
Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten?

Martin Knotters
Marc F.P. Bierkens

De grondwaterstand wordt op tal van plaatsen en om tal van redenen gevolgd in de tijd. Op die manier ontstaan tijdreeksen waaruit informatie over het dynamische gedrag van de grondwaterstand kan worden afgeleid, als die reeksen tenminste lang genoeg zijn. Bij het inrichten en in stand houden van grondwatermeetnetten kan de vraag rijzen hoe lang je de grondwaterstand tenminste moet meten om de grondwaterstandsdynamiek te kunnen karakteriseren. In dit artikel zullen voor 51 locaties verspreid over het pleistocene deel van Nederland de responstijden voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand worden gegeven, alsmede beknopte bodemkundig-hydrologische beschrijvingen van deze locaties. De responstijden geven een idee van de minimale lengte van de reeks die nodig is om de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand goed te kunnen beschrijven. In de toekomst zou deze lijst kunnen worden uitgebreid en gedifferentieerd.

Inleiding

De freatische grondwaterstand is het niveau waarop je het eerste vrije water in de bodem tegenkomt als je een gat in de grond boort. In Nederland is dit vaak al binnen enkele meters diepte, en daarom is de grondwaterstand hier van belang voor de groei van planten en bomen. De grondwaterstand varieert in de tijd, voornamelijk onder invloed van het neerslagoverschot. Ook andere invloeden, zoals rivierwaterstanden, waterwinningen en ingrepen in de waterhuishouding kunnen het dynamische gedrag van de grondwaterstand beïnvloeden. Grondwaterstanden worden waargenomen op tal van plaatsen. Door TNO worden de gegevens beheerd in de OLGA-databank (Van Bracht, 1988).

Voor diverse toepassingen in de landbouw, de ecologie en het milieubeheer wordt het dynamische gedrag van de grondwaterstand samengevat in karakteristieken. Bekende karakteristieken voor de fluctuatie zijn de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand, GHG en GLG, die in zogenaamde grondwatertrappen kunnen worden ingedeeld en op bodemkaarten worden weergegeven (Van der Sluijs, 1990). Een karakteristiek die voornamelijk in de ecologie toepassing heeft gevonden is de duurlijn (Jansen, 1981; Grootjans, 1985; De Haan, 1992). Karakteristieken die representatief zijn voor de hydrologische omstandigheden onder het heersende klimaat - dat is het gemiddelde weer over een lange

Martin Knotters en Marc F.P. Bierkens zijn werkzaam bij DLO-Staring Centrum, Postbus 125, 6700 AC Wageningen, e-mil: m.knotters@sc.dlo.nl.

periode, zeg 30 jaar - kunnen niet zonder meer uit tijdreeksen worden berekend. De meeste grondwaterstandstijdreeksen zijn namelijk korter dan 30 jaar, en als ze lang genoeg zijn dan omvatten ze vaak meerdere hydrologische regimes als gevolg van ingrepen die in de loop van de tijd hebben plaatsgevonden. Daardoor kunnen karakteristieken die representatief zijn voor het huidige regime niet goed worden geschat uit dergelijke reeksen.

Knotters en Van Walsum (1994, 1997) hebben een methodiek ontwikkeld waarbij een transfer-ruis-model of een fysisch-mechanistisch model (SWATRE) wordt gekalibreerd op een korte reeks grondwaterstanden (2 tot 10 jaar lang). Met dit model wordt vervolgens een 30 jaar lange reeks neerslagoverschotten getransformeerd in een 30 jaar lange reeks grondwaterstanden waaruit de gewenste karakteristieken kunnen worden berekend. Om deze methodiek goed toe te kunnen passen zijn grondwaterstandsreeksen nodig die op zijn minst de dynamische respons van de grondwaterstand op het neerslagoverschot beslaan. De tijd dat een verandering in het neerslagoverschot nog nawerkt in de grondwaterstand wordt de responstijd genoemd. Bij het inrichten of het beheren van een grondwatermeetnet kan inzicht in de responstijd erg nuttig zijn: het geeft een idee hoe lang er (nog) gemeten moet worden om een tijdreeks te verkrijgen waaruit karakteristieken kunnen worden berekend.

