
Temporele variatie bij grondwaterkwaliteitsmonitoring 2: modelresultaten

Joachim Rozemeijer
Hans Peter Broers

De rijksoverheid, provincies, landbouworganisaties en individuele agrarische bedrijven monitoren de kwaliteit van het freatische grondwater. De gegevens uit de verschillende meetnetten worden gebruikt om beleidsmaatregelen te evalueren en zonodig bij te stellen. Het blijkt echter moeilijk te zijn de effecten van deze maatregelen te bepalen. De oorzaak hiervan is de grote ruimtelijke en temporele variatie in de meetgegevens. De belangrijkste oorzaak van de temporele variatie in de meetgegevens is de invloed van meteorologische condities op de stofconcentraties in het freatische grondwater. In dit onderzoek is deze meteorologische invloed op de grondwaterkwaliteit nader bestudeerd door middel van modelberekeningen met Hydrus-1D. De in dit onderzoek verkregen inzichten pleiten voor het gebruik van vaste meetpunten (peilbuizen) in de plaats van 'open boorgat' metingen voor het vaststellen van trendmatige veranderingen in de grondwaterkwaliteit. Bovendien kunnen de nieuwe inzichten de meetnetontwerper helpen bij de keuze voor een optimale filterdiepte, filterlengte en meetfrequentie, die goed aansluit bij zijn of haar meetdoel.

Inleiding

Als gevolg van bemesting van landbouwgronden spoelen nutriënten en andere in mest en kunstmest aanwezige stoffen uit naar het grondwater. Om de uitspoeling van milieubelastende stoffen te beperken worden door de overheid beperkingen opgelegd aan de landbouwers wat betreft de bemesting. Daarnaast wordt er veel praktijkonderzoek gedaan naar de effecten van verschillende uitspoelingsbeperkende maatregelen. In beide gevallen blijkt het echter erg moeilijk te zijn door middel van metingen de effecten vast te stellen die deze maatregelen hebben voor de kwaliteit van het freatische grondwater. De oorzaak hiervan is, dat er een grote ruimtelijke en temporele variatie is in stofconcentraties die gemeten worden in het bovenste grondwater.

Het freatische grondwater wordt veelal bemonsterd middels de 'open boorgat'-methode, waarbij een monster wordt genomen van de bovenste meter grondwater. Bij de open boorgatmethode varieert de bemonsteringsdiepte dus met de grondwaterstand. Uit eerder onderzoek is reeds gebleken dat meteorologische condities veel invloed hebben op stofconcentraties in het bovenste grondwater (Boumans e.a., 1997; Fraters e.a., 1998; Hendriks en

Joachim Rozemeijer en Hans Peter Broers zijn werkzaam bij TNO-NITG, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, j.rozemeijer@nitg.tno.nl, h.broers@nitg.tno.nl.

Boumans, 2001; Van der Aa en Broers, 2003). Om de meteorologische invloed modelmatig te kunnen kwantificeren werd door het RIVM (Boumans e.a., 1997) het begrip "indexconcentratie" geïntroduceerd. De indexconcentratie is de concentratie in de bovenste meter grondwater van een fictieve conservatieve stof, die continu met een constante gewichtshoeveelheid per m^2 aan het oppervlak wordt toegevoegd. De belastingshoeveelheid per m^2 is zodanig, dat de langjarig gemiddelde concentratie in het infiltrerende water gelijk is aan 1. De indexconcentratie varieert rond deze gemiddelde waarde van 1 als gevolg van variërende neerslag- en verdampingshoeveelheden. De berekeningen van de indexconcentratie hebben veel inzicht opgeleverd in de invloed van meteorologische variaties op stofconcentraties in het bovenste grondwater.

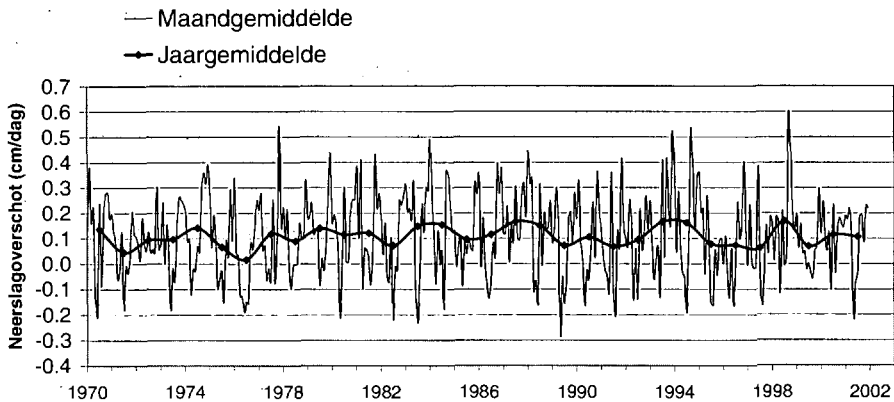
Bij onderzoek van TNO-NITG (Van der Aa en Broers, 2003) maakte de inzet van zogenaamde CTD-divers het mogelijk om continu het Elektrisch Geleidingsvermogen van het grondwater te meten. Hierdoor kwam er voor het eerst inzicht in de variatie van de freatische grondwaterkwaliteit op korte tijdschaal. Ook uit dit onderzoek kwam de invloed van meteorologische omstandigheden op de grondwaterkwaliteit duidelijk naar voren.

