

1. Inleiding

Wanneer we de problematiek van de bodemverontreinigingen nog eens goed bekijken vanuit de optiek van de waterleiding-bedrijven, dan blijkt de kern van het probleem niet zo zeer te bestaan uit het feit dat er een stof in de bodem aanwezig is die er niet thuis hoort, maar dat die stof zich verplaatst naar het grondwater, en vervolgens met het grondwater meestroomt, bijvoorbeeld in de richting van een pompstation. In het verleden werden we nog al eens verrast door verontreinigingen die



H. BOUKES
KIWA
Nieuwegein

zich op deze manier al naar een pompstation verplaatst hadden, en zich in het opgepompte water bevonden. Er was dan vaak weinig tijd voor een grondige voorbereiding op te nemen maatregelen. De genomen maatregelen zijn tot dusver achteraf afdoende gebleken, maar door de tijdsdruk waren ze niet altijd even efficiënt. Die tijdsdruk kan in veel gevallen verlaagd worden door van tevoren aan te geven welke verontreinigingen zich naar een pompstation verplaatsen, op welke termijn ze daar verwacht worden, en in welke hoeveelheden. Ook zouden beleidsmakers graag willen weten wat het effect is van bepaalde beschermende maatregelen op de kwaliteit van het onttrokken water in de nabije en verre toekomst.

De vraag naar deze voorspellingen is in feite de vraag naar het transport van stoffen door de bodem. Om deze vraag te kunnen beantwoorden blijkt het noodzakelijk om het probleem in tweeën te splitsen:

1. De stroming van het grondwater door de bodem, dat dient als medium, als drager van de verontreinigende stof.
 2. Het gedrag van de stof ten opzichte van het stromende grondwater.
- In het hiernavolgende artikel zal worden aangegeven op welke wijze deze zaken in beeld gebracht kunnen worden.

2. Grondwaterstroming

Bij het oplossen van vragen met betrekking tot het grondwatertransport gaat het om de volgende zaken:

- Intrekgebied;
- Verblijftijden;
- Stroombanen.

Met name de berekeningen naar verblijftijden en stroombanen hebben we in het verleden al vaak uitgevoerd, meestal met

behulp van het onvolprezen computer-programma FLOP [v. d. Akker e.a., 1981]. De mate van schematisatie van de werkelijkheid was bij de FLOP-programma's die tot voor kort beschikbaar waren, meestal erg hoog.

Zo hebben we de basis van het watervoerend pakket bijna altijd waterdicht verondersteld. Het was ook niet relevant om gegevens te verzamelen over de doorlatendheid van onderliggende pakketten, omdat toch niemand aan kon geven hoe dergelijke gegevens verwerkt zouden moeten worden. De laatste tijd blijkt echter dat het al dan niet waterdicht veronderstellen van de basis aanzienlijke gevolgen kan hebben voor de ligging en omvang van het intrekgebied.

Een andere veel gebruikte schematisatie is, dat de voeding en afvoer van het oppervlaktewater homogeen over de gehele oppervlakte van het intrekgebied worden verdeeld. Er zijn vele situaties waarin één of meerdere sloten relatief veel water in een klein gebied draineren. Als gevolg hiervan valt een gebied op korte afstand bovenstrooms van zo'n sloot buiten het intrekgebied, terwijl verder afgelegen gebieden wel weer binnen het intrekgebied vallen (afb. 1) Ook wanneer sloten water zouden aanvoeren kan dit aanzienlijke consequenties hebben voor de ligging van het intrekgebied, maar bovendien wordt de kwaliteit van het opgepompte water direct bepaald door de kwaliteit van het infiltrerende water. Daarnaast kunnen heterogeniteiten in de bodemopbouw een aanzienlijke spreiding van de verblijftijden te zien geven. De mate van verblijftijdspreiding wordt bepaald door de verschillen in doorlatendheid van afzonderlijke lagen in een watervoerend pakket.

