

Het grondwaterkwaliteitsmeetnet van de provincie Noord-Brabant: opzet en eerste resultaten

Inleiding

In 1991 is de eerste fase van de inrichting van het provinciaal grondwaterkwaliteitsmeetnet van Noord-Brabant voltooid. In het provinciale meetnet (PMG) dat daarmee is ontstaan zijn de meetpunten van het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit (LMG) volledig geïntegreerd [Broers, 1990].



H. P. BROERS
Instituut voor Grondwater
en Geo-Energie TNO



J. GRIFFIOEN
Instituut voor Grondwater
en Geo-Energie TNO

Bij het ontwerp van het PMG is, in navolging van het LMG, aangenomen dat de grondwaterkwaliteit bepaald wordt door de gebiedsfactoren landgebruik, geohydrologische situatie en bodemtype. Gesignaleerd is dat ook de geochemische samenstelling en de textuur van het doorstroomde medium belangrijke conditionerende factoren zijn voor de grondwatersamenstelling. Deze factoren werden uit pragmatische overwegingen in eerste instantie niet in het ontwerp betrokken. Tijdens de inrichtingsfase van het provinciale meetnet is echter besloten ook aan geochemische aspecten van de ondergrond aandacht te besteden, reden waarom de grondmonsters die bij het boren vrijkwamen zijn bewaard en te zijner tijd zullen worden geanalyseerd op reactieve componenten.

Om inzicht te krijgen in de belangrijkste geochemische processen die in de provincie Noord-Brabant optreden, is enig vooronderzoek uitgevoerd. In een artikel van Van Gaans *et al.* [dit nummer] worden enkele bevindingen van een studie naar de chemische interactie tussen grondwater en sediment gepresenteerd, gebaseerd op een inventarisatie van de grondwatersamenstelling in de meetpunten van het LMG in de provincie.

In het onderhavige artikel wordt de opzet van het PMG gepresenteerd, en ook de resultaten van de eerste bemonsteringsronde van de provinciale meetpunten. Beide studies tonen aan dat er voor een goede interpretatie van de meetgegevens behoefte bestaat aan gegevens over de geochemische eigenschappen van de ondergrond.

Samenvatting

In 1991 is de eerste fase van het provinciaal grondwaterkwaliteitsmeetnet van de provincie Noord-Brabant voltooid. Het ontwerp van het meetnet is gebaseerd op het concept van homogene gebiedstypen, unieke combinaties van landgebruik, bodemtype en geohydrologische situatie, die zijn samengesteld met behulp van GIS en remote sensing. De nieuwe grondwaterkwaliteitsputten zijn over de homogene gebiedstypen verdeeld, rekening houdend met de oppervlakte van de gebiedstypen en het gevaar voor uitspoeling van verontreinigingen naar het grondwater.

Uit een eerste evaluatie van de meetgegevens, gebaseerd op analyses van de helft van de nieuwe meetpunten, wordt geconcludeerd dat het ondiepe grondwater (tussen 10 en 25 m-maaiveld) in zowel agrarisch gebruikte gebieden als in bosgebieden sterk is beïnvloed door menselijke activiteiten. Soortgelijke conclusies werden getrokken uit een evaluatie van de grondwaterkwaliteitsgegevens van de landelijke meetpunten in de provincie. Vooral in agrarisch gebruikte infiltratiegebieden werden hoge kalium-, nitraat- en sulfaatgehalten aangetroffen, die drinkwaternormen overschrijden. In bosgebieden worden vaak hoge aluminiumgehalten gevonden. De samenstelling van het ondiepe grondwater in kwelgebieden is meestal onbeïnvloed door menselijke activiteiten en weerspiegelt de grondwatersamenstelling in diepere watervoerende pakketten.

In intermediaire gebieden varieert de grondwatersamenstelling sterk, maar in de onderste filters van het meetnet wordt vaak 'natuurlijk' grondwater aangetroffen. Uit de evaluatie van de meetgegevens is geconcludeerd dat bij de evaluatie van grondwaterkwaliteitsmeetnetten meer aandacht moet uitgaan naar de mate waarin reacties tussen water en sediment de grondwaterkwaliteit bepalen. Bepaling van de geochemische eigenschappen van de doorstroomde sedimenten is daartoe onontbeerlijk.

Achtergronden

Voor een zorgvuldig beheer van het grondwater is in toenemende mate behoefte aan grondwaterkwaliteitsgegevens die doelgericht en systematisch worden verzameld.

Om op landelijke schaal in deze behoefte te voorzien is in de periode 1978-1984 het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit ingericht [Van Duijvenbouden *et al.*, 1985], waarvan de gegevens worden gebruikt voor technisch-wetenschappelijke ondersteuning en onderbouwing van het landelijke grondwater- en bodembeschermingsbeleid [Van Duijvenbouden *et al.*, 1989].

Het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit bestaat uit ± 400 waarnemingsputten met filters op ca. 10, 15 en 25 meter beneden maaiveld. De voornaamste doelstellingen van het landelijk meetnet zijn kort samengevat:

- het inventariseren van de kwaliteit van het grondwater als functie van landgebruik, bodemsoort, geohydrologische situatie,
- het onderkennen van kwaliteitsveranderingen op lange termijn,
- het aangeven van de omvang van menselijke invloeden op de grondwaterkwaliteit.

Binnen de provincie Noord-Brabant bevinden zich 56 meetpunten van het

landelijk meetnet grondwaterkwaliteit. Voor het provinciaal grondwaterbeleid is de dichtheid van het landelijk basismeetnet onvoldoende en is dit meetnet onvoldoende toegespitst op de specifieke geohydrologische situatie en het karakteristieke landgebruik binnen de provincie. Daarom is, in navolging van een aantal andere provincies [Van Beek *et al.*, 1989; Bloemendaal *et al.*, 1988], een provinciaal meetnet ontworpen dat een aanvulling vormt op de landelijke meetpunten in de provincie [Broers, 1990]. De eerste fase van inrichting van het meetnet is in 1991 afgerond.

In het provinciale waterhuishoudingsplan worden de volgende doelstellingen voor het meetnet genoemd:

- verkrijgen van een ruimtelijk beeld van de grondwaterkwaliteit op verschillende diepten om eventuele regionale kwaliteitsverschillen te onderkennen
- verkrijgen van voldoende gegevens over de relatie tussen enerzijds grondwaterkwaliteit en anderzijds bodemsoort, landgebruik en geohydrologie
- waarnemen van effecten van provinciale en landelijke maatregelen
- tijdig signaleren van trendmatige veranderingen in de grondwaterkwaliteit.

Ontwerpmethodiek

Bij de opzet van het provinciaal meetnet stond het verband centraal tussen de

chemische samenstelling van het grondwater en het landgebruik, het bodemtype en de geohydrologische situatie. Kaarten van deze eigenschappen zijn met een geografisch informatiesysteem gecombineerd tot unieke combinaties landgebruik-bodem-geohydrologie; de zogenoemde homogene gebiedstypen.

Landgebruik

De grondwatersamenstelling wordt voor een groot deel bepaald door de input van stoffen aan het aardoppervlak, die nauw samenhangt met het landgebruik in het voedingsgebied. Om een gedetailleerde en recente landgebruikskaart te vervaardigen is gebruik gemaakt van remote sensing technieken. De beeldverwerking is uitgevoerd met het Landsat-TM beeld van 3 augustus 1986 [Peters, 1990]. De classificatie is gebaseerd op de spectraalbanden 2, 4 en 5 van het genormeerde zomerbeeld en groundtruth (veldwaarnemingen) die is verzameld voor westelijk Noord-Brabant. Een verfijning van de classificatie is gerealiseerd door het geclassificeerde beeld in een zogenoemd rastergis te combineren met het LANDSAT temperatuurbeeld. De classificatie is gevalideerd met gedetailleerde kaarten van natuurgebieden en CBS-gegevens van de agrarische gebieden.

