
De eerste stappen in de vierde dimensie

H. Boukes

Samenvatting

In het verleden zijn er rond pompstation Budel nooit overdadig veel gegevens verzameld. Bij een studie naar de toekomstige waterkwaliteit van het pompstation is het daarom van belang de gegevens die er wel zijn zo efficiënt mogelijk te benutten. Dit betekent onder meer dat er een goed beeld moet bestaan van de herkomst van het water dat recent en in het verleden onttrokken is. Op pompstation Budel is het onttrekkingsregime de laatste jaren nogal eens veranderd, waardoor ook het stromingsbeeld aan veranderingen onderhevig is geweest.

Om die veranderingen in kaart te brengen, is er een stationair 3-D stromingsmodel ontwikkeld. De eerste resultaten geven een soms verrassend nieuw inzicht in de stromingssituatie, en sluiten op het eerste gezicht beter aan bij de waargenomen kwaliteitsontwikkeling dan de stationaire schematisatie.

In dit artikel wil ik u laten kennis maken met begrippen als een groeiend herkomstgebied, en hoop ik een aanzet te geven tot een verklaring waarom nieuwe pompputten beter water leveren dan oude, maar dat de kwaliteit onherroepelijk slechter wordt.

Nadat we eind jaren tachtig de 2-D schematisatie hebben ingeleverd voor de 3-D benadering, zouden we nu wel eens aan het begin kunnen staan van een periode waarin we rekening kunnen houden met de vierde dimensie (tijd) en de variaties daarin.

Inleiding

In het uiterste zuidoosten van de provincie Noord-Brabant ligt het pompstation Budel, waar de NV Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) water onttrekt ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Het gaat hier om een ondiepe winning, waarbij de grillige Nuenen-formatie de voornaamste reden is om niet direct van een freatische winning te spreken. In het onttrokken water wordt al enige jaren een stijging van de sulfaat- en ijzerconcentraties waargenomen. Aan Adviesburo Harry Boukes is gevraagd om aan te geven wat daarvan de oorzaak kan zijn, tot hoe ver en tot wanneer die stijging door kan gaan.

Omdat er een verband vermoed wordt tussen beide parameters en de overbesteding uit de jaren zeventig en tachtig, werd een aanpak vergelijkbaar met het modelonderzoek Vierlingsbeek (Boukes e.a., 1996) wenselijk geacht. Het pompstation Vierlingsbeek is echter jarenlang een speerpunt van onderzoek geweest. Het pompstation Budel is dat niet, en het is ook niet de bedoeling van de beheerder dat het pompstation dat gaat worden. Dat betekent dat het aantal gegevens voor een modelbouwer nogal summier is. Om toch met de vraagstelling uit de voeten te kunnen, was er een grondige analyse nodig van de gegevens die wel beschikbaar zijn. In dit artikel zal worden aangegeven op welke manier de analyse van de hydrologische situatie is uitgevoerd, en tot welke resultaten dit heeft geleid.

Historie en structuur van het puttenveld

Begin 1953 is de winning op het pompstation van start gegaan. In eerste instantie bedroeg het debiet ca. 0,3 miljoen m³/jaar, dat aan vier pompputten werd onttrokken. Deze pompputten lagen op een rechte lijn, haaks op de natuurlijke stromingsrichting van het grondwater.

Al in 1956 werden de eerste putten bijgeplaatst, en in de loop van de tijd nam de ontzekking geleidelijk in omvang toe. Inmiddels is het debiet gestabiliseerd op ca. 5,5 miljoen m³/jaar, dat aan 20 pompputten wordt onttrokken. De laatste putten zijn in 1992 bijgeplaatst. Het puttenveld heeft min of meer de vorm van drie parallelle lijnen, haaks op de natuurlijke stromingsrichting.