Het doel van dit artikel is om inzicht te verschaffen in de responstijden voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand in de open zandgronden in het pleistocene deel van Nederland. Hiertoe worden gegevens van 51 locaties gebruikt die zijn verzameld in het kader van een studie naar de samenhang tussen parameters van tijdreeksmodellen en fysische hulpinformatie (Knotters en Bierkens, 1998). Het artikel beoogt niet een volledig beeld van responstijden te geven, want daartoe is de dataset niet toereikend. De beschrijving van de locaties blijft beperkt tot de bodemkundig-hydrologische informatie zoals die aan bodemkaarten kan worden ontleend. De tabel die wordt gepresenteerd kan steeds verder worden uitgebreid en gedifferentieerd naarmate er van meer locaties zowel responstijden als bodemkundig-hydrologische beschrijvingen bekend zijn. In dit artikel zullen eerst de dataset en de methode kort worden beschreven. Vervolgens wordt de tabel met responstijden gepresenteerd. Het artikel wordt afgesloten met een discussie van de inhoud van de tabel en enkele conclusies.

Materialen en methode

De 51 grondwaterstandsreeksen zijn geselecteerd uit de bestanden OLGA en OLGA-SUN. Het laatste bestand bevat data van respectievelijk Staatsbosbeheer, de Unie van Landschappen en de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten. De locaties zijn zodanig geselecteerd dat een gebalanceerde verdeling over bodemtextuurklassen, grondwatertrappen, regio en landgebruiksvorm werd verkregen (Knotters en Bierkens, 1998). Bij elke locatie is een bodemkundige profielbeschrijving gemaakt. De GHG en GLG zijn berekend met behulp van de methodiek die beschreven is door Knotters en Van Walsum (1994, 1997) op basis van transfer-ruismodellen. Op elke reeks werd een ARX(1,0)-model gekalibreerd met het potentiële neerslagoverschot op dagbasis als invoer (ARX: *autoregressive exogenous variable*). Het model heeft de volgende vorm:

$$H_t - \mu = a_1(H_{t-1} - \mu) + b_0P_t + \varepsilon_t.$$

Hierin is P_t het gemiddelde neerslagoverschot tussen $t - 1$ en t , H_t de grondwaterstand, a_1 en b_0 zijn autoregressieve parameters en ε_t is een foutenterm die wordt verondersteld onafhankelijk in de tijd te zijn, met gemiddelde 0 en een constante en eindige variantie. Het model werd gekalibreerd op reeksen met soms een onregelmatige meetfrequentie met behulp van het Kalmanfilter-algoritme dat beschreven is door Bierkens e.a. (1999). De responstijd r werd berekend met

$$r = \frac{-3}{\ln a_1}.$$

De responstijd kan ook worden gebruikt om de maximale afstand tussen twee waarnemingen te bepalen. Als de responstijd wordt gebruikt om zowel de minimale reekslengte als de maximale afstand tussen twee waarnemingen te bepalen, dan zou dit leiden tot reeksen met slechts twee waarnemingen. Naast de responstijd moet in dat geval ook het minimale aantal waarnemingen dat nodig is om de modelparameters nauwkeurig te kunnen schatten bepalend zijn voor de minimale reekslengte en de maximale afstand tussen de waarnemingen.

