



Susanne Groot, Vrije Universiteit Amsterdam / HKV Lijn in Water
 Pieter Stuyfzand, Vrije Universiteit Amsterdam / Kiwa Water Research
 Jet Lebbink, PWN
 Harry Rolf, PWN

Herkenning van kunstmatig geïnfiltreerd water

Ten behoeve van drinkwaterbereiding infiltreert PWN voorgezuiverd water uit de Rijn en het IJsselmeer in de Noord-Hollandse duinen. Verspreiding van dit infiltratiewater werd gekarteerd door het meten van chloride-, bromide- en sulfaatconcentraties in watermonsters. Kwaliteitsontwikkelingen in het Rijn- en IJsselmeerwater maken echter dat de conventionele sensoren minder bruikbaar worden. Aan de hand van een studie naar de kwaliteitsontwikkelingen van de verschillende watersoorten, veld- en laboratoriumonderzoek zijn andere sensorcombinaties, waarop onderscheid te maken is tussen het geïnfiltreerde water en het natuurlijke duingrondwater, benoemd voor drie onderzochte infiltratiegebieden van PWN. Ook is het gebruik van watertemperatuur als indicatie voor watersoort getest.

Herkomst van grondwater is onderwerp van veel studie. Waterleidingbedrijven willen bijvoorbeeld weten waar het grondwater dat gewonnen wordt vandaan komt en in gebieden waar kunstmatige infiltratie plaatsvindt moet de verspreiding van het infiltratiewater bepaald worden. Met de

Inlaat van het te infiltreren water in het open infiltratiegebied bij Castricum (foto: Sander de Haas).



invoering van de Kaderrichtlijn Water¹⁾ wordt de herkomsttracering van water nog belangrijker.

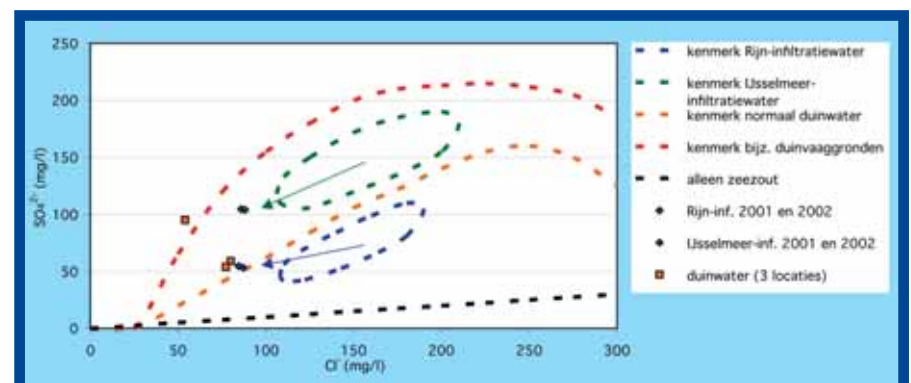
PWN heeft tegenover de provincie de verplichting de verspreiding van kunstmatig geïnfiltreerd water (infiltratiewater) buiten de infiltratiegebieden zoveel mogelijk te voorkomen, omdat de kwaliteit van het infiltratiewater afwijkt van die van het natuurlijke duingrondwater (duinwater). Hiertoe wordt de verspreiding van infiltratiewater gemonitord, met behulp van een grondwatermodel en door het periodiek nemen en analyseren van watermonsters. Onderscheid tussen infiltratiewater en gebiedseigen duinwater is in de meeste gevallen mogelijk aan de hand van de (semi-)natuurlijke sensoren tritium, zuurstofisotopen, chloride en bromide²⁾. PWN hanteerde chloride,

bromide en sulfaat, maar deze leiden niet meer tot een eenduidige diagnose (afbeelding 1). Deze macro-elementen zijn relatief eenvoudig en goedkoop te meten, maar de concentraties ervan in het Rijn- en IJsselmeerwater zijn afgenomen.

Dit artikel presenteert een voorbeeldstudie naar het vinden van geschikte sensoren. Randvoorwaarde voor het onderzoek was dat ze relatief eenvoudig te bemonsteren en te analyseren moeten zijn. Ook moeten de sensoren de komende decennia gebruikt kunnen worden om de herkomst van grondwater in en rond de duinfiltratiegebieden te bepalen.

