
Hoe nauwkeurig is de grondwatertrap op buislocaties te bepalen?

Jaco van der Gaast
Harry Massop

De basis voor het bepalen van de grondwatertrap zijn gemeten grondwaterstanden op peilbuislocaties. Deze informatie wordt getransformeerd naar een GHG en GLG die vervolgens gebruikt worden bij Gt-karteringen, modelkalibraties en validaties. Doordat de buislocaties de basis vormen voor veel studies is het van belang inzicht te hebben in de nauwkeurigheid waarmee de GHG en GLG kunnen worden bepaald. In dit artikel wordt hier inzicht in gegeven, gebruikmakend van de traditionele bepalingmethode en van lineaire tijdreeksanalyse. Uit de vergelijking van beide methoden blijkt dat de nauwkeurigheid waarmee de GHG en GLG kunnen worden bepaald in dezelfde orde van grootte ligt en het kennelijk moeilijk is een klimaatsrepresentatieve GHG en GLG te voorspellen met behulp van lineaire tijdreeksmodellen. De analyse geeft tevens aan dat de berekende onzekerheid op basis van tijdreeksanalyse, als gevolg van het niet verdisconteren van de modelonzekerheid veelal wordt onderschat. Nader onderzoek naar het gebruik van niet-lineaire modellen en het kwantificeren van modelonzekerheid is wenselijk.

Inleiding

Het verloop van de grondwaterstand wordt van oudsher gekarakteriseerd met een grondwatertrap (Gt), die de fluctuatie en het niveau van de grondwaterstand tov maaiveld weergeeft. Voor het bepalen van deze Gt is men aangewezen op meetgegevens uit grondwaterstandbuizen. In de afgelopen twee decennia is het gebruik van tijdreeksanalyse geïntroduceerd om het grondwaterstandverloop te karakteriseren, gegevensets te verlengen en correctie voor het klimaat op de berekening van het verloop van de grondwaterstand te bewerkstelligen. Voor al deze toepassingen is men aangewezen op locaties waar de grondwaterstand enige tijd, bij voorkeur enkele jaren, in een peilbuis is gemeten. Voor iedere Gt-kartering of Gt-onderzoek vormen grondwaterstandmetingen op buislocaties de uitgangsdataset. Onzekerheid in de meetgegevens werkt door in de ruimtelijke extrapolatie. Hierdoor is het van belang inzicht te hebben in de nauwkeurigheid van de Gt op buislocaties.

De auteurs zijn werkzaam bij Alterra, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, e-mail Jaco.vanderGaast@wur.nl, telefoon (0317) 47 42 93, en Harry.Massop@wur.nl.

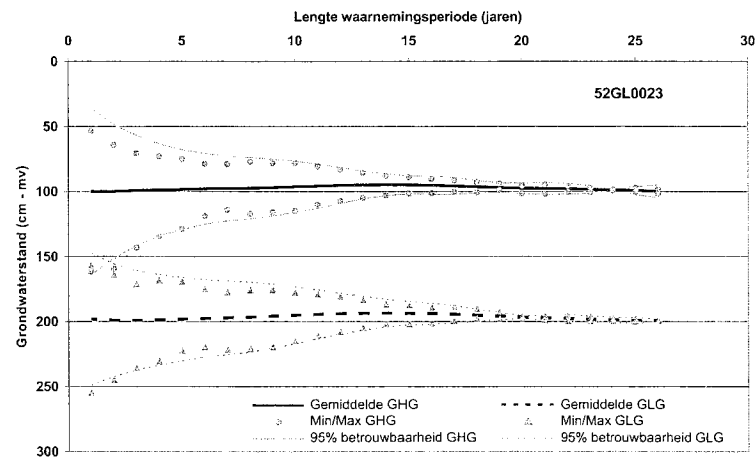
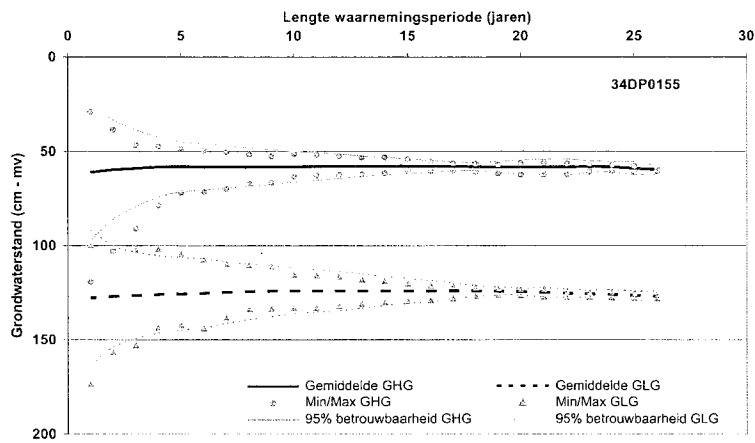
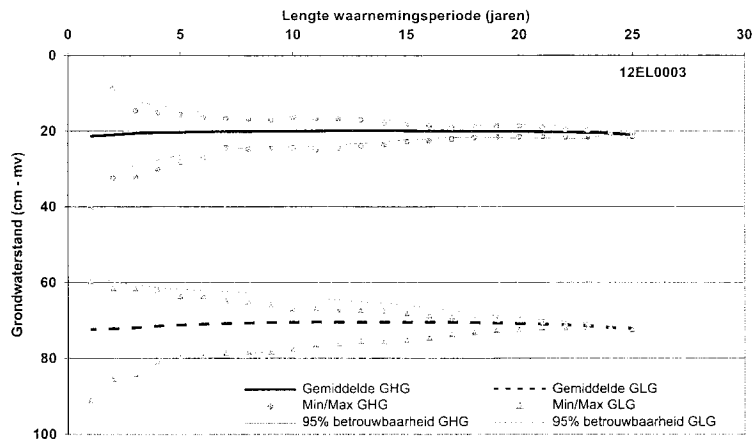
Lengte van de meetperiode

