



Impact van vermest grondwater op kwelafhankelijke natuur

Modelstudie voor het Bunder- en Elslooërbos

De belasting aan vermestende stoffen in het grondwater is een belangrijke bedreiging voor de natte natuur in het Zuid-Limburgse Bunder- en Elslooërbos. Is de teruggang van deze natuur met gericht beleid om te buigen? En op welke manier? Met een model zijn de belasting en de stroombanen van het grondwater in beeld gebracht en aan de hand van scenario's zijn de toekomstige nitraatbelasting en -fluxen verkend. Dit geeft inzicht in de benodigde maatregelen en nader onderzoek.

Het Bunder- en Elslooërbos is een zeer waardevol heulingboscomplex in het westelijk heuvelland van Zuid-Limburg, op de overgang van het Centraal Plateau naar het Maasdal. Het gebied ontleent vooral betekenis aan het bijzondere geohydrologische systeem, met ruim 400 bronnen en bronzones en talrijke bronbeken die hieruit ontspringen. Dit bronsysteem, het omvangrijkste in Nederland, vormt de basis voor rijkgeschakeerde grondwaterafhankelijke natuur van bijzondere kwaliteit (o.a. Van der Werf, 1991) met voor Nederland bijzondere soorten zoals hangende (*Carex pendula*) en slanke zegge (*C. strigosa*), geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) en de iconische vuursalamander (*Salamandra salamandra*). Het gebied is aangewezen als Natura 2000-gebied vanwege het voorkomen van de grondwaterafhankelijke habitats (sub)typen kalktufbronnen (H7220; 90% van het Nederlandse aandeel), beekbegeleidende alluviale bossen (H91EoC) en eiken-haagbeukenbossen (heuvelland) (H916oC) en biedt mogelijkheden voor herstel (De Mars et al., 2016) en uitbreiding van kalkmoerassen (H7230) (Bijlsma et al., 2014). Als instandhoudingsdoelstelling voor de habitattypen geldt verbetering van de kwaliteit door het terugdringen van verdroging en eutrofiëring. De huidige staat van instandhouding is matig tot zeer ongunstig (Janssen & Bijlsma, 2019). Een belangrijke opgave om de doelstellingen te realiseren is het terugdringen van vermestende stoffen (nitraat en sulfaat) in

het grondwater, afkomstig van atmosferische depositie en uitspoeling uit cultuurgronden. Gebleken is dat denitrificatie van nitraat, dat vanuit lössgronden uitspoelt naar het grondwater, vrijwel afwezig is in Zuid-Limburg (Hendrix & Meinardi, 2004). De ernst van de nutriëntenbelasting wordt benadrukt in de toewijzing van een 'sense of urgency' voor watermaatregelen in het Natura 2000-aanwijzingsbesluit.

Om de relaties vast te stellen tussen nutriëntenbelasting en landgebruik in intrekgebieden en de concentraties en fluxen in de bronnen is een modelstudie uitgevoerd voor het intrek- en brongebied van het Bunder- en Elslooërbos, waarin de beschikbare systeemkennis is geïntegreerd. In de modelstudie wordt eerst de water- en nitraatuitspoeling vanuit de wortelzone berekend, per hectare en in de tijd. Vervolgens wordt de nitraatbelasting bij uittreding in de bronnen bepaald (Van de Weerd, 2018). Recent onderzoek (Aggenbach et al., 2020) benadrukt het belang van een dergelijke studie.

Dit artikel beschrijft het systeem en het gebruikte model en presenteert de modelresultaten met een aantal toekomstscenario's, die de resultaten in context plaatsen en het (potentiële) effect van maatregelen op de nitraatconcentratie in de bronnen toont. Er wordt een eerste inschatting gemaakt van de risico's van nitraat- en sulfaatfluxen op de kwaliteit van de habitattypen. Dit wordt bekeken in samenhang met de stikstofdepositie.

nutriënten
modellering
stroombanen
kalktufbron
kalkmoeras

H. (Rikje) van de Weerd

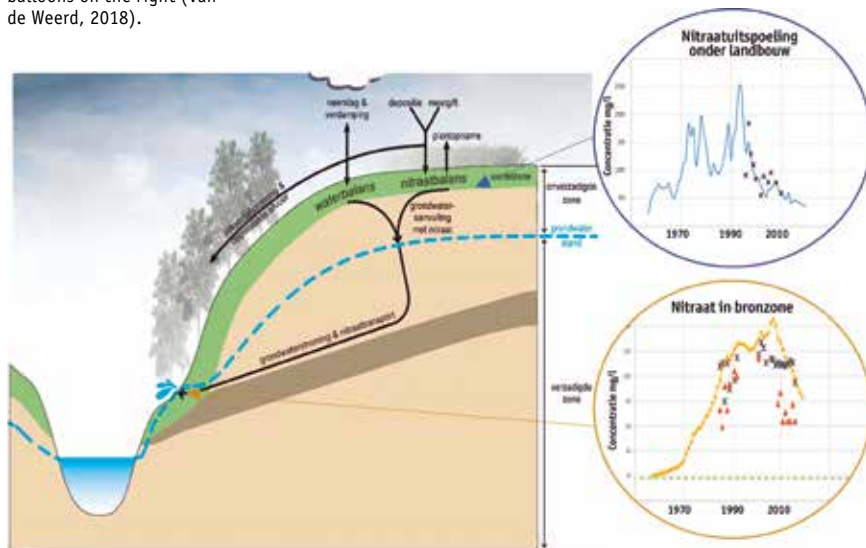
Rechobot – Water & Kennis, Eykmanstraat 1, 6706 JT Wageningen, rikje.vandeweerd@rechobot.nl

L. (Leo) Spoormakers Provincie Limburg

Foto **Leo Spoormakers**. Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) in een kalktufbron.

