Rapport

Expertadvies sulfaatproblematiek Natura 2000 gebied Lemselermaten

KWR 2021.067

Datum
10 augustus 2021

Opdrachtgever
provincie Overijssel

Meer informatie
Drs. C.J.S. Aggenbach
T +31 6 22379320
E camiel.aggenbach@kwrwater.nl

Auteur
Drs. Camiel Aggenbach

Kwaliteitsborger
Dr. Bas van der Grift

Projectmanager
Dr. Edu Dorland

Dit expertoordeel is in opdracht van provincie Overijssel in het kader van de uitwerking van maatregelen voor Natura 2000 gebied de Lemselermaten. De aanleiding van de dit expert-advies zijn vragen over de effecten van toestroming van grondwater met een hoge sulfaatconcentratie op kwelzones met grondwaterafhankelijke habitats. Toestroming van sulfaatrijk grondwater kan negatieven effecten hebben op het voorkomen en behoud van de habitattypen H6410 Blauwgraslanden, H7230 Kalkmoerassen en H91E0C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) die in de Lemselermaten afhankelijk zijn van kwel met basenrijk grondwater. De vragen die in dit expertoordeel worden behandeld komen voort uit uiteenlopende beoordelingen over hoe betreffende habitats bij vernattingsmaatregelen kunnen worden behouden.

In dit expertadvies worden de volgende vragen behandeld:

1. Kan door toestroming van sulfaatconcentraties van 1200 µmol/L of meer veen c.q. organische stof afbreken? Gevraagd is om daarbij in te gaan op het expertoordeel van Harrie Boukes (2021).
2. Kunnen kwelafhankelijke habitats in de Lemselermaten duurzaam voorkomen in kwelzones met toestroming van sulfaatrijk grondwater wanneer het water goed kan doorstromen? Deze vraag komt voort uit onderzoek van Lucassen en Roelofs (2016) waarin gesteld wordt dat betreffende kwelafhankelijke habitats kunnen voorkomen bij toestroming van sulfaatrijk grondwater mits er een goede doorstroming van water plaatsvindt en een notitie van Eysink d.d. 30-04-2021 waarin gesteld wordt dat onder die omstandigheden behoud van de habitats niet mogelijk is.
3. Is stoppen van bemesting in het intrekgebied in de zone met een verblijftijd van 0-30 jaar nodig?

Dit expertadvies is opgesteld op basis van bestudering van genoemde onderzoeken en notitie, eigen geochemisch onderzoek in het gebied (Aggenbach 2021) en bevindingen uit de literatuur.

Kan door toestroming van sulfaatconcentraties van 1200 µmol/L of meer veen c.q. afbreken?

Deze vraag houdt verband met een expertoordeel van Harrie Boukes (2021) waarin gesteld wordt dat het risico van netto veenafbraak speelt pas bij veel hogere sulfaatbelastingen (veel hoger dan 1200 µmol/L). Hieronder wordt een reactie gegeven op het expertoordeel van Boukes.

Reacties op opmerkingen van Harrie Boukes:

Boukes: "Hoewel ik toch al een flink aantal jaren meedraai in de hydrologie en af en toe bij pyrietgerelateerde projecten betrokken ben, is het voor mij nieuwe informatie dat sulfaat veen zou afbreken."

Reactie:
Het is algemene, hydrogeochemische kennis dat bij organisch stof kan worden afgebroken onder invloed van sulfaat waarbij sulfides worden geproduceerd(= dissimilatieve sulfaatreductie). De aanwezigheid van reactieve organische stof is essentieel voor de omzetting van sulfaat naar sulfides en de afbraak kan dan plaatsvinden onder zuurstofloze omstandigheden. De afbraak van organische stof door reductie van sulfaat kan als volgt plaats vinden:

$$2\ SO_4^{2-} + 3.5\ CH_2O + Fe^{2+} \rightarrow FeS_2 + 2\ HCO_3^- + 1.5\ CO_2 + 2.5\ H_2O$$

Deze reactie kan in deelstappen plaatsvinden waarbij eerst ijzer monosulfiden (FeS) wordt gevormd en vervolgens ijzerdisulfide (pyriet, FeS_2) (Appelo & Postma 1993). Deze chemische omzetting is in bodems een biogeochemisch proces waarbij bacteriën zijn betrokken die zorgen voor de afbraak van organisch materiaal (Hausmann et al. 2016).

Er is veel chemische en microbiologische literatuur over dissimilatieve sulfaatreductie in organische bodems (bv veen, kwelders, onderwaterbodems in meren). Een duidelijk voorbeeld voor veenafbraak door toestroming van sulfaatrijk grondwater betreft het Meeuwenkampje (Cirkel et al. 2013) en de Hazelbekke (Smolders et al. 2017). Dus vanuit de bestaande kennis is het niet nieuw dat aanvoer van sulfaatrijk grondwater in potentie veen kan afbreken.

