

Brieven

Waarom zijn kD-waarden rond pompstations altijd hoger?

Een geologische bijdrage aan de discussie

Het artikel dat De Lange (1996) onder bovenstaande titel in STROMINGEN publiceerde heeft al aardig wat rimpelingen in hydrologisch Nederland veroorzaakt. Van der Moot (1997a, b), de redactie van STROMINGEN (1997) en Olsthoorn (1998) reageerden al eerder op het artikel. Olsthoorn (1998) riep daarbij op om de door De Lange (1996) veronderstelde baksteenstructuur in aquifers te toetsen aan recent werk van Bierkens (1994) en Weerts (1996). Graag wil ik een geologische bijdrage aan de discussie leveren.

Heterogeniteiten in de geologie

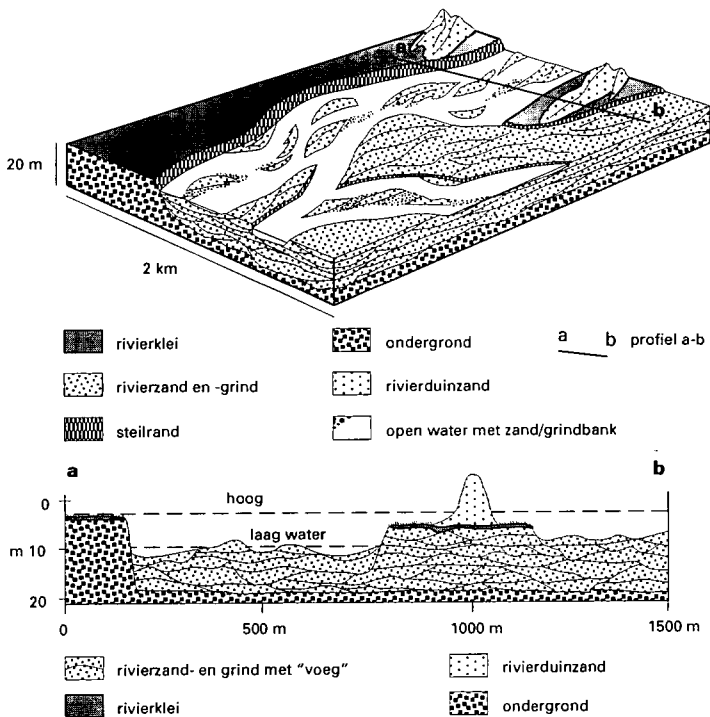
De discussie van de afgelopen jaren in STROMINGEN laat zien dat de geohydrologische werkelijkheid ingewikkelder is dan een tweedeling in watervoerende pakketten met hoge k-waarden en horizontale stroming enerzijds en slecht doorlatende lagen met lage k-waarden en verticale stroming anderzijds. In haar reactie op het artikel van De Lange (1996) merkte de redactie van STROMINGEN (1997) dat ook al op. Zowel watervoerende pakketten als slecht doorlatende lagen zijn intern heterogeen. Die heterogeniteit doet zich ook nog eens op verschillende schaalniveaus voor. Zo bevinden zich in het slecht doorlatend topsysteem in de Betuwe en de Alblasserwaard goed doorlatende zones in een matrix van slecht doorlatend materiaal; de zandige stroomruggen versus de kleiige en venige kommen. De kommen en de stroomruggen kunnen op een lager schaalniveau ook niet als homo-

geen worden beschouwd. Tussen de zandlagen in de stroomruggen kunnen zich dunne kleilagen bevinden, en in de kommen komen smalle langgerekte overloopgeulen (crevasses) voor. En op een nog lager schaalniveau blijkt dat zandlagen in de stroomruggen onderin vaak grover zijn dan bovenin, en dat de vertakkingen van de crevasses in de kommen zo complex zijn dat ze nauwelijks in kaart zijn te brengen.

Ook in watervoerende pakketten komen de heterogeniteiten op verschillende schalen voor, wat De Lange (1997) ook al signaleert. Miall (1985) geeft een aardige benadering om inzicht te krijgen in de verdeling van de heterogeniteiten. Hij onderscheidt voor verschillende fluviatiele milieus zogenaamde 'Architectural Elements' (zoals 'channels', 'overbank fines' et cetera) waarbinnen specifieke combinaties van faciëseenheden voorkomen (zoals zandlenzen, zandlobben). Met een aantal blokdiagrammen maakt hij dit aanschouwelijk. Inmiddels hebben die blokdiagrammen hun weg gevonden naar een groot aantal geologische en sedimentologische handboeken, waaronder Emery en Myers (1996), Miall (1996) en Reading (1996).

Baksteenstructuur of niet?

