
Honderd jaar verdroging in kaart

Martin Knotters
Peter Jansen

Hoewel verdroging al in 1989 is erkend als nationaal milieuprobleem, is er weinig ruimtelijke informatie over de feitelijke daling van grondwaterstanden. In dit artikel presenteren we de uitkomsten van een onderzoek waarin we grondwaterstands dalingen die optraden sinds circa 1850 hebben gereconstrueerd op basis van landelijke kaartbeelden. Het blijkt dat de grondwaterstanden vooral vanaf de jaren vijftig sterk zijn gedaald. De daling lijkt ook na 1989 onverminderd te zijn doorgegaan. Dit zet vraagtekens bij de effectiviteit van het landelijke antiverdrogingsbeleid, voor zover van dat beleid nog sprake is. De kaarten kunnen bijdragen tot een effectievere verdrogingsbestrijding.

Inleiding

Al vanaf de achtste eeuw proberen de bewoners van Nederland de waterhuishouding te beteugelen (Van de Ven, 2003). Lange tijd waren de ingrepen vooral gericht op bescherming tegen overstromingen, maar vooral in de tweede helft van de twintigste eeuw zijn grondwaterpeilen verlaagd met als doel de waterhuishouding voor de landbouw te verbeteren. Hierdoor en door grondwateronttrekkingen voor drink- en industriewater en beregning is de grondwaterstand dusdanig verlaagd dat veel natuurterreinen verdroogden (De Molenaar, 1980 en Beugelink en Claessen, 1995).

Vanaf 1989 is verdroging één van de thema's van het nationale milieubeleid en werden in het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) de eerste maatregelen gepresenteerd (Ministerie van VROM e.a., 1989). Hoewel het beleid zich richtte op het terugdringen van het verdroogde areaal, was nog niet duidelijk welke gebieden dat betrof. Verdroging werd als volgt gedefinieerd: 'Een natuurgebied is verdroogd als de hoeveelheid beschikbaar grondwater van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen. Een gebied wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand of een te geringe kweldruk water van een gebiedsvreemde kwaliteit wordt aangevoerd.' (Ministerie van V&W, 1994). Volgens deze definitie kunnen landbouwgronden niet verdrogen, maar ook hier kan droogteschade optreden, ook al kan deze vaak worden gecompenseerd door (kostbare) maatregelen zoals beregenen (Donker en De Groen, 2004). In het NMP3 (Ministerie van VROM e.a., 1998) is als doelstelling voor 2010 opgenomen dat het verdroogde areaal met 40% moet zijn afgenomen ten opzichte van 1985.

De bestrijding van verdroging is gekoppeld aan de realisatie van natuurdoelen. Getracht

Martin Knotters is werkzaam bij Alterra, Centrum Bodem, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, martin.knotters@wur.nl. **Peter Jansen** is werkzaam bij Alterra, Centrum Water en Klimaat, peterc.jansen@wur.nl.

wordt om de hydrologische omstandigheden te creëren die nodig zijn om bestaande natuur in stand te houden, of nieuwe natuur te realiseren (natuurontwikkeling). Hierbij kan worden getracht historische grondwaterregimes te reconstrueren (referentiebenadering, Jansen e.a., 2005). Kaarten van grondwaterregimes uit het verleden dienen hierbij als inspiratiebron. Een andere benadering is die op basis van natuurdoeltypen, waarbij de hydrologische condities niet noodzakelijkerwijs overeen hoeven te komen met de historische situatie. Desondanks mag worden verwacht dat ook bij de natuurdoeltypenbenadering een effectief anti-verdrogingsbeleid zich uit in een einde aan de dalende trends in grondwaterstandsreeksen. Bovendien kan inzicht in de historie van grondwaterstandsdalingen helpen bij het krijgen van een beeld van de omvang van het verdrogingsprobleem en de mate van herstelbaarheid.

Veranderingen in de grondwaterstand kunnen worden gekwantificeerd door tijdreeksen van grondwaterstandsmetingen te analyseren (Rolf, 1989). Om een gebiedsdekkend beeld van de verdroging te krijgen, moeten de resultaten hiervan worden geïnterpoleerd. Problemen hierbij zijn dat er maar weinig locaties zijn waar de grondwaterstand voldoende lang is waargenomen, en dat de ruimtelijke spreiding van geschikte locaties ongelijkmatig is.

Een andere mogelijkheid om een ruimtelijk beeld te krijgen van de veranderingen in de grondwaterstand is door grondwaterkaarten uit verschillende periodes met elkaar te vergelijken. Dit kan met de bodemreferentiekaart (Br-kaart) die representatief is voor de periode 1850–1900 (Van Ek e.a., 1997, Runhaar e.a., 2003) en de grondwatertrappenkaart (Gt-kaart) die in de periode 1960–1998 is opgenomen (Van der Sluijs, 1990). Recent zijn daarnaast twee kaarten voor hoog Nederland beschikbaar gekomen die zijn gebaseerd op een zeer groot aantal gerichte grondwaterstandsmetingen die in korte perioden hebben plaatsgevonden. De ‘oudste’ beschikbare kaart is gebaseerd op een grootschalig onderzoek naar de landbouwwaterhuishouding in de periode 1952–1955 (COLN, Visser, 1958) en de ‘jongste’ kaart betreft de GD-inventarisatie in de periode 2000–2004 (Finke e.a., 2005). Samengevat beschikken we over 1) de Br-kaart die representatief is voor de periode 1850–1900, 2) de COLN-kaart voor de periode 1952–1955, 3) de Gt-kaart (1960–1998) en 4) de Gd-kaart (2000–2004).

