

De waterkwaliteit van de bronsystemen in het Bunder- en Elsloërbos: Bronnen van zorg

Alfons Smolders, Johan Loermans & Mark van Mullekom, Onderzoekcentrum B-WARE, Radboud Universiteit Nijmegen, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, e-mail: a.smolders@b-ware.eu

Mark Jalink, KWR Watercycle Research Institute, Groningenhaven 7, 3433 PE, Nieuwegein

Het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsloërbos staat bekend om zijn prachtige hellingbossen met bronnetjes en beekjes. In de noordelijke brongebieden tussen Geulle en Elsloo liggen zogeheten kalktufbronnen, waarin het bronwater bij uittreding kalk afzet. De nitraat- en sulfaatconcentraties van het uittredende bronwater zijn de laatste decennia sterk gestegen. Tot voor kort was onduidelijk in hoeverre dit de kalktufvorming en de vegetatie en fauna in het gebied beïnvloedt. Uit het onderzoek dat in dit artikel wordt besproken blijkt dat de kalkrijkdom zijn oorzaak vindt op het Centraal Plateau waar het water dat in de hellingbossen uittreedt infiltreert. Ook de vervuiling is voornamelijk afkomstig van het Centraal Plateau. Afsluitend worden de mogelijke effecten op de flora en fauna, waaronder de in Nederland zeldzame Vuursalamander (*Salamandra salamandra*), kort beschreven.

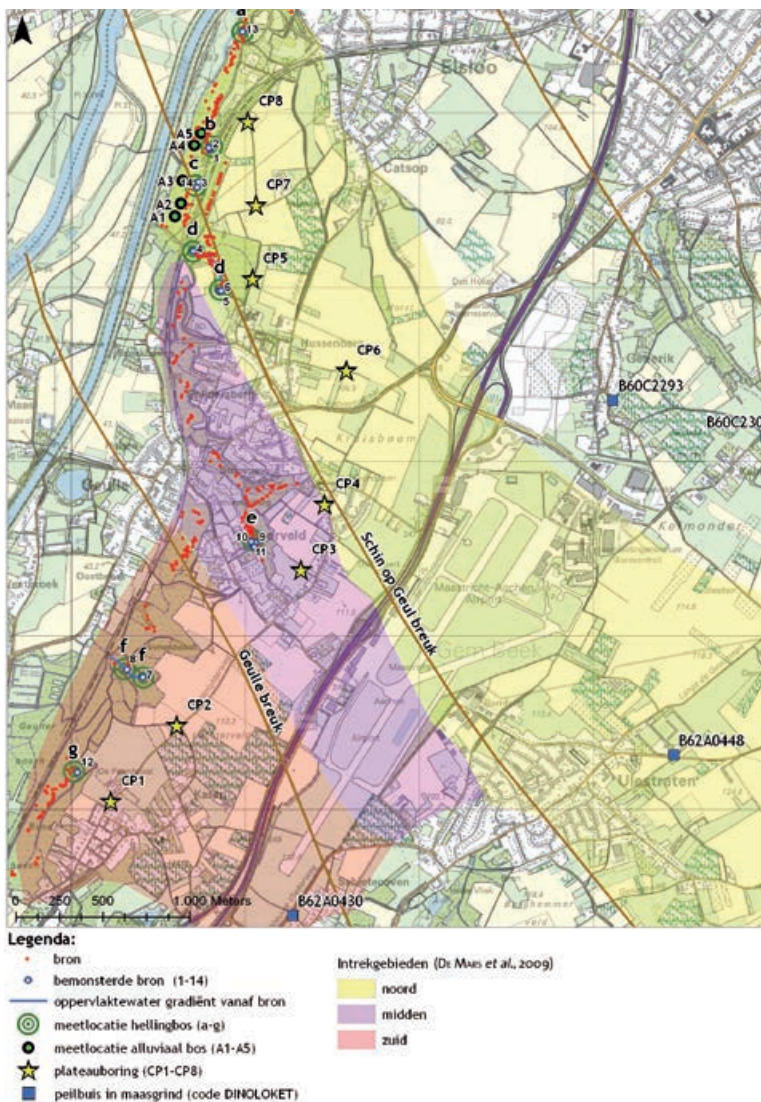
GEBIEDSBESCHRIJVING

Het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsloërbos omvat de dalhelling van het Maasdal tussen Bunde en Elsloo met een klein stuk van de natte terreindelen grenzend aan de hellingvoet. De belangrijkste ecologische waarden van het gebied worden gevormd door de beekbegeleidende bossen en de kalktufbronnen (KIWA WATER RESEARCH & EGG-CONSULT, 2007). Erg bijzonder zijn het Goudveil-Essenbos (CARICI REMOTAE-FRAXINETUM) en Vogelkers-Essenbos (PRUNO-FRAXINETUM) [figuur 1]. De vele bronnen die het gebied rijk is, komen in mozaïek voor met deze vochtige alluviale bossen. Een deel van de bronnen uit het noordelijke deelgebied tussen Geulle en Elsloo kwalificeert als het zeer bijzondere habitatype 'Kalktufbronnen met tufsteenformatie' (CRATONEURION). In Nederland komt dit habitatype nog maar op een paar plekken in Zuid-Limburg voor (VAN DORT *et al.*, 2012). Om in aanmerking te komen voor dit habitatype moet aan twee voorwaarden worden voldaan. In de eerste plaats moet er actief kalktufvorming plaatsvinden. In de tweede plaats moeten er bronmosvegetaties aanwezig zijn met ten minste een van de typische bronmossoorten: Geveerd diknermos (*Palustriella commutata*), Gewoon diknermos (*Cratoneuron filicinum*) en Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*) (VAN DORT *et al.*, 2012). De bossen ten zuiden van Geulle vormen tevens het leefgebied van de zeldzame Vuursalamander (VAN BUGGENUM *et al.*, 2009). Het Centraal Plateau is het inzigtgebied voor het grondwater dat op de helling en aan de hellingvoet uittreedt in de vele bronnetjes en kwelplekken. De bronnen en kwelplekken liggen op uiteenlopende niveaus op de helling [figuur 2], veelal in erosiedalletjes.