Resultaten

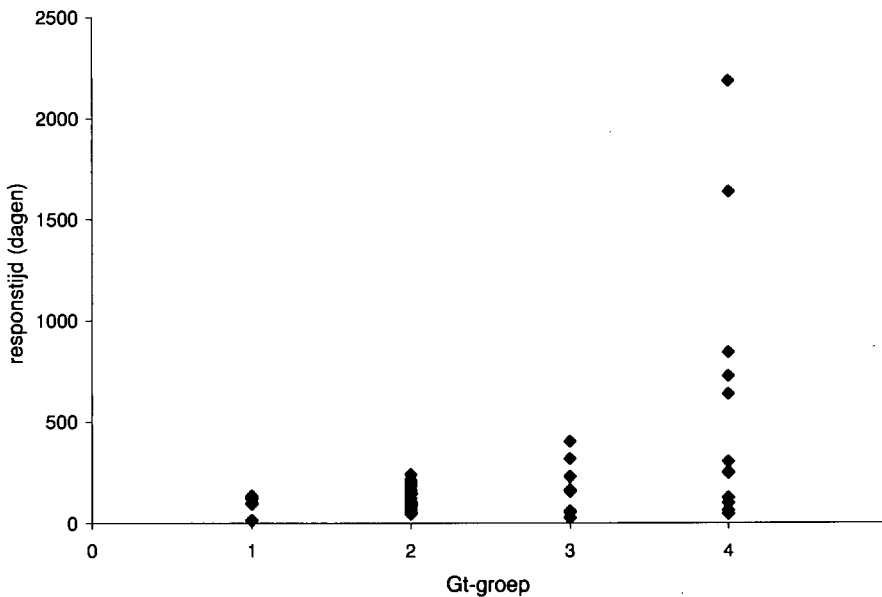
De resultaten zijn globaal gerangschikt naar actuele Gt-klasse weergegeven in tabel 1. De Gt-klassen worden toegelicht in tabel 2. Voor een verklaring van de bodemkundige termen wordt verwezen naar De Bakker en Schelling (1989) en naar de toelichtingen bij de bodemkaarten. De eerste groep Gt's betreft gronden waarbij de GHG ondieper dan 25 cm is. Dit zijn vaak gronden in kwelsituaties en gebieden met weinig voorzieningen voor ont- en afwatering. Groep 2 omvat vier Gt-klassen waarbij de GHG tussen 25 cm en 80 cm voorkomt en de GLG ondieper is dan 180 cm. Vaak zijn deze situaties ontstaan uit gronden die oorspronkelijk natter waren, doordat de ontwatering in de loop van de tijd is geïntensiveerd. Groep 3 heeft betrekking op Gt-klasse VIIo, waarbij de GHG dieper dan 80 cm is maar de GLG ondieper dan 180 cm. Dit zijn droge situaties die behalve door een natuurlijke hoge ligging ook door een sterke ontwatering of een wateronttrekking kunnen ontstaan. Groep 4 bevat de droogste situaties: de GHG bevindt zich dieper dan 80 cm en de GLG bevindt zich dieper dan 180 cm. Deze gronden hebben een natuurlijke hoge ligging, zijn zeer sterk ontwaterd of liggen binnen de invloedssfeer van een waterwinning. In figuur 1 zijn de responstijden per Gt-groep grafisch weergegeven.

Tabel 1: Responstijden in 51 open zandgronden (buisnummer, responstijd (dagen), bodemkundige omschrijving, actuele Gt-klasse en fussen haakjes: Gt-klasse op de Bodemkaart 1 : 50 000)