De doelstelling van het hier beschreven onderzoek is het inzicht in de invloed van meteorologische omstandigheden op de grondwaterkwaliteit verder te vergroten, teneinde de praktische afwegingen die moeten worden gemaakt door meetnetontwerpers (bijvoorbeeld wat betreft type meetpunten, meetfrequentie, meetdiepte, en filterlengte) theoretisch te kunnen onderbouwen. Met HYDRUS-1D (Simunek e.a., 1998) zijn indexconcentraties berekend voor de periode 1970 tot en met 2001 en zijn verschillende experimentele berekeningen uitgevoerd. HYDRUS-1D is een 1-dimensionaal programma voor de modellering van transport van water, warmte en stoffen in verzadigde of onverzadigde media. Omdat er alleen gekeken is naar de temporele variatie van de grondwaterkwaliteit zijn de modelberekeningen gedaan op het niveau van individuele meetpunten en worden ruimtelijke variaties vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Modelopzet

In HYDRUS-1D is een model gemaakt van een bodemkolom op proefboerderij De Marke (Hengelo, Gelderland). Op deze melkveehouderij is sinds 1990 een project gestart, dat als doel heeft om naast het voeren van een rendabele bedrijfsvoering te voldoen aan alle milieunormen. Er is voor deze locatie gekozen, omdat er veel gegevens bekend zijn over bemestingshoeveelheden, grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit.

Voor de berekening van de indexconcentratie is een bodemkolom van 4,5 meter diep gemodelleerd. De gemodelleerde periode is 1970 – 2001. Maandelijkse neerslag- en verdampingsgegevens van meetstation De Bilt en vanaf 1992 van meetstation Eibergen zijn gebruikt als boven-randvoorwaarde. De maandelijkse en jaarlijkse gemiddelde neerslagoverschotten voor grasland zijn weergegeven in figuur 1. De stroming door de onder-rand wordt door Hydrus-1D berekend met de Hooghoudt formule. Op deze manier wordt het effect van de sloten in de omgeving meegenomen in de 1-dimensionale hydrologische modellering.



Figuur 1: Het verloop van het maandelijkse en jaarlijkse gemiddelde van het neerslagoverschot voor grasland in de periode van 1970 t/m 2001 (gegevensbron KNMI meetstation De Bilt en vanaf 1992 meetstation Eibergen).

Proefboerderij 'De Marke' ligt op een veldpodzolgrond. Karakteristieke chemische en fysische eigenschappen van Nederlandse bodemeenheden zijn ontleend aan de karakteristatie van de Nederlandse gronden (De Vries, 1999). Vervolgens is het programma 'Staringreeks' (Wösten e.a., 2001) gebruikt voor de berekening van de Van Genuchten parameters, die de waterstroming door de onverzadigde en verzadigde zone beschrijven. Er wordt bij de modellering aangenomen dat er geen transport langs preferente stroombanen optreedt. De resultaten gelden dan ook niet zondermeer voor gebieden waar dit wel veel invloed heeft.

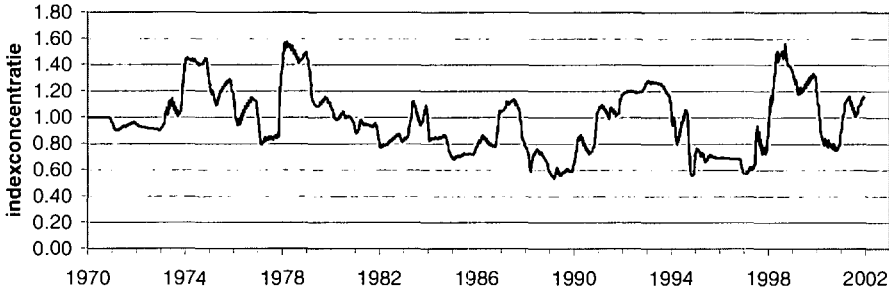
Net als bij de berekeningen van het RIVM (Boumans e.a., 1997), zijn voor de dispersiviteit en de diffusiecoëfficiënt relatief lage waarden van resp. 5 cm en 1 cm/dag aangehouden. Deze relatief lage dispersiviteit sluit aan bij de met behulp van tritiummetingen bepaalde dispersiviteit in soortgelijke afzettingen door Robertson en Cherry (1989). Uit de gevoeligheidsanalyse is overigens gebleken dat de effecten van dispersie en diffusie in het bovenste grondwater overigens erg klein zijn ten opzichte van de menging bij bemonstering over een 1 meter lang dieptetraject (Rozemeijer e.a., 2003).

Om de indexconcentratie te berekenen, wordt een conservatieve stof met een constante belasting aan het gemodelleerde oppervlak toegevoegd. Hierbij is rekening gehouden met droge periodes, waarin de conservatieve stof zich ophoopt aan het maaiveld en pas in de volgende natte periode uitspoelt.

Resultaten

Het berekende verloop van de indexconcentratie is weergegeven in figuur 2. De indexconcentratie fluctueert hevig tussen een minimale waarde van 0,55 en een maximale waarde van 1,53. De langjarige gemiddelde indexconcentratie is per definitie 1. Het verloop van de indexconcentratie komt goed overeen met de door het RIVM (Boumans e.a., 1997) berekende indexconcentraties. De globale patronen in figuur 2 kunnen worden verklaard aan de hand van de jaarlijkse gemiddelden van het neerslagoverschot (figuur 1). De hoge indexconcentraties in 1998 bijvoorbeeld, worden veroorzaakt door de drie relatief droge jaren

(1995-1997), gevolgd door het natte jaar 1998. In de droge jaren stijgen de stofconcentraties in het bodemvocht dat in het natte jaar versneld uitspoelt naar het grondwater.

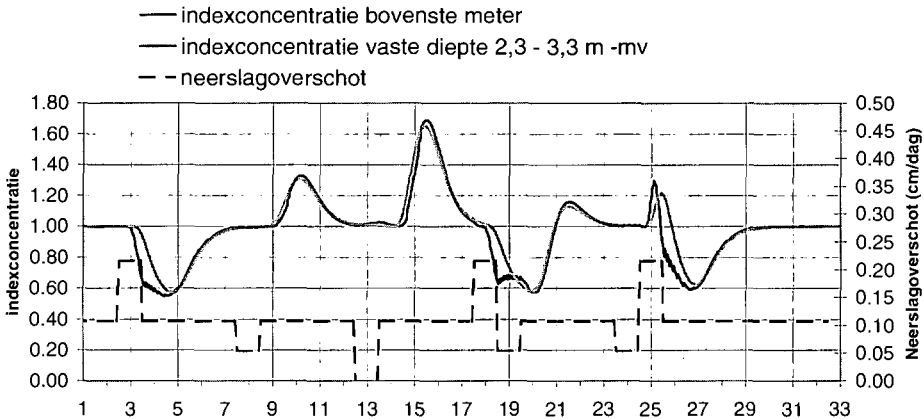


Figuur 2: Het verloop van de indexconcentratie van een locatie op proefboerderij De Marke in de periode van 1970 t/m 2001.

