

Seizoensinvloeden in het ondiepe grondwater

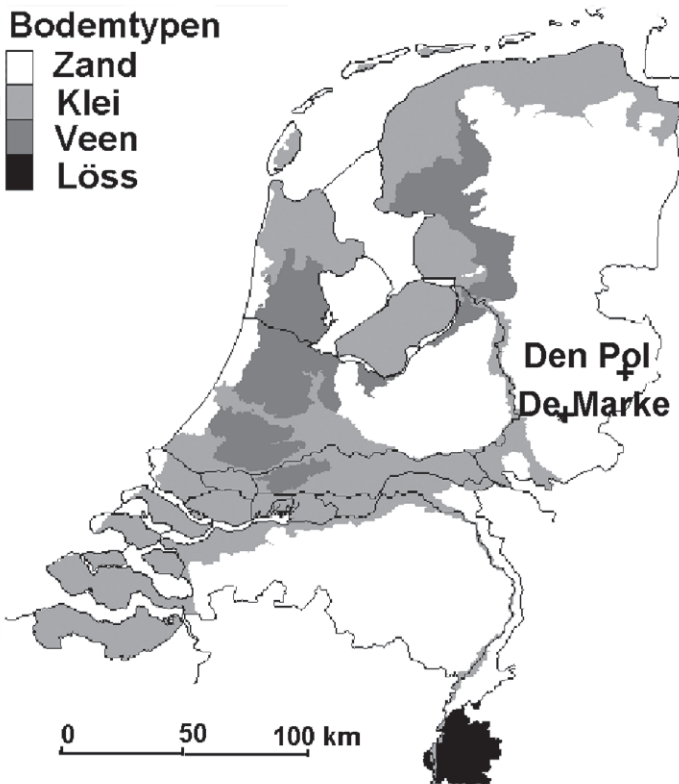
■ C.R. Meinardi
Rustend Hydroloog

Zweerslaan 30, 3723 HP Bilthoven, tel: 030-2283609, e-mail: crmein@xs4all.nl

Reistijden van het grondwater en nitraatuitspoeling

De EU Kaderrichtlijn Water vereist het bepalen van trends in de kwaliteit van het grondwater. De conclusie van Visser (2009) dat het alleen zinvol is om trends aan te geven als de reistijden van het grondwater mee worden beschouwd, is juist. Visser heeft reistijden bepaald met de tritium-helium methode voor veertien waarnemingsputten in Noord-Brabant. Over reistijden voor precies dezelfde putten heb ik eerder gerapporteerd op basis van tritium (Meinardi, 2003). Visser en zijn entourage negeren volledig mijn resultaten, maar daar zou wel meer over te zeggen zijn. "Tsja", zou Martin Brill hebben gezegd, "het moet niet gekker worden."

Liever dan een kritische bespreking van beide methoden en de Brabantse resultaten, doe ik verslag van mijn laatste onderzoek aan reistijden in het ondiepe grondwater. Dat vond plaats op twee locaties in het oostelijk zandgebied, zie figuur 1, te Den Pol en De Marke. Sommige waarnemingen zijn uitgevoerd met in de diepte intervallen van slechts 5 centimeter. Onderzoek aan natuurlijke isotopen leverde reistijden in maanden op voor het grondwater en een merkbare invloed van seizoenen op het ondiepe grondwater. Wisselende concentraties van nitraat bleken daarna in verband te staan met maandelijks variaties in de bemesting. In het ondiepe grondwater zijn dus seizoensinvloeden aanwezig, maar wel in afgevlakte vorm. Ze kunnen effect hebben op opzet en resultaten van een grondwatermeetnet.



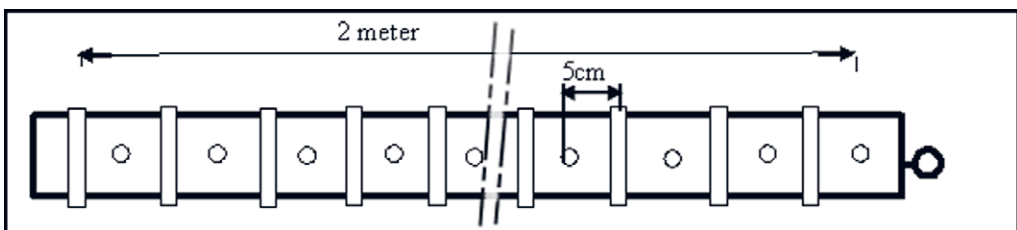
Figuur 1 De onderzochte locaties.

Het onderzoek van STOWA te Den Pol was gericht op het transport van meststoffen vanaf het maaiveld naar het oppervlaktewater binnen het DOVE- project (Diffuse belasting van het Oppervlaktewater door de Veehouderij). STOWA heeft de materiële middelen beschikbaar gesteld om het onderzoek te Den Pol uit te voeren. Het RIVM onderzoekt bij De Marke de effecten van bemesting op de kwaliteit van het grondwater in samenwerking met het daar gevestigde Regionale Onderzoek Centrum (ROC). Dat onderzoek maakt deel uit van de reguliere bemonstering die jaarlijks wordt uitgevoerd voor het Landelijk Meetnet Evaluatie van de Meststoffenwetgeving (LMM).

