
Voorkómen en voorspellen van nitraatconcentraties in kalksteenwinningen in Zuid-Limburg

B. Putters, C. Maas, D.G. Cirkel, F. Vaessen,
M. Juhász en J.R. von Asmuth

De toenemende nitraatconcentratie in grondwater dat uit kalksteen wordt gewonnen noopt tot besluitvorming over nitraatverwijderende maatregelen. Hiertoe is een voorspelling van de ontwikkeling van deze concentraties uitgevoerd. Het effect van preventieve maatregelen gericht op reductie van het stikstofoverschot door agrariërs is geëvalueerd door middel van bodemvochtonderzoek. Op basis van een Hydrus-2D-model is een conceptueel model van nitraatuitspoeling in löss en kalksteen ontwikkeld, dat wordt ondersteund door historische veldgegevens over natuurlijke grondwateraanvulling, onttrekkingsregime en nitraatconcentraties. Uit dit model komt een sterke relatie tussen nitraat en grondwaterstand naar voren. Met behulp van tijdreeksanalyse (met Menyanthes) zijn de bijdragen van neerslag, verdamping en onttrekking aan de grondwaterstand bepaald. Vervolgens zijn scenarioberekeningen uitgevoerd om de nitraatconcentratie in het onttrokken water op korte termijn te voorspellen. De resultaten kunnen worden gebruikt om slimme onttrekkingsstrategieën te ontwikkelen en zo investeringen in nitraatverwijderende technieken uit te stellen.

Inleiding

Al enige tientallen jaren stijgt de nitraatconcentratie in de kalksteenwinningen in Zuid-Limburg met gemiddeld 1 mg/l per jaar. De voornaamste oorzaak van nitraat in grondwater is het gebruik van dierlijke en kunstmest in de overwegend agrarische omgeving van de wingebieden. Ondanks regelgeving voor mestgift, en het terugbrengen van de nitraatnorm in grondwater van 100 naar 50 mg/l in 1989, wordt nog steeds water onttrokken dat neigt naar het overschrijden van de Europese drinkwaternorm van 50 mg/l in de nabije toekomst. Omdat het water dat in dit gebied onttrokken wordt behalve ontharding geen verdere zuivering ondergaat, is het belangrijk om te kunnen voorspellen wanneer een overschrijding van de norm te verwachten is. Voor Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) waren twee vragen van belang: 1) op welk moment wordt nitraatverwijdering onvermijdelijk, en 2) valt dit moment op enige wijze uit te stellen?

B. Putters, F. Vaessen en **M. Juhász** zijn werkzaam bij Waterleiding Maatschappij Limburg (WML), Postbus 1060, 6201 BB Maastricht, e-mail: b.putters@wml.nl; f.vaessen@wml.nl; m.juhasz@wml.nl.

C. Maas, D.G. Cirkel en **J.R. von Asmuth** zijn werkzaam bij Kiwa Water Research, Postbus 1072, 3430 BB Nieuwegein, e-mail: kees.maas@kiwa.nl; gijbert.cirkel@kiwa.nl; jos.vonasmuth@kiwa.nl.

Doelstelling

De doelstellingen van dit project zijn: 1) het effect van preventieve maatregelen in het verleden te evalueren, en 2) het uitstellen van curatieve maatregelen door het voorspellen van de nitraatontwikkeling in het onttrokken grondwater.

Achtergrond

Gealarmeerd door nitraatconcentraties van 20-30 mg/l die enkele tientallen jaren terug plotseling optraden in de kalksteenwinningen, heeft WML maatregelen getroffen om het risico van normoverschrijdingen terug te dringen. Een van de initiatieven was gericht op reductie van de nitraatgift aan maaiveld. In 1996 probeerden een aantal progressieve agrariërs in samenwerking met natuur- en milieuorganisaties te komen tot een meer uitgebalanceerde nitraatgift. Twee ministeries en de provincie Limburg subsidieerden deze initiatieven. In 1998 werd het project Duurzaam Schoon Grondwater gelanceerd, waarbij WML de agrariërs financieel ondersteunde, en ook informeerde over de impact van nitraatoverschotten op het milieu. Binnen dit project werden richtlijnen ontwikkeld waarmee eenvoudiger de mestnormen konden worden gehaald. Ondanks deze inspanningen nam het nitraat in de winningen nog steeds toe. In verschillende onderzoeken naar het gedrag van nitraat in deze gebieden werd tevens een poging gedaan om de trend te voorspellen. In een bodemvochtonderzoek werd het effect van de preventieve maatregelen onderzocht. Ondertussen werd de drinkwaterproductie veilig gesteld door de winning slim te bedrijven door verlaging van de grondwaterstand en door menging met nitraatarm ruwwater van andere herkomst. Uiteindelijk zijn nitraatverwijderende technieken onderzocht, vooruitlopend op een overschrijding van de drinkwaternorm. De vraag bleef, wanneer men voorbereidingen zou moeten gaan treffen voor deze grootschalige technieken. Daartoe was een meer nauwkeurige voorspelling gewenst.