Veel watervoerende pakketten in Nederland zijn afgezet door vlechtende voorlopers van de Rijn en de Maas, en in de noordelijke helft van het land door een zeer groot Baltisch riviersysteem dat niet meer bestaat. Voor de eenvoud beperk ik me in dit artikel tot heterogeniteiten die zijn te verwachten in een watervoerend pakket dat door zo'n vlechtende rivier is afgezet. Kenmerkend hiervoor is dat de afvoer ervan verdeeld is over verschillende beddingen die tegelijk actief zijn (figuur 1). Deze beddingen verleggen zich continu. Hierbij wordt voornamelijk zand en grind afgezet. Ook worden dunne kleilagen afgezet die delen van de



Figuur 1: Blokdiagram van afzettingen van een vlechtende rivier (naar Miall, 1985).

riviervlakte bedekken. In verlaten beddingen kunnen dikkere kleilagen worden afgezet, die echter een geringere verbreiding hebben. Tijdens het verleggen van de rivierlopen worden eerder gevormde afzettingen steeds omgewerkt en geërodeerd. Uiteindelijk resulteert dit in een bak met zand en grind die er ongeveer zo uit ziet als figuur 1. De bak bestaat uit een wirwar van langgestrekte zandige grindhoudende geulopvullingen die elkaar steeds afsnijden. De dikte van deze geulopvullingen varieert in Nederland over het algemeen tussen de een en tien meter, terwijl breedtes van tientallen en lengtes van vijftig tot honderden meters kunnen worden verwacht. De lithologische verschillen op de grenzen van de verschillende opvullingen zijn meestal groter dan de verschillen binnen één opvulling. Aaneengesloten doorlopende kleilagen (de 'voegen' in de baksteenstructuur van De Lange,

1996) zijn zeldzaam maar ze komen wel voor. Vaker echter zullen de voegen zandig zijn. Het contrast tussen de voegen en de bakstenen is waarschijnlijk minder groot dan Olsthoorn (1998) in zijn voorbeeld gebruikt. Bovendien is er in het pakket als geheel sprake van een gedeeltelijke serie- en parallelstroming doordat een aantal voegen volledig is geërodeerd.

Olsthoorn drukt het verband tussen de 'berekende' en de 'gemeten' doorlatendheid in een pompproef uit als volgt (zie figuur 1 in het artikel van Theo Olsthoorn voor een verklaring van de symbolen):

$$K/\kappa = 1 + (K\delta D/kLL)$$

Om het effect te kunnen bepalen dat de kleine contrasten in doorlatendheden hebben op de relatie K/κ nemen we voor het gemak even aan dat er overal tussen de

bakstenen wel een voeg aanwezig is. Kiezen we dan in Olsthoorns formule bijvoorbeeld $K = 25 \text{ m/d}$, $k = 1 \text{ m/d}$, $\delta = 0,1 \text{ m}$, $D = 5 \text{ m}$ en $L = 200 \text{ m}$ (waarden die representatief zijn voor een fluviatiele aquifer) dan blijkt K/k naar 1,0 te naderen. Als we L inkorten tot 20 m en k verlagen tot 0,5 m/d komt K/k nog niet boven 1,1. Het verschil tussen de 'gemeten' en de 'berekende' doorlatendheid is dus zeer klein, zelfs als we aannemen dat de voegen overal intact zijn gebleven. Overigens geldt dit alleen op het schaalniveau van de pompproof. Lokaal kunnen wel degelijk grote verschillen in doorlatendheden optreden, met name als de 'voegen' zeer kleinig zijn ontwikkeld treden grote verschillen op tussen de 'gemeten' en de 'berekende' doorlatendheid.

Conclusies

De veronderstelde baksteenstructuur doet zich wel degelijk voor in een fluviatiele aquifer, maar de contrasten tussen de 'voegen' en de 'bakstenen' zijn te klein om het door De Lange (1996) waargenomen verschijnsel te verklaren. Berekeningen voor een baksteenstructuur met kleine contrasten leveren hetzelfde resultaat op als Olsthoorns (1998) berekeningen voor een watervoerend pakket dat bestaat uit gebieden met een willekeurig variërende doorlatendheid. Dit geldt overigens alleen bij ongeconsolideerd sediment; uit onderzoek in de oliegeologie is bekend dat bij verkitting en verder gaande consolidatie de contrasten tussen de voegen en de bakstenen veel groter worden (zie bijvoorbeeld Hartkamp-Bakker, 1993, en Hartkamp-Bakker en Donselaar, 1993). Ik kan mij voorstellen dat Van der Moots (1997a) pragmatische verklaring voor het verschijnsel dat De Lange (1996) zag op de kaarten bij de Grondwaterplannen van Groningen en Drenthe juist is. Of het verstandig is de zeer hoge afgeleide kD -waarden dan toch op deze kaarten

