
Rare reeksen

De 'oneerlijke' reeks

door Kees Maas

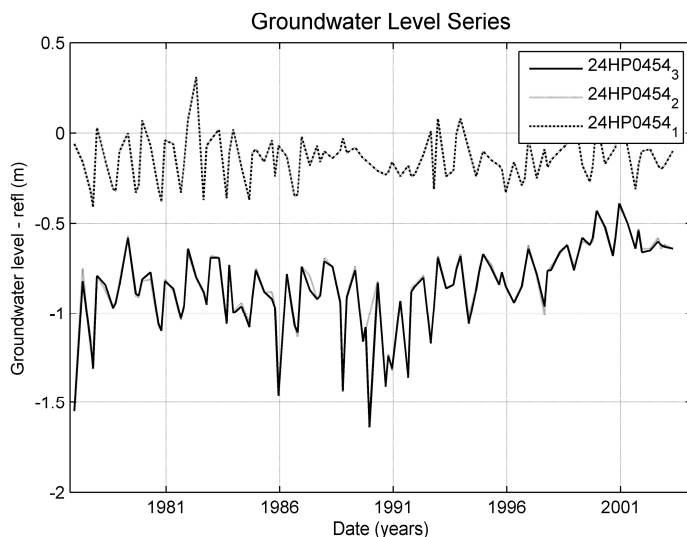
De meetreeksen

De reeksen van figuur 1 zijn feitelijk dood-normaal, maar ze zetten me toch aan het nadenken. Misschien u ook wel. Peilbuis 24HP0454 staat in de Polder Vogelenzang, op ongeveer 500 meter van de Amsterdamse Waterleidingduinen. Er is in dit gebied veel te doen over de vraag of natuurherstelmaatregelen in de duinen tot vernatting van bloembollenpercelen en urbane gebieden geleid kunnen hebben. De inzichten verschillen. Bollentelers hebben bij het waterleidingbedrijf een schadeclaim neergelegd van 6 miljoen oude guldens, maar daarover is het laatste woord nog niet gesproken. Ik ga met deze Rare Reeksen geen duit in het zakje doen. (Eens heb ik in dit tijdschrift een volstrekt geanonymiseerd verhaal geschreven (Maas, 2001) over intrigerende hydrologische aspecten van een zaak die 'nog onder de rechter was', en me de verontwaardiging op de hals gehaald van een goedgebekte advocate die kennelijk ons lijfblad leest. Gelukkig was er een andere advocaat die me gratis rechtshulp aanbood, maar daar ga ik nu niet op rekenen¹. Dus: als dit artikel u tot conclusies verleidt, zijn die geheel voor uw rekening). Figuur 1 vertoont de tijd-stijghoogtelijnen van waarnemingsfilters op respectievelijk 2, 17 en 30 m –NAP. De bovenste reeks geeft het ver-