In dit artikel analyseren we aan de hand van de vier grondwaterstandskaarten waar, wanneer en in welke mate de grondwaterstand gedurende de laatste honderd jaar is veranderd. De analyse heeft betrekking op gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG).

Toelichting bij de kaarten

De bodemreferentiekaart (Br-kaart)

Door het Centrum voor Milieukunde Leiden en het TNO-Instituut voor Grondwater en Geo-energie is voor de provincie Noord-Brabant een methode ontwikkeld om de natuurlijke grondwatersituatie te bepalen (Van Ek e.a., 1997). Op basis van bodemkundige literatuur en *expert knowledge* is de oorspronkelijke verdeling geschat van grondwatertrappen over bodemeenheden die voorkomen op de bodemkaart 1:50.000. Uitgangspunt daarbij is een ‘natuurlijke’ situatie waarin bodemvorming en hydrologie met elkaar in evenwicht verke-

ren. Hieruit worden kansverdelingen van grondwaterstanden berekend voor de gemiddelde hoogste, voorjaars- en laagste stand (GHG, GVG, GLG, tezamen GxG). Hierbij wordt eerst de mediane grondwaterstand afgetrokken van de maaiveldhoogte, wat een beeld van de grondwaterstand ten opzichte van NAP oplevert. Dit beeld is echter nog weinig realistisch omdat verondersteld wordt dat binnen een vlak van de bodemkaart de grondwaterstand overal even diep is. Hierdoor ontstaan er ten opzichte van NAP onnatuurlijke pieken en dalen in de grondwaterstand, terwijl op de grenzen van bodemeenheden abrupte overgangen voorkomen. Om een meer realistisch beeld te krijgen wordt het grondwaterstandsverloop aangepast aan de topografie met een GIS-bewerking die door het Waterschap Reest en Wieden is ontwikkeld (Projectgroep GGOS en classificatie, 1999). In een tweede stap vindt daarom een afvlakking plaats, waardoor de grondwaterstand in bijvoorbeeld het laagste gedeelte van een beekdal wat ondieper wordt dan in de omringende hogere delen. De afvlakking vindt plaats door rond elke gridcel een cirkel met een bepaalde straal te trekken en de gemiddelde waterstand binnen de cirkel te berekenen. Deze gemiddelde stand wordt aan de centrale gridcel toegekend. De grootte van de cirkel waarbinnen de middeling plaatsvindt is overgenomen uit het onderzoek naar de historische waterhuishouding in het Waterschap 'Regge en Dinkel' (Runhaar e.a., 2003). Bij de GHG, die nog sterk het maaiveldsverloop volgt, is dat 25 meter. Bij de GLG geeft een straal van 100 meter de beste resultaten. Tot slot wordt de grondwaterstand ten opzichte van NAP weer afgetrokken van het maaiveld wat weer een grondwaterstand ten opzichte van maaiveld oplevert.

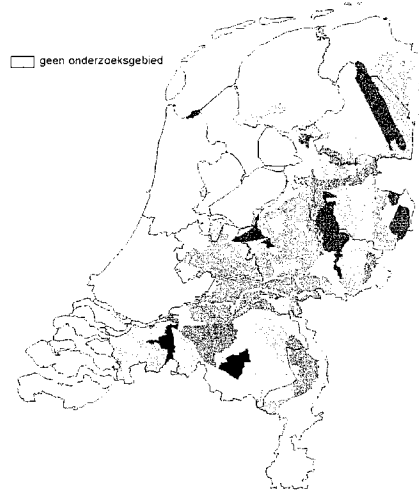
Vlakken waar volgens de bodemkaart grondwateronafhankelijke bodemtypen voorkomen zijn niet in beschouwing genomen omdat daar de bodemkenmerken immers niet met de grondwaterstand samenhangen. De Br-kaarten zijn representatief voor de periode dat ontwatering nog geen effect had op de bodemkenmerken. Verondersteld is dat dit tot hooguit in de periode 1850-1900 het geval was.

De COLN-kaart

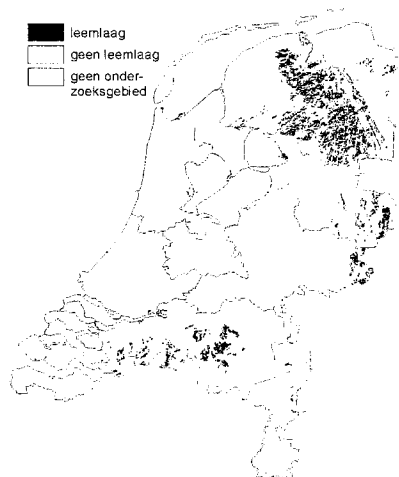
De Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO (COLN-TNO) startte in 1950 een uitgebreide inventarisatie van de grondwaterstand (Visser, 1958). In het landbouwgebied werd een grondwatermeetnet met één peilbuis per km² ingericht, waarin vanaf 1952 tot en met 1955 eenmaal per kwartaal de grondwaterstand werd waargenomen. Daarnaast werd in een aantal buizen halfmaandelijks, op of rond de 14^e en 28^e van de maand waargenomen. De oorspronkelijke grondwaterkaarten die uit de meetgegevens zijn afgeleid zijn erg grof (7 klassen, schaal 1:200.000). De gemiddelde winter- en zomergrondwaterstand op de COLN-kaarten zijn anders gedefinieerd dan de GHG en de GLG en daarom niet goed hiermee te vergelijken. Met nieuwe methoden en hulpmiddelen kon een veel gedetailleerder beeld van het grondwaterstandsverloop worden verkregen (Jansen e.a., 2003). Daarbij is gebruik gemaakt van de oorspronkelijke meetgegevens die voor hoog Nederland in digitale vorm beschikbaar zijn.