De GHG en de GLG worden berekend uit grondwaterstanden die tweemaal per maand, op of omstreeks de 14^e en de 28^e worden gemeten. Uit het gemiddelde van de 3 hoogste grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) wordt over een reeks van jaren de GHG als rekenkundig gemiddelde bepaald en uit het gemiddelde van de laagste drie grondwaterstanden wordt de GLG bepaald (Knibbe en Marsman, 1961; Van Heesen en Westerveld 1966; Van Heesen, 1971). Op deze manier kan het grondwaterregime door middel van de Gt zo goed mogelijk worden samengevat (Van der Gaast en Massop, 2005). De invloed van jaren met een afwijkende neerslaghoeveelheid en verdeling op de berekende GHG en GLG neemt af naarmate de gebruikte waarnemingsreeks langer is. Figuur 1 geeft voor 3 buizen de maximale afwijking van de GHG en GLG op basis van een meetreeks van ongeveer 30 jaar bij toename van de periodelengte. Vergelijkbare figuren zijn indertijd ook gemaakt door Colenbrander (1970) en Van der Sluijs en Van Egmond (1976). In de praktijk van de GHG- en GLG-berekening wordt als minimum-periodelengte 8 jaar aangehouden. Dit is een compromis tussen het mogelijke en het wenselijke. Op basis van een vergelijking met een periode van 20 jaar komen Van der Sluijs en Van Egmond tot de conclusie dat bij gebruik van een meetperiode van 8 jaar afwijkingen tot 10 cm voor de GHG en tot 20 cm voor de GLG voor kunnen komen. Uit de vergelijking van de drie buizen in figuur 1 blijkt dat de GHG en GLG over 8 jaar voor natte buislocaties beter kan worden voorspeld dan voor droge buislocaties. Dit blijkt ook uit het 95% betrouwbaarheidsinterval dat voor de GHG toeneemt van ± 4 tot ± 24 cm naarmate de buis op een drogere locatie staat. Voor de GLG neemt het 95% betrouwbaarheidsinterval toe van ± 8 tot ± 28 cm.

Tijdreeksmodellering

De GHG, GVG en GLG (GxG) in grondwaterstandbuizen zijn gedefinieerd op basis van stationaire¹ meetreeksen van grondwaterstanden die minimaal 8 jaar bestrijken en waarin geen hydrologische ingrepen hebben plaatsgevonden. In de praktijk is het een probleem om meetreeksen te vinden die aan deze criteria voldoen, omdat grondwaterstandbuizen regelmatig worden verplaatst of verwijderd, of omdat er hydrologische ingrepen hebben plaatsgevonden. Om deze reden worden meetreeksen met een lengte van 4–8 jaar vaak noodgedwongen geaccepteerd. Voor kortere periode kan het voorkomen dat het weer in de afgelopen 4–8 jaar systematisch natter of droger was dan het gemiddelde voor de klimaatperiode, waardoor bijvoorbeeld een GHG wordt onder- of overschat. Uit een analyse van Knotters en Van Walsum (1994) en Knotters en Bierkens (1999) blijkt dat reeksen van 4–8 jaar meestal lang genoeg zijn om de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand te kunnen modelleren met tijdreeksmodellen.

¹ Een stationaire meetreeks heeft een constant gemiddelde en een constante variantie, waardoor deze onafhankelijk zijn van de tijd. In de praktijk komt het er op neer dat een meetreeks alleen stationair kan zijn indien er gedurende de reeksperiode geen waterhuishoudkundige ingrepen binnen de invloedssfeer van het meetpunt hebben plaatsgevonden.



Figuur 1: De GHG en GLG voor de 3 peilbuizen bij toename van de periodelengte waarover deze berekend zijn, gebruikmakend van meetgegevens.

Bij tijdreeksmodellering wordt voor een peilbuis de samenhang gemodelleerd tussen het neerslagoverschot en de gemeten grondwaterstanden. Het tijdreeksmodel dat deze samenhang beschrijft wordt daarna toegepast op langjarige reeksen van neerslagoverschotten. Hieruit volgen veeljarige tijdreeksen van grondwaterstanden die nauw aansluiten op de metingen en representatief zijn voor de klimaatperiode. Deze reeksen kunnen vervolgens worden samengevat in beschrijvende parameters zoals een klimaatsrepresentatieve GxG en Gt. Bovendien zijn uit de parameters van het tijdreeksmodel fysische parameters af te leiden.