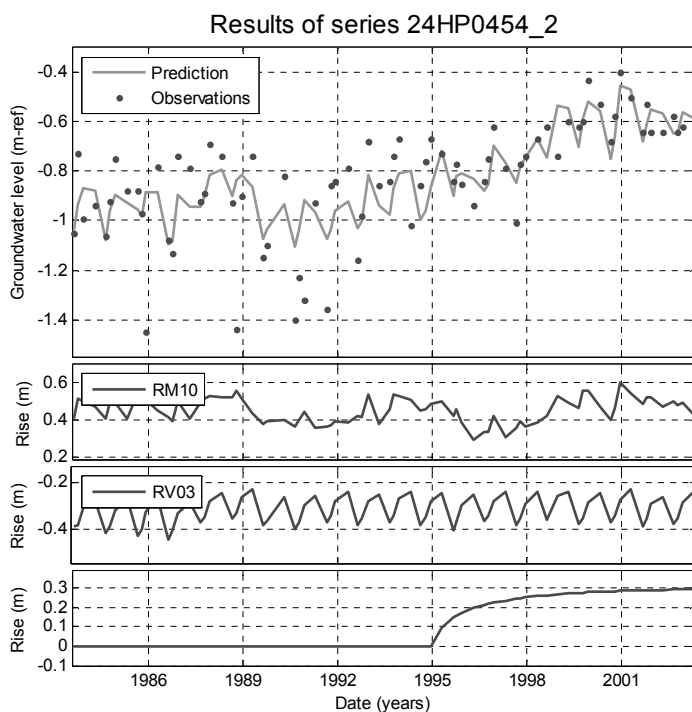
loop van de freatische grondwaterstand weer; de andere twee filters staan onder een scheidende laag. De waarnemingsfrequentie is maar vier keer per jaar, maar toch is goed te zien dat de jaarlijkse fluctuatie van de grondwaterstand in alle filters optreedt. In de diepe filters is bovendien vanaf 1995 een duidelijke stijging te zien, die ik in verband breng met vernattingsmaatregelen in de duinen. Deze suggestie komt voor mijn rekening, maar in 1995 is het Van Limburg Stirumkanaal gedempt, waarmee voorheen water werd gewonnen. Omstreeks die tijd is ook het peil van een ander winningskanaal, het Oosterkanaal, 50 cm opgezet en is een diepe winning gestaakt. (Dit is lang niet de enige buis waarin de stijging opvalt. In de duinen zelf staan talloze waarnemingsfilters die eenzelfde patroon vertonen, zeker in de buurt van het gedempte kanaal). Maar in de freatische grondwaterstand is op het oog geen trend te ontdekken. Ik heb Menyanthes² de freatische reeks laten toetsen op een staptrend, met de stap in 1995. Het programma kwam tot een sprong van 2,5 mm plus of min 2 cm. Statistisch gesproken is er dus geen reactie aangetoond. Ik heb Menyanthes ook de diepe tijdreeksen laten ontleden in deelreeksen die aan neerslag, verdamping en duinvernatting zijn toe te schrijven. Figuur 2 geeft daarvan het resultaat. De onderste drie grafieken zijn de deelreeksen. Opgeteld leveren ze de getrokken lijn in de bovenste grafiek op. Die sluit zeker niet perfect aan op de meetpunten, maar gelet op de extreem lage waarnemingsfrequentie is dit lang geen slecht resultaat. Er is een behoorlijke jaarfluctuatie te zien, en het lijkt erop dat duinvernatting in het diepe grondwater uiteindelijk een stijging van zo'n 30 cm teweeg zal brengen. Hier hoort ook weer een onzekerheidsmarge bij, die Menyanthes wel meelevert, maar daarmee zal ik u niet vermoeien.

¹ Lezers vragen me af en toe hoe het is afgelopen met die boer die op de rand van een vuilnisbelt woonde. De zaak, die een dikke stapel moeilijke rapporten van deskundigen genereerde, is doorgezet tot aan de Hoge Raad, die beschikte dat de boer eerder aan de bel had moeten trekken. De rapporten konden dus ongelezen blijven.

² www.menyanthes.nl



Figuur 1: Een ondiepe (boven) en twee diepe tijdreeksen (onder) van de grondwaterstand, waargenomen in peilbuis 24HP0454.

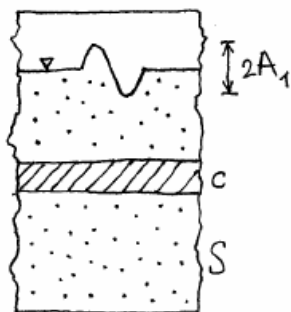


Figuur 2: Ontleding van de grondwaterstijgheohte in deelreeksen die toe te schrijven zijn aan neerslag (RM10), verdamping (RV03) en duinvernassing (onderste lijn). De drie deelreeksen geven samen de getrokken lijn in de bovenste grafiek. Dat de lijnen hoekig verlopen komt doordat de grondwaterstanden alleen zijn uitgerekend op tijdstippen waarop waarnemingen gedaan zijn. De resultaten zijn met rechte lijnstukjes verbonden.

Waar het mij om gaat is dat de stijging in de diepere aquifer niet of nauwelijks naar boven toe doorwerkt, terwijl dus de jaarlijkse fluctuaties onder invloed van neerslag en verdamping wel gewoon doorwerken naar de diepte! Het lijkt haast oneerlijk...