De onderzoeken die hierboven zijn genoemd, zijn verzameld in een rapport (Palmen e.a., 2005) dat aanbevelingen bevat hoe om te gaan met het nitraatprobleem in de kalksteen intrekgebieden. Dit artikel is een deel van deze studie en is gepresenteerd op het IWA-congres van 17–21 september 2006 in Istanbul.

Beschrijving van de winplaatsen

De winlocaties Roodborn en Craubeek zijn gesitueerd in het kalksteengebied in Zuidoost-Limburg; een sterk glooiend terrein (Ubachsberg Plateau). In Roodborn wordt de kalk bedekt door een pleistocene grindlaag en löss-sediment. De geschatte reistijd door de onverzadigde zone is ongeveer 10 jaar. In Craubeek is de lösslaag over het algemeen veel dunner en gedeeltelijk afwezig. Karakteristiek voor Craubeek is de doorsnijding van de winlocatie door een geologische breuk (Kunrader-breuk). Deze breuk begrenst het intrekgebied. De kalksteen dagzoomt langs deze breuk. Het grondwater stroomt in noordwestelijke richting, de oriëntatie van de breuklijn. De karsten en spleten die de grondwaterstroming in Roodborn domineren lopen in noordoostelijke richting. Het grondwater wordt onttrokken uit de formaties van Maastricht en Gulpen.

Roodborn ligt binnen het stroomgebied van de Geul. De Geul overstroomt soms het puttenveld. De afvoer neemt sterk toe vanwege afwaterende beken, waaronder de Eyserbeek die over het puttenveld loopt. Bovenstreams wordt op de beek geloosd door een RWZI. Afvoerpieken veroorzaken een stijging van de grondwaterstand.

Over het algemeen is de verblijftijd van water in de bovenste kalksteen relatief kort, vanwege de hogere doorlatendheid van dit pakket met zijn grote karsten en spleten. Daardoor bestaat het onttrokken grondwater voor een groot deel uit jong grondwater, wanneer de grondwaterstand hoog is en de bovenste kalksteen verzadigd is. Dit is van belang met betrekking tot de nitraatbelasting, welke hoger is in recentelijk (minder dan 50 jaar geleden) gepercoleerd grondwater.

Aanpak

Evaluatie van reductie nitraatbelasting door regulering en preventieve maatregelen

Vanwege de verticale reistijd van bodemvocht vanaf het maaiveld tot het grondwaterniveau (gemiddelde snelheid 1 m/j), zal het effect van inspanningen om de nitraatbelasting terug te brengen op zijn vroegst na tien jaar zichtbaar worden in de concentraties van het onttrokken grondwater. Om een recente preventieve maatregel te evalueren is het daarom effectiever om nitraat in bodemvocht beneden de wortelzone te meten. In 2003 zijn 134 bodemmonsters verdeeld over 13 locaties op puttenveld Roodborn en 4 locaties op puttenveld Craubeek genomen. Op elke locatie werden vier boringen uitgevoerd en monsters genomen op 1,5 en 2,5 m –mv. Het nitraat in deze monsters is afkomstig van stikstofgiften in respectievelijk 2001 en 2002.