Uitgevoerd onderzoek

De bodem van beide locaties is onderzocht met boringen en geofysische metingen. Geoelektrische metingen zijn gedaan met een ABEM Terrameter en een Barker kabel met een lengte van 256 m. De elektromagnetische metingen zijn uitgevoerd met de GEONICS-EM31 non-contacting terrain conductivity meter (EM-31). De stroming van het grondwater is beschreven met behulp van de isotopen ^{18}O en ^3H , gemeten door het CIO. Het RIVM heeft de overige analyses gedaan. Concentraties zijn bepaald voor monsters uit minifilters in een boring tot mv -12 m te Den Pol en uit boringen met Multi-Layer-Samplers (MLS).

De minifilters bestaan uit filtertjes met een lengte van 10 cm, die op afstanden van 1 m aan een vierduims buis zijn gehecht. De Multi-Layer-Sampler bevat een serie cellen met een semi-permeabele wand (Krajenbrink e.a., 1989). De door mij aangepaste vorm (figuur 2) bestaat uit een massieve staaf van PVC met een diameter van 60 mm, waarin ronde gaten zijn geboord, waarin precies acryl cilinders passen met een inhoud van 20 ml. De cellen zijn afgesloten met filterpapier van acryl-copolymeer op nylonsubstraat, met poriën van $0,2\ \mu\text{m}$. De staaf heeft een lengte van 2 m met daarin 40 cellen op een onderlinge afstand van 5 cm. Voor de proef zijn ze gevuld met gedemineraliseerd water. De staaf met cellen is in het boorgat geplaatst van een eigenhandig uitgevoerde puls boring. Het gat is dicht gelopen na plaatsing van de MLS en het trekken van de boorbuis. De cellen staan daardoor in direct contact met bodem en grondwater. De staaf is circa vier weken in de bodem gebleven en daarna getrokken. Tijdens het verblijf in de bodem vindt uitwisseling plaats met het grondwater, zodat de samenstelling van het water in de cellen gelijk wordt aan die van het nabije grondwater. De cellen zijn in drie series verdeeld. Aan een derde deel zijn metingen in het veld uitgevoerd, namelijk temperatuur, EGV, pH en NO_3 . In een ander derde deel van de monsters zijn de concentraties bepaald van de stabiele isotoop ^{18}O door het CIO. Het resterende derde deel is door het RIVM geanalyseerd op de verbindingen Cl , NH_4 , NO_3 , P en soms SO_4 . Het boorgat is na de bemonstering weer opgevuld met bodemmateriaal.

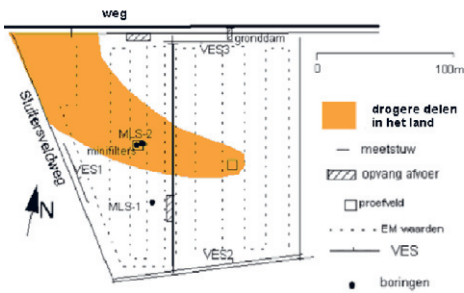


Figuur 2 Het principe van de MLS-houder, horizontaal afgebeeld.

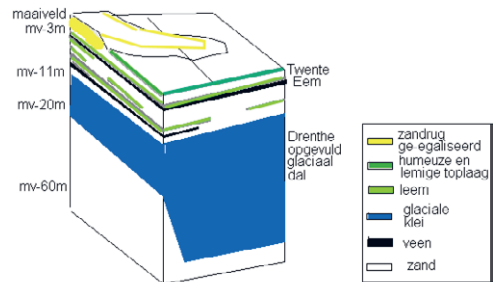
Het gebruik van de MLS heeft twee voordelen. Het gemeten profiel naar de diepte is zeer gedetailleerd en voor de bemonstering hoeft niet te worden gepompt. De kans op ontgassing van het watermonster en daarmee chemische veranderingen is kleiner.

Landschap, bodem en opzet van het onderzoek

Den Pol ligt in Twente in het dal van de Boekeler beek, ten oosten van het Sluiversveld. De grens tussen dal en veld is de Sluiversveldweg, ook Sluiversdijk genoemd, aan de westrand van de onderzochte percelen (figuur 3). Het dal is van oorsprong een glaciaal dal dat ongeveer een kilometer breed is. De beek zal geregeld buiten de oevers zijn getreden in de tijd voor de ontginning en daarbij fijn zand en leem hebben afgezet. In de lage delen van het beekdal treedt nog steeds wateroverlast op. Tijdens veldwerk in februari 2002 stond er overal water op het land behalve in een droger deel. De droge delen (figuur 3) zijn wellicht de resten van een dekzandrug, die na de ontginning is afgevlakt. Het maaiveld ligt er enige decimeters hoger en de grondwaterstanden zijn er enkele decimeters dieper.



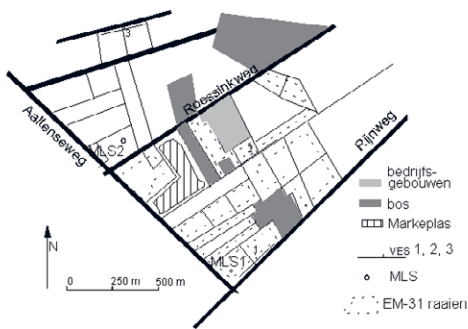
Figuur 3 Opzet onderzoek Den Pol.