De verklaring

Het gaat in deze aflevering van Rare Reeksen dus om de interactie tussen diepe en ondiepe aquifers. Ik beschouw eerst de doorwerking van de freatische fluctuatie naar de diepte. Figuur 3 geeft een rekenschema.



Figuur 3: Rekenschema (1)

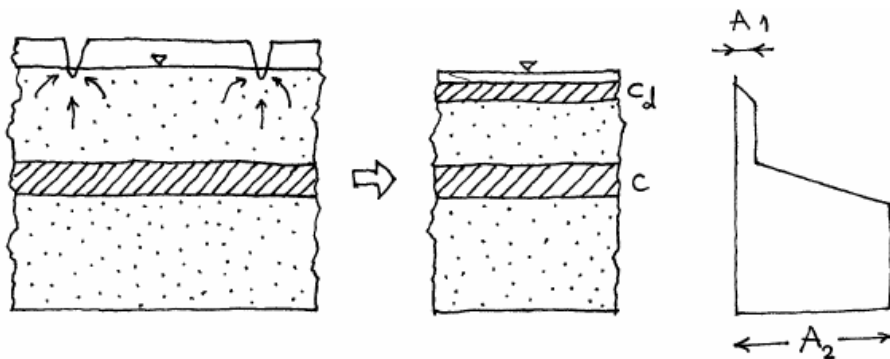
De grondwaterspiegel voert (in mijn rekenschema!) onder invloed van neerslag en verdamping een sinusvormige jaarfluctuatie uit met een amplitude A_1 . Als er verder geen andere 'stresses' zijn, kan aangetoond worden dat de beweging van de diepe stijghoogte ook sinusvormig is, eventueel met een ander amplitude en een zeker faseverschil, maar geheel met dezelfde frequentie. De amplitude van de jaarfluctuatie in de onderste laag noem ik A_2 . In de appendix leid ik een uitdrukking af voor de verhouding tussen A_1 en A_2 . Het resultaat is

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{T} cS\right)^2} \quad (1)$$

Hierin is T de duur van de fluctuatie (365 dagen), c is de weerstand van de scheidende laag en S is de elastische bergingscoëfficiënt van de diepe watervoerende laag. Voor half afgesloten watervoerende lagen is het product cS vrijwel overal in Nederland kleiner dan 1; meestal veel kleiner. Maar laat het eens 10 zijn. Dan nog ligt de verhouding A_1/A_2 in de buurt van 1. Alleen onder zeer ondoorlatende lagen vindt men de seizoensfluctuatie niet meer terug. (Zo'n reeks werd besproken in Rare Reeksen 4.) De doorwerking van de jaarlijkse fluctuatie naar de diepte is dus een doodgewoon verschijnsel.

Hoe gaat het nu van beneden naar boven? Bij doorwerking van een ingreep, zoals vernatting, is men meestal geïnteresseerd in de eindsituatie. Als men zich dat realiseert, ziet men al gauw dat mijn vraag in de eerste alinea van dit verhaal verkeerd gesteld is. In formule (1) speelt de elastische bergingscoëfficiënt S een belangrijke rol. Dat is typisch een parameter die te maken heeft met dynamische processen. Bij stationaire doorwerking speelt S in het geheel geen rol. Het vergelijken van jaarfluctuaties met een eenmalige ingreep is dus een kwestie van appels en peren.

Toch ben ik wel benieuwd naar de stationaire doorwerking van boven naar beneden en van beneden naar boven toe. Als er geen zijdelingse afstroming plaatsvindt, zal een eenmalige peilverhoging in de freatische aquifer vroeger of later één op één doorwerken in alle aquifers. Om te zien hoe een verlaging in de diepere watervoerende laag naar boven toe doorwerkt, werk ik het rekenschema wat verder uit (figuur 4).



Figuur 4: Rekenschema.