Jansen e.a. (2003, 2005) beschrijven de reconstructiemethode in detail. Eerst is de GxG geschat voor 125 tijdreeksen die halfmaandelijks zijn waargenomen in Noord-Brabant, waarbij toevallige meteorologische effecten zoveel mogelijk zijn geëlimineerd (Knotters en Van Walsum, 1997). Daarna is de relatie gemodelleerd tussen de berekende GHG en GLG en de grondwaterstand op data dat deze zich rond resp. GHG- en GLG-niveau bevond, en waarop ook in het peilbuizenet van één per km² is gemeten. Met behulp van deze relatie

wordt de GHG en GLG voorspeld voor alle punten van het peilbuizennet. Vervolgens worden deze voorspellingen gebiedsdekkend geïnterpoleerd, uitgaande van 46 homogene deelgebieden die zijn afgeleid van de geomorfologische kaart, schaal 1:50.000, en informatie die is afgeleid van de bodem- en Gt-kaart, schaal 1:50.000. Figuur 1 geeft de ligging van de geomorfologische deelgebieden weer. Informatie over stagnerende bodemlagen zoals keileem, tertiaire klei en Brabantleem is ontleend aan de bodemkaart, schaal 1:50.000 (zie figuur 2).



Figuur 1: Ligging geomorfologische deelgebieden.



Figuur 2: Verspreiding stagnerende leemlagen.

Omdat de patronen van de Gt-kaart 1: 50.000 (1960–1998) voornamelijk door vrij statische landschapskenmerken, zoals hoogteverschillen worden bepaald, zijn ze gebruikt als hulpin-

formatie voor de afleiding van de COLN-kaart. De grondwatertrappen zijn ingedeeld in een aantal groepen (tabel 1).

Tabel 1: Groepering van grondwatertrappen.

Gt-bodemkaart	Gt-groep	Gt-bodemkaart	Gt-groep
I, II, II*, IIb	1	VI	5
III, III*, IIIb	2	VII	6
IV	3	VIII	7
V	4		

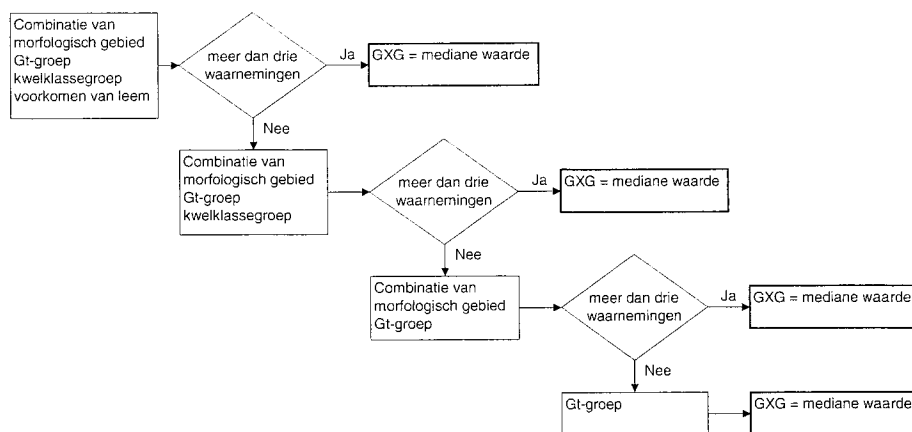
Veel bodemkenmerken die samenhangen met de waterhuishouding passen zich maar heel langzaam aan wanneer de waterhuishouding verandert en geven daarom informatie over de vroegere waterhuishouding. Jansen e.a. (1999) hebben alle bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland 1: 50.000 gegroepeerd tot vijf kwelklassen, toenemend van kwelklasse 1 (infiltratie; meestal grote grondwaterfluctuatie en diepe grondwaterstanden) tot kwelklasse 5 (sterke kwel; kleine grondwaterfluctuatie en hoge grondwaterstanden). Ook de kwelklassen zijn gegroepeerd (zie tabel 2) voordat deze als patrooninformatie zijn gebruikt.

Tabel 2: Groepering van kwelklassen.

Kwelklasse	Omschrijving	Groep van kwelklasse
1	Uitsluitend infiltratie	0
2	Enige periodieke kwel	1
3	Periodieke kwel	1
4	Permanente kwel	2
5	Veel permanente kwel	2

Van de vier gebiedsdekkende kaarten met hulpinformatie zijn overlays gemaakt zodat van iedere gridcel bekend is wat het morfologische gebied, de Gt-groep en kwelklassegroep is, en of er wel of niet een leemlaag voorkomt. In theorie zijn $46 \times 2 \times 3 \times 7 = 1932$ combinaties mogelijk, maar een aantal daarvan komt in werkelijkheid niet voor. Bovendien zijn combinaties waarvan de oppervlakte minder dan 1 ha bedraagt buiten beschouwing gebleven. De peilbuislocaties waarvan GHG en/of GLG bekend zijn, zijn aan de resterende combinaties toegeedeeld. Per combinatie is de mediane GxG bepaald. Verondersteld is dat deze representatief is voor alle gridcellen die tot dezelfde combinatie horen. Gekozen is voor de mediane waarde omdat een gemiddelde GxG sterk wordt beïnvloed door extreme waarden.