FIGUUR 1

Indruk van de bijzondere vegetaties in het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsloërbos, met a) hellingbos met hellingbeekje en bloeiend Daslook (*Allium ursinum*) (foto: Mark van Mullekom), en b) Goudveil-Essenbos vegetatie (CARICI REMOTAE-FRAXINETUM) langs een bronbeek met Paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*) en Bittere veldkers (*Cardamine amara*) (foto: Johan Loermans).



AANLEIDING VOOR HET ONDERZOEK

Staatsbosbeheer streeft als beheerder van het gebied naar behoud en uitbreiding van de vochtige alluviale bossen en kalktufbronnen (PROVINCIE LIMBURG, 2008). Uit eerder onderzoek is gebleken dat het uittredende bronwater wordt gekenmerkt door hoge nitraat- en sulfaatconcentraties (CORTEN & WEERTS, 1987). Nitraat is een belangrijke voedingsstof voor planten en kan direct voor vervuiling zorgen. Een verhoogde belasting met sulfaat kan in natte systemen leiden tot fosfaatmobilisatie. Dit komt doordat sulfaat kan worden gereduceerd tot sulfide waarna het sulfide bindt aan ijzer waardoor aan ijzer gebonden fosfaat vrij kan komen in de bodem. De uitspoeling van eutrofiërende stoffen naar het grondwater vormt, naast verdroging, in potentie een van de belangrijkste bedreigingen voor de bronnen (KIWA WATER RESEARCH & EGG-CONSULT, 2007). In januari en februari 2011 werd door Onderzoekcentrum B-WARE onderzoek verricht (in opdracht van Staatsbosbeheer) naar de actuele kwaliteit van het in het Bunder- en Elsoërbos uittredende bronwater. Omdat het voor de hand ligt dat de verontreiniging van het grondwater plaatsvindt op het Centraal Plateau, werden ook van het Centraal Plateau monsters verzameld en geanalyseerd.

De instandhouding van de kalktufbronnen is sterk afhankelijk van chemische condities die bepalend zijn voor kalkafzetting, zoals de calcium- en bicarbonaatconcentraties van het grondwater. Het is on-

FIGUUR 2

Het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsoërbos met bijbehorende intrekgebieden voor de deelgebieden noord, Breuk en zuid (uit: De Mars et al., 2009). Tevens worden de verschillende onderzoekslocaties in de verschillende deelgebieden weergegeven.

duidelijk of de hoge nitraat- en sulfaatconcentraties invloed hebben op de processen die de kalkafzetting bepalen en tevens of er een effect is op de vegetatie in de bronbossen. In deze studie werd ook onderzocht of kalkafzetting nog steeds kan plaatsvinden of dat de kalkresten die worden aangetroffen het resultaat zijn van kalktufvorming in het verleden.

GEOLOGIE

De Mars et al. (2009) beschrijven de geologische opbouw van het gebied. De oudste afzettingen stammen uit het Krijt en bestaan achtereenvolgens uit de Formatie van Vaals (zeezandafzetting) en de Formatie van Gulpen en de Formatie van Maastricht (beide kalkafzettingen). In het Paleoceen werden kalkrijke afzettingen van de Formatie van Houthem afgezet. In het Oligoceen werden in een ondiepe zee zandige kleien of glauconiethoudende zanden afgezet behorende tot de Formaties van Tongeren en Rupel. De latere afzettingen uit het Mioceen zijn deels terrestrisch en deels marien en bestaan uit fijne zanden afgewisseld met bruinkoollagen en rivierafzettingen bestaande uit zand, klei en grind, behorende tot de Formatie van Breda.

Het reliëf van het Bunderbos is ontstaan in het Pleistoceen. Als gevolg van tektonische bewegingen na het ontstaan van de Alpen werden de Ardennen omhoog gedrukt waardoor de Maas zich diep in het landschap begon in te snijden. In perioden waarin de opheffing vertraagde vormde de Maas een vlakte waarin grind werd afgezet. Bij latere opheffingen herhaalde dit proces zich. Hierdoor ontstonden de zogenaamde terrassen, waarvan de afzettingen tot de Formatie van Beegden worden gerekend. De overgangen tussen de terrassen kenmerken zich door grote hoogteverschillen. Het Bunder- en Elsoërbos bevindt zich op zo'n terrasrand: de overgang van het Plateau van Schimmert naar het laagterras, waar de Maas nu stroomt.

Tijdens de laatste twee ijstijden, het Saalien en het Weichselien, werd vrijwel geheel Zuid-Limburg met löss bedekt (de Formatie van Bortel). Deze lössdeken, die een dikte van enkele decimeters tot meer dan 15 m heeft, leidde tot een vervlakking van het reliëf van het landschap. In het Bunder- en Elsoërbos zijn twee geologische breuken aanwezig (de Schin op Geul breuk en de Geulle breuk). Deze breuken hebben geleid tot een verschuiving van de bodemlagen. Hierdoor kan het gebied [figuur 2] worden onderverdeeld in drie deelgebieden te weten het gebied ten noorden van de Schin op Geul breuk (deelgebied noord), het gebied tussen de Schin op Geul breuk en de Geulle breuk (deelgebied midden) en het deelgebied ten zuiden van de Geulle breuk (deelgebied zuid).