Het diepe grondwater moet eerst door de scheidende laag heen en daarna moet het zijn weg vinden naar de drainerende watergangen. Het moet dus twee weerstanden overwinnen, en het hangt helemaal van de verhouding tussen die weerstanden af hoe ver de freatische grondwaterstand omhoog komt. Voor een vuistregel schematiseer ik figuur 3 verder tot figuur 4. Hier zijn de discrete watergangen over het hele gebied uitgesmeerd, en hun weerstanden zijn een nep c -laagje geworden. Ik vind het zelf niet elegant, maar ik beroep me op de dagelijkse praktijk van numerieke grondwatermodelbouwers. Het diagram naast figuur 4 geeft het stijghoogteverloop weer als functie van de diepte. (Het gaat hier alleen om het deel van de stijghoogte dat aan duinvernating is toe te schrijven). Noem de ondiepe stijghoogte weer A_1 en de diepe A_2 , dan is in te zien dat wegens continuïteit van stroming geldt dat

$$\frac{A_2 - A_1}{c} = \frac{A_1}{c_d} \quad (2)$$

waarin c_d (d) de drainageweerstand is; dat is de c -waarde van het nep-laagje. Uitwerken geeft

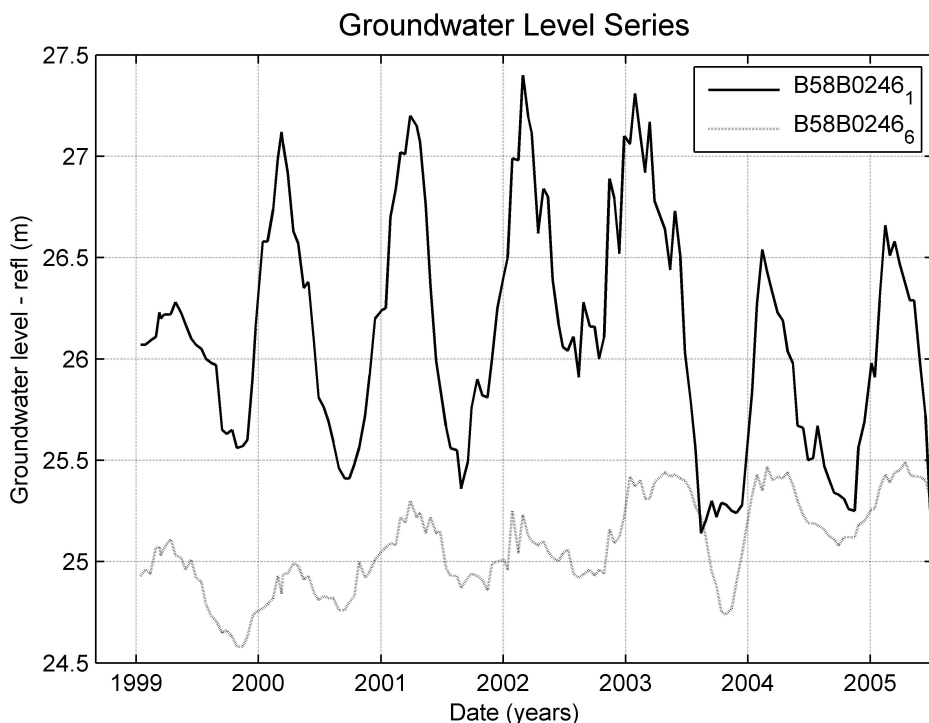
$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{c_d}{c + c_d} \quad (3)$$

Dit is natuurlijk wel bekend. In het gebied waar de peilbuis staat, wordt c geschat op 1500 dagen. Uit de tijdreeksanalyse van de ondiepe waarnemingsreeks volgt dat de drainageweerstand c_d op deze plaats 120 dagen bedraagt. Daarmee vind ik $A_1 = 0,07 A_2$. De invloed van duinvernating op de diepe stijghoogte, A_2 , was 30 cm (zie figuur 2). De invloed op de freatische grondwaterstand schat ik dus op 2,1 cm. Dat stemt redelijk overeen met de stap-trend van 2,5 mm plus of min 2 cm die Menyanthes vond, maar dat zal wel beginnersgeluk zijn³.

Tot slot voeg ik nog twee meetreeksen toe uit het Limburgse deel van de Centrale Slenk (figuur 5). Het diepe filter staat op ca 300 m onder het maaiveld, onder de Brunsumkleien die als notoir slecht doorlatend bekend staan. Niettemin is de doorwerking van de jaarfluctuatie daarin nog heel goed te zien. Op grond van (1) schat ik dat cS hier in de orde van 100 ligt. Zelfs als we de S -waarde onwaarschijnlijk groot inschatten, bijvoorbeeld 1/1000, blijkt wel dat de weerstand c inderdaad gigantisch moet zijn⁴.

