



De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken

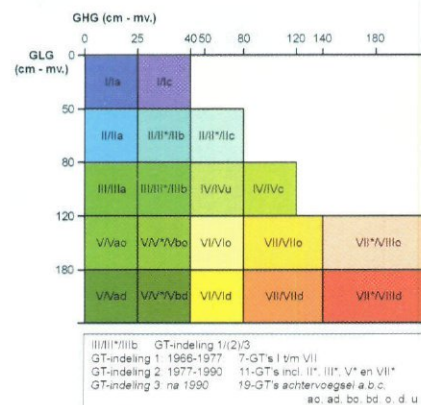
JACO VAN DER GAAST, ALTERRA
HARRY MASSOP, ALTERRA

De grondwatertrappenkaart geeft ruimtelijk de variatie en de diepte van het grondwatervlak weer. Het is een karakterisering van het grondwaterstandsverloop. Voor de Droogtestudie Nederland, uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), is de huidige freatische grondwaterstand gekarakteriseerd op basis van een groot aantal peilbuizen, aangevuld met gerichte opnamen. De resultaten van deze studie geven aan dat het ook mogelijk is om met hulp van karteerbare kenmerken en een eenvoudige methodiek een gedetailleerde grondwatertrappenkaart voor de actuele situatie af te leiden. Deze methodiek is tevens toepasbaar op oudere grondwatertrapkaarten. Toepassing van deze methode op grondwaterkaarten voor verschillende tijdstippen geeft inzicht in de veranderingen in de grondwatertrap en daarmee in de ontwikkeling van de verdroging in Nederland.

De grondwaterstand wordt meestal gekarakteriseerd door grondwatertrappen (Gr's): een combinatie van de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De GHG en de GLG zijn gedefinieerd als het gemiddelde van de respectievelijk drie hoogste en drie laagste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart), uitgaande van een halfmaandelijke meetfrequentie, gemiddeld over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden⁽³⁾. In afbeelding 1 is de indeling in grondwatertrappen weergegeven.

In 1990 is onderzoek verricht naar de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden voor de verschillende grondwatertrappen⁽³⁾. Toen is gebruik gemaakt van veeljarig bemeten peilbuizen.

In 2003 is een onderzoek uitgevoerd naar de karakterisering van de freatische grondwaterstand op basis van puntgegevens⁽¹⁾. Hiervoor is de fluctuatie van de grondwaterstand op een groot aantal peilbuislocaties onder-



Afb. 1: Indeling in grondwatertrappen op basis van de gemiddelde hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (cm -mv).

zocht, hetgeen resulteerde in een uitgebreide dataset. Op basis van deze gegevens is eveneens een tabel opgezet die de relatie weergeeft tussen de grondwatertrappen en de GxG, welke bestaat uit de GHG, GVG (grondwaterstand in het voorjaar) en GLG (tabel 1).

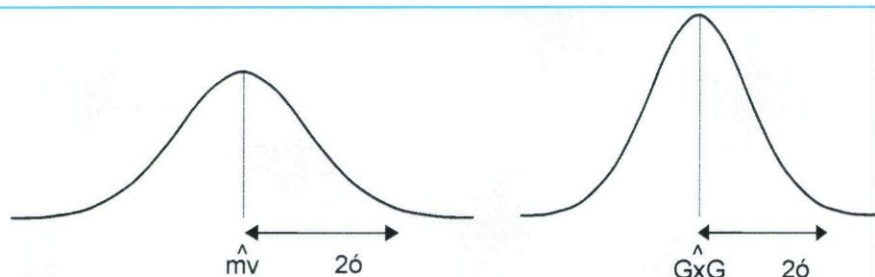
Tabel 1 is gebaseerd op een veel grotere steekproef dan de tabel die in 1990 is opgesteld. Daarnaast heeft deze nieuwe tabel betrekking op resultaten van tijdreeksanalyses, waardoor de berekende GxG betrekking heeft op een klimaatrepresentatieve reeks (30 jaar). Over het algemeen komen de waarden voor de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand

Tabel 1 Relatie tussen de Gt en de GxG op basis van tijdreeksresultaten voor peilbuisgegevens (cm min maaiveld).