Conceptueel model van nitraatuitspoeling, -transport en -doorbraak

Combinatie en analyse van historische gegevens van Roodborn en Craubeek (neerslag, verdamping, onttrekkingsdebieten, beekafvoeren, grondwaterstanden, nitraatconcentraties in waarnemings- en onttrekkingsfilters) gaven inzicht in het proces van nitraatuitspoeling en onttrekking door winputten. Daarnaast werd een enkele onttrekkingsfilter axisymmetrisch gemodelleerd met Hydrus-2D (Šimůnek e.a., 1999) teneinde de relatie tussen uitspoeling en onttrekking te bestuderen. Hydrus-2D is een software package voor het simuleren van waterstroming en meervoudig stoftransport in media met wisselende verzadigingsgraad. Eerder onderzoek (Van Beek, 2005) liet zien dat de eigenschappen van de onverzadigde zone een belangrijke factor vormen in nitraatuitspoeling. Onttrekkingsdebieten, natuurlijke aanvulling en grondwaterstanden werden gevarieerd in de modelruns.

Het eenvoudige conceptueel model bestaat uit twee lagen: een zeer doorlatende laag met een dikte van 10,8 m (de bovenste kalksteen met grote karsten en spleten en Pleistocene grindlaag) en een toplaag van 2,2 m dik met een lagere doorlatendheid, bestaande uit löss. In het midden van het model, op 10 m diepte, bevindt zich een onttrekkingsfilter met een filterlengte van 3,1 m en 600 mm diameter (figuur 1). Het onttrekkingsdebiet is afgestemd op de schaal van het model en bedraagt 30 m³/dag, wat resulteert in een grondwaterstand van 1 m –mv. Een vaste stijghoogte is opgelegd aan de buitenrand van het model. De bovenste rand kreeg een flux randvoorwaarde mee, een aanvulling van 265 mm/j. Daar-

naast werd een stoftransport flux van 1000 eenheden per liter opgelegd die de nitraatbelasting representeert. Nitraatafbraak en gewasopname zijn niet in het model meegenomen.

Om het effect van variaties in aanvulling, grondwaterstanden en onttrekkingsdebieten te onderzoeken, zijn vier scenario's gesimuleerd:

- 1 Stationaire aanvulling, onttrekkingsdebiet constant, nitraatbelasting constant;
- 2 Harmonische aanvulling, onttrekkingsdebiet constant, nitraatbelasting constant;
- 3 Plotselinge toename van harmonische aanvulling, onttrekkingsdebiet constant, nitraatbelasting constant. Dit scenario simuleert het effect van opeenvolgende droge en natte periodes;
- 4 Stationaire aanvulling, plotselinge toename onttrekkingsdebiet, nitraatbelasting constant. Dit scenario simuleert het effect van een plotseling toename van de onverzadigde zone en de verzadigde grondwatersnelheid.

De simulaties zijn gericht op de respons van de nitraatconcentratie in het onttrokken water op veranderingen in het hydrologisch systeem.

Modelleren van nitraatdoorbraak met behulp van tijdreeksanalyse

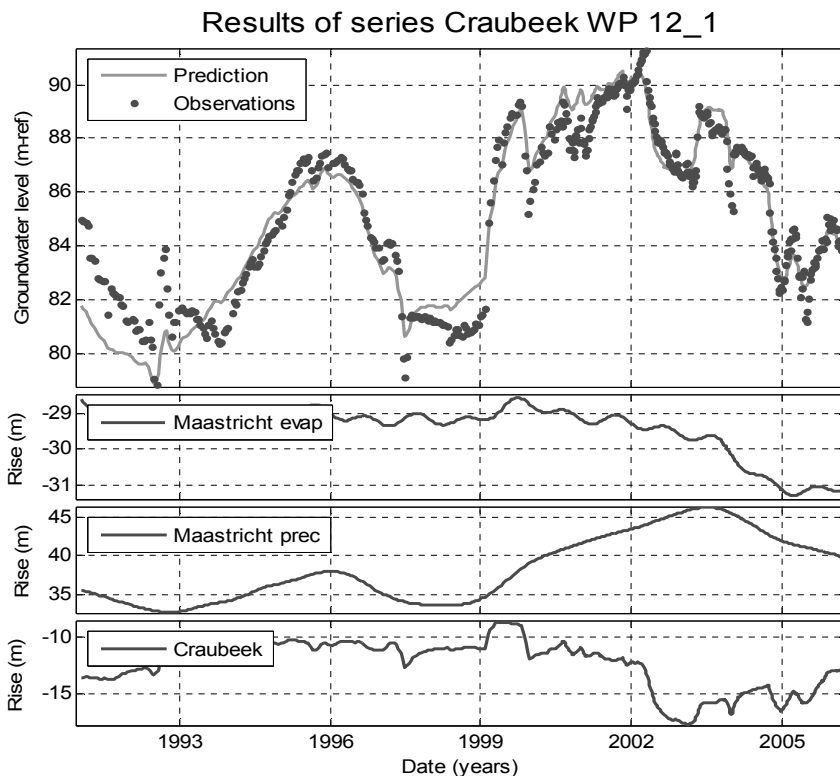
Het Hydrus-2D conceptueel model geeft een mogelijke fysische verklaring voor de afhankelijkheid van de nitraatconcentratie in het puttenveld van de grondwaterstand: veronderstel dat het nitraatfront bijna de verzadigde zone heeft bereikt. Dan zal een plotselinge stijging van de grondwaterstand het front binnen de verzadigde zone brengen en nitraat wordt dan getransporteerd naar de winputten. Omgekeerd zal een plotselinge daling van de grondwaterstand het nitraat (gedeeltelijk) buiten bereik brengen van het stromende grondwater. Op dit inzicht is het volgende tijdreeksmodel gebaseerd dat de doorbraak beschrijft van een conservatieve tracer:

$$c_w(t) = \frac{1}{\alpha + \beta h(t)} \int_0^{\infty} c(t - \tau) \exp\left\{-\frac{1}{\alpha + \beta h(t)}\left(\tau - \frac{1}{\gamma + \delta h(t)}\right)\right\} d\tau \quad (1)$$

waarbij $c_w(t)$ de voorspelde concentratie in het puttenveld is, $c(t)$ is een gegeven tijdreeks van de tracer belasting en $h(t)$ is de grondwaterstand, gemeten als verschil met de gemiddelde grondwaterstand. Aanname is dat de tracer evenredig verdeeld is over het oppervlak. α, β, γ en δ zijn black box parameters, waarvan de numerieke waarden bepaald dienen te worden via modelkalibratie. Opgemerkt kan worden dat (1) een gemengd reservoir model is met een tijderschuiving om retardatie in de onverzadigde zone te compenseren en met een aanpassing voor grondwaterstandsfluctuaties. (Afleiding van (1) in een volgend nummer van *Stromingen*.)

De kalibratieprocedure bestaat uit het fitten van een historische tijdreeks van nitraatconcentraties in een puttenveld met een via (1) berekende reeks. Als invoerreeksen zijn gebruikt een reconstructie van de nitraatbelasting aan het oppervlak (dat wil zeggen, de concentratie beneden de wortelzone; verder transport wordt conservatief verondersteld) en een gemeten tijdreeks van de grondwaterstand.

Aangezien grondwaterstandsfluctuaties een dergelijk voorname rol spelen in het uitspoelingsproces, is het belangrijk om onderscheid te maken tussen fluctuaties die het gevolg zijn van natuurlijke aanvulling (die niet beheerst kan worden) en fluctuaties veroorzaakt door onttrekking (die tot op zekere hoogte wel gecontroleerd kan worden). We hebben het pakket Menyanthes (Von Asmuth e.a., 2006; www.menyanthes.nl) voor de tijdreeksanalyse gebruikt om de grondwaterstand te ontleden in drie deelreeksen, respectievelijk veroorzaakt door neerslag, verdamping en onttrekking (figuur 1). Zodra tijdreeksmodellen voor aanvulling en onttrekking waren afgeleid, werd het mogelijk om toekomstscenario's, waarbij deze factoren werden gevarieerd, te evalueren.



Figuur 1: Decompositie van een grondwaterstandsreeks nabij pompstation Craubeek in deelreeksen naar de factoren verdamping, neerslag en onttrekking.

Toekomstige concentraties zijn voorspeld voor een aantal scenario's. Als *worst case* scenario werd het geval genomen waarbij toekomstige meteorologische condities vergelijkbaar zijn met de natte periode van april 1999 tot juli 2002.

Grondwateronttrekking is respectievelijk gecontinueerd, gehalveerd en verdubbeld.

