

Reactie op 'Variatie in permeabiliteit van een pleistocene rivierafzetting en de invloed op grondwaterstroming' van R. E. Lapperre, H₂O (29) 1996, nr. 18, pag. 520 e.v.

integrale analysevarianten uitgebreidere maatregelen zijn opgenomen dan in de ENW, vallen de kosten nu hoger uit dan in de ENW/MV3. De baten van deze maatregelen zijn gering in vergelijking tot de waterhuishoudkundige maatregelen. De themavarianten hebben extra inzicht gegeven in de effectiviteit en kosten van de meeste maatregelen afzonderlijk.

De belangrijkste conclusies, die op grond van zowel de integrale varianten als de themavarianten getrokken kunnen worden, zijn:

1. De waterhuishoudkundige maatregelen hebben duidelijk het grootste effect en dragen voor meer dan 90% bij aan het bestrijden van de verdroging;
2. De in grote omvang doorgevoerde reductie en reallocatie van grondwateronttrekkingen blijken slechts een geringe bijdrage te leveren aan het ecologisch herstel (minder dan 10% in SYSTEEM). De maatregelen blijken wel vooral een gunstig effect te hebben op ecotoopgroepen die voorkeur hebben voor pH-gebufferde stand-plaatsen (vaak kwelsituaties). De kosten van deze maatregelen zijn relatief erg hoog. Lokaal/regionaal kunnen dergelijke maatregelen wel rendement opleveren, doch niet op landelijke schaal;
3. De effecten van autonome ontwikkelingen in het agrarisch grondgebruik (verandering/vermindering) op de waterhuishouding, op de overall landbouwopbrengsten (niet per ha) en op de verdroogde ecosystemen is niet verwaarloosbaar. Dit effect heeft de interpretatie van de rekenresultaten danig bemoeilijkt. De grondgebruikscenario's voor 2015 (European Renaissance) en 2045 (TRENDBREUK, afgeleid van Balanced Growth) hebben positieve effecten op de landbouwopbrengsten doch negatieve, zij het beperkte (ongeveer 8% in HUIDIG BELEID 2015), op het ecologisch herstel;
4. De in de simulaties van de integrale analysevarianten aangehouden brede bufferzones (vooral in vrij afwaterend Nederland) blijken niet nodig te zijn. Smallere bufferzones (500 m), zoals aangehouden in de ENW, blijken even effectief;
5. Het ecologisch herstel door een verminderde aanvoer van systeemvreemd water is in modellen gebrekkig meegenomen. Harde conclusies zijn daar over dan ook niet te trekken. De resultaten laten enkel lokale effecten zien;
6. De landelijk doorgevoerde verloofing van (alle) naaldhout en een verlaging van de verdampingsfactor van teeltgewassen, van het huidige niveau tot het niveau van de jaren '50, hebben een effect op de natuurwaarden dat in omvang vergelijkbaar

is met het maatregelenpakket van HUIDIG BELEID 2015;

7. Maatregelen als het inunderen van diepe droogmakerijen evenals landelijke beperkingsmaatregelen voor de berekening van grasland blijken op landelijke schaal marginale effecten van herstel op te leveren. Regionaal zal dit uiteraard anders, kunnen liggen.

4. Conclusies

De overall conclusies zoals geformuleerd in de ENW over de benodigde omvang van maatregelen en de daarmee gemoeide kosten om de 25%-doelstelling te halen, zijn door deze WSV niet aangetast. De doelstellingen voor de verdrogingsbestrijding lijken zeker op langere termijn goed haalbaar. Nadruk zal eerder op waterhuishoudkundige inrichting moeten liggen dan op wijziging van de grondwateronttrekkingen. In die branches zouden dus ook minder verstrekkende maatregelen acceptabel zijn. De schade (vooral verdrassingsschade) aan de landbouw rijst niet de pan uit.