Bepalend voor de aanwezigheid van de bronnen zijn ondoorlatende kleilagen in de ondergrond waarover het grondwater afstroomt. De-

FIGUUR 3

Het verschil tussen de bronnen in de deelgebieden, a) bemonstering van de bronnen, b) kalkafzetting ten noorden van de Breuklijn bij Geulle op grind en takjes, en c) de afwezigheid van kalktufvorming in het zuidelijk deel (foto's: Johan Loermans).



ze lagen dagzomen op de steilrand en het afstromende grondwater treedt hier dan ook uit. Aanvulling van het grondwater in het eerste (bovenste) watervoerende pakket vindt plaats door infiltrerend regenwater op het Plateau van Schimmert (onderdeel van het Centraal Plateau). Het water stroomt in het noordelijke deel af over de Klei van Boom (Formatie van Rupel) en in het zuidelijke deel over de Klei van Kleine Spouwen (Formatie van Rupel) en de Klei van Goudsberg (Formatie van Tongeren). Aanvankelijk werd gedacht dat de verschillende niveaus waarop de bronnen uitreden op de helling samenvielen met het dagzomen van verschillende kleilagen. Volgens DE MARS *et al.* (2009) is in elk deelgebied echter slechts één kleilaag aan te wijzen die de bronnen voedt. Het gaat hierbij steeds om de bovenste kleilaag, die in het deelgebied wordt aangetroffen. Het feit dat de bronnetjes in het noordelijke gebied op twee verschillende hoogten uitreden (circa 40 en circa 55 m +NAP) heeft volgens DE MARS *et al.* (2009) te maken met het feit dat de laag van de Klei van Boom in hoogte en dikte varieert.

Chemisch gezien is er sprake van een duidelijke tweedeling in de bronnen. Ten noorden van de Geulle Breuk is het grondwater kalkrijker wat leidt tot de afzetting van kalktuf in de hellingbeekjes die het bronwater afvoeren [figuur 3]. Dit wordt vaak toegeschreven aan het feit dat de Klei van Boom, waarover het grondwater hier afstroomt, kalkrijk is. Ten zuiden van de Geulle breuk is het bronwater relatief kalkarm.

KWALITEIT VAN HET BRONWATER

In tabel 1 wordt de gemiddelde samenstelling gegeven van het water uit de in 2011 geanalyseerde bronnen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende deelgebieden noord, midden (tussen de breuken) en zuid. Er treden grote verschillen in waterkwaliteit op. In het noordelijk deelgebied is sprake van zeer hard water met bicarbonaatconcentraties van rond de 6.000 µmol.l⁻¹. Deelgebied zuid wordt gekenmerkt door (veel) minder hard water (lagere pH en bicarbonaatconcentratie). Ook is het water hier armer aan calcium en magnesium dan in het noordelijke deelgebied. De gemeten sulfaatconcentraties

van het water zijn hoog (hoger dan 700 µmol.l⁻¹). De nitraatconcentraties zijn vrijwel overal extreem hoog met waarden die lokaal oplopen tot 2.000 µmol.l⁻¹.

De oudste meetwaarde die bekend is van het onderzoeksgebied werd gerapporteerd door MAAS (1959). Het monster werd verzameld in 1957. Hieruit blijkt dat er toen nog nagenoeg geen nitraat in het bronwater aanwezig was. Ook de sulfaatconcentratie was aanzienlijk lager dan de huidige concentraties. Hoewel niet precies wordt aangegeven waar het bronwater bemonsterd werd, doet de plaatsnaamindicatie 'Bunde (beek door Bronbos)' sterk vermoeden dat het om het zuidelijke deelgebied ging. Deze meting laat zien dat het bronwater in het Bunderbos in de jaren vijftig nog niet belast was met nitraat. De toen gemeten sulfaatconcentratie (488 µmol.l⁻¹) kan mogelijk als een achtergrondconcentratie worden gezien.

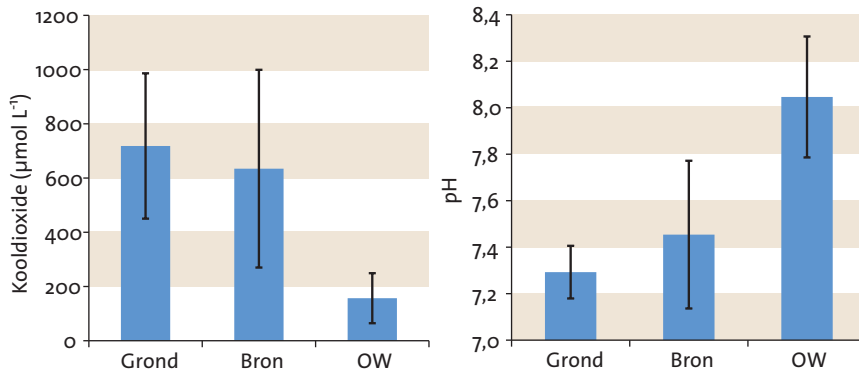
In april 1984 werden in het Bunderbos een 32-tal bronnen bemonsterd ten noorden van de Geulle breuk en een 15-tal bronnen ten zuiden van de Geulle breuk (CORTEN & WEERTS, 1987). De metingen lieten zien dat ook toen al zeer hoge nitraat- en sulfaatconcentraties werden gemeten van respectievelijk 1.071 en 906 µmol.l⁻¹ (gemiddelden van 32 locaties) voor de noordelijke locaties en respectievelijk 857 en 958 µmol.l⁻¹ (gemiddelden van twaalf locaties) voor de zuidelijke locaties. In 1984 was dus al sprake van sterk verhoogde nitraat- en sulfaatconcentraties in het grondwater en er bestonden toen geen belangrijke verschillen tussen de noordelijke en de zuidelijk bronnen.

HENDRIX & MEINARDI (2004) publiceerden analysedata uit 2001 voor de bronnen van het Bunderbos. Zij maten zeer hoge nitraatconcentraties voor de noordelijke bronnen (n=7) van gemiddeld 2.000 µmol.l⁻¹ (1.320-3.300 µmol.l⁻¹). Hiermee liggen de waarden dubbel zo hoog als

TABEL 1

Overzicht van de bronwaterkwaliteit. Alle waarden zijn gemiddelden en worden gegeven in µmol.l⁻¹. Tevens worden gemiddelde waarden gegeven uit eerdere onderzoeken.