Gt	aantal	GHG	std	GVG	std	GLG	std
I	102	-5,3	(-5)	12,2	10,6	11,0	36,5
II	178	4,8	(7)	14,4	28,1	13,5	65,6
II*	44	35,9	(32)	9,1	53,4	6,6	73,4
III	177	13,3	(17)	9,0	43,4	11,0	97,7
III*	108	32,7	(32)	4,2	60,4	7,0	101,9
IV	176	56,7	(56)	11,7	78,2	10,2	106,9
V	58	16,8	(17)	6,2	56,1	10,6	139,7
V*	118	33,5	(32)	4,3	70,5	10,1	145,6
VI	716	62,4	(61)	11,2	95,6	12,8	159,2
VII	1005	105,6	(101)	16,3	134,1	17,7	191,1
VIII	437	201,1	(185)	81,0	228,6	81,9	294,6

() waarde in de van der Sluijstabel

Afb. 2: Schematische weergave van de kansverdeling voor de maaiveld hoogte (mv) en de GxG.



goed met elkaar overeen. Voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand bedragen de verschillen enkele centimeters; voor de gemiddeld laagste grondwaterstand zijn de verschillen iets groter. Toch zijn de tabellen vergelijkbaar, wat aangeeft dat Van der Sluijs indertijd de grondwatertrap goed in de vingers had. De spreiding blijkt echter groter, wat wellicht wordt veroorzaakt door de gebruikte buizen-set.

De overeenkomst tussen de tabellen lijkt in eerste instantie misschien vreemd, maar deze wordt veroorzaakt door de vergelijkbare methodiek. De analyse heeft in beide gevallen betrekking op buisgegevens, welke zijn ingedeeld in grondwatertrappen. In beide gevallen is het als het ware een analyse op 'zichzelf'. De tabel geeft het zwaartepunt van de GxG per grondwatertrap, uitgaande van buisgegevens welke op grond van hun GxG zijn ingedeeld binnen die klasse. Uitgaande van deze systematiek mag men verwachten dat de GxG ongeveer overeenkomt met het klassegemiddelde en de spreiding ongeveer overeenkomt met een kwart van de breedte van de klasse (95% betrouwbaarheid: gemiddelde +/- twee maal de standaarddeviatie).

De gegevens in tabel 1 kunnen worden vertaald in een kansverdeling. Deze kansverdeling komt dus ongeveer overeen met het klassegemiddelde van de desbetreffende grondwatertrap en de totale klassebreedte. Deze informatie kan gebruikt worden om de Gt-vlakken in de bodemkaart nader in te delen. Naast de kansverdeling van de grondwatertrappen is ook de maaiveldhoogte verdeling bekend. Door gebruik te maken van het Actueel Hoogtebestand Nederland (25 x 25) kan ook voor de maaiveldhoogte een kansverdeling worden gemaakt. In afbeelding 2 zijn beide verdelingen schematisch weergegeven. Door de kansverdeling voor de maaiveldhoogte binnen een Gt-vlak op de bodemkaart te transformeren naar een kansverdeling voor de GxG, is een kaart te maken van de GxG. Op deze manier wordt op een eenvoudige wijze een neerschaling van de grondwatertrappen naar gridcellen van 25 meter bewerkstelligd. Het gebruik van tabel 1 levert kaartbeelden van de GxG, die zijn weergegeven in afbeelding 3 (middelste kolom).

Actuele situatie

Door de jaren heen hebben allerlei ingrepen in de waterhuishouding plaatsgevonden die voornamelijk tot verdroging leidden. Om meer inzicht in de verschuiving van de grondwatertrappen te krijgen, 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 (tabel 2). Uit deze tabel kan worden

geconcludeerd dat verdroging heeft plaatsgevonden. Voor elk kaartvlak behalve Gt VIII komt de gemiddelde GxG veel lager uit dan het gemiddelde dat kenmerkend is voor de desbetreffende Gt-klasse. Voor een aantal Gt-klassen in de bodemkaart valt de gemiddelde GxG niet meer binnen de indertijd gekarteerde Gt-klasse. Voor Gt V, welke vaak wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van storende lagen, moet worden opgemerkt dat deze in buizen veelal moeilijk is te meten.

Door combinatie van tabel 2 met de neerschalingmethodiek kan met behulp van de bodemkaart een actuele situatie voor de grondwatertrappen worden bepaald. De berekende spreiding van de GxG is echter zeer groot. Deze wordt veroorzaakt door een grote variatie in de GxG die voor kan komen binnen kaartvlakken. Over het algemeen trad verdroging op. Maar er zijn natuurlijk ook locaties waar door de jaren heen weinig is veranderd of zelfs vernatting plaatsvond door bijvoorbeeld een vernattingproject. Daarnaast kan men zich afvragen in hoeverre peilbuizen representatief zijn voor kaartvlakken.