Dit betekent dat een vrij grove schematisatie van de werkelijkheid het berekende stromingsbeeld, en daarmee de resultaten

van voorspellingen aanzienlijk kunnen beïnvloeden. Een berekening naar de kwaliteit van het opgepompte grondwater vraagt derhalve om een zeer goede benadering van het stromingsbeeld, waarbij bijvoorbeeld onregelmatigheden in het stromingsbeeld niet meer uitgemiddeld mogen worden. Hierdoor zal minder vaak dan voorheen de drie-dimensionale werkelijkheid tot een twee-dimensionaal rekenmodel geschematiseerd mogen worden.

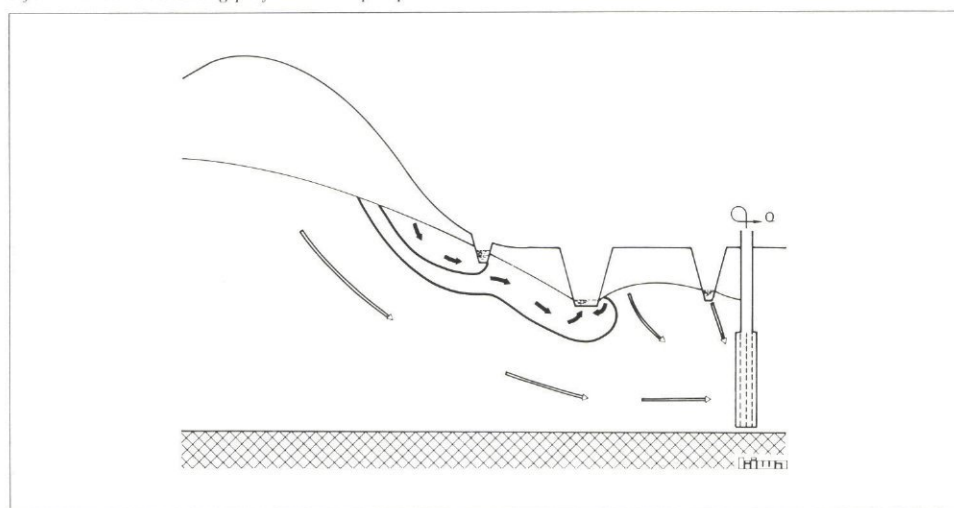
3. Transportmodellen

De eenvoudigste manier om een schatting te maken van een concentratie op een pompstation is extrapolatie van de huidige trend: bedroeg het nitraatgehalte in het opgepompte water vorig jaar bijvoorbeeld 10 mg/l, en is het dit jaar 15 mg/l, dan is het niet onlogisch te veronderstellen dat de concentratie volgend jaar 20 (stijging 5 mg/l/jaar) of 22,5 (stijging 1,5 maal) mg/l bedraagt. Omdat de voorspelde waarde sterk afhankelijk is van de huidige waarde is de onnauwkeurigheid van dergelijke schattingen vaak minder groot dan menig modelbouwer u wil doen geloven. Voor schattingen op langere termijn neemt de onnauwkeurigheid echter snel toe omdat er geen inzicht is in het achterliggende proces.

Een andere eenvoudig uit te voeren methode, waarbij toch enig inzicht in de totstandkoming van de nitraatconcentratie wordt meegenomen, is een stationaire benadering: uitgaande van een correct berekend intrekgebied bepaalt u de aandelen van de voorkomende vormen van landgebruik in dat intrekgebied, en de uitspoeling bij elke vorm van landgebruik. Op deze wijze berekent u de bijdrage van elk landgebruik aan de concentratie in het opgepompte water.

U gaat echter voorbij aan het tijdsverschil tussen moment van infiltratie en het moment van oppompen. Het resultaat van de

Afb. 1 - Verticaal stromingsprofiel naar een pompstation.