Experimentele berekeningen

Inloed van droge en natte periodes op de grondwaterkwaliteit

Het eerste rekenexperiment heeft als doel de invloed van individuele natte en droge periodes op de indexconcentratie te bepalen. In plaats van de natuurlijke maandelijkse neerslag- en verdampingsreeks is uitgegaan van het langjarige gemiddelde neerslagoverschot. Hieraan zijn vervolgens een aantal natte en droge jaren toegevoegd, zoals is weergegeven in figuur 3 (gestippelde lijn). Met deze neerslagoverschotreeks is met HYDRUS-1D het verloop van de indexconcentratie berekend (ononderbroken lijn in figuur 3).



Figuur 3: Het experimentele verloop van het neerslagoverschot en de berekende indexconcentratie van de bovenste meter grondwater en op een vaste diepte van 2,3 - 3,3 m-mv.

Uit figuur 3 komt duidelijk naar voren dat natte periodes lagere stofconcentraties in het grondwater veroorzaken en droge periodes hogere stofconcentraties. Hiernaast blijkt dat de indexconcentratie (en dus de grondwaterkwaliteit) sneller op een natte periode reageert dan op een droge periode. De oorzaak hiervan is de snellere doorstroming van het bodemvocht met de daarin opgeloste stoffen in een natte periode.

Naast de indexconcentratie van de bovenste meter grondwater is in figuur 3 de indexconcentratie op een vaste diepte van 2,3 – 3,3 meter beneden maaiveld weergegeven. Dit is de meter grondwater beneden de gemiddelde grondwaterstand. Het is belangrijk te realiseren dat dit de indexconcentratie op een vaste diepte is - zoals die zou worden gemeten in een permanente peilbuis - terwijl de indexconcentratie van de open boorgatmethode op en neer beweegt door het bodemprofiel, afhankelijk van de grondwaterstandsfluctuaties. Het verschil tussen de indexconcentratie van de bovenste meter grondwater en de indexconcentratie op vaste diepte is in figuur 3 niet erg groot. Alleen op de momenten dat de indexconcentratie en de netto neerslag tegelijkertijd veranderen treden er verschillen op. Veranderingen in de grondwaterstand veroorzaken deze verschillen tussen de indexconcentratie van de bovenste meter en de indexconcentratie op vaste diepte.

Invloed van grondwaterstandsfluctuaties op de kwaliteit van het bovenste grondwater

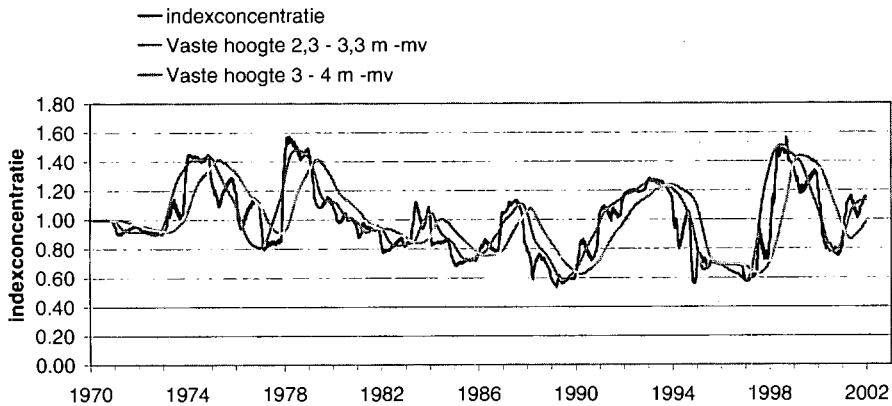
In het hierboven beschreven rekenexperiment komt slechts een aantal grondwaterstandsfluctuaties voor op de momenten dat het neerslagoverschot verandert. In de praktijk zorgt de variatie in de meteorologische condities voor veel meer variatie in de grondwaterstanden. Daardoor is het waarschijnlijk dat het verschil tussen de indexconcentratie van de bovenste meter grondwater en de indexconcentratie op een vaste diepte bij een natuurlijk verloop van het neerslagoverschot groter is. In het volgende rekenexperiment zijn de indexconcentraties berekend voor vaste dieptes beneden maaiveld. De indexconcentratie is berekend voor de volgende vaste dieptes:

- 1 2,3 – 3,3 meter beneden maaiveld, dit is de meter grondwater onder de gemiddelde grondwaterstand
- 2 3 – 4 meter beneden maaiveld, dit is de meter grondwater onder de laagste grondwaterstand

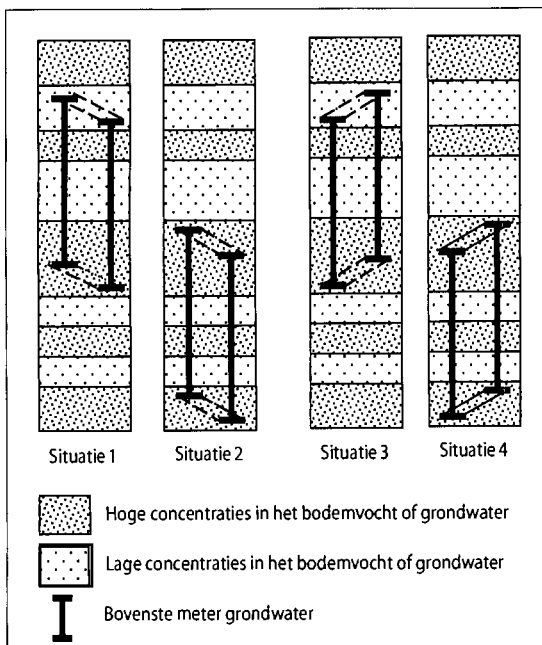
De indexconcentratie van de meter grondwater onder de laagste grondwaterstand is berekend omdat in de praktijk de grondwaterkwaliteit op deze diepte gedurende het hele jaar gemeten kan worden door middel van een permanente peilbuis. De grondwaterkwaliteit van de meter grondwater onder de gemiddelde grondwaterstand is in de praktijk niet meetbaar in droge periodes, wanneer de grondwaterstanden lager zijn dan de gemiddelde grondwaterstand.