Omdat voor lang niet alle combinaties (voldoende) waarnemingen beschikbaar zijn is de procedure uit figuur 3 toegepast om de GxG's te schatten. Daarbij worden gebieden met minder dan drie waarnemingen samengevoegd met andere gebieden door het onderscheid naar achtereenvolgens stagnerende lagen, kwel en morfologie te laten vervallen.



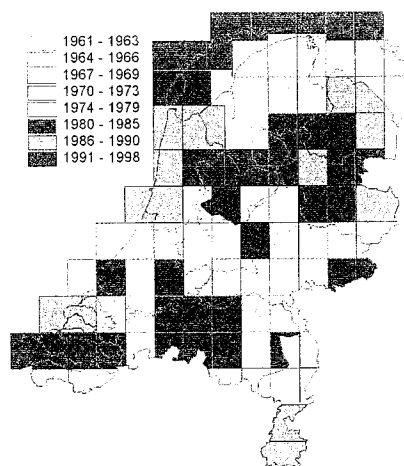
Figuur 3: Procedure voor het schatten van GxG's voor verschillende combinaties van hulpinformatie.

Ten slotte vindt een nabewerking plaats met behulp van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), op dezelfde wijze als bij de Br-kaart. Ook op de COLN-kaarten zijn de vlakken met grondwateronafhankelijke bodemeenheden buiten beschouwing gelaten. Het resultaat is een kaart met de gereconstrueerde GHG en GLG die representatief is voor de hydrologische situatie in de periode 1952-1955. Behalve pleistocene zandgebieden zijn ook riviervlaktes en veengebieden beschouwd waarvan grondwaterstandsreeksen digitaal beschikbaar zijn.

Gt-kaart

De Gt-kaart is simultaan met de bodemkaart tot stand gekomen. De kartering is gebaseerd op landschappelijke kenmerken, zoals verschillen in hoogte en vegetatie, en op hydromorfe profielkenmerken zoals roestvlekken. Deze waarnemingen zijn getoetst aan grondwaterstandsgegevens van zogenaamde stambuizen en aan gerichte opnames die plaatsvonden op tijdstippen dat de grondwaterstand zich rond GHG- of GLG-niveau bevond. De GHG's en GLG's zijn gecombineerd tot fluctuatieklassen, de grondwatertrappen, die op de kaart zijn weergegeven. De vlakgrenzen vallen veelal samen met bodemkundige overgangen. De kaartbladen met grondwatertrappen zijn vanaf 1960 gedurende enkele decennia geïnventariseerd (figuur 4). Enkele kaartbladen zijn door middel van een steekproef in de jaren negentig van de vorige eeuw geactualiseerd.

De Gt-kaart schaalden we op dezelfde wijze neer als de Br-kaart en de COLN-kaart, om een goede vergelijking te kunnen maken. Daartoe zijn aan de Gt-klassen gemiddelde grondwaterstanden toegekend en heeft een nabewerking plaatsgevonden op dezelfde wijze als bij de Br-kaart.



Figuur 4: Laatste jaar met opnamen voor de grondwatertrappen.

Gd-kaart

Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode waarmee de grondwaterdynamiek (Gd) in kaart wordt gebracht verwijzen wij naar Finke e.a. (2005). Bij de Gd-kartering is gebruik gemaakt van waargenomen tijdreeksen van grondwaterstanden, gerichte waarnemingen van grondwaterstanden op tijdstippen dat de grondwaterstand zich rond GHG- of GLG-niveau bevond en van gebiedsdekkende, digitaal beschikbare, hulpinformatie van hoge resolutie. Deze hulpinformatie betreft onder meer het AHN, de Landelijke Grondgebruikskaart Nederland (LGN) en de topografische kaart (Top10-Vector). De Gd-kaart geeft gebiedsdekkende voorspellingen van de GxG, de regimecurve en de duurlijn, en een kwantificering van de nauwkeurigheid van deze voorspellingen. De Gd-kartering heeft alleen in het hoge gedeelte van Nederland plaatsgevonden.

Op- en neerschaling

Alle vier grondwaterkaarten zijn neergeschaald tot gridcellen van 25 x 25 m. Deze afmeting sluit aan bij het AHN en maakt dat de kaarten onderling goed vergelijkbaar zijn. De neerschaling dient ertoe om de verschillen te kunnen berekenen; het is niet de schaal waarop de resultaten worden gepresenteerd. Om bij de eindresultaten schijnnaauwkeurigheid en extreme uitkomsten door artefacten zoveel mogelijk te vermijden vindt daarom aan het eind van de berekeningen weer een opschaling plaats tot gridcellen van 125 x 125 m, waarbij de gridcel de mediane waarde van 25 oorspronkelijke cellen van 25 x 25 m krijgt. De gebieden die niet zijn geanalyseerd zijn wit gebleven. Naast de vlakken met grondwateronafhankelijke bodemeenheden betreft dit het grootste gedeelte van laag Nederland.

Resultaten

De verandering van de GHG tussen de verschillende tijdstippen staat in figuur 5a en voor de GLG in figuur 5b.