Representativiteit van buislocatie voor het kaartvlak

Om meer inzicht te krijgen in de representativiteit van de buislocaties voor kaartvlakken is een analyse uitgevoerd met behulp van de Algemene Hoogtekaart Nederland. Vaak heeft men de indruk dat buizen iets hoger liggen dan de omgeving. Om dit te onderzoeken is gekeken naar de relatieve hoogteligging van de buizen ten opzichte van de omgeving. Hiervoor is de genoemde kaart gebruikt met een resolutie van vijf bij vijf meter.

Voor deze analyse zijn 424 stambuizen gebruikt, die ook bij de Gt-actualisatie gebruikt werden. Deze buizen liggen allemaal in het Pleistocene deel van Nederland. Voor

verschillende stralen is het gemiddelde verschil bepaald tussen de hoogte van de 5 x 5 gridcel waarin de stambuis gelegen is en de gemiddelde maaiveldhoogte binnen de desbetreffende straal. Het gemiddelde verschil blijkt relatief klein te zijn en bedraagt maximaal twee centimeter. De standaarddeviatie van het verschil is echter groot en neemt af naarmate de straal waarin gekeken wordt kleiner is. Vervolgens is gekeken naar het verschil tussen de maaiveldhoogte op basis van de vijf meter en 25 meter resolutie. Het gemiddelde verschil is wederom gering (1,5 cm). De standaarddeviatie van het verschil is echter groot en bedraagt 25 cm. De analyse geeft aan dat het gebruik van buisgegevens bij een grote steekproef geen systematische afwijking als gevolg van representativiteit ten opzichte van het maaiveld geeft. Het gebruik van de Gt-tabel voor een actuele inschatting van de grondwatertrap zal waarschijnlijk niet noemenswaardig beïnvloed worden door de ligging van de buizen ten opzichte van het maaiveld. De hoge gemiddelde standaarddeviatie zou een verhogend effect kunnen hebben op de berekende standaarddeviatie in de Gt-tabel.