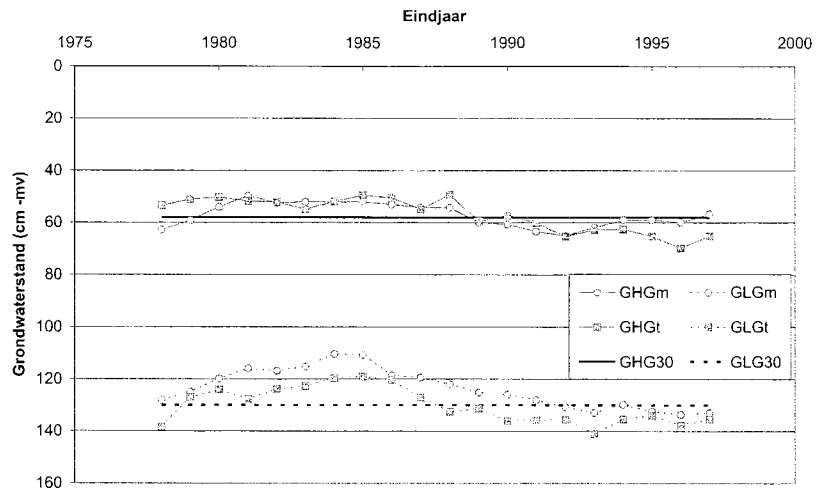
Het effect van kalibratieperioden

Voor het bepalen van de klimaatsrepresentatieve GxG wordt een tijdreeksmodel gekalibreerd op een grondwaterstandmeetreeks. Om inzicht te krijgen in de onzekerheid van de geschatte GxG met behulp van tijdreeksanalyse is gekeken naar het effect van de kalibratieperiode en naar het effect van het gebruik van verschillende weerstations. Voor de drie meetlocaties uit figuur 1 zijn de GHG en de GLG voor verschillende kalibratieperioden bepaald. In eerste instantie zijn de GHG en GLG op basis van de meetgegevens op de traditionele werkwijze bepaald. Om te kijken naar de invloed van de weersgesteldheid is de Gt voortschrijdend over 8 jaar berekend (figuur 2). Hierbij wordt de GxG over een periode van 8 opeenvolgende jaren bepaald, waarna de gebruikte meetperiode telkens 1 jaar wordt opgeschoven. Vervolgens zijn deze berekende GHG en GLG's vergeleken met de berekening op basis van de gehele meetreeks. Uit deze analyse blijkt dat de berekende GHG en GLG fluctueert rond het langjarig gemiddelde als gevolg van klimatologische omstandigheden (figuur 2). Ook Van der Sluijs en Van Egmond hebben in 1976 de fluctuatie van de GHG en GLG, berekend over 8 jaar, als gevolg van klimatologische omstandigheden laten zien.

Vervolgens is gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse om de GxG klimaatrepresentatief te maken. Na het klimaatrepresentatief maken van de GxG mag men verwachten dat de berekende GHG en GLG ongeacht de kalibratieperiode ongeveer gelijk blijft. Om de klimaatrepresentativiteit inzichtelijk te maken zijn er voortschrijdend tijdreeksmodellen gekalibreerd op meetperioden van 8 jaar, waarna de GHG en GLG zoals eerder beschreven, telkens kan worden bepaald op basis van simulaties van 30 jaar. Voor de tijdreeksanalyse is gebruik gemaakt van programmatuur ontwikkeld tbv de Gt-actualisatie (Finke e.a., 2005). De modelparameters worden geschat door kalibratie op een tijdreeks van de grondwaterstand met een transfer-ruismodel, KALTFN (Bierkens e.a., 1999; Bierkens en Bron, 2000). De simulatieperiode is voor iedere kalibratieperiode van 8 jaar gelijk genomen (1971–2000) (Van der Gaast en Massop, 2003).

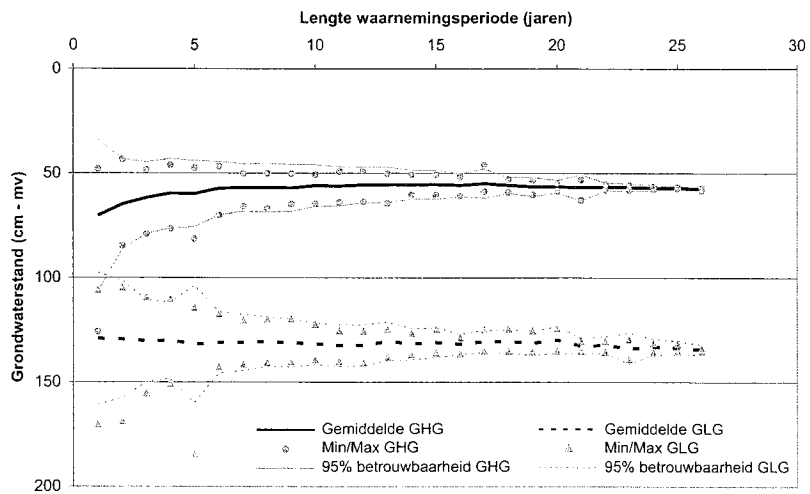
In figuur 2 is de fluctuatie als gevolg van drogere en natte jaren goed te zien. Er lijkt geen structurele verdroging op te treden voor dit meetpunt aangezien de berekende GHG en GLG over de eerste 8 jaar en over de laatste 8 jaar dicht bij het gemiddelde over 27 jaar ligt. In de tussentijdse jaren is er een fluctuatie rond het gemiddelde te zien. Indien gekeken wordt naar de voortschrijdende tijdreeksresultaten is er evenals bij de GHG en GLG op basis van meetgegevens een fluctuatie te zien rond het gemiddelde. Bij de tijdreeksresultaten lijkt de fluctuatie enigszins afgevlakt. Toch lijkt een klimaatrepresentatieve GxG op basis van een kalibratie op 8 jaar moeilijk te voorspellen. Een mogelijke verklaring hiervoor is het gebruik van lineaire tijdreeksmodellen, waarbij de gefitte tijdreeksparameters in sterke mate worden bepaald door 'het zwaartepunt' in de kalibratiedata

(Van der Gaast en Massop, 2003). Dit heeft vermoedelijk tot gevolg dat de gekalibreerde tijdreeksparameters het beste passen bij het gemiddelde van de kalibratiedata. Indien de processen die de grondwaterstand beïnvloeden niet-lineair zijn, kan kalibratie op relatief natte of droge jaren verschillende uitkomsten geven bij langjarige simulaties.