Boukes: *"Fons verwijst ter onderbouwing naar een onderzoek van Aggenbach uit 2020. Omdat veenafbraak onder invloed van sulfaat voor mij een nieuw fenomeen is, ga ik op zoek of ik die studie kan vinden. Gelukkig blijkt dit rapport te downloaden. Op blz. 56 staat de chemische formule op welke manier sulfaatreductie onder invloed van organische stof verloopt. Twee ionen sulfaat breekt 3,5 'moleculen' organische stof (CH2O) af. Als ik uitga van een flux van 300 mm/jaar (300 l/m3) met een concentratie van 1 mmol/l (96 mg/l, afgerond 100) gaat het om jaarlijks 30 gram per vierkante meter sulfaat. De molecuulverhouding is 2:3,5 en het molecuulgewicht van organische stof 30, dan kom ik op 15 gram per m2 per jaar afbraak van organische stof. Als ik voor het gemak een soortelijk gewicht van 1,0 kg/liter aanneem, zou het om 0,015 mm/jaar veenafbraak gaan."*

Reactie:
De berekening die door Boukes is uitgevoerd klopt met de gekozen aannames zijn gedaan, maar de gekozen aannames leiden tot een onderschatting van de afbraak organisch materiaal. In deze berekening is aangenomen dat al het sulfaat in het grondwater wordt gereduceerd tijdens bodempassage in het beekdal. Bij twee aannames kunnen kanttekeningen worden geplaatst:

- Boukes gaat uit van 300 mm/j kwel (=0,8 mm/d) wat een lage schatting is voor de kwelflux in terrestrische kwelzones van Lemselermaten. Onderzoek aan ontwikkeling van de basenchemie in relatie tot de ontwikkeling van de basenchemie in de geplagde delen van het Oude en Nieuw Maatje duidt er op dat de jaargemiddelde kwelflux naar de bodemtoplaag minimaal 0,4 tot 2,4 mm/d bedraagt (Aggenbach 2021). Deze

minimale kwelflux is afgeleid en uit de gemeten toename van de voorraden calcium en magnesium in de bovenste 10 cm van de bodem op vier locaties gedurende een periode van 1991 t/m 2009. In werkelijkheid was in die periode de kwelflux groter omdat niet al het door het grondwater aangevoerde calcium en magnesium adsorbeerde in de bodem wegens een constant hoge basenverzadiging van de bodem. De aanvoerflux van basische kationen is dan groter dan de bodem kan adsorberen en de toename van het kationadsorptiecomplex is gelimiteerd door de accumulatiesnelheid van organische stof. Een expertschatting voor de kwelflux in de kwelzones van Lemselermaten is dat deze voor Nederlandse beekdalen relatief groot is en in de range van enkele tot 10 mm/d zal liggen. Verder is de verwachting wanneer door vernattingsmaatregelen actueel verdroogde locaties langdurige een stijghoogte van het grondwater krijgen aan of net boven maaiveld, de kwelflux hoog zal zijn omdat dan een groot deel van het jaar grondwater zal uittreden.

- Boukes gaat uit van een bulkdichtheid voor veen van 1.0 kg/l voor veen wat veel te hoog is en ook hoog is voor de toplaag organisch-stofrijke minerale bodems. Reëlere waarden voor veen liggen in de range van 0.1 tot 0.6 kg/l.

Bijgaande tabel geeft samen met de uitkomsten van Boukes eigen berekeningen van afbraaksnelheid voor een range van kwelfluxen (1, 2, 5, 10 mm/d) en een range van bulkdichtheden (0,1 en 0,6 kg/l). Deze berekeningen geven een ca. factor 10 tot 100 hogere potentiele afbraak van organische stof door sulfaat-toevoer. De afbraak, uitgedrukt in de bodemdaling door het verdwijnen van veen bedraagt bij een bulkdichtheid van 0,1 kg/l, 0,18 tot 1,8 mm/j voor een kwelflux van respectievelijk 1 en 10 mm/d. Bij een bulkdichtheid van 0,6 kg/l is dat respectievelijk 0,03 tot 0,3 mm/j. Wanneer men bedenkt dat 1 mm/j veenvorming voor de gematigde klimaatzone al een hoge veengroeisnelheid is zijn de berekende waarden voor de potentiële afbraak substantieel en dus zeker niet verwaarloosbaar.

Tabel: Berekening van de potentiële afbraaksnelheid van organische stof door dissimilatieve sulfaatreductie bij een sulfaatconcentratie van het toestromende grondwater van 1,0 mmol/l en verschillende aannames voor de kwelflux in kwelzones en voor de bulkdichtheid van de bodem. Tevens is de tijdsduur berekend wanneer 0,5 m veen is verdwenen door zulke afbraak.

Item	Eenheid	expertadvies H. Boukes	dit expertadvies							
aannames										
SO4 concentratie toestromende grondwater	mmol/l	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
reductie SO4 door org.stof: ratio C-min/SO4 = 3.5/2 (mol/mol) conform reactie 2 SO42- + 3.5 CH2O + Fe2+ → FeS2 + 2 HCO3- + 1.5 CO2 + 2.5 H2O	mol/mol	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
kwelflux (Lemselermaten heeft hoge kwelflux, in actuele situatie is 5 mm/d in kwelzones aannemelijk)	mm/d	0.82	1	2	5	10	1	2	5	10
kwelflux	mm/j	300	365	730	1825	3650	365	730	1825	3650
ratio C/organische stof	g/g	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
bulkdichtheid veen (weinig veraard veen range 0.05-0.20 kg/l, elzenbroek met veen tot ca. 0.6 kg/l)	kg/l	1.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.6	0.6	0.6
berekening										
SO4 aanvoer	mmol/j/m2	300	365	730	1825	3650	365	730	1825	3650
SO4 aanvoer	g SO4/j/m2	28.82	35.1	70.1	175.3	350.6	35.1	70.1	175.3	350.6
C-mineralisatie	mmol/j/m2	525.00	639	1278	3194	6388	639	1278	3194	6388
C-mineralisatie	g/j/m2	6.31	7.67	15.34	38.36	76.72	7.67	15.34	38.36	76.72
hoeveelheid decompositie veen	g/j/m2	15.00	18.3	36.5	91.3	182.5	18.3	36.5	91.3	182.5
hoeveelheid decompositie veen (1 mm/j veengroei is hoog)	l/j/m2 = mm/j	0.015	0.183	0.365	0.913	1.825	0.030	0.061	0.152	0.304
duur decompositie 0.50 m veen	j	33333	1370	685	274	137	8219	4110	1644	822