Resultaten

Evaluatie van reductie nitraatbelasting door regulering en preventieve maatregelen

De nitraatconcentratie op 2,5 m –mv bedroeg gemiddeld 34 mg/l; op 1,5 m –mv was het gemiddelde 74 mg/l. Onderverdeling naar natuur en reguliere landbouw gaf op 1,5 m –mv respectievelijk 37 en 71 mg/l; een meter lager (2,5 m –mv) bedroegen de waarden respectievelijk 13 en 37 mg/l. Onder natuurpercelen blijkt het nitraatgehalte dus lager dan onder landbouwpercelen. Daarbij moet wel aangetekend worden dat het aantal monsters afkomstig van natuurpercelen lager was. De gemeten waarden zijn gecorrigeerd voor neerslagoverschot in de jaren waarin de stikstofgift heeft plaatsgevonden, zodat ze vergeleken kunnen worden met uitspoelingswaarden voor de lange termijn. Gemiddeld is de gecorrigeerde nitraatuitspoeling op 1,5 m –mv 118 mg/l. Vergeleken met de gecorrigeerde waarden uit andere onderzoeken (Klein, 1988; Mak e.a., 1998) is dit getal geen indicatie dat de uitspoeling aan het verminderen is (1987: 100, 1996: 122, 1997: 166, 2003: 118).

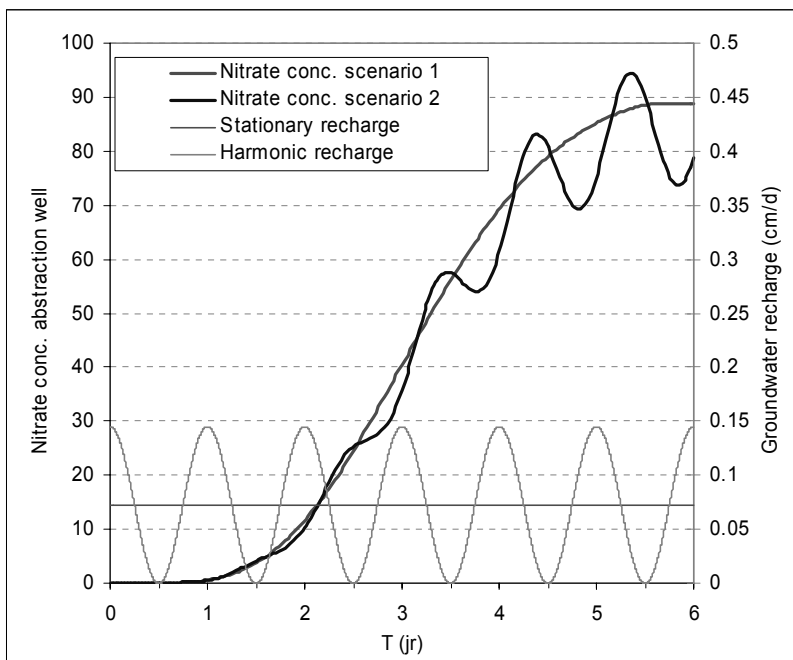
Het stikstofoverschot dat per agrariër wordt opgegeven is een gemiddelde waarde en geen voorspellende variabele voor de uitspoeling op afzonderlijke percelen. Uit de spreiding van de concentraties die op 2,5 m –mv gevonden worden, kan echter wel geconcludeerd worden dat de bedrijfsvoering een belangrijke factor vormt voor uitspoeling, aangezien in sommige gevallen stikstof-intensieve teelten lage uitspoeling te zien geven of juist andersom. Een meer accurate stikstofgift leidt tot lagere uitspoeling, terwijl de opbrengst niet afneemt.

