

# Landschap

2

2024  
Jaargang 41

Tijdschrift voor landschapsonderzoek

Themanummer B-WARE - Twintig jaar toegepast onderzoek voor natuurherstel en -ontwikkeling



**LANDSCHAP**, tijdschrift voor landschapsonderzoek, biedt een platform voor wetenschappelijke publicaties over het landschap in brede zin: ecologisch, beleidsmatig, sociologisch, ontwerpgericht, enzovoort. LANDSCHAP verschijnt vier maal per jaar en biedt naast wetenschappelijke artikelen ruimte aan discussiebijdragen, reviews, mededelingen, de rubriek Op Pad, Column/Beeld en boekbesprekingen. De wetenschappelijke artikelen worden gepubliceerd in open access. Aanwijzingen voor auteurs staan op [www.landschap.nl/tijdschrift/colofon](http://www.landschap.nl/tijdschrift/colofon) of kunnen worden opgevraagd bij de redactie. LANDSCHAP wordt uitgegeven door VVM, netwerk van milieuprofessionals.

**Redactie**

Drs. G. De Blust	Dr. Ir. C.S.A. van Koppen
Dr. J.N.M. Dekker	Dr. Ir. J.H.A. Meeus
Dr. J.M.H. van Diggelen	Dr. Ir. D.T. van der Molen
Dr. Ir. G.J. van Geest	Dr. T. van der Sluis
Dr. Ir. W. de Haas (hoofdredacteur)	Dr. R.J.M. Temmink
	Dr. D. van Wijk

**Eindredacteur**

Ir. K.F. Kuijper (Communicatiebureau de Lynx)

**E-mail redactie**

hoofdredacteur@landschap.nl  
f.kuijper@delynx.nl

**Website LANDSCHAP** [www.landschap.nl](http://www.landschap.nl)

**Administratie**

VVM, gebouw UCo, 2e Daalsedijk 6a, 3551 EJ Utrecht  
Annemieke Vermeulen, [a.vermeulen@vvm.info](mailto:a.vermeulen@vvm.info)  
T. 030 - 232 29 89  
[www.vvm.info](http://www.vvm.info)  
IBAN: IBAN NL18 TRIO 0390 5393 68

**Abonnement 2024**

Voor personen en organisaties die met de WLO, dus vóór 1 januari 2022, een abonnement hadden afgesloten geldt een overgangsregeling, zie [www.vvm.info/wlo-overgangslidmaatschap](http://www.vvm.info/wlo-overgangslidmaatschap). Losse abonnementen op LANDSCHAP kunnen conform de bij de VVM geldende voorwaarden worden afgesloten via [www.vvm.info/abonnementen-landschap](http://www.vvm.info/abonnementen-landschap). Ook kunt u zich als nieuw lid van de VVM aanmelden, waarbij u naar keuze het blad LANDSCHAP of het blad 'Milieu' op papier ontvangt. Leden kunnen deze bladen ook online lezen en genieten van de overige VVM-voordelen, zie [www.vvm.info/lidmaatschap/aanmelden-tarieven](http://www.vvm.info/lidmaatschap/aanmelden-tarieven).

**Advertenties** Tarieven en inlichtingen via de redactie.

**Opmaak** Communicatiebureau de Lynx, Wageningen (Florien Kuijper)

**Foto omslag** Dirk van Roosmalen. Kaftserie Vogelvlucht

**Druk** Virtumedia

ISSN 01696300

© 2024 Geheel of gedeeltelijk overnemen van artikelen – met bronvermelding – is alleen toegestaan na toestemming van de redactie.



## Toegepast onderzoek

Dit nummer van Landschap is gewijd aan het werk van onderzoekcentrum B-WARE. B-WARE is opgericht in 2002 en doet toegepast onderzoek naar biogeochemische en ecologische processen in natuurgebieden en watersystemen.

Uit eigen ervaring weet ik dat je als toegepast onderzoeker vaak in een spanningsveld tussen allerlei beleidsopvattingen moet opereren. Dat kan verschillende, soms ook negatieve, reacties oproepen. 'Toegepast onderzoekers worden ingehuurd om de opdrachtgever naar de mond te praten', 'de uitkomsten zijn niet praktisch genoeg', 'er is al zoveel bekend; (dure) gegevensverzameling is niet nodig, beperk je tot de beschikbare kennis', om er een paar te noemen. Het beste antwoord daarop is absolute kwaliteit leveren: met eerbied voor de situatie, bescheidenheid qua pretenties en integriteit als basishouding.

In dit nummer kunt u lezen welke uitgangspunten B-WARE kiest als het gaat om dit soort vragen en wat het onderzoek van B-WARE betekent voor een aantal belangrijke maatschappelijke kwesties.

**WIM DE HAAS, HOOFDREDACTEUR**

### Dankwoord

We zijn erg trots op dit themanummer, dat uitkomt in het kader van het twintigjarig bestaan van onderzoekcentrum B-WARE. Dit nummer had niet tot stand kunnen komen zonder de gezamenlijke inspanning van veel collega's, opdrachtgevers, partnerorganisaties en relaties. Het was een genoegen om met elkaar terug te kijken op al die verschillende projecten en onderzoeken en op de groei en ontwikkeling van de organisatie.

We hebben ook vooruitgekeken naar de uitdagingen die we op dit moment voor ons zien op het vlak van milieu, klimaat, biodiversiteit en natuurherstel. Daarbij hebben we nagedacht over de rol die we hierin zouden kunnen en willen spelen.

Het themanummer is grotendeels samengesteld door medewerkers van B-WARE. Voor een onafhankelijke en ook kritische blik op ons werk zijn we te rade gegaan bij verschillende opdrachtgevers en relaties en we hebben ons laten begeleiden door de redactie van Landschap.

Via deze weg willen we alle mensen die een bijdrage hebben geleverd aan dit themanummer bedanken.

In het bijzonder bedanken we de mensen en organisaties die hebben meegewerkt aan de interviews: Allard van Leerdam en Saskia Bloemen (Staatsbosbeheer), Frederik Naedts (Natuurpunt, Vlaanderen), Wim Wiersinga en Geert van Duinhoven (VBNE) en Michael van Roosmalen (Het Limburgs Landschap).

**B-WARE**



Dit themanummer is gefinancierd door B-WARE. De themaredactie bestond uit Jose van Diggelen (B-WARE & Redactie Landschap), Esther Lucassen en Hilde Tomassen (B-WARE), Jos Dekker, Wim de Haas en Dianneke van Wijk (Redactie Landschap).

Cover **Dirk van Roosmalen**.

Het Heerenven op de Hamert in Wellerlooi, kijkend in noordelijke richting over het ven. Het Heerenven was een van de eerste projecten van B-WARE. De foto is genomen ruim twintig jaar na uitvoering.

# Metten is weten

## Twintig jaar B-WARE

In ruim twintig jaar tijd is Onderzoekcentrum B-WARE uitgegroeid tot een zelfstandig opererende organisatie in het werkveld van natuurherstel en -ontwikkeling. In dit themanummer van *Landschap* blikken we terug. Wat hebben we de afgelopen twintig jaar bijgedragen aan het Nederlandse natuur- en waterbeheer? Ook kijken we vooruit naar de uitdagingen die voor ons liggen.

B-WARE staat voor Biogeochemical Watermanagement and Applied Research on Ecosystems. Aan de wieg van B-WARE stond prof dr. Jan Roelofs, die het onderzoekcentrum in 2002 oprichtte als spin-off van de toenmalige afdeling Aquatische ecologie en Milieubiologie van de Radboud Universiteit Nijmegen. Dit deed hij samen met prof. dr. Bert Hennipman (Universiteit Utrecht), die ervaring had met het opzetten van een bedrijf. Er waren twee aanleidingen voor de spin-off: in de eerste plaats kwamen er steeds vaker vragen van beheerders en beleidsmakers over milieuproblemen en natuurherstel die niet in de lopende onderzoeken konden worden ondergebracht. In de tweede plaats waren er te weinig mogelijkheden om getalenteerde onderzoekers een vaste baan binnen de afdeling te bieden. Het doel was toegepast onderzoek vanuit een wetenschappelijke basis, om het functioneren van natuursystemen beter te begrijpen en advies te geven over natuurontwikkeling en -herstel. Ruim twintig jaar na dato houdt B-WARE zich hier nog steeds mee bezig.

### Onderscheidende aanpak

B-WARE doet toegepast onderzoek naar de biogeochemische en ecologische basis van natuursystemen, in een vaak sterk door mensen beïnvloede

omgeving. Meestal is een concreet probleem de aanleiding om onderzoek te doen, zoals de achteruitgang van leefgebieden en/of die van specifieke soorten, of waterkwaliteitsproblemen zoals blauwalgenbloei. Uitgangspunt van B-WARE is dat biogeochemische processen van grote invloed zijn op het functioneren van systemen. Een beter begrip van deze processen draagt bij aan het kiezen van de juiste beheer- of herstelmaatregelen. Een voorbeeld is de grote invloed van biogeochemische processen in de waterbodem op de waterkwaliteit van watersystemen (zie Smolders et al., dit nummer).

B-WARE heeft tot nu toe ruim 2.500 verschillende projecten uitgevoerd in het kader van herstelbeheer, in diverse natuurgebieden in nagenoeg heel Nederland (figuur 1A, groene en blauwe punten). Het gaat hierbij om zowel terrestrische als aquatische systemen in zand-, heuvel-, duin- en kust-, laagveen-, zeeklei-, rivieren-, beekdal- en cultuurlandschappen en in (grote) wateren. Ook wordt regelmatig onderzoek uitgevoerd in meer kunstmatige systemen zoals drinkwaterbekkens, zandwinplassen, helofyten-filters, (stads)vijvers of sloten. In de beginjaren van B-WARE werd veel onderzoek gedaan aan verzuurde systemen zoals vennen en heischrale graslanden en naar fosfaatproblematiek in bodem- en water. In de

## Waarom onderzoek laten uitvoeren door B-WARE?

**Staatsbosbeheer:** “Wij benaderen B-WARE vaak met vragen over natuurontwikkeling. Bijvoorbeeld bij functieverandering van verdroogde, vermeste en intensief gebruikte percelen. Wat kun je dan qua natuurontwikkeling bereiken, vanuit de bodem gezien? Dat zijn de projecten waar het na uitvoeren van onderzoek en maatregelen bijna altijd beter wordt. Andere vragen gaan bijvoorbeeld over meer complexe gebieden die al natuurgebied zijn en waar bepaalde problemen aan de oppervlakte komen die een relatie lijken te hebben met bodem-, water- of waterbodempkwaliteit.”

**Natuurpunt:** “Het uitstrooien van maaisel na ontgronden was tien jaar geleden nogal een taboe in Vlaanderen; dat vond men floravervalsing. Ik ben meer van de Nederlandse mentaliteit dat je ook moet durven uitproberen - na goed vooronderzoek. Daarin heeft B-WARE voor ons een grote rol gespeeld. We hebben het vrij breed toegepast: we hebben bijvoorbeeld ook via zaad individuele soorten ingebracht. We zijn daar zeer tevreden over en zien dat het zeker bijdraagt tot herstel. Onze aanpak heeft ook anderen geïnspireerd en daarmee is enige koudwatervrees de wereld uit geholpen.”

**Limburgs Landschap:** “B-WARE is een pionier. Ze hebben veel onontgonnen gebied verkend en leren kennen. B-WARE zit op de abiotiek, de bodemchemie en is van vroeger uit vooral gespecialiseerd in flora. Maar andere aspecten zijn ook van belang, bijvoorbeeld de effecten op insecten. Er zit nog een heel ander systeem aan vast. Gelukkig zoeken ze samenwerking met andere partijen en vice versa, waardoor ze in de rapportages ook bijvoorbeeld het fauna-aspect meenemen.”

loop van de jaren kwam er ook steeds meer aandacht voor onderzoek in gebieden waar mogelijk nieuwe natuur ontwikkeld kan worden, vaak op (voormalige) landbouwgronden die grenzen aan natuurgebieden (figuur 1A, oranje punten).

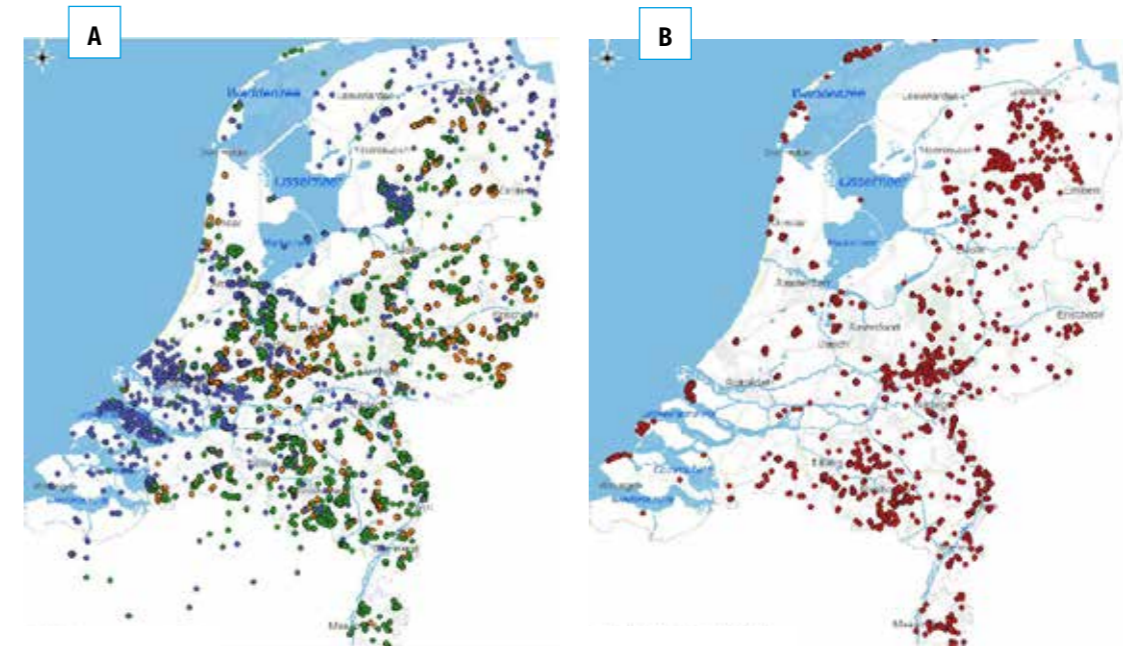
De diversiteit aan onderzoeksprojecten heeft niet alleen geleid tot veel nieuwe inzichten over sturende processen en effecten van bepaalde beheermaatregelen, maar ook tot een enorme verzameling van (referentie)data (o.a. de database GRIP, figuur 1B; zie ook Brouwer et al., dit nummer) en een uitgebreid archief met gedroogd bodemmateriaal. Behalve in Nederland doet B-WARE ook onderzoek in België en Duitsland; en incidenteel in andere landen binnen en buiten Europa.

## Beperken en samenwerken

Het idee leeft soms dat B-WARE alleen de abiotiek op de standplaats onderzoekt, maar dat is een misvatting. We onderzoeken de fysisch-chemische samenstelling van bodem en water, maar ook hoe deze zich verhouden tot (micro)biologische processen, hoe deze weer van invloed zijn op soorten en wat dit dan betekent op systeemniveau. In de doorvertaling naar soorten richten wij ons vaak op vegetatie, omdat deze sterk afhankelijk is van standplaatscondities en planten op hun beurt weer voorwaarden voor andere soorten creëren.

Specialisatie heeft voordelen, maar aan bepaalde vragen van opdrachtgevers kunnen we niet goed invulling geven. Als er voor een onderzoeksproject expertise nodig is op het vlak van bijvoorbeeld dierecologie, fytoplankton, e-DNA, bodemleven of modellering van water- en/of stofstromen zoeken we samenwerking met gespecialiseerde partners.

B-WARE bevindt zich op de Campus in Nijmegen en deelt verschillende faciliteiten met de Radboud Universiteit. Met RIBES (Radboud Institute for Biological and Environmental Sciences) hebben we een structurele samenwerking op het vlak van onderzoek en onderwijs. Het toegepaste onderzoek van B-WARE is ook voor de universiteit van groot belang omdat het kansen biedt om nieuwe fundamenteel-wetenschappelijke inzichten te verifiëren en – de andere kant op – om nieuwe kennis uit fundamenteel onderzoek snel zijn weg te laten vinden naar de beheerpraktijk. Bij de toepassing worden ook vaak nieuwe kennislacunes ontdekt, die weer kunnen leiden tot nieuw fundamenteel onderzoek. Deze manier van werken en ontwikkelen geeft een belangrijke, maar voor de buitenwereld soms ook lastige dynamiek, waarbij de ‘waarheid’ van gisteren niet meer altijd de ‘waarheid’ van vandaag is. Het kennisveld is dan ook continu in beweging.



**Figuur 1** Overzicht van B-WARE-projecten. A: projecten op het gebied van natuurherstel in (semi)terrestrische systemen (groen), aquatische systemen (blauw) en natuurontwikkeling (oranje). B: projecten waarbij de koppeling tussen vegetatie en chemie is gemaakt (GRIP-database).

**Figure 1** Overview of B-WARE projects in the Netherlands. A: projects in the context of nature restoration of (semi)terrestrial systems (green), aquatic systems (blue) and nature development (orange). B: projects where both vegetation and chemistry were determined (GRIP database).

In 2023 zijn onderzoekcentrum B-WARE en de afdeling Ecologie een nieuw kennisinstituut gestart: ‘GEMCE’ (Greenhouse gas Emission and Mitigation Centre of Expertise). Binnen GEMCE wordt fundamenteel en toegepast onderzoek uitgevoerd naar de uitstoot van broeikasgasemissies en de rol van biogeochemische processen en natuurbeheer (zie Van Dijk et al., dit nummer). Waar mogelijk zoekt B-WARE ook aansluiting en samenwerking met Natuurplaza Nijmegen, een samenwerkingsverband van vijf sterk gespecialiseerde organisaties (RAVON, FLORON, SOVON, Stichting Bargerveen en de Zoogdierverseniging) dat zich bezighoudt met de ontwikkeling en verspreiding van toepasbare kennis voor natuurbeheer.

## Metten is weten!

Metten is weten: dat is ons adagium. Zonder gegevens

## Waarom heeft B-WARE de afgelopen twintig jaar een belangrijke rol gespeeld?

**Kennisnetwerk OBN:** “B-WARE heeft onder meer aan de basis gestaan van het vennenonderzoek. Twintig jaar geleden was het herstel van vennen urgent voor OBN. Intussen is er op dat vlak met succes heel veel gebeurd, zoals baggeren, inlaten van kalkrijk water of juist niet, hydrologisch isoleren, et cetera. Daar hebben OBN en B-WARE veel in betekend.”

**Limburgs Landschap:** “Heel veel soorten van zwak gebufferde vennen die verdwenen waren, zijn weer teruggekomen, zoals pilvaren, moerashertshooi, oeverkruiden en vlottende bies. Daar heeft B-WARE aan meegewerkt. Die vennen zijn nu zo’n twintig jaar oud en nu komt de volgende fase van onderzoek: hoe houden we het mooi?”

**Natuurpunt:** “B-WARE is belangrijk geweest voor het herstel van kwetsbare verzuringsgevoelige habitats: heischraal grasland en blauwgrasland, zwak gebufferde wateren en laagveenplassen. Onderzoekers van B-WARE publiceren regelmatig in o.a. De Levende Natuur en zijn regelmatig op symposia. Dan merk je dat daar heel veel kennis zit.”



### Zou B-WARE landschapsecologische systeemanalyse (LESA) moeten gaan doen?

**Limburgs Landschap:** “Ik weet niet of B-WARE daar de expertise voor heeft. Ze zijn heel sterk in abiotiek en flora, daarmee hebben ze al belangrijke elementen voor het opstellen van een LESA in huis.”

**Kennisnetwerk OBN:** “Voor een goede LESA is het werk van B-WARE nodig. Je kunt het landschap pas goed in kaart brengen als je processen in de bodem en het water probeert te begrijpen. Maar die expertise moet voor een LESA door anderen worden aangevuld.”

**Natuurpunt:** “Je hoeft niet in alles specialist te zijn, maar je moet als onderzoeksbureau wel de overwegingen of risico’s vermelden van bepaalde beheeradviezen en herstelmaatregelen. Als B-WARE bijvoorbeeld adviseert om 20 of 30 cm af te graven, moet je je als opdrachtgever realiseren dat je daarmee ook de hydrologie verandert. Het onderzoek van B-WARE alleen is voor ons niet leidend, het is voor ons onderdeel van een landschapsecologische benadering, waaronder de LESA.”

**Staatsbosbeheer:** “Wat B-WARE doet is heel relevant op het vlak van bodemkwaliteit, bodemchemie en hydrochemie. Maar om er echt landschapsecologie van te maken? Dan moet op zijn minst de hydrologische component er tegenaan worden gezet, en daar heb je ook anderen bij nodig. Dan kom je zo geleidelijk tot zo iets als een LESA.”

en zonder kwantitatieve analyse daarvan zijn inzichten en adviezen niet goed te onderbouwen. Onderzoekcentrum B-WARE is volledig ingericht en uitgerust om zelfstandig onderzoek uit te kunnen voeren, van bemonstering en analyse tot rapportage. In de prille beginjaren van B-WARE waren er geen of nauwelijks eigen materialen en middelen om onderzoek uit te voeren en was B-WARE afhankelijk van het instrumentarium van de universiteit. In de loop van de jaren is er veel geïnvesteerd in eigen onderzoeksfaciliteiten. Anno 2024 beschikt B-WARE onder meer over een goed uitgerust veldteam, een eigen laboratorium en onderzoeksfaciliteiten zoals klimaatkamers. Goede onderzoeksfaciliteiten zijn van groot belang om de betreffende natuursystemen goed te kunnen bemonsteren. We maken gebruik van veel verschillende technieken en methoden. Naast diverse gangbare methoden gebruiken we ook specialistische technieken zoals poreuze keramische cups om poriewater uit (water)bodems te verzamelen. Daarnaast beschikt B-WARE over geavanceerde meetapparatuur. De meest geavanceerde apparatuur wordt beheerd samen met het Gemeenschappelijk Instrumentarium (G.I.) van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica (FNWI) van de Radboud Universiteit (zie referenties). Om een hoge kwaliteitsstandaard van meetgegevens te realiseren (en te handhaven) investeren we niet alleen in goede apparatuur, maar ook in een goede organisatie van processen en controles (zoals protocollen en ringonderzoeken waarbij meetgegevens van veel verschillende laboratoria met elkaar worden vergeleken).

### B-WARE in cijfers

In 2002 begon B-WARE met vier onderzoeksprojecten. De laatste jaren voert B-WARE jaarlijks circa 200 verschillende projecten uit, die variëren in onder-

zoeksinspanning, looptijd en projectbudget. Onze opdrachtgevers zijn partijen met een rol in het natuur- en waterbeheer of -beleid: overheden (provincies, gemeenten, waterschappen), Rijkswaterstaat, drinkwaterbedrijven en terreinbeherende organisaties (tbo’s). Ook worden regelmatig onderzoeksprojecten uitgevoerd binnen de regeling OBN-natuurkennis (Kennisnetwerk OBN, ministerie van LNV, VBNE, BIJ12). B-WARE is in verschillende opzichten meegegroeid met de toename van vragen vanuit natuur- en waterbeheer. De capaciteit van de onderzoeksfaciliteiten is groter geworden en het aantal medewerkers is gegroeid van 2 in 2002 naar ruim 40 in 2024 - al werd in de periode 2013-2016 de groei wat geremd, onder meer door meer overheidsbezuinigingen op natuurbeleid (Buijs et al., 2014).

### Adviezen in de praktijk

De onderzoeksrapporten van B-WARE worden door de nadruk op scheikundige processen nog wel eens als ingewikkeld ervaren. Deze processen zijn echter de basis om de werking van systemen goed te kunnen doorgronden. In de rapporten wordt altijd een vertaling gemaakt vanuit de biogeochemische processen naar concrete adviezen die in de praktijk kunnen worden toegepast.

Over het algemeen worden de uitkomsten en adviezen goed ontvangen. In de praktijk is de uitvoering van voorgestelde maatregelen echter niet altijd haalbaar. Opdrachtgevers en beheerders moeten ook rekening houden met allerlei andere factoren op uitvoeringstechnisch, politiekmaatschappelijk, juridisch en financieel vlak. Voor verzuringsgevoelige systemen op droge zandgronden bijvoorbeeld is het met de hoge atmosferische stikstofdeposities in Nederland niet eenvoudig om praktisch toepasbaar advies te geven voor herstelbeheer (zie Weijters & Bobbink, dit nummer). In deze gevallen beschrijven

### Wat zijn sterke en/of minder sterke punten van B-WARE?

**Staatsbosbeheer:** “B-WARE begon al met de ecologische kennis, het overzicht en het commitment van de Radboud Universiteit. En dat is uitgebreid met tools voor het praktische werk, voor inrichtingsvraagstukken die altijd in weinig tijd moeten worden beantwoord. Dat is een hele krachtige combi. Er zijn natuurlijk meer instituten die zich hiermee bezighouden, maar het sterke punt van B-WARE is hun specialisatie in bodemkwaliteit en waterbodemkwaliteit, dat ze over goede analyse-apparatuur beschikken én goede keuzes maken in analysemethoden.”

**Kennisnetwerk OBN:** “Het onderzoek aan bodemchemie heeft zich de laatste vijf jaar meer ontwikkeld richting bodemleven. Dat bodemleven, daar valt voor B-WARE nog veel in te leren.”