Boukes: *“Maar zegt Aggenbach dit ook? In tabel 2-15 op blz. 92 wordt uitgerekend hoe snel een veenlaag afbreekt bij een SO4-max (ik weet niet precies hoeveel dat is). Over de periode 2001-2015 leidt dat bij een flux van 1 mm/dag tot een afbraak van 18 gram/m2/jaar, dus volgens mij zit ik behoorlijk goed. Dat leidt er toe dat een veenlaag van 0,5 m dik in 6226 jaar wordt afgebroken. Dan duurt het dus nog wel even voor die elzen op stelten staan.”*

Reactie:
Hier wordt de uitkomst sterk bepaald door de aannames van kwelflux en bulkdichtheid van het veen. Als je uitgaat van een kwelflux van 5 mm/d en een bulkdichtheid van 0,1 kg/l wordt een veenlaag van 0,5 m dikte in 274 jaar afgebroken. Dat is ca. twee keer zo snel als de tijd van 500 jaar die nodig was voor de vorming van dit veen uitgaande van een hoge veengroeisnelheid van 1 mm/j.

Boukes: *“Met andere woorden: er vindt ook aanvoer van organische stof plaats, ik neem aan in de vorm van DOC of zo. Het risico van netto veenafbraak speelt dus pas bij veel hogere sulfaatbelastingen dan waar we het hier over hebben.*
Ik vond het ook al een vreemd verhaal. Als het werkelijk zo zou zijn dat het veen in Nederland wegsmelt onder invloed van sulfaat, zouden met meer dan een eeuw verhoogde sulfaatdepositie en vijftig jaar overbemesting toch al lang geen veen meer over moeten hebben?
Mijn beeld is dan ook dat de notitie van Fons geen onderbouwing levert van het advies om de maatregel ‘stoppen met bemesten’ toe te passen op de 10-jaarszone. “

Reactie:
De eindconclusie van Boukes is gebaseerd op enkele onjuiste aannames waardoor hij de potentiële afbraaksnelheid onderschat. Door onzekerheid in zaken als bulkdichtheid van de bodem en de werkelijk (toekomstige) kwelflux is het niet mogelijk om de afbraak met een grote zekerheid te kwantificeren. De afbraak van organisch materiaal door sulfaataanvoer hangt bovendien niet alleen af van de sulfaatconcentratie van het toestromende grondwater en de hoeveelheid grondwater die wordt aangevoerd (kwelflux). Potentieel kan die toevoer sterk bijdragen aan afbraak van organische stof, maar de daadwerkelijke bijdrage van sulfaattoevoer aan afbraak hangt ook af van de hoeveelheid van de aangevoerde sulfaat in de bodem kan worden gereduceerd. Sulfaat dat niet reduceert, kan namelijk met uittredend grondwater en afstroming van oppervlaktewater worden afgevoerd uit de kwelzone. De hoeveelheid sulfaat die in de bodem kan worden afgebroken, wordt onder andere bepaald door de beschikbaarheid van gemakkelijk afbreekbaar organische stof, de kwaliteit van nieuw gevormde biomassa, de beschikbaarheid van reactief ijzer en het temperatuurregime van de bodem. Bij hoge kwelflux is deze mogelijk limiterend voor de omzetting van sulfaat omdat dan de verblijftijd van het grondwater in de bodem te kort is in verhouding tot de reactiesnelheid. Preferente stroombanen (bv naar greppeltjes) kan daar ook aan bijdragen. Aan de hoeveelheden sulfaat die in een bodem kan worden afgebroken is weinig kwantitatief empirisch onderzoek verricht. In één studie (Meeuwenkampje; Cirkel et al. 2013) met toevoer van sulfaatrijk water met een concentratie van ca. 2 mmol/l en een kwelflux van ca. 1-3 mm/d in een veenbodem reduceerde het overgrote deel van de aangevoerde sulfaat tot ijzersulfiden in de bodem in combinatie met afbraak van organische stof. Het grondwater dat de bodemtoplaag bereikte was hierdoor sulfaatarm. Dit voorbeeld geeft aan dat bij een hoge sulfaatbelasting de meeste aangevoerde sulfaat kan reduceren en sterk kan bijdragen aan veenafbraak.

Aanvullende opmerkingen over de invloed van sulfaat

Aanvullend op het bovenstaande nog het volgende. De langdurige (decennia) verdroging van de veenbodems zal sterk hebben bijgedragen aan de afbraak van organische stof en dus ook veen. Het feit dat de elzen op stelten staan (Eysink 2021) kan daarom niet alleen worden toegeschreven aan anaerobe afbraak door reductie van sulfaat. In zijn algemeen verloopt afbraak onder zuurstofhoudende omstandigheden in een gedraineerde bodem veel sneller dan in een natte anaerobe bodem. In de huidige situaties zakt de grondwaterstand in de veen- en sterk organische minerale bodems langdurig diep weg en zal aerobe afbraak dus sterk bijdragen aan verlies van organische stof. Vooral in de toplaag van de bodem tijdens lage grondwaterstanden zal aerobe afbraak sterk op treden. Dat neemt niet weg dat sulfaattoevoer geen belangrijke bijdrage kan leveren aan de afbraak. Het kan juist ook voor extra afbraak zorgen en dan vooral in diepere zones van de bodem waar geen of weinig zuurstof komt. Ook kan sulfaattoevoer er voor zorgen dat juist recent gevormde biomassa in de toplaag bij hoge grondwaterstanden versneld kan worden afgebroken en waardoor veenvorming stagneert. Ook kan het de structuur van bestaand veen aantasten, waarbij veen met een vaste structuur slap wordt (Smolders et al. 2017).