Figuur 1 Schematische dwarsdoorsnede van het studiegebied met een weergave van onderdelen en processen van het modelinstrumentarium. De berekende en gemeten concentraties in de uitspoelingszone (1,5 m -maaiveld) en bronzone zijn weergegeven in de ballonnen rechts (Van de Weerd, 2018).

Figure 1 Schematic cross-section of the study area with a representation of parts and processes of the model instrumentation. Calculated and measured concentrations in the leaching zone (1.5 m below ground level) and spring zone, are shown in the balloons on the right (Van de Weerd, 2018).



Systeembeschrijving

Aan de basis van het ecohydrologisch functioneren van het Bunder- en Elslooërbos ligt de geohydrologische opbouw. De terrashelling in het gebied vormt de westelijke begrenzing van het Centraal Plateau. Het gebied is bedekt met lösspakketten. In de ondergrond liggen afwisselend Pleistocene en Tertiaire afzettingen, die een karakteristieke opeenvolging van grind-, zand- en kleilagen vormen (figuren 1, 2a en 2c). Dwars door het gebied lopen twee geologische breuken, die hebben geleid tot een markante driedeling, met vooral grote geohydrologische verschillen tussen deelgebied 1 ten noorden en deelgebied 2 en 3 ten zuiden van de Schin op Geulbreuk (figuur 2a).

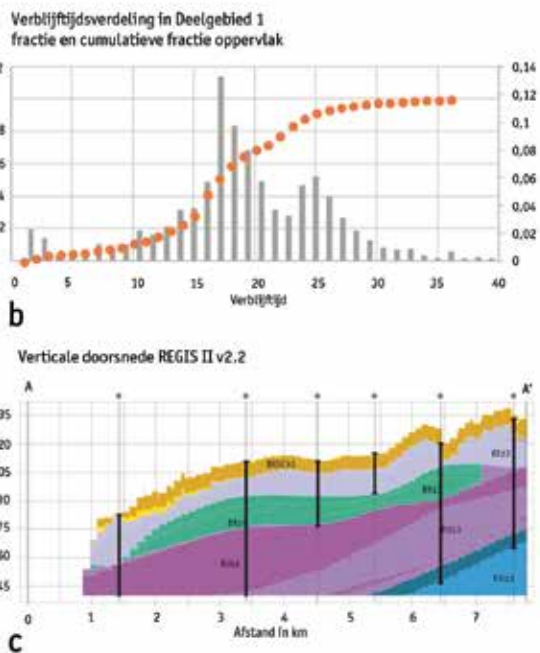
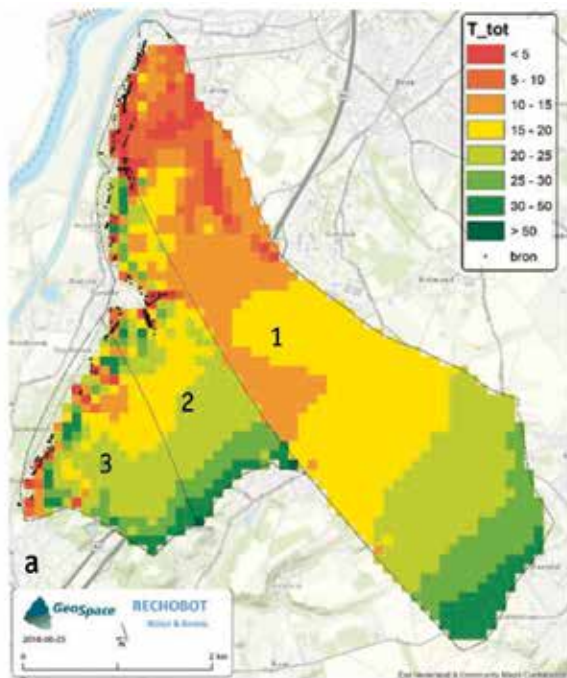
Over ondoorlatende kleilagen in de ondergrond stroomt het grondwater in noordwestelijke richting en dagzoomt in honderden bronnen bij de aansnijding van de kleila-

gen in de terrashelling. De bronnen worden gevoed vanuit het freatisch watervoerend pakket boven de kleilaag. De drie deelgebieden kennen grote verschillen in debieten, verblijftijden en samenstelling van het grondwater. In het noordelijke gebied is sprake van een sterke grondwaterstroom, uitmondend in een groot aantal bronnen. Door de kalkrijke lösslaag raakt infiltrerend grondwater oververzadigd met kalk (pH 7,5-8), dat bij uitstroom in de bronnen neerslaat in de vorm van kalktuf. In de zuidelijke deelgebieden neemt de dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket af en is de lösslaag tot grote diepte ontkalkt, met als gevolg een geringere toestroom van minder kalkrijk grondwater (pH 6-7) (Smolders et al., 2011).