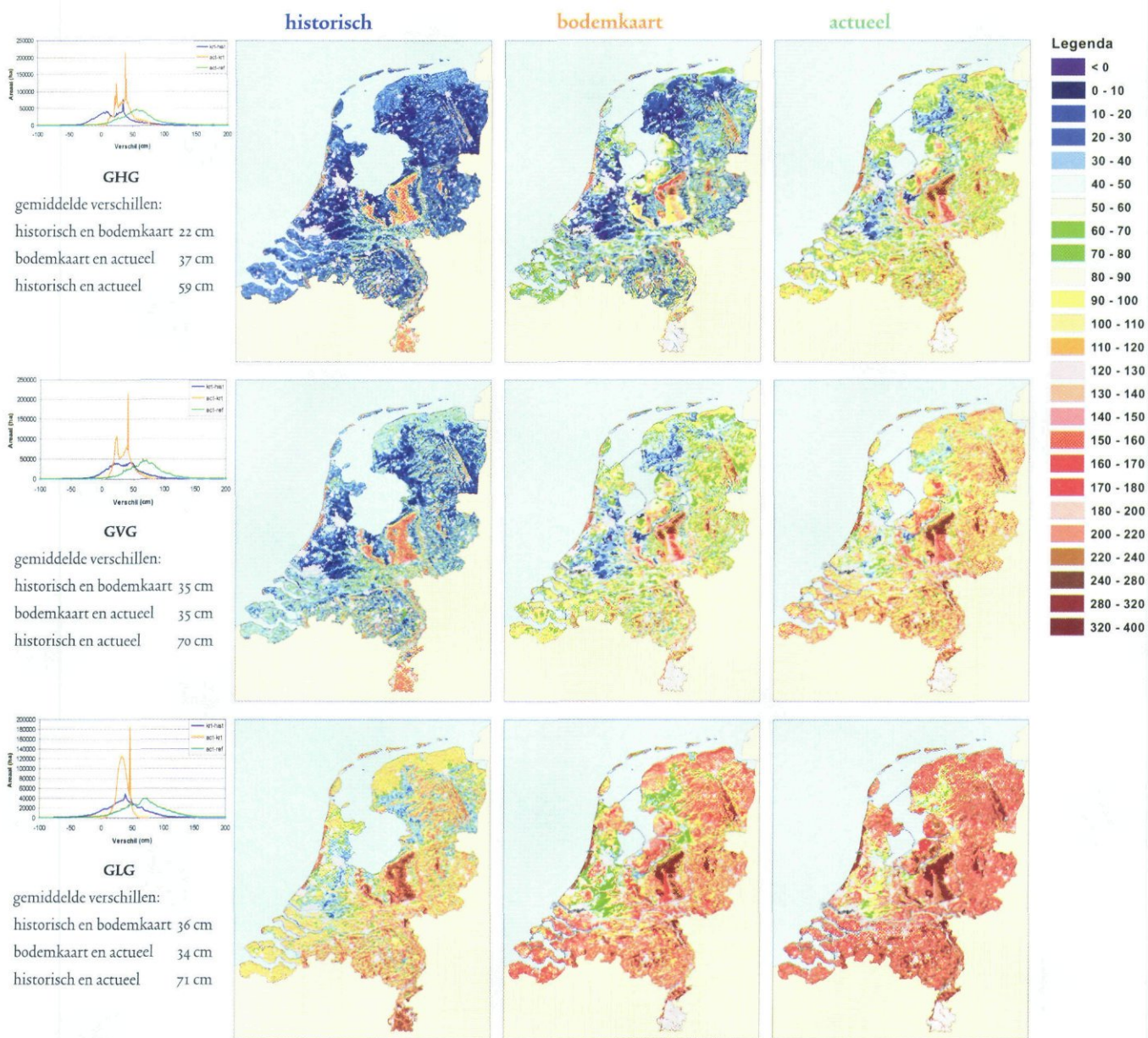
Indien gekeken wordt per grondwatertrap, blijkt het gemiddelde verschil gering en de standaarddeviatie in de orde van 25 cm te bedragen. Per grondwatertrap kan het gemiddelde verschil enkele centimeters bedragen. Tussen afzonderlijke locaties kunnen de verschillen echter aanzienlijk zijn. De indruk dat buizen vaak iets hoger liggen dan de omgeving, is daarmee niet aangetoond. In de meeste gevallen staan buizen in bermen langs bijvoorbeeld zandwegen of essen die wellicht iets hoger liggen dan de naastliggende percelen.

Daarentegen liggen de buizen in de buurt van waterlopen relatief laag ten opzichte van hun omgeving.

Tabel 2 Relatie tussen de Gt en de GxG op basis van tijdreeksresultaten voor peilbuislocaties in kaartvlakken van de bodemkaart 1 : 50.000 (cm min maaiveld). Std = standaarddeviatie.

Gt	aantal	GHG	std	GVG	std	GLG	std
I	65	9,0	33,8	29,6	36,8	61,9	45,3
II	302	28,3	34,3	51,7	34,8	87,8	38,9
II*	28	55,3	58,0	79,0	58,4	111,5	64,0
III	453	56,8	42,6	84,0	42,5	134,7	49,3
III*	144	68,6	40,1	97,9	40,0	142,4	41,8
IV	145	72,3	45,7	99,5	44,4	141,0	47,7
V	358	82,5	61,2	113,5	60,0	178,9	68,2
V*	217	77,8	41,7	111,8	41,2	174,0	48,6
VI	914	97,3	54,1	127,9	53,2	189,4	61,1
VII	381	138,3	70,0	166,7	70,5	234,4	77,4
VIII	103	154,3	152,4	180,1	153,2	239,8	153,1

* grondwatertrapindeling volgens afbeelding 1 (droge varianten).



Afb. 3: Kaartbeelden van de GxG voor verschillende perioden.

Historische situatie

Indien gebruik wordt gemaakt van de in dit artikel beschreven techniek is het ook mogelijk om bijvoorbeeld de historische situatie in neergeschaalde vorm in kaart te brengen. Voor deze toepassing is voor de referentie gebruik gemaakt van de natuurlijke grondwatertrap die per bodemeenheid in een eerdere studie is afgeleid⁴. Deze natuurlijke grondwatertrap geeft bij benadering de situatie tussen 1850 en 1900 weer. Deze historische grondwatertrap geeft tevens aan wat in theorie bij herstel de maximaal haalbare grondwatertrap zou moeten kunnen worden. In het onderzoek is de historische GxG voor percentielen van de grondwaterstand bepaald. Deze informatie is gebruikt om per kaartvlak een gemiddelde voor de GHG, GVG en de GLG en een bijbehorende standaarddeviatie te bepalen. Deze gegevens kunnen wederom vertaald