Naast het bevorderen van anaerobe afbraak heeft sulfaattoevoer ook nog andere biogeochemische effecten die juist veroorzaakt worden door de dissimilatieve reductie van sulfaat. Andere potentieel negatieve biogeochemische processen betreffen:

1. het ontstaan van hoge concentraties vrij-sulfiden die toxisch zijn voor allerlei plantensoorten;
2. mobilisatie van fosfaat dat gebonden was aan ijzerhydroxiden die verbruikt zijn voor de vorming van ijzersulfiden; dit kan zorgen voor een betere fosfaatbeschikbaarheid van voor de vegetatie;
3. extra mineralisatie van fosfaat en stikstof door verhoogde afbraak van organische stof waardoor de beschikbaarheid van deze voedingsstoffen voor de vegetatie kan toenemen; de extra stikstofmineralisatie kan potentieel aanzienlijk zijn (Aggenbach et al. 2020);
4. in geval van basenarme condities hoge ammoniumconcentraties in het porievocht; bij afbraak van organisch materiaal komt ammonium vrij door stikstofmineralisatie; in relatief zure bodems kan de gevormde ammonium goed adsorberen aan het kationadsorptiecomplex; hierdoor kunnen concentraties in het porievocht ook hoog oplopen; in basenrijke bodems kan maar weinig ammonium adsorberen aan het kationadsoptiecomplex en kan dan met de afvoer van grondwater verdwijnen uit de bodem;
5. opbouw van verzuringscapaciteit door de accumulatie van ijzersulfiden waardoor het risico op bodemverzuring toeneemt.

Juist deze biogeochemische effecten kunnen de duurzaamheid van grondwaterafhankelijke habitats aantasten. In de Lemselermaten is de opbouw van verzuringscapaciteit veel nadeliger voor het behoud van kwelafhankelijke basenminnende habitattypen (zie onder) dan de extra afbraak van organische stof als gevolg van sulfaattoevoer. Wanneer er door sulfaataanvoer netto afbraak van organische stof optreedt, zal dat wel leiden tot een verkleining van de

kationadsorptiecapaciteit en daarmee van de zuurbuffercapaciteit van de bodem verlagen (Aggenbach et al. 2021). De bodem wordt dan gevoeliger voor verzuring. Een verondersteld gering effect van sulfaattoevoer op de afbraaksnelheid van veen is daarom geen sluitende argumentatie dat er geen ecologische onderbouwing is voor het stoppen of beperken van bemesting in het intrekgebied van de Lemselermaten.

Kunnen kwelafhankelijke habitats in de Lemselermaten duurzaam voorkomen in kwelzones met toestroming van sulfaatrijk grondwater wanneer het water goed kan doorstromen?

Aanleiding voor deze vraag is dat kwelzones in de Lemselermaten toestroming hebben van sulfaatrijk grondwater. Uit chemisch onderzoek is gebleken dat de hoge sulfaatconcentraties worden veroorzaakt door uitspoeling van nitraat in agrarische percelen in het intrekgebied van de kwelzones. In de ondergrond zorgt omzetting van nitraat (NO_3^-) in stikstofgas (N_2) voor oxidatie van ijzersulfiden (FeS en FeS_2) en dat leidt tot de vorming van sulfaat (SO_4^{2-}). Deze omzetting vindt plaats in pyriethoudende lagen (Verstijnen & Roelofs 2019). Naast de bijdrage van pyrietoxidatie aan een hoge sulfaatconcentratie vindt in landbouwgronden ook aanzienlijke directe uitspoeling van sulfaat plaats in de Nederlandse zandgebieden. De concentraties in het ondiepe grondwater bedragen gemiddeld ca. 50 mg/l (= ca. 500 µmol/l) (Fraters & De Goffau 2014). De directe uitspoeling hangt samen met toevoer door bemesting en atmosferische zwaveldepositie. Uit metingen in twee landbouwpercelen aan de zuidzijde van de Lemselermaten bedraagt de sulfaatconcentratie van het porievocht in de bovenste 30 cm van de bodem ca. 400 µmol/l (Verstijnen & Roelofs 2019) wat vergelijkbaar is met het genoemde gemiddelde in Nederlandse zandbodems. Bestaande kwelzones in de Lemselermaten ontvangen dus sulfaatrijk grondwater door bovengenoemde omzetting van pyriet naar sulfaat én door directe uitspoeling van sulfaat. Nadere analyse van de gemeten diepteprofielen van de porievocht sulfaatconcentratie van het onderzoek van Verstijnen & Roelofs (2019) en uitgaande van een bijdrage van de huidige atmosferische zwaveldepositie aan de porievocht sulfaatconcentratie van ca. 95 µmol/l, laat zien dat atmosferische zwaveldepositie ca. 7 %, sulfaattoevoer door bemesting ca. 22 % en pyrietoxidatie door nitraatuitspoeling ca. 71 % bijdragen aan hoge sulfaatconcentraties (zie bijlage 1 voor de berekening). In het zuidelijke deel van de Lemselermaten zijn de concentraties het hoogst (Lucassen & Roelofs 2016). Vernattingsmaatregelen zullen de toevoer van grondwater naar terrestrische kwelzones vergroten omdat er minder grondwater wordt gedraineerd door de verondiepte waterlopen. Dit zal daarom ook tot meer toevoer van sulfaat naar terrestrische kwelzones leiden. In eerste instantie is aangenomen bij de uitwerking maatregelen voor de Natura 2000 doelen in Lemselermaten dat behoud van kwelafhankelijke habitattypen in kwelzones met toestroming van sulfaatrijk grondwater mogelijk is bij een goede doorstroming van water in de kwelzone. Wanneer deze vraag positief kan worden beantwoord, zou voor behoud van de habitats geen maatregel nodig zijn die de oorzaak van de verhoogde sulfaatconcentraties wegneemt (stoppen van bemesting in intrekgebied). Een goede doorstroming van water is daarbij gedefinieerd als een snelle afvoer van oppervlaktewater op het maaiveld, waardoor uitgetreden grondwater snel wordt afgevoerd en dit water niet langdurig kan stagneren. Dit voorkomt dan dat in kwelzones met toevoer van sulfaatrijk grondwater langdurig oppervlaktewater stagneert met hoge concentraties van vrije sulfiden, fosfaat en/of ammonium, waarvan bekend is dat dit negatief doorwerkt op de vegetatie van habitattype H91E0C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) (Lucassen et al. 2005).