Wijzigingen in de nationale ruimtelijke ordening kunnen de verdrogingsbestrijding zeker beïnvloeden en verdienen nadere aandacht. Maatregelen die veelbelovend lijken, zijn verder verloofing en reductie van gewasverdamming. De resultaten van de studie geven in de eerste plaats een landelijk beeld van wat met anti-verdrogingsmaatregelen kan worden bereikt. Op grond van de resultaten kan ook worden aangegeven in welke mate op regionale schaal herstel mogelijk is. De doorgerekende maatregelenpakketten vormen echter geen blauwdruk voor in de praktijk op lokale schaal uit te voeren anti-verdrogingsprojecten.

Literatuur

1. Milieu Balans (1995). *Ministerie van VROM*, 1995.
2. Evaluatie Beleid Stedelijk Grondwater (1995). *TAUW*, Februari 1996.
- 3a. WSV*Ruimte: Ruimtelijke toedeling gebruiksfuncties, deel 1; *Kaartbeelden van Nederland in 2015 voor verschillende ontwikkelingsrichtingen in het landgebruik*. RIZA, 1996.
- 3b. WSV*Ruimte: Ruimtelijke toedeling gebruiksfuncties, deel 2; *Opbrengstderingskaarten voor landbouwgewassen in Nederland*. RIZA, 1996.
4. Kloosterman, F. H. et al., (1993). *De Landelijke Hydrologische Systemanalyse*. Deelrapport 2: *De regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug*. TN-IAG Rapport OS 93-41, 1993.4 Verdroging en Grondwater, WSV thema rapport, RIZA, 1996.
5. *Verdroging en Grondwater*. WSV thema rapport, RIZA, 1996.
6. *Operationalisatie van de 25%-doelstelling Verdroging; maatregelen*. Kosten en effecten RIVM rapport 715001001, RIZA nota 95.029, mei 1995.



Ik zou willen beginnen met de opmerking dat ik veel waardering heb voor de opzet van het onderzoek. De auteurs onderkennen dat kleinschalige sedimentaire structuren een groot effect kunnen hebben op de representatieve doorlatendheden op grotere schaal. Kasap and Lake [1990] en Bierkens and Weerts [1994] tonen dit eveneens aan voor respectievelijk eolische en fluviatiele formaties. De onderzoeksopzet van de auteurs – de opschaling vanuit sedimentaire structuren via lagen naar formaties – lijkt mij daarom de enige juiste. Mijn kritiek betreft echter de manier van opschaling.

Om vanuit horizontale en verticale doorlatendheden op de schaal van de sedimentaire structuren te komen tot representatieve doorlatendheden voor de lagen, wordt een harmonisch gemiddelde berekend waarbij rekening gehouden wordt met het bedekkingspercentage van de verschillende sedimentaire typen. Het is jammer dat er geen tekenvoorbeeld wordt gegeven of een formule, zodat het moeilijk is te achterhalen welke methode van middelen de auteurs precies hebben gebruikt. Wat echter wel duidelijk is, is dat de gebruikte opschalingstechniek onjuist is. Hiervoor zijn twee aanwijzingen te vinden in de resultaten:

1. Afbeeldingen 2 en 5 laten zien dat er sprake is van een zekere horizontale gelaagdheid binnen de formatie. Het is te verwachten dat dit op formatieniveau resulteert in een grotere horizontale doorlatendheid dan verticale doorlatendheid. Nu kan het zo zijn dat k_h en k_v in afbeelding 4 zijn verwisseld, maar zelfs dan is er een grotere anisotropie-ratio te verwachten dan 11:8.

2. De specifieke afvoer van de formatie die wordt berekend met het model neemt sterk af wanneer met grotere schaaleneheden wordt gerekend, terwijl de gemiddelde verblijftijd toeneemt. Dit betekent dat de gebruikte opschalingsmethode onjuist is. De representatieve doorlatendheid voor een blok is namelijk gedefinieerd als volgt: die doorlatendheid die de specifieke afvoer door het blok koppelt aan het gemiddelde stijghoogteverval over het blok [Rubin and Gómez-Hernández, 1990; Bierkens, 1994, verg. 1]. Bij een juiste opschaling moet de specifieke afvoer van de formatie dus voor alle drie de schaalniveaus ongeveer gelijk blijven. Dit geldt bij benadering ook voor de gemiddelde verblijftijd. Het toenemen van de gemiddelde verblijftijd is dan ook bijna volledig toe te schrijven aan het (onterecht) afnemen van de specifieke afvoer. Dit wordt meteen duidelijk als men deze in een grafiek tegen elkaar uitzet. De incorrecte opschaling moet een gevolg zijn van de gebruikte methode van midde-