Op basis van de geologie zijn de contouren van het intrekgebied, met verschillende deelgebieden, afgeleid. Het intrekgebied is ca. 1500 ha groot. Deelgebied 1 is met ca. 1000 ha het grootst. Voor dit gebied wordt op basis van het gemiddeld neerslagoverschot van 200 mm/j een infiltratie van ca. 67 l/s aan maaiveld ingeschat, wat overeen lijkt te komen met de geschatte afvoer uit het gebied (de Mars et al., 2009). Het intrekgebied bestaat voor 60% uit agrarische gronden (akkerbouw en veeteelt) en verder uit bedrijventerrein, woningen en infrastructuur. Het areaal grondwaterafhankelijke natuur binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied is ca. 27 ha (Provincie Limburg, 2020). Hiervan wordt naar schatting ca. 20 ha gevoed vanuit deelgebied 1. Hieruit kan een gemiddelde kwelflux voor deelgebied 1 berekend worden van ca. 26 mm/d.

Historische ontwikkeling van de waterkwaliteit

Voor 1960 was de nitraatconcentratie vermoedelijk rond 10 mg/l (Van Montfoort & Huizer, 2011). In 1984 was de nitraatconcentratie in de bronnen opgelopen tot rond de



Figuur 2 a) Het studiegebied inclusief bronnen en deelgebieden in zijn omgeving (links Maas en Julianakanaal, rechtsboven Beek), met in kleur de totale verblijftijden (T-tot in jaren) van regenwater van infiltratie tot uittreding in de bron. b) Verblijftijdsverdeling in jaren in deelgebied 1. c) Geologische opbouw van deelgebied 1 (dwarsdoorsnede NW-ZO, Regis), met de boringen waarop deze is gebaseerd. Van boven naar beneden het lössdek, de maasafzettingen, de Bredazanden en de ondoorlatende Rupelklei dat de basis vormt van het watervoerend pakket (donkerpaars) (Bouwmeester & Van de Weerd, 2018)

60 mg/l (Corten & Weerts, 1987). In 2002 bedroeg deze in het noordelijk deel gemiddeld 127 mg/l. Daarna is een daling ingezet (figuur 1). In de zuidelijke clusters (deelgebied 2 en 3) nam de gemiddelde nitraatconcentratie nog toe tot ca. 88 mg/l in 2011, waarna er sprake lijkt van een lichte daling (Van de Weerd, 2018; meetnet Provincie Limburg). De uitspoeling van nitraat vanuit landbouwbodems is sterk gedaald (Van de Weerd, 2018), van meer dan 150 mg/l in 1987 tot 60 mg/l in 2010 (figuur 1). Het LMM-meetnet voor de lössregio laat zien dat deze afname doorzet tot waarden rond de 50 mg/l. De hoeveelheid sulfaat in het bronwater daalt licht, van gemiddeld 90 mg/l in 1984 (Corten & Weerts, 1987) tot 86 mg/l in 2001 (Hendrix & Meinardi, 2004) en recent tot gemiddeld 73 mg/l (meetnet Provincie Limburg 2009-2018). Voor

het Centraal Plateau wordt een gemiddelde uitspoeling onder landbouw van ca. 100 mg/l sulfaat gevonden (Bodemvochtmeetnet Limburg, 1987-2010). Uitspoeling uit de bovengrond is daarmee ook voor sulfaat een aanmerkelijke bron.

Ecologische randvoorwaarden en knelpunten

De nitraatconcentraties in het grondwater van het Bunder- en Elslooërbos zijn tegenwoordig ca. 8 keer hoger dan in de situatie van voor 1960. Welke nitraatconcentraties in het grondwater toelaatbaar zijn voor het bereiken van de instandhoudingsdoelstellingen is niet voor elk habitatype duidelijk. Voor het habitatype kalktufbronnen is in een vergelijkende studie (De Mars

Figure 2 a) The study area including springs and sub-areas in its surrounding area (on the left river Meuse and Juliana Canal, top right Beek), in colour the total residence times (T-tot in years) of rainwater from infiltration to recharge in springs. b) Residence time distribution in years in sub-area 1. c) Geological structure of sub-area 1 (cross-section NW-SE, Regis), with drillings on which it is based. From top to bottom: the loess cover, Meuse deposits, Breda sands followed by the impermeable Rupel clay that forms the base of the aquifer (dark purple layer) (Bouwmeester & Van de Weerd, 2018)

et al., 2016) in West-Europa gevonden dat de grenswaarde van nitraat voor behoud en verbetering ligt bij resp. 28 mg/l en 18 mg/l. Paradoxaal bij kalktufbronnen is dat toegenomen bemesting enerzijds kalktufvorming bevordert, omdat vanuit de lössbodem meer calcium en bicarbonaat in oplossing gaat, terwijl een verhoogde nitraatbelasting anderzijds de mosflora beïnvloedt, waarbij is vastgesteld dat een kritische soort als geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) sterk afneemt (De Mars et al., 2016). Deze soort is in kalktufbronnen een belangrijke schakel in de biogeogene vorming van poruze kalktuf, die bijdraagt aan de habitatdiversiteit voor karakteristieke macrofauna.