weer te geven is weer een heel andere vraag. Tot slot wil ik nog even waarschuwen tegen het gebruik van (oude) boorbeschrijvingen om informatie over gelaagdheid te verkrijgen zoals De Lange (1997) voorstelt. Het hangt sterk van de boormethode af of een kleinschalige gelaagdheid nog in het monster is waar te nemen. Bovendien worden dunne kleilagen op grotere diepte veelal niet of slecht waargenomen. Uit het werk van Bierkens (1994, 1996) blijkt dat het afleiden van doorlatendheden uit de boorbeschrijvingen nog gevaarlijker is; alleen als de gelaagdheid bekend is en er referentiemetingen aan vergelijkbare afzettingen beschikbaar zijn is dit mogelijk. En die doorlatendheden moeten dan ook nog eens worden opgeschaald tot het gewenste schaalniveau.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P. (1994)** Complex Confining Layers: A stochastic analysis of hydraulic properties at various scales; proefschrift Universiteit Utrecht.
- Bierkens, M.F.P. (1996)** Modelling hydraulic conductivity of a complex confining layer at various spatial scales; in: *Water Resources Research*, nr 32, pag 2369-2382.
- Emery, D. en K.J. Meyers (red) (1996)** Sequence Stratigraphy; Blackwell Science, Oxford.
- Hartkamp-Bakker, C.A. en M.E. Donselaar (1993)** Permeability patterns in point bar deposits: Tertiary Loranca Basin, central Spain; in: Flint, S. & I. Bryant (red) *The Geological Modelling of Hydrocarbon Reservoirs*. Spec. Publ. int. Ass. Sediment, nr 15, pag 157-168.
- Hartkamp-Bakker, C.A. (1993)** Permeability heterogeneity in cross-bedded sandstones. Impact on water/oil displacement in fluvial reservoirs; proefschrift Technische Universiteit Delft.

- Lange, W. de (1996)** Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger?; in: *Stromingen*, jrg 2, nr 3, pag 5–10.
- Lange, W. de (1997)** Reactie van de auteur op: Van der Moot, N.L. (1997a) Reactie op: Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger?; in: *Stromingen*, jrg 3, nr 3, pag 53–54.
- Miall, A.D. (1985)** Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits; in: *Earth Science Reviews*, nr 22, pag. 261–308.
- Miall, A.D. (1996)** The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology; Springer, New York.
- Moot, N.L. van der (1997a)** Reactie op: Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger?; in: *Stromingen*, jrg 3, nr 3, pag 52–53.
- Moot, N.L. van der (1997b)** Laatste reactie op: Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger?; in: *Stromingen*, jrg 3, nr 4, pag 69–70.
- Olsthoorn, T.N. (1998)** Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger? Een nadere analyse; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 4, pag 21–26.
- Reading, H.G. (red) (1996)** Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy (third edition); Blackwell Science, Oxford.
- Redactie Stromingen (1997)** Waarom zijn kD-waarden rondom pompstations altijd hoger? Naschrift van de redactie; in: *Stromingen*, jrg 3, nr 4, pag 70–72.
- Weerts, H.J.T. (1996)** Complex Confining Layers: Architecture and hydraulic properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands; proefschrift Universiteit Utrecht.

Henk Weerts

Dr. H.J.T. Weerts
 Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
 Sectie Geo-Kartering West-Nederland
 Buys Ballotlaboratorium De Uithof
 Postbus 80015
 3508 TA Utrecht
 Tel: (030) 256 46 94
 Fax: (030) 256 46 80
 E-mail: h.weerts@nitg.tno.nl

Reactie op verhalen van Meinardi e.a.: Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland, deel 1–3

Met interesse heb ik de drie artikelen gelezen van Meinardi e.a. over de grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland. Toch bekwam me een gevoel van onbehagen toen ik de resultaten bekeek. Wat verstaat hij met name onder de term grondwateraanvulling? Ook de termen oppervlakkige afstroming, oppervlakkige afvoercomponenten, ontwateringsdiepte en basisafvoer komen veelvuldig voor in de verhalen, maar met een summiere

beschrijving van sommige. Vreemd genoeg komen de termen kwel en wegzijging bijna niet voor in de drie verhalen! Snel de hydrologische bijbel van de Commissie Hydrologisch Onderzoek (CHO, 1986) erbij gepakt om eens te kijken wat daar in staat als omschrijving van de gebruikte termen. In tabel 1 zijn de officiële omschrijvingen gegeven en die ik uit de artikelen van Meinardi heb gehaald en zo goed als mogelijk heb verwoord. Het blijkt dus dat wat hij onder grondwateraanvulling verstaat, in werkelijkheid de wegzijging is naar het diepere grondwater. De term wegzijging gebruikt hij alleen in het tweede deel, als hij een modelstudie van het Eiland van Dordrecht aan-

haalt! De grondwateraanvulling is dus gewoon het water dat vanuit de onverzadigde zone naar het verzadigd grondwater stroomt (tabel 1). Ook de door Meinardi gebruikte term oppervlakkige afvoer (ook term afvoercomponenten wordt gebruikt) is niet geheel in overeenstemming met de definitie uit het hydrologisch woordenboek. Met de termen basisafvoer en ontwateringsdiepte worden totaal andere processen bedoeld! Verwarrend is ook dat hij de term grondwateraanvulling en basisafvoer voor hetzelfde proces gebruikt.

In het vakblad voor hydrologen zouden deze grote verschillen in betekenis eigenlijk niet voor mogen komen (redactie!). Of worden sommige termen door verschillende disciplines anders ingevuld (agro-, drinkwater-, regionale hydrologen, enz.). Ik hanteer zelf de hydrologische bijbel waarin duidelijke omschrijvingen van de meeste termen op hydrologisch gebied staan weergegeven (CHO, 1986), maar misschien zijn een aantal termen aan verbetering of verandering toe. Een werkgroep is overigens bezig het woordenboek te herzien (uitgave hopelijk nog dit jaar). In een artikel zoals door Meinardi geschreven is, is het verhelderend om de gebruikte termen in een figuur op te nemen. Je weet dan precies wat er mee bedoeld wordt. Genoeg over de terminologie. Met de resultaten, die in de artikelen gepresenteerd zijn, heb ik ook wat moeite.

