehouden worden met een onnauwkeurigheid van 5 à 10 cm.

Conclusies en aanbevelingen

De gemiddelde verdroging in Nederland in termen van een grondwaterstands daling ten opzichte van de historische situatie bedraagt globaal voor de GHG 30 cm en voor de GLG globaal 45 cm. De grondwaterstands daling ten opzichte van de bodemkaart 1:50.000

is veel geringer en bedraagt slechts 10 cm. Door deze geringe verdroging in de laatste twee tot drie decennia is het de vraag of de verdroging onverminderd doorgaat. De berekende gemiddelde verdroging heeft betrekking op zowel landbouw als natuurgebieden. Een groot deel van de verdroging is veroorzaakt door waterhuishoudkundige ingrepen ter verbetering van de landbouwkundige situatie in het landbouwgebied. Hierdoor is naar verwachting de verdroging van natuurgebieden kleiner. Daarnaast zijn natuurgebieden in het zandgebied vaak gelegen op locaties met bijzondere geohydrologische omstandigheden. Deze omstandigheden zorgden ervoor dat deze gebieden voor landbouwkundige productie minder interessant waren. Daarnaast gaan deze omstandigheden vaak gepaard met het voorkomen van storende lagen en de hiermee samenhangende verticale weerstand. Voor dit soort gebieden is vooral onder natte omstandigheden de ruimtelijke interactie met de omgeving relatief gering, waardoor deze gebieden ook minder gevoelig zijn voor verdroging. Ook het effect van maatregelen in de omgeving van natuurgebieden wordt mede bepaald door anisotropie en daardoor veelal te groot ingeschat.

De verdroging in termen van een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand berekend als verschil tussen buisgegevens en Gt-kaarten, is overschat. De overschatting bedraagt gemiddeld gezien over heel Nederland ongeveer 25 cm. Hiermee is getracht de numerieke verdroging te kwantificeren. Ook modellen, welke geijkt zijn op freatische grondwaterstands buizen, kunnen numerieke verdroging introduceren. Indien de verdroging wordt bepaald op basis van buisgegevens, waarbij oude en recente meetreeksen worden vergeleken, heeft de berekende verdroging betrekking op de stijghoogteverlaging op het niveau van de filterdiepte van de desbetreffende peilbuis. Nader onderzoek naar de representativiteit

van deze berekende verdroging in relatie tot anisotropie is wenselijk. Ook om meer inzicht te krijgen in de numerieke verdroging van de GLG is meer onderzoek noodzakelijk. Vooral in veengebieden heeft er in de afgelopen eeuw een verdergaande maaiveldsdaling plaatsgevonden. Hierdoor kan bij een relatief geringe daling van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld de grondwaterstands daling in absolute zin toch aanzienlijk zijn. Dit heeft tot gevolg dat het grondwaterstandsverschil met de omgeving (veelal minerale zand- of kleigronden) voor hoogveengebieden kan zijn afgenomen en voor laagveengebieden, afhankelijk van de ligging ten opzichte van de omgeving, kan zijn toe- of afgenomen.

LITERATUUR

- 1) Bos H. (1958). De landbouwwaterhuishouding in de provincie Drenthe. CHO - T.N.O.
- 2) Colenbrander H. (1970). Waarneming en bewerking van grondwaterstand en bodemvochtgegevens. In: Colenbrander, H., H. Wassink, T. Blok en E. Schierbeek; Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied. Provincie Gelderland.
- 3) Gaast J. van der en H. Massop (2003). Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland; Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties. Alterra. Rapport 819.
- 4) Gaast J. van der, H. Massop en G. Heuvelink (2005). Monitoring van verdroging; Methodische aspecten van meetnetoptimalisatie. Alterra. Rapport 1102.
- 5) Gaast J. van der en H. Massop (2005). De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken. H₂O nr. 14/15, pag 43-46.
- 6) Gaast J. van der en H. Massop (2005). Hoe nauwkeurig is de grondwatertrap op buislocaties te bepalen? Stromingen nr. 4, pag. 5-17.
- 7) Gaast J. van der en H. Massop (2005). Het grondwaterregime als basis voor de grondwatertrap. H₂O nr. 22, pag 36-38.
- 8) Gaast J. van der, H. Vroon en M. Pleijter (2006). De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel. Alterra. Rapport 1335.
- 9) Gaast J. van der, H. Massop, H. Vroon en I. Staritsky (2006). Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra. Rapport 1339.
- 10) Gaast J. van der, H. Vroon en H. Massop (2005). Verdroging veelal systematisch overschat. H₂O nr. 21, pag 25-29.
- 11) Jansen P., F de Vries en J. Runhaar (1999). Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden; het oorspronkelijk grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken. SC. Rapport 694.
- 12) Jansen P., M. Knotters, D. Brus en J. van der Horst (2003). Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955. Alterra. Rapport 614.
- 13) Kekem A. van, T. Hoogland en J. van der Horst (2004). Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten. Alterra. Rapport 1080.
- 14) Knibbe M. en B. Marsman (1961). Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden. Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no 16). Stichting voor Bodemkartering.
- 15) Knotters M. en P. Jansen (2005). Honderd jaar verdroging in kaart. Stromingen nr. 4.
- 16) Stol P. en B. Vrijhof (1958). De landbouwwaterhuishouding in de provincie Zuid-Holland. CHO - T.N.O.

Drooggevallen peilschaal in een natuurgebied