Voor andere habitattypes zijn geen grenswaarden beschikbaar en voor het Bunder- en Elsllooërbos wordt voorsnog een pragmatische grenswaarde gehanteerd van 25 mg nitraat/l (WHO drinkwaternorm). Voor het bepalen van exacte grenswaarden speelt een complex aan factoren een rol, zoals de interactie tussen verschillende

vermestende stoffen en de aanwezigheid van organische bodems (Aggenbach et al., 2020; De Mars et al., 2017).

De hoge belasting met oxiderende meststoffen in het toestromende grondwater (en ook door atmosferische depositie) heeft verschillende negatieve gevolgen voor de grondwaterafhankelijke habitattypen in het Bunder- en Elsllooërbos. Door eutrofiëring treedt verruiging op met snelgroeïende soorten als grote brandnetel, die karakteristieke soorten van bronnen en bronbossen overgroeien. Nitraat en sulfaat in het grondwater kunnen bijdragen aan interne eutrofiëring door de afbraak van organisch materiaal en mobilisatie van fosfaat. Op termijn kan aanvoer van nitraat en sulfaat leiden tot afbraak van de moerig-venige bodems van bronbossen, met als gevolg verlies aan kwaliteit van de bronbosvegetatie. Voor de vuursalamander zijn er aanwijzingen dat verhoogde nitraatgehalten in de voortplantingswateren het immuunsysteem van de soort aantast (Spitzen-Van der Sluijs et al., 2013).

Modelonderzoek

Methode

Voor deze studie is een modelinstrumentarium (zie kader) gebruikt, waarin het nitraattransport van de wortelzone naar de bronnen wordt berekend met een stromingsmodel. Dit model wordt gevoed met output uit een uitspoelingsmodel voor de wortelzone. Op basis van meetgegevens van het studiegebied zijn beide modellen gekalibreerd zodat verleden en heden zo goed mogelijk gerepresenteerd worden. Figuur 1 geeft de modeldomeinen van het uitspoelingsmodel en stromingsmodel weer. In het stromingsmodel wordt via stroombanen, met elk een specifieke reistijd, een relatie gelegd tussen landgebruik (100 x 100 m) en nitraatuitspoeling, en de nitraatconcentraties in de bronnen. De reistijden en de verdeling van de reistijden worden bepaald door de omvang van het intrekgebied, de doorlatendheid en

Modelinstrumentarium

Nitraatuitspoelingsmodel VATRAN (oorspronkelijk onderdeel van IwanH; Van der Toorn & Van de Weerd, 2011) 1D/Quasi 3D ruimtelijk model (GIS) waarin beschikbare regio gebonden informatie (100x100 m) wordt ingevoerd (neerslag, verdamping, bemesting, depositie, landgebruik variërend door de tijd heen, met grondsoort, hoogte). De nitraatuitspoeling en grondwateraanvulling vanuit de wortelzone (1,5 m) wordt per modelcel op dagbasis berekend. Het model is geactualiseerd tot 2016 voor het studiegebied.

Stomingsmodel: Smingle. Het intrekgebied wordt benaderd met een set van stroombanen waarin water en nitraat stationair naar de bronnen stroomt. In de bronzone mengen deze banen. Elke stroombaan heeft zijn eigen unieke reistijd. De reistijden zijn bepaald met een nieuw ontwikkelde methode (Bouwmeester & Van de Weerd, 2018) hierbij is gekalibreerd met tritiumdata. Er is uitgegaan van 1 watervoerende laag.

de dikte en opbouw van het watervoerend pakket en van de onverzadigde zone (figuur 2).