In tabel 1 van deel 1 (STROMINGEN 4, 1998, nummer 3) zijn door Meinardi getallen gepresenteerd over de oppervlakkige afvoercomponenten (overland flow en interflow, drainage) en de basisafvoer (grondwater) in procenten van het neerslagoverschot voor de zandgebieden in Nederland (alle termen uit het artikel overgenomen om verwarring te voorkomen). Wat hier dus eigenlijk bedoeld wordt is: welk deel van de natuurlijke grondwateraanvulling zijgt weg naar het diepere grondwater (de regionale gronda-

terstroming) en welk deel wordt lokaal naar het oppervlaktewater afgevoerd. Per Gt worden er percentages gegeven. Is er eigenlijk wel zo'n eenduidige verdeling te geven die voor alle zandgebieden in Nederland geldt? Een voorbeeld: een Gt III wordt meestal geassocieerd met kwel, dan zal toch in een gebied met kwel de natuurlijke grondwateraanvulling voor 100% in het oppervlaktewater terecht moeten komen! Volgens Meinardi gaat voor Gt 3 er 50% naar oppervlaktewater en 50% zijgt weg naar het diepere grondwater. Volgens tabel 1 (deel 1) zouden gebieden met Gt VI, VII en VII* volledig droog staan, er gaat geen water naar het oppervlaktewater, alles zijgt weg naar diepere lagen! (Er wordt 100% voor basisafvoer gegeven.) Er zullen vast wel situaties zijn waar de resultaten uit tabel 1 van toepassing zijn, maar andere resultaten zijn ook mogelijk. Dat het niet zo'n simpele relatie is blijkt wel uit een studie die door SC-DLO in opdracht van VROM (gedelegeerd opdrachtgever RIVM) is uitgevoerd (Querner e.a., 1994). In die studie is in drie gebieden met behulp van het model SIMGRO de verandering in de grondwateraanvulling en de grondwaterstanden berekend. De resultaten zijn weergegeven per grondwatertrap. Daarnaast is een beeld gegeven van de verandering in de waterhuishouding van het topsysteem (ondiep grondwater). Je kunt precies zien hoeveel verdamping er is, grondwateraanvulling, drainage naar de verschillende ontwateringsmiddelen en allerlaatst wat er naar diepere lagen wegzijgt. De berekeningen zijn uitgewerkt voor het gebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek in Twenthe, voor het Kromme-Rijng gebied in de provincie Utrecht en voor Westerwolde in de provincie Groningen. Bijvoorbeeld in het gebied Poelsbeek en Bolscherbeek blijkt uit de berekeningen dat bij Gt III en IV kwel voor komt en wegzijging bij Gt VI, VII en VIII. Deze wegzijging is echter maar 8-10% van de grondwateraanvulling, de rest gaat

Tabel 1: Omschrijving van enkele hydrologische termen gebruikt in de artikelen van Meinardi e.a en gegeven in het hydrologisch woordenboek (CHO, 1986).

Term	Omschrijving volgens:	
	Artikelen Meinardi e.a.	Hydrologisch woordenboek (CHO, 1986)
Grondwateraanvulling	De voeding van het grondwater bestaat uit het neerslagoverschot minus de hoeveelheden die oppervlakkig tot afstroming komen (deel 1: blz. 29)	De netto aanvulling van het grondwater ten gevolge van enerzijds percolatie van netto neerslag en anderzijds capillaire opstijging
Oppervlakkige afvoer ¹	Overland flow en interflow, drainage (deel 1: tabel 1)	Horizontaal transport van grondwater in een ondiepe verzadigde laag. Het begrip wordt bij voorkeur gebruikt indien dit verschijnsel van tijdelijke aard is; meestal gaat dit verschijnsel gepaard met een schijnspiegel
Basisafvoer	Neerslagoverschot min de oppervlakkige afvoercomponent	Trage afvoer, dat is dat deel van de berging eerst na geruime tijd tot stand komt
Ontwateringsdiepte	De ontwaterde laag ²	De afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen

¹ Ook de term oppervlakkige afvoercomponenten wordt gebruikt

² Bedoelt daar mee de maximale diepte die het water de bodem indringt, alvorens in het oppervlaktewater uit te komen

lokaal naar het oppervlaktewater! In de andere twee gebieden zijn er weer geheel andere resultaten. Het verschil in maaiveld binnen het gebied, maar ook de geohydrologische situatie en de karakteristieken van het oppervlaktewater zullen factoren zijn die een invloed hebben op de verdeling wegzijging en drainage.

Ik hoop met deze reactie duidelijk te hebben gemaakt dat we moeten oppassen met het gebruik van termen als het om het ondiepe grondwater gaat. Daarnaast is het geven van resultaten voor landelijke schaal alleen mogelijk als het gebaseerd is op voldoende resultaten.