**Limburgs Landschap:** “De schaal waarop je een advies inzet is van belang voor het succes. Het is in de praktijk niet altijd mogelijk om advies van B-WARE op grote schaal op te volgen. Zo adviseerde B-WARE diepkalken om verjonging van jeneverbes te stimuleren. Maar hoe pas je dat toe in de praktijk? Daar zijn wij als beheerders goed in. We hebben rond twintig tot dertig jeneverbessen tien gaten geboord, de bodem eruit gehaald, gemengd met de mineralen die in de bessen afwezig waren en vervolgens de grond terug gebracht. Het werkt: na een aantal jaren was in deze bessen een kwaliteitsverbetering zichtbaar en na tien jaar hebben we dit voorjaar veel verjonging gezien. Maar zoiets kun je niet op grote schaal toepassen.”

we de verschillende keuzes en opties uitgebreid, als uitgangspunt waarmee opdrachtgever en/of beheerder verder kunnen in de besluitvorming.

### Kennisontwikkeling en -overdracht

B-WARE geeft sinds 2014 verschillende cursussen om kennis te verspreiden. Nieuw ontwikkelde kennis wordt gekoppeld aan de actualiteit en de vraag vanuit het werkveld. Op dit moment, voorjaar 2024, geven we de cursussen ‘Van landbouw naar natuur: handvatten voor ontwikkeling op systeem- en perceelniveau’, ‘Stikstofdepositie en natuur: effecten en herstelmaatregelen’ en ‘Waterkwaliteitsproblemen: de sturende rol van de waterbodem’. Ook dragen we bij aan onderwijs op de Radboud Universiteit en verschillende hbo-opleidingen. Daarnaast geven we

**Figuur 2** (pagina hier-naast) Emiel Brouwer en Fons Smolders, mede-oprichters en de eerste onderzoekers van B-WARE in 2002.

**Figure 2** (opposite page) Emiel Brouwer and Fons Smolders: cofounders and the first researchers of B-WARE Research Centre in 2002.

### Zijn de adviezen altijd haalbaar?

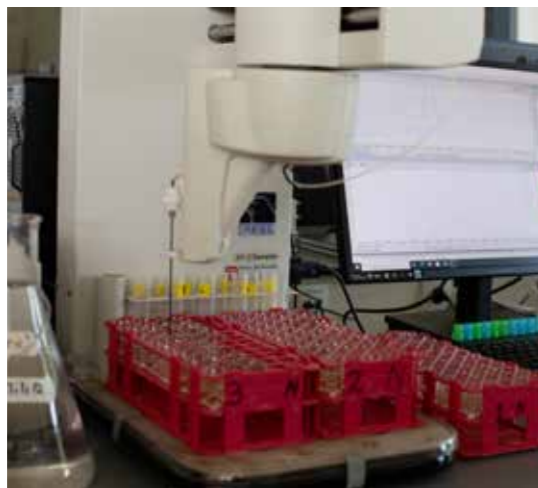
**Kennisnetwerk OBN:** “Bij het beheer van heischrale graslanden in Limburg zie je duidelijk de invloed van B-WARE. Onderzoek heeft geleid tot beter begrip waarom iets wel of niet werkt en wat je dus kunt doen. Zo heeft B-WARE in belangrijke mate bijgedragen aan het onderzoek naar de toepassing van steenmeel. Soms blijkt dat natuurherstel heel lastig is. We zitten soms aan de grenzen van onze mogelijkheden. Bij de heischrale graslanden is de verzuring zo ver gevorderd dat het moeilijk meer te herstellen is.”

**Staatsbosbeheer:** “Vernatting leidt tot ingewikkelde processen. Zo heeft vernatting goed uitpakkt voor bijvoorbeeld de grutto, maar in de sloten juist tot een behoorlijke verslechtering van waterkwaliteit geleid. Het valt niet allemaal in een keer perfect op zijn plek. Dan kun je eindelijk iets doen tegen de verdroging en dan neem je misschien iets te grote stappen. We hebben niet alle antwoorden gevonden, maar zijn wel verder gekomen.”

**Limburgs Landschap:** “De rapporten zijn geen eenvoudige kost. Het is heel veel bodemchemie. De wetenschapper is vooral een theoreticus, die soms heel diep op de materie ingaat en een beheerder is vooral met zijn handen bezig. Daar zit een behoorlijke kloof tussen en soms krijg je een advies waar je als beheerder niets mee kunt. Als het advies is om de grondwaterstand een halve meter te verhogen en je zit in agrarisch gebied, dan kun je dat wel willen maar dan gaat dat niet lukken. Dan zoeken we in overleg met elkaar welke mogelijkheden er wel zijn. We hebben in de loop der jaren geleerd om elkaars taal te spreken.”

**Figuur 3** B-WARE beschikt over een eigen laboratorium en onderzoeksfaciliteiten.

**Figure 3** B-WARE has its own laboratory and research facilities.



regelmatig lezingen en publiceren we in nationale en internationale vakbladen. Voor medewerkers van B-WARE bestaat er de mogelijkheid om te promoveren op onderzoeken die zij vanuit B-WARE hebben uitgevoerd. Dit heeft tot nu toe geleid tot twee proefschriften (Van Diggelen, 2015 en Van Dijk, 2017) en verschillende zijn op dit moment in ontwikkeling. Prof. dr. Fons Smolders is behalve B-WARE-onderzoeker ook bijzonder hoogleraar Applied Biogeochemistry aan de Radboud Universiteit en begeleidt promovendi vanuit zowel B-WARE als de universiteit. Tot slot zijn verschillende medewerkers van B-WARE als gastmedewerker verbonden aan de afdeling Ecology van de Radboud Universiteit.

### Is het werk ooit klaar?

De missie van B-WARE is de natuur- en waterkwaliteit te verbeteren met kennisontwikkeling. Theoretisch betekent dit dat ons huidige werk grotendeels ophoudt op het moment dat de natuur in voldoende mate hersteld en beschermd is en voldoende robuust in relatie tot drukfactoren. We hopen dit punt te gaan bereiken, maar op dit moment zien we nog verschillende grote uitdagingen voor ons. De hoeveelheid milieuvreemde stoffen in onze (water) systemen, de uitstoot van stikstof en broeikasgassen, de stijgende zeewaterspiegel, bodemdaling en het verlies van biodiversiteit zijn helaas nog steeds actueel. De afgelopen decennia is ontzettend veel kennis ontwikkeld, is er bewustwording op gang gekomen en zijn tal van maatregelen genomen. Dat is positief, maar is nog niet voldoende. Er zijn meer maatregelen nodig om als maatschappij beter in balans te komen met onze natuurlijke leefomgeving. Gewoontes doorbreken (of beter gezegd: wennen aan nieuwe gewoontes) kost tijd, zeker als die gewoontes al tientallen of honderden jaren bestaan. Zoals het droogleggen, draineren en versneld afvoeren

van water, wat in Nederland al meer dan 1000 jaar de praktijk is. Met een veranderend klimaat en toenemende periodes van droogte is de uitdaging nu juist om méér water vast te houden. Dit vereist een andere manier van denken, land inrichten en (water) beheren. Er zijn gelukkig ook hoopgevende voorbeelden waaruit blijkt dat we als maatschappij ook snel iets kunnen bereiken, zoals de maatregelen

die in de jaren 1980 binnen relatief kort tijdbestek genomen werden om zure regen als gevolg van zwaveluitstoot tegen te gaan.

Wat de toekomst ons mag brengen weet niemand, maar zo lang het nodig is zullen wij vanuit B-WARE ons best blijven doen om met kennisontwikkeling bij te dragen aan behoud, herstel en ontwikkeling van onze natuurlijke leefomgeving.

### Summary

#### To measure is to know. Twenty years of B-WARE

Piet-Jan Westendorp & José van Diggelen

[applied research, biogeochemistry, nature restoration, water management](#)

B-WARE Research Centre was founded in 2002 and has developed into an independent organization focused on nature restoration and development. In this special issue we look back and wonder: what did we contribute to the Dutch nature conservation and water management over the past twenty years?

This article is an introduction on this special issue and gives insight into the main goals and functioning of our company, but also an external view was given by a few of our clients. Furthermore, we look ahead towards future challenges and opportunities.

### Literatuur

**Buijs, A., Mattijssen, T. & Arts, B. (2014).** “The man, the administration and the counter-discourse”: An analysis of the sudden turn in Dutch nature conservation policy. *Land Use Policy* 38, 676-684.

**Radboud Universiteit (z.d.).** Gemeenschappelijk Instrumentarium. Geraadpleegd mei 2024, van <https://www.ru.nl/fnwi/gi/faciliteiten-activiteiten/element-analyse/>

**Van Diggelen, J.M.H. (2015).** *Human impact on peatlands: from biogeochemical issues towards sustainable land use options.* PhD thesis, Radboud University Nijmegen.

**Van Dijk, G. (2017).** *Peatlands affected by biogeochemical stressors. Consequences of increased salinity and nitrate levels for biogeochemical cycling, microbiological pathways, ecohydrology and biodiversity.* PhD thesis, Radboud University Nijmegen.



# Zwaveland

## Sulfaat als obstakel voor het bereiken van de KRW-doelen

De KRW-doelen dreigen in Nederland niet gehaald te worden. De kwaliteit van ons oppervlaktewater is momenteel matig tot slecht, met als belangrijke oorzaak uitspoeling van nutriënten van landbouwpercelen naar het oppervlaktewater. Vaak gaat het vooral over de directe belasting, maar er is ook een grote indirecte invloed. Het zijn vooral de biogeochemische processen in de waterbodembodem die de nutriëntenbeschikbaarheid in een watersysteem bepalen. De rol die de zwavelkringloop speelt bij de vaak veel te hoge concentraties van fosfor in ons oppervlaktewater wordt nog steeds onderschat.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) verplicht Nederland ervoor te zorgen dat in 2027 de oppervlaktewateren een goed leefgebied vormen voor de planten en dieren die er thuishoren. Hiervoor zijn (biologische en fysisch-chemische) normen opgesteld, die samen de kwaliteit van het waterlichaam bepalen. Op dit moment wordt de biologische waterkwaliteit in Nederland bijna overal als matig tot slecht beoordeeld (Compendium voor de Leefomgeving, 2022). Waar de biologische kwaliteit op orde is, worden vaak de fysisch-chemische normen niet gehaald, waardoor de ecologische kwaliteit alsnog onvoldoende is. Als het niet lukt om in 2027 de doelen te halen, waar het naar uitziet, dan moeten in dat jaar in ieder geval wel alle benodigde maatregelen zijn getroffen om op termijn de doelen alsnog te kunnen halen. Het is dus twee voor twaalf.

### Biogeochemie en waterkwaliteit

Een belangrijke oorzaak voor de matige tot slechte waterkwaliteit is vermisting. Te hoge fosfor- en stikstofconcentraties in het oppervlaktewater worden onder andere veroorzaakt door uit- en afspoeling vanaf landbouwgronden. Hoewel deze 'externe' belasting van het watersysteem een belangrijke rol speelt, zijn het

vooral de biogeochemische processen in de waterbodembodem die de nutriëntenbeschikbaarheid in een watersysteem bepalen (Smolders et al., 2013). De waterbodembodem fungeert hierbij als opslag én doorgeefluik van nutriënten. De 'motor' van deze processen is de hoeveelheid reactief organisch materiaal in de waterbodembodem. Dit is afkomstig van afgestorven resten van algen en waterplanten die binnen het systeem zijn geproduceerd, maar kan ook van buiten komen via bijvoorbeeld aangevoerd slib of afkalving van oevers. In de waterbodembodem wordt reactief organisch materiaal afgebroken door microbiële redoxreacties waarbij koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P) vrijkomen. De mate waarin reactief organisch materiaal afgebroken kan worden is echter afhankelijk van de aanwezigheid van zogenaamde elektronenacceptoren (Smolders et al., 2006; Lamers et al., 2012). Zuurstof is een sterke elektronenacceptor, maar in waterbodems vaak amper aanwezig. Veel waterbodems bevatten van nature relatief veel ijzer en er wordt ook ijzer aangevoerd via af- en uitspoeling van percelen en via grondwater. In de zuurstofloze delen van de onderwaterbodems zijn driewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) de meest voorkomende elektronenacceptoren. Driewaardig ijzer is aanwezig in ijzer(III)

eutrofiëring  
oppervlaktewater  
waterbodembodem  
fosfaat  
ijzer

**A.J.P. (Fons) Smolders**  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Toernooiveld 1, 6525 ED  
Nijmegen;  
a.smolders@b-ware.eu

**Y.J.M. (Yvon) Verstijnen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

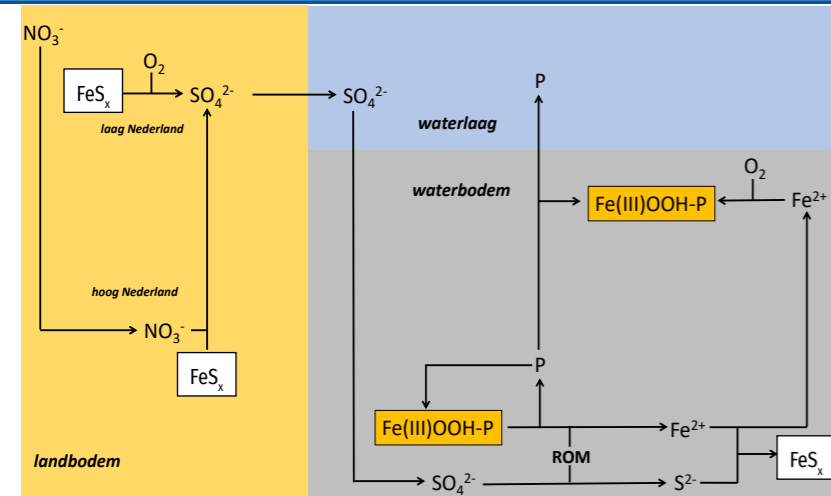
**J.M.H. (José) van Diggelen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**M.D.M. (Moni) Poelen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**E.C.H.E.T. (Esther) Lucassen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**G. (Gijs) van Dijk**  
Onderzoekcentrum B-WARE

Foto **Mark van Veen**. Zuidplaspolder bij Moordrecht: een diepe polder met ouderwetse hooilanden en sloten, ingesloten door steden.



**Figuur 1** Schematische weergave van de interacties tussen ijzer (Fe), zwavel (S), nitraat (N) en fosfor (P) in verschillende compartimenten (water, land- en waterbodems) op landschapsschaal. ROM = reactief organisch materiaal.

**Figure 1** Schematic representation of the interactions between iron (Fe), sulphur (S), nitrate (N) and phosphorus (P) in different compartments (water, terrestrial and aquatic soil) at the landscape scale. ROM = reactive organic matter.

(hydr)oxides. Bij de afbraak van organisch materiaal in de onderwaterbodems komt tweewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) vrij, alsmede het aan de ijzer(III)hydroxides gebonden fosfor. Tweewaardig ijzer kan boven in de waterbodems, dicht bij de zuurstofhoudende waterlaag, weer worden geoxideerd tot driewaardig ijzer waarbij fosfor kan worden vastgelegd (figuur 1). Hierdoor wordt nalevering van fosfor naar de waterlaag voorkomen, zolang de waterlaag zuurstofhoudend is (Smolders et al., 2006). De ijzercyclus beïnvloedt de beschikbaarheid van fosfor dus op twee manieren: via 1) afbraak van organisch materiaal en de mobilisatie van fosfor en/of 2) de immobilisatie van fosfor aan ijzer.

De beschikbaarheid van sulfaat kan de ijzercyclus echter sterk beïnvloeden. Wanneer de beschikbaarheid van ijzer(III)(hydr)oxides afneemt en het oppervlaktewater of aangevoerde grondwater veel sulfaat bevat, kan sulfaat als alternatieve elektronenacceptor optreden (figuur 1). Sulfaat stimuleert niet alleen de afbraak van organisch materiaal, maar via de interactie met ijzer ook de bindingscapaciteit voor fosfor in de onderwaterbodems. Sulfide ( $\text{S}^{2-}$ ) dat in de waterbodems vrijkomt bij de reductie van sulfaat, bindt namelijk aan ijzer

waarbij slecht oplosbare ijzersulfides ( $\text{FeS}_x$ , waaronder pyriet) worden gevormd (Smolders & Roelofs, 1993). Wanneer meer sulfaat dan ijzer wordt aangevoerd, is na verloop van tijd het meeste ijzer in de waterbodems vastgelegd in de vorm van  $\text{FeS}_x$ -verbindingen. Hierdoor kunnen de ijzerconcentraties in het poriewater van de waterbodems zeer sterk afnemen terwijl de fosfaatconcentraties toenemen (figuur 1). Ook de nalevering van fosfaat naar de waterlaag zal hierdoor sterk toenemen. Wanneer er onvoldoende vrij ijzer over blijft om sulfide te binden kan er op termijn ook sulfide ophopen, wat giftig is voor veel waterplanten en bodemorganismen (Lamers et al., 2013). Tegelijkertijd kunnen de lage ijzerconcentraties in het poriewater zorgen voor ijzergebrek in waterplanten (Smolders et al., 2006). Sulfaat kan dus op verschillende manieren (eutrofiëring, sulfidotoxiciteit en ijzergebrek) de groei van waterplanten belemmeren (Smolders et al., 2003).

### Bronnen van sulfaat

Een belangrijke sulfaatbron is, behalve mest, de oxidatie van zwavelhoudende (pyriet)lagen in terrestrische bodems. In laag-Nederland gaat het hierbij om zwavelrijke veen- en kleibodems die dicht bij het aardoppervlak liggen. Deze bodems bevatten vaak veel zwavel vanwege de voormalige invloed van de zee (o.a. overstromingen) en door de invloed van brak (sulfaatrijk) grondwater. Door ontwatering wordt de veenbodems blootgesteld aan zuurstof, waardoor het veen oxideert en hierin aanwezig gereduceerd en organisch zwavel wordt omgezet in sulfaat (figuur 1). Sulfaat is zeer mobiel en spoelt gemakkelijk uit naar het oppervlaktewater (Smolders et al., 2013; Vermaat et al., 2013). Dit zien we duidelijk terug in het West-Nederlandse oppervlaktewater. Figuur 2 laat als voorbeeld het verloop in de tijd zien van de sulfaat- en de fosforconcentratie voor de Hoge Boezem van de Overwaard (Alblasserwaard). Hier is sprake van een sterke toename van de sulfaat-

concentraties in de wintermaanden. Het gaat hierbij om sulfaat dat in de zomer door oxidatieprocessen vrijkomt in terrestrische delen en in de winter uitspoelt naar het aangrenzende oppervlaktewater. We zien dat na de droge zomers in de jaren 2018-2020 de sulfaatconcentraties hoger zijn. De grondwaterstanden in de landbodems zakten dieper uit dan de jaren ervoor, waardoor er meer oxidatie plaatsvond met meer sulfaatuitspoeling tot gevolg (Vermaat et al., 2013). In de zomer nemen de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater juist af, dan vindt sulfaatreductie plaats in de onderwaterbodems en wordt er veel minder aangevoerd via uitspoeling. De fosforconcentraties in het oppervlaktewater nemen in de zomer juist sterk toe omdat de onderwaterbodems, waarin de fosforbeschikbaarheid groot is, dan veel fosfor naleveren. Gevolg is een slechte waterkwaliteit, waarbij vaak algenbloei optreedt (figuur 3).

De oxidatie van pyrietlagen kan ook het gevolg zijn van de uitspoeling van nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) naar het grondwater. Dit proces zien we vooral in de hoger gelegen delen van Nederland, waar in de diepere ondergrond pyrietlagen aanwezig zijn in de vorm van oude mariene afzettingen. Wanneer nitraat, afkomstig van uitspoeling en/of stikstofdepositie, door deze lagen stroomt kan het reageren met het aanwezige pyriet. Daarbij wordt nitraat gereduceerd tot stikstofgas, terwijl zwavel wordt geoxideerd tot sulfaat (figuur 1). Dit proces leidt tot sulfaatrijk grondwater en een verhoogde sulfaatbelasting van kwelgevoede gebieden (Smolders et al., 2010). In de laatste helft van de vorige eeuw zijn de concentraties van nitraat in het ondiepere grondwater sterk toegenomen door bemesting van landbouwpercelen en invang van atmosferische stikstofdepositie door bossen (Di & Cameron; 2002). Sinds het begin van de jaren 1990 is nitraatuitspoeling afgenomen, maar toch liggen de nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater vaak nog steeds (ruim) boven de EU-norm van 50 miligram per liter (= 790  $\mu\text{mol/l}$ ). Door deze hoge

nitraatconcentraties zijn de sulfaatconcentraties in het diepere grondwater in grote delen van Zuid- en Oost-Nederland sterk toegenomen (Smolders et al., 2010; De Mars et al., 2024). Dit sulfaatverrijkte grondwater kan in grondwatergevoede systemen voor eutrofiëring zorgen, zeker wanneer er veel meer sulfaat dan ijzer wordt aangevoerd (Bus et al, 2015).

In het vervolg van het artikel focussen we vooral op laag-Nederland.

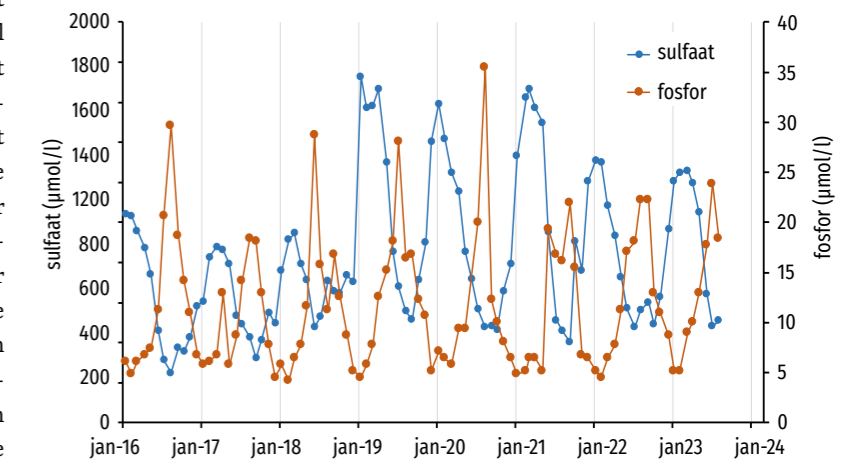
### Herstellen van de ijzer/zwavelbalans?

In veel Nederlandse waterbodems zorgt de hoge sulfaatbelasting voor een ongunstige verhouding tussen ijzer en zwavel. Hierdoor neemt ook de ijzer/fosforratio in het poriewater van de waterbodems af (<1; hoge beschikbaarheid van fosfor) (figuur 4). Vaak gaat dit gepaard met een slechte waterkwaliteit.

Het herstellen van de ijzer/zwavelbalans van de waterbodems kan sterk bijdragen aan de verbetering van de waterkwaliteit. De ijzer/zwavelratio kan worden verhoogd door zwavel te verwijderen of ijzer toe te voegen. Zwavel kan uit bodems worden verwijderd door de bodems te laten oxideren. Wanneer waterbodems

**Figuur 2** Het verloop van de sulfaat- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater van de Hoge Boezem van de Overwaard (Lekdijk, Nieuw-Lekkerland, Alblasserwaard) (data Waterschap Rivierenland).

**Figure 2** Sulphate and phosphorus concentrations in the surface water of the Hoge Boezem van de Overwaard (Lekdijk, Nieuw-Lekkerland, Alblasserwaard) (data Rivierenland Water Board).



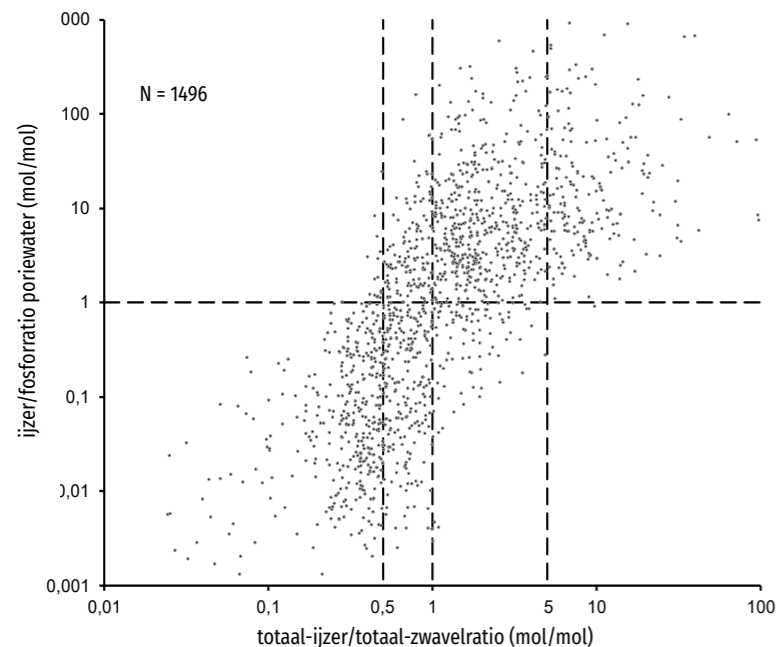


**Figuur 3** Eutrofe sloot in de Lopikerwaard. Foto: Esther Lucassen

**Figure 3** Eutrophic ditch in the Lopikerwaard area. Photo: Esther Lucassen

**Figuur 4** Relatie tussen de totaal-ijzer/totaal-zwavelratio in waterbodems en de ijzer/fosforratio in het poriewater (data Onderzoekcentrum B-WARE).

**Figure 4** Relationship between the total-iron/total-sulphur ratio in water bottoms and the iron/phosphorus ratio in the pore water (data B-WARE Research Centre).