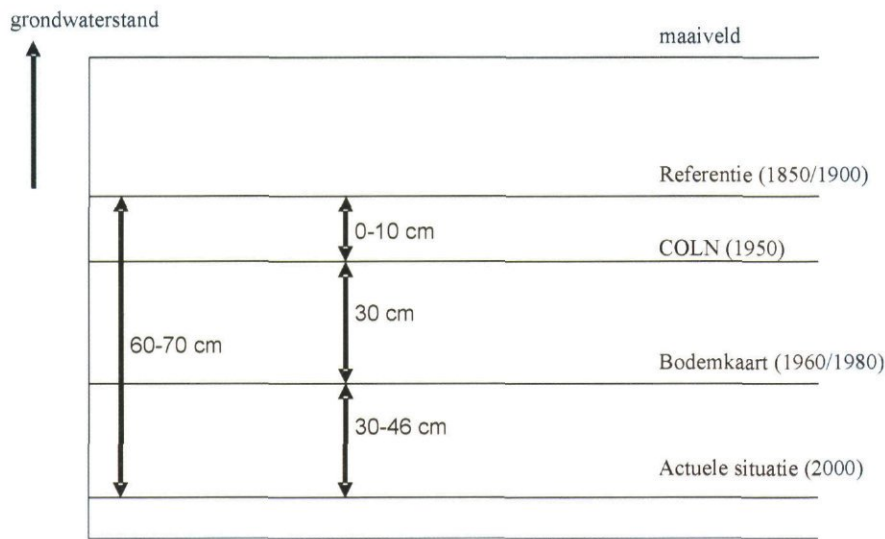
worden in een kansverdeling. Naast deze kansverdeling is op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland ook de maaiveldverdeling van de bodemeenheden bekend. Voor het neerschalen van de historische GxG wordt de kansverdeling voor het maaiveld binnen een bodemeenheid op de bodemkaart getransformeerd naar de kansverdeling voor de GxG.

Verdroging

Het verschil tussen de historische en de actuele grondwaterstand is een maat voor de verdroging. Deze verlaging van de grondwaterstand (60-70 cm) is relatief groot, doordat uitgegaan is van een historische situatie die ongeveer overeenkomt met de situatie tussen 1850 en 1900. Indien het droge deel van Nederland (GHG meer dan 140 cm) buiten beschouwing wordt gelaten, is de berekende verdroging ongeveer vijf centimeter minder. Tussen

1900 en 1960/1970 heeft onder andere als gevolg van ontginningen, verbeterde ont- en afwatering, veranderingen in de verdamping en waterwinningen al verdroging plaatsgevonden. In het begin van de vorige eeuw was men vooral gericht op het terugdringen van zomervloeden, wat tot uiting komt in de relatief grote verlaging van de GLG. In de tweede helft van de vorige eeuw zijn veel ruilverkavelingen uitgevoerd die veelal gepaard zijn gegaan met verbetering van de ont- en afwatering door onder andere de aanleg van drainage, sloten en gemalen. Daarnaast is de verdamping blijvend toegenomen door productieverhoging en zijn de grondwateronttrekkingen voor zowel drinkwater, industrie als landbouw verder toegenomen.

Voor natuurgebieden is aan het eind van de jaren tachtig de verdroging ingeschat. Bij deze analyses is gebruik gemaakt van de



Afb. 4: Schematische weergave van de verdroging bij vergelijking van verschillende gegevensbronnen.

COLN-gegevens en de bodemkaart 1:50.000. De gemiddelde verdroging afgeleid uit deze gegevensbronnen bedraagt ongeveer 30 cm² (afbeelding 4).

Onlangs is een studie uitgevoerd naar de karakteristieken van de grondwaterstand op puntlocaties. In het kader van deze studie zijn tijdreeksresultaten van een groot aantal peilbuislocaties en gegevens van gerichte opnamen vergeleken met de grondwatertrap op de bodemkaart 1:50.000. Het geconstateerde verschil tussen de bodemkaart en de puntlocaties was 30 tot 46 cm¹⁾.