Het resultaat van deze bewerkingen is een classificatie van het landgebruik op perceelschaal, waarop de afzonderlijke gewassen zijn te onderscheiden. De schaal en het grote aantal gewassen maken deze kaart ongeschikt voor combinatie met de andere basisgegevens van het meetnet. Daarom is het bestand gegeneraliseerd tot gridcellen van 500 x 500 meter met het dominante landgebruikstype (afb. 1). De volgende landgebruikstypen zijn onderscheiden: stedelijk gebied, veeteelt, akkerbouw, intensieve veehouderij, bos en overige natuur. Intensieve veehouderij en permanente veeteelt bestaan beide uit grasland en een zeker areaal maïs. Gebieden waar grasland sterk overheerst zijn als permanente veeteelt gekarakteriseerd.

De uiteindelijke classificatie is een momentopname die bruikbaar is in de ontwerpfase. Voor een verantwoorde evaluatie van de meetgegevens is het van belang het landgebruik in de omgeving van de putten jaarlijks opnieuw vast te stellen.

Bodemtype

Met de bestaande digitale bodemkaart 1:50.000 van STIBOKA is een zand-klei-veen-kaart samengesteld. De indeling is gemaakt om de verschillen in chemische



Afb. 1 - De verbreiding van de landgebruiksklasse 'intensieve veehouderij'. In deze gebieden overheersen maïs en grasland, die vaak afwisselend op dezelfde percelen worden verbouwd.

reactiviteit en het sorptievermogen van de verschillende bodems te onderkennen, die ook bepalend zijn voor de samenstelling van het infiltrerende grondwater.

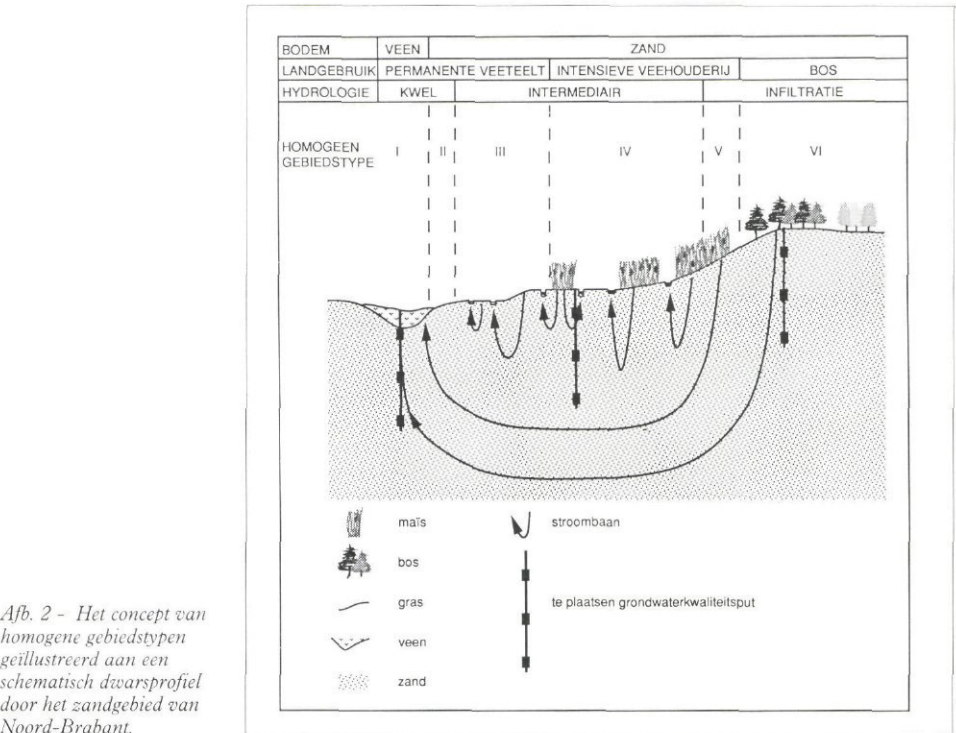
Geohydrologie

De transportweg die een eventuele verontreiniging zal volgen, hangt samen met de geohydrologische situatie, die voor dit onderzoek is onderverdeeld in infiltratie, kwel en intermediair. De grondwaterstromingsstelsels in de provincie Noord-Brabant zijn gekarteerd in een tweetal eerdere studies [Stuurman et al., 1989, 1990]. De nadruk lag hierbij enerzijds op de ruimtelijke begrenzing van

de stromingsstelsels en anderzijds op het beschrijven van de koppeling tussen infiltratie- en kwelgebieden, die als volgt zijn gedefinieerd:

- infiltratiegebieden: gebieden zonder oppervlakkig afwateringsstelsel van betekenis, die voedingsgebieden zijn van grondwaterstroming van regionale aard
- kwelgebieden: gebieden met een dicht afwateringsstelsel, waar grondwater van regionale oorsprong uittreedt
- intermediaire gebieden: gebieden met een dicht afwateringsstelsel, waar lokale grondwaterstroming domineert.

In de intermediaire gebieden treedt zowel



Afb. 2 - Het concept van homogene gebiedstypen geïllustreerd aan een schematisch dwarsprofiel door het zandgebied van Noord-Brabant.

opwaarts als neerwaarts watertransport op, afhankelijk van de positie ten opzichte van het oppervlakkig afwateringssstelsel (afb. 2). De lokale grondwaterstroming in deze gebieden is relatief ondiep en er zijn in vergelijking met regionale stroming, geringe verblijftijden mee gemoeid.

Voor het transport van verontreinigingen en de samenstelling van het grondwater heeft dit de volgende consequenties:

- in infiltratiegebieden kunnen verontreinigingen tot grote diepte worden uitgespoeld
- binnen intermediaire gebieden zal een grote variatie in de grondwatersamenstelling voorkomen door de talloze lokale stromingsystemen en de relatief korte verblijftijden
- kwelgebieden worden pas op lange termijn bedreigd, tenzij lokale stromingsystemen aan de rand van de kwelgebieden aan invloed winnen. In dat geval is bijstelling van de geohydrologie-classificatie echter aan de orde.

Homogene gebiedstypen

Bij de opzet van het meetnet is gestreefd naar een onderverdeling van de provincie in homogene gebiedstypen waarin een min of meer homogene grondwatersamenstelling kan worden verwacht (afb. 2). De samenstelling in het ene homogene gebiedstype is in principe te onderscheiden van de samenstelling in een ander homogene gebiedstype.

De homogene gebiedstypen kwamen tot stand door de 3 basiskaarten met overlay-technieken in het geografisch informatiesysteem samen te voegen. Aldus ontstonden 31 combinaties landgebruik-bodem-geohydrologie, waarvan er 18 een voldoende groot aaneengesloten oppervlak hadden om in aanmerking te komen voor de plaatsing van putten. Afb.3 geeft een voorbeeld van de verspreiding van het homogene gebiedstype 'intensieve veehouderij-infiltratie-zand', een type waarbij in potentie een grote bedreiging voor de grondwaterkwaliteit bestaat.

De verdeling van putten over de homogene gebiedstypen was de volgende fase in het ontwerpproces. Hiertoe is een waarderingsstelsel opgezet dat rekening houdt met:

- de oppervlakte van de homogene gebiedstypen (afb. 4)
- de gevoeligheid van een gebiedstype voor uitspoeling van verontreinigingen naar het grondwater.

Toepassing van het tweede criterium heeft geresulteerd in een relatief groot aantal

meetpunten in infiltratiegebieden en agrarische gebieden en een relatief klein aantal meetpunten in kwelgebieden (afb. 4). De nadruk van het PMG ligt op homogene gebiedstypen die zich kenmerken door een groot oppervlak in de provincie of een grote gevoeligheid voor het uitspoelen van verontreinigingen.