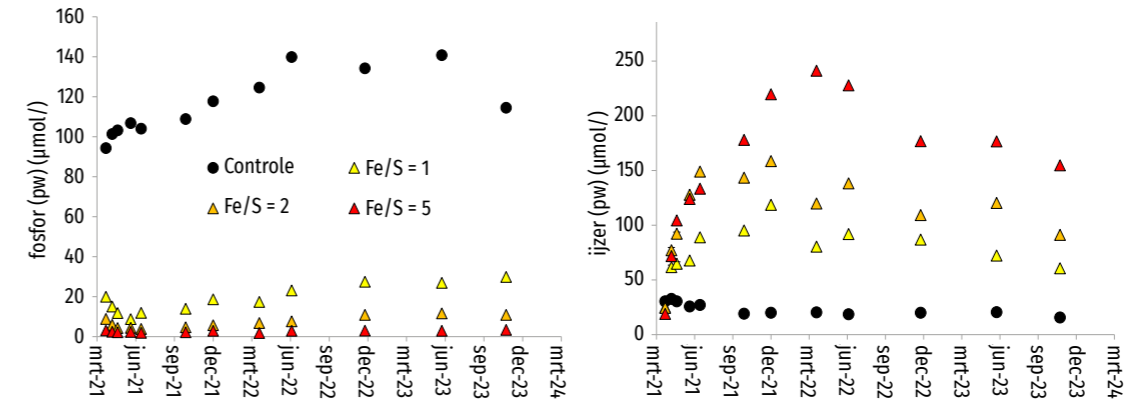
droogvallen komt er zuurstof in de bodem waarbij gereduceerd zwavel wordt geoxideerd tot sulfaat en het hieraan gebonden gereduceerd ijzer wordt geoxideerd tot ijzer(III)(hydr)oxide. Na vernatting kan het sulfaat worden afgevoerd door het systeem door te spoelen. Omdat het geoxideerde ijzer achterblijft neemt de ijzer/zwavelratio toe en verbetert de fosfaatbinding (Lucassen et al., 2005). Deze oxidatie van waterbodems is echter niet eenvoudig te realiseren en heeft als nadeel dat ook de omringende landbodems sterker verdrogen, wat weer kan leiden tot extra sulfaatuitspoeling. Bovendien kan het vrijkomende sulfaat natuurlijk elders voor een verslechtering zorgen.

Een andere manier om de ijzer/zwavelratio te verhogen is door de ijzergehalten van waterbodems te verhogen, bijvoorbeeld door het toedienen van ijzerchloride. Ijzer oxideert dan in de waterlaag waarna het uitzakt tot op de waterbodem. Nadeel is dat het lang



duurt voordat er voldoende ijzer is toegediend voor een significant effect. Hetzelfde geldt voor het injecteren van opgelost ijzerchloride in de bodem (Smolders et al., 1995). Daarbij zijn de positieve resultaten vaak maar van korte duur (Smolders et al., 1995; Münch et al., 2024). Een interessant alternatief is het toedienen van zogenoemd waterijzer: een restproduct van de drinkwaterwinning, bestaande uit een suspensie van ijzer(III)(hydr)oxide die vrijkomt bij de ontijzering van grondwater en coagulatie van oppervlaktewater. Hierbij kan in korte tijd een relatief grote hoeveelheid ijzer in de bodem worden gebracht.

In 2021 heeft Onderzoekcentrum B-WARE labexperimenten uitgevoerd met waterbodems uit Polder Westveen, Bodegraven-Noord en de Pot (Verstijnen et al., 2022). In deze gebieden zijn slib en waterbodemmonsters verzameld met een lage totaal-ijzer/totaal-zwavelratio (<1 mol/mol), waar waterijzer doorheen is gemengd van de drinkwaterproductielocatie in Andijk. Hierbij is voor elke waterbodem berekend hoeveel ijzer moest worden toegevoegd om de totaal-ijzer/totaal-zwavelratio te verhogen tot respectievelijk 1, 2 en 5 (mol/mol) (Verstijnen et al., 2022). Het mengen van waterijzer door het slib leidde tot een zeer sterke verlaging van de fosforconcentraties en tot een toename van de ijzerconcentraties in het poriewater van de wa-



terbodems (figuur 5). De fosforconcentraties van het poriewater namen na een jaar wel weer heel geleidelijk toe, wanneer de ijzer/zwavelratio (mol/mol) werd verhoogd tot 1 of 2 (figuur 5). Bij een ijzer/zwavelratio van 5 bleef de fosforconcentratie tot meer dan twee jaar na toediening zeer laag. De ijzer/fosforratio in het poriewater bleef in alle behandelingen gunstig ( $>>1$  mol/mol). Dit in tegenstelling tot de controle waarin deze veel lager bleef dan 1 mol/mol. Verder lieten aanvullende experimenten in de kas zien dat het innemen van waterijzer leidde tot een afname van de nalevering van fosfor naar de waterlaag, het uitblijven van algenbloei en een veel betere groei van aangebrachte ondergedoken waterplanten (Verstijnen et al., 2022).

Uit dit onderzoek blijkt dat de suppletie van waterijzer de beschikbaarheid van fosfor sterk kan verlagen. Omdat de fosfaatbinding aan ijzer(III)(hydr)oxides redoxgevoelig is kan het gebonden fosfaat onder anaerobe omstandigheden echter weer geleidelijk vrijkomen (Smolders et al., 2006). Dit risico is lager naarmate er meer waterijzer wordt toegediend, omdat fosfaat dat vrijkomt bij de reductie van ijzer dan weer kan worden gebonden aan nog niet gereduceerde ijzer(III)(hydr)oxides. Bij een sterke overmaat aan ijzer kunnen op termijn ook tweewaardige ijzerfosforverbindingen zoals

vivianiet worden gevormd (Münch et al., 2024). Deze verbindingen zijn onder anaerobe omstandigheden stabiel en kunnen zorgen voor een langdurige immobilisatie van fosfor.

### Dichtdraaien van de sulfaatkraan

Hoewel we in Nederland bij het effect van de landbouw op de waterkwaliteit vaak denken aan de directe uitspoeling van voedingsstoffen naar het oppervlaktewater, is er ook een grote indirecte invloed via mobilisatie van sulfaat als gevolg van oxidatieprocessen. In een groot deel van onze oppervlaktewateren draagt een hoge sulfaatbelasting sterk bij aan een slechte waterkwaliteit. Maatregelen als suppletie van waterijzer kunnen slechts op een beperkte schaal worden toegepast en zijn bovendien een vorm van dweilen met de kraan open. Om de waterkwaliteit te verbeteren zullen we ook iets aan de uitspoeling van sulfaat moeten doen door de mobilisatie van zwavel in percelen te beperken. Voor laag-Nederland geldt dat we de oxidatie van ondiepe zwavelhoudende veen- en kleibodems moeten verminderen. Dit is een uitdaging, omdat dit alleen mogelijk is met maatregelen die het uitzakken van grondwaterstanden in de zomer sterk verminderen. Dat maakt het voortzetten van de huidige vorm van

**Figuur 5** Het verloop van de gemiddelde fosfor- en ijzerconcentraties in het poriewater van de waterbodems uit Polder Westveen waaraan verschillende hoeveelheden waterijzer zijn toegevoegd. Aan de controle is geen waterijzer toegevoegd.

**Figure 5** The course of average phosphorus and iron concentrations in the pore water of soils from Polder Westveen to which different amounts of iron(hydr)oxides had been added. Controls were without additions.

landbouw lastig zonder bijvoorbeeld de aanleg van kostbare drukdrainagesystemen, die bovendien een hoge watervraag kennen (Smolders et al., 2019). Een andere optie is het kiezen voor alternatieve vormen van landbouw, waarbij wordt overgegaan op natte teelten. Momenteel wordt er in Nederland al geëxperimenteerd met o.a. lisdodde en veenmos (Smolders et al., 2019).

In veenbodems zorgen maatregelen die leiden tot een verminderde oxidatie en sulfaatmobilisatie niet alleen voor een verbetering van de waterkwaliteit, maar ook voor een sterke afname van de broeikasgasemissies en voor minder bodemdaling (Smolders et al., 2019; Van Dijk et al., dit nummer). Het mes snijdt hier dus aan drie kanten.

Voor grondwatergevoede systemen in de hoger gelegen delen van Nederland is voor een afname van de sulfaatmobilisatie een verdere afname van de nitraatuitspoeling vereist (Smolders et al., 2010). Ook dit is geen eenvoudige opgave.

## Summary

### Sulphurland. Sulphate as an obstacle to achieving the WFD goals

Fons Smolders, Yvon Verstijnen, José van Diggelen, Moni Poelen, Esther Lucassen en Gijs van Dijk

**eutrophication, surface water, phosphate, iron, aquatic sediment**

In the Netherlands deep as well as shallow soils can be rich in sulphur which can lead to a strong mobilisation of sulphate. Sulfate not only stimulates the decomposition of organic matter, but via its interaction with iron, it also affects the binding capacity for phosphorus in underwater soils. In many Dutch underwater soils high sulfate loads result in an unfavourable ratio of iron to sulphur. As a result, the ratio of iron to phosphorus in the pore water of the soils decreases. In order to meet WFD standards in the future, it will not be enough just to reduce nutrient leaching and run-off. Much more attention will have

## Integrale aanpak

Om in de toekomst aan KRW-normen te kunnen voldoen, is het beperken van de uit- en afspoeling van nutriënten niet voldoende. Er zal veel meer aandacht moeten komen voor de effecten van een hoge sulfaatbelasting op de beschikbaarheid van fosfor in onze watersystemen. Deze 'sulfaatproblematiek' wordt veroorzaakt door keuzes die we hebben gemaakt voor ons landgebruik en heeft dus een belangrijke landschapelijke context. Het oplossen van deze problematiek hangt nauw samen met de aanpak van andere grote uitdagingen zoals klimaatverandering, bodemdaling en de stikstofproblematiek. Een integrale visie en aanpak van deze problemen is dan ook dringend gewenst. Veelbelovende technische maatregelen, zoals suppletie van waterijzer, kunnen slechts in beperkte mate bijdragen. De sleutel tot de oplossing ligt vooral in het aanpassen van ons landgebruik en kent dus ook een belangrijke sociaaleconomische component.

to be paid to the effects of high sulphate loads on phosphorus availability in aquatic systems. Restoring the iron/sulphur balance of water bottoms can contribute greatly to improving water quality. However, this is not straightforward. We need to reduce the oxidation of shallow terrestrial peat and clay soils. This is a challenge because we can only achieve this by taking measures that greatly reduce the decrease of groundwater levels in summer. Promising technical measures, such as water iron replenishment, can only contribute to a limited extent.

## Literatuur

Bus, S., Van Dijk, G., Smolders, A. & Straathof N. (2015). De Kathager Beemden geohydrologisch onder de loep. *Natuurhistorisch Maandblad*. 104(2), 33-38.

**Compendium voor de Leefomgeving (2022)**. Waterkwaliteit KRW, 2022. Geraadpleegd mei 2024, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl143809-wa-terkwaliteit-krw-2022>

De Mars, H., Van Dijk, G., Van der Weijden, B., Grootjans, A.P., Wolejko, L., Farr, G., ... Smolders, A.J.P. (2024). The threat of groundwater pollution for petrifying springs: defining nutrient threshold values for an endangered bryophyte dominated habitat. *Environmental Pollution* 344, 123324.

Di, H.J. & Cameron, K.C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64 (3), 237-256.

Lamers, L.P.M., Van Diggelen, J.M.H., Op den Camp, H.J.M., Visser, E.J.W., Lucassen, E.C.H.E.T., Vile, M.A., ... Roelofs, J.G.M. (2012). Microbial transformations of nitrogen, sulfur and iron dictate vegetation composition in wetlands: a review. *Frontiers in Microbiology* 3, 156.

Lamers, L.P.M., Goverts, L.L., Janssen, I.C.J.M., Geurts, J.J.M., Van der Welle, M.E.W., Van Katwijk, M.M., ... Smolders, A.J.P. (2013). Sulfide as a soil phytotoxin - a review. *Frontiers in Plant Physiology* 4, 268.

Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & Roelofs, J.G.M. (2005). Effects of temporary desiccation on the mobility of phosphorus and metals in sulphur-rich fens: differential responses of sediments and consequences for water table management. *Wetlands: Ecology and Management* 13, 135-148.

Münch, M.A., Van Kaam, R., As, K., Peiffer, S., Ter Heerdt, G., Slomp, C.P. & Behrends, T. (2024). Impact of iron addition on phosphorus dynamics in sediments of a shallow peat lake 10 years after treatment. *Water Research* 248, 120844.

Smolders, A.J.P. & Roelofs, J.G.M. (1993). Sulphate mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems. *Aquatic Botany* 46, 247-253.

Smolders, A.J.P., Nijboer, R.C. & Roelofs, J.G.M. (1995). Prevention of sulphide accumulation and phosphate mobilization by the addition of iron(II) chloride to a reduced sediment: an enclosure experiment. *Freshwater Biology* 34, 559-568.

Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Den Hartog, C. & Roelofs, J.G.M. (2003). Mechanisms involved in the decline of *Stratiotes aloides* L. in the Netherlands: sulphate as a key variable. *Hydrobiologia* 506/509, 603-610.

Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van der Velde, G. & Roelofs, J.G.M. (2006). Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22, 93-111.

Smolders A., J.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M. & Lamers, L.P.M. (2010). How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. *Biogeochemistry* 98, 1-7.

Smolders, A.J.P., Van Diggelen, J.H.M., Geurts, J.J.M., Poelen, M.D.M., Roelofs, J.G.M., Lucassen, E.C.H.E.T. & Lamers, L.P.M. (2013). Waterkwaliteit in het veenweidegebied: de complexe interacties tussen oever, waterbodembodem en oppervlaktewater. *Landschap* 30(3), 145-153.

Smolders, A.J.P., Van Riet, B., Van Diggelen, J., Van Dijk, G., Geurts, J. & Lamers, L. (2019). De toekomst van ons veenweidelandschap: over vernatten, op-toppen en veenmosteelt. *Landschap* 36(3), 133-141.

Vermaat, J., Harmsen, J., Hellman, F., Van der Geest, H., De Klein, J., Kosten, S. & Ouboter M. (2013). Sulfaatbronnen in het Hollandse veenlandschap. *Landschap* 30(1), 5-13.

Verstijnen, Y., Tomassen, H., Van den Broek, T. & Smolders, A. (2022). *Effecten van de additie van waterijzer in polder Westveen*. Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-20.128.22.75.

# Emissie van broeikasgassen uit veenbodems en watersystemen

## Onderliggende processen en kansen voor mitigatie

De landelijke inspanningen voor klimaatadaptatie en -mitigatie vragen steeds meer van het water- en natuurbeheer. Hoe kunnen we de Nederlandse wateren en veenbodems beheren, nu en voor de toekomst? De vraagstukken zijn complex. Kennis over waterkwantiteit, -kwaliteit en -beheer is essentieel om effecten van beheer en planologie inzichtelijk te maken en tot grootschalige oplossingen te komen. Dit artikel biedt een bondige synthese van de huidige kennis over de effecten en interacties van verschillende landschapsoverkoepelende processen op broeikasgasemissies en -mitigatie, met de nadruk op veengebieden en oppervlaktewateren.

In het coalitieakkoord 2021-2025 heeft het demissionaire kabinet een verhoogde ambitie voor klimaat vastgelegd, om hiermee invulling te geven aan het klimaatakkoord van Parijs (2016). Het streven is om voor 2030 tenminste 55% reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie te realiseren en uiterlijk in 2050 klimaatneutraal te zijn. Om deze doelen te kunnen behalen is een breed pakket aan maatregelen noodzakelijk.

Als het gaat over reductie van broeikasgasemissies wordt met name gedoeld op drie belangrijke broeikasgassen: koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Deze worden door zowel natuurlijke processen als menselijke activiteiten geproduceerd en uitgestoten naar de atmosfeer, waar ze warmtestraling absorberen en warmte vasthouden: het 'broeikas-effect'. Dit effect is op een tijdsschaal van 100 jaar voor methaan 27 keer en voor lachgas zelfs 273 keer zo sterk als voor koolstofdioxide (Forster et al., 2021).

De emissie van broeikasgassen is sterk afhankelijk van milieufactoren, zoals temperatuur, grondwaterstand en nutriëntenrijkdom. Menselijk gebruik van het landschap, zoals drainage van veenbodems en

bemesting van agrarische percelen, heeft dus invloed op de productie en emissie van broeikasgassen. Landschapstypen met hoge emissies zijn onder andere (gedraineerde) veengebieden en (nutriëntenrijke) open wateren. Ook klimaatverandering heeft effect op broeikasgasemissies door onder meer stijgende temperaturen, veranderende neerslagpatronen en een stijgende zeespiegel. Zo zullen afbraakprocessen sneller verlopen onder hogere temperaturen en hebben zowel veranderingen in neerslagtekorten en -overschotten als in zeespiegelstijging effect op de hydrologie en verzilting van het oppervlaktewater.

### Broeikasgasemissies vanuit veenbodems

Voordat de mens grootschalig ingreep in het landschap bestond een groot deel van Nederland uit veen- en moerasland, met uitgestrekte laag- en hoogvenen met uitlopers in de beekdalen. Omdat veen ontstaat door ophoping van niet geheel afgebroken plantenresten, bevatten veenbodems verhoudingsgewijs veel koolstof per oppervlak. Wereldwijd beslaan veenbodems maar 3% van het landoppervlak, maar deze 3% slaat wel 30%

klimaatverandering  
broeikasgasemissies  
kaderrichtlijn water  
vernatting  
veenvorming  
natuurbeheer

**G. (Gijs) van Dijk**  
Onderzoekcentrum B-WARE;  
Afdeling Ecologie, Radboud  
Universiteit Nijmegen,  
Postbus 6558, 6503 GB  
Nijmegen;  
g.vandijk@b-ware.eu

**S.F. (Sarah Faye)  
Harpenslager**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**T. (Thomas) Gremmen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**C. (Christian) Fritz**  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

**S. (Sarian) Kosten**  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

**A.J.P. (Fons) Smolders**  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

Foto **Mark van Veen**. Het Bargerveen, een van de grotere hoogveengebieden van Nederland waar volop aan hoogveenherstel wordt gewerkt.

van alle koolstof in de bodem op (Leifeld & Menichetti, 2018). Onder natuurlijke omstandigheden zijn veenbodems waterverzadigd en zorgen zuurstofloze condities in de bodem ervoor dat het veen niet of maar zeer langzaam afbreekt. De meeste Nederlandse veenbodems zijn inmiddels gedraineerd, waardoor deze worden blootgesteld aan zuurstof, met versnelde veenafbraak, bodemdaling en broeikasgasemissies tot gevolg. Uit schattingen blijkt dat ongeveer 30% van de wereldwijde broeikasgasemissies voortkomt uit de aantasting, drainage en turfwinning van veenbodems (Erkens et al., 2016; Friedlingstein et al., 2022; Leifeld & Menichetti, 2018). Gedraineerde veenbodems worden gekenmerkt door fluctuerende grondwaterstanden, waardoor koolstofdioxide en lachgas vrijkomen onder



**Figuur 1** Onderzoek naar de productie van lisdodde op een vernatte veenbodem. Op de voorgrond is een drijvende kamer geplaatst waarmee broeikasgasemissies gemeten worden. Foto: Stefan Weideveld.

**Figure 1** Research into the production of cattail on a rewetted peat soil. The floating chamber in front is used to measure greenhouse gas emissions. Photo: Stefan Weideveld.

droge omstandigheden, terwijl tijdens periodes met hoge grondwaterstanden methaan uitgestoten wordt (Wilson et al., 2016; Tiemeyer et al., 2020).

Het permanent vernatten van al gedraineerde veenbodems kan veenafbraak en broeikasgasemissies verminderen of zelfs voorkomen (Wilson et al., 2016; Temmink et al., 2022). Hoewel een verhoging van de grondwaterstand in gedraineerde veenbodems tot dicht onder maaiveld op korte termijn kan leiden tot een verhoogde uitstoot van methaan, leidt het op lange termijn tot behoud van de aanwezige veenbodem en tot veengroei (Günther et al., 2020; Temmink et al., 2022), terwijl drainage altijd leidt tot veenafbraak, bodemdaling en broeikasgasemissies.

In het Nederlandse veenweidelandschap wordt momenteel volop geëxperimenteerd met verschillende maatregelen om gedraineerde veen(weide)bodems te vernatten en/of de grondwaterstandfluctuaties te verminderen, zoals het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), het Friese Veenweideprogramma en het Veenweide Innovatie Programma (VIP NL). Zo worden de effecten van maatregelen als waterinfiltratiesystemen (WIS; actief en passief), verhoogd slootpeil, greppel-infiltratie, ontwikkeling van nieuwe natte natuur en alternatieve (natte) teelten onderzocht (zie figuur 1). De eerste resultaten van het NOBV indiceren dat waterinfiltratiesystemen de grondwaterstand stabiliseren, waardoor dominante bodemprocessen veranderen (Boonman et al., 2024; Harpenslager et al., 2024a). Ook de broeikasgasemissies kunnen door waterinfiltratiesystemen beïnvloed worden (Boonman et al., 2022), maar dat geldt niet op alle locaties (Weideveld et al., 2021). Mogelijk zijn er regionale verschillen die de effectiviteit van maatregelen beïnvloeden. Het is echter nog te vroeg om conclusies te trekken over de langetermijneffecten van deze maatregelen op veenafbraak en broeikasgasemissies.

### Broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren

Oppervlaktewateren zijn belangrijke elementen in het landschap, niet alleen vanuit ecologisch en economisch oogpunt, maar ook omdat er veel koolstof wordt opgeslagen. Met name waterbodems zijn rijk aan organisch koolstof afkomstig van waterplanten en algen. Behalve koolstofopslag vindt er ook koolstofemissie plaats. De meeste oppervlaktewateren stoten koolstofdioxide uit omdat er veel terrestrisch organisch materiaal wordt afgebroken en er ook koolstofrijk grondwater instroomt. In voedselrijke systemen kan de primaire productie ervoor zorgen dat de emissie van koolstofdioxide overdag gering is of dat er zelfs opname van koolstof plaatsvindt (zie o.a. Hendriks et al., 2024). Sloten stoten niet alleen koolstofdioxide uit maar ook methaan: hoe eutrofer een watersysteem hoe meer methaan wordt uitgestoten (Aben et al., 2022a; Beaulieu et al., 2019). Oppervlaktewateren dragen in grote mate bij aan de totale Nederlandse methaanuitstoot. Geschat wordt dat in Nederland alleen sloten al 7-16% van de totale methaanuitstoot voor hun rekening nemen (Peacock et al., 2021; Koschorreck et al., 2020). Dit aandeel kan verder toenemen als de watertemperatuur door klimaatverandering toeneemt. Voor iedere graad opwarming neemt de methaanuitstoot uit waterbodems met 6-20% toe (Aben et al., 2022b) omdat methaan voornamelijk onder zuurstofloze omstandigheden, zoals in waterbodems, gevormd wordt door methaanproducerende micro-organismen. Hoewel andere micro-organismen methaan weer kunnen omzetten in koolstofdioxide, wordt er ook een aanzienlijke hoeveelheid methaan uitgestoten naar de atmosfeer. Dit gebeurt via diffusie, via bellen (ebullitie) en via vegetatie.

Vooral de methaanuitstoot via ebullitie is erg variabel in ruimte en tijd. Met behulp van drijvende kamers en ebullitievallen kunnen broeikasgasemissies uit



**Figuur 2** Moderne drijvende automatische meetsystemen die met hoge frequentie broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater kunnen meten. Aan de blauwe drijvers zijn ebullitievallen opgehangen waarin bellen met broeikasgassen worden opgevangen. Foto: Judith van der Knaap.

**Figure 2** Modern floating automatic measuring systems can carry out high frequency measurements of greenhouse gas emissions from surface water. The blue floaters contain ebullition traps to capture greenhouse gas emission via bubbles. Photo: Judith van der Knaap.

oppervlaktewateren gemeten worden (figuur 2).

Sommige ondergedoken waterplanten kunnen de methaanuitstoot verminderen, doordat zuurstofverlies uit hun wortels de methaanproductie remt en methaanconsumptie stimuleert (Aben et al., 2022b). Ook leven op stengels en bladeren van waterplanten methaanconsumerende micro-organismen die de methaanuitstoot uit oppervlaktewater kunnen verminderen (Esposito et al., 2023). Waterplanten en algen kunnen de methaanproductie echter ook stimuleren door de vorming van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal (Bodmer et al., 2024). Dit geldt ook voor helofyten, zoals riet en lisdodde, die bovendien ook kunnen fungeren als 'schoorstenen' die methaan vanuit het sediment naar de lucht transporteren (Dingemans et al., 2011). Het

netto-effect van planten op de methaanuitstoot hangt dus sterk af van de aanwezige plantensoorten en van de milieuomstandigheden. Vanuit klimaatoptiek lijken voedselarme milieus met ondergedoken, in het sediment wortelende waterplanten het gunstigst zijn.