Eerste verkenning: stationaire stromingsberekening

Door de WOB was de ontwikkeling van de kwaliteit in grote lijnen in beeld gebracht (Bannink, 1995). De eerste hydrologische stap bestond uit het bepalen van de herkomst van het water. De normale gang van zaken is dat daarvoor een stationair stromingsmodel wordt gebruikt. Daarvan is in eerste instantie niet afgeweken, en deze berekeningen gaven al direct een hoop duidelijkheid.

Globaal blijken de putten in vier groepen op te delen:

- 1 de middelste putten, waar de hoogste concentraties sulfaat en ijzer worden waargenomen;
- 2 de putten aan de noordwest-rand, waar de concentraties sulfaat en ijzer hoog zijn;
- 3 de putten aan de zuidrand, waar een gemiddelde kwaliteit wordt waargenomen;
- 4 de putten aan de noordoost-rand, waar de concentraties ijzer en sulfaat relatief laag zijn.

De middelste putten onttrekken het water dat rondom het puttenveld infiltreert. Op één of andere manier bestaat er bij veel hydrologen het idee dat putten in het midden van een puttenveld water van grotere diepte onttrekken. Ik kan me voorstellen dat dat idee ontstaan is bij zoet/zout-problemen, waarbij verhoogde chloride-concentraties het eerst in de middelste putten worden waargenomen. Doorgaans zal deze voeding van onderaf ruimschoots onvoldoende zijn om het onttrokken water aan te voeren, zeker wanneer de pompput op een (afsluitende) kleilaag is geplaatst. Omdat de zijkanten afgeschermd zijn door andere putten, resteert er maar één voedingsrichting: van bovenaf. Dit is voor de omliggende putten geen bezwaar: die kunnen onder dit intrekgebied door hun water van grotere afstand aantrekken.

Dit betekent dat de middelste putten het water oppompen met de kortste verblijftijd, en in de praktijk is dat het water met de slechtste kwaliteit.

De putten aan de noordwest-rand van het puttenveld onttrekken water dat afkomstig is uit een gebied waar ook de bebouwde kom van Budel toe behoort. Dit water is aanmerkelijk ouder, maar het is voorstelbaar dat eeuwenlange menselijke activiteiten tot verhoogde uitspoeling van een aantal mobiele parameters heeft geleid.

De putten aan de zuidrand hebben hun intrekgebied op enige afstand in zuidelijke richting van het pompstation. Het water stroomt hier dus onder het intrekgebied van de middelste putten door, en moet een flinke afstand afleggen voordat het op het pompstation aankomt. Dat betekent dat het water uit een periode stamt dat het infiltrerend water min-

der verontreinigd was, en bovendien heeft bodempassage tot een aanzienlijke verbetering van de kwaliteit geleid.

De noordoostelijke putten onttrekken water dat in het natuurgebied 'Weerter en Budeler bergen' is geïnfiltreerd. De belasting is hier altijd laag geweest, en bovendien is de reistijd aanzienlijk.

Nadere vraagstelling: is stationair voldoende?

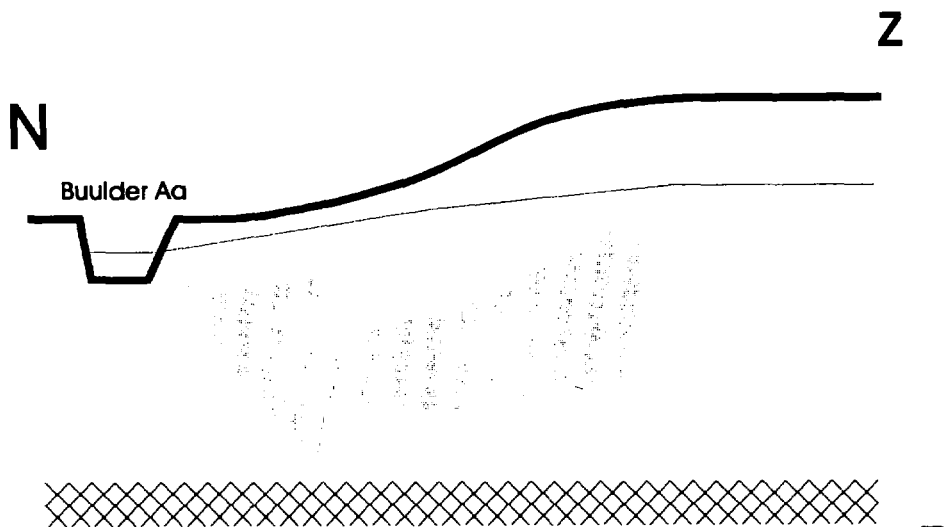
Hoewel we nu dus al begrijpen hoe bepaalde verschillen ontstaan, kunnen we de gestelde vraag dus nog niet beantwoorden. Bovendien is het onttrekkingsregime de afgelopen jaren nog al eens bijgesteld. In de jaren tachtig waren de hoge concentraties in één van de middelste putten reden om de onttrekking hier vrijwel tot nul te reduceren. De laatste jaren doet deze put weer mee, en lijkt de kwaliteit te verbeteren. De noordoostelijke putten zijn pas in 1992 in gebruik genomen, en de concentraties lopen hier op.