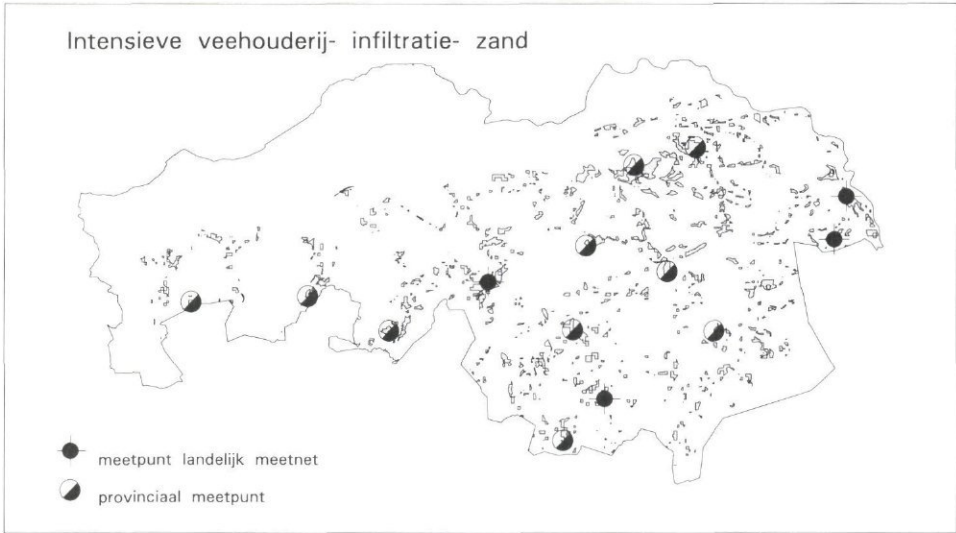
In het ontwerp zijn 3 varianten uitgewerkt waarin respectievelijk 60, 90 en 120 putten worden toegevoegd aan de putten van het landelijk meetnet. In principe is gekozen voor uitvoering van de 90-variant, maar als eerste fase zijn 66 nieuwe meetpunten ingericht.

Bepaling van de putlokaties

De kaarten met homogene gebiedstypen geven de gebieden aan waar in principe putten kunnen worden geplaatst. Voor de lokatiebepaling is echter een aantal extra plaatsingscriteria geformuleerd. Een putlokatie moet bij voorkeur gelegen zijn:

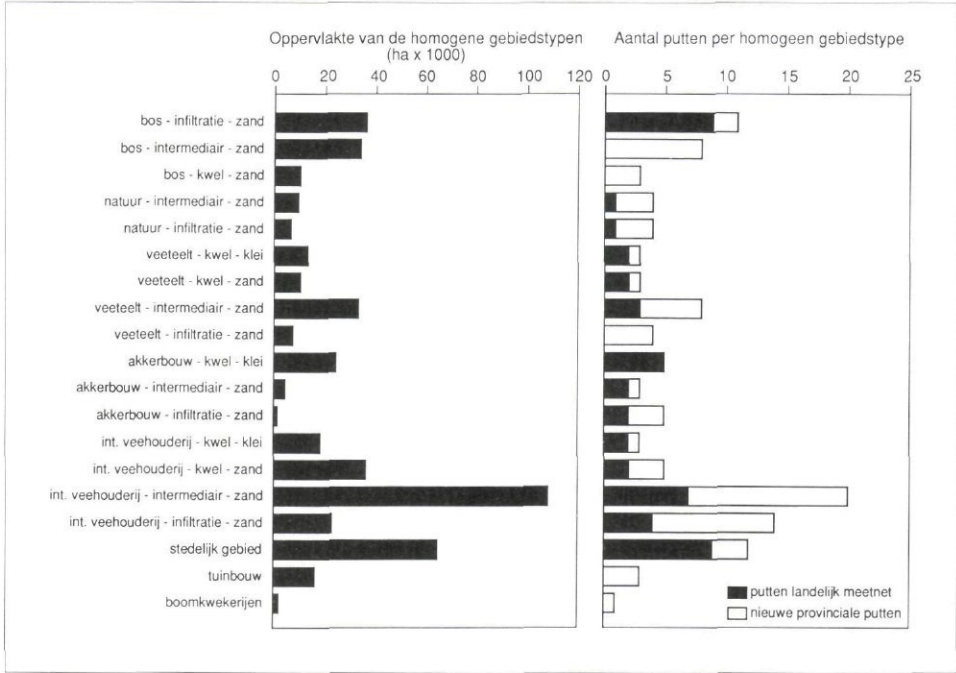
- stroomopwaarts van beschermingszones rond pompstations
- uit de buurt van puntverontreinigingen
- op een zodanige positie dat het meetpunt aansluit bij de meetnetten voor lucht-, regenwater- en oppervlaktewaterkwaliteit en bij grondwaterkwaliteitsmeetpunten in het grensgebied van België.

Met deze plaatsingscriteria zijn met het



Afb. 3 - De verspreiding van het homogene gebiedstype 'intensieve veehouderij-infiltratie-zand' met de landelijke en provinciale meetpunten die representatief geacht worden voor dit type.

Afb. 4 - De oppervlakten van de homogene gebiedstypen in Noord-Brabant en het aantal landelijke en provinciale meetpunten per gebiedstype.



geografisch informatiesysteem en de gedetailleerde landgebruiksclassificatie geschikte lokaties bepaald. De geohydrologische situatie en het landgebruik zijn in het veld getoetst. Op deze wijze is zo goed mogelijk bewerkstelligd dat de lokatie daadwerkelijk representatief is voor de bodem en het landgebruik van het desbetreffende homogene gebiedstype.

Inrichting en exploitatie van het meetnet

Afb. 4 toont de uiteindelijke verdeling van landelijke en provinciale meetpunten over de homogene gebiedstypen. Zoals uit de afbeelding blijkt zijn de bestaande landelijke meetpunten volledig in het PMG geïntegreerd. De nieuw in te richten punten vormen als het ware een aanvulling op de bestaande. De nieuwe provinciale meetpunten zijn ingericht volgens het bestek van het LMG [Van Duijvenbooden *et al.*, 1985]. De provinciale meetpunten wijken in één opzicht af van de landelijke meetpunten: in aanvulling op de drie twee-meter filters op diepten van ± 10, 15 en 25 meter, bevatten ze vaak een ondiep freatisch filter van 1 meter lengte. Deze filters zijn geïnstalleerd daar waar verwacht werd dat een monster is te onttrekken dat representatief is voor het landgebruik in de omgeving.

De bemonsteringsstrategie en het analysepakket zijn ook afgestemd op het LMG. Jaarlijks worden de filters op ± 10 en op ± 25 meter bemonsterd en geanalyseerd op een standaardpakket, waarin op aandrang van de provincie Noord-Brabant ook Fe, O₂, pH_{veld} en EC_{veld} zijn opgenomen. Het pakket ziet er als volgt uit: pH_{veld}, pH_{lab}, EC_{veld}, EC_{lab}, O₂, Na, K, Ca, Mg, NH₄, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, tot-P, DOC, Fe, Mn, Al en Zn. Daarnaast zijn vijfjaarlijkse bemonsteringsprogramma's voorzien voor een pakket sporenelementen, organische microverontreinigingen en bestrijdingsmiddelen.

Evaluatie van de analyseresultaten

De evaluatie van de analyseresultaten is gebaseerd op twee datasets:

- de analyses van de Brabantse meetpunten van het LMG uit 1984, aangevuld met Fe, SO₄ en Al metingen uit 1990 en tritiummetingen uit 1980.
- de analyses van de eerste bemonsteringsronde van het PMG, waarin 33 meetpunten zijn bemonsterd (voorjaar 1991).