### Effecten van zeespiegelstijging

Een van de effecten van klimaatverandering is verzilting van oppervlaktewateren (KNMI, 2021). Verzilting kan meerdere oorzaken hebben: (1) een stijgende zeespiegel en verhoogde invloed van brak en/of zout grondwater, (2) lagere zoetwatertoevoer vanuit de rivieren en (3) verhoogde verdamping in droge periodes. Waterschappen hebben dan ook steeds vaker te maken met een tekort aan zoet oppervlaktewater en de verwachting is dat dit toe zal nemen. Naast temperatuur en nutriëntenbeschikbaarheid blijkt ook de saliniteit van het oppervlaktewater de productie en emissie van broeikasgassen te beïnvloeden (Van Dijk, 2017; Van Dijk et al, 2020). Zo blijkt verzilting met name

de productie van methaan in onderwaterbodems te verlagen, doordat methaanproducerende micro-organismen zowel te maken krijgen met meer competitie van sulfaatreducerende bacteriën als met zoutstress (Herbert et al., 2015). Uit een landelijke studie aan broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren kwam het zoutgehalte ook als sturende factor naar voren (Schep et al., 2023). Verzilting zou dus de methaanuitstoot uit oppervlaktewater wat kunnen verlagen. Deze bevindingen zijn gebaseerd op studies naar verzilting van onderwaterbodems, maar het is nog onduidelijk of, en in welke mate, broeikasgasemissies afnemen als het hele ecosysteem beïnvloed wordt door verhoogde saliniteit. Het is mogelijk dat het vernatten van veenbodems met verzilt oppervlaktewater de methaanproductie gedurende natte periodes zal afremmen. Maar het is ook mogelijk dat het de veenafbraak en CO<sub>2</sub>-uitstoot in droge periodes op (semi)terrestrische percelen juist zal stimuleren. Dit is een kennislacune.

### Mitigatie van broeikasgasemissies in de praktijk – makkelijker gezegd dan gedaan

Water- en natuurbeheerders nemen de effecten van beheer- en herstelmaatregelen op de koolstofkringloop steeds vaker mee in hun besluitvorming. In de praktijk is dit echter makkelijker gezegd dan gedaan. Voor een goede inschatting van de effecten op de broeikasgasemissie moet er namelijk inzicht zijn in de huidige emissie, de emissie die gepaard gaat met de werkzaamheden (o.a. door machines, afvoeren van grond en gebruikte materialen) en moeten er betrouwbare schattingen zijn van de emissies die na herstel verwacht worden.

Recentelijk heeft Natuurmonumenten een overzicht opgesteld met kentallen van emissies behorende bij verschillende natuurdoeltypen, ten behoeve van klimaatslim natuurbeheer (Richardson, 2023). Ook is in opdracht van Natuurmonumenten en de VBNE een adviesrapport opgesteld van de beschikbare kennis over broeikasgasemissie bij natuurherstel (Harpenslager et al., 2024b). Er wordt ook onderzoek aan maatregelen verricht. Zo heeft Natuurmonumenten Onderzoekcentrum B-WARE en de Radboud Universiteit gevraagd om de effecten van

inrichting- en herstelmaatregelen in gebieden als de Wieden en het Witteveen op de broeikasgasbalans te onderzoeken. In het kader van biodiversiteitsherstel zijn in de Wieden verlande petgaten (inmiddels verdroogd elzenbroekbos) weer opengegraven om verlanding te stimuleren (figuur 3). Om een inschatting te maken van de effecten van deze herstelmaatregel op de broeikasgasbalans worden na de werkzaamheden nog twee jaar lang metingen gedaan op de nieuwgevormde legakkers, in de petgaten en in een referentiebroekbos.



### Klimaatverandering is geen toekomstmuziek

Uit de hierboven beschreven processen komt duidelijk naar voren dat zowel klimaatverandering als menselijk gebruik en beheer van het landschap een sterke invloed hebben op de uitstoot van broeikasgassen. Hieruit volgt dat keuzes in water- en natuurbeheer kunnen bijdragen aan mitigatie van deze emissies, ook onder klimaatverandering. Door (1) stijgende gemiddelde temperatuur, (2) veranderende neerslagpatronen (nattere winters en drogere zomers) en (3) een stijgende zeespiegel bestaat er een urgentie om op regionale, nationale én internationale schaal met deze problematiek rekening te houden. En de effecten van klimaatverandering spelen zich niet alleen in de toekomst af, ze zijn nu al merkbaar. Als er geen veranderingen in de inrichting en het beheer van

het landschap worden doorgevoerd, is het onmogelijk om, zoals is afgesproken in Parijs, klimaatneutraal te worden in 2050.

Om het Nederlandse landschap weerbaarder te maken tegen klimaatverandering en de uitstoot van broeikasgassen te verlagen, zal het landschap anders ingericht moeten worden. Het afremmen of zelfs stoppen van bodemdaling in veengebieden kan in theorie gerealiseerd worden door vernatting van veenbodems. Vernatting van gedraineerde veenbodems zal de uitstoot van koolstofdioxide kunnen omdraaien in netto koolstofvastlegging. Hoewel dit technisch gezien mogelijk is, zal het wel verre gaande sociaal-economische gevolgen hebben. Ook kan gedacht worden aan het anders inrichten van het watersysteem, waardoor water op landschaps-

**Figuur 3** Oude situatie (links) en nieuwe situatie (rechts) in de Wieden, waar oude, verlande petgaten met elzenbroekbos opengegraven zijn voor biodiversiteitsherstel. B-WARE en de Radboud Universiteit voeren metingen uit om de broeikasgasemissie te bepalen voor en na herstelmaatregelen. Foto's: Sarah Faye Harpenslager.

*English caption: see next page.*

**Figure 3** (previous page) The old situation (left) and new situation (right) in the Wieden, where terrestrialized peat pits overgrown with wet alder forest have been dug open for biodiversity restoration. B-WARE Research Center and Radboud University carry out measurements to determine greenhouse gas emissions before and after restoration measures. Photos: Sarah Faye Harpenslager

schaal langer vastgehouden wordt om over een grotere zoetwatervoorraad te beschikken in drogere perioden. Hiertoe zouden hydrologische bufferzones rondom veengebieden moeten worden gerealiseerd. Vernatting van veenbodems en het inrichten van natte bufferzones zouden ook deels gecombineerd kunnen worden met agrarisch gebruik in de vorm van paludicultuur (teelten op (ver)natte veenbodem) (Fritz et al., 2014; Wichtmann et al., 2016). Deze vorm van landgebruik kan zorgen voor het behoud van veenbodems en daarbij kansen bieden voor biodiversiteitsherstel (natuurbeheer) of alternatieve bedrijfsvoering (landbouw).

Op dit moment wordt onderzoek verricht aan de toepasbaarheid, opschaling en economische haalbaarheid van paludicultuur (o.a. lisdodde, riet, veenmos en elzen). Daarnaast zijn concepten beschikbaar om landschappen te vernatten en

## Summary

### Greenhouse gas emissions from Dutch peat soils and water systems. Underlying processes and opportunities for mitigation

Gijs van Dijk, Sarah Faye Harpenslager, Thomas Gremmen, Christian Fritz, Sarian Kosten, Fons Smolders

[climate change](#), [greenhouse gas emissions](#), [water framework directive](#), [rewetting](#), [peat formation](#), [nature management](#)

The national effort on climate adaptation and mitigation is demanding more and more from water and nature management. In recent decades research has increasingly focused on this topic on a national and international scale, but the issues remain complex. Knowledge about water quantity, water quality and water management is essential to understand effects of management and formulate large-scale solutions. Research shows that both climate change and human use and management of the landscape have a strong influence on greenhouse gas emissions. Choices in water and nature management can therefore also con-

weerbaarder te maken tegen klimaatverandering, zoals ‘wetscapes’ (Temminck et al., 2023).

We hebben kennis over waterkwantiteit en -kwaliteit nodig om keuzes te kunnen maken in het water- en natuurbeheer en de inrichting van ons landschap, om te kunnen komen tot grootschalige oplossingen voor de toekomst. Hoewel aanvullende kennis op dit vlak nodig is, kunnen op basis van de huidige kennis al *no regret*-maatregelen genomen worden om de uitstoot van broeikasgassen vanuit watersystemen en veenbodems te verlagen, zoals vernatting van ecosystemen en oppervlaktewateren (Smolders et al., dit nummer). Door een integrale aanpak van de problemen en een goede samenwerking tussen beheer, inrichting en landgebruik kunnen grote stappen gezet worden richting het halen van de klimaatdoelen.

tribute to mitigation of these emissions, even under climate change. To make the Dutch landscape more resilient to climate change and reduce greenhouse gas emissions, the landscape will have to be designed differently. Although additional knowledge is needed in this area, based on current knowledge, “no-regret” measures can already be taken to reduce greenhouse gas emissions from water systems and peat soils, such as rewetting peat soils and reducing eutrophication of ecosystems and surface waters.

## Literatuur

Aben, R.C.H., Oliveira Junior, E.S., Carlos, A.R., Van Bergen, T.J.H.M., Lamers, L.P.M. & Kosten, S. (2022a). Impact of plant species and intense nutrient loading on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from small inland waters: An experimental approach. *Aquatic Botany* 180, 103527.

Aben, R.C.H., Velthuis, M., Kazanjian, G., Frenken, T., Peeters, E.T.H.M., Van de Waal, D.B., ... Kosten, S. (2022b). Temperature response of aquatic greenhouse gas emissions differs between dominant plant types. *Water Research* 226, 119251.

Beaulieu, J.J., DelSontro, T. & Downing, J.A. (2019). Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century. *Nature communications* 10(1), 1375.

Bodmer, P., Vroom, R., Stepina, T., Del Gorgio, P.A. & Kosten, S. (2024). Methane dynamics in vegetated habitats in inland waters: quantification, regulation, and global significance. *Frontiers in Water* 5, 1-8.

Boonman, J., Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Hefting, M.M., Van de Riet, B. & Van der Velde, Y. (2024). Redox potential is a robust indicator for decomposition processes in drained agricultural peat soils: A valuable tool in monitoring peatland wetting efforts. *Geoderma*, 441, 116728.

Boonman, J., Hefting, M.M., Van Huissteden, C.J.A., Van den Berg, M., Van Huissteden, J., Erkens, G., ... Van der Velde, Y. (2022). Cutting peatland CO<sub>2</sub> emissions with water management practices. *Biogeosciences*, 19(24), 5707-5727.

Dingemans, B.J.J., Bakker, E.S. & Bodelier, P.L.E. (2011). Aquatic herbivores facilitate the emission of methane from wetlands. *Ecology*, 92(5), 1166-1173.

Erkens, G., Van Der Meulen, M. J. & Middelkoop, H. (2016). Double trouble: Subsidence and CO<sub>2</sub> respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatlands cultivation. *Hydrogeology Journal*, 24(3), 551-568.

Esposito, C., Nijman, T.P.A., Veraart, A.J., Audet, J., Levi, E.E., Lauridsen, T.L. & Davidson, T.A. (2023). Activity and abundance of methane-oxidizing bacteria on plants in experimental lakes subjected to different nutrient and warming treatments. *Aquatic Botany* 185, 103610.

Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., ... Zhao, S. (2021). The Earth's energy budget, climate feedbacks and climate sensitivity. In: IPCC (Red.). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 923-1054.

Friedlingstein, P., Jones, M.W., O'Sullivan, M., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J., ... Zeng, J. (2022). Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data* 14(4), 1917-2005.

Fritz, C., Lamers, L.P.M., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P. & Joosten, H. (2014). Paludicultuur - kansen voor natuurontwikkeling en landschappelijke bufferzones op natte gronden. *Vakblad Natuur Bos en Landschap* 105(5), 4-9.

Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Juransinski, G., Koebisch, F. & Couwenberg, J. (2020). Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications*, 11(1), 1644.

Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Boonman, J., Weideveld, S.T., Van de Riet, B.P., Hefting, M.M. & Smolders, A.J. (2024a). Rewetting drained peatlands through subsoil infiltration stabilises redox-dependent soil carbon and nutrient dynamics. *Geoderma*, 442, 116787.

Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Van Duinen, G.A., Fritz, C. & Kosten, S. (2024b). Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden. Een eerste stap richting kengetallen. Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-23.116.23.75.

Hendriks, L., Weideveld, S.T.J., Fritz, C., Stepina, T., Aben, R., Fung, N.E. & Kosten, S. (2024). Drainage ditches are year-round greenhouse gas hotlines in temperate peat landscapes. *Freshwater Biology*, 69(1), 143-156.

Herbert, E.R., Boon, P., Burgin, A.J., Neubauer, S.C., Franklin, R.B., Ardón, M., ... Gell, P. (2015). A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, 6(10), 1-43.

KNMI (2021). *KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*. KNMI.

Koschorreck, M., Downing, A.S., Hejzlar, J., Marcé, R., Laas, A., Arndt, W.G., ... Korsten, S. (2020). Hidden treasures: Human-made aquatic ecosystems harbour unexplored opportunities. *Ambio*, 49(2), 531-540.

Leifeld, J. & Menichetti, L. (2018). The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9(1), 1071.

Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Futter, M.N., Gauci, V., Grinham, A., ... Evans, C.D. (2021). Global importance of methane emissions from drainage ditches and canals. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044010.

Richardson, T. (2023). *Klimaatsslim natuurbeheer: kentallen en beheeropties voor natte natuur op veenbodems en in kwelders*. Natuurmonumenten.

Schep, S.A., Kox, M., Troost, T., De Rijk, S., Brederveld, R.J., Van Dijk, G., ... Slagter, L. (2023). *BlueCAN: Helder water voor het klimaat. Resultaten van drie jaar onderzoek*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Rapport 2023-13.

Temminck, R.J., Lamers, L.P.M., Angelini, C., Bouma, T., Fritz, C., Van de Kopel, J., ... Van der Heide, T. (2022). Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. *Science* 376(6593).

Temminck, R.J., Robroek, B.J.M., Van Dijk, G., Koks, A.H.W., Käärmelahti, S.A., Barthelmes, A., ... Smolders, A.J.P. (2023). Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. *Ambio* 52, 1519-1528.

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., ... Dröslér, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109, 105838.

Van Dijk, G. (2017). *Peatlands affected by biogeochemical stressors*. Onderzoekcentrum B-WARE & Radboud Universiteit. PhD-thesis.

Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Van 't Veer, R., Loeb, R., Lamers, L.P.M., Nijp, J.J., ... Westendorp, P.-J. (2020). De toekomst van voormalige brakwatervenen. De abiotische effecten van verhoogde zoutconcentraties. *Landschap* 2020(3), 20-27.

Weideveld, S.T.J., Liu, W., Van Den Berg, M., Lamers, L.P.M. & Fritz, C. (2021). Conventional subsoil irrigation techniques do not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences*, 18(12), 3881-3902.

Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (2016). *Paludiculture-productive use of wet peatlands: climate protection-biodiversity-regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers.

Wilson, D., Farrell, C.A., Fallon, D., Mosler, G. Müller, C. & Renou-Wilson, F. (2016). Multiyear greenhouse gas balances at a rewetted temperate peatland. *Global Change Biology* 22(12), 4080-4095.

Thema Ruimtelijke kwaliteit

# “We moeten een keer die natuurdoelen aanpassen”

In gesprek met Emiel Brouwer en Hilde Tomassen over B-WARE

Onderzoekcentrum B-WARE is gespecialiseerd in biogeochemische en ecologische processen in verschillende landschapstypen. Medewerkers Emiel Brouwer en Hilde Tomassen worden in hun onderzoek geconfronteerd met de problemen van stikstof en de Kaderrichtlijn Water. Zijn die problemen wel op te lossen en zijn de natuurdoelen nog haalbaar? Het zijn lastige vragen. Brouwer en Tomassen vertellen hoe zij hier persoonlijk tegenaan kijken.



## CV Emiel Brouwer

**2002 - nu**

Senior onderzoeker en projectleider B-WARE

**2002**

Mede-oprichter B-WARE

**2001**

Promotie: herstelmaatregelen zwak gebufferde vennen

**1999 - 2002**

Consultant IPTS BV

**1992 - 1999**

Junior onderzoeker Aquatische ecologie & Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen

**1987 - 1992**

Biologie, Radboud Universiteit Nijmegen

## CV Hilde Tomassen

**2004 - nu**

Senior onderzoeker en projectleider B-WARE

**2004**

Promotie: herstel en beheer van hoogvenen in Nederland

**1996 - 2004**

Junior onderzoeker Aquatische ecologie & Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen

**1992 - 1995**

Biologie, Radboud Universiteit Nijmegen

**1988-1992**

Hogere Laboratorium Opleiding (HLO)

## Natuurpareltjes

Emiel Brouwer en Hilde Tomassen nemen ons mee naar de Broekse Wielen bij Grave. Een natuurpareltje, vindt Brouwer: “De Broekse Wielen zijn hele mooie zwak gebufferde - niet echt zure - wateren. Het is een natuurtype dat zeldzaam is, in Nederland maar ook wereldwijd. Ze komen voor van Noorwegen tot Portugal. Nederland ligt in een overgangszone van noordelijke en zuidelijke elementen, waardoor we hier extra soortenrijke systemen hebben. Een van onze oprichters, Jan Roelofs, is heel lang bezig geweest om de wielen hersteld te krijgen. In tijden van verzuring en vermessing kun je toch stabiele populaties in stand houden.”

Tomassen denkt bij natuurpareltjes al gauw aan hoogveen: “Ik ben gepromoveerd op het herstel van hoogvenen in Nederland. Het Bargerveen vind ik het mooiste hoogveenrestant. En dan vooral het Meerstalblok, de oude onvergraven hoogveenkern. Ik vind die veenvormende systemen heel bijzonder. Ze worden gevormd door planten. De afbraak van organisch materiaal verloopt langzamer dan de productie, daardoor zijn metersdikke pakketten veen ontstaan met een eigen milieu. Ze worden voornamelijk gevoed door regenwater, en zijn daardoor heel voedselarm en niet heel soortenrijk.”

## Landschap

Een wiel is onderdeel van een veel breder landschap. De Maas, de Beerse overlaat, de dijk om Gasselte te beschermen en het overloopgebied de Groene Maas. De wielen zijn het gevolg van een dijkdoorbraak, een kleine ramp in het cultuurlandschap. Je kunt je de wielen niet voorstellen zonder het landschap daaromheen (zie



Eén van de Broekse Wielen. Foto's: Wim de Haas

kader). Brouwer: “Voor de planten in de wielen is het landschap vooral indirect van belang omdat de standplaatscondities het gevolg zijn van processen in het landschap. Voor de fauna is de afwisseling van het landschap direct van belang: het wiel, een dijkje, een grasland, een bosje. Voor dieren heeft het landschap een toegevoegde waarde. Als ecooloog kijk je naar het hele landschap en waardeer je ook de systemen en processen daarachter.”

## Onderzoek en beheer

*Hoe belangrijk is jullie onderzoek geweest voor het behoud en beheer van deze wielen?* Brouwer: “Optweemanieren. In de eerste plaats

is het onderzoek aanleiding geweest om de wielen op te schonen: ze waren dichtgegroeid met wilgenstruweel. Dat was overigens niet alleen onderzoek van B-WARE, maar ook onderzoek dat daaraan voorafgegaan is bij de afdeling Aquatische Ecologie & Milieubiologie van de Radboud Universiteit. Jan Roelofs was daar destijds hoofd; hij heeft zich al in de jaren tachtig met de Broekse Wielen bemoeid. Dat heeft op termijn echt wel gewerkt. Met B-WARE hebben we recent alleen aan wat uitbreidingen gewerkt, voortbouwend op wat er al was. In de tweede plaats hebben we een landelijke methodiek ontwikkeld om vennen en zwak gebufferde wateren te herstellen.



Emiel Brouwer neemt een bodemonmonster.



Eén van de Broekse Wielen.

Daarmee zijn op veel plekken beheerders aan de slag gegaan.”

### Esthetische ervaring, het systeem en de knoppen

*Wat zie je nu het eerste als je zo'n gebied in loopt?* Daarover zijn beiden het meteen eens: de waterstanden zijn cruciaal. Tomassen: “In vrij natte systemen is water heel sturend. Als je een onderzoek opstart moet je eerst goed rondlopen om te bepalen waar je wilt gaan meten. Later heb je vaak veel te doen op een velddag. Dan start je zo snel mogelijk met de monsternamen en pas daarna ontstaat er tijd om goed rond te kijken hoe het erbij staat.”

*Kijk je meteen naar de ecologische kenmerken of loop je ook rond om te genieten?*

Brouwer: “Zeker. Als ik mooie dingen tegen kom geniet ik daar van. Als het nieuw is kom je vaak onverwachte dingen tegen. Dan kan het rondje wel twee keer zo lang duren.”

*Jullie onderzoek levert systeemkennis op. Knoppen waar je als beheerder aan kunt draaien om een systeem te herstellen of te ontwikkelen. Als je het gebied binnen komt, zie je dan meteen die systeemkenmerken? Of ga je ook even in het gras liggen om te ervaren hoe het ruikt?*

Brouwer: “Dat is een heel andere instelling. Je kunt het niet allebei tegelijk doen. Je probeert

toch te begrijpen hoe het systeem in elkaar zit en meestal heb je maar beperkt tijd. Om ervan te genieten moet je even afstand nemen. Het is geen zondagmiddagwandeling.”

### Het eigen lab

Brouwer en Tomassen vinden beiden het eigen lab een sterk punt van B-WARE. “Het geeft flexibiliteit. Als we iets vreemds vinden, kan dat meteen gemeten worden. De laboranten zijn collega's waarmee je direct kunt overleggen.” Tomassen: “We zeggen bij B-WARE vaak: meten is weten, gissen is missen en gokken is dokken.”

*Je krijgt resultaten uit het lab in de vorm van Excel sheets. Je duikt in de cijfertjes. Heb je dan nog enig gevoel bij het systeem?*

Brouwer: “Het leuke is dat je er juist een gevoel bij krijgt. Heel vaak kun je uit correlaties tussen factoren allerlei leuke dingen afleiden. Als je een beetje speelt met die getallen krijg je steeds meer inzicht in zo'n gebied. Hier is een proces heel dominant en daarom krijg je die correlatie en daarna ga je kijken wat de krachten zijn achter dat proces. Soms wijkt een waarde sterk af van de correlatielijne. Dan vraag je je af: waar was dat? Wat gebeurt er op die plek? Afwijkingen kunnen interessant zijn.”

### Stikstof en kritische depositiewaarden (KDW's)

Brouwer en Tomassen zijn niet optimistisch

over de aanpak van het stikstofprobleem.

Brouwer: “Jan Roelofs heeft al in de jaren tachtig ontdekt dat Nederland een stikstofprobleem had. Vervolgens is er veertig jaar veel te weinig gebeurd. Eigenlijk ben ik wel blij dat er maatschappijbreed wat reuring ontstaat. Daarmee is mijn hoop iets groter geworden dat er iets gaat gebeuren.”

Tomassen: “Er moet best een forse reductie gehaald worden. Maar is het voldoende? Stikstofreductie hangt nauw samen met de veestapel. Van innovatieve maatregelen kun je niet veel meer verwachten, de afgelopen dertig jaar is veel geïnvesteerd in innovatieve maatregelen, zoals in staltypes, ammoniakwassers en injecteren van mest, maar dat heeft te weinig gebracht.”

Brouwer: “Voor de vennen heeft het milieube-

leid wel wat opgeleverd. De zwaveldepositie is verdwenen, waardoor de vennen minder zuur zijn geworden en de natuurlijke afvoer van stikstof is versneld. In veel vennen is de stikstofconcentratie in de zomers spectaculair gedaald. In de winter stijgt die weer. Dat zie je terug in het herstel van basale soorten van vennen. Het is een politieke keuze. De intensiteit van de landbouw die we nu hebben is niet te combineren met de natuurdoelen van de supervoedselarme systemen. Als je serieus iets voor de vennen wilt doen, zul je van de intensieve veehouderij af moeten, voor een groot deel.”

*Worden jullie wel eens benaderd om mee te denken over dit soort keuzes?*

Tomassen: “Jan Roelofs heeft wel meegepraat

Relict van de dijk die ooit is doorgebroken en waarachter het wiel is ontstaan.



Hilde Tomassen gaat een bodemwatermonster nemen.





met minister Van der Wal over hoe we uit deze impasse kunnen komen. Ik heb samen met collega Roland Bobbink meegeschreven aan de updates van de Europese *critical loads* voor stikstof, op basis waarvan de KDW's voor Nederland worden bepaald. In 2022 zijn deze *critical loads* weer herzien."

*Als een nieuwe politiek alle KDW's schrapt, staan jullie dan met lege handen?*

Brouwer: "De beleidsmakers staan met lege handen! Het is het enige juridische instrument om de stikstof omlaag te krijgen. Onze conclusies veranderen niet. Wij zien bepaalde limieten voor wat een systeem kan hebben, die blijven hetzelfde. Hoe je het noemt maakt niet uit. Tomassen: "Ik denk dat het heel lastig is om die KDW's los te laten en iets anders daarvoor in de plaats te zetten."

*Men zegt, je moet je niet op stikstof concentreren, je moet het integraal zien. Is dat realiseerbaar?*

Brouwer: "We weten niet wat het gecombineerde effect is van bijvoorbeeld herbiciden, verdroging, klimaatverandering en stikstof. Ga dat maar eens onderzoeken, en dan voor elk systeem apart. Dan heb je zakken geld nodig."

### Kaderrichtlijn Water (KRW)

*Halen we de doelen van de KRW in 2027?*

Brouwer: "Nee. Het zit ook besloten in het systeem. Voor veel wateren hebben we doelen gesteld, ook voor stadswateren en slootjes in landbouwgebieden. Door de antropogene invloed daarop kun je er niet makkelijk iets beters van maken en kost het veel moeite om de KRW-doelen te halen. Dan ga je heel veel natuurgeld investeren voor heel basale

natuur. Dat geld kun je niet investeren in echte biodiversiteit. Kies dan scherper en laat hier die doelen misschien maar los, dan wordt het maar wat minder. En ga focussen op waar echt iets te halen valt. Het is natuurlijk heel gevaarlijk: voor natuurbeheerders en beleidsmakers is de KRW het enige juridische houvast."