1 Gt's Ia, Ila en IIIa:		
16FP7053	97	broekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, IIIa (III)
21HL0019	12	bruine beekeerdgrond, zwak lemig matig fijn zand, Ila (IV)
27DP7603	121	vierveengrond op grof zand, Ia (III)
28DP7037	15	broekeerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Ila (IV)
32HL0105	94	zwarte enkeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, IIIa (III)
50AP7608	134	broekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Ia (I)
50AP7615	100	beekvaaggrond, zwak lemig matig fijn zand, Ia (III)
2 Gt's IIIb, IV, Vbo en Vlo:		
12EL0026	100	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (IIIb)
16GL0007	94	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (V)
21HL0018	54	laarpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (IV)
27DL0031	145	bruine enkeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (IIIb)
28FL0125	182	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (VII)
28FP7015	212	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, IIIb (VI)
28GL0008	143	zwarte beekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (VIIb)
28HL0079	205	zwarte enkeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (IIIb)
29CL0021	83	laarpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (Vb)
32GL0021	47	gooreerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (II)
34BP0192	124	gooreerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (VII)
34CP7003	106	veldpodzolgrond, leemarm matig fijn zand, Vlo (VII)
34CP7016	146	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (V)
34DP0155	69	bruine enkeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (Vb)
34GL0007	84	veldpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (Vb)
34GL0012	189	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (Vb)
41BP7014	45	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (IIIb)
41BP7018	200	veldpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (III)
45CL0024	164	zwarte beekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (V)
50AP7618	88	veldpodzolgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vbo (V)
51AL0003	150	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (VI)
52DL0010	65	bruine beekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (VI)
57AP7802	238	veldpodzolgrond, sterk lemig zeer fijn zand, IV (V)
3 Gt Vlo:		
12FL0033	57	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (V)
22CL0044	229	bruine enkeerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (VII)
27HP0064	26	zwarte beekeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (V)
28BL0052	53	veldpodzolgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlo (VI)
28DL0026	162	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (VI)
28FP7017	157	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlo (VI)
33BL0003	319	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (IV)
51FL0004	60	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (VI)
51GP0087	403	veldpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlo (VI)
4 Vlld en Vllld:		
16EL0035	126	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlld (Vb)
21FL0016	250	gooreerdgrond, leemarm matig fijn zand, Vlld (VI)
21FL0033	100	zwarte enkeerdgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlld (VI)
28BL0051	45	meerveengrond op sterk lemig fijn zand, Vlld (IV)
28DL0044	63	laarpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlld (VII)
28GL0075	303	zwarte enkeerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlld (V)
33FL0049	638	veldpodzolgrond, zwak lemig zeer fijn zand, Vlld (VII)
34BL0013	842	veldpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlld (IV)
41AL0059	245	gooreerdgrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlld (VI)
44HP7804	723	veldpodzolgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlld (V)
52CL0044	1640	zwarte beekeerdgrond, zwak lemig matig fijn zand, Vlld (VII)
57EL0006	2183	vlakvaaggrond, sterk lemig zeer fijn zand, Vlld (VII)

Tabel 2: Verklaring van de grondwatertrappen in tabel 1. Waarden in cm – maaiveld.

Grondwatertrap	Gemiddeld hoogste grondwaterstand	Gemiddeld laagste grondwaterstand
I	-	< 50
Ia	< 25	< 50
IIa	< 25	50 – 80
III	< 40	80 – 120
IIIa	< 25	80 – 120
IIIb	25 – 40	80 – 120
IV	40 – 80	80 – 120
V	< 40	> 120
Vb	25 – 40	> 120
Vbo	25 – 40	120 – 180
VI	40 – 80	> 120
Vlo	40 – 80	120 – 180
VII	80 – 140	> 120
VIIo	80 – 140	120 – 180
VIIId	80 – 140	> 180
VIIIId	> 140	> 180



Figuur 1: Responsijtjd versus groep van actuele Gt-lassen voor 51 locaties in het pleistocene deel van Nederland. Groep 1: Gt's Ia, IIa en IIIa. Groep 2: Gt's IIIb, IV, Vbo en Vlo. Groep 3: Gt VIIo. Groep 4: Gt's VIIId en VIIIId.

Discussie

Op het eerste gezicht lijkt er op basis van tabel 1 weinig samenhang te bestaan tussen de bodemkundig-hydrologische situatie en de responstijden; er is een grote spreiding in responstijden te zien bij alle categorieën Gt's. Toch tekent zich in figuur 1 een beeld af van een toenemende responstijd met een toenemende diepte van de Gt: de gemiddelde responstijd voor groep 1 is 82 dagen (standaardafwijking: 49 dagen), voor groep 2 is dit 128 dagen (58), voor groep 3 is de gemiddelde responstijd 163 dagen (132) en voor groep 4 is deze 597 dagen (679).