Bij de evaluatie stond de relatie tussen de watersamenstelling in de provinciale meetpunten en het landgebruik, de bodems en de geohydrologische situatie

Toetsing geohydrologische situatie met tritium

Tritium is het instabiele isotoop van waterstof. Het isotoop heeft een halfwaardetijd van 12,35 jaar waardoor het geschikt is om betrekkelijk recent water te dateren. Het tritiumgehalte in neerslagwater van de laatste 40 jaar is bepaald door bovengrondse kernproeven en nalevering vanuit de atmosfeer. De hoogste atmosferische tritiumactiviteit werd in 1962-1963 gemeten. Gehalten hoger dan 1 TU (= 0,118 Becquerel/l) markeren water van na 1950 of wijst op menging met dergelijk recent water. Het RIVM heeft voor alle meetpunten tritiumanalyses verricht en heeft onderscheid gemaakt tussen water dat vóór 1950 en water dat na 1950 is geïnfiltreerd. In het vervolg zal naar water dat na 1950 is geïnfiltreerd worden verwezen met 'recent' en naar water dat vóór 1950 is geïnfiltreerd als 'niet-recent'.

Het tritiumgehalte kan worden gebruikt als onafhankelijke toetsing van een geohydrologische indeling van de putten in de categorieën kwel, intermediair en infiltratie. Van putten in infiltratiegebieden wordt verwacht dat minstens het ondiepe filter recent water levert. In kwelgebieden kan, op grond van de definitie, naar verwachting alleen water met een tritiumgehalte < 1 TU voorkomen.

diepte (m)	recent		niet-recent	
	5-15	15-30	5-15	15-30
infiltratie	17	10	–	6
intermediair	10	3	4	10
kwel	4	2	9	13

Aantal filters met recent en niet-recent water per geohydrologische categorie voor twee diepteintervallen.

Uit de tabel blijkt dat deze verwachtingen grotendeels worden bevestigd. Het grondwater uit de ondiepe filters (± 8 m.- mv) in infiltratiegebieden werd zonder uitzondering als recent gekenmerkt. Ook het grondwater uit het diepe filter (± 25 m.-mv) bevat in de meeste gevallen recent water. Het ondiepe grondwater in het intermediaire gebied is meestal recent, in tegenstelling tot het grondwater uit de diepe filters. Ook deze bevinding is in overeenstemming met de verwachtingen. In het intermediaire gebied overheerst nl. ondiepe stroming en vindt slechts plaatselijk transport van en naar diepe watervoerende lagen plaats. Het uit de putten in kwelgebieden bemonsterde grondwater blijkt niet-recent te zijn. Een zestal uitzonderingen wijst op verstoring van de oorspronkelijke kwelsituatie.

centraal. Om de watersamenstelling te verklaren is op grond van bestaande kennis een inschatting gemaakt van de processen die in de ondergrond zijn opgetreden. De geohydrologische situatie van de landelijke meetpunten is voorafgaand getoetst met tritium (zie kader).

In dit artikel worden de resultaten van de filters op ± 10 en ± 25 meter gepresenteerd aan de hand van een aantal karakteristieke voorbeelden. Een uitgebreide beschrijving van de evaluatie is te vinden in Broers en Griffioen [1992a, 1992b]. Verzadigingsindices van mineralen zijn berekend met CHEMPROC [Biesheuvel, 1988] waarin een versie van WATEQ is opgenomen.

Tabel I geeft aan hoe vaak de maximaal toelaatbare concentratie (MTC) uit de EEG-richtlijn (80/778/EEG) wordt overschreden. In de tabel is onderscheid tussen 2 diepte-intervallen: 7-12 m en 19-26 m. Grondwater uit het eerste interval wordt in dit artikel aangeduid als 'ondiep', grondwater uit het tweede als 'diep'. Uit de tabel blijkt dat zowel in de landelijke als in de provinciale meetpunten in een groot aantal gevallen de

drinkwaternorm voor nitraat, kalium, sulfaat en aluminium wordt overschreden. Overschrijding van nitraat-, sulfaat- en kaliumnormen is algemeen in de ondiepe filters van de homogene gebiedstypen 'intensieve veehouderij-infiltratie-zand' en 'akkerbouw-infiltratie-zand'. In de freatische filters uit deze homogene gebiedstypen worden overigens nog grotere overschrijdingen gevonden. In het ondiepe grondwater in het intermediaire gebied worden ook normen overschreden voor de genoemde stoffen. In het diepe grondwater in het intermediaire gebied en in kwelgebieden is overschrijding echter een zeldzaamheid. De drinkwaternorm voor aluminium wordt overschreden in zuur grondwater, dat vooral onder bos in het infiltratiegebied wordt aangetroffen, maar ook in het agrarische gebied. Uit bovenstaande is af te leiden dat het ondiepe Brabantse grondwater vergaand is beïnvloed door menselijke activiteiten. In het volgende wordt de grondwatersamenstelling in een drietal homogene gebiedstypen uit het zandgebied toegelicht, namelijk:

- intensieve veehouderij-infiltratie-zand
- bos-infiltratie-zand
- veeteelt-kwel-zand.

TABEL I – Aantal overschrijdingen van de EEG-drinkwaternorm voor nitraat, kalium, sulfaat en aluminium in de provinciale en landelijke meetpunten, gesorteerd naar het homogene gebiedstype.

	Meetpunten LMGK					Provinciale meetpunten				
	Aantal filters	NO ₃	K	SO ₄	Al	Aantal filters	NO ₃	K	SO ₄	Al
		(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)		(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)	(MTC norm mg/l)
		50	12	150	0,2		50	12	150	0,2
Filterdiepte 7-12 m										
Intens. veeh.-infiltr.-zand	4	4	2		1	5	2	2	3	1
Akkerbouw-infiltr.-zand	2	2	1		1	2	1	1		1
Veeteelt-infiltr.-zand	0					1			1	
Bos-infiltr.-zand	8				7	0				
Intens. veeh.-interm.-zand	6	1	1	1	3	4	2	1	4	2
Akkerbouw-interm.-zand	1		1	1	1	0				
Veeteelt-interm.-zand	3	1	2	1	1	1				
Bos-interm.-zand	0					3			1	
Overig intermediair	2					3			1	
Kwel gebiedstypen	7					1				
Stedelijk gebied	9		4	2	1	1		1		1
Filterdiepte 19-26 m										
Intens. veeh.-infiltr.-zand	4			1		3				
Akkerbouw-infiltr.-zand	2	1				2			1	1
Veeteelt-infiltr.-zand	0					2				1
Bos-infiltr.-zand	9				1	0				
Intens. veeh.-interm.-zand	8					4				
Akkerbouw-interm.-zand	2					0				
Veeteelt-interm.-zand	2		1	1	1	3				
Bos-interm.-zand	0					2				
Overig intermediair	2					6		1	2	
Kwel gebiedstypen	8					3				
Stedelijk gebied	6			3		2		1		
Totaal	85	9	12	10	18	48	5	7	13	7

TABEL II – Grondwatersamenstelling in een viertal meetpunten van het LMG en het PMG.

	Int. veeh.-infiltr.-zand		Bos-infiltr.-zand		Intens.-veeh.-Interm.-zand		Veeteelt-kwel-zand	
	Overloon (122)		Dorst (136)		Biezenmortel		Goirle	
	52BA-3191		44DA-3332		45CA-3370		50FA-3438	
diepte (m-mv)	8-10	23-25	8-10	22-24	8-10	23-25	6-8	22-24
analysejaar	1984	1984	1984	1984	1991	1991	1991	1991
pH	4,77	3,55**	4,26	5,35	5,7v	6,1	6,65v	7,15v
EC	900	570	240	170	430	275	600	310
O ₂ (mg/l)	–	–	–	–	0,7	0,6	0,4	0,3
Na (mg/l)	28	20	11	12	14	22	21	6,5
K (mg/l)	19	24	4	2	1	1	2	1
Ca (mg/l)	110	47	15	8	41	15	80	58
Mg (mg/l)	21	13	6	3	17	8	10	6
NH ₄ (mg/l)	0,04	0,23	0,14	0,17	0,55	0,35	0,45	0,15
Cl (mg/l)	46	35	23	21	26	14	32	7
HCO ₃ (mg/l)	4	1	1	6	46	30	165	210
SO ₄ (mg/l)	110	180	75	44	150	85	140	<5
NO ₃ (mg/l)	363	2	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe (mg/l)	< 0,02*	19,5*	1,9*	5,9*	12,5	4,4	13	0,14
Al (mg/l)	0,43*	< 0,02*	1,35*	< 0,02*	0,06	0,06	0,003	0,006
Zn (µg/l)	38,5*	743*	42*	< 6,5*	< 10	50	60	30
Tritium	recent	recent	recent	recent	–	–	–	–

* = analysejaar 1990
** = onbetrouwbare laboratorium pH in ijzerrijke monsters
v = pH in veld gemeten

Van de grondwatersamenstelling in elk van deze gebiedstypen is een min of meer karakteristiek voorbeeld gekozen (tabel II).