### Natuurdoelen

Brouwer: "Je ziet hetzelfde bij de natuurdoelen. Voor de habitattypen zijn die gebaseerd op het beeld van Nederland rond 1910. Het klimaat was toen heel anders dan nu. We moeten een keer die doelen aanpassen. Niemand wil dat, want dan krijg je een wazig verhaal waarbij de kans groot is dat de doelen naar beneden worden bijgesteld. Bepaalde habitattypen zullen van karakter veranderen omdat we niet meer in die vroegere klimaatzone liggen. Hoogveen is ook zo'n voorbeeld. Als we tijdig gaan nadenken wat er wél kan, dan kun je intern die discussie voeren en met een stevig argument naar buiten komen. Maar als je je laat inhalen door de werkelijkheid, gaat er op een gegeven moment iets mis." Tomassen: "Ik vind het wel spannend om de doelen los te laten. Ik ben bang dat we dan helemaal niets meer in handen hebben. Dat alles vogelvrij verklaard wordt."

*Die habitattypen zijn in de jaren negentig gedefinieerd op basis van veel oudere data. Zijn ze ecologisch gezien eigenlijk niet meer van deze tijd?*

Brouwer: "Hoogveenvennen zijn typische systemen die in het noorden thuishoren. Het noordelijke karakter zullen ze verliezen, maar we weten nog niet wat ervoor in de plaats komt. De zwak gebufferde vennen zouden hier wel een goede toekomst kunnen hebben in een iets

andere vorm. Dus ja, moet je niet een beetje mee schuiven met de realiteit?"

*Door de verschuivende klimaatgrenzen, moeten we misschien andere natuurdoelen stellen. Wat zijn dan je criteria om te zeggen wat waardevol is, en welke normen horen hier bij?*

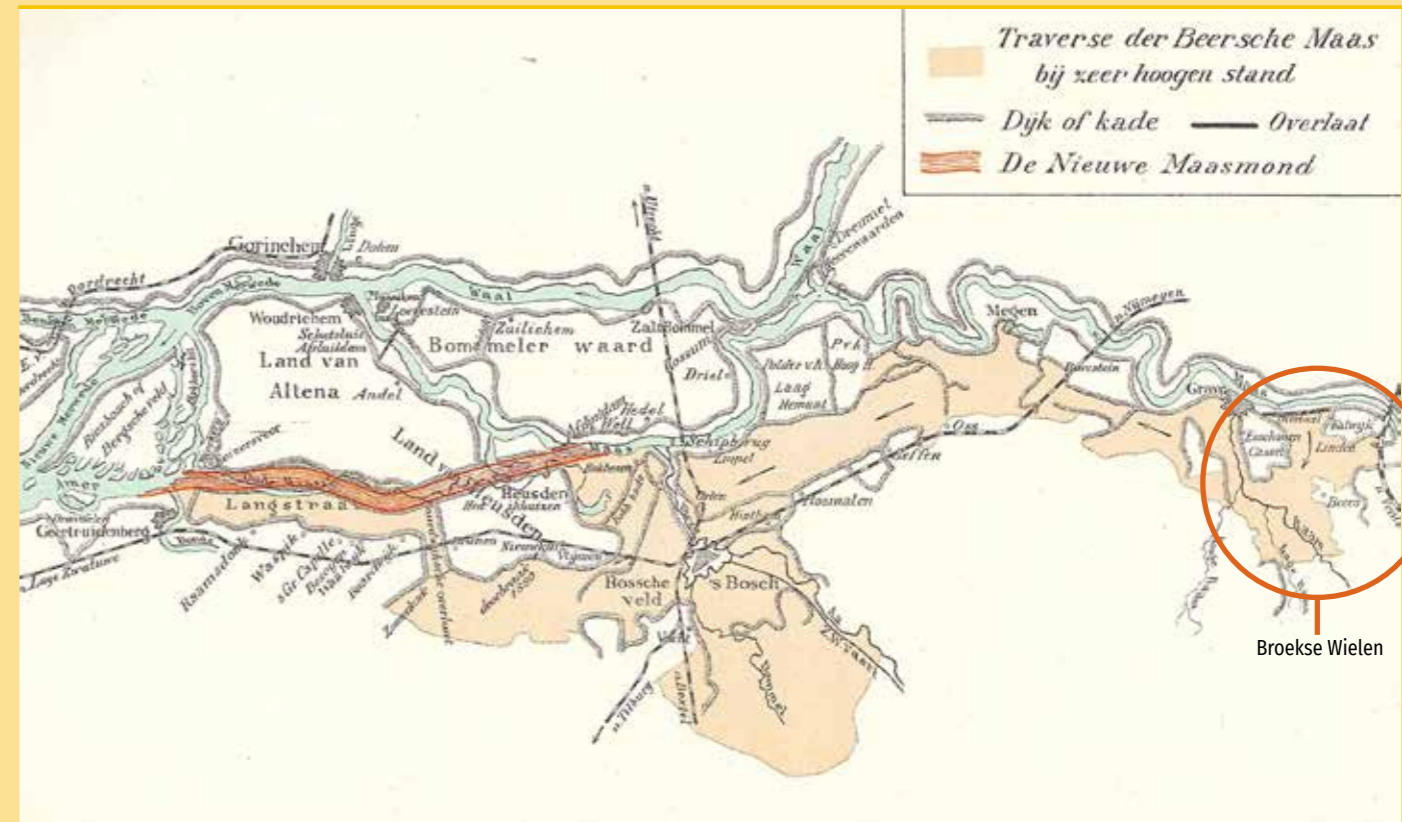
Brouwer: "Dat is lastig. Je zou kunnen zeggen, we zitten in de klimaatzone van Midden-Frankrijk. We weten hoe Midden-Frankrijk er dertig jaar geleden uit zag, dus dan nemen we die typen als nieuwe richtlijn. Ik geef je op een briefje dat daar even gevoelige soorten bij zitten als die we nu verliezen. Het geeft opportunisten wel de kans om de wetgeving af te zwakken."

### Monitoring

*Worden de gevolgen van de maatregelen die beheerders nemen op basis van jullie adviezen voldoende gemonitord?*

Tomassen: "Wij geven bijvoorbeeld adviezen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond. Vanuit B-WARE hebben Mark van Mullekom en Jan Roelofs geëvalueerd wat deze adviezen hebben opgeleverd. Op veel locaties was de fosfaatrijke bovengrond afgegraven en de abiotiek op orde. Dat heeft hele leuke resultaten opgeleverd. Of de plantensoorten daar waren teruggekomen, was vaak afhankelijk van of ze een handje geholpen waren door het aanbrengen van maaisel. Op sommige plekken was een hele mooie voedselarme uitgangssituatie gecreëerd, maar was het heel soortenarm gebleven."

**JOS DEKKER EN WIM DE HAAS**



## De Broekse Wielen

De Broekse Wielen bestaan uit grotere en kleinere wielen, gelegen bij Gassel en Vogelshoek, ten zuiden van Escharen. Het landschap omvat naast de wielen, een deel van een oude rivierdijk, schrale (rivierduin) graslanden, bos en open polderlandschap. Bij langdurige regens in de Ardennen trad de Maas regelmatig buiten haar oevers. De Beerse Overlaat was een lagere plek in de oeverwallen langs de Maas, in gebruik genomen rond 1400, waar de Maas in geval van nood mocht overstromen. Het systeem van de overlaat was beter dan ongecontroleerde overstromingen.

Het water dat bij de Beerse Overlaat overstroomde zocht zijn weg via het Raamdalen naar het westen richting Den Bosch waar het weer de Maas bereikte. Deze traverse heette de Beerse Maas of groene rivier. De breedte varieerde van 700 – 6000 meter. Doordat het water met kracht in het Raamdalen werd geperst, braken de dijken rond de polder van Escharen door en ontstonden de Broekse Wielen. De Beerse Maas wordt wel de 'architect' van de Broekse Wielen genoemd.

"De Maas is om" heette het als de Overlaat in werking trad. Dat gebeurde elke winter wel een paar keer. De Beerse Maas was aanleiding tot ruzies over het beheer. Pas in 1800 accepteerde men de noodzaak van de Beerse Maas. Deze had een negatieve invloed op de sociaaleconomische ontwikkeling van het Maasland. Plaatsen waren wekenlang geïsoleerd. Vruchtbare landbouwgrond kon alleen als hooiland worden gebruikt. Door 'normalisatie' van de Maas kon de Beerse Overlaat in 1942 buiten werking worden gesteld.

Bron: KNNV afdeling Nijmegen. Excursieverslagen Jan Nillisen. 23 augustus 2022.

# Vijf decennia te veel stikstof: de effecten op heide en bos

stikstofdepositie  
droog zandlandschap  
bodemverzuring  
ammoniumophoping

De Nederlandse natuurgebieden staan al ruim 45 jaar onder zware druk van stikstofdepositie. Deze is sinds de jaren 1990 weliswaar met 30-50% teruggebracht, maar nog steeds aanzienlijk hoger dan verzurings- en vermistingsgevoelige natuurtypen in het zandlandschap kunnen verdragen. Omdat systematische bodem- en plantmeetnetten in Nederlandse Natura 2000-gebieden zijn gestopt is het onmogelijk om de geleidelijke veranderingen in de recente decennia te laten zien. In dit artikel proberen we met de beschikbare gegevens te beschrijven wat de gevolgen zijn van verhoogde stikstofdepositie op onze gevoelige heide- en bosbodems. De resultaten stemmen niet optimistisch.

**M. (Maaike) Weijters**  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Toernooiveld 1, 6525 ED  
Nijmegen;  
m.weijters@b-ware.eu

**R. (Roland) Bobbink**  
Onderzoekcentrum B-WARE

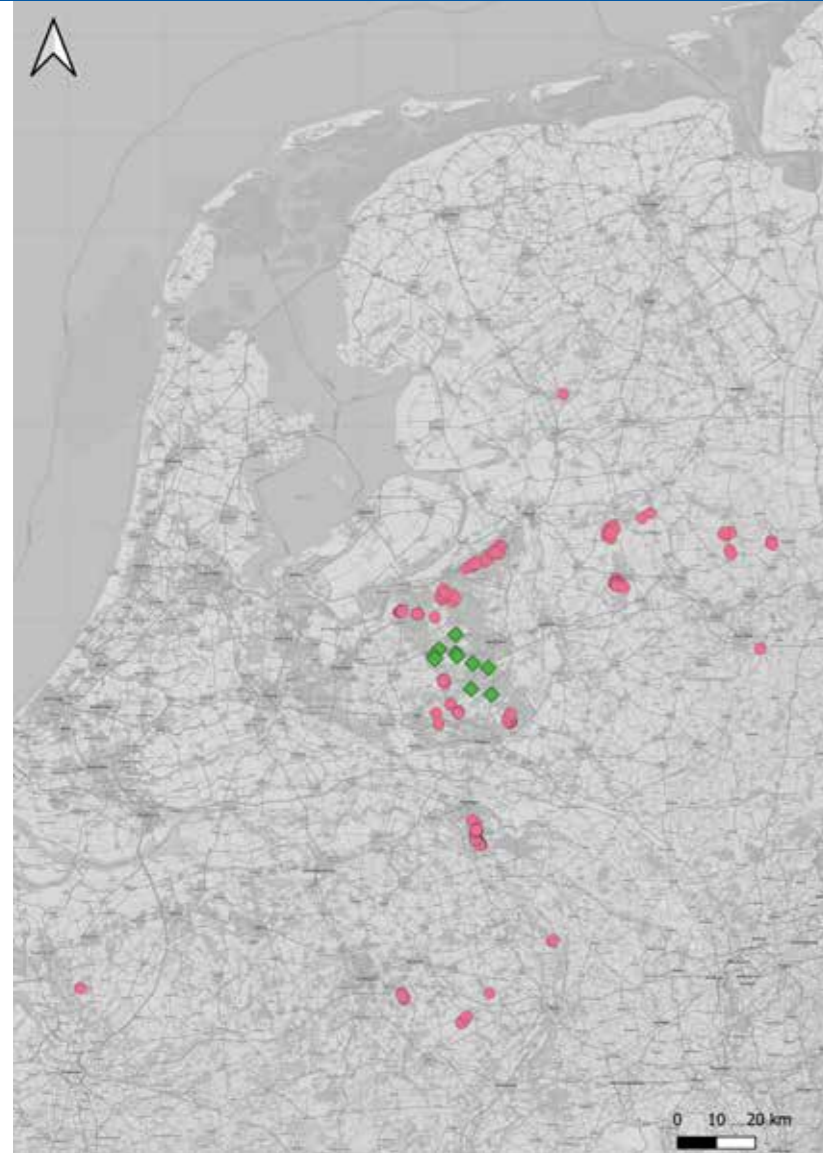
Dat een overmaat aan stikstof negatieve effecten heeft op natuur is al sinds de jaren 1980 bekend (o.a. Roelofs, 1986; Bobbink et al., 1998). Inmiddels zijn we ruim 40 jaar verder en is de uitstoot en neerslag van reactieve stikstofverbindingen ( $\text{NO}_x$  en  $\text{NH}_3$ ) weliswaar teruggedrongen, maar niet voldoende. De stikstofdepositie steeg sterk na de Tweede Wereldoorlog, tot de hoogste waarden in de jaren 1980 en begin jaren 1990. Vanaf 1993 tot het begin van deze eeuw is deze met 30-50% gedaald, maar sindsdien is de dalende trend gestagneerd (naar Noordijk, 2007 uit De Haan et al., 2008; Marra et al., 2023). In Nederland verloopt de depositiedaling van geoxideerd stikstof lineair (en zet nog altijd door), maar de depositie van gereduceerd stikstof daalt sinds 2005 niet meer en lijkt in de laatste tien tot vijftien jaar zelfs weer wat te stijgen (Marra et al., 2023). Gevolg is dat er nog steeds aanzienlijke ecologische schade optreedt. De effecten van een overmaat aan stikstof (N) zijn vijfledig (Bobbink, 2021):

1. Een verhoogde concentratie ammoniak in de lucht is al snel giftig voor organismen zoals korstmossen. De huidige ammoniakconcentraties gemeten in Ne-

derlandse Natura 2000-gebieden is voor veel korstmossen te hoog (Sutton et al., 2020).

2. De beschikbaarheid van stikstof in de bodem neemt toe, waardoor een verschuiving kan optreden in de concurrentie tussen plantensoorten. Hoog opgroeiende plantensoorten kunnen minder concurrentiekrachtige soorten overschaduwen en verdringen. Gevolg is dat er plantensoorten uit het Nederlandse zandlandschap verdwijnen en dat de structuur van de vegetatie steeds meer eenvormig wordt (Bobbink et al., 1998; Clark et al., 2007, Dise et al., 2011).
3. Bodemverzurende processen worden sterk versneld. Hierdoor kan de pH dalen, kunnen tekorten aan basische kationen zoals calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ) en magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ontstaan en kunnen giftige metalen zoals aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) vrijkomen (De Vries 2008; Bobbink et al., 2017).
4. De verhouding tussen ammonium en nitraat verandert, net als de opname van ammonium ten opzichte van nitraat door planten. Juist in het pleistocene zandlandschap van Nederland komen kenmerkende rodelijstsoorten voornamelijk voor op bodems met

Foto **Mark van Veen**.  
Weerter- en Budelerbergen  
in Limburg, een dekzand-  
rug met arme gronden  
waarop droge heide, den-  
nenbossen en stuifzanden  
aanwezig zijn.



**Figuur 1** Ligging van de 326 bemonsterde heidelocaties (H4030) (roze cirkels) en de tien bemonsterde oude eikenbossen (H9010) op de Veluwe (groene diamantjes).

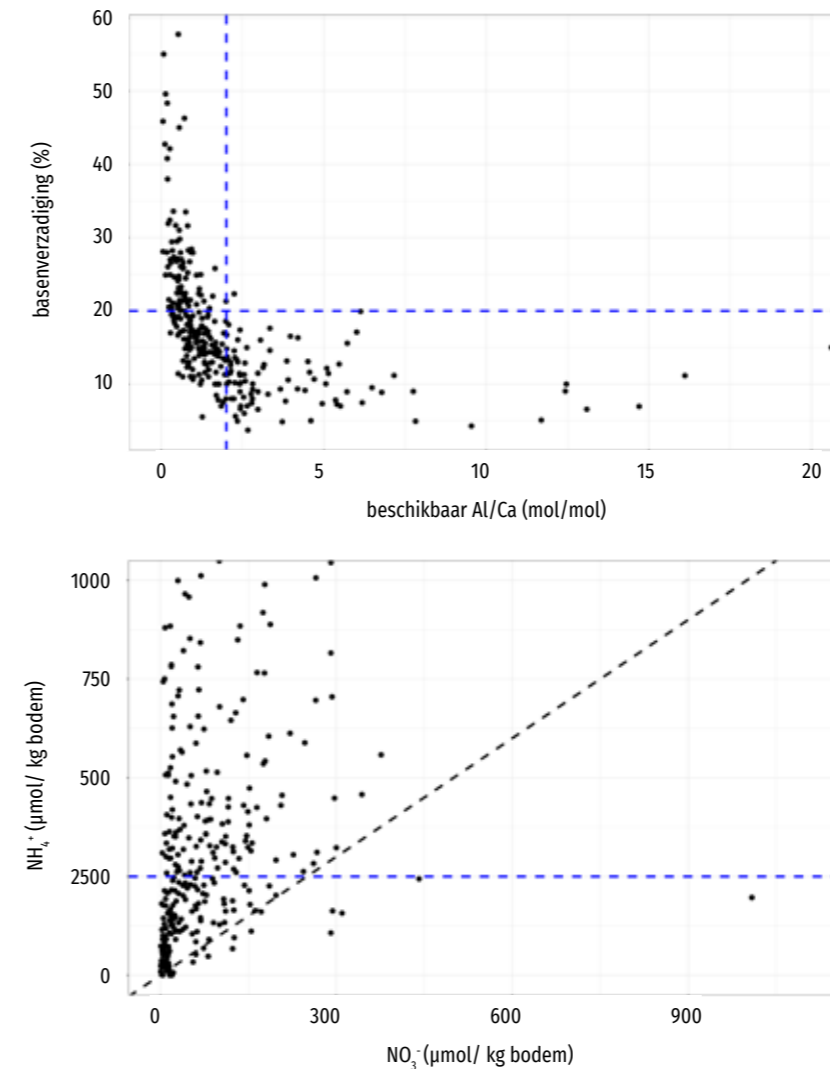
**Figure 1** Location of the 326 sampled dry heathland locations (H4030) (pink circles) and the ten sampled old oak forests (H9010) on the Veluwe (green diamonds).

met een lage ammonium-nitraatratio en/of lage ammoniumconcentraties (Kleijn et al., 2008; De Graaf et al., 2009).

- De beschikbaarheid van stikstof ten opzichte van andere voedingsstoffen, zoals fosfaat, calcium, kalium, magnesium en sporenelementen, verschuift. Naast directe gevolgen voor de vegetatie werken veranderingen in de verhoudingen van elementen ook door in het gehele voedselweb met negatieve effecten op de fauna (Vogels et al., 2023).

In bossen zorgt een toename van stikstofbeschikbaarheid in combinatie met bodemverzuring ervoor dat bomen meer gaan investeren in de groei van de kroon, en minder in wortels (Gao et al., 2023). In combinatie met hoge beschikbare aluminiumconcentraties zien we ook een ernstig negatief effect op de samenwerking van bomen met schimmels (ectomycorrhiza's). Deze twee factoren zorgen ervoor dat de bomen gevoeliger worden voor droogte, windval en tekorten aan andere voedingsstoffen (Braun et al., 2023). Voor de habitattypen droge heide (H4030), heischraal grasland (H6230), oude eikenbossen (H9120) en beuken-eikenbossen met hulst (H9190) gaat het om een oppervlak van ruim 19.000 ha (Bobbink et al., 2022), waarbij de droge loofbossen (LG 13), productiebossen en multifunctionele bossen nog niet eens zijn meegeteld. Langjarige monitoring van het voorkomen van kenmerkende planten en dieren laat zien dat te hoge stikstofdepositie in het heidelandschap heeft geleid tot een (sterke) afname van de kwaliteit van de Nederlandse natuur (WNE, 2020; 2023).

De hoeveelheid reactief stikstof die op een deel van onze Nederlandse natuurgebieden terecht komt is nog steeds te hoog, wat betekent dat een groot deel van de Nederlandse natuur nu al vier à vijf decennia te maken heeft met een te hoge druk van stikstofdepositie. Systematische bodem- en plantmeetnetten in Nederlandse Natura 2000-gebieden ontbreken, waardoor het niet



**Figuur 2** Gemeten Al/Ca-ratio afgezet tegen de basenverzadiging voor 326 bodemlocaties droge heide (H4030). Verticale blauwe stippellijn: Al/Ca-ratio 2 mol/mol; hierboven treedt schade op aan de vegetatie t.g.v. aluminiumtoxiciteit. Horizontale blauwe stippellijn: basenverzadiging van 20%; bij lagere percentages treedt verlies van soorten op.

**Figure 2** Measured Al/Ca ratio versus base saturation for 326 soil locations on dry heath lands (H4030). Vertical blue dotted line: Al/Ca ratio 2 mol/mol; above: damage occurs to vegetation due to aluminium toxicity. Horizontal blue dotted line: base saturation of 20%; loss of species occurs at lower percentages.

**Figuur 3** Concentratie nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) afgezet tegen de concentratie ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) voor 326 bodemlocaties droge heide (H4030). Horizontale blauwe stippellijn: maximale concentratie  $\text{NH}_4^+$  gemeten in goed ontwikkelde droge heidevegetaties; zwarte schuine stippellijn: 1 op 1-lijn (erboven bevat de bodem meer  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ ; eronder meer  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ ).

**Figure 3** Concentration of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) compared to the concentration of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) for 326 soil locations on dry heath (H4030). Horizontal blue dotted line: maximum concentration of  $\text{NH}_4^+$ ; measured in well-developed dry heathland vegetation; black diagonal dotted line: 1 on 1 line (above the soil contains more  $\text{NH}_4^+$  than  $\text{NO}_3^-$ ; below it more  $\text{NO}_3^-$  than  $\text{NH}_4^+$ ).

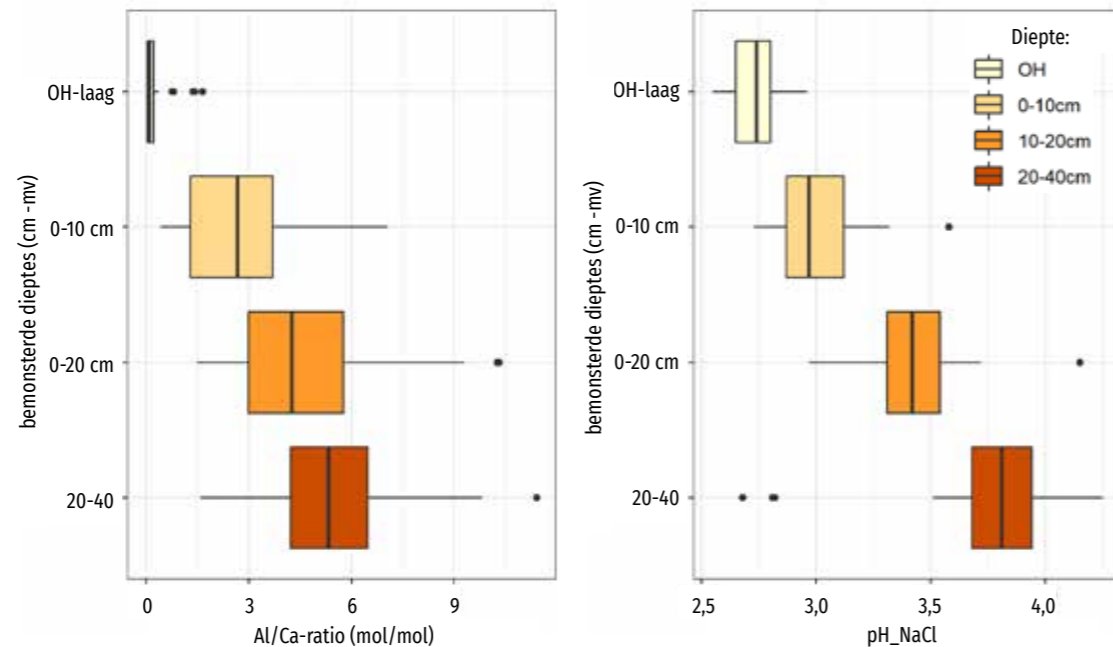
mogelijk is om geleidelijke veranderingen in de tijd te laten zien. In dit artikel proberen we met de beschikbare gegevens te beschrijven wat de gevolgen zijn van nog eens twintig jaar verhoogde stikstofdepositie op onze gevoelige heide- en bosbodems.