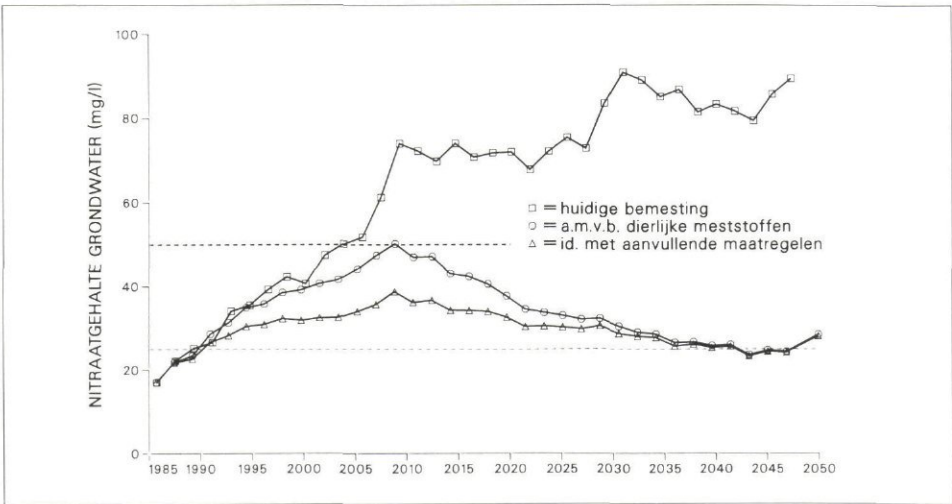


berekening is dan ook de concentratie in het opgepompte water die uiteindelijk bereikt wordt wanneer intrekgebied, landgebruik en belasting op lange termijn niet veranderen. In de praktijk blijkt dat het eeuwen kan duren voor een dergelijk evenwicht is ontstaan.

Om het tijdsaspect wel in de berekening mee te nemen zijn er andere methoden beschikbaar. Om te beginnen de analytische programma's die op basis van een één-dimensionale homogene stroming een twee-dimensionale verbreiding van een 'verontreiniging' met een begrensde omvang berekenen. De verbreiding in de tweede dimensie ontstaat onder invloed van het verschijnsel dispersie: afhankelijk van de heterogeniteit van de bodem treedt er aan de randen van de verontreiniging vermenging op met 'schoon' water. De mate van dispersie kan aan de hand van een uitgebreid meetprogramma bepaald worden, of aan de hand van de bodemopbouw geschat en vervolgens in berekeningen geïjkt worden. Bij problemen met nitraat rond een pompstation is er geen sprake van een homogeen stromingsbeeld, en de belasting van het grondwater vindt op vele percelen plaats.

In dit geval kan gebruik worden gemaakt van methoden die een twee-dimensionaal stromingsbeeld berekenen. Er zijn echter programma's waarbij de rekenmethode zodanig is dat er bij de berekening van het stoftransport numerieke dispersie ontstaat, waardoor de resultaten minder betrouwbaar worden. Numerieke dispersie is het verschijnsel dat een rekenprogramma vermenging van de verontreiniging berekent, terwijl dit in werkelijkheid niet optreedt, of in veel mindere mate dan door het programma berekend wordt. Het blijkt dat de programma's die werken volgens 'particle-tracking' dit verschijnsel niet of nauwelijks vertonen.

Afb. 2 - Nitraatontwikkeling Archemerberg.



Dispersie en numerieke dispersie

Bij berekeningen naar de kwaliteit van het onttrokken grondwater blijkt dat het verschijnsel dispersie invloed op de berekeningen heeft. Het is voor te stellen dat, wanneer een bepaalde stof door een heterogeen pakket stroomt, bepaalde deeltjes alleen door goed doorlatende lagen stromen, en dus snel in de pomput zullen worden aangetroffen, terwijl andere deeltjes door minder goed doorlatende lagen stromen, en dus later opgepompt worden. Ter plaatse van de pomput wordt dit waargenomen als een geleidelijke stijging van de stofconcentratie, en wanneer de verbreiding van de verontreiniging in het horizontale vlak wordt getekend, blijken er geen scherpe verontreinigingsfronten waargenomen te worden, maar geleidelijke overgangen van lage naar hoge concentraties. Afhankelijk van de heterogeniteit in de bodem kan deze 'frontvervaging' groter of kleiner zijn, maar bijna altijd kan zij waargenomen worden, en dient daarom in de berekening meegenomen te worden.