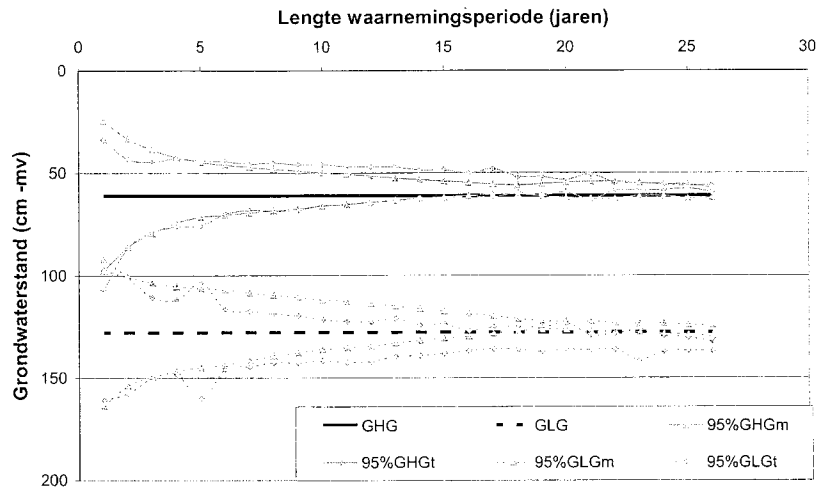
Figuur 2: GHG en GLG berekend uit metingen (m) en tijdreeksanalyse (t) voor voortschrijdende 8-jarige perioden en uit de gehele meetreeks (30) (meetpunt 34DP0155).

Bij de analyse is uitgegaan van modelkalibraties over perioden van 8 jaar. Om eenduidig vast te kunnen stellen hoe nauwkeurig de GHG en GLG kunnen worden bepaald met behulp van tijdreeksanalyse is een figuur vergelijkbaar aan figuur 1 gemaakt op basis van tijdreeksanalyses. In figuur 3 is de GHG en GLG weergegeven bij toename van de periodelengte waarop het tijdreeksmodel is gekalibreerd. Voor de simulatie zijn telkens dezelfde 30 jaar gebruikt.



Figuur 3: De GHG en GLG bij toename van de periodelengte waarover deze berekend zijn, gebruikmakend van modelkalibratie met lineaire tijdreeksmodellen (meetpunt 31DP0155).

Evenals bij het gebruik van meetgegevens (figuur 1) is in figuur 3 te zien dat de nauwkeurigheid van de voorspelde GHG en GLG toeneemt naarmate het aantal jaren dat gebruikt wordt bij de kalibratie toeneemt. Om meer inzicht te krijgen in de verschillen tussen de twee methoden zijn in figuur 4 de resultaten van beide methoden in één grafiek geplaatst.



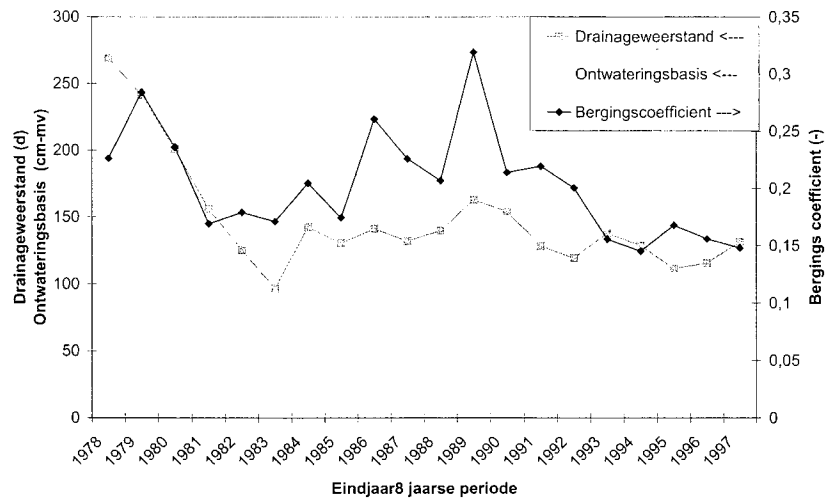
Figuur 4: De GHG en GLG bij toename van de periodelengte voor de methode op basis van de meetgegevens en de methode waarbij gebruik wordt gemaakt van tijdreeksanalyse (meetpunt 31DP0155).