Het onderzoek is verricht in twee open en één diep infiltratiegebied in de duinen ten westen van Castricum en Heemskerk. In

Afb. 1: De verhouding van chloride en sulfaat in infiltratiewater uit de Rijn en het IJsselmeer verschuift naar die van duinwater.



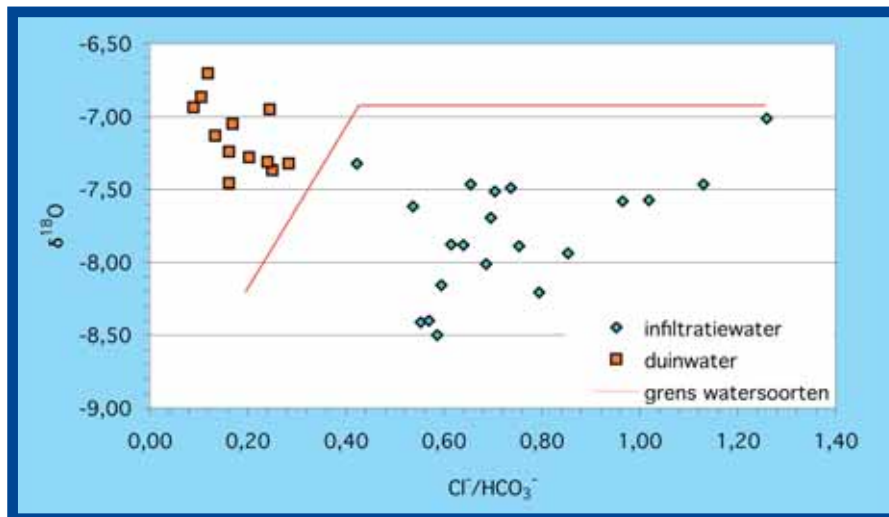
totaal zijn drie watervoerende pakketten betrokken, tot een diepte van circa NAP -100 m. Vanaf 1957 wordt hier Rijnwater geïnfiltrerd, vanaf 1981 IJsselmeerwater en sinds 2000 een mengsel van beiden. Deze veranderingen in herkomst van infiltratiewater maken tezamen met de veranderende waterkwaliteit in de verschillende watersoorten dat er niet één samenstelling van infiltratiewater en één van duinwater te geven is.

Waterkwaliteit

De waterkwaliteit van het infiltratie- en duinwater verschilt (tabel 1). De chlorideconcentratie in de Rijn is relatief hoog door vervuiling industriële (mijnen en rioolwaterzuiveringen) langs de rivier. Door lozingen van bromide-arm steenzout is de bromideconcentratie relatief laag. De concentraties van zuurstof-18 ($\delta^{18}\text{O}$, zie kader) zijn in de Rijn lager dan in Nederlands grondwater, doordat de neerslag die de Rijn voedt verder van de kust valt³⁾. De kwaliteit van IJsselmeerwater volgt die van Rijnwater voor de meeste parameters. Duidelijke verschillen komen voor in de concentraties sulfaat (hoger in het IJsselmeer), nitraat (door algenbloei is deze lager in het IJsselmeer) en bicarbonaat (door kalkneerslag is deze lager in het IJsselmeer). Ook verschillen de isotopenconcentraties: water in het IJsselmeer is sterker onderhevig aan verdamping waardoor de concentratie van zuurstof-18 en de isotopenverhouding (zuurstof-18/deuterium) hoger zijn dan die in de Rijn. Bovendien wordt polderwater met relatief hoge zuurstof-18-concentraties uitgeslagen in het IJsselmeer.

Duinwaterkwaliteit vertoont in zowel ruimte als tijd grote variaties. De kwaliteit hangt onder andere af van de hoeveelheid effectieve neerslag, neerslagkwaliteit, verstuiving van zeezouten en aerosolen, geochemie en vegetatiebedekking²⁾. In het algemeen zijn het elektrisch geleidingsvermogen (en dus de concentratie opgeloste stoffen) en bijvoorbeeld de chlorideconcentratie lager dan in infiltratiewater. De concentraties calcium en bicarbonaat liggen vaak hoger dan in infiltratiewater⁴⁾.