len. De auteurs verwijzen hierbij onterecht naar Bierkens [1994]. Deze stelt namelijk dat het harmonisch gemiddelde een representatieve doorlatendheid oplevert voor *eendimensionale* stroming; niet in het algemeen voor 'monsters met dezelfde richting' (het is ook niet geheel duidelijk wat de auteurs met het laatste bedoelen). In het onderzoek van Lapperre e.a. [1996] is er echter sprake van een *tweedimensionaal* stromingsveld. In geval dat de doorlatendheden van de sedimentaire structuren isotroop zijn en de stroming uniform is, wordt de representatieve doorlatendheid voor tweedimensionale stroming gegeven door het geometrisch gemiddelde (zie verg. 13 in Bierkens [1994]).

De doorlatendheden in het onderzoek van Lapperre e.a. [1996] vertonen echter ook op de kleinste schaal anisotropie. De representatieve laagdoorlatendheid wordt dan niet gegeven door het geometrisch gemiddelde. Er zijn wel een aantal alternatieven om in dit geval tot de juiste representatieve doorlatendheden voor de lagen en de formatie te komen. Hier worden drie methoden genoemd. Net als in Lapperre e.a. [1996] wordt de wand opgedeeld in 4550 cellen van 2 bij 0,5 m en aan elke cel de waarde van k_h en k_v toegekend die hoort bij het sedimentaire structuurtype waarin deze cel valt. Stel dat we voor een bepaalde laag N cellen in de horizontale richting hebben en M cellen in de verticale richting. We hebben dus N kolommen en M rijen (hier volgt de beschrijving voor een laag; voor een gehele formatie kunnen dezelfde methoden worden gebruikt). Laat $k_{ij}(h)$ en $k_{ij}(v)$ respectievelijk de horizontale en verticale doorlatendheid zijn voor een cel in rij i en kolom j . De representatieve laagdoorlatendheid kan dan bijvoorbeeld op de volgende wijzen worden berekend:

1. *Vereenvoudigd middelen*. Wanneer wordt verondersteld dat de stroming perfect horizontaal is wordt de representatieve horizontale doorlatendheid van de laag gegeven door:

$$K_h = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [k_{ij}(h)]^{-1} \right)^{-1}$$

We zien dus dat eerst per rij het harmonisch gemiddelde van de horizontale doorlatendheden wordt berekend. Dit levert de representatieve (horizontale) doorlatendheid van elke rij. Vervolgens volgt uit het rekenkundig gemiddelde van de rijdoorlatendheden de representatieve horizontale doorlatendheid van de hele laag. Wanneer de stroming perfect verticaal zou zijn volgt de verticale laagdoorlatendheid uit een vergelijkbare formule:

$$K_v = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [k_{ij}(v)]^{-1} \right)^{-1}$$

In het stromingsvoorbeeld dat wordt gebruikt door Lapperre e.a. [1996] is de stroming voornamelijk horizontaal zodat geldt dat de formule voor de verticale laagdoorlatendheid voorzichtig moet worden gebruikt. Verder geldt dat deze methode slechts bij benadering de correcte laagdoorlatendheden oplevert, omdat de stroming nooit perfect horizontaal is of perfect verticaal. Men kan beredeneren dat deze methode de werkelijke representatieve doorlatendheden iets onderschat.

2. *Complex middelen*. Door Zijl and Stam [1992] is een (nogal ingewikkelde) methode ontwikkeld waarbij de representatieve doorlatendheid wordt berekend uit de kleinschalige (anisotrope) doorlatendheden. Dit gebeurt zonder de aanname van strikt horizontale of verticale stroming. Het resultaat is echter een volledige doorlatendheidstensor (2 bij 2 matrix). Als de niet-diagonale elementen van deze tensor klein zijn kunnen de diagonale elementen worden gebruikt voor de representatieve horizontale en verticale doorlatendheid.