Bovendien is onduidelijk wat het effect is van de onttrekking die in de loop van de tijd is toegenomen. Het is natuurlijk niet zo dat wanneer het onttrekkingsregime verandert, het intrekgebied à la minute mee verandert. Als een put wordt aangezet is er immers al een hoeveelheid water volgens het oude stromingspatroon onderweg gegaan. Een deel van dit water is al zo dicht de putten genaderd, dat het niet meer terug kan. Met andere woorden, terwijl zich een nieuw intrekgebied instelt, onttrekt de put nog geruime tijd water volgens het oude intrekgebied. Hoewel het potentiaalbeeld zich relatief snel zal instellen (soms binnen enkele dagen, hooguit binnen een jaar), kan het jaren duren voordat het water in het gehele systeem zich gedraagt zoals met het stationaire stromingsmodel wordt berekend. (In feite gedraagt het water zich natuurlijk volgens het stationaire intrekgebied vanaf het moment dat het potentiaalbeeld is ingesteld, maar dan wel vanaf de plaats waarop het zich dan bevindt. Op het pompstation wordt dit waargenomen als een lange insteltijd.) Niemand weet hoe sterk dat effect is, en dus weet niemand of we nu water oppompen uit het intrekgebied zoals dat voor 1980, 1990 of 1994 wordt berekend.

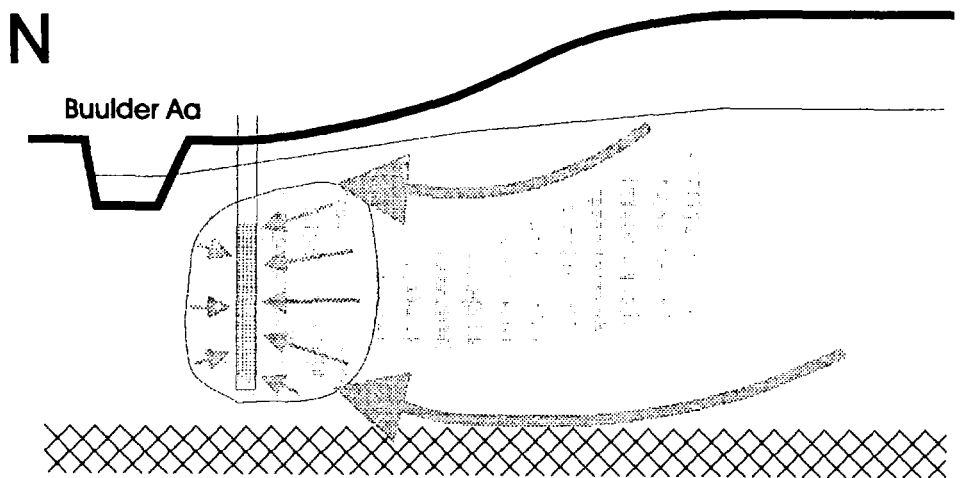
Voor alle duidelijkheid: we praten over het verschil tussen waar het water vandaan komt en waar het naar toe gaat. Het water dat nu in de bodem infiltreert zal zich als gevolg van de (zich snel instellende) potentiaal-verschillen naar het pompstation verplaatsen, en daar over het berekende jaren aankomen (mits de berekening klopt, en het onttrekkingsregime niet verandert). Om te berekenen waar het water naar toe gaat, volstaat doorgaans een stationaire berekening. Deze berekening kan gebruikt worden om aan te geven of een verontreiniging die nu in het ondiepe water aanwezig is, ooit op een pompstation zal aankomen.