Nu zijn er inderdaad programma's beschikbaar waarbij deze dispersie berekend wordt. Voor de situatie rond een winning zullen de programma's die werken volgens een eindige elementen- of eindige differentie-methode het meest toegepast worden, waarbij de omgeving van het pompstation in een netwerk van elementen wordt ingedeeld. Bij een aantal van deze programma's is de oplosmethode echter zodanig gekozen dat de verontreiniging altijd lijkt te dispergeren, ook al wordt opgegeven dat de dispersiecoëfficiënt nul moet zijn. Dit verschijnsel treedt op, wanneer een verontreiniging zich in een klein deel (bijvoorbeeld een hoek) van een element bevindt, en ten behoeve van de interpretatie naar concentraties per element over het hele element gemiddeld wordt. Wanneer het programma een aantal tijdstappen moet doorrekenen, en in volgende tijdstappen dit over het hele element gemiddelde beeld als beginsituatie geldt, heeft de verontreiniging zich tijdens de interpretatie rekenkundig verplaatst van één hoekje van een element naar alle hoeken van een element. Hierdoor zal de verontreiniging zich volgens de berekening in een aantal tijdstappen sterk verbreiden, zonder dat daar in werkelijkheid aanleiding toe is. Het model kan het stoftransport dan nooit goed beschrijven. Wanneer dit optreedt spreken we van een numerieke dispersie.

De enige manier om dit te verhelpen, is de verontreiniging niet aan bepaalde oppervlakten (elementen) toe te kennen, maar aan een aantal punten (deeltjes, of in het Engels: particles) binnen een element. Wanneer een verontreiniging zich dan in een hoek van een element bevindt, is dat aan het begin van de volgende tijdstap nog zo. Na elke tijdstap kan eenvoudig de concentratie in een element worden berekend, door de concentraties van de deeltjes die zich in het betreffende element bevinden te middelen, zonder dat de plaats van de deeltjes (en daarmee de ligging van de verontreiniging) verandert. Dit principe ligt ten grondslag aan de methode van particle-tracking.

Uiteindelijk zouden we toe moeten naar programma's die drie-dimensionaal rekenen, waarschijnlijk ook volgens de methode van particle-tracking. Vooralsnog beschikken we niet over dergelijke programmatuur, maar het ziet er naar uit dat ze in de komende tijd beschikbaar komen.