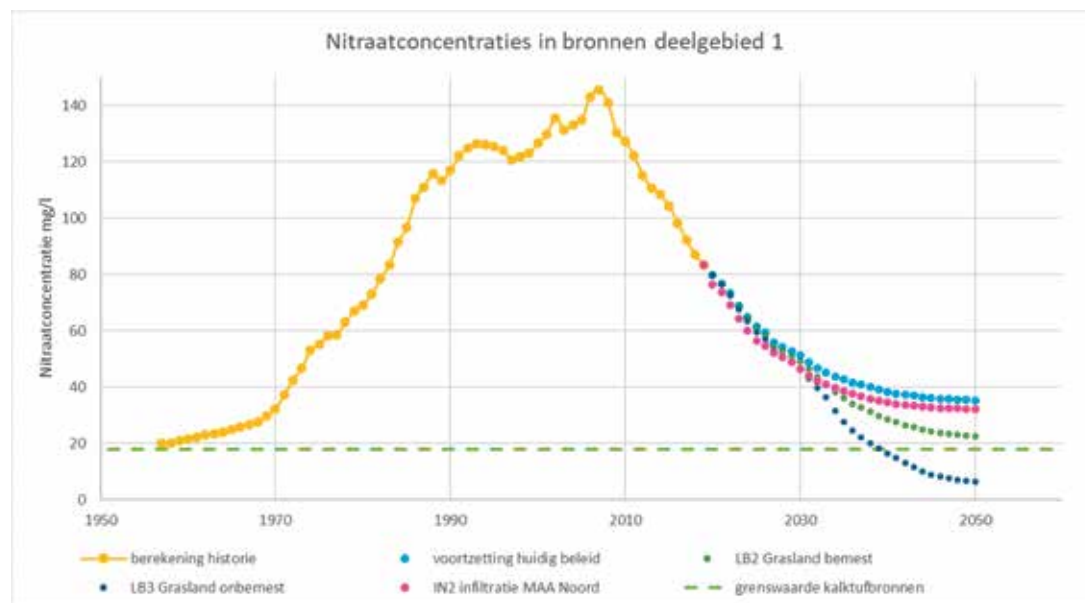
Resultaten

De uitkomsten van het model worden toegelicht aan de hand van het noordelijke deelgebied (deelgebied 1) van het geohydrologisch systeem van het Bunder- en Elslooërbos. In deelgebied 1 komen de meeste kalktufbronnen voor. De gemiddelde en mediane verblijftijd van het grondwater ligt rond de 17 jaar. Grondwater dat in 2021 uittreedt is voor 80% geïnfiltrerd in de periode 1995 - 2011 (cumulatieve fractie 0,1-0,9).

Figuur 1 toont de berekende en gemeten nitraatuitspoeling vanuit landbouwgronden en de nitraatconcentratie in de bronnen. De sterke toename in het verleden en de recente afname van de nitraatconcentraties in de bronnen zijn in belangrijke mate te verklaren door de uitspoelingsconcentraties vanuit landbouwgrond. Sinds

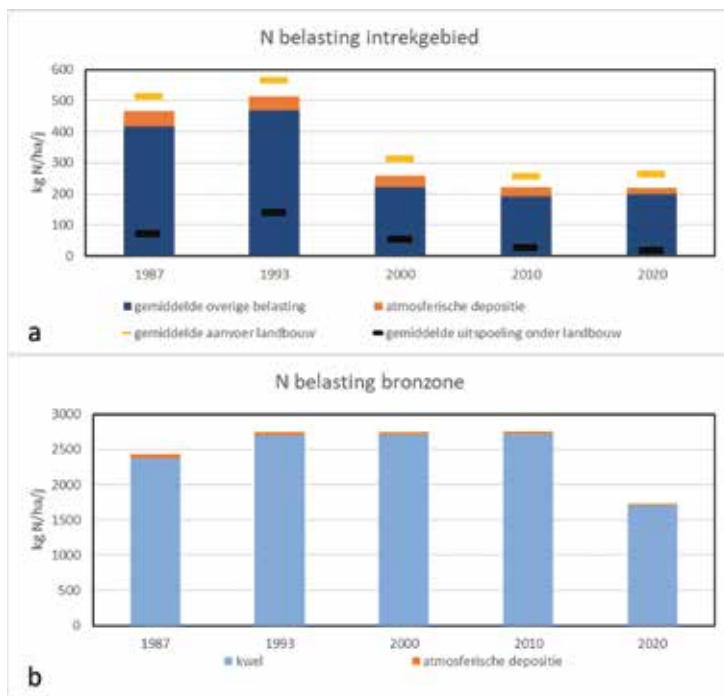
de eerste mestmaatregelen vanaf 1987 is het gebruik van mest steeds meer aan banden gelegd in Nederland (o.a. Van de Broek, 2005). In het studiegebied was pas vanaf ca. 1994 sprake van verminderde bemesting en een daling van de uitspoelingsconcentraties. De nitraatgehaltes in de bronnen reageerden daar vertraagd op en begonnen vanaf 2002 gestaag te dalen. Deze gestage daling geeft een gunstiger en hoopvoller beeld dan de recente Nederlandse rapportage aan de EU (Janssen & Bijlsma, 2019), waarin de staat van instandhouding van het habitatype kalktufbronnen als zeer ongunstig is beoordeeld vanwege de vrees voor toename van de nitraatbelasting door het uitblijven van maatregelen.

Om inzichtelijk te maken of en hoe de grenswaarde voor kalktufbronnen bereikt kan worden, zijn verschillende scenario's van landbouwmaatregelen doorgerekend (figuur 3). Het scenario van voortzetting van het huidige mestbeleid laat een voortgaande daling zien van de ni-



Figuur 3 Resultaten van scenarioberekeningen voor de nitraatconcentratie in de bronzone van deelgebied 1 (Van de Weerd, 2018).

Figure 3 Results of Scenario calculation for nitrate concentrations in the spring area of sub-area 1 (Van de Weerd, 2018).



Figuur 4 Overzicht van de stikstofbelasting in deelgebied 1 door de tijd heen. 1987, maximale atmosferische stikstofdepositie, 1993 maximale N-aanvoer in de landbouw. a) In het intrekgebied; als referentie is hier de gemiddelde aanvoer op landbouw en uitspoeling onder landbouw weergegeven. b) in de bronzone.