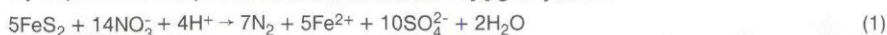
Intensieve veehouderij-infiltratie-zand
Meetpunt Overloon (tabel II) is min of meer karakteristiek voor de samenstelling van het grondwater onder intensieve veehouderijgebieden in een infiltratiegebied (zie ook afb. 3). Dit homogene gebiedstype omvat vooral zogenoemd oud-bouwlandgebieden met dikke eerdgronden, die een rijk agrarisch verleden

hebben en waar tegenwoordig vooral mais wordt verbouwd.
Het ondiepe grondwater in zowel de landelijke als de provinciale meetpunten is in het algemeen zeer nitraatrijk (150-400 mg/l) en heeft meestal hoge kaliumgehalten (tot 40 mg/l). In een aantal monsters met pH < 6 werden ook hoge aluminiumgehalten gemeten. Deze watersamenstelling kan worden toegeschreven aan het overmatig uitrijden van drijfmest [Van Beek 1989].
Het diepe water in de meetpunten wordt ook beïnvloed door agrarische activiteiten,

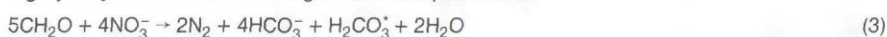
gezien de chloridegehalten (30-60 mg/l) en de hoge sulfaatgehalten (60-200 mg/l). In tegenstelling tot het ondiepe water is het diepe water meestal nitraatloos en heeft het hoge ijzergehalten (> 10 mg/l). De lage zuurgraad die in deze ijzerrijke, bicarbonaatarme monsters in de landelijke meetpunten werd gemeten, is terug te voeren op neerslag van ijzerhydroxyden na bemonstering [Van Duijvenbouden, KIWA/VWN colloquium 11-12-1991].
De hoge kaliumgehalten wijzen erop dat het adsorptiecomplex van de ondiepe sedimenten niet meer in staat is een toename van de kaliumconcentratie in oplossing te bufferen, waardoor kaliumdoorslag optreedt. In enkele gevallen is nitraatdoorslag naar het diepe filter opgetreden.
De hoge ijzer- en sulfaatgehalten die in een groot aantal filters zijn gemeten, vormen een aanwijzing voor het optreden van incomplete pyrietoxydatie in de ondergrond, zoals ook aangetoond door Van Beek [1989] en Postma *et al.* [1991]. Dit proces staat centraal in een artikel van Van Gaans en Vriend [elders in deze H₂O]. De ondiepe watermonsters uit de landelijke meetpunten worden door hen geclassificeerd als 'V' (vuile regen), de diepe als 'P' (pyrietoxydatie). Het optreden van pyrietoxydatie valt te wijten aan het indringen van nitraat, en in mindere mate zuurstof, in een van oorsprong gereduceerde ondergrond. Aanwijzingen voor pyrietoxydatie zijn alleen gevonden in agrarisch gebruikte gebieden en in dorpskernen in het agrarisch gebied.
Uit bestudering van de provinciale dataset blijkt dat evenwicht met het mineraal sideriet (FeCO₃) waarschijnlijk limiterend is voor de ijzergehalten in de monsters met pH > 6, maar dat in zuurder grondwater een dergelijke limitatie ontbreekt (zie kader 'pyriet en sideriet'). De hoge ijzergehalten die in het zoete grondwater van Noord-Brabant worden gemeten hangen daarom samen met de kalkloze omstandigheden in de ondiepe Brabantse ondergrond. De hoge ijzer- en sulfaatgehalten kunnen een beperking vormen voor de gebruiksmogelijkheden van het ondiepe grondwater in intensief gebruikte agrarische gebieden met een kalkloze ondergrond.
De diepte van het redoxfront, de overgang tussen nitraat- en ijzerhoudend water, verschilt van meetpunt tot meetpunt. De diepte van dit front kan met de filterstelling van de huidige meetpunten onvoldoende worden vastgelegd. Het freatisch filter in de provinciale meetpunten vormt daarom een welkome

Pyriet en sideriet

Oxydatie van pyriet (FeS₂) lijkt in Noord-Brabant een belangrijke rol te spelen bij denitrificatie. Van Beek *et al.* [1988] en Postma *et al.* [1991] rapporteren denitrificatie van NO₃ met pyriet. Bij dit proces wordt potentieel zowel zwavel als Fe(II) geoxydeerd:



Beide reacties worden door bacteriën gecatalyseerd. De energieopbrengst bij sulfide-oxydatie is groter dan bij Fe(II)-oxydatie, zodat de oxydatie van pyriet incompleet kan zijn. Dit maakt het mogelijk dat slechts S geoxydeerd wordt, zolang FeS₂ onbeperkt aanwezig is of zolang de stroomsnelheid groter is dan de reactiesnelheid [Postma *et al.* 1991]. Het Fe(II) wordt niet geoxydeerd en blijft in oplossing. Dit proces kan tot hoge Fe- en SO₄-gehalten leiden, vooral waar nitraathoudend grondwater pyriethoudende afzettingen bereikt. Niet uitgesloten is dat tegelijkertijd denitrificatie met organische stof plaatsvindt:



Uit afb. 5 komen sterke aanwijzingen naar voren dat in de provinciale meetpunten pyrietoxydatie leidt tot verhoogde ijzer- en sulfaatgehalten. Uit de afb. blijkt dat ijzergehalten tussen 10 en 80 mg/l in sulfaatrijk water geen uitzondering zijn. Voor een discussie over de bronnen van ijzer en sulfaat wordt verwezen naar Van Gaans *et al.* [elders in deze H₂O].

Evenwichtsreacties met ijzermineralen als goethiet (FeOOH) en sideriet (FeCO₃) zouden de mobiliteit van ijzer kunnen beperken. De invloed van het mineraal goethiet is moeilijk te kwantificeren, aangezien evenwichtsreacties met dit mineraal sterk afhankelijk zijn van de redox-potentiaal, waarvan nauwelijks een betrouwbare schatting kan worden gemaakt [zie ook Postma *et al.* 1991; Lindberg *et al.* 1984].

Evenwicht met het mineraal sideriet is eenvoudiger vast te stellen, omdat Fe²⁺ in anaëroob ijzerhoudend water met een pH tussen 4 en 10, verreweg het belangrijkste aandeel uitmaakt van Fe_T. De evenwichtsreactie ziet er als volgt uit:



De evenwichtsberekeningen zijn alleen uitgevoerd voor de provinciale meetpunten, omdat de alkaliteit van de ijzerhoudende monsters uit de landelijke meetpunten onbetrouwbaar is gebleken. In een kwart van de provinciale analyses lijkt evenwicht met sideriet waarschijnlijk, waaronder vijf gevallen waar ook kalkverzadiging is vastgesteld. Uit het feit dat het bemonsterde grondwater uit de provinciale en landelijke meetpunten op een aantal meetpunten in kwelgebieden na-(sterk) onderverzadigd is ten opzichte van kalk, is geconcludeerd dat de ondergrond in het dieptebereik van de kwaliteitsmeetpunten kalkvrij is.