³ Het valt te beredeneren dat de toets op een stap-trend een onderschatting oplevert van de werkelijke invloed.

⁴ De S -waarde is beter in te schatten met een barometrische analyse. Als S bekend is, is c te berekenen. Hier lopen we dus zomaar tegen een elegante methode op om de weerstand van de Brunsumkleien vast te stellen.



Figuur 5: Doorwerking van de jaarfluctuatie van de grondwaterstand naar de diepte, in een peilbuis in de Roerdalslenk. Het diepe filter (6) staat op bijna 300 m –NAP, onder zeer slecht doorlatende kleilagen.

Toch presenteerden Perry de Louw en Roelof Stuurman in Rare Reeksen 4 (Stromingen 11/2) een voorbeeld van een ‘fluctuatieloze’ stijghoogte. Zo’n buis moet dus wel heel diep staan, onder extreem slecht doorlatende en/of in extreem stijve lagen. Hun meetreeks vertoont overigens toch nog wat snelle fluctuaties, die zij aan een meet-artefact toeschrijven. De wiebeltjes zouden alleen in de peilbuis optreden, en niet in de aquifer zelf. Volgens Hans Leenen staat de diepe stijghoogte weldegelijk onder invloed van drukschommelingen ten gevolge van belasting (Stromingen 5/4 en 11/4). Met dat mechanisme houdt mijn rekenschema helemaal geen rekening. Voor mijn conclusies uit deze aflevering van Rare Reeksen zal het niet veel uitmaken, maar ik neem me toch voor om mijn schema uit te breiden met grondmechanische effecten. Wellicht brengt dat meer licht in de naar mijn smaak niet helemaal afgeronde polemieken

tussen De Louw, Stuurman en Leenen. Maar dat wordt een apart verhaal.

Referenties

- Louw, P. de en R. Stuurman (2005)** Rare reeks 4: De ‘fluctuatieloze’ stijghoogte; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 2, pag 49–52.
- Louw, P. en R. Stuurman (2005)** Reactie op H. Leenen; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 4, pag 59–62.
- Leenen, H. (1999)** Modelleren van niet-stationaire grondwaterstroming; vergeet wij iets?; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 4, pag 13–20.
- Leenen, H. (2005)** Reactie op Rare Reeks 4; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 4, pag 58–59.
- Maas, Kees (2001)** Kwelvensters onder gebouwen en in het vrije veld; in: *Stromingen*, jrg 7, nr 2, pag 15–33.

Appendix

Deze appendix is een verantwoording van (1) voor vakgenoten. De differentiaalvergelijking voor de tweede aquifer luidt

$$\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{c} = S \frac{d\varphi_2}{dt} \quad (4)$$

Hierin is φ_1 de freatische grondwaterstand, φ_2 is de diepe grondwaterstand, c is de weerstand van de scheidende laag, S is de elastische bergingscoëfficiënt van de diepe aquifer en t is de tijd. Neem aan dat de freatische grondwaterstand een harmonische jaarfluctuatie vertoont:

$$\varphi_1 = \phi_1 \exp(i\omega t) \quad (5)$$

waarin ϕ_1 de amplitude is van φ_1 , $\omega = 2\pi / T$, $T = 365,25$ dagen. Dan zal de fluctuatie φ_2 ook harmonisch zijn met dezelfde frequentie:

$$\varphi_2 = \phi_2 \exp(i\omega t) \quad (6)$$

Hierin is ϕ_2 de (mogelijk complexe) amplitude van φ_2 . Invullen van (5) en (6) in (4) geeft

$$\frac{\phi_2 - \phi_1}{c} = i\omega S \phi_2 \quad (7)$$

zodat

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = 1 - i\omega c S \quad (8)$$

Hieruit volgt dat

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{1 + (\omega c S)^2} \quad (9)$$

waarin A_1 de reële amplitude is van φ_1 , en A_2 de reële amplitude van φ_2 .