4. De eerste resultaten

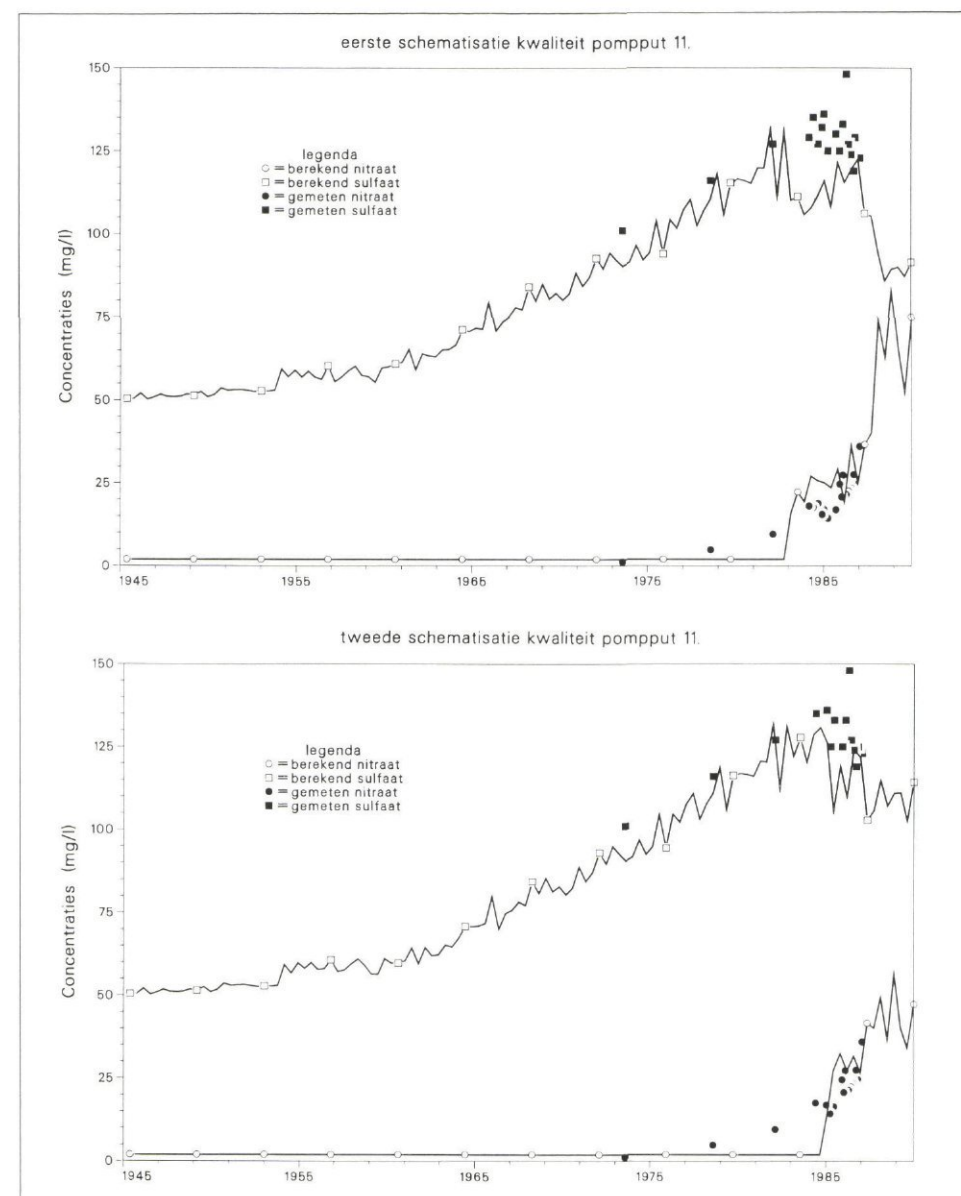
Voor de pompstations Archemerberg en Vierlingsbeek zijn de eerste berekeningen nu gedaan. In afb. 2 is het resultaat aangegeven van de berekeningen naar de ontwikkeling van het nitraatgehalte in de toekomst bij drie

verschillende bemestingsscenario's [Boukes, 1987].

Voor Vierlingsbeek zijn we nog niet zo ver: Uit elders in dit blad beschreven onderzoek [Van Beek, 1988] bleek al dat het voorkomen van pyriet in de bodem grote invloed heeft op de nitraatconcentratie in het opgepompte water. Met name over de pyriet in de zone van het bovenste grondwater tot zo'n 20 m-mv is nog erg weinig bekend. Er bleken meerdere schematisaties mogelijk waarmee nitraatconcentraties berekend werden overeenkomstig de gemeten gehalten (afb. 3a en 3b). De berekende concentraties voor 1990 (resp. 70 en 45 mg/l) verschilden wel heel erg bij beide berekeningen. Alvorens betrouwbare voorspellingen naar de concentraties in de verdere toekomst gedaan kunnen worden, zal de Waterleiding-maatschappij Oost-Brabant met een aanvullend meetprogramma het voorkomen van pyriet ook in lage concentraties proberen vast te stellen.

5. Conclusies

- Voor voorspellingen van de grondwaterkwaliteit zijn complexe rekenmethoden niet altijd absolute voorwaarde voor goede resultaten. Om bepaalde vragen te kunnen beantwoorden zijn ze echter noodzakelijk.
- Meer dan voorheen is een goed inzicht in verblijftijden, stroombanen en intrekgebied vereist.
- Niet alle beschikbare methoden blijken



Afb. 3 - Vierlingsbeek. Schematische kwaliteiten van pompput 11.

even betrouwbare resultaten op te leveren. Met name bij complexere methoden moet rekening worden gehouden met het optreden van numerieke dispersie.