Conceptueel model van nitraatuitspoeling, -transport en -doorbraak

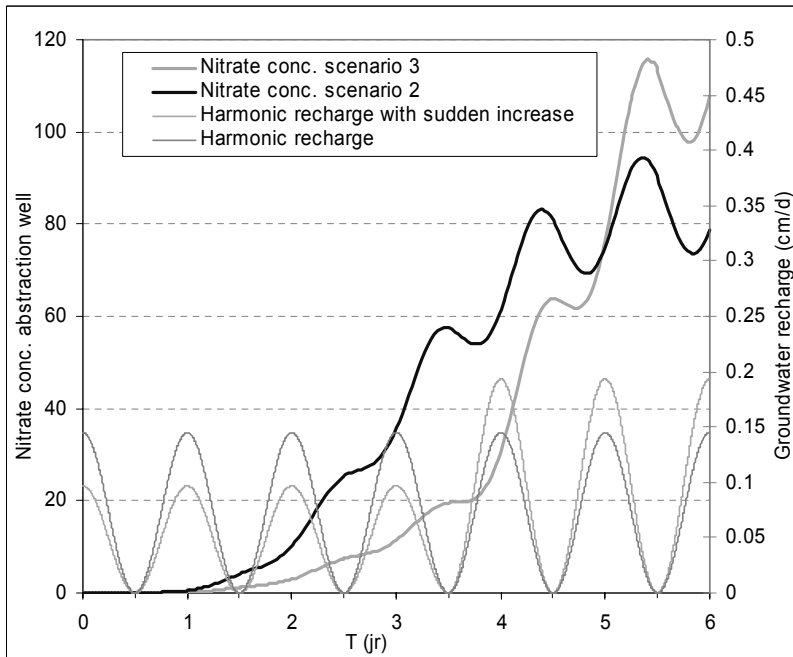
De figuren 3, 4 en 5 laten de nitraatontwikkeling zien voor respectievelijk scenario 1 en 2, scenario 2 en 3, en scenario 4. Deze resultaten geven een beeld van de fysische mechanismen in het proces. Het is bekend dat de fluctuaties in nitraatconcentratie in winputten in gebieden met sterk homogene deklaag, zoals aeolische löss, bepaald worden door de in- en uitstroom van nitraat in de onverzadigde zone. Daardoor zijn de fluctuaties sterk gecorreleerd met de dynamiek van grondwateraanvulling (figuur 2). Als gevolg hiervan is tevens een sterke correlatie van de nitraatconcentratie met de grondwaterstand te zien.

De dikte en andere eigenschappen van de onverzadigde zone bepalen de responstijd van nitraatconcentraties op fluctuaties in aanvulling. Uit de resultaten bleek een responstijd van ongeveer 1 tot 1,5 jaar voor een onverzadigde zone van 1 tot 1,5 m dik. Dit betekent dat uitspoeling van nitraat naar het grondwater en vervolgens onttrekking door winputten in gebieden met een dikke onverzadigde lösslaag jaren kan duren. Daarom is het aannemelijk dat de nitraatconcentraties in het ruwwater van Roodborn en Craubeek nog een aantal jaren zullen stijgen, ondanks eerder genomen preventieve maatregelen.

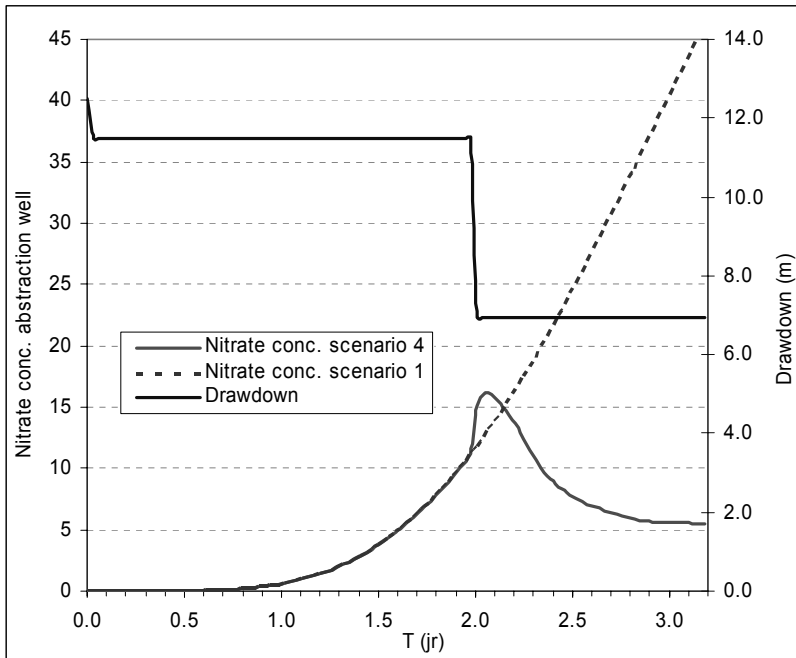
Figuur 3 laat zien dat een reeks van natte jaren volgend op een droge periode resulteert in een plotselinge stijging van nitraat in het ruwwater. Dit wordt veroorzaakt door de ophoping van nitraat in de onverzadigde zone gedurende de droge periode. Het opgehoopte nitraat wordt versneld uitgespoeld in de daaropvolgende natte periode.



Figuur 2: Effect van seizoensfluctuatie in grondwateraanvulling (resultaten van scenario 1 en 2).