Veranderingen 1850/1900–1952/1955

Tussen 1875 (als gemiddelde van de periode 1850 en 1900) en 1953 (1952–1955) is de GHG meestal weinig veranderd, met uitzondering van de Veenkoloniën waar de GHG beduidend dieper is geworden. De GLG is het sterkst gedaald, in veel gebieden met meer dan 30 cm. Een verklaring voor het verschil in daling tussen GHG en GLG is dat het maaiveld als drainagebasis voor hoge waterstanden diende, waardoor in 1875 hoge waterstanden langdurig werden afgetopt op maaiveldsniveau. In 1953 werden hoge standen minder lang bereikt, maar de GHG was nog wel hetzelfde. De verklaring voor de dalingen die optraden tussen 1850/1900 en 1952/1955 moet gezocht worden in ontginningen, ruilverkavelingen (de eerste ruilverkavelingswet dateert van 1924), werkverschaffingsprojecten en drinkwaterwinningen.

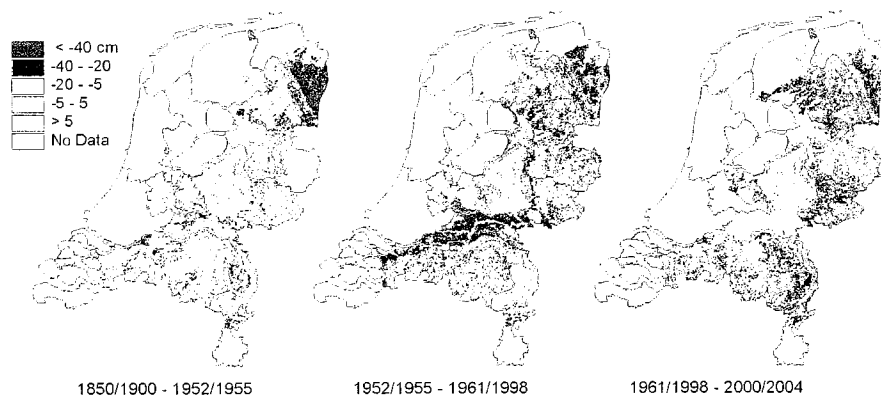
Veranderingen 1952/1955–1961/1998

De verschillen tussen de COLN-kaart (1952–1955) en de Gt-kaart (1961–1998) wijzen duidelijk op dalende GxG's. De omvang hangt samen met het tijdstip waarop de Gt-kaartbladen zijn opgenomen (figuur 4). Als tussen 1953 en een recente Gt-kaart het verschil groot is, dan is het verschil tussen de recente Gt-kaart en de Gd-kaart meestal klein. Bij oudere Gt-kaarten treedt het omgekeerde op.

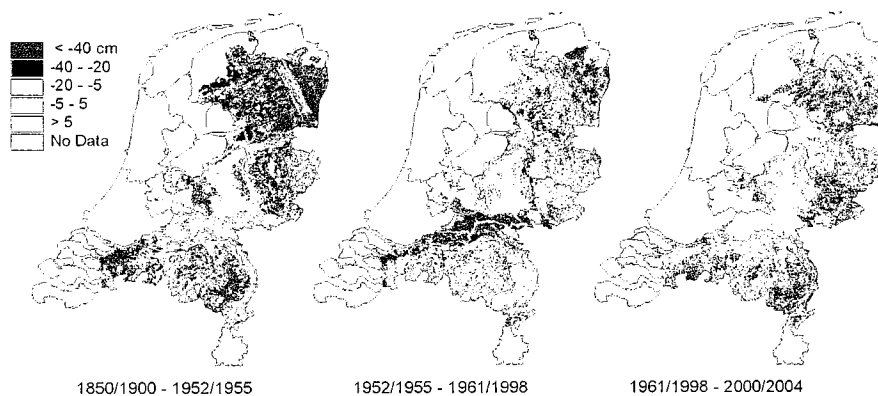
GHG en GLG zijn min of meer in gelijke mate gedaald. Opvallend is dat er ook gebieden zijn waar het wat natter is geworden. In deze periode is grootschalige vernatting echter niet waarschijnlijk. Omdat die plekken volgens de Gd-kaart weer (veel) droger zijn geworden lijkt het aannemelijk dat de Gt te nat is geschat. Deze gebieden zijn veelal gekarteerd in de jaren zestig, waarin een aantal extreem natte jaren voorkwamen.

Veranderingen 1961/1998–2000/2004

De verandering van zowel de GHG als de GLG varieert ruimtelijk sterk. In gebieden als midden Drente, grote delen van de Achterhoek en noord Limburg is de GxG met meer dan 40 cm gedaald. Er zijn echter ook in alle provincies gebieden waar met name de GLG is gestegen.

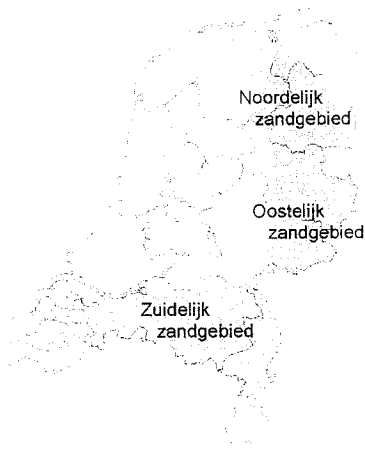


Figuur 5a: Verandering van de GHG.