— De vraag naar voorspellingen van de kwaliteit neemt toe; de mate waarin de kwaliteit van de voorspellingen zal toenemen is in hoge mate afhankelijk van de intensiteit waarmee bedrijven, instellingen en overheden zich willen inzetten voor het verzamelen van goede, betrouwbare gegevens over de opbouw en samenstelling van de bodem en de kwaliteit van het grondwater.

Hoewel het zeker nog niet zo is dat de beschikbare programmatuur en rekenmethode alle problemen aankunnen, bestaat de indruk dat in de meeste gevallen de hoeveelheid goede gegevens de beperkende factor zal zijn voor de betrouwbaarheid van de voorspellingen.

6. Verantwoording

Dit artikel is een beknopte weergave van een voordracht gehouden op 7 en 8 oktober 1987 tijdens het KIWA-VWN-colloquium 'Waar moeten wij onze winningen tegen beschermen, en hoe?'. De voordracht is een samenvatting van hoofdstuk 3 en 7 van de KIWA-mededeling 99 'Landbouw en drinkwatervoorziening' die tijdens dit colloquium gepresenteerd werd. Het onderzoek dat aan deze publikatie ten grondslag ligt is uitgevoerd binnen het project Onderzoek Bescherming Waterwin-gebieden. Dit project maakt deel uit van het VEWIN-speurwerkprogramma dat aan het KIWA is opgedragen.

Om het praktijkgerichte karakter van het onderzoek te waarborgen is het accent van het onderzoek komen te liggen op drie case-

studies, waarvoor intensief en uiterst plezierig samengewerkt is met de Waterleiding-bedrijven Drenthe, Oost-Brabant en Overijssel.

Literatuur

- Akker, C. v. d., Gan, J. B. S. en Peters, J. H. (1981). *Handleiding bij het computerprogramma FLOP*. KIWA, SWE 330.
- Beek, C. G. E. M. v. (1987). *Chemische informatie nodig voor de voorspelling van de te onttrekken grondwaterkwaliteit in landbouwgebieden*. H₂O, dit nummer.
- Boukes, H. (1987). *Een methode voor de bepaling van de gevoeligheid van de nitraatconcentratie in het opgepompte water voor diverse bemestingscenario's*. KIWA, SWE-87.003.

● ● ●

● End of page 103.

flow-system. Because the (calculated) quality of the abstracted groundwater is considerably influenced by irregularities in the flow-system, the solution of the groundwater-flow-problem has to be more accurate than it had to be in the past. In many cases a three-dimensional approach is inevitable.

To calculate the transport of a contamination in the groundwater, several methods are available. It is clear that it is not always possible to answer a complex question with a simple method. On the other hand a complex method is not always a guarantee for a better result. For instance the problem of numerical dispersion can diminish the reliability of a prediction.

For two cases the first results are described. For the pumpingstation at Archemerberg it appeared to be possible to calculate the effects of several measures to restrict the spreading of manure on the nitrate-concentration. For the station at Vierlingsbeek there is insufficient information about the chemical processes in the field to make comparable predictions. An additional measure-program is started to get this information.

H₂O (21) 1988, nr. 5; 126

U.D.C. 628.11 + 628.192

F. A. VAN DAM and P. JONKMAN:

How to protect catchment areas?

For the sake of public-health full protection is necessary. But in practice this principle is not to maintain.

Therefore the government has made a fundamental law for protection, within this law there is a possibility to point out special protection-areas.

What can the public-watersupply do to prevent pollution? Some possibilities are dealt with, for example public-relation-manners, and investigation of potential polluting activities. Some results of this kind of investigation are given.

In case a watercompany have to invest in sanitation-activities, this company can claim this cost by the pollutor. Examples of jurisdiction of this sort of cases are available. But primarily it is authors opinion our society have to choose another way of live. A way of live with the device 'We live without polluting the groundwater c.q. our environment'. This device gives perspective for the solution of our prosperity-problems and the hunger in developing countries.