Grofweg kan worden gesteld dat er relatief weinig verschil is tussen beide methoden. In beide methoden neemt de nauwkeurigheid waarmee de GHG en GLG kunnen worden voorspeld toe naarmate er gebruik wordt gemaakt van meer meetgegevens in de vorm van een langere meetreeks. De GHG op basis van de tijdreeksanalyse lijkt iets onnauwkeuriger aangezien het 95% betrouwbaarheidsinterval bij het gebruik van meetgegevens over een periode tussen de 5 en de 20 jaar aan de bovengrens iets hoger ligt. Voor de GLG kan op basis van zowel figuur 2 als figuur 4 worden geconcludeerd dat de GLG voor dit meetpunt bij het gebruik van tijdreeksanalyse structureel lager uitkomt dan bij het gebruik van de meetgegevens. Een tijdreeksmodel bestaat uit 2 componenten, nl. een deterministisch deel en een stochastisch deel. Bij tijdreeksmodellering wordt getracht de grondwaterstandsfluctuatie zo goed mogelijk te voorspellen met het deterministisch deel. De niet verklaarde variantie wordt gemodelleerd in de vorm van witte ruis, het stochastische deel van tijdreeksmodellen, waarin mogelijk een verklaring ligt voor het structureel lager uitkomen van de GLG. In natte situaties is het grondwaterstandverloop als gevolg van een relatief geringe berging in de bodem piekeriger dan in droge situaties. Bij eenzelfde neerslagimpuls reageert de grondwaterstand hierdoor onder natte omstandigheden heftiger. Het piekerige gedrag van de grondwaterstand, dat vooral door de stochastische component kan worden beschreven, komt vooral onder nattere omstandigheden voor. Hierdoor is het wellicht mogelijk dat de verschillen tussen de meetgegevens en het deterministische deel van het model onder natte omstandigheden groter zijn dan onder drogere omstandigheden. Indien dit inderdaad het geval is, wordt de variantie van de witte ruis waarschijnlijk voor een groot deel bepaald door de nattere omstandigheden. Wordt vervolgens de piekerigheid, het

stochastische deel, ook toegepast onder droge omstandigheden dan is het goed mogelijk dat de GLG lager uitkomt. Piekerigheid van de grondwaterstand onder droge omstandigheden, gebaseerd op een witte ruis die voor een groot deel bepaald wordt door natte omstandigheden, kan namelijk tot iets lagere grondwaterstanden leiden aangezien piekerig gedrag van de grondwaterstand onder droge omstandigheden meestal niet reëel is. Berekening van de GLG op basis van de 3 laagste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar kan hierdoor lager uitvallen. Om vast te stellen of de bovenstaande benadering de meest plausible verklaring is, is meer onderzoek noodzakelijk.

Een andere mogelijke verklaring voor het structureel lager uitkomen van de GLG op basis van lineaire tijdreeksmodellering zijn de niet-lineaire processen zoals drainage en berging. Bij het kalibreren van tijdreeksmodellen worden parameters gekalibreerd die een fysische betekenis hebben. Voor de fysische interpretatie van tijdreeksen wordt verwezen naar Bierkens e.a. (1999) en Knotters en Bierkens (1999). In figuur 5 zijn de fysisch geïnterpreteerde parameters van de voortschrijdende tijdreeksmodellen weergegeven. In de lineaire tijdreeksmodellen wordt feitelijk met één vaste waarde voor de drainageweerstand, bergingscoëfficiënt en het ontwateringsniveau gerekend. In deze figuur komt tot uiting dat de gekalibreerde drainageweerstand en bergingscoëfficiënt afhankelijk zijn van de gebruikte periode uit de grondwaterstandmeetreeks. Drainage vindt plaats naar nabijgelegen ontwateringsmiddelen die elk hun eigen drainagebasis hebben. Rond de meest voorkomende grondwaterstand zijn een aantal waterlopen in de omgeving watervoerend en drainerend voor het desbetreffende meetpunt. Indien bij de kalibratie de parameters worden gefit, die passen bij deze situatie, wordt geen rekening gehouden met bijvoorbeeld het droogvallen van waterlopen in drogere situaties, waarbij sterke niet-lineaire effecten kunnen optreden. Als gevolg van het droogvallen kan de drainageweerstand sterk toenemen waardoor de afvoer, en de daarmee samenhangende daling van de grondwaterstand, wordt afgeremd. Indien bij een tijdreeks-simulatie hier geen rekening mee wordt gehouden en dezelfde parameters worden gebruikt, blijft de gekalibreerde drainageweerstand bij de simulatie gelijk en is deze feitelijk te laag, waardoor de drainage en daarmee de daling van de grondwaterstand voor het desbetreffende punt in droge perioden te groot kan zijn. Hierdoor kunnen de diepe grondwaterstanden te laag gesimuleerd worden, waardoor de gesimuleerde GLG structureel onder de gemeten GLG uit kan komen. Omgekeerd kan dit ook gelden voor de GHG. Indien de drainageweerstand te hoog wordt ingeschat voor natte situaties kan het water in de simulatie niet voldoende draineren, waardoor de GHG structureel te hoog kan worden ingeschat.

Door het voortschrijdend uitvoeren van tijdreeksanalyse in combinatie met de toename van de periodelengte waarop wordt gekalibreerd is het ook mogelijk om meer inzicht te krijgen in de gekalibreerde tijdreeksparameters. In figuur 6 zijn de ontwateringsbasis, bergingscoëfficiënt en drainageweerstand weergegeven bij toename van de periodelengte waarop deze parameters zijn gekalibreerd. De gekalibreerde drainagebasis is relatief constant en kan goed worden geschat op basis van korte meetreeksen. De berekende drainagebasis komt in de praktijk veelal uit op een waarde rond het gemiddelde van de grondwaterstand. Hierdoor is het ongeacht de mate waarin de fluctuatie van de grondwaterstand kan worden verklaard met het deterministische deel toch mogelijk de drainagebasis goed te schatten.