Literatuur

CHO (1986) Verklarende hydrologische woordenlijst. Den Haag, CHO TNO; Rapporten en Nota's 16.

Querner, E.P., W.H.B. Aarnink en C.C.P. van Mourik (1994) Scenario-studie naar de veranderingen van grondwateraanvulling en grondwaterstanden tussen de jaren vijftig en tachtig; Rapport 308, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 154 pag.

Dr. E.P. Querner
SC-DLO

Geen vernatting door verzoeting

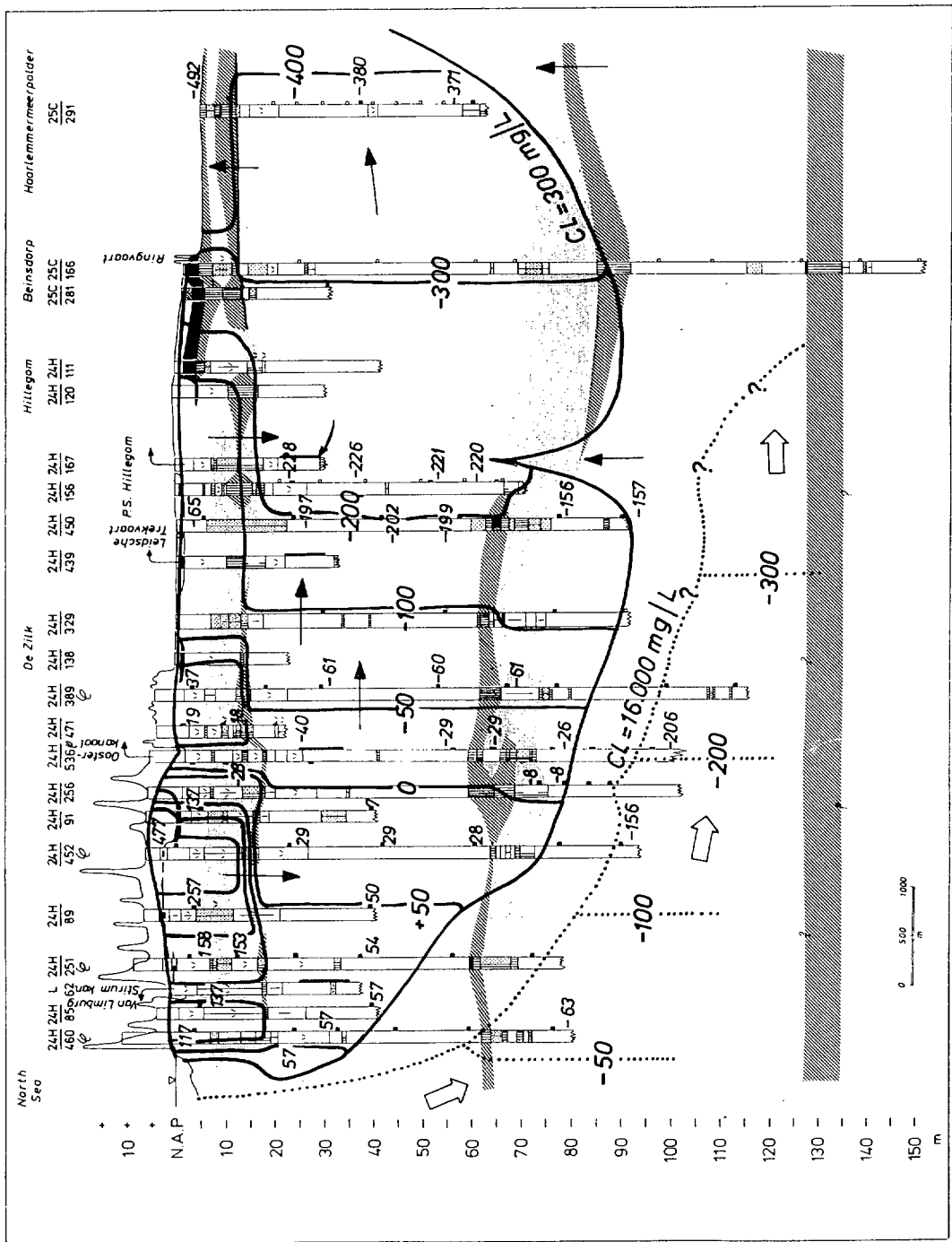
Er wordt de laatste paar jaar zeer veel gesproken en geschreven over vernatting van bollenvelden direct ten oosten van de zuidelijke helft van de Amsterdamse Waterleidingduinen tussen Zandvoort en Noordwijk. Wij hebben inmiddels in zo'n 40 rapporten de meest uiteenlopende hydrologische aspecten onder van de problematiek onder de loep genomen. Ook anderen zoals het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, de Hagelunie, adviesbureau A.P. Bot, de Grontmij en DLO-Staring Centrum hebben onderzoek verricht, terwijl in het komende najaar nog een studie van TNO tegemoet wordt gezien. Er is dus al heel veel veelal zeer gedegen onderzoek uitgevoerd en het gaat nog altijd door. De jongste telg aan de serie rapporten is ons eigen onderzoek (Olsthoorn, 1999) naar de vernatting door verzoeting, zoals geopperd door Van den Akker (1999) in dit blad. We hadden drie maanden nodig om wat dit fenomeen betreft de laatste steen boven water te tillen. Het resultaat luidt: "Er is geen vernatting door verzoeting in de Duin- en Bollenstreek". Het onderliggende onderzoek, dat onder meer 100 jaar simulatie met verplaatsing van dichtheidsvelden omvat, is meer waard en interessanter dan een commentaar in STROMINGEN en zal daarom afzonderlijk worden gepubliceerd. Hier wil ik me beperken tot het aspect vernatting door verzoeting, toegespitst in de Duin- en Bollenstreek rond Hillegom en De Zilk.