3. *Numerieke berekening*. In het algemeen geldt dat de representatieve doorlatendheid van een laag of blok afhankelijk is van de randvoorwaarden rond het blok [Bierkens, 1994]. Men moet dus op zoek naar de laagdoorlatendheden die horen bij de juiste randvoorwaarden.

Dit gaat als volgt: Uit de FLOWNET-oplossing voor de kleinste schaal (afb. 6 onder) volgen de juiste randvoorwaarden (vaste stijghoogten) voor elke laag. De $N \times M$ kleinschalige doorlatendheden van een laag met de bijbehorende randvoorwaarden worden vervolgens gebruikt in een FLOWNET-berekening waarmee dan de gemiddelde fluxen door de laag in de verticale en de horizontale richting worden berekend. Vervolgens kan door omkering van de randvoorwaarden (in afb. 6 onder) FLOWNET opnieuw worden gedraaid, waarbij de stroming nu van links naar rechts gaat. Dit levert voor elke laag een tweede set randvoorwaarden waarmee via FLOWNET een tweede set fluxen in de horizontale en verticale richting kan worden berekend. Op deze wijze heeft men voor elke laag voor de twee stromingsgevallen gemiddelde horizontale en verticale fluxen en een gemiddeld stijghoogteverval in de horizontale en verticale richting. Uit vergelijkingen (7a) en (7b) van Bierkens [1994] kunnen dan de vier elementen van de doorlatendheidstensor van elke laag worden berekend. Ook hier geldt dat wanneer de niet-diagonale elementen van deze tensor klein zijn, de diagonale elementen kunnen worden gebruikt voor de representatieve horizontale en verticale doorlatendheid. Overigens geldt voor de onderste laag van het model van Lapperre

e.a. [1996] dat er sprake is van een ondoorlatende wand (no-flow boundary). Bij het berekenen van de representatieve laagdoorlatendheid moet deze worden vervangen door de stijghoogten die zijn berekend met het kleinschalige model, omdat anders geen representatieve verticale doorlatendheid van die laag kan worden berekend. De drie methoden die hierboven beschreven zijn kunnen eenvoudig worden uitgebreid voor driedimensionale stroming. Wanneer de onderzoeksopzet van Lapperre e.a. [1996] wordt toegepast in combinatie met een van deze methoden valt te verwachten dat de berekende specifieke afvoeren en gemiddelde verblijftijden voor de drie schaalniveaus sterk op elkaar zullen lijken. De verschillen tussen de schaalniveaus moeten ook niet worden gezocht in de gemiddelde verblijftijd maar in de verblijftijdverdeling: de snelste en langzaamste stroombanen. De conclusie zou moeten zijn dat, bij gebrek aan kennis over de macrodispersie, slechts wanneer op het kleinste schaalniveau wordt gemodelleerd een doorbraakcurve van een verontreiniging goed kan worden berekend. Dit geldt ook voor het berekenen van de tijd die nodig is om via doorspoeling een verontreiniging te verwijderen.

Literatuur

- Bierkens, M. F. P. (1994). *Blokdoorlatendheden: opschaling in de geohydrologie*. H₂O, (27) 1994, no. 23, pp. 673-684.
- Bierkens, M. F. P. and Weerts, H. J. T. (1994). *Block hydraulic conductivity of cross-bedded fluvial sediments*. Water Resources Research 30, no. 10, pp. 2665-2678.
- Kasap, E. and Lake, L. W. (1989). *An analytical method to calculate the effective permeability tensor of a grid block and its application in an outcrop study*. SPE paper 18434, pp. 355-362.
- Lapperre, R. E., Smit, H. M. C., Simmelink, H. J. en Laanen, H. A. J. van (1996). *Variatie in permeabiliteit van een pleistocene rivierafzetting en de invloed op grondwaterstroming*. H₂O, (29) 1996, no. 18, pp. 520-523.
- Rubin, Y. and Gómez-Hernández, J. J. (1990). *A stochastic approach to the problem of upscaling of conductivity of disordered media; Theory and unconditional simulations*. Water Resources Research 26, no. 4, pp. 691-701.
- Zijl, W. and Stam, J. M. T. (1992). *Modeling permeability in imperfectly layered porous media, I. Derivation of block-scale permeability tensor for thin grid-blocks*. Mathematical Geology 24, no. 8, pp. 865-883.