Er zijn een aantal redenen waarom het erg onzeker is of kwelafhankelijke habitats kunnen worden behouden bij toestroming van sulfaatrijk grondwater. Dit betreffen:

- De bodemtoplaag van actueel relatief natte broeklocaties hebben een lage Fe:S ratio (<1) (Lucassen & Roelofs 2016) en zijn daardoor bij langdurige hoge waterstanden gevoelig voor hoge concentraties van fosfaat, ammonium en vrije sulfiden in het porievocht wat toxische effecten heeft op de vegetatie. Het risico op mobilisatie van fosfaat is mogelijk gering omdat de aanvoer van fosfaat door grondwater gering is (Lucassen & Roelofs 2016). De mobilisatie van ammonium is gering, mits de bodem een hoge basenverzadiging heeft of door aanvoer van basenrijk grondwater een hoge basenverzadiging krijgt en behoudt. De vorming van vrije sulfiden is een risico wanneer reactieve ijzerhydroxiden verbruikt zijn door de vorming van ijzersulfiden. Onduidelijk is of dit effect wordt voorkomen bij een goede afvoer van water over maaiveld. Omdat het toestromende grondwater een lage ijzerconcentratie heeft en de bodemtoplaag in kwelzones een laag ijzergehalte (Lucassen & Roelofs 2016) is er een aanzienlijk risico op hoge sulfiden-concentraties in het porievocht van de bodemtoplaag. De na te streven kwelafhankelijke habitattypen hebben voor een goede kwaliteit en duurzaam voorkomen langdurig hoge waterstanden aan of boven maaiveld nodig. De geldt het sterkst voor de habitattypen H7230 Kalkmoerassen en H91E0C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen). Langdurig waterstanden aan maaiveld is voor deze habitattypen ook noodzakelijk om een hoge basenrijkdom waarvan deze habitats afhankelijk zijn te handhaven. Omdat het Natura 2000 gebied last heeft van structurele verdroging worden ook juist de vernattingsmaatregelen uitgevoerd. Vernatting kan daardoor nadelige biogeochemische effecten veroorzaken door 1) meer toestroming van sulfaatrijk grondwater en 2) door nattere condities in de bodem van kwelzones waardoor deze meer anaeroob worden en de sulfaatreductie wordt bevorderd. Uit een vergelijking van berekeningen van het grondwatermodel in de huidige situatie (referentiescenario 12) en de situatie na uitvoering van de PAS-maatregelen (scenario 12) blijkt dat het dal van de Weerselerbeek de kwelflux in het winterhalfjaar toeneemt van ca. 0,8-0,9 mm/d naar 2,5-2,9 mm/d. In het dal van de Dollandbeek treedt ook veelal meer dan een verdubbeling op van ca. 2 naar 4 mm/d. Hieruit kan worden afgeleid dat zonder maatregelen die de sulfaatconcentratie in het grondwater verlagen de sulfaattoevoer met een factor van ca. 2 tot 3 zal toenemen.
- Er wordt geen aandacht besteed aan het risico van opbouw van verzuringscapaciteit in de bodem als gevolg van accumulatie van ijzersulfiden door reductie van door grondwater aangevoerd sulfaat. IJzersulfiden die in nattere jaren accumuleren kunnen bij zeer lage waterstanden in (extreem) droge jaren oxideren, wat zorgt voor de interne vorming van zwavelzuur (‘zuurbom-effect’). Recent onderzoek van Aggenbach (2021) aan de ontwikkeling van kalkmoeras en blauwgrasland in het Nieuw en Oude Maatje laat zien dat van de bodemtoplaag in de periode 2009-2020 sterk is uitgeloogd voor basische kationen. Deze uitloging is waarschijnlijk opgetreden door de oxidatie ijzersulfiden in droge jaren. Betreffende periode had relatief veel droge jaren waaronder ook de extreem droge zomers van 2018 en 2019. In de periode 2009-2020 zijn geen structurele veranderingen in de waterhuishouding opgetreden die een verlaging van de waterstand kunnen verklaren. Aggenbach (2021) veronderstelt dat de zuurvorming optreedt in een bodemlaag onder de bodemtoplaag waar de meeste ijzersulfiden door (vroegere) sulfaatbelasting waren geaccumuleerd. Dit is aannemelijk omdat de