Sinds 1970 is het Rijnwater beduidend schoner geworden⁵⁾. De concentraties van de meeste macro- en sporenelementen zijn afgenomen, waardoor deze geen duidelijk onderscheid meer leveren met duinwater. De isotopenverhoudingen en de temperatuur



Afb. 2: Het nieuwe onderscheid tussen infiltratie- en duinwater.

zijn over de jaren vrijwel constant, maar tonen beide duidelijk seizoensvariaties. Ondanks deze verbetering van de kwaliteit van het infiltratiewater waar het macro- en sporenelementen betreft, is het van belang dat het infiltratiewater niet in de duinen weglekt. Er zijn andere verontreinigingen in het infiltratiewater in de vorm van bijvoorbeeld medicijnresten aangetoond⁶⁾, maar deze zijn moeilijk meetbaar.

Methode

Aan de hand van de kwaliteitsontwikkelingen in de drie onderscheiden wateren (geïnfiltrerd Rijnwater, geïnfiltrerd IJsselmeerwater en natuurlijk duingrondwater) is een inschatting gemaakt van mogelijke sensoren. Vervolgens zijn (in de zomer van 2005) 135 watermonsters genomen, uit de drie watervoerende pakketten in en om de infiltratiegebieden. Hierin zijn monsters opgenomen waarvan zeker is dat het infiltratiewater betreft en monsters die zeker duinwater bevatten (op basis van hun locatie, historisch kwaliteitsverloop en de hydrogeologie). Deze monsters zijn geanalyseerd op parameters als temperatuur en pH-waarde, macro-elementen, sporenelementen en waterstof- en zuurstofisotopen. De isotopenanalyses zijn uitgevoerd door het Centrum voor Isotopen Onderzoek te Groningen. Tijdens de monsterneming zijn in

de diepere putten (> 30 m onder maaiveld) in het gebied temperatuurprofielen gemeten. De waarde van de watertemperatuur als sensor is sinds de jaren 60 erkend en er wordt steeds meer mee gewerkt⁷⁾. Seizoensfluctuaties van de temperatuur van natuurlijk grondwater zijn op tien tot 15 meter diepte vereffend, afwijkende temperaturen op grotere diepte duiden dus op grondwaterstromingen als kwel of infiltratie anders dan door neerslag alleen.

De monsters zijn verdeeld in groepen van infiltratiewater, duinwater en mogelijke mengsels. Met behulp van statistiek is bepaald welke van de geanalyseerde mogelijke sensoren het meest bijdragen aan het onderscheid tussen de groepen infiltratiewater en duinwater. De combinatie van zuurstofisotopen met de chloride/bicarbonaatverhouding blijkt het beste onderscheid te geven tussen de twee watergroepen (afbeelding 2). Gemiddeld genomen bevat duinwater meer zware zuurstofisotopen dan infiltratiewater ($\delta^{18}\text{O}$ minder negatief), maar de range van isotopenwaarden in beide watersoorten vertoont overlap. Zuurstofisotopen alleen geven dus geen uitsluitel over de watersoort. De chloride/bicarbonaatverhouding blijkt een goede aanvulling te bieden. De chlorideconcentratie is gemiddeld gezien hoger in infiltratiewater,

Tabel 1 Overzicht gemiddelde waterkwaliteit tracers en enkele parameters

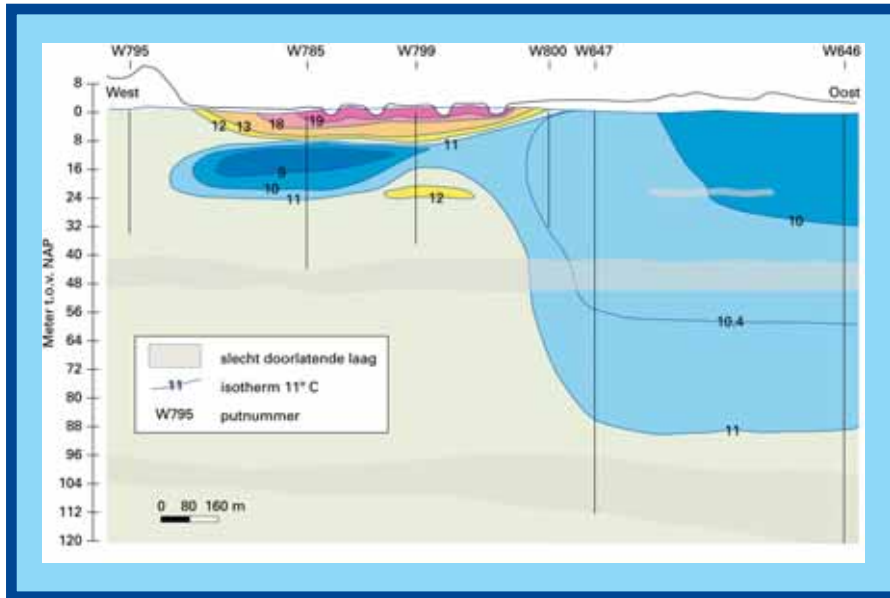
parameter	eenheid	infiltratiewater		duinwater
		Rijn	IJsselmeer	
Cl ⁻	[mg/l]	111	120	67
Br ⁻	[µg/l]	166	248	146
HCO ₃ ⁻	[mg/l]	159	127	295
SO ₄ ²⁻	[mg/l]	60	123	69
NO ₃ ²⁻	[mg/l]	3,1	1,2	0,1
Ca ²⁺	[mg/l]	72	74	117
$\delta^{18}\text{O}$	[‰ vSMOW]	-9,17	-7,01	-7,13
$\delta^2\text{H}$	[‰ vSMOW]	-60	-52	-47

