

Spreiding in de verblijftijdszones van grondwaterwinningen

1. Inleiding

Voor het beschermen van grondwaterwinningen is het van belang te weten hoe betrouwbaar de berekende beschermings- en intrekgebieden zijn. Voorkómen moet worden dat gebieden worden beschermd waaruit geen water wordt onttrokken, en ook moet worden voorkómen dat delen van het intrekgebied niet worden beschermd. Fouten hierin kunnen grote financiële gevolgen hebben of nadelig uitwerken op de grondwaterkwaliteit. Tot op heden was de aandacht voornamelijk gericht op het berekenen van



J. W. KOOIMAN
Kiwa NV Onderzoek en Advies



W. H. G. J. ATHMER
Kiwa NV Onderzoek en Advies

de grenzen van de intrekgebieden en de beschermingszones. Sinds enige tijd is echter een tendens merkbaar in de richting van het verkrijgen van meer inzicht in de onzekerheid van deze grenzen. Met de huidige geohydrologische rekenmodellen worden intrekgebieden berekend door het volgen van stroomlijnen. Omdat deze berekening plaatsvindt met één set invoergegevens is de onzekerheid van het berekende intrekgebied onbekend. Deze onzekerheid wordt deels bepaald door de keuze van de ingevoerde gegevens.

In het voorliggende artikel wordt een methode gepresenteerd die antwoord geeft op de volgende vragen:

- hoe groot is de 'onzekerheid' (of, preciezer geformuleerd: de spreiding) van het berekende intrekgebied/beschermingsgebied;
- hoe kan deze 'onzekerheid' (spreiding) worden verkleind.

Deze methode helpt bij het beantwoorden van de vraag: 'Waar dienen de bordjes 'Grondwaterbeschermingsgebied' geplaatst te worden'.

In een tweede artikel (Smit, volgend nummer) wordt besproken in hoeverre de hier gepresenteerde aanpak bijdraagt aan het toekomstige grondwaterbeschermingsbeleid.

2. Vooronderzoek

Uit een inventarisatie bij provincies en

Samenvatting

Voor het beschermen van grondwaterwinningen is het van belang te weten hoe betrouwbaar de berekende beschermings- en intrekgebieden zijn.

In het voorliggende artikel wordt een strategie gepresenteerd die antwoord geeft op de volgende vragen:

1. hoe groot is de 'onzekerheid' (spreiding) van het berekende intrekgebied/beschermingsgebied;
2. hoe kan deze 'onzekerheid' (spreiding) worden verkleind.

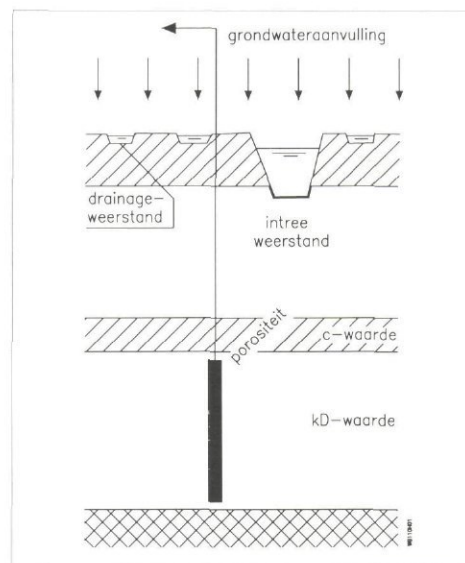
De 'Strategie voor de spreidingsanalyse van berekende verblijftijdszones' bestaat uit 8 stappen en wordt hier toegelicht aan de hand van een praktijkvoorbeeld. Geconcludeerd wordt dat de strategie met bijbehorende programmatuur goed in staat stelt de spreiding van berekende verblijftijdszones weer te geven. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan grondwaterbescherming op maat, en kan het vergunningonderbouwend onderzoek gericht, dus goedkoper, worden uitgevoerd. Tijdens een workshop op 27 september 1995 zijn de praktische toepasbaarheid en de gevolgen voor de beschermingspraktijk besproken (zie Smit, volgend nummer).

waterleidingbedrijven [Kooiman *et al.*, 1995] is geconcludeerd dat er behoefte bestaat aan een methode om onzekerheden te bepalen. Er zijn meerdere voorbeelden bekend van grondwateronttrekkingen waar op verschillende manieren intrekgebieden en verblijftijdszones zijn berekend, en waar dat geheel verschillende gebieden te zien gaf.