Jaar	Deelgebied	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Bron
1956	Zuid	1656	321	2393	< 10	488	MAAS (1959)
1984	Noord			5606	1071	906	CORTEN & WEERTS (1987)
1984	Zuid			1475	857	958	CORTEN & WEERTS (1987)
2001	Noord	4083	933	5492	2016	894	HENDRIX & MEINARDI (2004)
2001	Midden	3516	626	4498	1374		HENDRIX & MEINARDI (2004)
2001	Zuid	1978	576	1743	827		HENDRIX & MEINARDI (2004)
2011	Noord	3880	958	6420	1260	965	SMOLDERS <i>et al.</i> (2011)
2011	Midden	3728	932	4981	1934	765	SMOLDERS <i>et al.</i> (2011)
2011	Zuid	2053	493	1566	1530	1131	SMOLDERS <i>et al.</i> (2011)



FIGUUR 4

De koolstofdioxideconcentratie en de pH in het grondwater voor het uitreden (grond), direct na het uitreden bij de bron (bron) en enkele meters stroomafwaarts van de bron (OW).

van stikstofrijke depositie door de vegetatie (bomen) in het hellingbos. Het sulfaat kan afkomstig zijn van zwavelrijke depositie uit het verleden, oxidatie van pyriet in de ondergrond door nitraat en/of zuurstof, of door uitspoeling van sulfaat uit meststoffen. Er kan waarschijnlijk van uit worden gegaan dat de waarden van MAAS (1959) een soort van achtergrondbelasting vertegenwoordigen. Volgens HENDRIX & MEINARDI (2004) bedraagt de reistijd van het uittredende grondwater ongeveer 20 (tot 30) jaar. Dit maakt het ook zeer waarschijnlijk dat het in 1957 uittredende grondwater nog niet ernstig verontreinigd is geweest met nitraat als gevolg van landbouwkundige activiteiten.

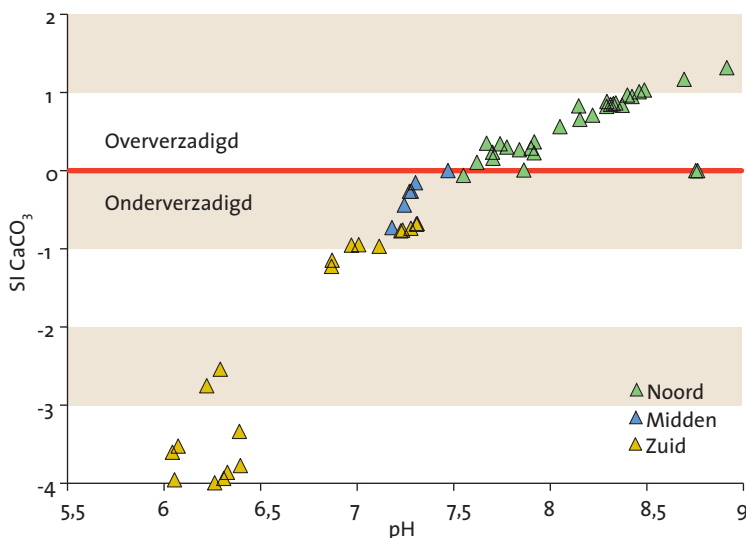
in 1984 en zijn ze ook duidelijk hoger dan in 2011 [tabel 1]. Afgaande op de metingen uit 1957, 1984, 2001 en 2011 lijkt het er dus op dat voor de noordelijke bronnen een toename van de nitraatconcentratie heeft plaatsgevonden tot 2001 en dat deze tussen 2001 en 2011 weer is gedaald. Twee analyses van sulfaatconcentraties in de noordelijke bronnen door NITG-TNO laten sulfaatconcentraties zien van respectievelijk 853 en 937 µmol l⁻¹ (HENDRIX & MEINARDI, 2004). Deze waarden komen goed overeen met de concentraties die gemeten werden in 1984 en in 2011 (SMOLDERS *et al.*, 2011). Waarschijnlijk is dus de sulfaatconcentratie in het noordelijke deelgebied sinds het begin van de jaren '80 niet sterk meer veranderd.

Voor de bronnen in het zuidelijke gebied (n=3) meten HENDRIX & MEINARDI (2004) in 2001 een gemiddelde nitraatconcentratie van 828 µmol.l⁻¹ (483-1.387 µmol.l⁻¹). Deze concentraties zijn vergelijkbaar met de concentraties die werden gemeten in 1984 maar zijn duidelijk lager dan de concentraties die in 2011 werden gemeten. Voor de zuidelijke bronnen lijkt er dus sprake van een toename van de nitraatconcentraties sinds 2001. Ook zijn in dit deelgebied de sulfaatconcentraties verdubbeld tussen 1957 en 1984. Voor de bronnen in de middenzone tussen de twee breuken (n=5) geven HENDRIX & MEINARDI (2004) een gemiddelde nitraatconcentratie van 1.374 µmol.l⁻¹ (1.209-1.387 µmol.l⁻¹). Deze waarden zijn vergelijkbaar met de concentraties die werden gemeten in 2011.