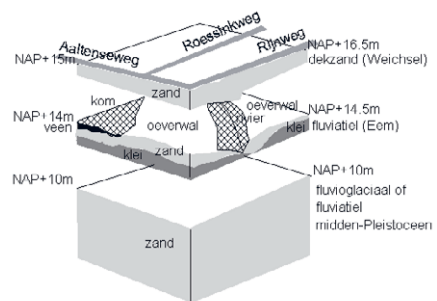
Figuur 4 Bodemopbouw Den Pol.

In de bodem van Den Pol zijn drie eenheden onderscheiden (figuur 4) die van belang zijn voor de grondwaterkwaliteit. Tussen mv -11 m en mv -60 m zijn glaciële kleilagen aanwezig, die de basis van de ondiepe stroming vormen. De westrand van het glaciële dal ligt vermoedelijk nabij de Sluiversveldweg. De lagen tussen mv -4,5 m en mv -11 m zijn wisselend van aard met fijnzandige lagen en ook leem- en veenlagen. Dit geheel is afgedekt door veen- en leemlagen, die overal aanwezig zijn op een diepte van 3 tot 4,5 m onder maaiveld. Daarboven is fijn en leemhoudend zand afgezet. De topklaag is humeus behalve onder de zandrug (figuur 4). Het doorlaatvermogen voor water van de lagen boven de glaciële klei is gering. Bij een groot neerslagoverschot, zoals in de winter, stijgt het grondwater tot aan maaiveld. Bij de ontginning is het probleem van de wateroverlast deels opgelost door het graven van sloten. De sloot in het perceel ontwaterd vooral de ondiepe lagen en staat in de zomer droog. De bermsloot langs de weg draineert ook de diepere lagen boven de glaciële klei. Die sloot voert altijd water. Voor de droge delen van beide percelen geldt vermoedelijk Gt7 en de natte delen vallen in Gt3*.

Het bedrijf De Marke ligt bij Hengelo in de Achterhoek. De percelen aan de zuidoostelijke zijde (figuur 5) zijn relatief hoog gelegen. De westelijke percelen liggen in een lager gebied dat Mettematen heet en dat vroeger wellicht drassig was, maar nu niet meer door de winning van grondwater bij het pompstation 't Klooster. Geofysische metingen op De Marke geven overwegend zandige lagen aan tussen mv -5 m en mv -60 m (NAP -45 m). De lagen tot mv -60 m fungeren als één watervoerend pakket bij de oostelijke percelen. De lagen tot een diepte van mv -5 m zijn meer in detail onderzocht. De bodem bestaat vermoedelijk uit een begraven stroomdal van de Rijn (RGD, 1977) dat later met dekzand is gevuld (figuur 6). De oeverwallen bevatten klei en fijn zand. Aan de westzijde is veen afgezet. Het perceel, waar veen is aangetroffen op een diepte van circa mv -1 m in de boring voor MLS2 (figuur 6), ligt 1 tot 2 m lager dan de oostelijke percelen. Het zandpakket wordt daar afgedekt door slecht doorlatende kleilagen, waarvan de bovenkant op mv -3,5 m ligt. De toplaag voert het lokale neerslagoverschot af naar de sloten. Die sloten kunnen vol staan in de winter, zoals is geconstateerd tijdens veldwerk in januari 2003.



Figuur 5 Opzet van het onderzoek De Marke.



Figuur 6 Bodemopbouw De Marke.

Reistijden en seizoensinvloeden

Den Pol

Reistijden van het water in de bodem zijn afgeleid van de concentraties van de radioactieve isotoop tritium (^3H) en de stabiele isotoop ^{18}O , gemeten in MLS en minifilters. Concentraties van tritium worden uitgedrukt in Tritium Units (TU) en van ^{18}O in afwijkingen in promille ten opzichte van Standard Mean Ocean Water (SMOW). Tritium vervalt in de tijd, voor ^{18}O geldt dat niet. De reistijden van het grondwater volgen uit de gelijkenis van patronen in de concentraties van neerslag in de tijd met die in grondwater naar de diepte. De bepaling van de reistijden is dus niet gebaseerd op radioactief verval, maar er is wel rekening mee gehouden. De verticale snelheid van het grondwater bepaalt de plaats van de meegevoerde isotopen volgens de vergelijking (Meinardi, 1994):

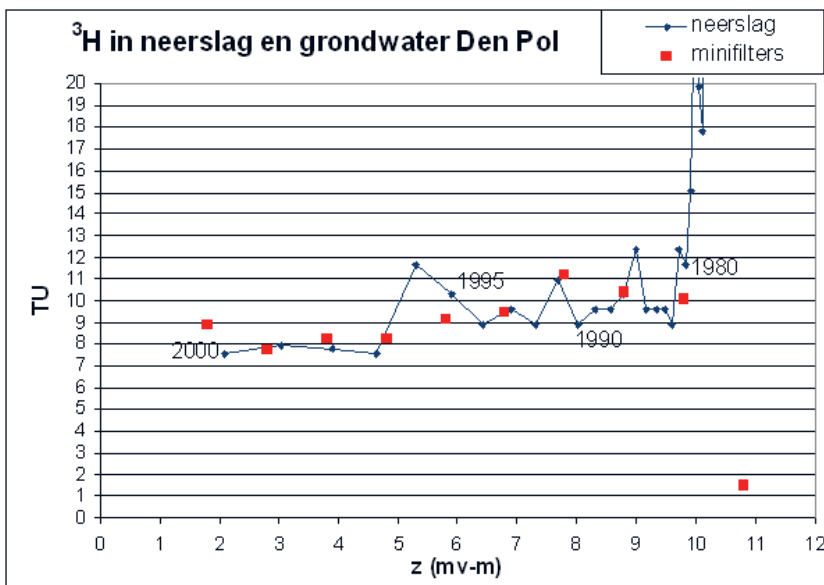
$$z = D \cdot (1 - \exp(-I \cdot t / (p \cdot D)))$$

met:

- I = grondwateraanvulling (m/a of m/maand);
- D = dikte watervoerende laag vanaf het freatisch vlak (m);
- p = effectieve porositeit (dimensieloos, $p = 0,35$ voor Nederlandse zanden);
- z = diepte grondwater onder freatisch vlak (m);
- t = reistijd vanaf het freatisch vlak (a of maand).

De vergelijking geeft een benadering van de verticale stroming, die gebaseerd is op continuïteit (in = uit) en superpositie; jonger grondwater ligt boven ouder water. Beschouw de diepte z als de bovenkant van een volume grondwater waar ieder jaar een vast percentage (overeenkomend met $I/(p \cdot D)$) uit verdwijnt. Voortgaande afnemering leidt tot de bovenstaande formule. Die maakt het mogelijk om de diepte te bepalen waar neerslag uit een bepaalde periode zich in de bodem bevindt tijdens de bemonstering, bij een gegeven waarde van de grondwateraanvulling I en bekende waarden voor p en D . Omgekeerd is het ook mogelijk om de grootte van de aanvulling van het grondwater te bepalen als z en t bekend zijn uit een vergelijking van de concentraties in neerslag en grondwater. Dat gegeven is gebruikt. De concentraties van tritium in de neerslag zijn afgeleid van gemiddelde waarden per jaar in Groningen (CIO) en berekend naar de waarden die ze zouden hebben op de datum van bemonstering (juli 2002). Ze zijn vergeleken met de gemeten concentraties in het grondwater (figuur 7). In de vergelijking is $D = 10$ m (dikte watervoerend pakket), $p = 0,35$ (effectieve porositeit) en $z(0) = 1$ m (diepte grondwaterstand onder maaiveld) ingevoerd. De interpretatie levert op:

- $I = 400$ mm/a (grondwateraanvulling);
- $f = 1,3$ (regionale factor ten opzichte van Groningen).

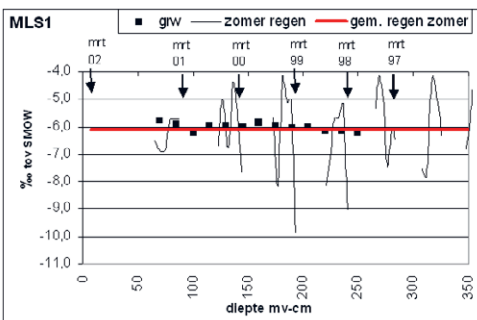


Figuur 7 Tritiumconcentraties in minifilters, juli 2002, Den Pol.

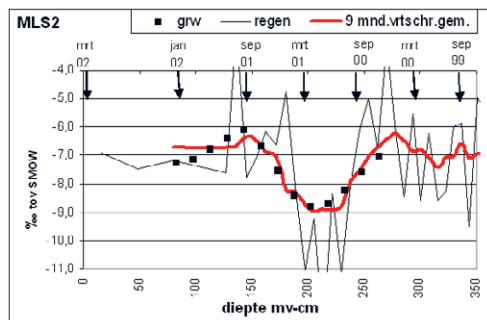
De gehele bodem tot een diepte van circa mv -11 m doet ter plaatse van de minifilters mee aan de stroming van het grondwater. Het diepste filter ligt vermoedelijk bovenop of juist in de kleilaag (met "oud" water). De waarde $I = 400$ mm/a van de grondwateraanvulling is relatief groot bij een neerslag van circa 775 mm/a, een potentiële verdamping van circa 525 mm/a (Meinardi, 1994), en een gemiddelde reductie van de verdamping van circa 70 mm/a (Werkgroep HELP, 1987). Het gehele neerslagoverschot zal in de bodem infiltreren ter plaatse van de meting, waar dus geen oppervlakkige afvoer optreedt. Elders in het perceel, waar soms water op het land staat, zal waarschijnlijk wel oppervlakkige afvoer optreden. De regionale factor geeft de verhouding aan tussen waarden van de neerslag in Groningen en waarden elders in Nederland. Voor de

periode 1970-1990 geldt een factor $f = 1,1$ voor Twente (Meinardi, 1994). De voor Den Pol bepaalde waarde van $f = 1,3$ is groter, dat kan een relatief licht seizoenseffect zijn.