Marc F. P. Bierkens,
DLO-Staring Centrum



Met veel interesse hebben de auteurs van het artikel 'Variatie in permeabiliteit van een pleistocene rivierafzetting en de invloed op grondwaterstroming' [Lapperre *et al.*, 1996] kennis genomen van de reactie van dr. ir. M. F. P. Bierkens.

Naast waardering voor het onderzoek, waarbij opschaling vanuit in het veld herkenbare sedimentaire structuren centraal stond, worden door Bierkens ook enkele kritische kanttekeningen bij de onderzoeksopzet en resultaten geplaatst.

Bierkens heeft gelijk wanneer hij stelt dat bij 'correct' opschalen de specifieke afvoer en gemiddelde verblijftijden op alle schaalniveaus bij benadering gelijk moeten blijven. Om die reden wordt bij het kloppend maken van grondwatermodellen in de regel gebruik gemaakt van meer of minder complexe middelingsmethoden. Bierkens stelt derhalve dat men op zoek moet naar de laagdoorlatendheid die hoort bij de voor het probleem gekozen randvoorwaarden. Dit betekent dat de gemeten k -waarden veranderen (aangepast worden) totdat het grondwatermodel, ook op het nieuwe en hogere schaalniveau, dezelfde uitkomsten genereert. Op deze wijze wordt de effectieve doorlatendheid (de laagdoorlatendheid) bepaald door de randvoorwaarden van het model. Een op het eerste oog plausibele en theoretisch correcte benaderingswijze.

Over de aldus berekende k -waarden kan echter het volgende worden gesteld:

- De effectieve doorlatendheid zal een modelparameter zijn welke afhankelijk is van het grondwatermodel. Een verandering van de randvoorwaarden zoals bijvoorbeeld het wijzigen van de stijghoogten en het toevoegen van een onttrekkingsput heeft een verandering van de effectieve doorlatendheid tot gevolg.
- De effectieve doorlatendheid kan niet voor extrapolatie naar andere modellen of vergelijkbare veldsituaties gebruikt worden, omdat zij modelafhankelijk is.

Met het bovenstaande in gedachten hebben de auteurs in hun onderzoek bewust voor een andere benaderingswijze gekozen. Uitgaande van de in de groeve Maalbeek bemonsterde sedimentaire structuren behorend tot de Formatie van Sterksel, Kedichem en Tegelen is gedemonstreerd wat de gevolgen kunnen zijn voor de gemiddelde verblijftijd en het specifieke debiet wanneer opgeschaald wordt van het laagste via het middelste naar het hoogste schaalniveau. Bij deze aanpak is het behoud van de geologische informatie (sedimentaire opbouw en bijbehorende k -waarden in drie loodrecht op elkaar staande rich-

tingen) het belangrijkste uitgangspunt. De achterliggende gedachte en het doel van het onderzoek is geweest na te gaan of het mogelijk is k -waarden te genereren die model onafhankelijk zijn en daarmee extrapol eerbaar naar vergelijkbare situaties elders. Hierbij is dus bewust voorbijgegaan aan het criterium van het gelijk houden van het specifieke debiet op alle schaalniveaus, hetgeen alleen met het door Bierkens voorgestelde numeriek middelen zal gebeuren. De door Bierkens voorgestelde eenvoudige middelingsmethode zal nog het beste aansluiten bij onze aanpak, maar biedt geen garantie dat aan het bovengenoemde criterium zal worden voldaan omdat de stroming perfect horizontaal of perfect verticaal moet zijn. Dit is in werkelijkheid natuurlijk maar zelden het geval (onderste figuur van afbeelding 6 uit [Lapperre *et al.*, 1996]).

Verder willen wij bij de reactie van Bierkens nog het volgende opmerken.