Voor de analyse van de waargenomen waterkwaliteit moet bekend zijn waar het water vandaan komt dat nu wordt onttrokken, en hoe lang het er over gedaan heeft. Dat betekent dat dit water onderhevig is geweest aan de wisselingen in het onttrekkingsregime, die in de afgelopen jaren hebben plaats gevonden, en dat die wisselingen dus in mijn stromingsberekening meegenomen moeten worden.

Uiteraard geldt dat alleen als deze wisselingen een merkbare invloed hebben op de kwaliteit van het onttrokken water. Omdat niemand weet of dat zo is, was er maar één oplossing om er achter te komen: gewoon proberen.



Figuur 1: Situatie Budel voor aanvang winning



Figuur 2: Situatie Budel na 1 jaar winning

Een instationair stromingsmodel

Nu is de markt van instationaire stromingsmodellen weinig dik bezaaid, te meer omdat ik wilde vasthouden aan het rekenen in drie dimensies. Voor de potentiaalberekeningen is het in mijn ogen onovertroffen programma MODFLOW ruim voldoende. (Het beste programma is immers het programma waar de betreffende gebruiker het beste in thuis is.) Door USGS is een post-processor ontwikkeld, waarmee ook instationaire stroming berekend kan worden, nl. het programma MODPATH. Nadeel van deze manier van werken is dat er gigantische cell-by-cell-flow-bestanden geproduceerd worden (drie stromingsrichtingen voor elk element, maal 62 x 71 x 7 elementen, maal ca. 20 tijdstappen).

Om ook de mogelijkheid open te laten dat het stromingsprogramma bij de kwaliteitsberekeningen gebruikt kan worden, is besloten het in 1989 bij KIWA ontwikkelde programma

BOUFLO3 (Boukes, 1989) in MODFLOW in te bouwen, zodat potentiaal-berekening en stromingsberekening in één run uitgevoerd kunnen worden. Hierbij kan dus gebruik gemaakt worden van alle faciliteiten van MODFLOW, zonder dat er ongewenste stromingsbestanden worden geproduceerd.

De eerste resultaten

In figuur 1 is schematisch weergegeven hoe de stromingssituatie was voor de aanvang van de winning. In figuur 2 is aangegeven hoe het begin van de winning in dit stromingsbeeld geplaatst moet worden.

De berekeningsresultaten geven aan dat het water dat het eerst onttrokken wordt, afkomstig is uit de verste delen van het intrekgebied. Na één jaar winnen (eind 1953) komt het herkomstgebied al in grote lijnen overeen met het intrekgebied. Het instationair berekende gebied ligt nog maar 100 à 200 m van het stationair berekende gebied. In dat geval is er dus geen aanleiding om verschillen tussen het stationair en instationair berekende intrekgebied mee te nemen.