Uit de afbeelding blijkt dat in een aantal gevallen waar pyrietoxydatie voor de hand ligt, ook siderietevenwicht een rol kan spelen. Anderzijds kan in siderietverzadigde monsters met een laag ijzergehalte wel degelijk pyrietoxydatie zijn opgetreden.

De grondwatermonsters waar siderietevenwicht is geconstateerd, worden gekarakteriseerd door een neutrale of licht zure pH (> 6). In geen van de ijzerhoudende watermonsters met pH < 6 kan siderietverzadiging worden vastgesteld. Dit houdt verband met de toenemende oplosbaarheid van carbonaten bij afnemende pH.

Vooralsnog is onduidelijk welke combinatie van processen verantwoordelijk is voor de neutrale pH's in de monsters die niet kalkverzadigd zijn en waarom deze processen niet zijn opgetreden bij de monsters met pH < 6. Om enige duidelijkheid te scheppen in deze materie is afbeelding 6 vervaardigd. De afbeelding toont van alle ijzerhoudende monsters de verzadigingsgraad ten opzichte van sideriet en calciet, uitgedrukt in saturation index. Als SI > 0 dan is het monster oververzadigd en loopt reactie (4) naar rechts.

In de afbeelding zijn grofweg drie groepen te onderscheiden:

groep I: ijzerhoudend grondwater dat verzadigd is ten opzichte van calciet én sideriet

groep II: ijzerhoudend grondwater dat verzadigd is ten opzichte van sideriet en (licht) onderverzadigd ten opzichte van calciet

groep III: ijzerhoudend grondwater dat onderverzadigd is ten opzichte van sideriet en calciet. Groep I bevat monsters uit kwelgebieden en één monster uit een infiltratiegebied dat blijkbaar kalkhoudend is. De pH van deze monsters is neutraal.

Groep III bevat ijzerhoudend grondwater met een pH < 6. In een aantal gevallen zijn zeer hoge ijzergehalten gemeten, die mogelijk het gevolg zijn van pyrietoxydatie. Het ijzergehalte in deze meetpunten wordt niet gelimiteerd door siderietoplosbaarheid.

Dit is wel het geval bij de monsters uit groep II. Dit hangt samen met de hogere alkaliteit en pH in deze groep. Voor de ontstaanswijze van dit water zijn een twee hypothesen opgesteld, die geldig zijn bij een kalkloze ondergrond:

- als uit kalk- en siderietverzadigd, ijzerhoudend water sideriet neerslaat kan het water onderverzadigd worden aan calciet doordat CO₂ in oplossing gaat als H₂CO₃*. Zo'n situatie zou bijvoorbeeld kunnen optreden in water dat verzadigd is geraakt aan calciet na bekalking, en waar door pyrietoxydatie in de ondergrond Fe²⁺ in oplossing gaat.

- als in kalkverzadigd water; bijvoorbeeld na bekalking, zowel denitrificatie optreedt door pyriet als door organische stof dan:

- neemt de Fe-concentratie toe tot aan siderietevenwicht

- daalt de calcietverzadiging en de pH door de toevoer van H₂CO₃* die ontstaat bij denitrificatie met organisch materiaal.

Ontrafeling van de processen die tot de ijzerconcentraties in het grondwater hebben geleid is met de huidige dataset niet mogelijk; niet alleen ontbreken de noodzakelijke geochemische gegevens (pyriet-, sideriet-, calciet- en organische stofgehalten) maar ook de verticale resolutie in de meetpunten is onvoldoende. Inzicht in deze materie is, ook vanuit een provinciale invalshoek, gewenst om de verplaatsingsnelheid van redox- en vervuillingsfronten in de ondergrond te kunnen schatten en het totaal bufferend vermogen van de ondergrond vast te stellen.

aanvulling. Door de grote nitraatvrucht die in agrarische gebieden in infiltratiegebieden naar de diepe filters onderweg is, zal het redoxfront zich met relatief grote snelheid naar beneden verplaatsen. Om een indruk te geven: een nitraatvrucht van 200 mg/l, zoals regelmatig gemeten in de ondiepe filters uit dit homogene gebiedstype, heeft een ± 13 keer grotere (pyriet)oxydatiecapaciteit als nitraatloos water, waarin bij 10°C hooguit 10 mg/l O₂ kan zijn opgelost. Om een betrouwbare inschatting te maken van de verplaatsings-snelheid van het redoxfront is het meten van pyriet- en kalkgehalten, de gehalten organische stof en de CEC van de sedimenten noodzakelijk.

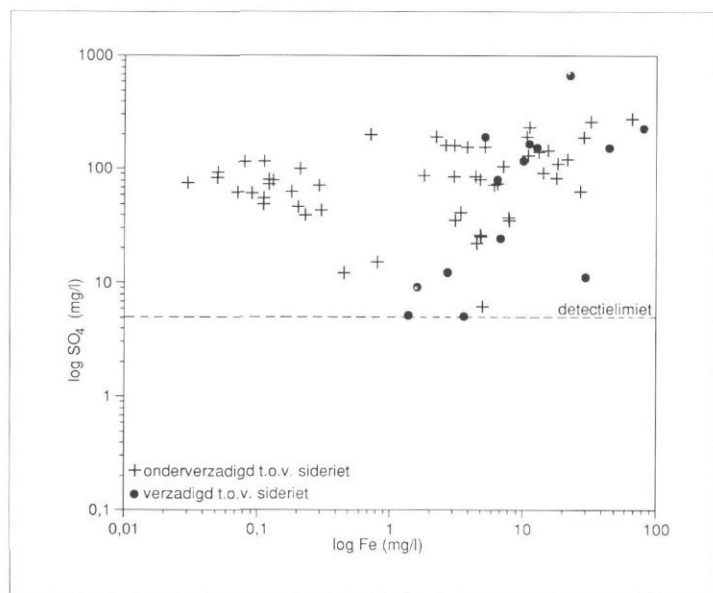
Bos-infiltratie-zand

Meetpunt Dorst is min of meer karakteristiek voor de 9 landelijke meetpunten in dit homogene gebiedstype. De meeste meetpunten staan onder naaldbos in gebieden met vaaggronden en podzolgronden, die worden gekenmerkt door diepe grondwaterspiegels.

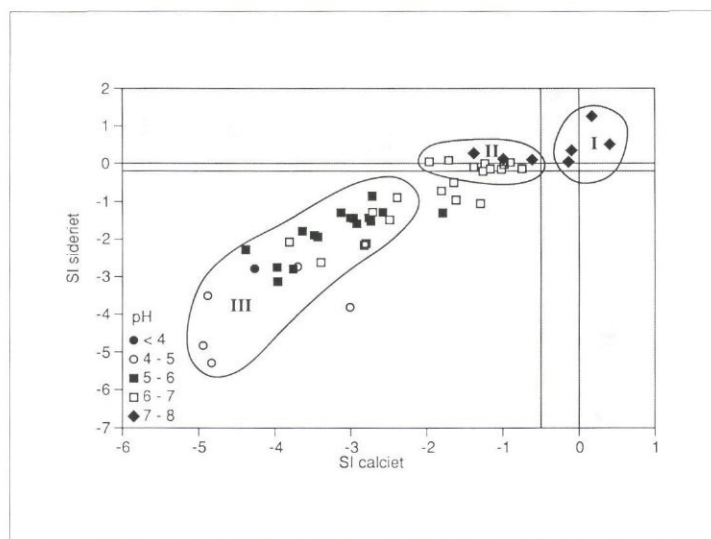
Het grondwater uit de ondiepe en diepe filters in de meetpunten kan worden gekarakteriseerd als laag gemineraliseerd, zacht en zuur tot matig zuur (zie tabel II).