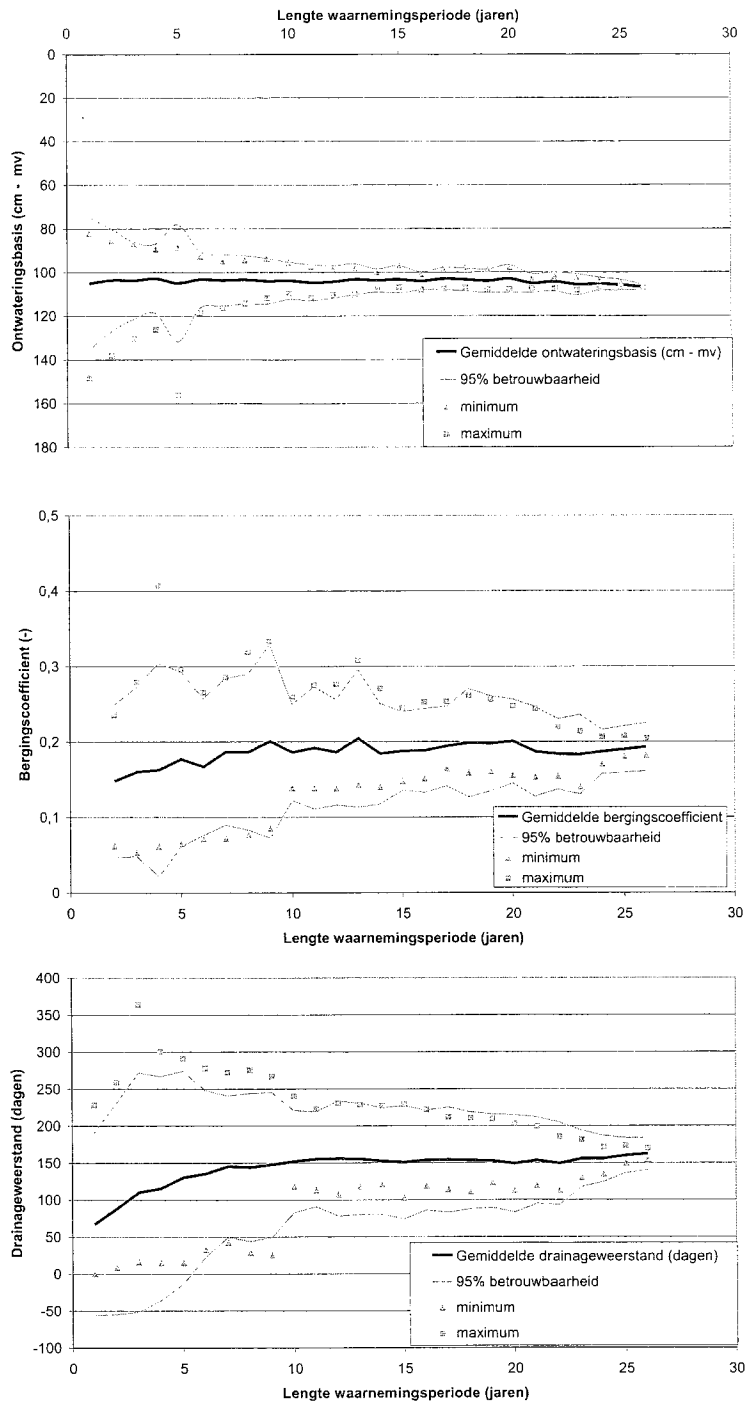
Figuur 5: Drainageweerstand, ontwateringsbasis en bergingscoëfficiënt berekend op basis van tijdreeksparameters van voortschrijdend gekalibreerde tijdreeksmodellen over 8 jaar (meetpunt 34DP0155).

Voor zowel de gekalibreerde bergingscoëfficiënt als de gekalibreerde drainageweerstand is er een verhoging in de getalswaarde te zien die toeneemt naarmate de periodelengte die gebruikt wordt bij de kalibratie toeneemt. Vooral de gekalibreerde drainageweerstand laat een toename zien in gekalibreerde waarden bij het gebruik van 1 tot ongeveer 10 jaar. Wellicht heeft deze toename in de uitkomsten te maken met de mate waarin het mogelijk is om parameters te schatten uit korte tijdreeksen. Het gebruik van meer meetgegevens heeft kennelijk tot gevolg dat het deterministische deel van het tijdreeksmodel steeds meer kan verklaren van de grondwaterstandsfluctuatie, waardoor de drainageweerstand en de bergingscoëfficiënt op steeds reëlere waarden uitkomen.

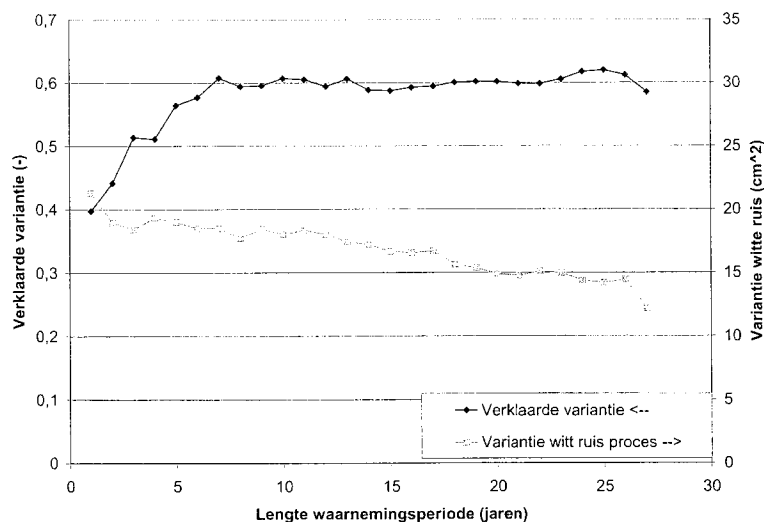
Indien het deterministische deel steeds meer kan verklaren wordt het stochastische deel van de tijdreeks steeds kleiner. Deze aspecten komen tot uiting in figuur 7, waarin zowel de verklaarde variantie van het deterministische deel van het tijdreeksmodel als de variantie van het witteruisproces zijn weergegeven.