bodemtoplaag in de zomer in de meeste jaren droogvalt, terwijl de diepere organisch-stofrijke bodemlaag wel langdurig anaeroob is en ijzersulfiden kan accumuleren. Bij zeer lage grondwaterstand oxideren in deze diepere laag de ijzersulfiden. Daar ontstaat zuur porievocht dat via capillaire opstijging de bodemtoplaag bereikt en daar geadsorbeerde basische kationen kan oplossen. Accumulatie van ijzersulfiden door aanvoer van sulfaatrijk grondwater is daarmee een bedreiging voor de duurzame buffering van een hoge basenrijkdom en pH van de bodem. Dit is vooral het geval wanneer de opgebouwde verzuringscapaciteit de zuurbuffercapaciteit gaat overschrijden, wat kan plaatsvinden in systemen die geen of een beperkte toename hebben van de zuurbuffercapaciteit hebben (Aggenbach et al. 2020). De reductie van sulfaat kan overigens door vorming bicarbonaat (HCO3-) en het bevorderen van kalkvorming in de bodem zorgen voor toename van de zuurbuffercapaciteit (Cirkel et al. 2014). Ook kan de vorming van bicarbonaat de adsorptie van door het grondwater aangevoerde basische kationen bevorderen en daarmee ook bijdrage aan een toename van de zuurbuffercapaciteit. Uit metingen van Aggenbach et al. (2021) blijkt dat kalkvorming niet of nauwelijks optreedt. De vorming van alkaliniteit draagt in geringe mate bij aan de totale zuurbuffercapaciteit van de bodem omdat de buffercapaciteit van het kationardorptiecomplex in de bodems van de Maatjes vele malen hoger is dan die van bicarbonaat in het porievocht. In de onderzochte Maatjes is de opbouw van zuurbuffercapaciteit van het kationadsorptiecompex in de bodemtoplaag beperkt door de accumulatiesnelheid van organische stof (Aggenbach 2021). Hierdoor is het mogelijk dat er in het bodemprofiel een verzuringscapaciteit (in mol+) opbouwt vergelijkbaar of hoger wordt dan de zuurbuffercapaciteit (in mol+). Accumulatie van ijzersulfiden kan daardoor een risico zijn voor de duurzame instandhouding van een hoge basenverzadiging en pH van de bodemtoplaag voor de basenminnende habitattypen H6410 Blauwgraslanden, H7230 Kalkmoerassen en H91E0C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen). In het onderzoek van Aggenbach et al. (2021) werd sterke uitloging gemeten in de maatjes in het Weerselerbeekdal waar actueel matig hoge sulfaatconcentraties zijn gemeten (164-297 µmol/l; Lucassen, E. & J. Roelofs 2016). In het dal van de Dollandbeek zijn de sulfaatconcentraties van het toestromende grondwater veel hoger (1200-1292 µmol/l; Lucassen, E. & J. Roelofs 2016). Daarnaast blijkt uit de grondwatermodellering in de huidige situatie (referentiescenario 12) dat de kwelflux in het Dollandbeekdal hoger is (ca. 2 mm/d en hogere uitschieters tot ca. 10 mm/d) dan het Weerselerbeekdal (0,8-0,9 mm/d). De sulfaatflux in kwelzones in het Dollandbeekdal kan daardoor een factor 10 en meer hoger zijn dan die in het Weerselerbeekdal. De risico's van opbouw van verzuringscapaciteit zijn daardoor voor het Dollandbeekdal zeer groot.

- Vernattingsmaatregelen kunnen het diep uitzakken van de grondwaterstand in de zomer verminderen en daarmee het optreden van interne zuurvorming. Uit de modellering van maatregelscenario's (Eysink 2021) blijkt dat de hydrologische maatregelen vooral een doorwerking hebben een langere duur van hoge waterstanden en veel minder op het minder diep uitzakken van de waterstand in de zomer. Verwacht wordt dat na uitvoering van de hydrologische maatregelen in extreem droge zomers de waterstand nog steeds zodanig diep kan uitzakken dat in de bodem interne zuurvorming kan optreden door oxidatie van geaccumuleerde sulfiden. Dit is een snel proces waardoor er ook in korte periodes van diepe grondwaterstand toch ook grote

hoeveelheid zuur kan worden geproduceerd (‘zuurbomeffect’). Door klimaatverandering neemt de kans op extreem droge perioden en dus zeer lage grondwaterstanden met zuurvorming bovendien toe.