Figuur 3: Effect van plotselinge stijging van grondwateraanvulling (resultaten van scenario 2 en 3).

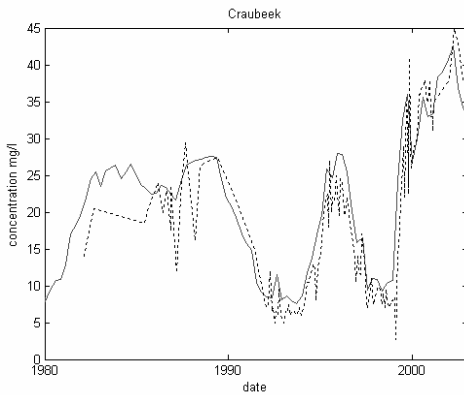


Figuur 4: Effect van een plotselinge stijging van het onttrekkingsdebiet op de nitraatconcentratie in het ruwwater (resultaten van scenario 4).

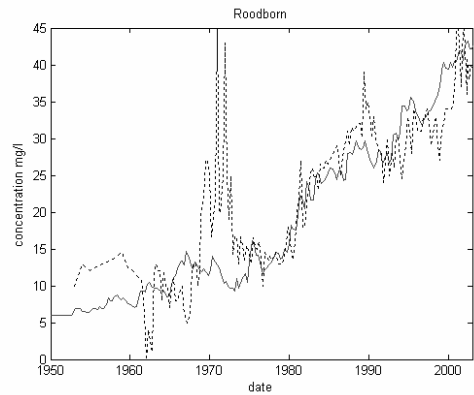
Het onttrekkingsdebiet is evenredig met de grondwaterverlaging, en daarmee met de vergroting van de onverzadigde zone. Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat een dikkere onverzadigde zone (dus bij grotere verlaging, ofwel meer onttrekking) de doorbraak van nitraat naar het grondwater vertraagt. Tegelijkertijd wordt er bij vergroting van het onttrekkingsdebiet in verhouding meer grondwater uit de diepere laag onttrokken (dit wordt duidelijk wanneer men zich de vergrote onttrekkingskegel voorstelt), waar het grondwater minder belast is met nitraat. Door dit nitraatarmere water wordt de concentratie nitraat in het jonge grondwater in de winput verdund, en zien we een afname van nitraat in het ruwwater. Dit wordt geïllustreerd door figuur 4.

Modelleren van nitraatdoorbraak met behulp van tijdreeksanalyse

De figuren 5 en 6 tonen de resultaten van de tijdreeksmodellering van resp. Craubeek en Roodborn. Het tijdreeksmodel lijkt de algemene trend vrij goed te beschrijven. De pieken in Craubeek zijn sterk gerelateerd aan de grondwaterstandsfluctuaties (resultaten niet opgenomen). Voor Roodborn was dit geen eenduidig resultaat (zie discussie). De nitraatpiek die in Roodborn gemeten is rond 1970 is het gevolg van een tijdelijke sterke vermindering van de winning.



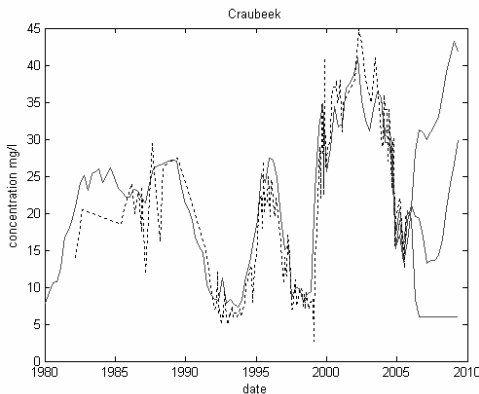
Figuur 5: Gemeten (gestippeld) en berekende nitraatdoorbraak te Craubeek.



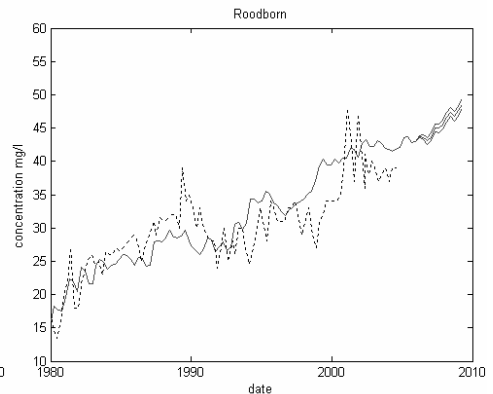
Figuur 6: Gemeten (gestippeld) en berekende nitraatdoorbraak te Roodborn.