Er is niets mis met de theorie die door Van den Akker (1999) is gepresenteerd. Echter de omstandigheden blijken af te wijken van de gemaakte aannamen, waardoor het fenomeen hier anders uitpakt dan in het artikel van Van den Akker berekend. Ik zal proberen dit hier duidelijk te maken. De situatie wordt helder in figuur 1, ontleend aan Stuyfzand (1988, figuur 3.66). Dit betreft een uitvoerig geologisch, hydrologisch en geochemisch in kaart gebrachte

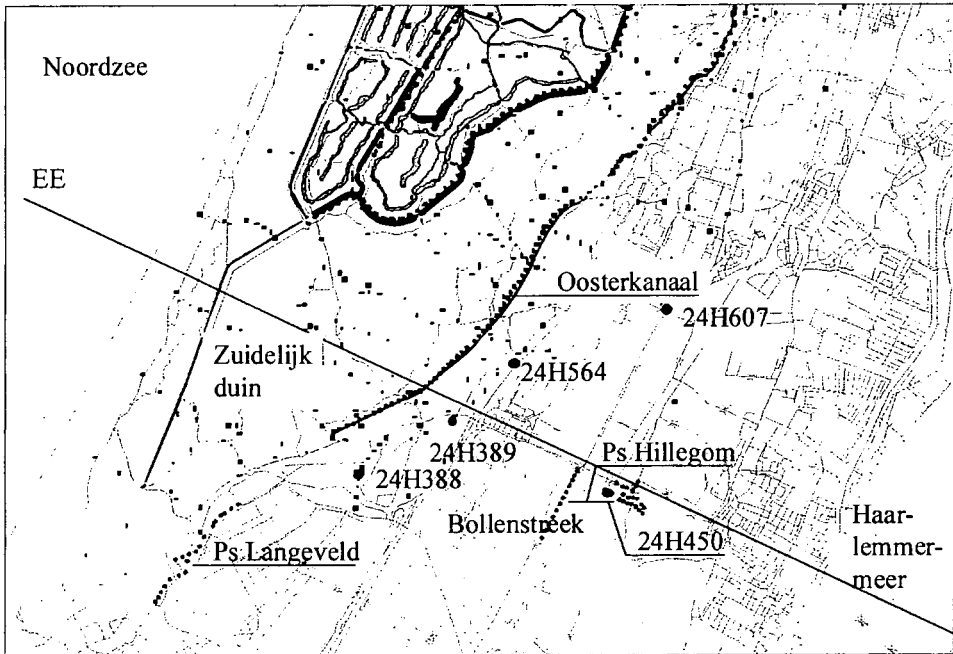
doorsnede loodrecht op de kust, midden door ons zuidelijk duin en dwars door het veel besproken bollengebied tot in de Haarlemmermeer (figuur 2). Het door ons gesimuleerde stijghoogte- en stroomlijnenbeeld van deze doorsnede blijkt overigens geheel in overeenstemming met deze op zeer veel metingen gebaseerde figuur (Olsthoorn, 1999).

Figuur 1 laat zien dat het schuin oplopende grensvlak, dat door Van den Akker in zijn analyse wordt gebruikt, zich onder de Haarlemmermeer bevindt en niet onder de bollenvelden, welke direct aan het duingebied grenzen. Onder de bollenvelden is de situatie in feite omgekeerd. Figuur 1 toont de wig zeer zout Noordzeewater, die zich weg baant in de richting van de in 1852 droog gelegde Haarlemmermeer met zijn oppervlaktewaterpeil NAP -6 m. Dit water ruikt op met een snelheid in de orde van 2400 m/eeuw en zal de komende duizend jaar het brakke water, dat zich onder de Haarlemmermeer bevindt, voor een groot deel vervangen (Oude Essink, 1996). Er is dan ook geen sprake van evenwicht tussen de verschillende dichtheidszones. De scheidinglijn tussen brak en zout water onder de Duin- en Bollenstreek blijkt dus naar het oosten toe omlaag te lopen (zie 15000 mg/l lijn in figuur 1). De voortgaande verplaatsing van dit zoute Noordzeewater veroorzaakt hierdoor een geleidelijke stijging van dit grensvlak onder de Duin- en Bollenstreek. Er treedt dus een autonome verzilting op, in plaats van de op het eerste gezicht wellicht verwachte verzoeting.