De resultaten zijn weergegeven in figuur 4. Opvallend aan het verloop van de indexconcentraties op vaste diepte is het geleidelijkere verloop ten opzichte van de indexconcentratie van de bovenste meter grondwater. Hieruit is af te leiden dat de invloed van grondwaterstandsfluctuaties op de chemische samenstelling van de bovenste meter grondwater erg groot is. Met name de fluctuaties in de indexconcentratie op korte tijdschaal blijken het gevolg te zijn van grondwaterstandsfluctuaties. De grafiek van de indexconcentratie op 3 - 4 m beneden maaiveld is iets verschoven in de tijd door de grotere reistijd naar dit dieper

gelegen traject. Hiernaast is de amplitude minder groot door de extra diffusie en dispersie die op het langere traject heeft plaatsgevonden.



Figuur 4: Berekende indexconcentraties van de bovenste meter grondwater en op vaste hoogtes van 2,3-3,3 m -mv en 3-4 m -mv.



Figuur 5: Verschillende situaties waarbij grondwaterstandsfluctuaties veel of weinig invloed kunnen hebben op het verloop van de indexconcentratie.

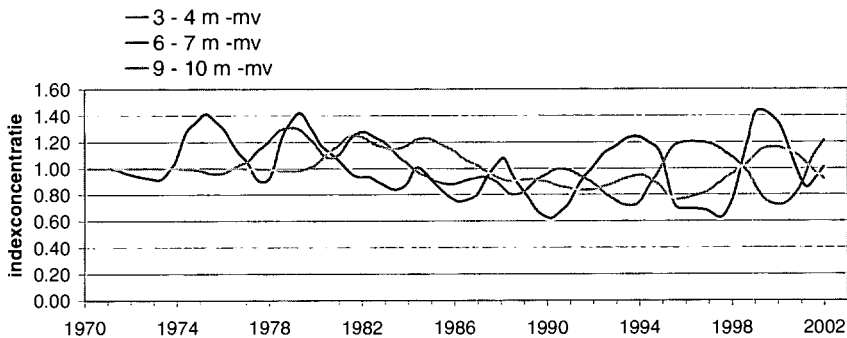
Variaties in de grondwaterstand kunnen op verschillende manieren de indexconcentratie beïnvloeden. Stijgende grondwaterstanden veroorzaken een snellere vervanging van de bovenste meter grondwater. Dit kan een sneller dalende of stijgende indexconcentratie veroorzaken. Dalende grondwaterstanden vertragen daarentegen de vervanging van de

bovenste meter grondwater. Dit betekent minder snel stijgende of dalende concentraties in het grondwater.

Doordat de capillaire zone vlak boven de verzadigde zone vaak ook al bijna verzadigd is, kan een kleine hoeveelheid extra aanvoer van water een flinke grondwaterstandsverhoging veroorzaken. Bij een snelle stijging van de grondwaterstand komt er van bovenaf derhalve bodemwater bij met een samenstelling die kan afwijken van de samenstelling van het grondwater dat aan de onderkant niet meer bij de eerste meter hoort. Andersom kan ook een snelle daling van de grondwaterstand gevolgen hebben voor de indexconcentratie. Dit wordt verduidelijkt door de 4 getekende situaties in figuur 5. Voor elke situatie is een geschematiseerde bodemkolom getekend met afwisselend hoge en lage concentraties in het bodemvocht of grondwater. De zwarte balken geven per situatie de ligging van de bovenste meter grondwater aan op twee tijdstippen. In situatie 1 treedt een daling van de grondwaterstand op. Voor het begrip is er in figuur 5 van uitgegaan dat de concentratiefronten op dezelfde hoogte blijven. In de werkelijkheid en in de HYDRUS-1D modellering zakken deze fronten wel, maar dit gaat veel langzamer dan het op en neer bewegen van de grondwaterspiegel. Als gevolg van de daling van de grondwaterstand verliest de bovenste meter grondwater aan de bovenkant water met lage concentraties. Dit water blijft achter in de capillaire zone. Aan de onderkant van de bovenste meter grondwater komt er juist water bij met hoge concentraties. Na de grondwaterstanddaling in situatie 1 bevindt zich derhalve meer water met hoge concentraties in de bovenste meter grondwater, waardoor de indexconcentratie hoger zal zijn. In situatie 2 heeft de grondwaterstanddaling geen invloed op de indexconcentratie. Het water dat aan de bovenkant van de bovenste meter grondwater als hangwater achterblijft heeft dezelfde samenstelling als het grondwater dat er aan de onderkant bijkomt. Bij de situaties 3 en 4 is hetzelfde proces beschreven voor een grondwaterstandstijging. In situatie 3 zal de grondwaterstandstijging een verlaging van de indexconcentratie veroorzaken. In situatie 4 blijft de indexconcentratie ondanks de grondwaterstandstijging onveranderd.