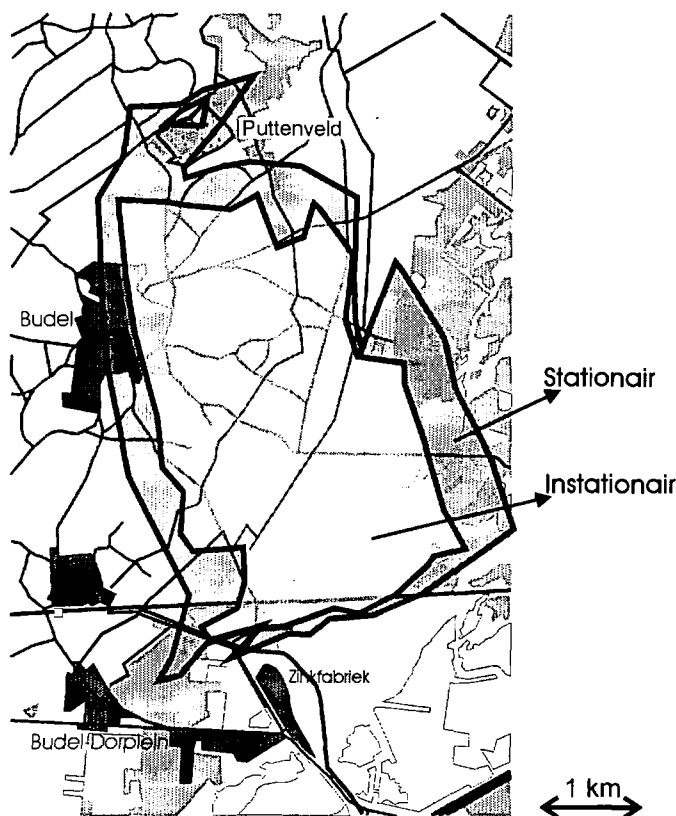
Het is niet helemaal duidelijk wat de reden is van deze snelle insteltijd. Mogelijk ligt het aan het geringe debiet, maar zelf denk ik dat de hydrologische situatie de beste verklaring is: tussen het intrekgebied en het pompstation is een kwelzone aanwezig, die ondanks de winning gewoon in takt blijft. Het intrekgebied ligt dus op enige afstand van het pompstation, in het gebied waar de potentialen niet door de onttrekking beïnvloed worden. De stationaire situatie is dan dat van een groot stromingssysteem een deel wordt afgevangen. Op enige afstand van de winning is de stromingssituatie ongewijzigd.

Na 1953 is de onttrekking geleidelijk toegenomen. Volgens de instationaire berekeningen wordt pas in 1978 de kwelzone overbrugd. Pas vanaf dat moment wordt er water onttrokken dat in de nabijheid van het pompstation geïnfiltrerd is. Het betreft dan nog ca. 1% van de totale onttrekking.

Dit is dus een keerpunt in het onttrekkingsregime, en bovendien het moment dat in het onttrokken water de concentraties begonnen te stijgen. Met een stationaire berekening wordt voor hetzelfde moment het aandeel recent water ongeveer twee keer zo groot berekend. Dit geldt ook voor het aandeel van het water jonger dan twintig jaar (de periode die van belang is om het effect van overbemesting vast te stellen). Bij de instationaire berekening eind 1978 bedraagt de hoeveelheid water jonger dan 20 jaar ca. 6%, en bij de stationaire berekening (stromingssituatie vanaf 1976) al ca. 11%.

Ook aan de hand van de ligging van de herkomstgebieden valt af te leiden dat er relevante verschillen zijn (figuur 3). Het instationair berekende herkomstgebied ligt binnen de grenzen van het stationair berekende gebied, en met name aan de noordkant van het intrekgebied betekent dit dat er grote verschillen zijn ten aanzien van de hoeveelheid recent water.

Mijn eerste vraag was hoe zich dit verhoudt tot de waterbalans: is het überhaupt mogelijk dat een herkomstgebied kleiner is dan een intrekgebied? Binnen het intrekgebied valt immers precies die hoeveelheid nuttige neerslag, dat het produkt van oppervlakte maal voeding gelijk is aan het onttrokken debiet. Binnen een kleiner gebied is dit produkt minder, en de vraag is dan waar het resterende water vandaan komt.