## Heide

Uit de database van Onderzoekcentrum B-WARE hebben we gegevens verzameld van de bodemchemie in droge, niet-vergraste heide (H4030), gemeten in de periode van 2014 tot eind 2021. Op ieder meetpunt zijn

**Figuur 4** Boxplots van de bodems verzameld in de 10 eikenboslocaties (H9190) op de Veluwe (n=30). Op de y-as de verschillende bemonsterde dieptes in cm onder maaiveld, waarbij de OH-laag (ook wel FH-laag) voor de strooisellaag staat minus het nog intacte, niet gefragmenteerde blad. De gekleurde vlakken geven het bereik aan waarin 50% van de waarnemingen valt, de verticale streep in deze vlakken geeft de mediane waarde. Links: Al/Ca-ratio gemeten in het zoutextract in mol/mol; rechts: pH gemeten in het zoutextract (0,2 M NaCl). Bron: Weijters et al., 2020.

monsters genomen van de bovenste 10 cm van de bodem (mengmonster van 3-5 steken met een bodemguts). Bodems die in het verleden agrarisch werden gebruikt of zijn geplagd of bekalkt zijn uit de selectie weggelaten. Dit leidde tot 326 heidemeetpunten verspreid over het Nederlandse zandgebied, onder meer verzameld in Nationaal Park de Hoge Veluwe (45 locaties), Strabrechtse heide (25 locaties), Harskamp (21 locaties), Veluwezoom (20 locaties) en Maasduinen (15 locaties) (figuur 1). De dataset is niet systematisch opgebouwd (het betreft geen gestandaardiseerd meetnet maar 'toevallige' metingen), maar omvat wel een groot deel van de Natura 2000-gebieden met droge heide. De gegevens werden in context geplaatst aan de hand van referentiewaarden uit de GRIP-database van B-WARE voor ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en de Al/Ca-ratio, gemeten in goed ontwikkelde droge heide (20Aa01b: *Genisto anglicae-Callunetum typicum*). De methodes van bemonstering en analyse staan



**Figure 4** Box plots of the soils collected in the 10 oak forest locations (H9190) on the Veluwe (n=30). On the y-axis the different sampled depths in cm below ground level, where the OH layer (also known as FH layer) represents the litter layer minus the still intact, non-fragmented leaf. The colored areas indicate the range in which 50% of the observations fall, the vertical line in these areas indicates the median value. Left: Al/Ca ratio measured in the salt extract in mol/mol; right: pH measured in the salt extract (0.2 M NaCl). Source: Weijters et al., 2020.

beschreven in o.a. Weijters et al., 2023.

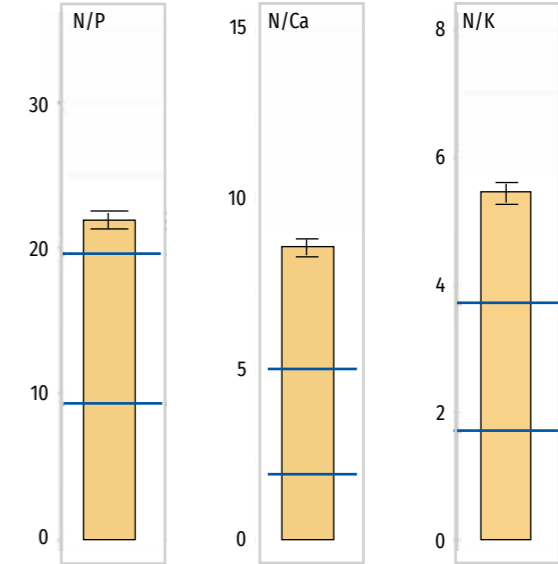
De twee belangrijkste effecten van een langdurige verhoogde stikstofdepositie op heidebodems zijn verzuring en vermesting. Een goede maat voor de mate van bodemverzuring is de verhouding tussen beschikbaar aluminium (Al) ten op zichte van beschikbaar calcium (Ca), de zogenaamde Al/Ca-ratio (figuur 2). In goed ontwikkelde droge heide is deze lager dan 2 mol/mol. In de 326 gemeten heidelocaties was deze hoger, gemiddeld 2,5, een teken dat er sprake is van uitspoeling van calcium en het in oplossing gaan van aluminium in de bodem. De variatie in de dataset was groot, met locaties met een zeer hoge Al/Ca-ratio, maar ook plekken waar deze goed op orde was.

Een tweede maat voor bodemverzuring is de mate waarin het adsorptiecomplex van bodems is bezet met basische kationen, protonen ( $\text{H}^+$ ) en aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ). Hoe hoger de bezetting met basische kationen, hoe

beter de bodem gebufferd is; zodra het adsorptiecomplex wordt opgeladen met  $\text{H}^+$  (en bij nog verdere bodemverzuring met  $\text{Al}^{3+}$ ) is dat een teken van bodemverzuring. In een heidebodem met een goed ontwikkelde vegetatie verwachten we dat minstens 20-25% van het complex bezet is door basische kationen. De gemiddelde basenverzadiging gemeten in deze dataset was met 17% aan de lage kant, en de variatie was groot (figuur 2). Toch werd in 60% van de waarnemingen een basenverzadiging lager dan 20% gemeten. Verder viel op dat de aluminium in meer dan de helft van de bemonsterde locaties meer dan 50% van de beschikbare bindingsplaatsen aan het adsorptiecomplex bezette. Dit is een duidelijk signaal dat buffering van inkomende zuren op een deel van de bodems voornamelijk verloopt via het in oplossing gaan van aluminium.

In de 326 bemonsterde locaties werd een gemiddelde nitraatconcentratie ( $\text{NO}_3^-$ ) van  $84 \mu\text{mol/kg}$  bodem gemeten, tegen een ammoniumconcentratie ( $\text{NH}_4^+$ ) van  $447 \mu\text{mol/l}$  bodem (figuur 3). Dat betekent dat ammonium veruit de dominante stikstofvorm is in de bemonsterde heidebodems. Op 70% van de bemonsterde locaties werd (veel) meer dan  $200 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{l}$  bodem gemeten. Ter vergelijking: De Graaf et al. (2009) vonden voor de periode 1985-2001 aanzienlijk lagere concentraties in droge heide (gemiddeld twee keer zo laag en in 90% van de waarnemingen lager dan  $131 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{kg}$  bodem) en in de GRIP-database van B-WARE houden we voor intacte droge heide een maximale waarde aan van  $200 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{kg}$  bodem. Vrijwel alle metingen liggen hier boven.

Op basis van deze gegevens kunnen we concluderen dat heidebodems op veel locaties in hoge mate verzuurd zijn, met hoge ammoniumconcentraties in een ongunstige verhouding ten opzichte van nitraat. Door deze combinatie van factoren kunnen veel kenmerkende heideplanten niet meer voorkomen.



**Figuur 5** N/P-ratio (links), N/Ca-ratio (midden) en N/K-ratio (rechts), alledrie in g/g drooggewicht, gemeten in eikenblad verzameld op 10 eikenboslocaties (H9190) op de Veluwe in 2020. n=30. Blauwe lijnen: onder- en bovengrens van de normale waarden gemeten in eik. (Bron: Mellert & Göttlein, 2012)

**Figure 5** N/P ratio (left), N/Ca ratio (middle) and N/K ratio (right), all three in g/g dry weight, measured in oak leaves collected at 10 oak forest locations (H9190) on the Veluwe in 2020. n=30. Blue lines: lower and upper limits of the normal values measured in oak (Source: Mellert & Göttlein, 2012)

## Eikenbossen

Oude eikenbossen zijn zeer gevoelig voor stikstofdepositie, waarbij net als in de heideverzuring en -vermesting een negatief effect hebben op de biodiversiteit. Daarbij veroorzaakt stikstofdepositie in bossen een sterke verschuiving in de verhouding tussen beschikbare voedingsstoffen (Krüger et al., 2020; Jonard et al., 2015). Oude eikenbossen komen vooral voor op de Veluwe. Sinds 2019 wordt een tiental Veluwe locaties met dit habitatype intensief gevolgd, waarbij de bodemchemie is bepaald in verschillende bodemlagen (Weijters et al., 2020). Uit deze metingen bleek dat de mediane pH-NaCl (n=33) rond de 2,8 lag in de eerste 10 cm, oplopend tot 3,8 in de laag van 20-40 cm onder maaiveld (figuur 4). De Al/Ca-ratio was hoog tot zeer hoog (figuur 4), en kwam in alle minerale bodemlagen boven de 2 mol/mol uit. Alleen in de organische FH-laag was de verhouding tussen beschikbaar aluminium en calcium niet schadelijk voor o.a. mycorrhiza-schimmels. Helaas zijn er geen

oude metingen in deze bossen van de Al/Ca-ratio, maar wel van de pH-KCl: vergeleken met de gegevens van Veluwe bossen uit de periode 1961-1972 (n=9, www.bodemdata.nl) bleek de pH gemeten in 2020 ruim 0,5 pH-eenheid lager te zijn. Niet alleen in de bovenlaag, maar ook op 20-40 cm diepte.

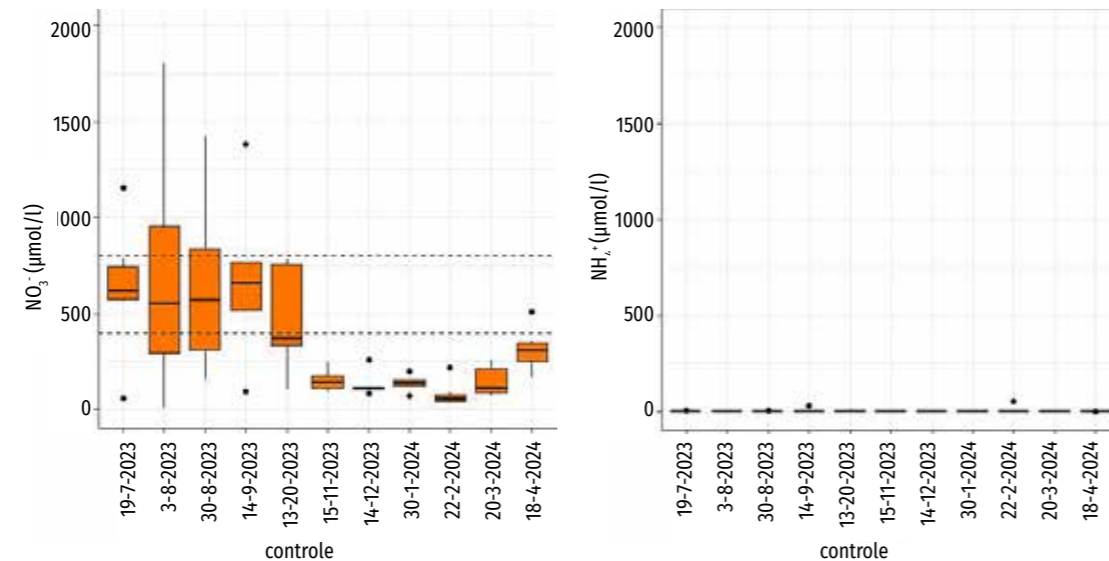
Naast bodemmonsters zijn in deze bossen in augustus 2020 ook bladeren van zomereiken verzameld (Weijters et al., 2020) en vergeleken met referentiewaarden (Mellert & Göttlein, 2012). Op vrijwel alle locaties werd in het verzamelde eikenblad een overschot gevonden aan stikstof ten opzichte van fosfor, calcium en kalium (figuur 5). Dit laat zien dat de bemonsterde eiken te maken hadden met een hoge mate van nutriëntenonbalans. In dezelfde eikenbossen (H9190) op de Veluwe wordt sinds medio 2023 de concentratie van ammonium en nitraat gemeten onder de wortelzone. In de periode van juli t/m oktober 2023 bevatte het verzamelde bodemvocht gemiddeld ongeveer 750  $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{l}$  (figuur 6). Dit is een

ernstig signaal dat deze bossen sterk oververzadigd zijn met stikstof en in hoge mate stikstof 'lekken' naar het grondwater. Deze concentraties zijn hoger dan de streefwaarde voor nitraatconcentraties in het grondwater, maar liggen nog wel (net) onder de drinkwaternorm. Wat verder opvalt is dat er vrijwel geen ammonium in het bodemwater onder de wortelzone aanwezig is: alleen nitraat is mobiel en spoelt uit in het bodemsysteem. Hoogstwaarschijnlijk treedt er dus ondanks de ernstige verzuring toch nitrificatie op in deze bossen.

We kunnen concluderen dat er bij bosbodems sprake is van een sterk zure bodem die ook met stikstof verzadigd is. Hierdoor verdwijnen grote hoeveelheden nitraat naar het grondwater. De combinatie van een hoge stikstofbeschikbaarheid met een sterk zure bodem zorgt voor gebreksverschijnselen in de eikenbladeren. Daarnaast tonen deze gegevens aan dat de bodem ten opzichte van gegevens uit de periode 1961-1972 sterk is verzuurd.

**Figuur 6** Boxplots van de nitraatconcentratie (links) en ammoniumconcentratie (rechts) gemeten in het porievocht onder de wortelzone in zes oude eikenbossen (H9190) op de Veluwe in de periode van juni 2023 t/m april 2024. Bovenste stippellijn: drinkwaternorm van 50 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ , onderste stippellijn: streefwaarde voor nitraat in grondwater (25 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ ). Bron: Sitters et al., 2024.

**Figure 6** Box plots of the nitrate concentration (left) and ammonium concentration (right) measured in the pore water under the root zone in six old oak forests (H9190) on the Veluwe in the period from June 2023 to April 2024. Top dotted line: drinking water standard of 50 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ , lower dotted line: target value for nitrate in groundwater (25 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ ). Source: Sitters et al., 2024.



## Conclusies

Hoewel een langetermijnmeetnet van de bodem in Natura 2000-gebieden ontbreekt, geven recente meetgegevens wel een duidelijk beeld. Een groot deel van de Nederlandse heide- en bosbodems is sterk verrijkt met stikstof. In de heidebodems is de concentratie beschikbaar ammonium bijna twee keer hoger dan gemeten in goed ontwikkelde droge heide én sterk verhoogd in de laatste jaren. Onder bosbodems worden nitraatconcentraties gemeten die zelfs hoger of minimaal vergelijkbaar zijn met waarden die worden gemeten onder landbouwbodems. Daarnaast zijn er duidelijke signalen dat de bodem op veel plaatsen inkomende zuren buffert door het oplossen van aluminium. Hoge beschikbare aluminiumconcentraties in combinatie met (zeer) lage beschikbare calcium- en kaliumconcentraties zorgen voor problemen bij veel planten en dieren. De pH-metingen in de diepere bodemlagen onder bossen op de Veluwe suggereren dat bodemverzuring tot diep in de bodem effect heeft. Dit beeld is in lijn met de recent gepubliceerde hermeting in bosbodems door WEnR (De Jong et al., 2023 en De Vries et al., 2017), die ook duidelijk laten zien dat bosbodems sterk opgeladen zijn met stikstof en dat aluminium een steeds groter aandeel heeft in het bodemadsorptiecomplex vergeleken met de waarden in 1990.

Ook wordt steeds duidelijker dat het herstellen van deze verzuurde en met stikstof opgeladen bodems erg moeilijk is. Er wordt gezocht naar een balans tussen het toevoegen van bufferstoffen, het voorkomen van een versnelde afbraak van organisch materiaal (waardoor grote hoeveelheden stikstof vrij kunnen komen) en het behouden van een goede balans in de beschikbaarheid van verschillende elementen (stoichiometrie) (zie o.a. Weijters et al., 2023; Vogels et al., 2023). Daarnaast is de laatste jaren gebleken dat de grote hoeveelheden stikstof die zijn opgeslagen in organische bodemlagen als gevolg van droogte en warmte kunnen vrijkomen (Bob-



**Figuur 7** Hoog Buurlose Heide op de Veluwe. Foto: Martha de Jong-Lantink.

**Figure 7** Hoog Buurlose Heide with dry heathland. Photo: Martha de Jong-Lantink.

bink et al., 2019). De gegevens over de uitspoeling van nitraat onder heide- en bosbodems laten zien dat het stikstofprobleem zich niet beperkt tot de meest verzuringsgevoelige zandbodems: de overmaat aan nitraat spoelt uit naar het grondwater, waarna het problemen oplevert voor ons eigen drinkwater, en in natuurgebieden waar dit grondwater als kwel uittreedt. In het kader van de bosherstelstrategie, de Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen en de breed gedragen zorg over het verlies aan biodiversiteit in het zandgebied varen we blind. Er zijn nauwelijks gestructureerde langetermijngegevens beschikbaar over de veranderingen die zijn opgetreden in de bodems, waardoor het niet mogelijk is om wat betreft verzuring en vermesting aan te geven of er sprake is van herstel of verslechtering (hoewel alle signalen wijzen op dat laatste). Herstelmaatregelen worden vaak gebaseerd op eenmalige

metingen. Het gebrek aan gestructureerde meetnetten maakt het daarbij ook erg moeilijk om de effecten van (herstel)maatregelen goed te monitoren en te duiden. De interactie tussen de gevolgen van stikstofdepositie in combinatie met een veranderend klimaat is zonder gestructureerde meetnetten niet te ontrafelen.

De gegevens over de biodiversiteit in oude loofbossen en heides spreken boekdelen (WNF, 2023): het gaat niet goed! Het is moeilijk te begrijpen dat er de laatste twintig jaar geen gestructureerde monitoring naar

de effecten van stikstofdepositie op de bodem heeft plaatsgevonden, terwijl de effecten van een (veel) te hoge stikstofdepositie op de natuur al ruim veertig jaar bekend zijn. Uit deze gegevens van het zandlandschap blijkt dat de degradatie zeer ernstig is en dat het noodzakelijk is om de stikstofdepositie op korte termijn drastisch te verlagen. Zo niet dan zal de aantasting van bos en heidehabitats op zandbodems op korte termijn onherstelbaar zijn - op sommige plekken is dat wellicht al zo.

## Summary

### Over five decades of excess nitrogen: the effects on heathland and woodland

Maaïke Weijters & Roland Bobbink

[nitrogen deposition](#), [dry sandy landscape](#), [soil acidification](#), [ammonium accumulation](#)

Dutch nature reserves have been under severe pressure from nitrogen deposition for five decades. Although nitrogen deposition has been reduced by 30-50% since the 1990's, it is still considerably higher than acidification- and eutrophication-sensitive nature types in the sandy landscape can tolerate. This article makes clear that there are now very high

ammonium concentrations in the heathland soils, large cation deficiencies and nutrient imbalances in the trees, strong leaching of nitrate from the forest soils, and that incoming acids in the soil are increasingly buffered by dissolving aluminium. These soil changes negatively affect biodiversity in the sandy landscape.

## Literatuur

**Bobbink, R., Bergsma, H.L.T., Den Ouden, J. & Weijters, M.L. (2017).** Bodemverzuring in droog zandlandschap: na het zuur geen zoek? *Landschap* 34(2), 61-69.

**Bobbink, R. (2021).** *Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse.* Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-20.135.21.35.

**Bobbink, R., Loeb, R., Bijlsma R-J. & Van Delft, B. (2019).** Doet extreme droogte stikstofbom in droge heide barsten? *Vakblad Natuur Bos en Landschap* 160, 3-6.

**Bobbink, R., Van Dijk, G., Remke, E. & Tomassen, H. (2022).** *Herstelbaarheid van door stikstofdepositie aangetaste Natura 2000-habitattypen: een overzicht.* Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-21.117.21.95.

**Bobbink, R., Hornung, M. & Roelofs, J.G.M. (1998).** Essay review: The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural vegetation. *Journal of Ecology* 86, 717-738.

**Bodemdata.nl (z.d.)** Bodemprofielen. Geraadpleegd in mei 2024 via <https://bodemdata.nl/bodemprofielen>.

**Braun, S., Rihm, B., Tresch, S. & Schindler, C. (2023).** Longterm risk assessment of uprooting and stem breakage under drought conditions and at high N deposition in beech and Norway spruce. *Agricultural and Forest Meteorology* 341, 109669.

**Clark, C., Cleland, E.E., Collins, S.C., Fargione, J., Gough, L., Gross, K.L., ... Grace, J. (2007).** Environmental and plant community determinants of species loss following nitrogen enrichment. *Ecology Letters* 10, 596-607.

**De Haan, B.J., Kros, J., Bobbink, R., Van Jaarsveld, J.A., De Vries, W. & Noordijk, H. (2008).** *Ammoniak in Nederland.* Planbureau voor de leefomgeving. Rapport 500125003.

**De Vries, W. (2008).** *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid.* Alterra. Rapport 1699.

**De Vries, W., Bolhuis, P., Van de Burg, A. & Bobbink, R. (2017).** Doorlopende verzuring van bosbodems - oorzaken en gevolgen voor het bosecosysteem. *Vakblad Natuur Bos en Landschap* 14(137), 32-35.

**Dise, N.B., Ashmore, M. & Belyazid, S. (2011).** Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. In: Sutton, M.A., Howard, C.M., Erismann, J.W. et al. (Red.), *The European Nitrogen Assessment.* Cambridge University Press.

**Gao, W., Chen, D., Hu, X., Fang, X., Li, Q., Huang, Q., ... Liu, L. (2023).** Nitrogen deposition drives the intricate changes of fine root traits. *Global Ecology and Conservation* 43, e02443.

**De Graaf, M.C.C., Bobbink, R., Smits, N.A.C., Van Diggelen R. & Roelofs, J.G.M. (2009).** Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* 142(10), 2191-2201.

**De Jong, A., Van Delft, S., Hendriks, C. (2023).** *Koolstof en nutriënten in bosbodems: resultaten bemonstering 2020-2021.* Wageningen Environmentaal Research. Rapport 3265.

**Jonard, M., Fürst, A., Verstraeten, A., Thimonier, A., Timmermann, V., Potočić, N., ... Rautio, P. (2015).** Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global Change Biology* 21(1), 418-430.

**Kleijn, D., Bekker, R.M., Bobbink, R., De Graaf, M.C.C. & Roelofs, J.G.M. (2008).** In search for key biochemical factors affecting plant species persistence in heathlands and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. *Journal of Applied Ecology* 45, 680-687.

**Krüger, I., Sanders, T.G.M., Potočić, N., Ukonmaaho, L. & Rautio, P. (2020).** *Increased evidence of nutrient imbalances in forest trees across Europe* (ICP Forests Brief No. 4). Programme Co-ordinating Centre of ICP Forests, Thünen Institute of Forest Ecosystems.

**Marra, W.A., Hazelhorst, S.B., Brandt, K.M.F., Wichink Kruit, R.J., Schram, J.M. & De Jongh, L.A. (2023).** *Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden. Monitoring van de Wet stikstofreductie en natuurverbetering.* Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapport 2023-0239.

**Mellert, K.H. & Göttlein, A. (2012).** Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131, 1461-1472.

**Roelofs, J.C.M. (1986).** The effect of airborne sulphur and nitrogen deposition on aquatic and terrestrial heathland vegetation. *Experientia* 42: 372-377.

**Sitters, J., Weijters, M., Van Pul, D., Bobbink, R., Bruggink, J., Petersdorf, M., ... Scherpenisse, M. (2024).** *Steenmeeltrials voor herstel van oude eikenbossen op arme zandgronden (H9190).* Voortgangsrapportage. Onderzoekcentrum B-WARE in opdracht van de provincie Gelderland. Rapport 20.172B.24.11

**Sutton, M.A., Van Dijk, N., Levy, P.E., Jones, M.R., Leith, I.D., Sheppard, L.J., ... Wolseley, P.A. (2020).** Alkaline air: changing perspectives on nitrogen and air pollution in an ammonia-rich world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 378, 2183.

**Vogels, J.J., Van de Waal, D.B., WallisDeVries, M.F., Van den Burg, A.B., Nijssen, M., Bobbink, R., ... Siepel, H. (2023).** Towards a mechanistic understanding of the impacts of nitrogen deposition on producer-consumer interactions. *Biological Reviews* 98, 1712-1731.

**Weijters, M., Bohnen-Verbaarschot, E., Vogels, J., Smits, L., Van de Riet, B., Siepel, H., ... Bobbink, R. (2023).** *Herstel van vochtige heide door middel van silicaatmineralen (steenmeel).* Resultaten van negen jaar steenmeelonderzoek. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-2019-109-DZ

**Weijters, M., Bobbink, R. & Siepel, H. (2020).** *Selectie en uitzetten steenmeeltrials voor herstel van Oude Eikenbossen op arme zandgronden (H9190).* Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-19.167.20.56

**WNF (2020).** *Living Planet Report Nederland. Natuur en landbouw verbonden.* Wereld Natuur Fonds.

**WNF (2023).** *Living Planet Report Nederland. Kiezen voor natuurherstel.* Wereld Natuur Fonds (WWF-NL).

# GRIP: ‘levende’ database koppelt vegetatie en bodemsamenstelling

Kennis van bodem en water is belangrijk in het Nederlandse natuurbeheer, maar een goed referentiekader van de specifieke bodem- en watersamenstelling per natuurtype ontbreekt nog. In dit artikel presenteren we een eerste uittreksel met bodemgegevens van GRIP: een online database met vegetatie-opnamen en bodem- en watermetingen van (voornamelijk) de afgelopen twintig jaar, die regelmatig wordt aangevuld met nieuwe gegevens.

De druk op landgebruik is groot in Nederland. Nederlandse natuurgebieden zijn dan ook geen stukken natuur zonder menselijke invloed, maar in feite halfnatuurlijke systemen met nevenfuncties, zoals extensief agrarisch gebruik, recreatie en waterberging. Ze staan onder druk door onder meer wateronttrekking, verslechtering van de (grond-)waterkwaliteit en stikstofdepositie. Natuurbeheer moet daarom op het scherpst van de snede uitgevoerd worden, wat een grondige kennis vereist van het biotisch en abiotisch functioneren. Er is daarom dringend behoefte aan een referentiekader: wat is eigenlijk de range van bodem- en/of watersamenstelling waarin specifieke vegetatietypen kunnen functioneren?

De ontwikkeling van zo'n referentiekader is vanuit het verleden nooit systematisch op grote schaal aangepakt, waardoor het per ecosysteem sterk verschilt in welke mate zo'n kader bestaat. Daarbij is door allerlei Nederlandse instituten een bonte variatie aan meetmethoden gebruikt, die onderling moeilijk vergelijkbaar zijn. Inmiddels gebruiken de vakgroep Ecologie van de Radboud Universiteit Nijmegen en Onderzoekcentrum B-WARE al zo'n vijftig jaar min of meer dezelfde meetmethoden in een groot aantal ecosystemen. Voor aquatische systemen is in het verleden een overzicht

van de relatie tussen waterplanten en waterkwaliteit verschenen (Bloemendaal & Roelofs, 1988).