Uit tabel 1 en figuur 1 blijkt dat ook bij diepere grondwaterspiegels korte responstijden kunnen voorkomen. In een aantal gevallen kan dit worden verklaard uit het feit dat de fluctuatie in de buis wordt bepaald door de relatief natte omgeving, terwijl de buis zelf relatief hoog ligt, bijvoorbeeld op een erf of in een wegberm. Door de relatief hoge maaiveldsligging van deze buizen valt de grondwaterstandsfluctuatie in de drogere Gt-klassen, maar het dynamische gedrag is karakteristiek voor nattere situaties in de omgeving. Dit is in groep 2 het geval bij buis 12EL0026, 21HL0018, 29CL0021 en 32GL0021, in groep 3 bij buis 27HP0064 en in groep 4 bij buis 16EL0035, 21FL0033 en 28BL0051. In andere gevallen kunnen de korte responstijden worden verklaard uit de aanwezigheid van een sloot op korte afstand van de buis, die zorgt voor een snelle afvoer van grondwater wat leidt tot korte responstijden: in groep 2 treedt deze situatie op bij buis 41BP7014, 50AP7618 en 52DL0010 en in groep 3 bij buis 12FL0033, 27HP0064 en 28BL0052. Op basis van de ligging kan geen verklaring worden gegeven voor de relatief korte responstijd van de grondwaterstand in buis 16GL0007 (groep 2), 34GL0007 (groep 2), 51FL0004 (groep 3) en 28DL0044 (groep 4).

Hoe korter de responstijd, hoe beter, want er hoeft maar kort te worden gemeten om het dynamische gedrag van de freatische grondwaterspiegel te kunnen karakteriseren. Maar houdt een responstijd van enkele weken nu echt in dat je kunt volstaan met enkele weken meten? Zo mooi is het natuurlijk niet. In de meetperiode moet het neerslagoverschot en diens gevolg de grondwaterstand op zijn minst gevarieerd hebben. Verder kan het zo zijn dat de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand in werkelijkheid varieert in de tijd, afhankelijk van het niveau van de grondwaterstand. Ook kan de samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand tijdens een periode van grondwaterstandsstijging anders zijn dan tijdens een periode van grondwaterstandsval. Lineaire, tijdsinvariante modellen geven in dergelijke situaties een soort 'gemiddelde' samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand voor het totale traject van grondwaterstandsfluctuatie. Om een niet-lineair model te kunnen kalibreren zijn in dergelijke situaties waarnemingen over het gehele bereik van de grondwaterstandsfluctuatie nodig. Daarom is het bij zowel lineaire, tijdsinvariante als niet-lineaire modellen van belang dat in de meetperiode zowel diepe als ondiepe grondwaterstanden voorkomen en zowel aanvullings- als uitputtingsverlopen. De reeks moet dus minimaal een volledig jaar beslaan, met hoge en lage grondwaterstanden. En aangezien er in Nederland jaren voorbijgaan met alleen hoge grondwaterstanden, zoals recentelijk, of alleen lage grondwaterstanden, zoals in 1976, is één jaar soms ook niet voldoende. Responstijden die langer zijn dan circa één jaar komen in tabel 1 voor vanaf Gt-klasse VIIo en droger. We zien de responstijden dan oplopen tot 2183 dagen (6 jaar). Bij het 'traagste' systeem uit tabel 1, buis 57EL0006 bij Leenderstrijp in Noord-Brabant, moet

dus tenminste 6 jaar lang de grondwaterstand worden gemeten om karakteristieken die representatief zijn voor het hydrologische regime te kunnen berekenen.