Invloed van meteorologische condities op de kwaliteit van dieper grondwater

In een volgend rekenexperiment is bepaald hoe de invloed van meteorologische condities aan het oppervlak doorwerkt in het diepere grondwater. Hiertoe is de in Hydrus-1D gemodelleerde bodemkolom verlengd van 4,5 meter naar 10 meter diep. Vervolgens zijn de indexconcentratie op verschillende vaste dieptes berekend. De indexconcentraties op vaste dieptes van 3 – 4, 6 – 7 en 9 – 10 meter beneden maaiveld zijn weergegeven in figuur 6. Door de grote reistijden naar de grotere dieptes, liggen de pieken in de indexconcentratie van 6 – 7 en 9 – 10 meter beneden maaiveld verder in de tijd. Daarnaast dempt de variatie in de indexconcentraties uit op grotere dieptes beneden maaiveld. Dit wordt veroorzaakt door de extra dispersie en diffusie die op dit langere traject heeft plaatsgevonden. Overigens is dit in de praktijk niet de enige oorzaak van de uitdemping van grondwaterkwaliteitsfluctuaties met de diepte. Met name in situaties met een dun watervoerend pakket neemt de verticale stroomsnelheid relatief snel af met de diepte. Hierdoor wordt op grotere diepte bij een gelijke filterlengte over een grotere ouderdomsinterval vermengd. Het gevolg van deze menging is uitdemping van de temporele variatie.

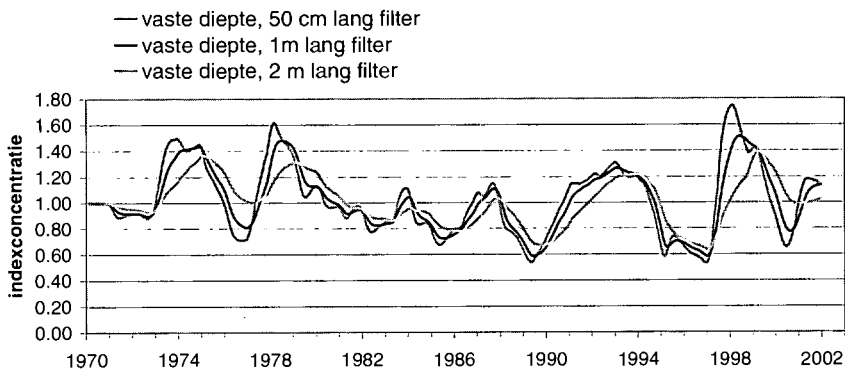


Figuur 6: Uitdemping van de atmosferische invloeden op grotere dieptes beneden maaiveld.

Het meten van de grondwaterkwaliteit op groter dieptes heeft derhalve het voordeel, dat er minder temporele variatie in de metingen zal optreden. Het nadeel is echter dat de gevolgen van veranderende uitspoeling aan het maaiveld pas na een aantal jaren in de metingen te zien zullen zijn.

Invloed van filterlengte op gemeten concentraties

Tot nu toe is de indexconcentratie steeds berekend over 1 meter grondwater, omdat bij de open boorgatmethode de bovenste meter grondwater wordt bemonsterd. Veel grondwaterkwaliteitsmeetnetten, waaronder het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit (LMG) en de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG), hebben echter filterlengtes van 2 m. In het volgende rekenexperiment is de indexconcentratie berekend voor een filter van 50 cm en 2 meter lang. De resultaten zijn weergegeven in figuur 7.



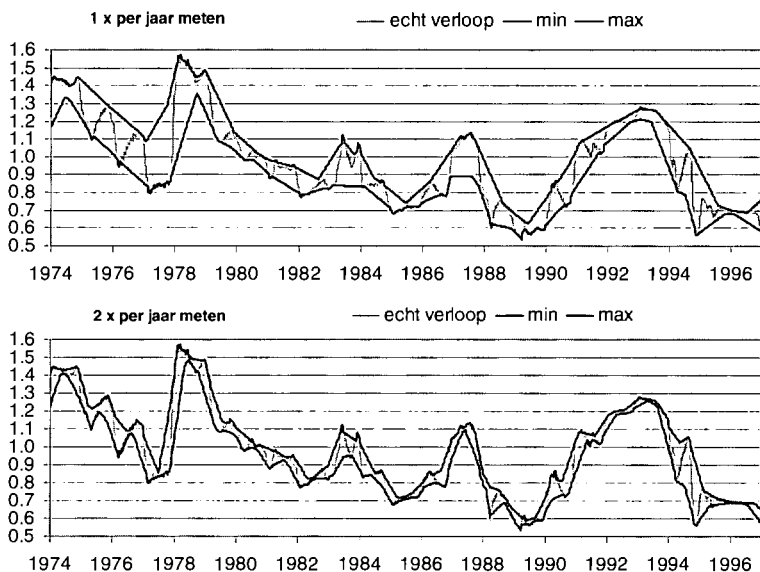
Figuur 7: De berekende indexconcentraties bij verschillende filterlengtes (50 cm, 1 m en 2 m).

In de figuur is te zien dat de filterlengte invloed heeft op de variatie in de gemeten concentraties. Het meten met een filter van 50 cm veroorzaakt een grotere temporele variatie in de meetgegevens. Het voordeel van een 50 cm lang filter is, dat deze nauwkeuriger en