Figuur 5b: Verandering van de GLG.

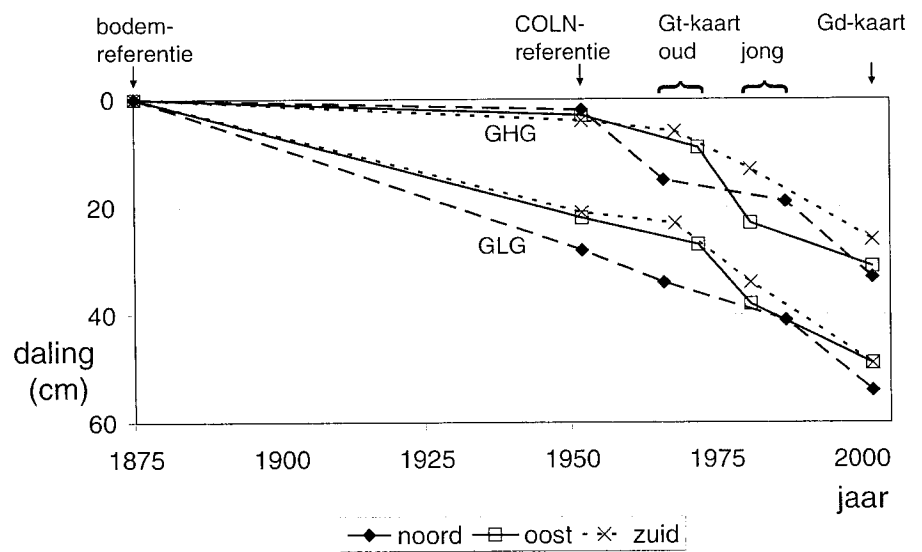
Voor drie grotere zandgebieden (figuur 6) is de gemiddelde verandering van de grondwaterstand uitgerekend en uitgezet tegen de tijd. Deze gebieden zijn in alle vier de perioden onderzocht en er zijn weinig complicerende factoren zoals veenontginning. Als startpunt van de veranderingen is 1875 gekozen. Verder is de grondwatertrappenkaart in de drie zandgebieden verdeeld in twee even grote groepen: een groep met 'oude' en een groep met 'jonge' kaartbladen. Voor iedere groep zijn de gewogen mediane grondwaterstand en het jaar van opname bepaald.



Figuur 6: Begrenzing zandgebieden.

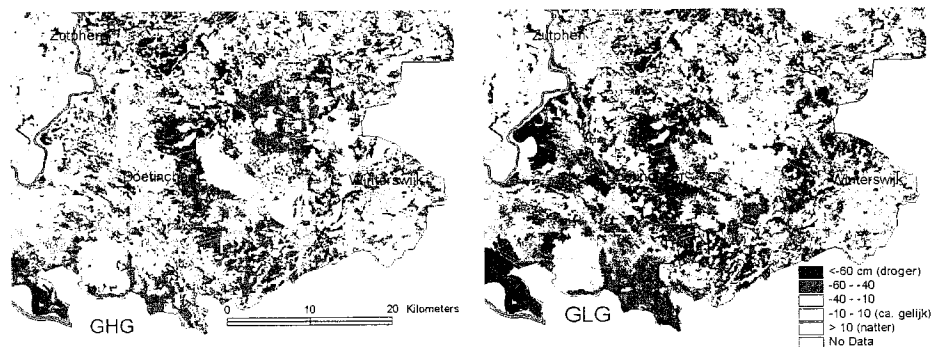
Figuur 7 geeft de veranderingen in GHG en GLG weer. In grote lijnen komen de trends in de drie deelgebieden met elkaar overeen. De daling van de GLG blijkt veel eerder te zijn ingezet dan die van de GHG: tussen 1875 en 1953 daalde de GLG al met 20 cm, en na 1953 ging deze daling gestaag door.

De GHG daalde tussen 1875 en 1953 in alle gebieden slechts met enkele centimeters. Daarna traden sterke dalingen op.



Figuur 7: Verloop van de daling van de GHG en GLG in verschillende zandregio's.

De COLN-kaart en de Gd-kaart laten zich het best met elkaar vergelijken, omdat ze beide gebaseerd zijn op metingen die in een korte periode hebben plaatsgevonden en omdat bij de gebiedsdekkende interpolatie een vergelijkbare methode is gebruikt. Ze omvatten de meest interessante periode, van net voor de grootschalige ingrepen in de waterhuishouding tot zeer recent, de periode die voor de verdroging van natuurgebieden het meest relevant is. Figuur 8 geeft de veranderingen van GHG en GLG in 2002 ten opzichte van 1953 weer voor de Achterhoek. Afwijkend van de gemiddelde trends in figuur 7 lijkt de GLG op veel plaatsen sterker te zijn gedaald dan de GHG.



Figuur 8: Verandering van de GHG en GLG tussen 1953 en 2002.

Discussie

De vraag is in hoeverre de vier verschillende kaarten met elkaar vergeleken kunnen worden. De kaarten zijn immers gebaseerd op verschillende methoden met verschillende mate van nauwkeurigheid. Wij brachten de kaarten zoveel mogelijk op één lijn door waar mogelijk uit te gaan van dezelfde bestanden. Een van die bestanden is het actuele hoogtebestand (AHN).