- In het onderzoek van Aggenbach (2021) werd de afname van de basenvoorraad in de bodemtoplaag gemeten op plekken op zowel de beekdalhelling met een snelle afvoer van oppervlaktewater en zonder diepe inundatie, als lager in het dal waar mogelijk de afvoer van kwel- en neerslagwater minder goed is en enigszins stagneert in natte perioden. Dit impliceert dat een goede doorstroming van water over maaiveld de negatieve effecten van aanvoer van sulfaatrijk grondwater via opbouw van verzuringscapaciteit niet kan voorkomen. De reden hiervoor is namelijk dat de accumulatie van ijzersulfiden in de bodem niet alleen beïnvloed wordt door de mate van stagnatie van water op maaiveld. De voorraad van reduceerbare ijzerhydroxiden en beschikbaarheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof zijn ook belangrijke factoren voor de accumulatie van sulfiden en deze zijn vermoedelijk in belangrijke mate onafhankelijk van de mate waarin actueel oppervlaktewater over maaiveld wordt afgevoerd.
- Opgemerkt wordt dat het uitgevoerde recente chemische onderzoek in de Lemselermaten (Lucassen & Roelofs 2016) het risico van interne zuurvorming door oxidatie van ijzersulfiden niet kan uitsluiten. In dit onderzoek wordt geconcludeerd *“dat er geen sprake is van zwavelophoping in de bodem”*. Deze conclusie is gebaseerd op bodemchemische bepalingen in de bodemtoplaag van drie locaties (waarvan twee vermoedelijk in een kwelzone en één op een plek zonder kwel). Er is in dit onderzoek niet gemeten in diepere bodemlagen waar de vorming van ijzersulfiden meer waarschijnlijk is. Onderzoek van Cirkel et al. (2013) in de sulfaatbelaste kwelzone van het Meeuwenkampje laat bijvoorbeeld zien dat sterke sulfidenvorming op 0,4-0,9 m diepte in de bodem optrad.

Is stoppen van bemesting in het intrekgebied in de zone met een verblijftijd van 0-30 jaar nodig?

Om de risico’s voor achteruitgang van kwelafhankelijke habitattypen sterk te verkleinen is de enige en meest effectieve maatregel het stoppen van bemesting in agrarische percelen die sterk bijdragen aan de inzijging van water dat opkwelt in de Lemselermaten. Het stoppen van bemesting zorgt voor 1) minder directe uitspoeling van sulfaat naar het grondwater door bemesting en 2) voor minder uitspoeling van nitraat en daarmee minder omzetting van pyriet naar sulfaat in pyriethoudende lagen van het watervoerende pakket. Het stoppen van de toevoer van sulfaat en nitraat door bemesting zorgt daarmee voor een sterke verlaging van de sulfaatconcentratie. Voor het bepalen welke delen van het inzijggebied belangrijk zijn, kan gebruikt worden gemaakt voor van berekende stroombaan- en verblijftijden met het grondwatermodel van Tauw gebaseerd op een gemiddelde hoogte van de waterstanden en stijghoogten (Bor et al. 2019). Uit deze berekeningen blijkt dat veel van de stroombanen die eindigen in kwelzones van de Lemselermaten afkomstig zijn uit infiltratiegebied aan de zuidoostzijde van de Lemselermaten en een verblijftijd hebben van 0 tot 30 jaar. Het stoppen van de bemesting in de zone met een verblijftijd tot en met 30 jaar in intrekgebied aan de zuid- en oostzijde is daarom een maatregel die perspectiefvol is voor vermindering van de sulfaatbelasting van kwelzones en daarmee voor een duurzame instandhouding van

kwelafhankelijke habitats. Kwelzones die vooral gevoed worden door grondwater met een relatief korte verblijftijd zullen eerder een verlaging van de sulfaatconcentratie geven terwijl dit voor kwelzones die gevoed worden door ouder grondwater, langer zal duren. Begrenzing van een kleinere oppervlakte intrekgebied zonder bemesting tot een zone met een minder lange verblijftijd heeft het risico dat de maatregel onvoldoende effect heeft. Wanneer dan blijkt dat voor duurzame instandhouding van kwelafhankelijke habitats alsnog een grote intrekgebied zonder bemesting nodig is, duurt het langer voordat voldoende verlaging van de sulfaatconcentratie wordt bereikt en zal daarmee betreffende habitats ook langer nadelig beïnvloeden.

Conclusies

In de Lemselermaten is er groot risico op achteruitgang van kwelafhankelijke habitattypen bij toestroming van sulfaatrijk grondwater. Dat is ook het geval wanneer er sprake zou zijn van een goede afvoer van oppervlaktewater in kwelzones. Het stoppen van bemesting in het deel van het intrekgebied dat belangrijk is voor de grondwatervoeding van kwelzones kan behoud van zulke habitattypen wel waarborgen.

Meer specifiek:

1. De noodzaak van structurele vernatting om achteruitgang van kwelafhankelijke habitats tegen te gaan en de potentieel negatieve effecten toestroming van sulfaatrijk grondwater maken de marges voor behoud van kwelafhankelijke vegetaties gering. Zonder maatregelen die de sulfaatconcentratie in het toestromende grondwater verlagen, is er een groot risico op achteruitgang van kwelafhankelijke habitats. De toestroming van sulfaatrijk grondwater legt ook beperkingen op aan herstelpotentie van de nattere vormen van betreffende habitats.
2. De toestroming van sulfaatrijk grondwater vormt een blijvend risico voor bodemverzuring en daarmee voor achteruitgang van de kwelafhankelijke habitats in de Lemselermaten. Een goede doorstroming van oppervlaktewater over maaiveld kan dit risico niet wegnemen.
3. Het stoppen van bemesting in het intrekgebied aan de zuid- en oostzijde van de Lemselermaten met een verblijftijd tot en met 30 jaar zal sterk bijdragen aan de verlaging van de sulfaatconcentratie van het grondwater dat kwelzones voedt. Deze maatregel draagt daarmee bij een instandhouding van kwelafhankelijke habitats op de lange termijn.