Hiernaast speelt een ander fenomeen een rol, welke in figuur 1 niet goed tot uiting komt. In 1925 werden de circa 40 m diepe bronnen langs het Oosterkanaal (zie figuren 1 en 2) in bedrijf genomen. Deze putten onttrekken tot 1957 2 à 4 miljoen m³/jaar. Hierbij trad een aanmerkelijke verzilting op, waarbij brak en zout water over tientallen meters werd opgetrokken. In 1957 begon in het noordelijk duingebied de kunstmatige



Figuur 1: Doorsnede EE vanaf de Noordzee door het duingebied, de Bollenstreek en de Haarlemmermeer (uit Stuyfzand, 1988; zie voor de ligging figuur 2).



Figuur 2: Situatie: Duingebied met aangrenzend bollengebied en Haarlemmermeer. Ligging doorsnede en peilbuizen met chloridemetingen in de Bollenstreek.

infiltratie met rivierwater. De putten langs het Oosterkanaal werden daarbij terug geschroefd tot circa 1 miljoen m³/jaar. Vanaf 1964 waren zij een aantal jaren geheel uitgeschakeld, zodat de situatie zich zou kunnen herstellen. Vanaf 1971 werden de putten alleen nog sporadisch aangezet. Het pompstation Hillegom lag midden in de Bollenstreek. Het startte in 1876, bijna 50 jaar voor de diepe winning langs het Oosterkanaal. De onttrekking bedroeg tot 1957 circa 1 miljoen m³/jaar en loopt dan in 10 jaar op tot circa 1,7 miljoen m³/jaar, om verder constant te blijven tot 1982, het jaar van sluiting. Derhalve was tussen 1957 en 1982 de onttrekking van het Oosterkanaal verregaand gereduceerd, terwijl die van pompstation Hillegom met 70% werd uitgebreid. De invloed van het in 1995 gesloten, ook verziltende pompstation Langeveld ten zuiden van de Amsterdamse Waterleidingdui-

nen (figuur 2), wordt hier gemakshalve buiten beschouwing gelaten.

Aangezien de stroming van het grondwater oostwaarts is, verplaatste de opgetrokken bult brak en zout water zich na 1957 vanaf het Oosterkanaal in de richting van de Bollenstreek en pompstation Hillegom. Onderweg trad hierbij een zekere afvlakking op, maar de bult blijft desondanks grotendeels bestaan. Na staking van de onttrekking van Hillegom, 25 jaar later, begint ook deze bult brak water af te vlakken en zich te verplaatsen. Beide bulten smelten uiteindelijk aaneen en zijn nu als één enkele kilometers brede flauwe opbolling onderweg naar de Haarlemmermeer. Op dit moment ligt de top ongeveer midden tussen de duinrand en de spoorlijn Haarlem Leiden (figuur 3).

De oostwaartse verplaatsing van deze opbolling voorkwam verzoeting in de Bollenstreek vanaf 1957 en verhindert verzo-

ting gedurende zeker de komende halve eeuw. Dit aspect staat geheel los van het andere verziltende effect, namelijk het op grote diepte oprukkende zeer zoute Noordzeewater.

Alles bijeen genomen is er van verzoeting onder de Duin- en Bollenstreek geen sprake, en dus evenmin van het tweede-orde effect daarvan, namelijk, de vernatting door verzoeting. De uitgevoerde simulatie laat zien dat in de Bollenstreek sinds 1957 de diepe stijghoogte door de verplaatsing van grensvlakken circa 1,5 cm is gedaald in plaats van gestegen. Het effect op het eerste watervoerende pakket is een verlaging van ongeveer een millimeter. Dit vanwege de peilbeheersing van het oppervlaktewater en de weerstand van de scheidende laag aan de basis van het Holoceen op circa NAP -12 m. Grondwaterstandverhoging door verzoeting treedt wél op binnen het duingebied. In het midden van het duingebied bedraagt zij sinds 1957 anderhalf à twee cm, zowel freatisch als diep.

Zelfs dempen van het Oosterkanaal (waarbij de grondwaterstand plaatselijk 3 m zou stijgen!) zou de komende tientallen jaren onder de Bollenstreek geen enkele stijging van de diepe stijghoogte door verzoeting teweegbrengen. Anderzijds zal de stijghoogtetoeename door de verzoeting in het duingebied zelf in de 25 jaar na een dergelijke maatregel slechts 3 cm zijn, honderd maal zo klein als het directe effect van de maatregel. Dit geldt overigens in het algemeen: daar vernatting door verzoeting het gevolg is van menselijk ingrijpen, zoals sluiting van winningen, is het directe effect op stijghoogten ca. twee ordes groter dan het indirecte effect, dat wordt veroorzaakt door geleidelijke verplaatsing van grensvlakken. Door de plaatselijke omstandigheden, waaronder de hydrologische historie van het gebied, kan het effect blijkbaar tegengesteld zijn aan wat men in eerste instantie wellicht zou verwachten. Verschillen met de berekeningsresultaten van de analyse van