'Hydrologie Op Maat' betekende in dit geval het ontwikkelen en toepassen van programmatuur voor het uitvoeren van onzekerheidsanalyses in combinatie met hydrologische modelberekeningen. De strategieën die bij onzekerheidsanalyses worden gehanteerd hebben doorgaans veel overeenstemmende kenmerken. Op basis van uitvoerig literatuuronderzoek konden Janssen *et al.* [1990] dan ook een soort algemene strategie voor het uitvoeren van onzekerheidsanalyse formuleren. Hieruit is de 'Strategie voor de spreidingsanalyse van berekende verblijftijdszones' opgesteld. Deze strategie bestaat uit 8 stappen, en is getest met een praktijkvoorbeeld.

Een schematische doorsnede van het praktijkvoorbeeld is gegeven in afbeelding 1. Water wordt onttrokken uit het tweede watervoerende pakket. Er is een grote waterloop door de deklaag, en er is een poldersysteem met beheerste peilen. Verdere gegevens van deze lokatie (opgenomen in [Kooiman *et al.*, 1995]) zijn voor het vervolg van dit artikel niet relevant en worden hier kortheidshalve niet genoemd.

In dit artikel wordt verder de voorkeur gegeven aan de term 'spreidingsanalyse' boven 'onzekerheidsanalyse'. De gebruikte terminologie kan, zowel bij statistici als niet-statistici, verwarring geven. Omdat de 'werkelijkheid' doorgaans *niet* bekend is,



Afb. 1 - Schematische dwarsdoorsnede praktijkvoorbeeld.

wordt in feite niet meer gedaan dan dat vastgesteld wordt wat de spreiding van de uitkomsten rond hun gemiddelde is. Er is geen houvast om een eventuele systematische fout te kunnen onder-

Terminologie

Gevoeligheidsanalyse gaat uit van variaties in invoergegevens, maar houdt geen rekening met de kansverdeling van die variaties.

Onzekerheidsanalyse/Betrouwbaarheidsanalyse gaat uit van variaties in invoergegevens, waar bij *wel* rekening gehouden wordt met de kansverdeling. De 'werkelijkheid' is bekend.

Spreidingsanalyse onzekerheidsanalyse, waarbij de 'werkelijkheid' *niet* bekend is.

kennen. Dus in de meeste gevallen komen we niet verder dan een analyse van spreidingen. De term 'onzekerheids-analyse' zou dan té hoogdravend zijn. In het kader staan de verschillende 'analyse'-termen kort aangeduid.

3. De strategie (8 stappen)

De algemene strategie wordt hier toegelicht aan de hand van een praktijkvoorbeeld, dat uitgebreid beschreven is in Athmer *et al.*, [1995].

1. Formuleren probleemstelling

Voor het formuleren van de probleemstelling moet aangegeven worden wát men wil weten en in welke vorm men deze informatie wenst. Voor wat betreft het praktijkvoorbeeld is voor het weergeven van de grootte van de spreiding gekozen voor 7 verschillende 'spreidingsmaten'.

In dit artikel wordt ingegaan op twee daarvan: de minimale verblijftijd en (het bovenaanzicht van) de 100-jaarszone.

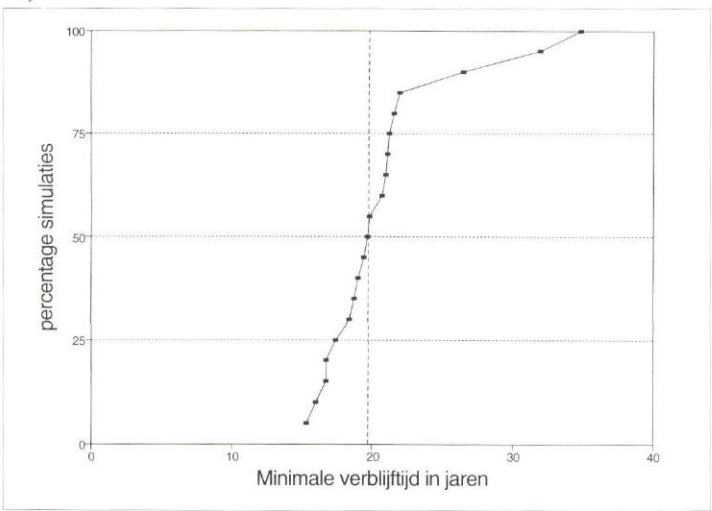
2. Inventarisatie spreidingsbronnen

In het praktijkvoorbeeld is gekozen voor 4 spreidingsbronnen, te weten de c-waarde van de weerstandslaag, de grondwateraanvulling, de drainageweerstand en de intreeweerstand van de grote waterlopen. Met deze spreidingsbronnen was het relatief eenvoudig om de methode te testen. Andere mogelijke spreidingsbronnen, zoals porositeit en doorlaatvermogen (kD-waarde) van het watervoerend pakket, zijn in het praktijkvoorbeeld dus niet meegenomen.