Referenties

Aggenbach, C.J.S. (2021). Duurzaamheid van basenminnende schraallanden in kwelzones. Monitoring 1989-2020 Stroothuizen, Punthuizen en Lemselermaten. Rapport Monitoring OBN-28-BE, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.

Aggenbach, C.J.S, P. Huyghe, J. Nijp & R. van Diggelen (2020). Invloed van vermest grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen. Rapport nummer 2020/OBN242-BE, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.

Appelo, C.A.J., & D. Postma (1993). Geochemistry, Groundwater and Pollution. xvi + 536 pp. Rotterdam, Brookfield.
Bor, M, H. van Gurp, G. Willems & W. Capel (2019). Hydrologische effectberekeningen PAS-maatregelen Lemselermaten. Tauw adviesbureau, Deventer.

Cirkel, D. G., C. G. E. M. Van Beek, J. P. M. Witte & S. E. A. T. M. Van der Zee (2013). Sulphate reduction and calcite precipitation in relation to internal eutrophication of groundwater fed alkaline fens. Biogeochemistry, DOI 10.1007/s10533-013-9879-4.

Eysink, F. (2021). Lemselermaten. Knelpunt sulfaat oplossen door bemestingsmaatregelen. Notitie Bosgroepen d.d. 30-04-2021.

Fraters, B. & A. de Goffau (2014). Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland Overzicht van meetresultaten van nationale meetnetten. RIVM Briefrapport 2014-0120, RIVM.

Hausmann, B., K.H. Knorr; K. Schreck, S.G. Tringe, T.G. del Rio, A. Loy & M. Pester. Consortia of low-abundance bacteria drive sulfate reduction-dependent degradation of fermentation products in peat soil microcosms. ISME JOURNAL 10(10): 2365-2375.

Lucassen, E., A. J. P. Smolders, L. P. M. Lamers & J. G. M. Roelofs (2005). Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate-eutrophication in sulphate-rich fens: Consequences for wetland restoration. Plant and Soil 269:109-115.

Lucassen, E. & J. Roelofs (2016). Eindrapportage Uitwerking onderzoeksvragen in het kader van Natura 2000 gerelateerd aan bodemonderzoek, grondwaterkwaliteit en inschatting interne eutrofiëring. Rapport nummer: RP-16.044, B-Ware.

Smolders, F., E. Bohnen-Verbaarschot & B. van Delft (2017). Ecopedologisch en biogeochemisch onderzoek Hazelbekke. Rapportnummer: RP-16.101.16.65, B-Ware/ WUR.

Verstijnen, Y & J. Roelofs (2019). Aanvullend sulfaatonderzoek Lemselermaten. Conceptrapport, B-Ware.

Bijlage 1: Berekening van de relatieve bijdragen aan hoge sulfaatconcentraties in het grondwater van Lemselermaten

In het onderzoek van Verstijnen en Roelofs (2019) zijn in twee landbouwpercelen grenzend aan de Lemselermaten sulfaat-, nitraat- en ijzerconcentraties in het porievocht gemeten in diepteprofielen (0, 2, 4, 6, 8 en 10 m). Tevens is ook het zwaveltotaal- en ijzertotaal gehalte van de bodem gemeten. Op basis van deze metingen concluderen Verstijnen en Roelofs (2019) dat de omzetting van nitraat naar stikstofgas en gelijktijdige omzetting van pyriet in sulfaat verantwoordelijk is voor de hoge sulfaatconcentraties in het toestromende grondwater. In beide diepteprofielen worden ook al aanzienlijke sulfaatconcentraties in het porievocht van de toplaag gemeten waar geen pyriet zit (ca. 400 µmol/l). De sulfaat in het porievocht van de toplaag is hoofdzakelijk afkomstig van atmosferische zwaveldepositie en sulfaat in de mest en kunstmest. De gemeten diepteprofielen kunnen in combinatie met een berekening van de bijdrage van de huidige atmosferische zwaveldepositie gebruikt worden om de relatieve bijdrage van zwaveldepositie, directe aanvoer van sulfaat door bemesting en door oxidatie van pyriet aan de sulfaatconcentratie van het grondwater te schatten. Daarbij zijn de volgende aannames gemaakt:

- voor berekening van de bijdrage van zwaveldepositie aan de sulfaatconcentratie van het porievocht is uitgegaan van een actuele atmosferische zwaveldepositie van 8 kg/ha/j en een grondwateraanvulling van 275 mm/j; dit levert een bijdrage van zwaveldepositie aan de porievochtconcentratie van 95 µmol/l;
- de bijdrage van bemesting aan de porievochtconcentratie is berekend door het verschil van de porievochtconcentratie in de bodemtoplaag (0 m diepte) en de bijdrage van de zwaveldepositie aan de porievochtconcentratie;
- de bijdrage van pyrietoxidatie aan de sulfaatconcentratie in het porievocht is berekend door de porievochtconcentratie in de pyriethoudende lagen te verminderen met de bijdragen van zwaveldepositie en bemesting;
- vervolgens is voor de gemeten sulfaatconcentraties van het porievocht in pyriethoudende lagen de procentuele bijdrage berekend van zwaveldepositie, sulfaattoevoer door bemesting en pyrietoxidatie.

Jaar van publicatie
2021

Meer informatie
Drs. C.J.S. Aggenbach
T +31 6 22379320
E camiel.aggenbach@kwrwater.nl

Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

xxxx.xxx | 29 juni 2021 ©KWR

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.