Om meer grip te krijgen op de oorsprong van de belasting is gekeken naar de grondwaterkwaliteit op het plateau. Hierbij zijn één diepe peilbuis en één diepe put bemonsterd [nummer B6oC2293 respectievelijk B6oC2304 in figuur 2]. Beide liggen in de buurt van Geverik en Kelmond en hebben hun filters in het Maasgrind (Formatie van Beegden). Uitgaande van een noordwestelijke grondwaterstroming (CORTEN & WEERTS, 1987; DE MARS *et al.*, 2009) zal het hier aangeboorde grondwater in de richting van het noordelijke deel van het Bunderbos afstromen. Dit diepe grondwater is zeer hard (bicarbonaatgehalte 9.127 en 11.007 µmol.l⁻¹) en reeds oververzadigd voor kalk (SMOLDERS *et al.*, 2011). Verder zijn in beide watermonsters een nitraatconcentratie van rond de 1.100 µmol.l⁻¹ en sulfaatconcentraties van respectievelijk 609 en 312 µmol.l⁻¹ gemeten. Dit laat zien dat het grondwater op het plateau reeds kalkrijk is en bovendien al erg rijk aan nitraat. De nitraatbelasting van het grondwater heeft dus duidelijk een regionaal karakter en het nitraat dat uiteindelijk het Bunderbos bereikt is dus grotendeels al op grotere afstand van het Bunderbos uitgespoeld naar het grondwater. De sulfaatconcentraties nemen mogelijk toe door de reactie van nitraat en zuurstof uit het grondwater met bodems die rijk zijn aan gereduceerd zwavel. Deze zijn lokaal aanwezig in de vorm van bijvoorbeeld bruinkoollaagjes. Het gereduceerde zwavel wordt hierbij geoxideerd door nitraat (of zuurstof) waarbij sulfaat vrijkomt (SMOLDERS *et al.*, 2010).

WAAR KOMT HET NITRAAT EN SULFAAT VANDAAN?

De hoge nitraatconcentraties die worden gemeten in het uittredende bronwater kunnen worden veroorzaakt door de uitspoeling van nitraat uit landbouwgronden in het inzijsgebied en/of de interceptie

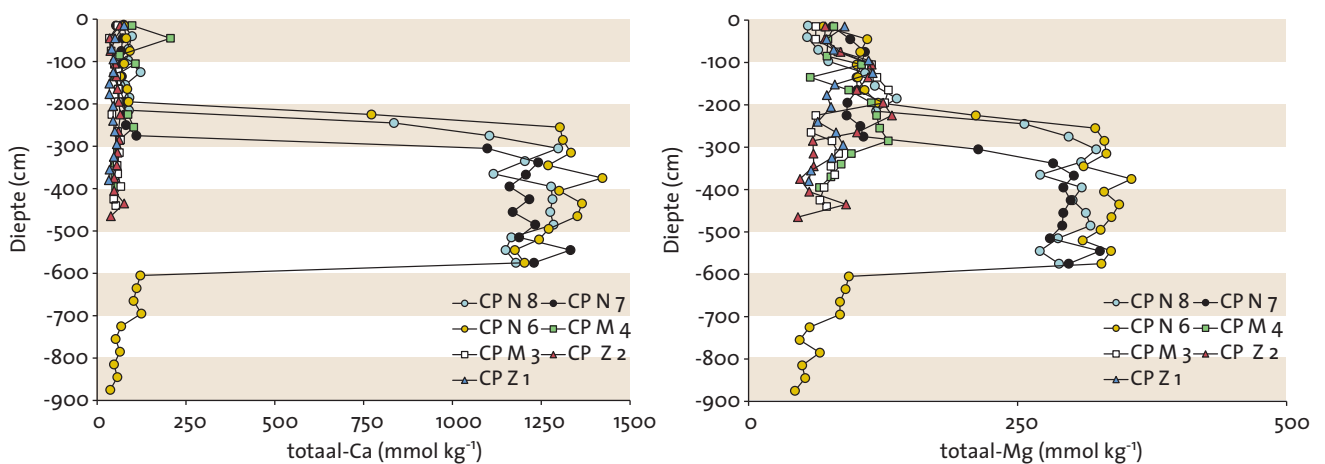


KALKTUFVORMING

Het verschijnsel kalktuf duikt reeds op in oude volkssagen, bijvoorbeeld in de legende van de Auvermennekes uit de omgeving van Moorveld (DE MARS *et al.*, 2009). Een zoektocht in het archief van het Natuurhistorisch Maandblad laat zien dat in 1923 voor het eerst wordt geschreven over de kalktufvorming in enkele bronnen bij Elsloo (BECKERS,

FIGUUR 5

De kalkverzadigingsindex (SI CaCO₃) uitgezet tegen de pH van de geanalyseerde watermonsters, berekend volgens STUYFZAND (1989). Punten met een positieve SI CaCO₃ waarde zijn oververzadigd voor calciumcarbonaat.



FIGUUR 6

Diepteprofilen voor calcium en magnesium in de lösslaag voor verschillende locaties op het Centraal Plateau.

1923). DIJKSTRA (1949) schrijft wel over kleine kalkrijke beekjes maar noemt niet specifiek de kalktufafzettingen. TEN BERGE & ROMEIN (1962) bespreken de kalktuf in de beekjes van het noordelijke deel:

“Zoals gezegd, bevatten de lagen veel water. Het gevolg hiervan is, dat het water, dat tussen het Maasgrind van het hoofdterras (niveau van St. Pietersberg) en de midden-oligocene zanden uittreedt, in beekjes de helling afstroomt. Door de kalkrijkdom van de kleilagen, waarlangs het water loopt, heeft een “kalksintering” in de beekjes plaats, waardoor deze van boven tot beneden vol kalksinter zit. Deze bestaat meestal uit een kalkhuidje om een wortel- of houtrest. In deze beekjes vinden we ook de hangende zegge.”