Figure 4 Overview of the nitrogen load in sub-area 1 over time. 1987, maximum atmospheric N-deposition, 1993 maximum N-supply in agriculture. a) From top to bottom: average N-load on arable land (line), atmospheric deposition, average load from other sources and average N-leaching under arable land (line). b) Spring zone.

traatconcentratie, maar de grenswaarde wordt in 2050 niet bereikt. Voor een significante extra daling zijn vergaande landbouwmaatregelen in het gehele intrekgebied nodig. Deze leiden pas 8 jaar na implementatie tot een daling. Gerekend vanaf 2020 wordt in 2030 de grenswaarde niet gehaald; voor 2050 is dat wel mogelijk. Bij toepassing van alleen uitspoelingsarme teelten (scenario bemest grasland) binnen het intrekgebied wordt de grenswaarde in 2050 benaderd. In het meest vergaande scenario, onbemest grasland, lijkt de grenswaarde bereikbaar. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen doorgerekend, namelijk het van het riool afkoppelen van verhard oppervlak bij Maastricht Aachen Airport en infiltratie van dit weinig nitraatbelaste regenwater naar het watervoerend pakket via een buffer. Berekend is dat deze verdunning

leidt tot een afname van de nitraatconcentratie met ca. 9% in deelgebied 1. Bij de maximaal haalbare afkoppeling in deelgebied 1 (niet getoond) kan dit toenemen tot 12%.

Impact van depositie en waterfluxen op natte natuur

Aanvoer van nutriënten naar natte natuur vindt plaats via kwel en atmosferische depositie. Met de stikstofgegevens uit het model en beschikbare depositiegetallen kan de totale belasting van stikstof in de bron- en kwelzones in de tijd in beeld gebracht worden. Figuur 4 geeft een overzicht van de stikstofaanvoer in zowel het intrekgebied als de bronzone van deelgebied 1. De totale belasting van stikstof in de bronzone is 5 tot 12 keer hoger dan de stikstofbelasting in het intrekgebied. Doordat water afkomstig uit een groot intrekgebied (1000 ha) een relatief kleine bronzone (20 ha) voedt, is de gemiddelde kwelflux (26 mm/d) groot en daarmee ook de nitraatvrucht. Vanuit het intrekgebied wordt niet de totale belasting afgevoerd. Er is sprake van verlies via denitrificatie in de bodem maar vooral ook van afvoer via gewas op landbouwgronden. De berekende uitspoeling onder landbouwgrond is een goede weergave van de hoeveelheid stikstof die met het geïnfilterde water op weg gaat richting de bronnen.

Stikstofbelasting van vegetatie

De kritische depositiewaarden van stikstof voor de habitattypen kalkmoerassen en beekbegeleidende vochtige alluviale bossen betreffen resp. 16 en 26 kg N/ha/j (van Dobben *et al.*, 2012). Door de regionale daling van de atmosferische depositie vanaf 1987 van 49 tot ca 18 kg N/ha/j wordt deze kritische depositiewaarde niet of nauwelijks meer overschreden. De stikstofbelasting via kwel is echter tot meer dan een factor 100 hoger in dit gebied (figuur 4b). De stikstofbe-

lasting van de kwelafhankelijke natuur is dus extreem hoog en wordt bepaald door de aanvoer via kwelwater. Om het effect hiervan goed in te schatten is nader onderzoek nodig. Bij atmosferische depositie komt de stikstof op de bodem terecht direct op de plek van de vegetatie en zal de toplaag aanrijken. In permanent natte situaties met significante kwel in een brongebied zal water, met daarin nutriënten, ook afgevoerd worden. De blootstelling van de vegetatie zal dan afhangen van de grootte van deze aan- en afvoer. In situaties met hoge kwelfluxen wordt de vegetatie maximaal blootgesteld aan de concentratie van het aangevoerde grondwater, daarboven zal de blootstelling niet meer toenemen met toenemende kwelflux. In het werk van Aggenbach *et al.* (2020) wordt hier nog geen rekening mee gehouden.

Afbraak van veen en moerige bodems

Drainage ten behoeve van onderhoud aan de spoorlijn heeft geleid tot verdroging, waardoor hellingveenpakketten in het gebied zijn verdwenen. Dit benadrukt dat tegengaan van verdroging van veen- en moerige bodems van groot belang is. Verschillende onderzoeken (o.a. Aggenbach *et al.*, 2020) wijzen ook op risico's van afbraak van veen en organische stof onder anaerobe (natte) omstandigheden bij aanvoer van oxiderende verbindingen. Er zijn nog geen concrete aanwijzingen voor significante anaerobe veenafbraak in het gebied. Omdat zeker is dat de aanvoer van oxiderende verbindingen voorlopig voortduurt én hoog blijft is het van belang om inzicht te krijgen in hoeverre dit plaatsvindt. Ook vanwege mogelijke potenties voor het habitatype kalkmoerassen is deze inschatting van belang. Anaerobe afbraak van veen en organische stof vindt plaats onder specifieke biofysische omstandigheden (temperatuur, pH, voldoende opgeloste organische stof; Tecon & Or, 2017). De anaerobe afbraak van nitraat en organisch materiaal (in kg N en C) kan praktisch gelijk-