Voorspelling van toekomstige nitraatconcentraties

Uit figuur 7 en 8 is een uitgesproken effect waar te nemen van de verschillende winscenario's op de concentraties in Craubeek, terwijl Roodborn nauwelijks effect laat zien. Dit is in overeenstemming met de ervaringen opgedaan in het veld. Bovendien wordt het ondersteund door de waarneming dat de grondwaterstand te Craubeek vrijwel direct reageert op neerslag, gezien de relatie tussen grondwaterstand en nitraatconcentratie.



Figuur 7: Voorspelde concentraties voor Craubeek onder natte condities en diverse winstrategieën.



Figuur 8: Voorspelde concentraties voor Roodborn onder natte condities en diverse winstrategieën.

Discussie en conclusies

Hoewel er geen tekenen zijn dat de nitraatconcentratie in het jonge grondwater aan het verminderen is, kunnen we uit de bodemvochtmetingen op afzonderlijke percelen concluderen dat het de moeite waard is een uitgekiende agrarische bedrijfsvoering met betrekking

tot stikstofgift te stimuleren om nitraatuitspoeling te minimaliseren. Aangezien natuurpercelen een lagere nitraatbelasting naar de ondergrond vertonen, zet WML nu in op vermeerdering van percelen met natuurfunctie binnen waterwingebieden.

De modelresultaten ondersteunen elkaar en zijn consistent met het begrip dat we hadden van het proces vanuit vele jaren veldwaarnemingen: dikke onverzadigde zones betekenen langere reistijden en een vertraagde reactie van de grondwaterstand op veranderingen in aanvulling, en meer accumulatie van nitraat in bodemvocht voorafgaand aan uitspoeling naar het grondwater. Meer aanvulling betekent hogere grondwaterstand en daarmee een verkleining van de onverzadigde zone. Bovendien komt een nitraat-bodemvochtfront dan plotseling terecht onder de grondwaterspiegel en draagt dan meteen bij aan de nitraatconcentratie van het jonge grondwater. Daarnaast is er het tweeledig effect van grondwateronttrekking: 1) verlaging door onttrekking vergroot de onverzadigde zone, 2) verlaging vermindert het aandeel ondiep, jong grondwater met een hoge nitraatbelasting en zorgt daarmee voor een verdunning van de nitraatconcentratie in het onttrokken water. Dit verklaart waarom de nitraatvoorspelling in Roodborn minder nauwkeurig is dan voor Craubeek: de lokale effecten van onttrekking domineren de nitraattrend. Mogelijk verbeteren dus de resultaten wanneer als predictor een tijdreeks wordt gebruikt van een waarnemingsfilter dat dicht bij de winmiddelen is gesitueerd.

In combinatie met 'realistische' klimaatscenario's kan de hier geïllustreerde methode gebruikt worden om winstrategieën te bepalen die de nitraatconcentratie in het ruwwater minimaliseren en de noodzaak tot nitraatverwijdering uitstellen of zelfs opheffen.

Referenties

- Asmuth, J.R. von, C. Maas en M. Knotters (2006)** *Menyanthes Manual* version 1.5 (alpha); Kiwa Water Research.
- Beek, C.G.E.M. van, J. Roelsma en H. Korevaar (2005)** Nitrate concentration in upper groundwater shows large temporal variations; Abstract PWG712; in: *N management in agrosystems in relation to the Water Framework Directive*, Maastricht, October 24–26, 2005.
- Klein, C.E. (1988)** Nitraatuitspoeling in het Mergelland: resultaten van een veldonderzoek; Instituut voor ruimtelijk onderzoek, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Mak W., P. Bakker en G. Frapporti (1998)** Evaluatie Provinciaal meetnet grondwaterkwaliteit Limburg en bodemvochtmeetnet nitraat Mergelland; Iwaco, Maastricht.
- Palmen L., G. Reijnen, B. Putters, F. Vaessen en vele anderen (2005)** Nitraatproblematiek Zuid-Oost Limburg: van deelstudie tot integraal advies; WML, Maastricht.
- Šimůnek, J., M. Šejna en M.Th. van Genuchten (1999)** The HYDRUS-2D Software Package for Simulating Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media; Version 2.0, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.