Ook in 1973 wordt in de Verslagen van de Maandvergaderingen en van de Algemene ledenvergadering (ANONYMUS, 1973) gesproken over kalktuf in de bronnetjes van het hellingbos tussen Bunde en Elsloo:

“Br. Thomas Moore vraagt naar de oorzaak van kalkaanslag op stenen in een beekje in dit bos, terwijl dit verschijnsel op stenen in een ander beekje niet ver daarvan verwijderd, niet voorkomt. De kalk is afkomstig van schelpenresten in een van de oligocene kleilagen, die hier in het profiel aanwezig zijn. Deze laag is ondoordringbaar voor het in de grond zakkend regenwater en bepaalt daardoor het bronniveau in de helling. De schelpenkalk gaat in oplossing onder invloed van het koolzuurgas in het grondwater. Zo gauw dit water met de buitenlucht in aanraking komt, geeft het koolzuurgas af, waardoor de kalk neerslaat

als een aanslag op takjes, bladeren, steentjes, enz. Het verschil tussen de beekjes onderling zal gezocht moeten worden in een verschil in kalkgehalte van het bronwater.”

Hieruit wordt duidelijk dat de kalktufvorming niet van recente oorsprong is. Opvallend is wel dat er vanuit wordt gegaan dat het kalk afkomstig is van de kalkrijke kleilagen in de ondergrond. Dit terwijl het water op het centraal plateau al erg hard is en oververzadigd met calciumcarbonaat.

Het grondwater, bemonsterd voor het uittreden en direct uit de bron na het uittreden bevat meestal meer CO₂ dan het water dat enkele meters stroomafwaarts van de bron werd bemonsterd [figuur 4]. Dit duidt op uitgassing van kooldioxide uit het bronwater nadat dit wordt blootgesteld aan de atmosfeer. Hierdoor stijgt ook de pH van het water. Bij dit proces wordt kalk (calciumcarbonaat) afgezet in de beek [figuur 3]. Deze uitgassing kan worden versneld door het aanwezige microreliëf. Intensief contact van het bronwater met de lucht (zodat CO₂ kan ontwijken) bij kleine watervalletjes bevordert de kalktufafzetting. Om erachter te komen of de vorming van kalktuf nog steeds optreedt, wordt gebruik gemaakt van de kalkverzadigingsindex van het water (SI CaCO₃). Deze kan worden berekend op grond van de ionensamenstelling (STUYFZAND, 1989). In figuur 5 is voor de verschillende deelgebieden de berekende kalkverzadigingsindex geplot tegen de pH. Voor punten met een positieve SI CaCO₃ kan kalktufvorming (precipitatie



FIGUUR 7

Verruiging met Grote brandnetel (*Urtica dioica*), a) een bronvegetatie met goudveil (*Chrysosplenium spec.*) en b) een drogere open locatie in het broekbos aan de voet van de helling die volledig wordt gedomineerd door Grote brandnetel (foto's: Mark van Mullekom).



FIGUUR 8

Dode Vuursalamander (Salamandra salamandra) aangetroffen op 27 januari 2011 bij locatie G (zie figuur 2), gestorven aan een recent vastgestelde schimmelziekte. Het hoge nitraatgehalte in het bronwater heeft deze soort mogelijk gevoeliger gemaakt voor deze schimmel (foto: Mark van Mullekom).

van calciumcarbonaat) optreden. De kalkverzadigingsindex correleert met de pH van het water; boven een pH van zeven is overwegend sprake van een positieve kalkverzadigingsindex. Voor de locaties uit het noordelijke deelgebied is er vrijwel altijd sprake van oververzadiging. Dit geldt zowel voor het bronwater vóór uittreding als voor de monsters van het uittredende bronwater en de stroomafwaarts in de bronbeek genomen monsters.

Voor de monsters uit de deelgebieden midden en zuid is steeds sprake van een negatieve kalkverzadigingsindex en is er dus geen oververzadiging van het water met calciumcarbonaat. In deelgebied midden werden echter wel kalktufafzettingen aangetroffen, met name bij de in figuur 4 op de rode lijn liggende locatie. Dit punt heeft een kalkverzadiging van 0 (nul). Het is goed mogelijk dat seizoensdynamiek (activiteit van waterplanten en mossen) leidt tot een hogere kalkverzadigingsindex in de zomer waardoor dan alsnog oververzadiging en kalktufvorming optreedt.

BODEMANALYSE CENTRAAL PLATEAU

Om de relatie tussen het Centraal Plateau en de bronsystemen in de hellingbossen meer inzichtelijk te maken, zijn op verschillende locaties (bodemprofielen) op het Centraal Plateau bodems van verschillende diepten geanalyseerd. Hieruit blijkt dat in de drie noordelijke profielen [nummers CP8, CP7 en CP5 in figuur 2] tussen een diepte van ongeveer twee en zes meter onder maaiveld een kalkrijke lösslaag voorkomt met totaal-calciumconcentraties van 1.100 tot 1.400 mmol kg⁻¹ [figuur 6]. Dit komt overeen met kalkgehalten van 11-14%. In de zuidelijker gelegen boorpunten (CP4 t/m CP1) daarentegen wordt deze kalkrijke lössbodemp niet aangetroffen in de bovenste vijf meter van het profiel. De drie noordelijke profielen liggen in het inzigggebied van het noordelijke deel van het Bunderbos, waar dus ook het meest kalkrijke grondwater uittreedt.

Van het uittredende grondwater in de hellingbossen blijkt de verhouding tussen calcium en magnesium ongeveer 4:1 te bedragen. Dit beeld is in grote lijnen consistent voor alle deelgebieden. Het suggereert dat calcium en magnesium in een vaste verhouding voorkomen in de kalkafzettingen die voor de hardheid van het water zorgen. De kalkrijke lössbodems zijn daarnaast ook rijk aan magnesium en de verhouding tussen calcium en magnesium bedraagt hier ook 4:1. Dit is dus gelijk aan de verhouding in het bronwater en suggereert sterk dat het oplossen van kalk uit de lössbodemp de kalkrijkdom van het bronwater in het Bunderbos verklaart (SMOLDERS *et al.*, 2011).