De concentraties van ^{18}O , gemeten in de MLS, zijn ook gebruikt voor een bepaling van de reistijden, nu met een maand als eenheid van tijd. Ze zijn vergeleken met concentraties in de neerslag, verkregen van CIO. Hierbij moet een opmerking worden gemaakt. De voorgaande vergelijking, voor de diepte z als functie van t , geldt bij een constante grondwateraanvulling. Het neerslagoverschot is niet constant tijdens een jaar. In de zomer is het bijna nul of zelfs minder en in de winter benadert het de grootte van de neerslag. Het neerslagoverschot is echter niet gelijk aan de aanvulling van het verzadigde grondwater. De berging bij het freatisch vlak fungeert als een buffer, zodat in de zomermaanden wel degelijk aanvulling optreedt. De maandelijkse aanvulling is min of meer constant. Deze situatie houdt ook in dat een belasting aan maaiveld niet ongewijzigd het verzadigde grondwater zal bereiken. De verticale stroming van het grondwater in de onverzadigde zone zal variëren naar plaats en tijd. Hierdoor wordt het neerslagoverschot gemengd. De menging komt tot uitdrukking als een voortschrijdend gemiddelde rond de gemiddelde verticale snelheid van de stroming. Vermoedelijk zal deze menging plaatsvinden over perioden tussen een half en een heel jaar. Dit voortschrijdende gemiddelde is dus het resultaat van menging in de onverzadigde zone die op een meer exacte manier lastig te bepalen is. Daarnaast treedt dispersie op tijdens de stroming. Deze heeft vermoedelijk een te verwaarlozen invloed bij het beschouwde probleem (zoals uit de resultaten blijkt).



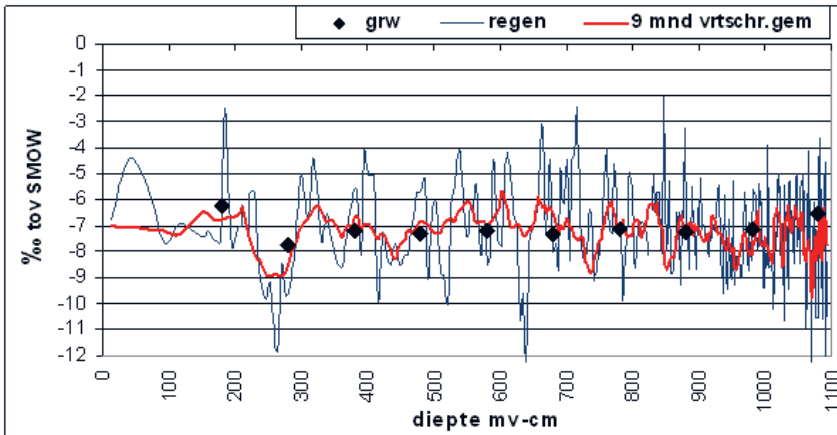
Figuur 8 ^{18}O in MLS1 te Den Pol.



Figuur 9 ^{18}O in MLS2, Den Pol.

De gemeten ^{18}O concentraties voor MLS1 (figuur 8) wijken weinig af van gemiddeld $-6,02\%$ ten opzichte van SMOW. Het gemiddelde in het zomerhalfjaar voor Nederland van 1995 tot 2001 bedraagt $-6,11\%$. De aanvulling van het grondwater bestaat blijkbaar uit zomerneerslag. Een groot deel van de neerslag in het winterhalfjaar stroomt oppervlakkig af. De aanvulling van het grondwater is minder dan bij MLS2. Voor MLS1 is $I = 200$ mm/a aangehouden; een exacte waarde is niet af te leiden uit de metingen. Het water op het maaiveld hoeft niet rechtstreeks naar de sloot te stromen; maar kan elders of later wel in de bodem infiltreren. Ondiepe horizontale toestroming naar de hogere delen zou een verklaring kunnen vormen voor de relatief hoge waarden van de grondwateraanvulling onder het droge land.

De concentraties van ^{18}O in MLS2 verlopen rond een gemiddelde van $-7,43\%$ ten opzichte van SMOW (figuur 9). Dat is vrijwel gelijk aan het jaarlijkse gemiddelde in de neerslag. Het blijkt dat met een voortschrijdende gemiddelde in de neerslag over 9 maanden moet worden gerekend om een goede overeenkomst te bereiken met waarden in het grondwater behorend bij weer $I = 400 \text{ mm/a}$; $p = 0,35$ in de verzadigde zone en $D = 11 \text{ m}$. Een aquifer met een dikte van 4 m zou een veel minder goede vergelijking opleveren.



Figuur 10 Concentraties van ^{18}O in de minifilters in juli 2002, Den Pol.

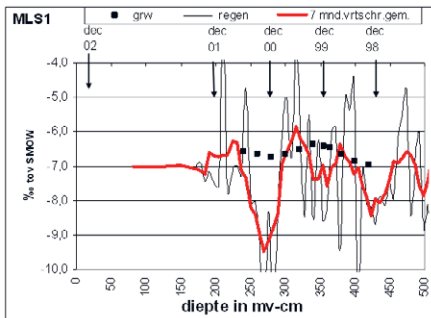
Concentraties van ^{18}O zijn ook bepaald voor de minifilters. Gezien de onderlinge afstanden en de lengte van de filters (10 cm) was te verwachten dat de fluctuaties minder zouden zijn dan in de MLS. Voor de vergelijking met waarden in de neerslag zijn dezelfde waarden genomen als bij de eerdere interpretatie ($I = 400 \text{ mm/a}$; $p = 0,35$; $D = 11 \text{ m}$). Voor het grondwater is weer een voortschrijdend gemiddelde over 9 maanden aangehouden. De overeenkomst lijkt relatief goed (figuur 10), maar daar mogen geen harde conclusies aan worden verbonden. De variatie in waarden ontbreekt overigens vrijwel voor minifilters dieper dan $\text{mv} -4 \text{ m}$.