Het water is agressief ten opzichte van kalk en heeft een totale hardheid die in het algemeen lager is dan 0,5 mmol/l. In enkele ondiepe filters worden calciumgehalten hoger dan 10 mg/l gevonden. Gemiddeld bevat het water slechts 16 mg/l chloride. Een dergelijk laag chloridegehalte komt in geen van de andere homogene gebiedstypen voor in water dat na 1950 is geïnfilterd. De minst constante parameter in dit homogene gebiedstype is het sulfaatgehalte (14-120 mg/l). In enkele ondiepe filters wordt nitraat aangetroffen (tot 33 mg/l). In het landelijk meetnet is in 1990 voor het eerst aluminium gemeten. In 5 van de 9 ondiepe filters (< 12 m) uit dit homogene gebiedstype, met pH < 4,5, werden hoge of zeer hoge aluminiumconcentraties (> 1 mg/l) aangetroffen.

De watersamenstelling lijkt vooral bepaald te worden door de kwaliteit van het regenwater en concentratie door evapotranspiratie. De wateranalyses uit de ondiepe filters worden door Van Gaans *et al.* [elders in deze H₂O] geclassificeerd als 'Z' (zure regen), de analyses uit de diepe filters meestal als 'N' (neerslag water). Waarschijnlijk zijn de lage pH's in de ondiepe filters het gevolg van droge depositie van verzurende stoffen die afkomstig zijn van omliggende landbouwgebieden. Deze stoffen worden vooral in bosgebieden ingevangen. Aan het



Afb. 5 - Het verband tussen opgelost ijzer en sulfaat voor de grondwaters uit de provinciale meetpunten (1991). De watermonsters waar siderietevenwicht (criterium $SI > -0,2$) waarschijnlijk is zijn gemerkt.



Afb. 6 - Het verband tussen $SI_{sideriet}$ en $SI_{calciet}$ voor de provinciale meetpunten. $SI = \log(IAP/K)$. SI = saturation index, IAP = Ion Activiteits Product en K = de thermodynamische evenwichtsconstante. In het gerasterde gebied wordt verzadiging met één of beide mineralen aangenomen. De pH van de monsters is middels een signatuur aangegeven.

oppervlak en in de bodem worden de ingevangen stoffen geoxydeerd, wat zuurvorming tot gevolg heeft. De ondergrond in dit gebiedstype heeft waarschijnlijk een geringe buffercapaciteit tegen verzuring, waardoor zowel in het diepe als in het ondiepe grondwater lage pH's worden gemeten. Aangezien het water in 8 meetpunten agressief is ten opzichte van kalk moet de aanwezigheid van kalk in de ondergrond worden uitgesloten. In arme zandgebieden lijkt vooral oplossing van aluminiumhydroxyden zuurneutraliserend te werken, in combinatie met uitwisselingsreacties tussen Ca- en Al-ionen [Appelo, 1982].

Veeteelt-kwel-zand

Het grondwater uit de landelijke meetpunten in dit gebiedstype werd op grond van het tritiumgehalte geclassificeerd als 'niet-recent'. Het grondwater wordt gekenmerkt door neutrale pH, middel-hoge calcium- (50-60 mg/l) en bicarbonaatgehalten (180-210 mg/l) en lage kalium- (< 2 mg/l) en chloridegehalten (< 10 mg/l). Het water is vrijwel sulfaatloos en licht onderverzadigd ten opzichte van kalk. Het water wordt door Van Gaans *et al.* als sulfaatgereduceerd (R) bestempeld.

De watersamenstelling vertoont grote overeenkomst met het grondwater in diepe watervoerende pakketten in het grootste deel van Brabant [Stuurman, 1990]. De Ca/HCO_3 -verhouding is 1:2 (in mmol/l) wat wijst op oplossing van kalk met CO_2 als een dominant proces.

De lage sulfaatgehalten worden toe-

geschreven aan reducerende processen in de ondergrond.

Deze gegevens bevestigen de aanname dat de grondwaterkwaliteit in deze meetpunten wordt bepaald door opkwellend grondwater uit diepe watervoerende pakketten.

De samenstelling van het grondwater uit het diepe filter van het provinciale meetpunt te Goirle (tabel II) voldoet ook aan bovenstaande beschrijving. De samenstelling van het ondiepe grondwater in de provinciale meetpunten vertoont echter sporen van menselijke beïnvloeding, zoals hoge sulfaatgehalten en verhoogde chloridegehalten. Aangenomen wordt dat in deze gebieden de diepe grondwatersamenstelling ooit tot aan maaiveld heeft bereikt, maar dat drainagemaatregelen, beekpeilverlagingen en grondwateronttrekkingen tot het ondiep indringen van agrarisch water hebben geleid [zie o.a. Garritsen (1988) en Stuurman *et al.* (1989, 1990)].

Resultaten per geohydrologische situatie

In alle landelijke en provinciale meetpunten in agrarisch gebruikte *infiltratiegebieden* is in de ondiepe filters agrarische beïnvloeding geconstateerd. Vooral in de homogene gebiedstypen 'intensieve veehouderij- en akkerbouw-infiltratie-zand' zijn hoge NO_3 en K-gehalten gemeten die de drinkwaternormen ver overschrijden. In de meeste gevallen is agrarische beïnvloeding ook in de diepe filters te herleiden, al wordt ze versluierd door geochemische processen als nitraat-

reductie, oxydatie van pyriet en organische stof en (soms) evenwicht met carbonaten.

Onder bos en heide wordt in het dieptebereik van het meetnet laag gemineraliseerd zuur tot matig zuur grondwater aangetroffen, waarin meestal aanzienlijke hoeveelheden aluminium zijn opgelost. De buffercapaciteit tegen verzuring lijkt in de Brabantse infiltratiegebieden gering te zijn. Slechts één van de waters vertoont buffering van zuur door oplossing van kalk. Blijkbaar is de ondergrond onder infiltratiegebieden kalkarm, wellicht door eeuwenlange uitloging van regenwater dat in de bodemzone CO_2 heeft opgenomen.

De grondwatersamenstelling in de meetpunten in *kwelgebieden* weerspiegelt in de meeste gevallen de grondwatersamenstelling op grotere diepte in de ondergrond. Afhankelijk van de lokatie is dit water brak of zoet. Zowel het zoete als het brakke water is vrijwel sulfaatloos door sulfaatreductie (typen 'R' en 'S' volgens Van Gaans *et al.*) De kwaliteit van het zoete water wordt overigens gekenmerkt door Ca- en HCO_3 -gehalten die wijzen op oplossing van kalk met CO_2 . De watersamenstelling in kwelgebieden is daarom onafhankelijk van het landgebruik ter plaatse of direct stroomopwaarts van het meetpunt en is hooguit mede bepaald door het landgebruik in een ver verleden. In een aantal ondiepe filters is (agrarische) beïnvloeding vastgesteld.

De samenstelling van het grondwater in *intermediaire* gebieden varieert sterk. Bij de landelijke meetpunten blijkt het

tritiumgehalte van groot belang om verbanden te ontdekken: het recente water blijkt vrijwel steeds beïnvloed (signatuur 'Z', 'V', 'P' of 'K' (kalkgebufferd)) het niet-recente water is 'natuurlijk' (signatuur 'N' en 'R'). In het algemeen bevatten de diepe filters niet-recent, onbeïnvloed water en de ondiepe filters recent, beïnvloed water, dat gelijkenis vertoont met het water in infiltratiegebieden. In tabel II is een voorbeeld opgenomen van de samenstelling in een meetpunt in het gebiedstype 'intensieve veehouderij-intermediair-zand'. In de intermediaire meetpunten in bos en onder heide werden, in tegenstelling tot de agrarisch gebruikte gebieden, chloridegehalten < 25 mg/l gevonden. De ondiepe grondwatersamenstelling in de bosputten wordt gekenmerkt door sulfaatgehalten tussen 75 en 150 mg/l. Dit vormt een aanwijzing voor menselijke beïnvloeding.