gesteld worden en is dus maximaal ca. 1700 kg C/ha/jaar (belasting in 2020) als al het nitraat gebruikt zou worden. Dit komt overeen met een veenafbraak van 1,7 mm/jaar (droge bulkdichtheid 100 kg C/m³). In Nederland vinden Van Beek *et al.* (2009) een denitrificatie van 170 kg N/ha/j in bemest grasland op veenbodem en Van den Akker (2017) meet anaerobe afbraaksnelheden van 6 kg C/ha/j in hoogveen, bij vergelijkbare nitraatgehaltes als in onze studie. In het gebied wordt wel nitraat gevonden in water dat door organische bodems uittreedt. Mogelijk kan de omzetting niet zo snel gaan vanwege de snelle doorstroming van het veen. In Nederland is al eerder aangetoond dat bij sterke doorstroming weinig anaerobe veenafbraak plaatsvond in een situatie waar dit wel verwacht werd (Van den Akker *et al.*, 2007). Ook zijn er mogelijk grote verschillen in plaats en tijd door variërende biofysische omstandigheden. Nader onderzoek naar anaerobe veenafbraak onder verschillende omstandigheden kan hier meer zekerheid over geven en meer inzicht geven in de impact van oxiderende meststoffen.

Conclusies

Dit onderzoek is een van de eerste Nederlandse modelstudies waarin toestroom van vermest grondwater naar kwelafhankelijke natuur is onderzocht van inziging tot uitreding in bron- en kwelgebieden. Met een inschatting van de reactiviteit van het watervoerend pakket, een bepaling van de belasting aan het maaiveld in de tijd en een berekening van de grondwater- en nutriëntenstroming geeft het model inzicht in de toekomstige nitraatbelasting. Aan het Bunder- en Elslooërbos is een 'sense of urgency' toegekend vanwege vroeg gesignaleerde hoge nitraatconcentraties. Verminderde uitspoeling vanuit de landbouw in de afgelopen decennia leidt in het grondwater al tot verbetering. Toch blijven de opgaven voor behoud en verbetering van de natuur hier heel groot. Alleen met

heel vergaande maatregelen in de landbouw is de voor het gebied vastgestelde grenswaarde voor nitraat in de bronnen op termijn haalbaar.

De kritische depositiewaarden worden niet meer overschreden. Een punt van aandacht daarbij is dat de nutriëntbelasting voorlopig hoog blijft. Water met daarin (gemobiliseerde) nutriënten zal echter ook afgevoerd worden. Er is nader onderzoek nodig naar de impact hiervan, gericht op systemen met een hoge kwelflux. Er is ook onderzoek nodig naar anaerobe veen- of organische stofafbraak als gevolg van vermesting met nitraat en sulfaat.

Niet in alle situaties kunnen de problemen nu al gesignaleerd worden. In gebieden waar nu geen nitraat in het kwel-

water gevonden wordt, bijvoorbeeld stroomafwaarts in het beekdal, zouden nitraatgehaltes snel kunnen oplopen zodra de reactiviteit van de ondergrond is uitgeput. Voor dit type gebieden liggen mogelijk ook grote opgaven voor behoud van de natuur die we nog niet goed in beeld hebben. Bij bescherming van kwelafhankelijke natuur is het niet voldoende om alleen maatregelen te treffen in het gebied direct rond het betreffende natuurgebied. Daarmee kan alleen de kwaliteit van het relatief jonge water beïnvloed worden. Deze studie illustreert dat er inzicht nodig is in het hele infiltratiegebied om maatregelenpakketten voor blijvende bescherming van kwelafhankelijke natuur af te leiden.

Summary

Impact of eutrophic groundwater on seepage-dependent nature. Model study for the Bunder and Elslooërbos.

Rikje van de Weerd & Leo Spoomakers

Nutrient modelling, groundwater, flow paths, petrifying tufa spring, spring forest

Can the decline of the valuable wetlands in the Bunder and Elslooërbos be reversed with targeted policy? And how? With high loads of nutrients in spring water, eutrophication is a major threat. The loads and paths of this water has been visualized with a model. Future concentrations and fluxes in springs and the effect of additional measures have been explored using scenarios. The main N load is from agriculture in the catchment area. Loads have decreased from 1993 onwards due to mature policy. Spring concentrations in sub area 1 (average travelling time: 17 years) are decreasing only since 2002, after 9 years. Based on scenario calculations a further de-