De Marke

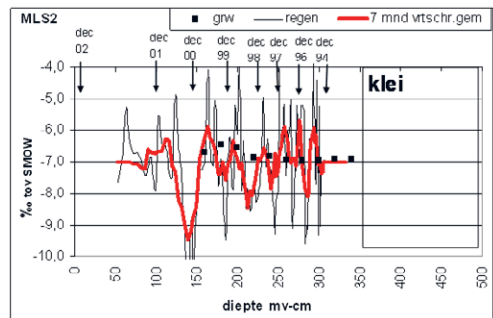
NITG-TNO heeft reistijden van het grondwater bepaald met de tritium-helium methode aan monsters uit een boring tot circa $\text{mv} -25 \text{ m}$ in de oostelijke percelen van De Marke (Broers e.a., 2003). Hieruit kan worden afgeleid dat $I/p = 0,71 \text{ m/a}$ en dus $I = 250 \text{ mm/a}$, bij $p = 0,35$.

Bij de interpretatie van de in MLS1 gemeten concentraties van ^{18}O is $D = 60 \text{ m}$ genomen. Het voortschrijdend gemiddelde van de maandelijkse concentraties in de neerslag (figuur 11) over perioden van 7 maanden levert de beste vergelijking op met in het grondwater uit MLS1 gemeten waarden voor $I = 280 \text{ mm/a}$ ($p = 0,35$). De met ^{18}O bepaalde waarde voor de aanvulling van het grondwater stemt overeen met een neerslag van circa 750 mm/a , een potentiële verdamping van 540 mm/a en een reductie van de verdamping van circa 70 mm/a (Meinardi, 1994). De grondwaterstroming bij MLS2 zal waarschijnlijk nauwelijks tot diepere lagen doordringen, zoals ook blijkt uit het daar gevormde veen (figuur 6). Genomen is $D = 3,5 \text{ m}$ en $p = 0,35$. Een voortschrijdend gemiddelde over 7 maanden voor de neerslag levert in dat geval een reeks waarden op (figuur 12) die overeen komt met metingen in het grondwater, zoals waargenomen

in de monsters uit MLS2. De grondwateraanvulling bij MLS2 is bepaald op $I = 220 \text{ mm/a}$, maar de vergelijking laat geen harde conclusie toe. De waarde voor I is kleiner dan bij MLS1, want de verdampingsreductie zal kleiner zijn (ondieper grondwater).



Figuur 11 De Marke, ^{18}O in MLS1.



Figuur 12 De Marke, ^{18}O in MLS2.

De lage waarden voor concentraties van ^{18}O in de winterneerslag komen nauwelijks terug in de waarden voor het grondwater van De Marke, zoals wel het geval was bij Den Pol. Mogelijk zijn de waarden bij De Marke mismetingen, bijvoorbeeld door het optreden van verticale (kortsluit)stroming in een niet volledig dicht gelopen boorgat. Andere verklaringen zijn echter ook mogelijk. De waarden voor de grondwateraanvulling, bepaald met ^{18}O , zijn dus relatief onzeker. Ze zijn echter niet in tegenspraak met overige gegevens. Ook bij het grondwater van De Marke is sprake van een afvlakking van de belasting aan maaiveld. Er moet wel degelijk met een voortschrijdend gemiddelde worden gerekend.

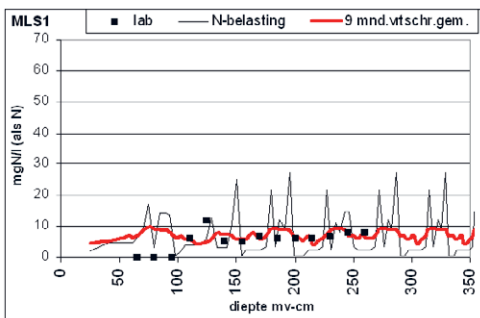
Uit- en afspeling van nitraat

Nu de reistijden van het grondwater zijn bepaald, kan worden gezien of ook een relatie geldt voor de stikstofbelasting aan maaiveld en concentraties in het grondwater. Uit de metingen van ^{18}O in de MLS volgt dat de concentraties van ^{18}O in het grondwater bij goede benadering gelijk zijn aan in de tijd voortschrijdende gemiddelden van de belasting aan maaiveld. Ook nitraat stroomt met het grondwater mee. Het verschil is dat ^{18}O alleen met de neerslag mee komt. Stikstof komt op de bodem als atmosferische depositie, als kunstmest, als stalmest en als weidemest, dit is bemesting ten gevolge van beweiding door vee. Bij De Marke vormt nalevering vanuit gescheurd grasland ook een bron van stikstof. Verder komt de bemesting met stikstof niet altijd direct als nitraat op de bodem, maar soms als organische verbindingen die in de bodem tot nitraat worden omgezet. Dit proces kost tijd. Tenslotte neemt nitraat in de bodem deel aan processen. Planten nemen nitraat op en bodemprocessen reduceren de concentraties.