Discussie

Op grond van bovenstaande evaluatie en de studie van Van Gaans *et al.* [elders in deze H₂O] is vast te stellen dat er behoefte bestaat aan informatie over de reactiviteit van het doorstroomde medium, om daarmee een verantwoorde inschatting van de bedreiging van de grondwaterkwaliteit door bijvoorbeeld verzuring en vermisting te kunnen maken. Zonder gegevens over de reductiecapaciteit, de uitwisselingscapaciteit en het zuur-neutraliserend vermogen van de ondergrond zal het nauwelijks mogelijk zijn verantwoorde voorspellingsberekeningen uit te voeren over de snelheid van diffuse verontreinigingsfronten in de ondergrond. Gegevens over de geochemische eigenschappen van de ondergrond zijn echter schaars; zelfs eenvoudige kenmerken die een maat geven voor de reactiviteit van de ondergrond, zoals het kalkgehalte, het sulfidegehalte, het organisch stofgehalte en de kationuitwisselingscapaciteit (CEC) zijn van de meeste Nederlandse sedimenten nauwelijks bekend. Daarom is een begin gemaakt met de verzameling van gegevens van de reactiviteit van de ondergrond [zie Van Tiel, elders in deze H₂O].

Bij de evaluatie van het volledige PMG in 1992 is het van belang om, behalve aan de geochemie van de sedimenten, ook aan de lithologie van de sedimenten in het intrekgebied van de meetpunten aandacht te besteden. Vastgesteld moet worden in hoeverre slecht doorlatende lagen of afdekkende pakketten de kwaliteit van het grondwater beschermen. Bovendien moet de ruimtelijke variatie van de grondwatersamenstelling in de

homogene gebiedstypen in een dergelijke evaluatie worden betrokken.

Conclusies

De systematiek die is gevolgd bij het ontwerp van het provinciaal grondwaterkwaliteitsmeetnet (het concept van homogene gebiedstypen) is een waardevol handvat om de analysesresultaten te evalueren. Vooral inzicht in het stromingspatroon van het grondwater is onontbeerlijk voor een verantwoorde evaluatie van de analysesresultaten. Geconcludeerd moet worden dat ook geochemische aspecten en de lithologie van de ondergrond in een toekomstige evaluatie van het complete meetnet moeten worden betrokken.

Verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de provincie Noord-Brabant. De ontwerpstudie is begeleid door een projectgroep waarin vertegenwoordigers zitting hadden van de waterschappen, waterleidingmaatschappijen, het RIVM, Rijkswaterstaat en het consulentchap NBLF (voorheen NMF).

Literatuur

- Appelo C. A. J. (1982). *Verzuring van het grondwater op de Veluwe*. H₂O (15) 1982, nr. 18.
- Beek van C. G. E. M., Duijvenbouden W. van en Hoogveld S. C. M. (1988). *Een meetnet grondwaterkwaliteit in de provincie Gelderland*. H₂O (22), 1989, nr. 2.
- Beek van C. G. E. M. *et al.* (1989). *The effects of manure spreading and acid deposition upon groundwater quality in Vierlingsbeek, the Netherlands*. IAHS Publ. 185, pp. 155-162.
- Biesheuvel A. (1987). *CHEMPROC 3.0, opslag en bewerking van waterkwaliteitsgegevens*. Gebruikershandleiding. Dienst Grondwaterverkenning TNO.
- Bloemendaal S., Defize P. R. en Senden W. J. M. K. (1988). *Inrichting van het provinciaal meetnet grondwaterkwaliteit van Zuid-Holland*. Dienst Grondwaterverkenning TNO, rapport OS 88-46.
- Broers H. P. (1990). *Ontwerp van een meetnet voor de grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Noord-Brabant*. Dienst Grondwaterverkenning TNO, rapport OS 90-15-A.
- Broers H. P. en Griffioen J. (1992a). *Evaluatie van het grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Noord-Brabant. Deelrapport I: Evaluatie van de Brabantse meetpunten van het LMGK*. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie, rapportnr OS 92-39-A.
- Broers H. P. en Griffioen J. (1992b). *Evaluatie van het grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Noord-Brabant. Deelrapport II: Evaluatie van de eerste analysesresultaten van de nieuwe provinciale meetpunten*. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie, rapportnr. OS 92-40-A.
- Broers H. P. en Bergsma G. (1992). *Inrichting van het grondwaterkwaliteitsmeetnet van de provincie Noord-Brabant. Overzicht van meetpunten en stamgegevens*. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO rapport OS-92-04, 140 p.
- Duijvenbouden *et al.* W. van (1985). *Landelijk meetnet Grondwaterkwaliteit, eindrapport van de inrichtingsfase*. RIVM rapport nr. 840382001/2.
- Duijvenbouden (ed.) W. van (1989). *De kwaliteit van het grondwater in Nederland*. RIVM-rapport nr. 728820001.

- Duijvenbouden W. van (1991). *KIWA/VWN colloquium 'Sporenelementen in grondwater'*. 11 december 1991, Ede.
- Gaans van P. F. M. en Vriend S. P. (1991). *Chemische interactie tussen grondwater en sediment. Overzicht van recente literatuur. Inventarisatie van de problematiek in de provincie Noord-Brabant*. Geochem Research, november 1991.
- Gaans van P. F. M., Vriend S. P. en Frapport G. (1992). *Pyritoxydatie in de Noord-Brabantse ondergrond, Achtergrond, oorzaken en gevolgen voor de grondwaterkwaliteit*. (in deze H₂O).
- Garritsen A. G. (1988). *Stromingsstelsels en waterkwaliteit in de Dommelbeemden*. Vrije Universiteit, Amsterdam/NMF Noord-Brabant, Tilburg.
- Lindberg R. D. and Runnels D. D. (1984). *Ground Water Redox Reactions: An Analysis of Equilibrium State Applied to Eh measurements and Geochemical Modeling*. Science, Vol. 225, (p. 925-927).
- Peters S. W. M. (1990). *Grondgebruikclassificatie van Noord-Brabant met behulp van Landsat-TM beelden ten behoeve van het ontwerp meetnet grondwaterkwaliteit*. Dienst Grondwaterverkenning TNO, rapport OS 90-18-A.
- Postma D. *et al.* (1991). *Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer: Water chemistry, reduction processes, and geochemical modeling*. Water Resources Research, vol 27, no. 8, pp 2027-2045.
- Stuurman R. J. *et al.* (1989). *De hydrologische systeem-analyse van westelijk Noord-Brabant en omgeving. Eindrapport: een integraal onderzoek naar de structuur en dynamiek van watersystemen en de processen die deze bedreigen*. Dienst Grondwaterverkenning TNO-Vrije Universiteit Amsterdam, rapport OS 89-59-A.
- Stuurman *et al.* (1990). *De grondwaterstromingsstelsels en de grondwatersamenstelling van de provincie Noord-Brabant*. Dienst Grondwaterverkenning TNO, rapport OS 90-19-A.

Summaries

- End of page 721.

H₂O (25) 1992, nr. 26; 746

I. VAN TIEL:

Monitoring the groundwater quality in Noord-Brabant, a multidisciplinary approach

A new groundwater quality monitoring network in the province of Noord-Brabant became operational in 1991. The 66 new sampling sites can be considered as a complement to the national groundwater quality monitoring network (56 sites in Noord-Brabant). Construction of the monitoring wells, sampling technique and analysis of the groundwater in both networks are very similar; the two monitoring networks together can be considered as a whole. The shallow groundwater of Noord-Brabant (depth down to 25 meters below the surface level) is influenced by acidification and eutrophication. Most components that are found in the groundwater as a result of these processes are analysed yearly. The spatial distribution of the sites over the province is based on the 3 criteria soil type, land use and geohydrology. Besides these criteria the chemical composition of the sediments and the chemical reactions taking place in the flow path between infiltration and exfiltration are important factors determining the groundwater composition in a watersystem. It was recognised that the knowledge about the interaction between sediment and groundwater is incomplete. Therefore sediment samples were taken during the drilling of the monitoring wells. Sediment samples were selected for analyses, considering the geological classification, groundwater composition (analysed in 1991), hydrology, land use, geological determination and spatial distribution of the sites.