Beide parameters zijn uitgezet tegen de lengte van de waarnemingsperiode die gebruikt is bij de kalibratie. De verklaarde variantie van het deterministische deel laat een toename zien bij toename van de gebruikte periodelengte die voor een groot deel overeenkomt met de toename van de drainageweerstand. Het gebruik van korte meetperioden heeft voor dit meetpunt tot gevolg dat het deterministische deel lang niet alle fluctuatie in de grondwaterstand kan verklaren, hetgeen tot uiting komt in een onderschatting van de drainageweerstand.

De variantie van het witteruisproces laat bij toename van de periodelengte een continue daling zien. Deze continue daling komt overeen met de continue vermindering van de spreiding voor zowel de GxG als de fysische parameters. Voor al deze parameters komt het er grofweg op neer dat het gemiddelde redelijk constant blijft na een gebruikte periodelengte van ongeveer 8–10 jaar, hetgeen ongeveer overeenkomt met de gemiddelde verklaarde variantie van het deterministische deel. Het gebruik van een langere meetperiode heeft tot gevolg dat de spreiding en daarmee de onzekerheid afneemt. Dit wordt waar-



Figuur 6: De ontwateringsbasis, bergingscoëfficiënt en drainageweerstand in relatie tot de periodelengte die gebruikt is bij de modelkalibratie (meetpunt 31DP0155).



Figuur 7: De verklaarde variantie van het deterministische deel van het transfer-ruismodel en de variantie van het witteruisproces in relatie tot de periodelengte die gebruikt is bij de modelkalibratie (meetpunt 31DP0155).

Tabel 1: Overzicht van de resultaten van de GHG en GLG voor de drie meetpunten.

Meetpunt	12EL0003		34DP0155		52GL0023	
	GxG	Std	GxG	Std	GxG	Std
Tijdreeksresultaat op basis van de gehele meetperiode (\pm 30 jaar) (cm -mv)						
GHG	20,5	1,0	58,0	2,2	98,8	3,0
GLG	76,4	1,2	135,6	2,5	203,9	2,8
Analyseresultaat op basis van de voortschrijdende 8 jaarse perioden (cm -mv)						
	Metingen	Tijdreeks	Metingen	Tijdreeks	Metingen	Tijdreeks
GHG	21,4	20,5	57,5	58,0	98,4	96,0
GHGmin	26,1	26,0	65,0	69,8	114,0	133,9
GHGmax	17,5	14,2	49,7	49,2	75,7	70,5
GHGstd	2,6	3,2	4,6	6,4	11,7	14,8
GLG	71,7	76,4	125,9	135,6	199,0	192,1
GLGmin	79,6	81,3	133,6	141,0	220,9	216,8
GLGmax	64,6	70,3	110,4	119,0	175,9	177,6
GLGstd	5,2	4,3	7,5	6,9	13,7	11,0

schijnlijk veroorzaakt doordat het gebruik van meer meetgegevens een betere schatting geeft van de variantie van het witteruisproces.

In tabel 1 is een overzicht van de resultaten van de GHG en GLG voor drie meetpunten weergegeven. De resultaten geven aan dat er een duidelijke beïnvloeding van het neerslagoverschot is op de berekende GHG en GLG. Ook bij het gebruik van tijdreeksen is de fluctuatie van de berekende klimaatsrepresentatieve GHG en GLG al snel enkele centimeters. De tijdreeksresultaten geven een geringe standaarddeviatie. De berekende standaarddeviatie neemt toe naarmate het meetpunt droger is. Uit de analyse blijkt dat de

standaarddeviatie groter is indien deze wordt gebaseerd op voortschrijdend gekalibreerde tijdreeksmodellen. Het hoger uitvallen van de onzekerheid wordt veroorzaakt doordat er bij de tijdreeksanalyse geen rekening is gehouden met de onzekerheid van het gekalibreerde model. Uit de analyse voor de drie meetpunten blijkt dat een klimaatrepresentatieve Gt moeilijk eenduidig is te voorspellen met lineaire transfer-ruis modellen (Van der Gaast en Massop, 2003).

Het effect van het gebruikte weerstation

Naast het effect van neerslag binnen verschillende kalibratieperioden is gekeken naar het effect van het gebruik van meetgegevens van verschillende weerstations. Om inzicht te krijgen in het effect van ruimtelijke meteorologische verschillen op de GxG zijn alle weerstations in een straal van 20 kilometer rond een buis geselecteerd en gebruikt voor de kalibratie van tijdreeksen. De meetwaarden van de geselecteerde weerstations kunnen verschillen in neerslagintensiteit en verdeling. Voor de verdamping zijn maar enkele weerstations beschikbaar, waardoor deze binnen een straal van 20 km meestal niet verschilt. In tabel 2 zijn de resultaten van de tijdreeksanalyse weergegeven. Voor alle weerstations binnen een straal van 20 kilometer zijn tijdreeksen gekalibreerd op een periode van 8 jaar. De 8 jaarperiode komt overeen met de laatste meetperiode van 8 jaar uit de voorgaande analyse.

Tabel 2: Overzicht van de resultaten van de GHG en GLG op basis van tijdreeksanalyse bij het gebruik van meerdere weerstations (cm -mv).