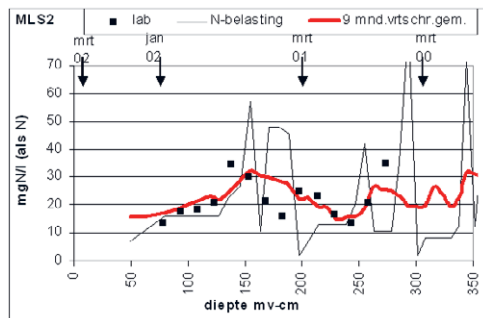
De atmosferische depositie van stikstof rond 2002 bedroeg circa 40 kg/ha/a voor Den Pol en De Marke. De bemesting met verschillende vormen van stikstof te Den Pol is afgeleid uit Beldman (2002). Bemesting te De Marke is voor de jaren van 1990 tot 2002 gegeven door het ROC. Aangehouden is dat kunstmest direct als nitraat beschikbaar komt en dat de helft van de stalmest tot nitraat wordt omgezet in de maand van de mestgift en de andere helft in gelijke delen in de vijf maanden erna. De bijdrage van de weidemest is gelijk verdeeld over het zomerhalfjaar (april-september). Nalevering uit een gescheurde grasmat bij MLS1 te De Marke

is op 180 kg/ha gesteld en in gelijke belastingen over twee zomerhalfjaren verdeeld. Nitraatconcentraties in zandbodems zijn een functie van stikstoftoevoer, neerslagoverschot en grondwaterstand uitgedrukt als grondwatertrap (Gt). Toevoer gedeeld door neerslagoverschot levert de beginconcentratie op. Uit Kolenbrander (1981) volgt dat de uitspoeling van nitraat in zandlagen met een zeer diepe grondwaterstand bij benadering gelijk is aan 25% van de belasting, voor leemlagen (bij MLS1 te Den Pol) is 20% aangehouden. Boumans e.a. (1989) hebben een relatie bepaald voor de grondwatertrap en de reductie van nitraat in de bodem. Bij Gt7, bij de rug bij Den Pol en de oostelijke percelen van De Marke, blijft circa 83% van de uitgespoelde nitraat over en bij natte gronden (Gt3*) 31%.

De vergelijking van de met bovenstaande overwegingen berekende concentraties en de waarnemingen van Den Pol is gegeven in Figuur 13 en 14. De met "lab" aangeduide waarden betreffen de monsters uit de MLS geanalyseerd in het laboratorium van het RIVM. Daarnaast zijn concentraties in het veld bepaald, die licht verschillen van de laboratoriumwaarden. De laboratoriumresultaten zijn het meest betrouwbaar. Het is opmerkelijk, bij de grote onzekerheden in bemesting en overige benodigde aannamen, hoe goed de overeenstemming is tussen berekende en gemeten waarden. Uit de metingen en uit de berekende waarden blijkt dat er ook in dit geval seizoensverschillen aanwezig zijn in de nitraatconcentraties die afgevlakt worden door menging in de onverzadigde zone.

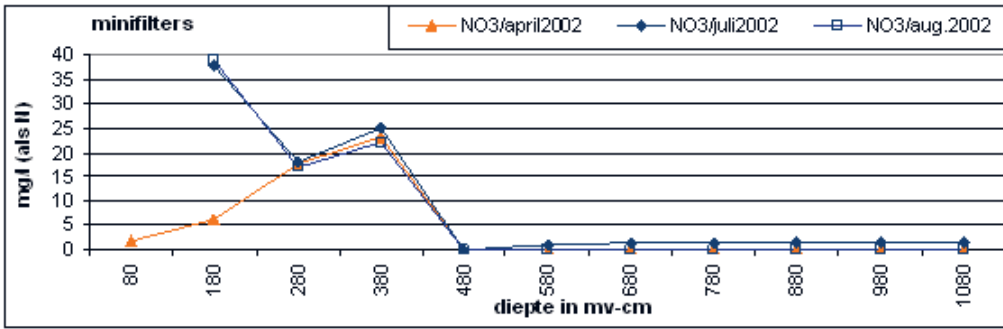


Figuur 13 Den Pol, N in MLS1.



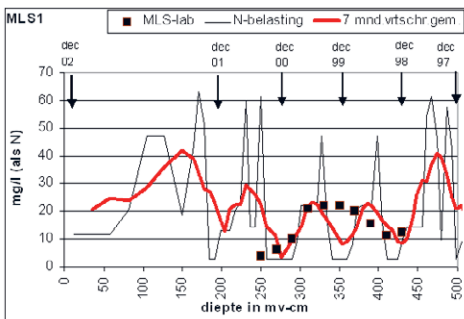
Figuur 14 Den Pol, N in MLS2.

Figuur 15 geeft de resultaten van de bemonsteringen in 2002 van minifilters te Den Pol. Resultaten voor de twee ondiepste filters in april 2002 wijken af van latere bemonsteringen. Een mogelijke verklaring is een tijdelijke toestroming van grondwater met lage concentraties uit nattere delen van het perceel. Ondiepe nitraatconcentraties zijn te berekenen uit reistijden (figuur 9) en N-belasting (figuur 14). Ze bedragen gemiddeld 17 mg/l (mv -80 cm), 30 mg/l (mv -180 cm), 24 mg/l (mv -280 cm) en 27 mg/l (mv -380 cm). Opvallend zijn de lage waarden in filters dieper dan mv -4 m. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de veenlaag die daar ligt en die maakt dat vrijwel alle nitraat verdwijnt uit het grondwater dat er doorheen stroomt.