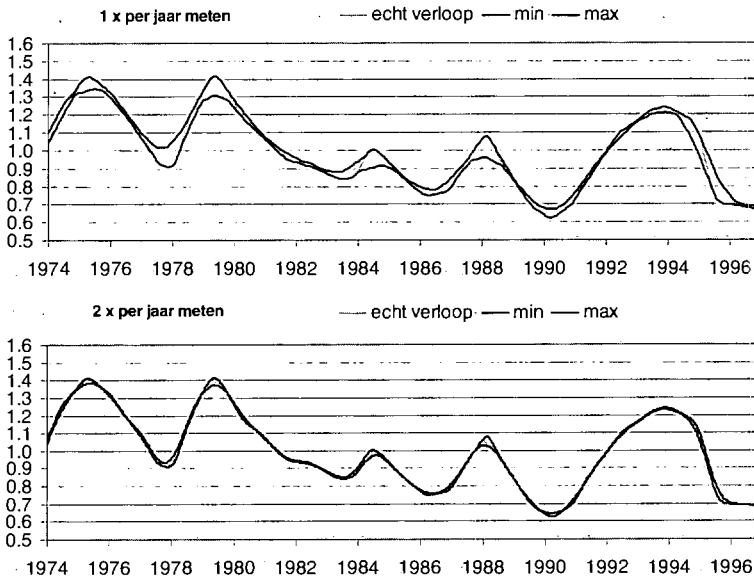
sneller reageert op trends in de grondwaterkwaliteit dan langere filters. Er zal echter wel vaak moeten worden gemeten om de temporele variatie goed in beeld te kunnen brengen. Een 2 meter lang filter zal minder snel reageren op veranderingen in de grondwaterkwaliteit. Bovendien zullen variaties op korte temporele schaal (minder dan 2 jaar) niet zichtbaar zijn in de meetgegevens. Het voordeel een lang filter is, dat er minder vaak hoeft te worden gemeten om de temporele variatie voldoende in beeld te brengen.

Meetfrequentie in relatie tot de temporele variabiliteit

Om trends in de grondwaterkwaliteit die het gevolg zijn van uitspoelingsbeperkende maatregelen te kunnen onderscheiden van variaties die het gevolg zijn van meteorologische condities, moeten de meetgegevens gecorrigeerd worden voor deze meteorologische condities. Om deze correctie op een goede manier uit te voeren is het noodzakelijk de temporele variatie van de grondwaterkwaliteit per meetpunt goed in beeld te brengen. Het in beeld brengen van de variatie vergt bij een vast meetpunt een lagere meetfrequentie dan bij een open boorgat meetpunt. Dit wordt kan worden geïllustreerd door middel van de grafieken in figuur 8 en 9. De twee lijnen in deze grafieken geven de bandbreedte aan waarbinnen de interpolatie tussen de metingen kan variëren bij de gegeven meetfrequentie. Een grote bandbreedte betekent derhalve dat er vaker moet worden gemeten om de temporele variatie goed in beeld te brengen.



Figuur 8: De minimale en de maximale waarde aan waarbinnen de interpolatie tussen de open boorgatmetingen kan variëren bij een meetfrequentie van 1 en 2 keer per jaar.



Figuur 9: De minimale en de maximale waarde aan waarbinnen de interpolatie tussen de metingen op een vaste diepte kan variëren bij een meefrequentie van 1 en 2 keer per jaar.

De banden zijn het breedst bij het open boorgatmeetpunt (figuur 8), doordat de temporele variatie erg groot is. Met 1 meting per jaar kan de grote temporele variatie niet goed in beeld gebracht worden. Met 2 metingen per jaar gaat het al wat beter, maar de bandbreedte blijft vrij groot. Bij het vaste meetpunt zijn de banden veel smaller (figuur 9). Eén meting per jaar is hier al voldoende om de temporele variatie goed in beeld te brengen. Met 2 metingen per jaar liggen de minimale en de maximale waarde bijna op elkaar.

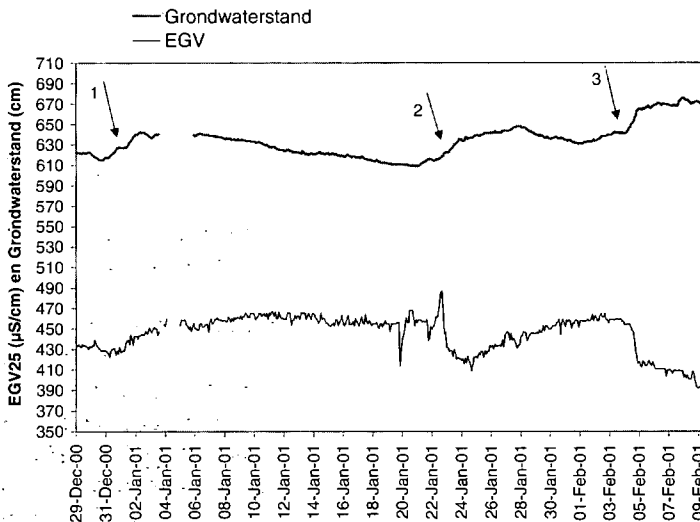
Uit de figuren 8 en 9 blijkt dat er een kleinere meefrequentie nodig om de variatie in de concentraties op een vaste diepte beneden maaiveld vast te stellen. Dit pleit voor het gebruik van vaste meetpunten (peilbuizen) in de plaats van de 'open boorgat' methode bij grondwaterkwaliteitsmeetnetten.

Vergelijking modelresultaten met continue veldmetingen

Door TNO-NITG zijn op proefboerderij de Marke continue veldmetingen van het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) uitgevoerd (Van der Aa en Broers, 2003). Het EGV is een maat voor de hoeveelheid opgeloste stoffen in het grondwater. Aan de hand van de door de berekeningen met Hydrus-1D verkregen inzichten kunnen de meetresultaten nu beter worden verklaard.