Meetpunt	12EL0003	34DP0155	52GL0023
	Tijdreeks N = 9	Tijdreeks N = 6	Tijdreeks N = 7
GHG	26,0	65,1	104,7
GHGmin	26,6	65,4	108,9
GHGmax	23,7	63,5	101,4
GHGstd	0,8	0,7	2,7
GLG	81,2	135,4	204,3
GLGmin	81,2	136,9	206,4
GLGmax	78,8	134,3	202,1
GLGstd	0,7	0,9	1,7

N is het aantal meteostations binnen een straal van 20 km.

De verschillen in de GxG tussen de verschillende tijdreeksen bedragen enkele centimeters. De verschillen en de standaarddeviatie zijn klein vergeleken met het gebruik van andere kalibratieperioden zoals eerder beschreven. Kennelijk hebben temporele verschillen in meteorologische omstandigheden meer effect op de berekende GxG dan ruimtelijke verschillen in meteorologische gegevens (Van der Gaast en Massop, 2003). Hierbij moet worden opgemerkt dat deze conclusie schaalafhankelijk is.

Conclusies

In de jaren '60 van de vorige eeuw is de karakterisering van de grondwaterstand in de vorm van een Gt ontwikkeld. In de praktijk komt het er op neer dat indertijd de GHG en de GLG op basis van meetgegevens over minimaal 8 jaar met een standaarddeviatie van gemiddeld respectievelijk 5 en 10 cm konden worden bepaald. De onzekerheid in de berekende GxG neemt toe naarmate de GxG dieper is en de periode waarover de GxG berekend wordt, korter is.

In de afgelopen twee decennia wordt er in toenemende mate gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse om de Gt klimaatrepresentatief te maken. Vergelijking van voortschrijdende tijdreekskalibraties over 8 jaar en simulaties voor 30 jaar geven aan dat de standaarddeviatie toeneemt naarmate de grondwaterstand dieper is. Voor de GHG bedraagt de standaarddeviatie ongeveer 5 cm en voor de GLG circa 10 cm. Daarnaast is een systematisch verschil tussen een GxG op basis van meetgegevens of een GxG op basis van tijdreeksanalyse mogelijk.

De analyse geeft tevens aan dat de berekende onzekerheid op basis van tijdreeksanalyse is onderschat. Het onderschatten van de onzekerheid wordt veroorzaakt door het niet verdisconteren van de onzekerheid in de parameters en de vorm van het gebruikte tijdreeksmodel.

Door gebruik te maken van verschillende weerstations en verschillende meetperioden is het mogelijk te concluderen dat temporele verschillen in meteorologische omstandigheden meer effect hebben op de berekende GxG dan ruimtelijke verschillen in meteorologische gegevens. Kennelijk is een nat jaar over een groot gebied nat en hebben afzonderlijke droge of natte jaren meer effect op de berekende GxG.

Al met al kunnen we concluderen dat de nauwkeurigheid waarmee we de GxG en daarmee de grondwatertrap bepalen nog steeds in de zelfde orde van grootte ligt als een berekende GxG op basis van meetgegevens van 8 opeenvolgende hydrologische jaren. Het komt er op neer dat we voor buislocaties de GHG kunnen bepalen met een standaarddeviatie van ongeveer 5 cm en de GLG met een onzekerheid van ongeveer 10 cm. Kennelijk is een klimaatrepresentatieve GxG moeilijk te voorspellen met lineaire tijdreeksmodellen. Recent zijn ook voorschrijdende kalibraties met het hydrologische ééndimensionale verticale model SWAP uitgevoerd, die vooralsnog maar een geringe verbetering geven van de gekalibreerde GxG. Meer onderzoek naar het gebruik van niet-lineaire modellen en het gebruik van deterministische modellen voor het bepalen van de GHG en GLG in relatie tot de nauwkeurigheid is wenselijke, waarbij onderzoek naar het kwantificeren van de modelonzekerheid een belangrijk aspect zou kunnen zijn.

Literatuur

Colenbrander, H.J. (1970) Waarneming en bewerking van grondwaterstand en bodemvochtgegevens; in: H.J. Colenbrander, H. Wassink, T. Blok en E.W. Schierbeek *Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied: 2^e interimrapport*, Provincie Gelderland, Arnhem.

Bierkens, M.F.P. en W.A. Bron (2000) VIDENTE: a graphical user interface and decision support system for stochastic modelling of water table fluctuations at a single location; Alterra-rapport 118, ISSN1566-7197; Alterra, Wageningen.

- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer (1999)** Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequentie; *Stromingen*, jrg 5, nr 2, pag 43–54.
- 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.W.J. van der en H.Th.L. Massop (2003)** Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland; Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties; Alterra-rapport 819, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.
- Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop (2005)** Het grondwaterregime als basis voor de grondwatertrap; in: *H₂O*, nr 22, pag 36–38.
- Heesen H.C. van en G.J.W. Westerveld (1966)** Karakterisering van het grondwaterstandsverloop op de bodemkaart; in: *Cultuurtechnisch Tijdschrift*, jaargang 5.
- Heesen, H.C. van (1971)** De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten; in: *Boor en Spade* 17, pag 127–149; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Knibbe M. en B.A. Marsman (1961)** Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden; Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no 16); Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum (1994)** Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop; SC-Rapport 350, Wageningen.
- Knotters, M. en M.F.P. en Bierkens (1999)** Tijdreeksmodellen van de grondwaterstand. Een kijkje in de black box; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 3, pag 35–50.
- Sluijs, P. van der en Th. van Egmond (1976)** De grondwatertrap op de bodemkaart van Nederland (schaal 1:50.000); in: *Polytechnisch Tijdschrift*; editie Bouwkunde wegen- en waterbouw 31(10), pag 628–633.