Voor terrestrische ecosystemen is zo'n systematische aanpak vooralsnog niet uitgevoerd, maar de constante werkwijze heeft het mogelijk gemaakt om een consistente database op te bouwen van metingen in combinatie met een goed omschreven vegetatie: GRIP (Gemeten Referentiewaarden In Plantengemeenschappen). GRIP is tot stand gekomen door inzet van medewerkers van B-WARE, met incidentele ondersteuning door Staatsbosbeheer en BIJ12, en in enkele gevallen door het aanleveren van gegevens door derden. De database bevat nu ruim 4.500 vegetatieopnamen gekoppeld aan metingen aan bodem, porievocht en oppervlaktewater. In dit artikel publiceren we een eerste toepassing van deze GRIP-database, waarbij we ranges van (sturende) parameters geven voor enkele tientallen terrestrische vegetatie-eenheden waar momenteel voldoende gegevens van zijn. Gegevens over porievocht zijn weggelaten. Verder laten we aan de hand van blauwgrasland zien dat verder inzoomen op een vegetatietype een nauwkeuriger referentiebeeld oplevert. Ook lichten we toe hoe een dergelijk referentiebeeld gebruikt kan worden bij de ontwikkeling van blauwgrasland op voormalige landbouwgronden.

bodemsamenstelling  
vegetatie  
database  
standplaatscondities  
referentiewaarden

**E. (Emiel) Brouwer**  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Toernooiveld 1, 6525 ED  
Nijmegen;  
e.brouwer@b-ware.eu

**A.H.W. (Adam) Koks**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**J. (Jelmer) van Doorn**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**M. (Mark) van Mullekom**  
Onderzoekcentrum B-WARE

Foto **Mark van Veen**.  
Landschap bij de noordtak  
van de Springendalse  
beek. Hier ontspringt de  
beek in natuurgebied en  
stroomt door grasland en  
elzenbroekbos.

### Meetmethoden en gegevensopslag

Vegetatieopnamen zijn verwerkt in het programma Turboveg (Hennekens & Schaminée, 2001), waarbij elke opname een uniek nummer heeft gekregen en een minimaal aantal kopgegevens bevat zoals datum, coördinaten en totale bedekking. Verder zijn de waargenomen soorten genoteerd, inclusief een bedekking in procenten of een andere gangbare schaal (Braun-Blanquet, Londo, Tansley e.d.). Via het unieke nummer zijn de opnamen, in de programmeertaal R, voor verdere verwerking gekoppeld aan de analysedata van de bodemsamenstelling. De meest gebruikte meetgegevens uit de GRIP database zijn:

- Fractie organisch stof in de bodem, berekend uit het gewichtsverlies na uitgloeien bij 550 graden Celsius.
- Totale verweerbare fracties, bepaald door middel van een extractie met geconcentreerd salpeterzuur (destructie).
- Zout-extraheerbare fractie van ionen in de bodem, inclusief de zuurgraad.
- Plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P), bepaald door middel van een extractie met natriumbicarbonaat.

Alle gehalten zijn uitgedrukt per liter verse bodem om de ontwikkeling van planten op bodemtypen die (sterk) verschillen in soortelijk gewicht (*bulk density*), vergelijkbaar te houden.

### Selectie gegevens en statistische bewerking

De GRIP-dataset bevat gegevens uit de periode 1974-2023, waarbij het grootste gedeelte van de gegevens afkomstig is van na 2000. Van de ruim 4.500 opnamen zijn er ongeveer 3.500 afkomstig uit terrestrische milieus. Aan elk van deze terrestrische opnamen is met behulp van het programma Associa (Van Tongeren et al., 2008) binnen Turboveg een vegetatietype ((sub)associatie) toegekend: Associa geeft een eerste t/m vijfde keuze; deze toekenning is handmatig nagelopen. Bij ruim 500 opnamen die niet goed aan een associatie

gekoppeld konden worden is een indeling op alleen verbondsniveau gemaakt, of is de opname gekoppeld aan een zelf gedefinieerde eenheid of aan een andere associatie dan de door Associa gesuggereerde typen. Enkele honderden opnamen zijn niet gebruikt omdat ze te heterogeen waren of plantensociologisch gezien moeilijk te duiden.

Voor dit artikel zijn alleen die vegetatie-eenheden meegenomen waarvan 20 of meer opnamen beschikbaar zijn: in totaal 2.170 opnamen. In de beschrijving worden alleen bodemchemische parameters genoemd waarvan minstens 15 waarnemingen aanwezig zijn voor de betreffende vegetatie-eenheid. De nadruk ligt in dit artikel op de koppeling tussen bodemchemische parameters van de bovenste bodemlaag (0-10 à 20 cm onder maaiveld) en de vegetatie in het terrestrische milieu. Van oudere gegevens is vaak geen bulk density bepaald waardoor gehalten niet kunnen worden uitgedrukt per liter verse bodem. In dat geval is de bulk density geschat via een sterke correlatie met het gehalte organisch stof ( $R^2 = 0,889$ ). Nog oudere opnamen zonder bepaling van organische stof zijn niet meegenomen in de analyse. Er is voor gekozen om sterk afwijkende gegevens niet uit de gebruikte dataset te verwijderen. Dit soort ruis ontstaat onder meer door opnamen die niet voldoen aan het ideale beeld van de betreffende vegetatie-eenheid, door seizoensfluctuaties, door per bodemtype sterk afwijkende concentraties en doordat de vegetatiesamenstelling achterloopt op allerlei veranderende omgevingsinvloeden (vermesting, verdroging, verstoring, e.d.). Door de bodemchemische data met behulp van een 25-75% percentiel weer te geven wordt de ruis aan de uiteinden weggefilterd en ontstaat een voldoende robuust beeld.

### Resultaten

Tabel 1 presenteert voor in totaal 42 vegetatie-eenheden de bodemchemische samenstelling. Voor de meeste een-

heden kon een specifieke associatie worden aangeduid. Bij de associatie van gewone dophei (*Ericetum tetralicis*) is een aparte soortenrijke variant onderscheiden die tussen de typische associatie en die met gevlekte orchis (subass. *orchietosum*) zit. Ook de zinkvegetaties zijn als aparte subassociatie onderscheiden (*Festuco-Thymetum violietosum calaminariae*). De totale hoeveelheid weerbaar zink van deze subassociatie is 86-332 mmol/l, terwijl dat voor de overige vegetatie-eenheden beneden de 3 mmol/l ligt. Voor enkele andere vegetatie-eenheden waren alleen voldoende gegevens voorhanden op verbondsniveau: het dotterbloemverbond (*Calthion*) en het verbond van look zonder look (*Galio-Alliarion*). Voor het windhalmverbond (*Aperion*) geldt dan weer dat het matig ontwikkelde vegetaties betreft die niet tot de hieronder vallende associaties konden worden gerekend. De slechtst ontwikkelde akkergemeenschappen van zandgronden zijn zelfs op ordeniveau samengebracht in de orde van gewone spurrie (*Segetalia*). Voor de elzenbroekbossen zijn apart gegevens opgenomen van matig ontwikkelde typen die vaak verruigd en/of verdroogd zijn, dit op verbondsniveau (*Alnion*). Ten slotte zijn ook gegevens toegevoegd van een vegetatie die nog geen duidelijke plek heeft in de plantensociologie: bosaanplanten op voormalige landbouwgronden op zand. Bij deze gegevens moeten we een paar kanttekeningen plaatsen:

- De gegevens zijn verzameld in een periode waarin het landschap sterk beïnvloed wordt door allerlei externe factoren. Het is waarschijnlijk dat bijvoorbeeld veel plantengemeenschappen van de zandgronden een onnatuurlijk zwaartepunt vertonen aan de zure en/of stikstofrijke kant.
- Goed ontwikkelde akkerkruidengemeenschappen zijn in Nederland op minder dan 20 akkers (per type) bewaard gebleven. De meeste van deze reserwaatakkers liggen nu op in het verleden intensief gebruikte landbouwgronden. Dit geeft vermoedelijk

een scheef beeld van met name het gehalte organische stof, de totale hoeveelheid fosfor en de hoeveelheid voor de plant beschikbaar fosfaat.

- Voor bossen zijn geen gegevens gepresenteerd over de zure, vaak meer dan 10 cm dikke humuslaag die in veel bossen op kalkloze zandbodems de toplaag van de bodem vormt.
- Voor natte systemen is ook de samenstelling van het bodemvocht een belangrijke parameter. Deze is niet weergegeven in de overzichtstabel, maar zal wel aangehaald worden in het voorbeeld van blauwgrasland (*Cirsio dissecti-Molinietum*), aangezien deze voor de plantengroei op natte bodems zeer relevant is.
- Verder zijn er allerlei uitzonderingen mogelijk waardoor een vegetatie goed ontwikkeld is terwijl de bodemsamenstelling voor één of meerdere parameters ver buiten de range ligt. Zo is op een aantal voormalige, zeer fosfaatrijke akkers al meer dan 10 jaar een ontwikkeling gaande richting soortenrijk grasland. Hier lijkt limitatie door droogte en/of stikstof een rol te spelen (Eichhorn et al., 2020), iets wat momenteel verder wordt onderzocht.

Bovenstaande zaken hebben relatief weinig effect op het totaalplaatje van de variatie van standplaatsen over alle vegetatietypen. Door het gebruik van de 25-75% percentielen wordt veel ruis weggenomen. Op een meer gedetailleerd niveau is echter nog veel ruimte voor verdere verfijning van de koppeling tussen standplaatsen en vegetatie. Dit illustreren we hieronder aan de hand van blauwgrasland.

### Inzoomen op blauwgrasland

Blauwgrasland is één van de bekendste en soortenrijkste typen schraalland van Nederland. Het type is in de afgelopen decennia sterk achteruit gegaan. De vegetatiesamenstelling varieert, afhankelijk van bodemtype, hydrologie en geografische ligging. In de vegetatie-



kunde worden vier subassociaties onderscheiden. Deze verfijnde indeling is met de GRIP-gegevens echter (nog) niet goed te onderbouwen. Bijna alle opnamen worden door Associa toegevoegd aan de typische subassociatie (*typicum*) en de subassociatie met *parnassia* (*parnassietosum*), maar het verschil in soortensamenstelling (binnen de GRIP-data) is miniem en de overlap in de ranges voor meetgegevens is groot. De subassociatie met *parnassia* heeft gemiddeld een iets hogere

pH-zout (5,0 tegen 4,7) en iets meer calcium-totaal (Ca-t) (61 tegen 46 mmol/l) vergeleken met de typische subassociatie (*typicum*).

Als de bodem als uitgangspunt wordt genomen leidt dat tot een betere onderverdeling (tabel 2). Er is hier blauwgrasland op drie typen bodems onderscheiden, met daarbij een verzuurde en een vermeste variant. De meeste opnamen in GRIP zijn afkomstig van zand- en leembodems. Een fosfaatarme toestand wordt hier geïn-

**Tabel 1** Bodemsamenstelling van de 42 geselecteerde vegetatie-eenheden. Weergegeven is de range waarin 50% van de waarnemingen valt (25-75% percentiel). OS = organisch stof, -t: totaal; -z = zout-extraheerbaar.

P = fosfaat, Al = aluminium, Ca = calcium, Fe = ijzer, K = kalium, NO<sub>3</sub> = nitraat, NH<sub>4</sub> = ammonium. A. = associatie van ..., sA = subassociatie, RG = rompgemeenschap.

**Tabel 1** Soil composition of 42 vegetation units. The range that includes 50% of the data (25-75 percentile) is given. OS = organic matter, -t: total content; -z = salt-extractable fraction.

P = phosphorus, Al = aluminium, Ca = calcium, Fe = iron, K = potassium, NO<sub>3</sub> = nitrate, NH<sub>4</sub> = ammonium. A. = association of ..., sA = subassociation, RG = basic association.

VENEN	OS (%)	pH-z	Olsen-P (mm/l)	P-t (mm/l)	Al-t (mm/l)	Ca-t (mm/l)	Fe-t (mm/l)	K-t (mm/l)	Ca-z (mm/l)	NO <sub>3</sub> -z (µm/l)	NH <sub>4</sub> -z (µm/l)	P-z (µm/l)
Veenmosrietland, sA. Pijpenstrootje	94-97	3,3-3,8		1-2	0-2	2-8	1-3	1-2	1,6-4,6	1-3	8-55	1-9
A. Moerasstruisgras & Zompzegge	74-93	4,2-5,4	0,19-0,50	1-3	1-15	9-24	1-26	1-3	6,5-9,6	2-7	34-135	1-9
A. Schorpioenmos & Ronde zegge	80-92	5-6,1		1-3	1-5	15-31	2-45	1-3	6,6-12	2-6	13-97	1-4
RG Pijpenstrootje & Veenpluis	6-11	3,3-3,5	0,26-0,41	2-3	33-63	3-4	6-14	2-3	0,8-2,2	3-7	36-253	1-2
A. Gewone dophei & Veenmos		3,1-3,5	0,17-0,35	0-1	0-3	1-3	0-3	0-1	0,8-2,5	5-27	4-381	1-2
Knopbies-associatie	2-9			3-6		20-58		7-11				

HEIDEN	OS (%)	pH-z	Olsen-P (mm/l)	P-t (mm/l)	Al-t (mm/l)	Ca-t (mm/l)	Fe-t (mm/l)	K-t (mm/l)	Ca-z (mm/l)	NO <sub>3</sub> -z (µm/l)	NH <sub>4</sub> -z (µm/l)	P-z (µm/l)
A. Moeraswolfsklauw & Snavelbies	2-7	3,5-4,1							0,5-1,6		20-90	
A. Gewone dophei	4-11	3,3-3,8	0,24-0,43	2-4					0,3-1,6	4-22	4-208	0-2
A. Gewone dophei, soortenrijk	4-24	3,5-4,5	0,17-0,40	1-2	33-90	4-7	6-21	3-4	1,6-5,7	6-45	6-40	0-1
A. Struikhei & Stekelbrem	5-17	3,2-3,6	0,26-0,48	2-3	33-74	2-5	9-29	2-3	0,4-1,5	2-38	9-157	1-2

AKKERS	OS (%)	pH-z	Olsen-P (mm/l)	P-t (mm/l)	Al-t (mm/l)	Ca-t (mm/l)	Fe-t (mm/l)	K-t (mm/l)	Ca-z (mm/l)	NO <sub>3</sub> -z (µm/l)	NH <sub>4</sub> -z (µm/l)	P-z (µm/l)
Windhalm-verbond	2-5	4,5-5,5	2,19-3,40	13-24	59-119	19-36	19-72	5-11	5,3-9,3	35-157	36-184	20-96
Korensla-associatie	2-4	4,1-4,7	2,27-3,65	17-30	76-129	11-26	50-87	6-12	3,2-6,1	30-62	46-140	13-73
A. Ruige klaproos	2-3	5,2-5,9	1,69-2,91	14-20	68-118	27-45	40-130	7-10	4,9-9,4	20-121	39-241	15-120
Orde van Gewone spurrie	2-5	4,1-5,6	2,12-3,50	14-24	68-123	14-38	21-52	6-9	4,6-7,9	47-324	28-131	25-102

GRASLANDEN	OS (%)	pH-z	Olsen-P (mm/l)	P-t (mm/l)	Al-t (mm/l)	Ca-t (mm/l)	Fe-t (mm/l)	K-t (mm/l)	Ca-z (mm/l)	NO <sub>3</sub> -z (µm/l)	NH <sub>4</sub> -z (µm/l)	P-z (µm/l)
RG Ruw beemdgras & Engels raaigras	7-13	5,1-5,9	1,50-3,35	22-32	156-536	45-421	228-389	25-64				
RG Fioringras	7-15	4,7-5,5	0,87-1,57	14-25	80-564	26-96	24-384	19-50	7,2-26	18-419	40-211	2-6
Duin-Buntgras associatie	0-0	4,1-4,4	0,06-0,12						0,34-0,89	18-81		10-39
A. Schapegras & Tijm	3-8	4,1-4,6		7-13					3,4-6,9		65-169	
A. Schapegras & Tijm, sA Zinkviooltje	9-17			20-35	183-304	39-89	381-924	14-28				
Duin-Struisgras associatie	2-4	5,1-5,7	0,19-0,43	4-5					3,8-7,8		37-114	
RG Gew. struisgras & Gew. biggenkruid	5-7	4-4,8	0,69-1,50	4-11	43-118	10-31	28-97	4-10	3,1-8,4	9-79	73-190	1-3
Kalkgrasland	8-11	7,4-7,6	0,33-0,43	9-11	130-393	1331-3711	118-244	25-46	23-37	30-94	11-109	1-3
Blauwgrasland	16-52	4,2-5,2	0,19-0,56	2-7	68-220	22-77	25-131	3-9	11-21	3-11	40-148	0-1
A. Veldrus & Gevlekte orchis	9-33	4,6-6,1	0,36-0,93	6-10	52-261	25-77	56-180	4-11	7,5-13		15-261	1-41
Glanshaver-associatie	6-11	6,8-7,6	0,50-1,01	14-19	205-394	101-498	149-325	21-37	14-22	43-527	21-65	2-6
Kamgrasweide	6-18	4,7-6	0,49-1,10	16-23	264-808	68-126	239-403	22-52	15-34	17-100	22-72	1-3
RG Gestreepte witbol & Engels raaigras	6-15	4,5-5,2	1,22-2,56	15-25	81-387	27-78	31-322	4-21	5,4-8,5	56-158	68-288	1-6
Rg Gestreepte witbol & Koekoeksbloem	7-16	4,5-5	0,65-1,76	13-23	81-177	22-57	29-336	5-19	6,4-14	6-87	129-339	2-7
A. Liggend walstro & Schapengras	5-11	3,6-4	0,41-0,83	3-5	58-143	4-11	23-70	3-7	6,4-2,6	4-65	11-190	1-2
A. Klokjesgentiaan & Borstelgras	5-22	3,7-4,3	0,25-0,47	2-5	51-118	5-15	14-59	3-10	1,2-6,8	3-42	5-103	0-2

BOSSEN & ZOMEN	OS (%)	pH-z	Olsen-P (mm/l)	P-t (mm/l)	Al-t (mm/l)	Ca-t (mm/l)	Fe-t (mm/l)	K-t (mm/l)	Ca-z (mm/l)	NO <sub>3</sub> -z (µm/l)	NH <sub>4</sub> -z (µm/l)	P-z (µm/l)
Verbond van Look-zonder-look	8 - 11	5,2 - 7,2	0,99 - 1,74	21 - 29	155 - 567	111 - 453	178 - 435	6-57	21 - 29	146 - 636	35 - 137	2 - 10
A. Grauwe wilg	14 - 43	3,9 - 5,1							7,0 - 15	5 - 24	31 - 226	2 - 29
Elzenzegge-elzenbroek	38 - 75	4,1 - 5,7	0,17 - 0,71	4 - 19	9 - 60	29 - 99	36 - 313	1-4	2,9 - 19	2 - 267	88 - 344	1 - 2
Elzenbroek verruigd	8 - 69	3,7 - 5,5	0,55 - 1,33	4 - 16	18 - 151	12 - 60	34 - 179	2-10	5,1 - 17	173 - 425	56 - 183	2 - 8
Berkenbroek	15 - 90	3,3 - 4,1							3,6 - 9,7	2 - 26	72 - 239	2 - 45
Berken-Eikenbos	2 - 11	3,1 - 3,7	0,41 - 0,83	3 - 4	29 - 91	3 - 10	19 - 54	3-6	0,4 - 3,0	4 - 33	55 - 104	2 - 5
Beuken-Zomereikenbos	6 - 13	2,8 - 3,1	0,57 - 0,99	3 - 5	47 - 94	3 - 5	18 - 43	3-7	1,3 - 2,2	115 - 334	86 - 204	6 - 31
Bochtige smele-Beukenbos	5 - 14	3 - 3,5	0,62 - 0,90	5 - 10	60 - 171	3 - 12	49 - 82	4-12	0,9 - 4,6	3 - 12	30 - 127	
Abelen-lepenbos	6 - 8	5 - 7,1	0,79 - 1,34	9 - 13	131 - 249	41 - 195	92 - 157	13-26	11 - 17	236 - 501	96 - 266	8 - 41
Vogelkers-Essenbos	8 - 12	4,1 - 5,5	0,52 - 1,09	6 - 12	99 - 211	21 - 56	95 - 252	5-10	9,9 - 15	128 - 311	81 - 201	1 - 3
Eiken-Haagbeukenbos	11 - 21	3,5 - 5	0,48 - 1,27	5 - 13	117 - 345	17 - 65	75 - 308	6-29	5,1 - 14	87 - 477	92 - 185	1 - 5
Bosaanplant op zandige bouwvoor	4 - 6	3,6 - 4,5	3,71 - 5,96	14 - 19	115 - 186	7 - 24	25 - 44	5-8	2,5 - 7,5	140 - 495	34 - 90	11 - 130

**Tabel 2** Theoretische verfining van de ranges voor blauwgrasland door het onderscheiden van subtypen op verschillende bodems, en van twee degradatiestadia (verzuurd en verzuurd). Dit op basis van 7 tot 15 meetwaarden (onv. = onvoldoende gegevens, < 5 waarnemingen). Weergegeven is de range waarin 50% van de waarnemingen valt (25-75% percentiel). bv = bodemvocht; S = sulfaat, overige afkortingen, zie tabel 1.

**Table 2** Theoretical breakdown of the ranges for the association *Cirsio dissecti-Molinietum*, based on soil properties and two degradation stages. Given is the the range that includes 50% of the data (25-75 percentile), based on a number of observations between 7 and 15. onv. = < 5 observations; bv = soil pore water; S = sulfate; other abbreviations, see table 1.

	OS (%)	Olsen-P (µmol/l)	Fe-t/P-t (mol/mol)	P-t (mmol/l)	Al-t (mmol/l)	Ca-t (mmol/l)	Fe-t/S-t (mol/mol)	pH-z	Ca-z (mmol/l)	P-z (µmol/l)	NO3-z (µmol/l)	HCO3-bv (µmol/l)	S-bv (µmol/l)
<b>Klassiek (zand &amp; leem, 15x)</b>	18-39	160-360	14-25	3,3-8,9	88-221	21-94	4,0-5,6	4,5-5,7	10-24	0,3-1,1	2-195	172-1852	144-1140
<b>Organisch (veen, 9x)</b>	69-92	95-191	7-18	1,1-2,9	6,1-56	32-86	0,7-2,0	4,3-5,5	6,8-21	0,1-1,3	1-3	122-1360	67-238
<b>Ijzerrijke leem (9x)</b>	11-42	510-893	30-50	6,1-9,0	300-643	18-85	9,0-21	4,0-4,6	14-29	0-0,3	3-150	433-875	75-176
<b>Verzuurd (10x)</b>	13-65	215-583	4-29	2,1-6,3	72-177	10-44	1,1-3,0	3,6-4,8	7,1-16	0,1-0,9	2-5	110-440	204-1861
<b>Verruigd (7x)</b>	18-58	Onv.	Onv.	Onv.	Onv.	Onv.	Onv.	4,0-5,5	16-23	2,3-3,4	4-6	Onv.	Onv.

diceerd door een totale verweerbare fosfaatvoorraad (P-t) van 3-9 mmol/l, een plantbeschikbare (Olsen-P) fractie van 160-360 µmol/l en een zout-extraheerbare fractie van < 2 µmol/l. Blauwgraslanden op een veenbodem (OS van 65-95%) wijken hiervan af door een veel lagere verweerbare fosfaatvoorraad (P-t 1-3 mmol/l). Daarentegen bevatten de blauwgraslanden op wat zwaardere (ijzerrijke) leembodems juist meer fosfaat (P-t van 6-9 mmol/l, Olsen-P van 500-900 µmol/l): ijzer bindt fosfaat. Nog ingewikkelder wordt het als ook de verzuurde varianten worden bekeken. Deels zijn dit sterk zandige bodems met weinig Ca-t, deels sterk venige bodems met een verzuurde toplaag en doorgaans een veenmosdek. Verder hebben veel locaties te kampen met een sterke sulfaatverontreiniging in het grondwater en zwavelophoping in de bodem. Dit leidt zowel tot verzuringsgevoeligheid bij droogval als tot verzuuring (interne eutrofiëring). De sulfaatverontreiniging is ook zichtbaar in de hoge sulfaatconcentraties in het bodemvocht van de verzuurde variant (200-1900 µmol/l).

Tabel 2 laat zien dat een zelfde vegetatietype bij verschillende combinaties van bodemcondities kan voorkomen. Voor elke combinatie kunnen vervolgens verfijnde ranges worden opgesteld. Dit lukt nog beter wanneer degradatiestadia apart worden beschouwd. Dergelijke verfiningen zijn ook binnen veel andere associaties mogelijk als er voldoende gegevens zijn.

Bijvoorbeeld: binnen het glanshaverhooiland lijkt er sprake te zijn van lagere nitraatbeschikbaarheden op de kleiige bodems, terwijl op meer zandige en vaak kalkrijkere bodems de nitraatbeschikbaarheid hoger is en plantbeschikbaar fosfaat juist lager. De beschreven ranges zijn onder meer bruikbaar voor het beheren van de betreffende vegetatietypen. Dit lichten we toe met het voorbeeld van het ontwikkelen van blauwgrasland op voormalige landbouwgronden.