Figuur 3: Herkomst water p.s. Budel eind 1978

Het antwoord op deze vraag is uiteraard gelegen in het instationaire aspect van de stroming. Stel dat in de oude situatie een perceel water levert van 100 jaar oud. Stel dat in de nieuwe situatie ditzelfde perceel water levert van 90 jaar oud. Dat betekent dat er een overgangperiode is, waarin dit perceel een bijdrage levert die groter is dan de jaarlijkse voeding. Als die overgangperiode twee jaar zou zijn, betekent dit dat in die twee jaar de hoeveelheid neerslag van 90 tot 100 jaar geleden in het herkomstgebied opgenomen moet worden. Met andere woorden, in die twee jaar is de bijdrage van het betreffende perceel vijf keer zo groot. Na die twee jaar geldt dan weer de stabiele stationaire voeding.

(Er is te weinig ervaring met instationair rekenen om na te gaan of het bovenstaande voorbeeld reëel is. Wat ik wil zeggen is dat een verandering van de leeftijdsverdeling die op het oog vrij onbeduidend lijkt, soms een grote hoeveelheid water betreft.)

De eindconclusie van deze exercitie was dus dat het van belang is om de stromingssituatie instationair mee te nemen om de oorzaak te bepalen van de stijgende concentraties.

Waar staan we nu?

Heel vers van het mes geven de eerste resultaten van instationaire stromingsberekeningen aan dat het geruime tijd kan duren voordat een intrekgebied zich instelt. Dit lijkt met name het geval wanneer het hydrologische systeem aanmerkelijk verandert. Om de vraag te beantwoorden waar het water op een bepaald moment vandaan komt (of gekomen is), moet hiermee rekening worden gehouden. Ook geven de berekeningen aan waarom nieuwe putten in principe beter water geven dan bestaande putten, maar ook waarom die kwaliteit onherroepelijk slechter wordt. Om te berekenen hoe snel die veranderingen gaan is er nu een instrument beschikbaar.

Dit instrument kan natuurlijk veel meer problemen aan dan alleen het pompstation Budel. In zijn algemeenheid kan berekend worden wat het effect is van een waterloop die slechts een deel van het jaar infiltreert. Het is maar de vraag of de gangbare stationaire berekeningen (ijken aan de hand van gemiddeld peil en gemiddelde grondwaterstand) de werkelijkheid goed beschrijven. Bij grondwatersaneringen kan het effect van intermitterend pompen nauwkeurig in beeld worden gebracht. Er zijn stationair berekende vormen van hydrologische isolatie, die ook eens instationair gecontroleerd kunnen worden, en zo zijn er talloze voorbeelden te bedenken.

Voor het onderzoek naar de kwaliteit van het water op pompstation Budel, zal het 3-D instationaire stromingsmodel worden omgebouwd naar een kwaliteitsmodel, zodat de ijking van de processen betrekking heeft op het juiste water. Eind dit jaar moet dit programma beschikbaar zijn, en de resultaten van het onderzoek bekend. Uitgangspunt is dat het onderzoek met een bescheiden budget uitgevoerd wordt, en dat betekent dus ook een korte looptijd van het project.

Eindconclusie

Nadat eind jaren tachtig de 2-D FLOP-berekeningen geleidelijk zijn vervangen door 3-D stromingsbeelden, zouden we nu wel eens aan het begin kunnen staan van een periode waarin ook rekening gehouden wordt met de vierde dimensie (tijd), en de variaties daarin.

Literatuur

- Bannink, A. (1995)** Onderzoek naar de kwaliteit van het grondwater in het grondwaterbeschermingsgebied Budel 1994; intern rapport WOB, afd. Onderzoek en Plannen.
- Boukes, H (1989)** Handleiding en beschrijving van het 3-dimensionale stromingsprogramma BOUFLO3; KIWA, SWE-89.019, 1989.
- Boukes, H, C.A. van Bennekom en J.G.H. Philips (1996)** Overbemesting en drinkwater: geen nitraatprobleem; in: *H₂O*, jrg 29, nr 11.

Harry Boukes
Rosweijdelaan 29
3454 BL De Meern
Tel + Fax: (030) 6666128
E-mail: H.Boukes@inter.nl.net