Door afgravingen en vergravingen is de maaiveldshoogte in Nederland in de afgelopen eeuw op veel plaatsen drastisch gewijzigd. Dit maakt de 'oudste' drie kaarten weliswaar discutabel, maar de resultaten zijn door het gebruik van één hoogtebestand onderling wel beter te vergelijken. Bovendien moeten de uitkomsten worden gezien als een projectie van de verschillende situaties op het huidige landschap.

De nauwkeurigheid van de vier kaarten bleef in deze analyse buiten beschouwing. Waarschijnlijk is de Br-kaart minder nauwkeurig voor lage gebieden waar het waterpeil kunstmatig wordt beheerst. De COLN-kaart is minder nauwkeurig voor grote natuurgebieden omdat daar indertijd geen waarnemingen zijn verricht (overigens waren veel van de huidige natuurterreinen toentertijd in agrarisch beheer). De nauwkeurigheid van de Gt-kaart hangt samen met de grote spreiding in tijdstippen van de opnames, het feit dat toevallige meteorologische omstandigheden niet zijn verdisconteerd bij het berekenen van GxG's en het feit dat de samenhang tussen GxG's en hydromorfe kenmerken niet altijd even sterk is, waarbij bovendien de verschillende interpretaties van veldbodemkundigen een rol spelen. Anders dan bij de Gt-kartering staat bij de Gd-kartering niet de weergave van ruimtelijke patronen voorop, maar het zo nauwkeurig mogelijk voorspellen van de GxG gegeven het beschikbare budget. De Gd-kaart is sterk gebaseerd op grondwaterstands-

metingen die in relatief korte periodes hebben plaatsgevonden en op statistische verbanden tussen deze metingen en hulpinformatie die digitaal en landsdekkend beschikbaar is. In vergelijking met de Gt-kaart is de Gd-kaart hierdoor weliswaar objectiever en beter te reproduceren, maar de veldkennis van de karteerder wordt in de Gd-procedure slechts indirect benut via stratificatie. Een belangrijk voordeel van de Gd-benadering ten opzichte van de Gt-kaart is echter dat de nauwkeurigheid van de GxG-voorspellingen is gekwantificeerd, waardoor de gebruiksmogelijkheden bij het nemen van beslissingen toenemen.

Zo'n beslissing is of er ergens geïnvesteerd moet worden in de waterhuishouding om een natuurdoeltype te realiseren. De kaarten die in dit artikel worden gepresenteerd kunnen, in combinatie met kaarten van natuurdoelen, helpen bij het aanwijzen van gebieden waar investeringen het gewenste effect zullen hebben. Omdat de kaarten niet foutloos zijn, bestaat het risico dat ten onrechte wordt besloten om wel of niet te investeren, met ongewenste financiële en ecologische consequenties. Met behulp van gekwantificeerde nauwkeurigheid of onzekerheid van de gepresenteerde GxG's kunnen risico's beter worden beheerst, en kan beter worden beoordeeld of het nodig is om te investeren in nader onderzoek dat gericht is op reductie van onzekerheid (Knotters, 2002).

Vanwege de genoemde verschillen tussen de kaarten kunnen ze niet worden gebruikt voor uitspraken over lokale effecten, maar wel voor uitspraken voor regio's, zoals in figuur 7 en 8.

De daling van de grondwaterstand met 30 cm als gemiddelde voor de zandgebieden in de afgelopen 50 jaar komt overeen met de dalingen die in de literatuur worden genoemd. Rolf (1989) signaleert aan de hand van een aantal tijdreeksanalyses van grondwaterstanden dat in de periode 1950–1970 een geleidelijke daling van 20 cm in hoog Nederland heeft plaatsgevonden. In ruilverkavelingsgebieden zijn over de gehele onderzoeksperiode (1950–1986) dalingen van circa 35 cm opgetreden. Wij constateren een voortgaande daling in het zuiden van gemiddeld 0,6 cm/jaar. Dit komt overeen met de daling van 7 cm die Maas en Von Asmuth (2003) voor de periode 1990–2002 in Limburg berekenden. Ook de stijghoogte van het diepe grondwater, die in de periode 1950–2000 met 30 cm is afgenomen, lijkt landelijk gezien na een stabiele periode na 1990 weer verder te dalen (Kremers en Van Geer, 2000). Van der Gaast en Massop (2005) analyseerden historische en actuele grondwatertrappen en vinden een gemiddelde daling van 60–70 cm in ca. 100 jaar. Ondanks de verschillen in aanpak en detail stemt dit goed overeen met onze resultaten.

Conclusies en aanbevelingen

Gedurende de afgelopen honderd jaar is de grondwaterstand in het hoge deel van Nederland met circa 50 cm gedaald; in de periode tot 1953 met 20 cm en in de periode daarna met nog eens 30 cm. Deze daling zet zich nog steeds voort. Plaatselijk treden er afwijkingen ten opzichte van deze trends op. Zo zijn er gebieden die in de laatste decennia zijn vernat. Een effect van het antiverdrogingsbeleid is op grote schaal echter niet waarneembaar; ook gedurende de laatste circa 15 jaar is de grondwaterstand op veel plaatsen steeds verder gedaald.

De grondwaterstand is een aantrekkelijke sturende variabele: er is al veel informatie over, hij kan relatief eenvoudig worden waargenomen, en waterhuishoudkundige ingrepen hebben er vrij direct invloed op. Het is echter slechts één factor, naast bijvoorbeeld de samenstelling van het grondwater. Als waterhuishoudkundige maatregelen ter bestrijding

van verdroging echter zijn gericht op het herstel van de oorspronkelijke patronen van grondwaterstroming, dan is er weinig op tegen om de grondwaterstand als sturende variabele te hanteren en de effectiviteit van het beleid af te meten aan grondwaterstanden.