Infiltratiewater: gemiddelden gebaseerd op gegevens van 1995 tot en met 2004;
 duinwater: gemiddelden gebaseerd op gegevens van 1990 tot en met 2002;
 isotopenwaarden voor IJsselmeer- en duinwater gebaseerd op eigen metingen (zomer 2005).

De zwaarste stabiele isotoop van zuurstof is ^{18}O , de meest voorkomende stabiele isotoop van zuurstof is ^{16}O . De concentratie van ^{18}O in watermoleculen wordt gegeven als de relatieve afwijking van de standaard $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio van oceaanwater. Deze is vastgelegd in de Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW):

$$\delta^{18}\text{O} = 10^3 \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right]$$

met $\delta^{18}\text{O}$ in ‰ versus VSMOW.



Afb. 3: Temperatuurprofiel over een open infiltratiegebied. De horizontale schaal is 1:8000, de verticale schaal 1:800. De verticale lijnen geven meetlocaties (waarnemingsputten) en -dieptes weer.

terwijl de bicarbonaatconcentratie lager is. Hierdoor is de chloride/bicarbonaatverhouding in infiltratiewater hoger dan in duinwater.

Zuurstofisotopen zijn in principe geschikte sensoren om dat ze zeer conservatief zijn (de waarde verandert niet tijdens bodempassage) en omdat ze stabiel zijn in de tijd. Chloride is ook een erkende goede sensor, terwijl bicarbonaat niet conservatief en daardoor in principe wat minder geschikt is. Door sulfaatreductie kan de bicarbonaatconcentratie in infiltratiewater toenemen en daardoor op die van duinwater gaan lijken. Sulfaatreductie vindt echter slechts plaats wanneer het water in de bodem in aanraking komt met dikke lagen slib of veen, wat in het onderzoeksgebied maar op enkele locaties het geval is. Zowel zuurstofisotopen als chloride en bicarbonaat zijn voldoende nauwkeurig te meten om onderscheid tussen de watersoorten mogelijk te maken. Juist de combinatie van de drie sensoren biedt goede mogelijkheden onderscheid te maken tussen duin- en infiltratiewater. Hierop zijn slechts enkele uitzonderingen, bijvoorbeeld onder schrale vegetatie (lage bicarbonaatconcentratie) en dicht bij zee (veel invang van spray en dus hoge chlorideconcentratie). De concentraties van chloride en bicarbonaat in duinwater kunnen daar op de concentraties van chloride en bicarbonaat in infiltratiewater lijken. Daardoor kan het nodig zijn ook de bromideconcentratie te bepalen of de waterstofisotopen te meten.

Toepassing

Alle watermonsters waarvan de herkomst niet zeker was, zijn op basis van de sensoren ingedeeld in één van de twee watersoorten of in een aantal gevallen geclassificeerd als mengsel. Deze indeling is geverifieerd door uitgebreide datastudie naar zowel alle analysesresultaten als de velddata. Aan de hand van de indeling is de verspreiding van infiltratiewater in de verschillende watervorende pakketten gekarteerd in kaarten en dwarsprofielen. Deze verspreiding is getoetst