crease of source concentrations is expected. However, to reach reference goals for petrifying springs timely rigorous measures in agriculture are needed together with infiltration measures. Atmospheric deposition has reached the critical values for habitats. However, N-loads in the high seepage flux (average 26 mm/d) are a hundredfold. Despite they possibly only partly impact nature, this may form a serious threat for the wetlands, and more research is needed. This also applies to the rate of anaerobic peat or organic matter degradation as a result of seepage with nitrate and sulphate. This study illustrates that insight in the entire infiltration area is crucial for determining measures for sustainable protection of seepage-dependent nature.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., J.J. Nijp, P. Huyghe *et al.*, 2020.** Invloed van met nutriënten verrijkt grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuur Eigenaren (VBNE). Rapport OBN-242-BE.
- Akker, J.J.H. van den R.F.A. Hendriks, J.R. Mulder, 2007.** Invloed van infiltratiewater via onderwaterdrains op de afbraak van veengrond. Helpdeskvraag HD2057_Onderwaterdrains_vanDrunen_1106 Wageningen, Alterra, Wageningen UR. Rapport 1597.
- Akker, J. van den, R. Hendriks en B. van Delft, 2017.** De organische veenbasis. Afbraakprocessen in relatie tot hydrologie. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuur Eigenaren (VBNE). Rapport OBN-218-NZ.
- Beek, C.L. van, C. van der Salm, A.C.C. Plette *et al.*, 2009.** Nutrient loss pathways from grazed grasslands and the effects of decreasing inputs: experimental results for three soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 83: 99-110.
- Bijlsma, R.J., J.A.M. Janssen, E.J. Weeda *et al.*, 2014.** Gunstige referentiewaarden voor oppervlakte en verspreidingsgebied van Natura 2000-habitattypen in Nederland. Wageningen. Wettelijke Onderzoekstaken natuur&Milieu, Wageningen UR. WOT-rapport 125.
- Bouwmeester H. & H. van de Weerd, 2018.** Reistijd van grondwater door de verzadigde en onverzadigde zone – Intrekgebied van het Bunder- en Elsllooërbos. In opdracht van Provincie Limburg.
- Broek, J.A. van den, 2005.** Sturing van stikstof- en fosforverliezen in de Nederlandse landbouw: een nieuw mestbeleid voor 2030. Wageningen. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur&Milieu, Wageningen UR. WOT-rapport 2.
- Corten J.G.J.M. & H.J.T. Weerts, 1987.** De geologie en de samenstelling van het grondwater op de dalhelling tussen Bunde en Elslloo. *Natuurhistorisch maandblad* 76(9): 159-164
- Dobben, H.F. van, R. Bobbink, D. Bal *et al.*, 2012.** Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Wageningen. Alterra, Wageningen UR. Rapport 2397.
- Hendrix, W.P.A.M & C.R. Meinardi, 2004.** Bronnen en bronbeken van Zuid-Limburg Kwaliteit van grondwater, bronwater en beekwater. RIVM-rapport 500003003
- Jansen, J.A.M. & R.J. Bijlsma (Eds.), 2019.** Habitatrichtlijn rapportage Habitattypen. Technische achtergrondrapportage. Wageningen. Wettelijke Onderzoekstaken Technical Report.
- Mars, H. de, P. Stofmeel & E.W.J.M. van Rijsselt, 2009.** Antropogene invloeden en systeemanalyse Natura 200-gebied Bunder- en Elsllooërbos. Maastricht. Royal Haskoning.
- Mars, H. de, B. van Delft, E. Weeda *et al.*, 2015.** Nitraatbelasting van Zuid-Limburgse hellingmoerassen. *De Levende Natuur* 116(6): 289-295.
- Mars, H. de, B. van der Weijden, G. van Dijk *et al.*, 2016.** Towards thresholds values for nutrients. Petrifying springs in South-Limburg (NL) in a Northwest European context. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuur Eigenaren (VBNE). Rapport OBN-210-HE.
- Mars, H. de, B. Possen, B. van Delft *et al.*, 2017.** Herstel van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, het kalkmoeras in het bijzonder. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuur Eigenaren (VBNE). Rapport OBN-213-HE.
- Montfoort, R. van & S. Huizer, 2011.** Geohydrologisch model IwanH. Arcadis. In opdracht van Provincie Limburg.
- Provincie Limburg, 2020.** Ontwerp-Natura 2000-plan Bunder- en Elsllooërbos (153) 2021-2027. Maastricht.
- Smolders, A., M. van Mullekom, J. Loermans *et al.*, 2011.** Bronnen en vochtig alluviaal bos in het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsllooërbos. Nijmegen. B-ware Research Centre.
- Spitzen-van der Sluijs, A., F. Spikmans, W. Bosman *et al.*, 2013.** Rapid enigmatic decline drives the fire salamander (*Salamandra salamandra*) to the edge of extinction in the Netherlands. *Amphibia-Reptilia* 34: 233-239
- Tecon, R. & D. Or, 2017.** Biophysical processes supporting the diversity of microbial life in soil. *FEMS Microbiology Reviews*, fux039, 41, 2017, 599–623.
- Toorn, L. van der & H. van de Weerd, 2011.** Nitraatuitspoelingsmodel IWANH. Arcadis. In opdracht van Provincie Limburg.
- Weerd, H. van de 2018.** Nitraat in de kalktufbronnen van het Bunder- en Elsllooërbos – in verleden, heden en toekomst. Een modelstudie ter onderbouwing van toekomstige maatregelen. Rechobot – Water & Kennis. Rapport 2018-01. In opdracht van Provincie Limburg.
- Werf, S. van der (1991).** Bosgemeenschappen. Natuurbeheer in Nederland deel 5. Wageningen. Pudoc.