Ten eerste wijzen de auteurs nadrukkelijk de suggestie van de hand dat in afbeelding 4 van het bewuste artikel, k_h en k_v verwisseld zouden zijn; Bierkens eerste argument dat sprake zou zijn van een foutief gebruikte opschalingstechniek. Hier manifesteert zich het, overigens interessante fenomeen dat ondanks de waargenomen horizontale gelaagdheid de gemeten verticale doorlatendheid in een aantal sedimentaire structuren groter is dan de gemeten horizontale doorlatendheid. Een verklaring hiervoor wordt gegeven door Lapperre en Smit [1995].

De kern van Bierkens tweede argument voor een foutief gebruikte opschalingstechniek betreft het feit dat bij het opschalen (te) grote verschillen in verblijftijden en specifieke debieten optreden. Bierkens ziet de waarde van deze constatering en het gegeven dat het illustreren van deze verschillen juist een belangrijk doel van het presenteren van de onderzoeksresultaten vormde, mogelijk over het hoofd.

De suggestie van Bierkens om door omkering van de randvoorwaarden een tweede set fluxen in verticale en horizontale richting te krijgen lijkt interessant (numeriek middelen) en zou in een vervolgonderzoek opgepakt moeten worden. Tegelijkertijd zou dan onderzocht kunnen worden wat de invloed van een modelverandering (randvoorwaarden, hydrologische ingreep) is op de effectieve doorlatendheid. De auteurs sluiten zich aan bij Pomper en Weerts [1996] wanneer zij stellen dat het doorlatendheidsonderzoek moet doorgaan en zelfs verder geïntensiveerd moet worden met ruime aandacht voor uitbreiding

van de kennis op het gebied van de relatie tussen sedimentologische kenmerken en hydrologische grootheden. Een zuiver hydrologische benadering (de laagdoorlatendheid als modelafhankelijke variabele) doet immers tekort aan k -waarden zoals die daadwerkelijk in het veld gemeten worden. Een zuiver geologische benadering daarentegen doet afbreuk aan een van de belangrijkste voorwaarden voor correcte grondwatermodellering: een gesloten waterbalans.

Literatuur

- Lapperre, R. E. en Smit, H. M. C. (1995). *Hydrogeologisch onderzoek naar de Formaties van Sterksel en tegelen in de groeve Maalbeek te Belfeld; een studie naar de variabiliteit in bodemopbouw, verzadigde doorlatendheid, verblijftijd(en), stromingsrichting(en) en debiet(en) op verschillende schaalniveaus*. Verslag van een 5-maands afstudeerwerk bij de Vakgroep Waterhuishouding, sectie hydrogeologie van de Landbouwwuniversiteit Wageningen (LUW) en de Rijks Geologische Dienst (RGD) te Heerlen, 123 pp.
- Lapperre, R. E., Smit, H. C. M., Simmelink, H. J. en Lanen, H. A. J. van (1996). *Variatie in permeabiliteit van een pleistocene rivierafzetting en de invloed op grondwaterstroming*. Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling H₂O (29) 1996, nr. 18, p. 520-523.
- Pomper, A. B. en Weerts, H. J. T. (1996). *Doorlatendheidsmetingen: Absolute noodzaak of luxe uit het verleden?* Vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging, jaargang 2, nummer 1 pp. 27-37.

Rectificatie

In het artikel van Lapperre *et al.*, H₂O (29) 1996, nr. 18, p. 521, zijn abusievelijk de bijschriften bij afbeelding 2 en 3 verwisseld.

Ontwerp NEN 6596 ter kritiek gepubliceerd

Het Nederlands Normalisatie-instituut heeft ter kritiek het ontwerp NEN 6596 'Regenwater. Bepaling van de concentratie aan methanal met een doorstroom-injectiemethode' gepubliceerd. Kritiek op het ontwerp NEN 6596 wordt verwacht vóór 1 februari 1997. Exemplaren van het ontwerp zijn tegen vergoeding verkrijgbaar bij het Nederlands Normalisatie-instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft, telefoon 015-269 0390.

Congres Marktwerking in de watersector

Het Nederlands Studie Centrum organiseert een congres 'Marktwerking in de watersector' op 30 januari 1997 in het World Trade Center in Rotterdam. Nadere inlichtingen: Nederlands Studie Centrum, Postbus 330, 3130 AH Vlaardingen, telefoon 010-434 9966.