Tabel 1 vermeldt behalve de actuele Gt-klasse ook de Gt-klasse zoals deze voorkomt op de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. In sommige gevallen is de actuele Gt-klasse 'natter' dan de Gt-klasse van de bodemkaart. Dit kan het effect van vernattingsmaatregelen zijn. Bij een aantal buizen in natuurgebieden is het echter waarschijnlijker dat de buis welbewust in een lager deel van het terrein is geplaatst, om op dit interessante terreingedeelte de grondwaterstand goed te kunnen monitoren, maar dat dit lagere deel te klein van oppervlak is om op de bodemkaart schaal 1:50 000 weer te geven en dus tot de zogenaamde 'onzuiverheid' van het kaartvlak behoort. Buizen in natuurterreinen zijn herkenbaar aan de code: als de laatste vier cijfers een getal groter dan 7000 vormen ligt de buis in een terrein van Staatsbosbeheer, de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten of de Unie van Landschappen.

Veel vaker komt het echter voor dat de actuele Gt-klasse 'droger' is dan de Gt-klasse op de bodemkaart. Dit kan het effect van verdroging zijn. In een aantal gevallen ligt echter ook hier de buis in een 'onzuiverheid' van het kaartvlak van de bodemkaart schaal 1:50 000. Niet omdat de kaartvlakken zo onzuiver zouden zijn, maar omdat buizen nu eenmaal vaak langs wegen of op erven worden geplaatst, die doorgaans hoger liggen dan de omgeving.

Conclusie

De minimale lengte van de periode waarin de grondwaterstand moet worden waargenomen om het dynamische gedrag voor het actuele hydrologische regime te kunnen karakteriseren, hangt af van de responstijd tussen grondwaterstand en neerslagoverschot en de variatie van het neerslagoverschot. In de open zandgronden in het pleistocene deel van Nederland is de responstijd voor Gt's VIo en natter korter gebleken dan een jaar. Afhankelijk van de variatie van het neerslagoverschot kan in deze situaties worden volstaan met één of enkele jaren meten. Voor Gt VIIo en droger kunnen de responstijden langer zijn dan één of enkele jaren en dient ook navenant langer de grondwaterstand gemeten te worden.

Het is van belang dat er in de meetperiode geen ingrepen in het grondwatersysteem hebben plaatsgevonden. Verder dient te worden opgemerkt dat situaties die worden beïnvloed door bijvoorbeeld onttrekkingen en rivierstanden buiten beschouwing zijn gebleven. Ook de invloeden van zeer traag reagerende systemen in de omgeving, zoals stuwwallen of duinen, zijn buiten beschouwing gebleven.

Het overzicht van de responstijden in dit artikel geeft nog geen compleet beeld voor pleistoceen Nederland. Het is een eerste aanzet tot een meer volledig en gedifferentieerd bestand van responstijden. De tabel die is gegeven kan in de toekomst worden uitgebreid met buizen waarvoor zowel de responstijd als de bodemkundig-hydrologische beschrijving bekend is.

Literatuur

- Bakker, H. de en J. Schelling (1989)** Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Tweede, gewijzigde druk, bewerkt door D.J. Brus en C. van Wallenburg; PUDOC, Wageningen.
- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer (1999)** Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 3, pag 43–54.
- Bracht, M.J. van (1988)** OLGA: On Line Grondwater Archief; rapport PN88-11, DGV-TNO, Delft.
- Grootjans, A.P. (1985)** Changes of groundwater regime in wet meadows; proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen.
- Haan, M.W.A. de (1992)** De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke plantengemeenschappen van de Littorelletea, Isoeto-Nanojuncetetea, Oxycocio-Sphagnetetea en Scheuchzerietetea; KIWA-rapport SWE92.015, Nieuwegein.
- Jansen, P.C. (1981)** Verwerking, interpretatie en toepassingsmogelijkheden van grondwaterstandsgegevens met behulp van overschrijdingsduurlijnen; ICW-rapport 1260, Wageningen.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens (1998)** The relationship between time series models for water table depth and physical information; rapport 167 DLO–Staring Centrum, Wageningen.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum (1994)** Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop. Rapport 350 DLO–Staring Centrum, Wageningen.
- 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* 197, pag 25–46.
- Sluijs, P. van der (1990)** Grondwatertrappen; in: W.P. Locher en H. de Bakker (red.), Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.