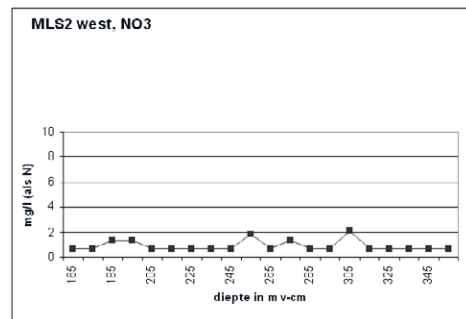


Figuur 15 Gemeten nitraatconcentraties in de minifilters Den Pol.

De vergelijking tussen gemeten en berekende waarden voor De Marke is gegeven in de figuren 16 en 17. Bij MLS1 is sprake van een goede overeenstemming. Nitraat is vrijwel afwezig in MLS2 die onder een veenlaag ligt, berekende waarden zijn niet weergegeven. Alle resultaten overziend van metingen van ^{18}O en nitraat te De Marke, lijkt het waarschijnlijk dat kortsluitstromingen verwaarloosbaar klein zijn geweest.



Figuur 16 De Marke, N in MLS1.



Figuur 17 De Marke, N in MLS2.

Discussie en conclusies

De gebruikte Multi-Layer-Sampler levert veelzeggende resultaten op. Geen andere mij bekende manier maakt het mogelijk om een dergelijk gedetailleerd beeld van de kwaliteit van het grondwater te verkrijgen. De kleine meetintervallen en het niet pompen bij het nemen van de monsters zijn grote voordelen. Het gebruik van de MLS is relatief eenvoudig, zodat het instrument ook bij een regulier meetprogramma toepasbaar zou zijn. Gezien alle resultaten zijn kortsluitstromingen waarschijnlijk verwaarloosbaar klein geweest.

De MLS is een bruikbaar instrument voor metingen aan ondiep grondwater.

Uit beide onderzoeken blijkt dat de opbouw van de ondiepe bodem over korte afstand sterk kan verschillen. Die variatie heeft grote invloed op stroming en kwaliteit van het grondwater.

De lokale bodemopbouw heeft grote invloed op de ondiepe grondwaterkwaliteit.

De concentraties van ^{18}O in het grondwater leveren reistijden op in maanden. Uit metingen te Den Pol volgt ook dat de winterneerslag niet bijdraagt aan de aanvulling in grote delen van het perceel. Waar het neerslagoverschot wel volledig in het grondwater komt, volgt uit ^{18}O een waarde voor de grondwateraanvulling die in overeenstemming is met tritiummetingen.

De combinatie van MLS en metingen aan natuurlijke isotopen levert reistijden van het grondwater op in maanden.

Uit beide onderzoeken blijkt dat het transport van stoffen door grondwater gesimuleerd kan worden met een voortschrijdend gemiddelde in het ene geval over een periode van 9 maanden en in het andere van 7 maanden. Seizoensinvloeden in het grondwater worden wel afgevlakt, maar zijn niet afwezig. Uit de metingen (figuren 14 en 16) blijkt dat relatief korte filters (bijvoorbeeld 50 cm) niet altijd een representatief gemiddelde zullen opleveren.

In het ondiepe grondwater zijn seizoensinvloeden merkbaar in afgevlakte vorm.

Een relatief eenvoudige benadering maakt het mogelijk om nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater in zandlagen te bepalen als functie van bemestingsgeschiedenis en hydrologie. De berekende waarden komen relatief goed overeen met gemeten waarden.

Berekende nitraatconcentraties in ondiep grondwater in zandlagen kunnen met een relatief eenvoudige benadering in overeenstemming worden gebracht met gemeten waarden als bemestingsgeschiedenis en hydrologische situatie bekend zijn.

Literatuur

- Beldman, A.C.G. (2002)** Voorgeschiedenis en mineralenbalansen 1999 en 2000 proefpercelen project belasting van het oppervlaktewater door de veehouderij op bedrijf Den Pol in Boekelo, LEI, Den Haag.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi en G.J. Krajenbrink (1989)** Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden, RIVM rapport 728472013.
- Broers, H.P., N.G.F.M. van der Aa, E.A. Buijs (2003)** Datering van jong bemest grondwater met tritium-helium, H_2O nr.5, p 21-25.
- Kolenbrander, G.J. (1981)** Leaching of nitrate in agriculture, in J.G. Brogan, Nitrogen losses and surface runoff, Nijhof/ Junk, Den Haag.
- Krajenbrink, G.J., L.J.M. Boumans en C.R. Meinardi (1989)** Hydrochemical processes in the top layer of groundwater recharge under pasture land, Symp. On Nitrogen in Organic Wastes applied to Soils, Aalborg, Academic Press, London.
- Meinardi, C.R. (1994)** Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands, RIVM rapport nr. 715501005, tevens Thesis VU Amsterdam.
- Meinardi, C.R. (2003)** reistijden in de bodem en aanvulling van het grondwater uit het Landelijk Meetnet (LMG) en de Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (PMG), RIVM rapport nr. 714801027/2003.
- RGD (1977)** Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland, Kaartblad Arnhem Oost (40-O), Rijks Geologische Dienst, nu NITG-TNO.
- Visser, A. (2009)** Trends in groundwater quality in relation to groundwater age, Proefschrift, KNAG, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Werkgroep HELP (1987)** De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie, Rapport van de Werkgroep HELP-tabel, Mededelingen Landinrichtingsdienst no 176.