3. Kwantificering spreidingsbronnen

Voor elke spreidingsbron wordt de spreiding vertaald in een kansverdeling. Afbeelding 2 geeft als voorbeeld de kansverdeling van de drainageweerstand (met

Afb. 3 - Spreiding van de minimale verblijftijd.



gemiddelde 1,00, en spreiding tussen 0,5 en 2,00).

4. Berekening spreiding verblijftijdzones

Dit is gedaan met een geohydrologisch rekenmodel, gebaseerd op de programma's Modflow [McDonald en Harbaugh, 1984] en Modpath [Pollock, 1989] in combinatie met een GIS en het programma UNCSAM [Janssen *et al.*, 1992]. Met UNCSAM worden, op basis van trekkingen uit de kansverdelingen van invoergegevens, nieuwe invoerfiles voor het geohydrologisch rekenmodel gegenereerd. Om de programma's op elkaar te laten aansluiten is door Kiwa hulpprogrammatuur gemaakt. In totaal zijn voor het praktijkvoorbeeld

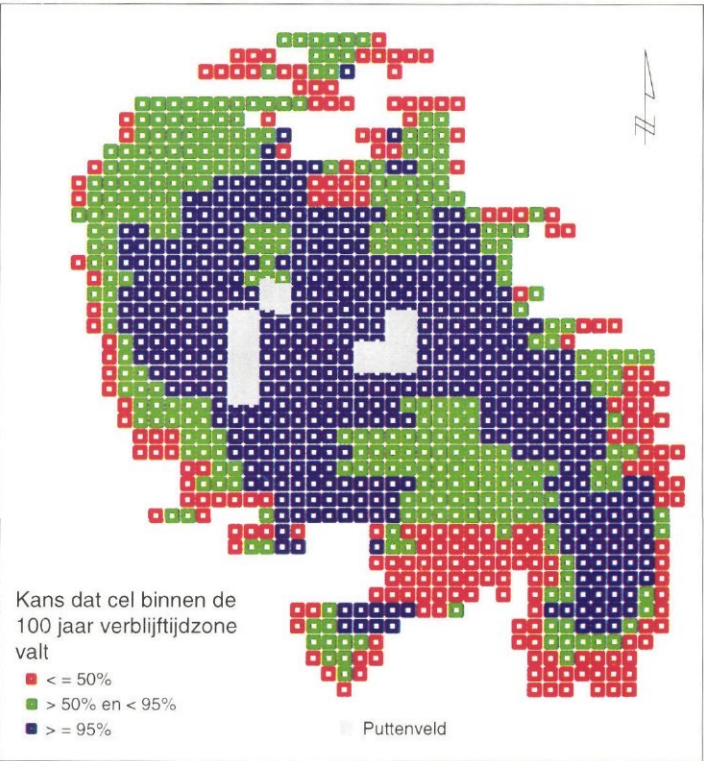
20 nieuwe invoerfiles gegenereerd, waarmee 20 (verschillende) intrekgebieden zijn berekend.

5. Presentatie van de spreiding

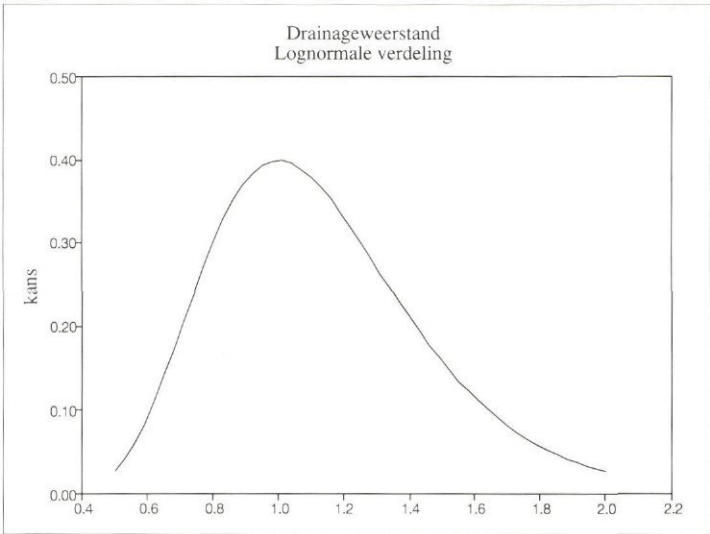
Afbeelding 3 geeft de spreiding van de minimale verblijftijd. De minimale verblijftijd varieert tussen 15 en 35 jaar. In 85% (= 17 keer) van het aantal berekeningen is de minimale verblijftijd kleiner dan 25 jaar.