aan de hand van de oude verspreiding en bekende stromingsrichtingen. De verspreidingsprofielen zijn vergeleken met de gemeten temperatuurprofielen. Een voorbeeld van een temperatuurprofiel is gegeven in afbeelding 3, waarin duidelijk te zien is dat warm water wordt geïnfiltreerd (zomer). Hieronder bevindt zich een kouder waterlichaam met een minimumtemperatuur van 8,5°C. Dit moet winterinfiltratiewater zijn, daar duinwater op deze diepte een gemiddelde temperatuur van ruim 10°C heeft. De warmere lens rond 20 meter diepte is ook infiltratiewater. Dat is hier tot een diepte van NAP -50 m aangekomen (zo diep wordt door uitdempen van de temperatuurverschillen echter geen afwijkende temperatuur meer gemeten). Het verschil in temperatuur vanaf ongeveer 30 meter diepte tussen de westkant en de oostkant (afbeelding 3) duidt op relatief snelle afstroom van infiltratiewater naar het westen; het water is daar warmer dan gemiddeld duinwater. Ook naar het oosten vindt afstroom van infiltratiewater plaats, maar dit gaat kennelijk zo langzaam dat de temperatuurverschillen uitdempen.

Conclusies en aanbevelingen

Het onderzoek heeft bruikbare sensoren opgeleverd. Aan de hand van zuurstofisotopen in combinatie met de chloride/bicarbonaatverhouding is in het algemeen duidelijk onderscheid te maken tussen duin- en infiltratiewater. Er is echter niet één combinatie aan te wijzen die in alle gevallen uitsluitend zal kunnen geven. Ook is het niet mogelijk op basis van de benoemde sensoren meer kwantitatieve uitspraken over de watersoort te doen. Er wordt een indeling gemaakt op duin- of infiltratiewater; duinwater met bijvoorbeeld 20 procent bijmenging van infiltratiewater wordt mogelijk niet herkend. Met de benoemde sensoren is het niet mogelijk onderscheid te maken tussen infiltratiewater uit de Rijn of het IJsselmeer en tussen oud en jong infiltratie- of duinwater. Verdere analyse van de data die verzameld zijn tijdens dit

onderzoek, kan mogelijk meer houvast bieden.

Doordat niet in alle watersoorten alle mogelijke sensoren in het verleden regelmatig gemeten zijn, zijn de gesignaleerde kwaliteitsontwikkelingen onzeker. Goed onderzoek vergt grondige kennis van de kwaliteit van het originele duinwater of infiltratiewater. Zo is het bijvoorbeeld zinvol ook het IJsselmeer regelmatig te bemonsteren op isotopen (is nog niet systematisch gedaan). Juist de isotopensignatuur van het infiltratiewater uit het IJsselmeer ligt relatief dicht bij die van duinwater. In de toekomst zal het te infiltreren water mogelijk deels bestaan uit met UV/waterstofperoxide voorgezuiverd water. Mogelijk veranderen de isotopenconcentraties tijdens deze behandeling door de vorming van hydroxylradicalen tijdens het proces. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen, kunnen de isotopen tijdelijk bemonsterd worden over het UV/waterstofperoxideproces. Tot slot blijkt het temperatuuronderzoek zeer interessant. Een dergelijk onderzoek levert met relatief weinig moeite veel inzicht in de verspreiding van het zowel in de zomer als in de winter in temperatuur afwijkende infiltratiewater.

LITERATUUR

- 1) Van Slobbe E. (2003). Handboek Kaderrichtlijn Water. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- 2) Stuyfzand P. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam. Kiwa Water Research.
- 3) Dansgaard W. (1964). Stable isotopes in precipitation. Tellus 16, nr. 4, pag. 436-468.
- 4) Groot S., P. Stuyfzand, J. Lebbink en H. Rolf (2006). Water tracers getraceerd. Onderzoek naar tracers ter herkenning van infiltratiewater en naar de verspreiding van infiltratiewater bij Castricum en Wijk aan Zee. Afstudeerrapportage Vrije Universiteit Amsterdam. Kiwa-rapport KWR 06.002.
- 5) Heymen R. (1992). Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Rijn in Nederland. RIZA-nota 92.047.
- 6) Stuyfzand P., W. Segers en N. Van Rooijen (2007). Behavior of pharmaceuticals and other emerging pollutants in various artificial recharge systems in the Netherlands. In: Management of aquifer recharge for sustainability. P. Fox (ed.). Proceedings ISMAR-6 in Phoenix (USA). Acacia Publ. INC. pag. 231-245.
- 7) Anderson M. (2005). Heat as a groundwater tracer. Groundwater 43, nr. 6, pag. 951-968.