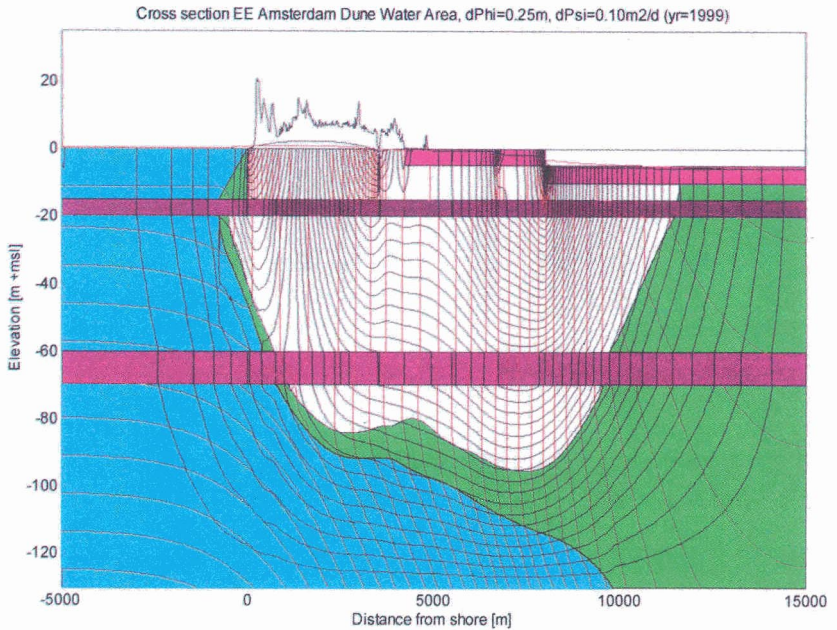
Van den Akker (1999) berusten mijns inziens tevens op het in zijn sterk vereenvoudigde benadering ontbreken van terugkoppelingen tussen stijghoogten, grensvlakverplaatsingen en de randvoorwaarden van het systeem.

Ter verificatie van het bovenstaande geeft figuur 4 het verloop van het chloridegehalte van waarnemingsfilters in de bewuste streek. Het blijkt dat bij geen enkele van de beschikbare waarnemingsfilters in de streek verzoeting optreedt, integendeel, er blijkt sprake van verzilting overeenkomstig het bovenstaande. Dankzij het uitgevoerde onderzoek zijn de redenen hiervan nu bekend.

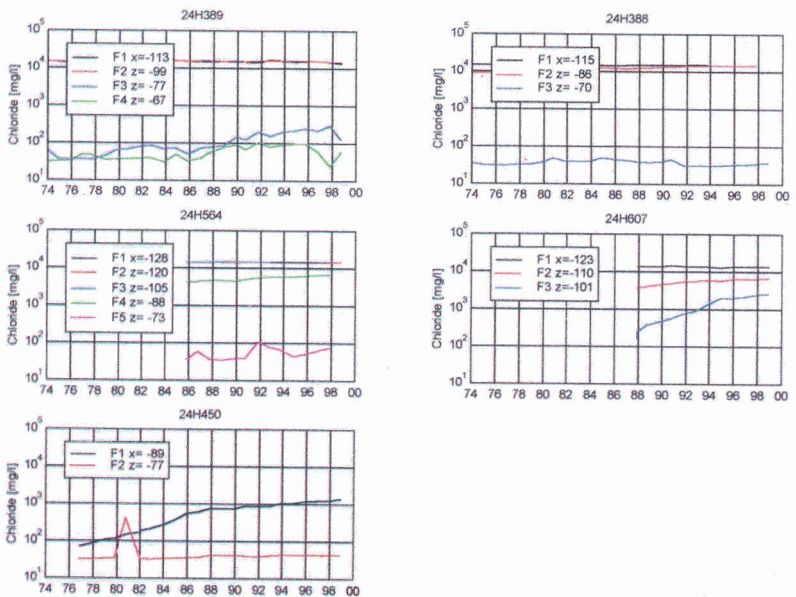
Referenties

- Akker, C. van den (1999)** Vernatting door verzoeting; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 2, pag 27-34.
- Olsthoorn, T.N. (1999)** Verzilting en verzoeting in het Zuidelijk duin en de Duinen Bollenstreek en de verandering van grondwaterstanden door vernattingsmaatregelen en dichtheidsstroming; Gemeentewaterleidingen, Hydrologie, 990716, 52 pag.
- Oude Essink, G.H.P. (1996)** Impact of Sea Level Rise on Groundwater Flow Regimes; proefschrift Technische Universiteit Delft, 411 pag.
- Stuyfzand, P.J. (1988)** Hydrochemie en hydrologie van de duinen en aangrenzende polders tussen Noordwijk en Zandvoort aan Zee; Kiwa, SWE 87.007, 343 pag.

Theo Olsthoorn
Gemeentewaterleidingen Amsterdam



Figuur 3: Zoetwaterstijghoogten en stroomlijnen in doorsnede EE voor huidige situatie (1999) met restant van opbolling onder de Bollenstreek die afstroomt in oostelijke richting. Groen is brak water (5.000 mg Cl⁻/l), blauw is zout water (16.000 mg Cl⁻/l).



Figuur 4: Verloop van het chloridegehalte in beschikbare waarnemingsfilters aan de duinrand en de Bollenstreek (zie figuur 2 voor de ligging van de putten).