Afbeelding 4 is het bovenaanzicht van de 100-jaarszone. Daarin is voor een groot aantal punten aan maaiveld aangegeven hoe vaak deze binnen de 100-jaarszone vallen. De blauwe punten vallen in meer dan 95% (= 19 of 20 keer) van de

Afb. 4 - Bovenaanzicht 100-jaarsverblijftijdzone.



Afb. 2 - Kansverdeling voor drainageweerstand.



gevallen binnen die zone. De rode punten doen dat in minder dan 50% (= 10 keer of minder) van de gevallen.

6. Evaluatie van de spreidingsbronnen

Hiervoor zijn verschillende technieken beschikbaar. Voor dit artikel is gekozen voor 'Analyse van de afzonderlijke spreidingsbronnen', waarbij er gemakshalve van is uitgegaan dat de spreidingsbronnen onderling geen 'interactie' vertonen. Afbeelding 5 geeft het effect van de verschillende parameters op de oppervlakte van de 100-jaarsverblijftijdzone. De oppervlakte varieert tussen 425 en 925 ha. De c-waarde van de weerstandslaag levert de grootste bijdrage aan de spreiding. Variatie van de intreeweerstand van de waterlopen geeft een variatie in de oppervlakte tussen 740 en 790 ha en levert daarmee de kleinste bijdrage aan de spreiding.

7. Uitvoering robuustheidsstudie

In deze stap worden de gevolgen van de keuzen uit de stappen 1 t/m 3 nader onderzocht. Door beperkingen in tijd en budget wordt deze stap overigens zelden gezet bij dit soort studies. Ook in het praktijkvoorbeeld is deze stap niet gezet.

8. Reductie van de spreiding en hun invloed

Voor de vier gekozen spreidingsbronnen geldt dat de belangrijkste reductie van de spreiding wordt verkregen als de c-waarde beter bekend zal zijn, met andere woorden als deze een andere kansverdeling (stap 3) met kleinere spreiding vertoont. In z'n algemeenheid kan dit worden bereikt door extra metingen (bijv. pompproeven), door een betere modelkalibratie [Maas, 1995; NHV, 1994] en/of door modelaanpassingen. Dit laatste door bijvoorbeeld op cruciale punten fijschaliger te modelleren.

4. Conclusies en kanttekeningen

1. De 'Strategie voor de spreidingsanalyse van berekende verblijftijdzones' met bijbehorende programmatuur stelt in staat de spreiding van berekende verblijftijdzones weer te geven. Het is een welkom aanvullend hulpmiddel bij het bepalen van de plaats voor de bordjes 'Grondwaterbeschermingsgebied'.
2. Het praktijkvoorbeeld is niet representatief voor alle grondwaterwinningen in Nederland. Dat geldt zowel voor de lokatie als voor de keuze van de spreidingsbronnen (porositeit en doorlaatvermogen bijvoorbeeld zijn niet meegenomen). De resultaten kunnen slechts in z'n algemeenheid worden overgedragen op andere winplaatsen.
3. De strategie heeft meer mogelijkheden dan in het praktijkvoorbeeld zijn gebruikt. Hiermee kan de bruikbaarheid nog worden vergroot.
4. De keuze van de spreidingsmaten is maatwerk; er gelden geen standaardregels voor. Of de keuze in Athmer *et al.* [1995] en in dit artikel voldoende maatwerk levert voor het praktijkvoorbeeld is nog niet getoetst in de 'beschermingspraktijk'.
5. De strategie draagt bij aan het tot stand komen van 'Bescherming Op Maat'. Het slaat een brug tussen technici en beleidsmakers. Er kan duidelijk gekozen worden om wél of niet met een bepaalde spreiding van het beschermingsgebied te leven. Ook de effecten van beleidsmatige beslissingen (wat willen we beschermen; differentiatie in maatregelen) kunnen nu duidelijker worden aangegeven (zie ook Smit, volgend nummer van H₂O).
6. Omdat de cruciale spreidingsbronnen beter bekend worden, kan de onderzoekinspanning op maat (gericht, dus goedkoper) worden uitgevoerd.
7. De voorspelling van de waterkwaliteit zal verbeteren, omdat de onderbouwende

hydrologische berekeningen beter toespitst zijn.