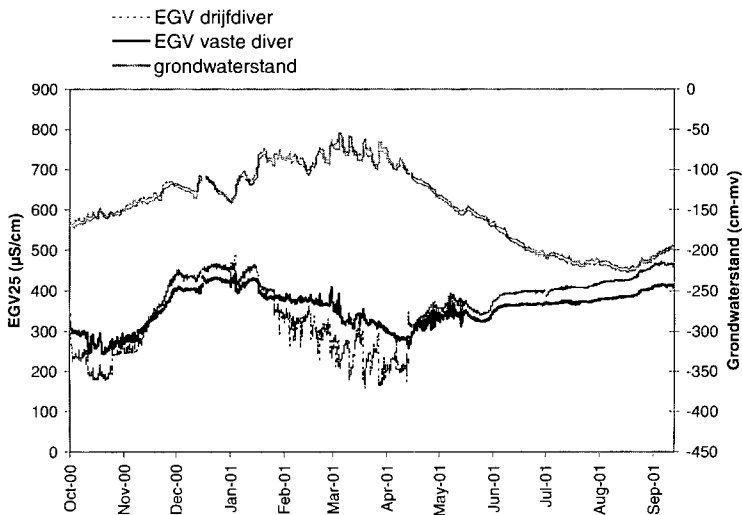
Bij de continue veldmetingen is gebruik gemaakt van zogenaamde CTD-divers. Een van de CTD-divers is geïnstalleerd op een vaste diepte van 2,9 m beneden maaiveld. Een andere CTD-diver is drijvend gemaakt en meet het EGV op 50 centimeter beneden de grondwaterspiegel. Deze drijvende Diver beweegt derhalve mee met de fluctuaties van de grondwaterspiegel. Het is belangrijk te realiseren dat het hier om puntmetingen gaat, die meer kleinschalige variatie vertonen dan metingen waarbij een meter grondwater wordt

bemonsterd. Het verloop van het EGV op 50 centimeter beneden de grondwaterspiegel in de periode van 29 december tot 9 februari 2001 is samen met de grondwaterstanden weergegeven in figuur 10. In de figuur zijn tevens drie regenachtige periodes met pijlen aangegeven. In deze natte periodes stijgen de grondwaterstanden. De EGV stijgt na de eerste natte periode en daalt na de tweede en derde natte periode. Zoals uit de Hydrus-1D berekeningen reeds gebleken was, veroorzaken grondwaterstandstijgingen een snellere verversing van het bovenste grondwater. Dit kan zowel een snellere verlaging als een snellere verhoging van de stofconcentraties veroorzaken. In de meetresultaten wordt de trend in het EGV, die reeds voor het begin van de natte periode is ingezet, versneld door de grondwaterstandstijging. Met name de snelle stijging van de grondwaterspiegel bij pijl 3 veroorzaakt een grote versnelling van de daling van het EGV.



Figuur 10: Resultaten van de continue EGV- en grondwaterstandsmetingen voor de periode december 2000 - februari 2001. De pijlen (1,2 en3) geven periodes met grondwateraanvulling aan (naar: Van der Aa en Broers, 2003).

In figuur 11 is het verloop van het EGV gemeten door de vaste Diver uitgezet naast het verloop van het EGV gemeten door de drijvende Diver. In deze figuur is te zien dat het EGV op een vaste diepte minder sterk fluctueert dan de EGV gemeten door de drijvende Diver, die met de grondwaterfluctuaties op en neer beweegt. Dit geldt zowel op seizoenschaal als op zeer korte temporele schaal. Dit komt overeen met de uitkomsten van de Hydrus-1D berekeningen, waarbij de concentraties op vaste diepte ook minder variëren. Dat de gemeten EGV op een vaste diepte ook nog veel variatie op kleine temporele schaal vertoont, komt doordat het hier om een puntmeting gaat. Variaties op kleine temporele schaal worden in een puntmeting niet uitgedempt.



Figuur 11: Resultaten van de continue EGV- en grondwaterstandsmetingen voor de periode oktober 2000 – oktober 2001 (Van der Aa en Broers, 2003).

Conclusies en discussie

De belangrijkste conclusies die voortkomen uit de Hydrus-1D berekeningen en de continue veldmetingen van het Elektrisch Geleidingsvermogen zijn:

- 1 Langdurige droge periodes leiden na verloop van tijd tot hoge concentraties in het grondwater en langdurige natte periodes leiden tot lage concentraties. Hierbij treedt wel een vertraging op van enkele maanden tot enkele jaren, afhankelijk van de diepte waarop wordt gemeten. De concentraties in het grondwater reageren sneller op een natte periode dan op een droge periode. Er is geen vast seizoenaal patroon in de grondwaterkwaliteit.
- 2 Variaties in de grondwaterstand kunnen op verschillende manieren de concentraties in de bovenste meter grondwater beïnvloeden. Hierbij geldt dat deze invloed groter is naarmate de grondwaterstandsfluctuaties groter zijn. Grondwaterstandsfluctuaties hebben geen invloed op de gemeten concentraties wanneer er wordt gemeten op een vaste diepte beneden maaiveld.
- 3 De invloed van variërende neerslag- en verdampingshoeveelheden dempt uit met de diepte. De snelheid van het uitdempen van de variaties in de concentraties is onder meer afhankelijk van de mate van dispersie en diffusie.
- 4 De temporele variatie in grondwaterkwaliteitsmetingen wordt beïnvloed door de gebruikte filterlengte. Bij een lang filter wordt de temporele variatie meer uitgedempt dan bij een kort filter.
- 5 Bij het gebruik van vaste peilbuizen en filterlengtes van 1 meter is gebleken dat voor het gemodelleerde perceel een meetfrequentie van 1 jaar voldoende is om het concentratieverloop goed te kunnen volgen. Bij gebruik van de open-boorgatmethode is een hogere meetfrequentie nodig. Ook bij twee keer per jaar meten is de onzekerheid in het verloop

van de concentratie nog groter dan bij een meetfrequentie van eens per jaar in een vaste peilbuis.

Wat betekenen deze conclusies nu voor de praktijk van monitoring? Het antwoord van deze vraag zal per monitoringsdoel verschillend zijn. In zijn algemeenheid vereist een grote temporele variabiliteit een grotere meetinspanning om een zelfde precisie in de uitspraak te verkrijgen. Gebruik van vaste meetpunten heeft om die reden vrijwel altijd de voorkeur. Aan het gebruik van vaste meetpunten in landbouwgebieden kleeft echter één groot praktisch bezwaar: een peilbuis verstoort de normale landbouwkundige praktijk. Hierdoor zal toestemming voor vaste permanente meetpunten op percelen moeizaam en niet overal verkregen kunnen worden. Een alternatief is het plaatsen van vaste peilbuizen op de rand van percelen, (grondwater)stroomafwaarts van het perceel. Dit alternatief is eigenlijk alleen geschikt voor het wat diepere grondwater, omdat het grondwater daar reeds enige horizontale afstand heeft afgelegd. Voor het bepalen van de kwaliteitstoestand van het bovenste grondwater zullen we in landbouwgebieden derhalve voorlopig nog gebruik moeten maken van de open boorgatmethode.