Het is onderzoekers eigen om slagen om de arm te houden bij de presentatie van resultaten, terwijl beleidsmedewerkers graag houvast willen ontlenen aan de uitkomsten van onderzoek. Binnen dit spanningsveld is het denkbaar dat kennis niet of niet volledig wordt benut, en dat er te weinig of juist te veel wordt geïnvesteerd in het reduceren van onzekerheid. Met behulp van statistische kennis over onzekerheid kunnen risico's van desinvesteringen en ongewenste gevolgen van maatregelen echter beter worden beheerst. Bovendien kan beter inzicht worden verkregen in de noodzaak van onderzoek dat gericht is op het reduceren van onzekerheid. Statistische kennis over onzekerheid kan dus positief bijdragen aan een effectief anti-verdrogingsbeleid.

De resultaten die in dit artikel worden gepresenteerd maken duidelijk dat het tijd is voor een bezinning op de effectiviteit van het anti-verdrogingsbeleid. 'Honderd jaar verdroging in kaart' is in elk geval een nieuwe inspiratiebron om de verdroging te bestrijden.

Dankwoord

Wij bedanken Guus Beugelink, Han Runhaar en twee anonieme referenten voor hun nuttige commentaar bij eerdere versies van dit artikel.

Literatuur

- Beugelink, G.P. en F.A.M. Claessen (red.) (1995)** Operationalisatie van 25%-doelstelling verdroging; maatregelen, kosten en effecten: Achtergrondinformatie verdroging MV3/ENW; RIVM, rapport 715001001, Bilthoven; RIZA, Nota nr. 95.029, Lelystad.
- Donker, M. en M. de Groen (2004)** Verslag Rondetafelbijeenkomst Landbouw, 20 februari 2004; Droogtestudie Nederland Fase 2, RIZA, Lelystad.
- Ek, R. van, F. Klijn, J. Runhaar, R. Stuurman, W. Tamis en J. Reckman (1997)** Gewenste grondwatersituatie Noord-Brabant: Deelrapport 1: Methodeontwikkeling voor het bepalen van de optimale sectorale grondwatersituatie voor de natuur; Rapport nr. 98.027, RIZA, Lelystad.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries (2005)** Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 1, pag 27–41.
- Gaast, J. van der en H. Massop (2005)** De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken; in: *H₂O*, jrg 38, nr 14/15, pag 43–46.
- Jansen, P.C., F. de Vries en J. Runhaar (1999)** Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden: Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken; Alterra, rapport 694, Wageningen.
- Jansen, P.C., M. Knotters, D.J. Brus en J.B.F. van der Horst (2003)** Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952–1955; Alterra, rapport 614, Wageningen.

- Jansen, P., M. Knotters en F. de Vries (2005)** Nieuwe natuur met oude grondwaterstanden: Een reconstructie van het historische grondwaterregime als referentie voor de planning van natte natuur; in: *Landschap* (in druk).
- Knotters, M. (2002)** Onzekerheid is welkom bij beslissingen in het grondwaterbeheer; in: *Stromingen*, jrg 8, nr 4, pag 27–41.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum (1997)** Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component; in: *Journal of Hydrology*, vol 197, pag 25–46.
- Kremers, A.H.M. en F.C. van Geer (2000)** Trendontwikkeling Grondwater 2000: Analyseperiode 1955–2000; TNO-NITG, rapport NITG 00-184-B, Delft.
- Maas, C. en J.R. von Asmuth (2003)** Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975–2002: Effectiviteit van het stand-still beleid van de provincie Limburg; KIWA, Nieuwegein.
- Ministerie van V&W (1994)** Derde nota waterhuishouding: evaluatienota water; SDU, Den Haag.
- Ministerie van VROM, Ministerie van EZ en Ministerie van LNV (1989)** Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen; SDU, Den Haag.
- Ministerie van VROM, Ministerie van EZ en Ministerie van LNV (1998)** Nationaal Milieubeleidsplan 3; SDU, Den Haag.
- Molenaar, J.G. de (1980)** Bemesting, waterhuishouding en intensivering in de landbouw en het natuurlijk milieu; Rijksinstituut voor Natuurbeheer, rapport 80/6, Leersum.
- Projectgroep GGOS en classificatie (1999)** Gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor bos en natuurgebieden; Waterschap Reest en Wieden, Meppel.
- Rolf, H.L.M. (1989)** Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: Analyse periode 1950–1986; Rapport DGV-TNO, Delft.
- Runhaar, J., P.C. Jansen, H. Timmermans, F.P. Sival en W.C. Knol (2003)** Historische waterhuishouding en historisch grondgebruik in het waterschap Regge en Dinkel; Rapport nr. 801, Alterra, Wageningen.
- Sluijs, P. van der, (1990)** Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen; in: W. Locher en H. de Bakker (red) *Bodemkunde van Nederland*, deel 1: Algemene Bodemkunde; Malmberg, Den Bosch.
- Ven, G.P. van de (red) (2003)** Leefbaar laagland: geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland; Matrijs, Utrecht.
- Visser, W.C. (1958)** De landbouwwaterhuishouding van Nederland; Commissie Landbouwwaterhuishouding van Nederland, rapport 1, TNO, Delft.