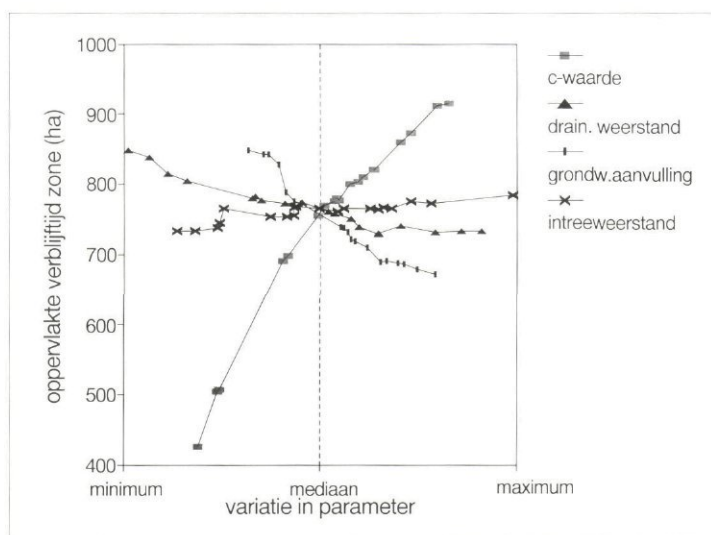
5. Verantwoording

Het project 'Kwantificeren onzekerheid van ligging intrekgebieden van grondwaterwinningen' is door Kiwa uitgevoerd in het kader van het VEWIN-onderzoekprogramma. Het is begeleid door de werkgroep 'Kwaliteit Grondwater', waarin een groot aantal waterleidingbedrijven is vertegenwoordigd.

Op 27 september 1995 is naar aanleiding van dit onderzoek een workshop gehouden met vertegenwoordigers van provincies en waterleidingbedrijven uit heel Nederland. Daar is vooral gesproken over de praktische toepasbaarheid van de hierboven gepresenteerde methode en de gevolgen daarvan voor de beschermingspraktijk (Smit, volgend nummer). Voor een uitgebreid verslag van de workshop en nadere informatie kunt u terecht bij één van de auteurs.

Literatuur

- Athmer, W. H. G. J., Baggelaar, P. K. en Kooiman, J. W. (1995). *Spreidingsanalyse voor verblijftijdzones van grondwaterwinningen; Deelrapport 2: Toepassing strategie op een praktijkvoorbeeld*. Rapport SWE (in voorbereiding). Kiwa NV Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- Janssen, P. H. M., Heuberger, P. S. C., en Sanders, R. (1992). *UNCSAM 1.1: a Software Package for Sensitivity and Uncertainty Analysis*. Report nr. 9591010041992. RIVM, Bilthoven.
- Janssen, P. H. M., Slob, W. en Rotmans, J. (1990). *Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van ideeën, methoden en technieken*. Rapportnr. 958805001, juli 1990. RIVM, Bilthoven.
- Kooiman, J. W., Athmer, W. H. G. J., Baggelaar, P. K., Laeven, M. P. en Vogelaar, A. J. (1995). *Spreidingsanalyse voor verblijftijdzones van grondwaterwinningen; Deelrapport 1: Inventarisatie (1994) en beoordeling*. Rapport SWE (in voorbereiding). Kiwa NV Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- Maas, C. (1995). *Afhankelijkheid van parameters in grondwatermodellen*. Rapport in voorbereiding. Kiwa NV Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W. (1984). *A Modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model*. US Geological Survey, Virginia.
- NHV (1994). *Oprichting Werkgroep Modelcalibratie onder auspiciën van de NHV*. Nieuwsbrief van de NHV (5) nr. 1, april 1994.
- Pollock, D. W. (1989). *Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the US Geological Survey Modular Three-dimensional Finite-difference Ground water Flow Model*. Scientific Software Group, Washington (DC).
- Smit, Th. P. R. (1995). *Begrenzing grondwaterbeschermingsgebieden*. H₂O (28), nr. 26.



Afb. 5 - Effect van verschillende parameters op de oppervlakte van de 100-jaars verblijftijdzone.