Deze resultaten laten zien dat verschillen in de kalkrijkdom van de

lössbodems in het inzigggebied van het grondwater verantwoordelijk zijn voor de gemeten verschillen in kalkrijkdom van het grondwater tussen het noordelijke en het zuidelijke deel. De kalkrijke bodems in het noordelijke deel van het inzigggebied kunnen verklaren waarom het grondwater in het noordelijke deel van nature kalkrijk is. In het zuidelijke deel is het grondwater veel minder kalkrijk vanwege de lagere kalkgehalten van de hier aanwezige lössbodems. Dit betekent dat de kalkrijkdom dus niet primair wordt veroorzaakt door het oplossen van kalk uit de kleilagen waarover het grondwater afstroomt zoals tot nu toe werd aangenomen. Een toename van de antropogene belasting (uitspoeling van nitraat afkomstig uit bemesting en stikstofdepositie) kan zelfs hebben geleid tot een versterkte toename van de kalkrijkdom van het grondwater. Omdat dit gepaard gaat met een toename van de zuurlast kan hierdoor namelijk meer kalk oplossen uit de lössbodems waardoor ook het calcium-, magnesium- en bicarbonaatgehalte van het grondwater kan toenemen.

Het is onduidelijk waardoor de verschillen in kalkrijkdom van de lössbodems worden verklaard maar waarschijnlijk gaat het in het inzigggebied van het zuidelijke deel om lössbodems die na afzetting volledig zijn ontkalkt. In het noordelijke deel is alleen de toplaag ontkalkt.

DE NITRAATPROBLEMATIEK: EFFECTEN OP FLORA EN FAUNA

Het grondwater dat op het plateau werd bemonsterd in het inzigggebied voor de noordelijke bronnen was kalkrijk en nitraatrijk. Hetzelfde geldt voor het bronwater dat uitreedt in het hellingbos. Dit laat zien dat het grondwater zijn eigenschappen al in belangrijke mate heeft verkregen voordat dit het Bunderbos bereikt. De verschillen in kalkrijkdom van het grondwater kunnen worden verklaard door de kalkgehalten van de lössbodems op het Centraal Plateau waar het grondwater inzigt. Ook de ernstige verontreiniging van het bronwater met nitraat heeft dus zijn oorsprong in het inzigggebied op het Centraal Plateau. Ook elders in Limburg (onder andere op de Brunsummerheide en de Kathager Beemden) worden hoge concentraties nitraat en sulfaat in het bronwater gemeten (zie ook HENDRIX & MEINARDI, 2004). Er is dus duidelijk sprake van een regionaal probleem.

Hoewel in ons onderzoek niet specifiek onderzocht, worden de mossen in de (kalktuf)bronnen wel degelijk negatief beïnvloed door de hoge nitraatbelasting via het bronwater. Uit onderzoek van VAN DORT (2011) blijkt dat stikstofminnende plantensoorten zijn toegenomen in de kalktufbronnen en dat de meest kritische soort, Geveerd diknerfmos, is achteruitgegaan. Er kan dan ook worden geconcludeerd dat de hoge stikstofbelasting van het bronwater per saldo negatief uitpakt voor de karakteriserende mossen van de kalktufvegetaties. Het microklimaat speelt een belangrijke rol voor het in stand houden van de vegetaties met goudveil (*Chrysosplenium spec.*) en de vegetaties uit het alluviale broekbos. Met name op open, en soms ook verdroogde, plekken treedt lokaal een sterke verrijking met onder andere Grote brandnetel (*Urtica dioica*) op [figuur 7], die zeer waarschijnlijk ook samenhangt met de verhoogde nitraatbelasting van het systeem. Open

kappen van het bos is dus ongunstig voor deze vegetaties. Het is van belang hier in het beheer rekening mee te houden. Meer onderzoek naar de fysiologische effecten van nitraat op de kalkbronmossen en de effecten van nitraat op de vegetaties onder beschaduwde versus open condities is gewenst.

Een verhoogde belasting met sulfaat kan in natte systemen met organische bodems leiden tot fosfaatmobilisatie als gevolg van sulfaatreductie waarbij fosfaat kan worden vrijgemaakt in de bodem. In de onderzochte bronvegetaties aan de voet van de helling bij Elsloo vindt echter ondanks de hoge sulfaatbelasting geen fosfaatmobilisatie plaats. Dit komt omdat sulfaatreductie hier sterk wordt geremd omdat hier, met uitzondering van het toplaagje, sprake is van relatief minerale bodems. In minerale bodems vindt vrijwel geen sulfaatreductie plaats. Bovendien is het grondwater rijk aan zuurstof (en nitraat) waardoor ook in het dunne organische toplaagje geen sulfaat wordt gereduceerd. De bodems zijn verder rijk aan calcium en ijzer waardoor fosfaat relatief goed wordt gebonden in de bodems.

Sinds 2010 is er sprake van een complete ineenstorting van de vuursalamanderpopulatie in het Bunderbos (SPITZEN-VAN DER SLUIJS *et al.*, 2013).

Ook tijdens het veldwerk in januari 2011 werden verschillende dode Vuursalamanders aangetroffen [figuur 8]. Recent is aangetoond dat deze sterfte wordt veroorzaakt door de zeer agressieve pathogene schimmel *Batrachochytrium salamandrivorans* (MARTEL *et al.*, 2013). De Vuursalamander leeft terrestrisch maar brengt het larvale stadium door in het oppervlaktewater. Het is bekend dat een blootstelling aan hoge nitraatconcentraties bij amfibieën kan leiden tot afwijkingen in het afweersysteem waardoor ze gevoeliger kunnen worden voor allerlei infectieziekten. Opvallend is dat in het zuidelijke deelgebied van het Bunderbos, het leefgebied van de Vuursalamander, de nitraatconcentraties sinds 2001 bijna zijn verdubbeld [tabel 1] en het is zeker niet uit te sluiten dat de hoge nitraatconcentraties van het oppervlaktewater de Vuursalamanders gevoelig hebben gemaakt voor de schimmelziekte (SPITZEN-VAN DER SLUIJS *et al.*, 2013).