Conclusies en aanbevelingen

Door gebruik te maken van een kansverdeling voor de maaiveldhoogteverdeling en een kansverdeling voor de GxG is het relatief eenvoudig de GxG neer te schalen. Het gebruik van de buisgegevens voor de actuele situatie geeft een relatief grote spreiding, welke deels wordt veroorzaakt door maaiveldvariatie. Voor het bepalen van de actuele grondwatertrap wordt binnen de methodiek uitgegaan van een integrale verdroging conform de gegenereerde tabellen. Het gebruik van een tabel voor heel Nederland heeft tot gevolg dat regionale en lokale verschillen op kunnen treden. Opsplitsen van de beschikbare buizenset is mogelijk naar bijvoorbeeld Holoceen, Pleistoceen of bodemtype. De beschikbare dataset is echter beperkt, waardoor stratificatiemogelijkheden beperkt blijven. Bij detailkarteringen (schaal 1:10.000) worden veldschattingen gedaan van de GxG op basis van profielkenmerken, waterhuishoudkundige situatie, nabijgelegen (tijdelijke) peilbuizen, vegetatie en bodemgebruikskenmerken. Deze schattingen worden uitgevoerd met een gemiddelde puntdichtheid van één boring per hectare. Met recent uitgevoerde detailkarteringen is het mogelijk om regionale Gt-tabellen op te stellen, die geba-

seerd zijn op boorgegevens. Op deze manier kan regionale informatie worden gebruikt, waardoor de opgelegde integrale verdroging past bij de regio. Een recent uitgevoerde test heeft uitgewezen dat de combinatie van een regionale Gt-tabel met de maaiveldhoogteverdeling binnen Gt-vlakken van de bodemkaart 1:50.000 het mogelijk maakt de patronen van de detailkarteringen goed te kunnen reproduceren. Daarnaast kan een dergelijke methode worden gezien als methode om het gebied tussen de detailkarteringen op te vullen.

Naast het toepassen van een regionale tabel met een integrale verdroging, is het ook mogelijk om de GxG-verschuiving voor individuele vlakken bij te stellen, teneinde naast verdroging ook het voorkomen van bijvoorbeeld vernatting in de kaart tot uiting te laten komen. Deze aanpak vraagt echter extra informatie die in het veld zal moeten worden verzameld.

Door gebruik te maken van deze methodiek is het relatief eenvoudig om naast de GxG ook de onzekerheid hierover te genereren op basis van lokale variatie in het Actueel Hoogtebestand Nederland en betrouwbaarheden van de GxG op puntniveau.

De gebruikte methodiek is sterk afhankelijk van de gebruikte ruimtelijke schematisatie van de kaartvlakken. Binnen een kaartvlak wordt immers een verdeling gemaakt van het maaiveld, die vervolgens representatief wordt geacht voor de verdeling van de GxG binnen het desbetreffende kaartvlak. Indien de kaartvlakken te groot worden, mag verwacht worden dat de maaiveldhoogte niet meer representatief is voor de GxG-verdeling. Vooral bij langgerekte ruimtelijke eenheden langs bijvoorbeeld beken is de maaiveldhoogteverdeling niet meer representatief voor de GxG-ver-

deling. Het verloop van hoog naar laag vindt in dit geval namelijk plaats in de lengterichting, terwijl het GxG-verloop voornamelijk plaatsvindt loodrecht op de beek. Nader onderzoek naar een goede opdeling van dergelijke kaartvlakken is aan te bevelen. Ook de COLN-kaart heeft te grote kaartvlakken voor de beschreven methodiek. Een goede logische opdeling van de kaartvlakken maakt het gebruik van deze methodiek ook voor het neerschalen van de COLN-kaart wellicht mogelijk. ☑

LITERATUUR

- 1) 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.
- 2) Garritsen A., A. van Amstel en H. Rolff (1990). Verdroging van natuur in Nederland. Deel II: hydrologische aspecten van de inventarisatie. *Landschap* nr. 3, pag. 165-181.
- 3) Heesen H. van (1971). De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten. *Boor en Spade* nr. 17, pag. 127-149. Stichting voor bodemkartering.
- 4) Jansen P., F. de Vries en J. Runhaar (1999). Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden; het oorspronkelijk grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken. SC-rapport 694. DLO Staring Centrum.
- 5) Sluijs P. van der (1990). Hoofdstuk 11: Grondwatertrap-pen, pag. 167-180. In: W.P. Locher en H. de Bakker (redactie). *Bodemkunde van Nederland, deel 1: Algemene Bodemkunde*.