Een even belangrijke en in sommige gevallen zelfs belangrijker doelstelling van grondwaterkwaliteitsmeetnetten is echter het vaststellen van trendmatige veranderingen in de grondwaterkwaliteit. Provinciale en landelijke meetnetten en ook veel meetnetten op bedrijfsschaal (bijv. De Marke) zijn immers grotendeels bedoeld om de effecten van uitspoelingsbeperkende (beleids)maatregelen voor de grondwaterkwaliteit te signaleren.

De praktijk in de provinciale meetnetten wijst uit dat bij het gebruik van de open boorgatmethode na 6 jaar meten met een jaarlijkse frequentie een eventuele landbouwkundige trend niet kan worden gedetecteerd vanwege de grote temporele en ruimtelijke variabiliteit in de meetresultaten. Alleen bij rigoureuze veranderingen van de grondwaterkwaliteit kunnen de variaties in tijd en ruimte overstemd worden. Dit is bijvoorbeeld het geval geweest op proefboerderij de Marke. De grote afname van de nitraatuitspoeling vanaf de start van het project is goed zichtbaar in de 150 open boorgatmetingen die jaarlijks worden bemonsterd (Boumans e.a., 2001). Na deze grote initiële afname heeft de ruimtelijke en temporele variabiliteit in deze metingen echter weer de overhand gekregen. Overigens zou een gelijke meetnetinspanning van het 3 keer per jaar bemeten van 50 open boorgaten een grotere statistische betrouwbaarheid opleveren (Van Geer e.a., in voorbereiding).

Uit analyse van diepere grondwaterkwaliteitsreeksen uit het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit (LMG) en de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG) blijkt dat trends eenvoudiger zijn vast te stellen. De temporele variabiliteit in die reeksen is beperkt. De oorzaak hiervan is, (1) dat er op een vaste diepte wordt gemeten (grondwaterstandsfluctuaties zorgen niet voor extra temporele variatie), (2) dat er op grotere diepte wordt gemeten (uitdamping van de temporele variatie met de diepte) en (3) dat er met een 2 meter lang filter wordt gemeten (uitdamping van de temporele variatie door de grotere filterlengte). Na 10 jaar meten is op een diepte van circa 8 meter wel degelijk een trend vast te stellen, die hoogstwaarschijnlijk aan de landbouwkundige praktijk is gerelateerd (Broers, 2002). Daar staat echter tegenover dat deze trends op een infiltratieperiode van minimaal 8 jaar geleden terugslaan.

In dit artikel is ingegaan op de invloed van meetmethode, meetdiepte, filterlengte en meetfrequentie op de temporele variabiliteit op de schaal van individuele meetpunten. In de praktijk zullen de resultaten van verschillende individuele meetpunten moeten worden geaggregeerd om op regionale schaal uitspraken te kunnen doen over trends in de grond-

waterkwaliteit. Onze verwachting is dat het gebruik van vaste, ondiepe grondwaterkwaliteitsmeetpunten met een geoptimaliseerde meetfrequentie ook bij toepassing op regionale schaal tot een duidelijk verbeterde trenddetectie zal leiden.

Referenties

- Aa, M. van der en H.P. Broers (2003)** Temporele variatie bij grondwaterkwaliteitsmonitoring: Het belang van meetmoment en monstervolume; in: *Stromingen*, jrg 9, nr1, pag. 47–60.
- Boumans, L., B. Fraters en G. van Drecht (2001)** Nitraat in het bovenste grondwater van 'De Marke'; in: *Het nitraatbeleid: de wetenschap, de sector en het beleid*, De Marke-rapport 30.
- Boumans, L., G. van Drecht, B. Fraters, T. de Haan en W. de Hoop (1997)** Effect van neerslag op nitraat in het bovenste grondwater onder landbouwbedrijven in de zandgebieden: gevolgen voor de inrichting van het Monitoringsnetwerk effecten mestbeleid op Landbouwbedrijven (MOL); RIVM rapport nr 714831002.
- Broers, H.P.(2002)** Strategies for regional groundwater quality monitoring, Nederlandse Geografische Studies 306, KNAG / Universiteit Utrecht.
- Fraters, D., L.J.M. Boumans, G. van Drecht, T. de Haan en W.D. de Hoop (1998)** Nitrogen monitoring in groundwater in the sandy regions of the Netherlands; in: *Environmental Pollution* 102, pag 165–187.
- Geer, F. van, M. van der Aa en H.P. Broers (in voorbereiding)** Effecten van verschillende meetstrategieën op de schatting van de verandering van de nitraatconcentratie; Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- Hendriks, B. en L.J.M. Boumans (2001)** Neerslagcorrectiemethode voor provinciale nitraatgegevens; RIVM, Bilthoven.
- Robertson, W.D. en J.A. Cherry (1989)** Tritium as an indicator of recharge and dispersion in a groundwater system in central Ontario; in: *Water Resources Research*, vol 25, no 6, pag 1097–1109.
- Rozemeijer, J.C., B. van der Grift, M. van der Aa en H.P. Broers (2003)** De correctie van grondwaterkwaliteitsmetingen voor de invloed van variaties in neerslag- en verdampingshoeveelheden; Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, rapport NITG 03-184-C.
- Simunek, J., M.Th. van Genuchten en M. Sejna (1998)** HYDRUS -1D, version 2.01, code for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated porous media; US Salinity Laboratory, USA.
- Vries, F. de (1999)** Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken; DLO-Staring Centrum, rapport 654.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte (2001)** Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland; de Staringreeks, Alterra-rapport 153.