Het is duidelijk dat het Zuid-Limburgse grondwater vaak onnatuurlijk hoge concentraties nitraat bevat. De zeer ernstige en deels nog onbekende en onvoorspelbare gevolgen die dit kan hebben voor de grondwater gevoede natuurgebieden maken maatregelen om de nitraatuitspoeling naar het grondwater terug te dringen zeer urgent.

Summary

SPRING WATER QUALITY IN THE BUNDER- EN ELSLOËRBOS FOREST: SOURCES OF CONCERN

The Natura 2000 site Bunder and Elsloërbos is known for its beautiful sloping forests with springs and brooklets. In the northern part of the area, between Geulle and Elsloo, tufa is formed as calcium carbonate precipitates from discharging spring water. Nitrate and sulphate concentrations in the spring water have risen sharply in the entire area in recent decades. Until recently it was unclear if these changes were affecting tufa formation and the vegetation and fauna in the area. This article shows that tufa formation depends on the calcium and bicarbonate concentrations in the groundwater, which in turn depend on the lime content of the soils of the central plateau, the recharge area of the water discharging into the Natura 2000 site. Nitrate and sulphate also originate from the central plateau, and the article briefly describes their possible effects on the flora and fauna, including the Common fire salamander (*Salamandra salamandra*), which is a rare species in the Netherlands.

Literatuur

- ANONYMUS, 1973. Verslagen van de maandvergaderingen en van de algemene ledenvergadering. *Natuurhistorisch Maandblad* 62(1):3-4.
- BECKERS, J., 1923. Over diluviale en alluviale kalkafzetting in Zuid-Limburg. *Maandblad van het Natuurhistorisch Genootschap* 12(7):32-34.
- BUGGENUM, H.J.M. VAN, R.P.G. GERAEDS & A.J.W. LENDERS, 2009. Herpetofauna van Limburg; verspreiding en ecologie van amfibieën en reptielen in de periode 1980-2008. Stichting Natuurpublicaties Limburg, Maastricht.
- CORTEN, J.G.J.M. & H.J.T. WEERTS, 1987. De geologie en de samenstelling van het grondwater op de dalhelling tussen Bunde en Elsloo. *Natuurhistorisch Maandblad* 76(9):159-164.
- DIJKSTRA, S.J., 1949. De helling tussen Geulle en Bunde. Een onzer geologisch en biologisch interessantste gebieden. *Natuurhistorisch Maandblad* 38(7/8):75-78.
- DORT, K. VAN, 2011. Mosvegetaties in kalktufbronnen in het Bunder- en Elsloërbos. Forest fun ecologisch advies en onderzoek, Wageningen.
- DORT, K. VAN, L. VAN OIRSCHOT-BEERENS & H. WEINREICH, 2012. mosvegetaties in Limburgse kalktufbronnen. *Natuurhistorisch Maandblad* 101(12):245-253.
- HENDRIX, W.P.A.M. & C.R. MEINARDI, 2004. Bronnen en bronbeken in Zuid-Limburg; kwaliteit van grondwater, bronwater en beekwater. RIVM rapport 500003003/2004. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- KIWA WATER RESEARCH & EGG-CONSULT, 2007. Knelputten- en kansenanalyse Natura 2000-gebied 153 - Bunder- en Elsloërbos. Kiwa Water Research, Nieuwegein / EGG-consult, Groningen.
- MAAS, F.M., 1959. Bronnen, bronbeken en bronbossen van Nederland, in het bijzonder die van de Veluwezoom. Een plantsociologische en oecologische studie. Mededelingen Landbouwhogeschool, Wageningen 59(12):1-166.
- MARS, H. DE, P. STOFMEEL & E.W.J.M. RUSSELT, 2009. Antropogene invloeden en systeemanalyse Natura2000-gebied Bunder- en Elsloërbos. Royal Haskoning, Maastricht.
- PROVINCIE LIMBURG, 2008. GGOR/OGOR-meetnet Limburg: 4^e Tranche Bunder- en Elsloërbos. Provincie Limburg, Maastricht.
- MARTEL, A., A. SPITZEN-VAN DER SLUIJS, M. BLOOI, W. BERT, R. DUCATELLE, M.C. FISHER, A. WOELTJES, W. BOSMAN, K. CHIERS, F. BOSSUYT & F. PASMANS, 2013. *Batrachochytrium salamandrivorans* sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(38):15325-15329.
- SMOLDERS, A.J.P., E.C.H.E.T. LUCASSEN, R. BOBBINK, J.G.M. ROELOFS & L.P.M. LAMERS, 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. *Biogeochemistry* 98(1-3):1-7.
- SMOLDERS, A.J.P., M. VAN MULLEKOM, J.H.T. LOERMANS & M.H. JALINK, 2011. Bronnen en vochtig alluviaal bos in het Natura 2000-gebied Bunder- en Elsloërbos. Rapportnummer 2011.09. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- SPITZEN-VAN DER SLUIJS, A., F. SPIKMANS, W. BOSMAN, M. DE ZEEUW, T. VAN DER MEIJ, E. GOVERSE, M. KIK, F. PASMANS & A. MARTEL, 2013. Rapid enigmatic decline drives the fire salamander (*Salamandra salamandra*) to the edge of extinction in the Netherlands. *Amphibia-Reptilia* 34(2):233-239.
- STUYFZAND, P.J., 1989. An accurate, relatively simple calculation of the saturation index of calcite for fresh to salt water. *Journal of Hydrology* 105(1-2):95-107.
- TEN BERGE, J.R.J. & B.J. ROMEIN, 1962. De geologie van Maasvallei en zijn oostelijke helling tussen Bunde en Elsloo. *Natuurhistorisch Maandblad* 51(7/8):103-108.