### Toepassing bij omvorming landbouwgrond

In het kader van de aanleg van het Natuur Netwerk Nederland (NNN) worden veel landbouwgronden omgevormd naar natuur, maar deze zijn vaak ontwaterd en (zeer) rijk aan fosfaat. Voor herstel van de oorspronkelijk natte natuur zijn onder meer hydrologisch herstel en verschralling nodig. Het meten van de bodemsamenstelling maakt duidelijk welke verschrallingsmaatregelen kansrijk zijn, bijvoorbeeld maaien en afvoeren of het afgraven van de voedselrijke toplaag. Het is belangrijk om daarbij niet alleen op fosfaat te letten, maar bijvoorbeeld ook op de zuurbuftercapaciteit, het gehalte organische stof en de ijzerconcentratie. De GRIP-referentiedatabase kan ingezet worden om de natuurpotenties voor de verschillende bodemlagen te bepalen. De bodemsamenstelling kan op korte afstand sterk verschillen. Het is daarom raadzaam om verspreid over een



gebied, op basis van variatie in hoogteligging, (historische) perceelsgrenzen en bodemtypen, op drie tot vier dieptes (afhankelijk van de bodemopbouw) bodemmonsters te verzamelen. De diepte tot waarop meststoffen zijn uitgespoeld komt namelijk niet altijd overeen met de dikte van de bouwvoor. In graslanden op veen of klei is de bodem ondieper soms al minder rijk aan fosfaat, terwijl op zandgronden sprake kan zijn van fosfaatrijkere bodemlagen onder de bouwvoor als gevolg van uitspoeling of diepere bodembewerking in het verleden.

### Verschrallingsbeheer

Met de kenmerkende range voor plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) voor blauwgrasland, kan op basis van de relatieve fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P/totaal-P) een streefconcentratie worden berekend voor de totale hoeveelheid verweerbaar fosfaat. Hoe meer ijzer, calcium en aluminium (fosforbindende elementen) ten opzichte van totaal-P in de bodem, hoe lager de P-beschikbaarheid voor planten. Hiermee is de vereiste P-afvoer bekend en kan een verschrallingsduur van de toplaag door middel van maaien en afvoeren (gemiddeld 10 kg P/ha/jaar, Sival & Chardon, 2004) of uitmij-

nen (gemiddeld 40 kg P/ha/jaar, Timmermans & Van Eekeren, 2012) worden berekend.

Als voorbeeld nemen we de Krimpenerwaard (bij Gouda), waar voor het Zuid-Hollands Landschap de voedselrijkdom in de toplaag van soortenarme graslanden is gemeten (tabel 3). Mede op basis van de resultaten kunnen vervolgens keuzes worden gemaakt ten aanzien van beheer. Wordt een verschrallings- of omvormingsbeheer voor de ontwikkeling van blauwgrasland ingezet, of is dat niet reëel en zet men in op de ontwikkeling van bijvoorbeeld de voedselrijkere rompgemeenschap van gestreepte witbol en echte koekoeksbloem (*Holcus lanatus-Silene flos-cuculi-Molinietalia*) (tabel 1), of op weidevogelbeheer?

De streefwaarde voor Olsen-P ligt op basis van tabel 2 tussen de ranges voor de variant op veenbodem (95-191 µmol/l) en ijzerrijke bodem (510-893 µmol/l), en wordt hier gekozen als 500 µmol/l. Tabel 3 laat zien dat voor het realiseren van deze streefwaarde (en dus voor de ontwikkeling van blauwgrasland) op locatie V2 ca. 40 jaar maaien en afvoeren nodig is, en op locatie V3 circa 235(!) jaar. Op locatie V1 is de toplaag al voldoende voedselarm; chopperen in combinatie met

**Figuur 1** Uitgangssituatie (links) en verwijdering van de bouwvoor (rechts) in Vlijmens Ven - Honderd Morgen voor de ontwikkeling van natte schraalgraslanden. Foto's: Fons Mandigers

**Figuur 1** Start situation and removal of the nutrient-rich topsoil in Vlijmens Ven - Honderd Morgen in order to stimulate the development of wet, nutrient poor grasslands. Photos: Fons Mandigers.

**Figure 2** Locaties in het Vlijmens Ven - Honderd Morgen na afgraven, die zich ontwikkelen richting blauwgrasland (links) en richting een voedselrijker, kruidrijk grasland (rechts), als gevolg van verschillen in de fosfaatbeschikbaarheid. Foto's: Fons Mandigers en Mark van Mullekom

**Figure 2** Locations in Vlijmens Ven-Honderd Morgen after topsoil removal, where the vegetation tends towards a well-developed *Cirsio dissecti-Molinietum* (left) or a grass & clover dominated vegetation (right), due to differences in phosphate availability. Photo's: Fons Mandigers en Mark van Mullekom

het opbrengen van maaisel van een goed ontwikkeld blauwgrasland kan hier voldoende zijn.

Een vergelijking van de tabellen 1 en 3 laat ook zien dat de huidige graslanden veel te nitraatrijk zijn. Dit is het gevolg van mineralisatie van het veen; de nitraatnalevering stopt waarschijnlijk wanneer de ontwatering ongedaan gemaakt wordt. Voldoende fosfaatvoer is dan wel wenselijk, omdat vernatten makkelijk leidt tot fosfaatmobilisatie en verzuuring (Smolders et al., 2008).

### Afgraven van de voedselrijke top laag

Door metingen op meerdere dieptes uit te voeren wordt duidelijk op welke diepte de landbouwgrond voldoende fosfaatarm is voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde vegetatietypen. Een vergelijking van de gegevens in tabel 1 en 3 laat zien dat na hydrologisch herstel de ijzerrijke bouwvoor van de Hiemberg (Oost-Veluwe bij Eerbeek) zonder afgraven in theorie al geschikt zou zijn voor ontwikkeling van een dotterbloemhooiland, maar niet voor blauwgrasland. In de gebieden Hiemberg en Honderd Morgen & Vlijmens Ven (ten zuidoosten van 's-Hertogenbosch) werd na vooronderzoek (tabel 3) in-

gezet op ontwikkeling van blauwgrasland middels afgraven van de fosfaatrijke top laag van respectievelijk 30 cm (weiland) en 40 cm (maisakker).

In Hiemberg is na afgraven, hydrologisch herstel en aanbrengen van maaisel afkomstig van een blauwgrasland uit de regio, een soortenrijk blauwgrasland tot ontwikkeling gekomen. Uit een door B-WARE uitgevoerde evaluatie in 2014, en uit de PAS-monitoringsmeting in 2019, bleek dat de afgraving inderdaad tot een voldoende lage fosfaatbeschikbaarheid heeft geleid. De bodem is daarnaast goed gebufferd (Ca-t 125-243 mmol/l en Ca-z 33-41 mmol/l). De hoge soortenrijkdom, met tal van bijzondere grondwaterafhankelijke soorten, duidt erop dat de ecologische ontwikkeling van dit gebied voorspoedig verloopt (Bell & Van 't Hullenaar, in prep). In de Honderd Morgen en het Vlijmens Ven was de landbouw bodem dermate fosfaatrijk dat 135 jaar maaien en afvoeren nodig zou zijn om voldoende fosfor uit de bovenste 30 cm te verwijderen (tabel 3). De natuurontwikkeling verloopt zeer positief nadat gemiddeld 40 cm van de maisakkers is afgegraven, hydrologische herstelmaatregelen zijn genomen en maaisel uit natte schraallanden uit de re-



BERKENWOUDE															
Nr	Diepte	Grondsoort	OS	P-O	P-t	Fe-t	Fe/P	Al-t	Ca-t	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	M5
V1	0-20	kleiig veen	66	370	12,1	108	9,0	221	152	38162	4,5	98	6,1	737	0
V2	0-20	kleiig veen	51	719	20,4	167	8,2	496	128	34510	4,7	99	1,7	726	39
V3	0-20	kleiig veen	53	1280	61,5	141	2,3	259	162	32080	5,2	99	18,6	739	234

HIEMBERG															
Nr	Diepte	Grondsoort	OS	P-O	P-t	Fe-t	Fe/P	Al-t	Ca-t	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	M5
H1A	0-20	sterk lemig zand, bv	9	1138	25,4	777	30,6	224	83	19117	5,6	100	1,1	1230	89
H1B	20-30	sterk lemig zand, bv	10	833	32,1	1562	48,6	196	90	22530	6,1	100	0,2	942	40
H1C	30-40	sterk lemig zand	7	145	25,7	2716	105,5	435	113	41928	6,5	100	0,1	177	0
H1D	40-50	sterk lemig zand	1	98	8,3	315	37,9	253	94	30223	6,8	100	0,0	96	0
2014	0-20	sterk lemig zand	8	122	18,2	2761	151,7	408	125	40785	6,5	100	0,1	248	0
2019	0-20	sterk lemig zand	8	209	26,4	3801	143,8	243	243	33211	6,6	100	0,4	39	0

VLIJMENS VEN - HONDERD MORGEN															
Nr	Diepte	Grondsoort	OS	P-O	P-t	Fe-t	Fe/P	Al-t	Ca-t	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	M3
HMA	0-30	zand, bv	5	2190	16,7	105	6,3	172	29	-	-	-	-	-	135
HMB	30-40	zand, verstoord	2	1059	7,8	74	9,4	132	23	-	-	-	-	-	18
HMC	40-50	zand	2	293	2,8	39	13,7	81	17	-	-	-	-	-	0
2017_1	0-15	zand, humeus	4	936	13,2	173	13,1	338	44	12598	4,9	-	0,4	9	42
2017_2	0-15	zand	1	213	1,1	21	18,9	58	18	7093	5,7	-	1,5	19	0

gio werd opgebracht (figuur 2). Op de plekken waar een blauwgrasland tot ontwikkeling is gekomen (2017\_2) is de bodem wel voedselarm (gemiddeld 213  $\mu\text{mol/l}$  Olsen-P), maar slechts matig gebufferd (gemiddeld Ca-t 18 mmol/l en Ca-z 7093  $\mu\text{mol/l}$ ). Aanvoer van bufferstoffen via het grondwater is hier belangrijk om te compenseren voor zuurvorming die het gevolg is van droogval van de bodem in de zomerperiode en van stikstofdepositie (Koks et al., 2022). Op locatie 2017\_1 was de bodem tot op grotere diepte verrijkt met fosfaat en was de fosfaatbeschikbaarheid na afgraven van 40 cm nog in de range van de rompgemeenschap gestreepte witbol en echte koekoeksbloem. Op deze plek ontwikkelde zich dan ook

**Tabel 3** Bodemsamenstelling op enkele locaties in Berkenwoude (Krimpenerwaard), de Hiemberg (Oost-Veluwe) en het Vlijmens Ven-Honderd Morgen (Noord-Brabant). Diepte = monsterdiepte in cm-maaiveld; OS = % organische stof (gloeiverlies); -t = totale concentratie (mmol/l verse bodem); -z = zoutuitwisselbare concentratie ( $\mu\text{mol/l}$  verse bodem); BV = indicatieve basenverzadiging op basis van de zoutextractie; M3 en M5 = aantal jaren maaien en afvoeren tot een Olsen-P concentratie van 300 (M3) en 500 (M5)  $\mu\text{mol/l}$  bodem.

**Table 3** Soil composition of locations in Berkenwoude (Krimpenerwaard), and in seepage areas flanking the rivers IJssel (Hiemberg) and Meuse (Vlijmens Ven-Honderd Morgen). Diepte = sampling depth (cm); OS = organic matter (ignition loss); -t = total content (mmol/liter fresh weight); -z = salt-extractable fraction ( $\mu\text{mol/l}$  fresh weight); BV = estimated base saturation (salt extract); M3 and M5 = number of years of mowing needed to realise Olsen-P concentrations of 300 (M3) and 500 (M5)  $\mu\text{mol/l}$ .

zo'n vegetatietype, met soorten als biezenknoppen, gestreepte witbol en witte klaver (figuur 2).

### Bodemonderzoek & natuurherstel

De samenstelling van de bodem is één van de puzzelstukjes bij het opstellen van een inrichtingsplan en bepaalt mede welke inrichtingsmaatregelen kansrijk zijn. De uiteindelijke keuze van de maatregelen is ook afhankelijk van o.a. de hydrologische condities, de beschikbare middelen en het toekomstig beheer. Een eventuele ontgronding dient te passen in het hydrologische systeem; een maaiveldverlaging leidt tot andere hydrologische condities op de betreffende locaties maar kan ook de hydrologische condities (kwelstromen) in de directe omgeving beïnvloeden. Door deze informatie te combineren, kunnen weloverwogen keuzes worden gemaakt die de kansen op een succesvolle ontwikkeling vergroten (Van Mullekom et al., 2016).

### Naar een beter begrip van de bodem

De huidige GRIP-database maakt het mogelijk om aan de hand van bodemchemische metingen in te schatten welke vegetatieontwikkeling kan worden verwacht. Hiermee vormt het een belangrijk hulpmiddel voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden, maar ook voor het opsporen van problemen in bestaande natuur. De bruikbaarheid kan echter nog sterk toenemen bij een verdere verfijning van de koppeling tussen vegetatie en standplaats. Zoals bijvoorbeeld:

- Meer inzicht in de seizoensdynamiek leidt tot smalere ranges voor bijvoorbeeld nitraat- en fosfaatconcentraties. Met name de zout- en waterextraheerbare fracties van allerlei elementen vertonen een grote seizoensvariatie als gevolg van de redoxtoestand, de hoeveelheid neerslag, bacteriële activiteit, opname door vegetatie en de aanvoer van bijvoorbeeld slib of strooisel.

- Interferenties tussen parameters kunnen beter in kaart worden gebracht. Zo is plantbeschikbaar fosfaat vaak een goede maat voor voedselrijkdom, maar kan een stikstoftekort in een fosfaatrijke bodem ook tot voedselarme condities leiden.
- Verschillende combinaties van beheer en standplaatscondities die tot een zelfde vegetatietype leiden kunnen worden voorzien van eigen ranges.
- Sommige vegetatietypen kennen een sterke verticale gradiënt, bijvoorbeeld pH-gradiënten in veenmosrietlanden, droge duingraslanden en humuslagen in bossen.
- De hydrologie is mede bepalend voor de standplaatscondities en vertoont vaak een aanzienlijke interferentie met de bodem- en watersamenstelling. In de toekomst is integratie met bestaande (en mogelijk nieuwe) hydrologische data gewenst.

We zien GRIP daarom als een 'levende database'; er zullen met enige regelmaat nieuwe, uitgebreidere versies worden gepubliceerd ([www.b-ware.eu/expertise/referentiedatabase-grip](http://www.b-ware.eu/expertise/referentiedatabase-grip)).

Met dit artikel willen we laten zien dat het zinvol toepassen van meetgegevens alleen mogelijk is als er voldoende gegevens beschikbaar zijn, er voldoende rekening wordt gehouden met de context waarin deze worden toegepast, en er bij de gebruikers voldoende inzicht is in de achterliggende biogeochemische processen. We denken dat de nu gepubliceerde gegevens een belangrijk hulpmiddel vormen voor het ingewikkelde natuurbeheer in Nederland, en we werken eraan om de waarde van dit hulpmiddel in de nabije toekomst nog flink te verhogen.

### Summary

#### GRIP: 'living' database links vegetation and soil composition

Emiel Brouwer, Adam Koks, Jelmer van Doorn & Mark van Mullekom

[soil composition](#), [database](#), [site conditions](#), [reference values](#)

In the past 20 years, the Radboud University and B-WARE research centre collected a large amount of data: on 4500 sites soil composition was determined and vegetation relevés were made. Due to methods of soil analysis remaining stable throughout the years, it was possible to assemble a coherent dataset which is called GRIP. Based on these data, 25-75 percentile ranges

for a number of soil parameters in 43 vegetation types are presented. It is also shown that a further subdivision of these vegetation types is often necessary to obtain more narrow ranges. An example of the use of these kind of data in nature restoration is given. In the near future, updates based on additional data will be published, containing information on more vegetation types.

### Literatuur

**Bell, J. S. & Van 't Hullenaar, J.W. (in prep).** *Ecohydrologische systeemanalyse en uitwerking schetsontwerp stroomgebied van de Tondense Beek*. In opdracht van Provincie Gelderland.

**Bloemendaal, F.H.J.L & Roelofs, J.G.M. (1988).** *Waterplanten en waterkwaliteit*. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. ISBN 90-5011-014-2

**Eichhorn, K., Brouwer, E., Dorland E., Ketelaar R. & Van den Broek, T. (2020).** Kruidenrijke natuurgraslanden ontwikkelen op fosfaatrijke grond: wat is er mogelijk? *De Levende Natuur* 121(3), 92-95.

**Hennekens, S.M. & Schaminée, J.H.J. (2001).** Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12, 589-591.

**Koks, A.H.W., Van Mullekom, M., Van Dijk, G., Mandigers, F., Smits, L.J.P.M. & Smolders, F. (2022).** Grootchalige natuurontwikkeling in en rondom het Vlijmens Ven. *Landschap* 39(4), 220-231.

**Sival, F.P. & Chardon, W.J. (2004).** *Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas*. Alterra. Rapport 1090.

**Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Van der Aalst, M., Lamers, L.P.M. & Roelofs, J.G.M. (2008).** Decreasing the abundance of *Juncus effuses* on former agricultural lands with noncalcareous sandy soils: possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology* 16, 240-248.

**Timmermans, B.G.H. & van Eekeren, N. (2012).** Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos en Landschap* 1, 12-15.

**Van Tongeren, O.N., Gremmen, N. & Hennekens, S.M. (2008).** Assignment of relevés to pre-defined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. *Journal of Vegetation Science* 19(4), 525-536.

**Van Mullekom, M., Smolders, F. & Timmermans, B. (2016).** *Van landbouw naar natuur. Een efficiënte en effectieve aanpak*. Brochure van Onderzoekcentrum B-WARE en het Louis Bolk Instituut. Beschikbaar op: [www.b-ware.eu](http://www.b-ware.eu).

## Het echte stikstofprobleem

**Waarom lukt het niet om het stikstofprobleem op te lossen? Veertig jaar lang zijn al vele maatregelen genomen door diverse ministers en nog zitten we in de shit. Van der Ploeg geeft een gedegen en goed leesbare analyse, soms op boze toon, waardoor je begrijpt waarom het stikstofprobleem niet wordt opgelost.**

Centrale factoren in het echte stikstofprobleem zijn het socio-technische regime en de theorie van de optimale landbouw. Het eerste omvat boeren, agribusiness, overheden, kennis, alle regelingen en opvattingen. Dat regime heeft geleid tot modernisering van de landbouw, waarbij boerenlandbouw overging in ondernemerslandbouw die sterk afhankelijk is van externe technologieën, financiering en hulpbronnen, zoals stikstof. En een landbouw die steeds verder afstaat van natuur en samenleving.

Van der Ploeg is zeer negatief over het beleid van het Ministerie van Landbouw, dat 'een landbouwpolitiek gedrocht' heeft gecreëerd, dat boeren hun eigen verantwoordelijkheid ontnam en wel moest leiden tot radicaal verzet. Verzet dat het stikstofprobleem bagatelliseert. In de nadere analyse benadrukt hij juist de invloedrijke rol van agribusiness en banken in dit verzet. De betekenis van de gangbare publieke sympathie voor 'de boer' - die BBB groot heeft gemaakt - komt maar zijdelings aan de orde. Hoe kan die sympathie zo lang overleven, terwijl

het moderne boerenbedrijf er echt anders uitziet? Ook behandelt Van der Ploeg nauwelijks de rol van de EU.

Het regime stuurt de modernisering van de landbouw, volgens de theorie van de optimale landbouw. Een landbouw die steeds meer produceert met relatief steeds minder middelen, maar absoluut wel steeds meer stikstof. Die theorie is aan Wageningen Universiteit ontwikkeld, heeft de status van wet gekregen en is het dominante vertoog in de landbouw. Van der Ploeg bekritiseert deze 'absolutistische' theorie. Zo zijn er behalve de koplopers van de optimale landbouw boeren met andere bedrijfsstijlen, zoals de zuinige boeren, die steeds minder middelen, waaronder stikstof, inzetten. Volgens de theorie van de optimale landbouw is niet de landbouw het probleem, de problemen doen zich voor op de raakvlakken tussen landbouw enerzijds en natuur en samenleving anderzijds en daar moeten oplossingen gezocht worden. Niet de stikstofemissie is in deze visie het probleem, maar de depositie, en dus de kritische depositiewaarde (KDW).

Zoals de zuinige boeren laten zien, kan het anders. Van der Ploeg beschrijft de milieucoöperatie Noardlike Fryske Wâlden, waarin boeren stikstofemissies fors konden beperken door een emissiearme bedrijfsvoering, met behoud van inkomen. Als hun aanpak zou worden gevolgd, zou een groot deel van het stikstofprobleem kunnen worden opgelost. Maar dan



Jan Douwe van der Ploeg (2023). *Gesloten vanwege stikstof*. Noordboek, 184 pagina's, €19,-. ISBN 978 94 6471 1370.

moet het socio-technische systeem wel willen meewerken. Het coalitieakkoord van de komende regering, met een grote rol van de BBB, biedt weinig hoop.

Een oplossing is mogelijk, stelt Van der Ploeg, al zal die niet bevredigend zijn. Hij waarschuwt voor de ontwikkeling van een autoritaire staat die met de agro-industrie het stikstofprobleem (niet) aanpakt. Hij bepleit een democratische staat die het stikstofprobleem (wel) aanpakt door beprijzen, normeren, het bieden van openingen aan boeren, het stellen van een limiet voor de totale stikstofinput, een stikstoffonds en betere kennis.

JOS DEKKER

## Antropoceen

"De natuur heeft de mensen niet nodig, maar wij kunnen niet zonder natuur." Die uitspraak hoor je, in vele varianten, steeds vaker in pleidooien voor natuurbescherming. Opvallend is daarbij dat de rest van het pleidooi haast altijd gaat over hoe urgent en noodzakelijk menselijke maatregelen zijn om achteruitgang van natuur te stoppen. Dat klinkt als een paradox. Hoe kunnen we die duiden?

Als je spreekt over 'de natuur' is het altijd goed om je af te vragen: over welke natuur gaat het? De aarde als planeet? Die kan, mogen we aannemen, wel zonder de mens. En als we de buitenaardse natuur daarbij rekenen - op zich een logische stap - dan is de hele mensheid een druppel in de oceaan. Maar als natuurbeschermers het hebben over natuur, bedoelen ze meestal de levende natuur, zoals wij die op aarde kennen, en de landschappen die daarmee verbonden zijn. Het is de vraag of die natuur zonder mensen kan.

Hoe veilig was het leven op aarde vóór mensen ten tonele kwamen? Voorzover we nu weten, heeft de aarde al vijf periodes van massale ecologische rampspoed gekend, waarin tel-

kens een groot deel van de biodiversiteit werd uitgewist. De serie *Life on Our Planet* brengt deze *mass extinctions* op dramatische wijze in beeld. Zeker, iedere keer herstelde het leven op aarde zich, maar de omvang van de ecologische verwoesting in elk van die periodes overtreft de ergste doemscenario's van natuurbeschermers nu.

De laatste en meest bekende massa-uitsterving was die van 65 miljoen jaar geleden. Deze betekende het doodvonnis voor de dinosauriërs en waarschijnlijk was buitenaardse natuur, namelijk de inslag van een enorme meteoriet, een belangrijke factor. Het bijzondere van de periode daarna waren de gunstige, relatief stabiele condities voor leven op aarde. Die leidden tot een ongekeerde variatie van soorten en gemeenschappen en op het laatste niptje - geologisch gesproken - tot de komst van de mens. In rap tempo is die soort zo succesvol geworden dat zij een bedreiging gaat vormen voor de biologische rijkdom waarin ze is opgebloeid. Mogelijk leidt dat tot een zesde massa-uitsterving, maar dat is, voor het eerst in de evolutie, iets waarin bewuste keuzes mogelijk zijn.

Zo geïnterpreteerd heeft de natuur de mens dus wel degelijk hard nodig. Rachel Carson zei daarover in een interview: "De houding van de mens ten opzichte van natuur is tegenwoordig van kritisch belang, omdat we een fatale macht hebben verworven die natuur kan veranderen en vernietigen." Wij mensen kunnen, als enige soort, zorgen dat die macht ten goede gekeerd wordt. Op korte termijn, door een eind te maken aan de vernietiging van ecologische rijkdom. En misschien ooit, in de geologische toekomst, door het leven op aarde te beschermen tegen de grillige natuurkrachten van de kosmos. Misschien is dat wel de ultieme betekenis van 'Antropoceen'.

KRIS VAN KOPPEN

## IN HET VELD

## Citizen science in Kyabobo

Puffend klimmen we, bij 28 graden, omhoog naar 'Breast mountains'. Twee kenmerkende heuvels die je al op kilometers afstand van Kyabobo ziet liggen.



Kyabobo (spreek uit: Tjabobo) ligt in Ghana, een Nationaal Park op de grens met Togo. Tropisch bos op steile bergruggen. Bovenop Breast Mountains hebben we een prachtig uitzicht op de bergruggen van het park, en verderop de savanne. Kyabobo is een van de parken die ik ondersteun als adviseur vanuit ontwikkelingsorganisatie SNV. Euitenlandse Zaken ondersteunt de natuurbescherming met geld voor parkinfrastructuur, -beheer en toerismeontwikkeling. Voorwaarde is dat ik als adviseur de voortgang bewaak. Het is snel duidelijk dat ze van toerisme weinig kaas hebben gegeten. Daar zal ik een plan voor ontwikkelen.

Er is geen goede kaart van het park. Zelfs hoofdattracties als watervallen staan niet op de kaart. Er zijn wat GPS-tracks van de anti-stroperijpatrouilles, maar door de steile hellingen en het dichte tropische bos zijn de GPS-routes in grote delen van het park niet betrouwbaar. Hoe kun je een toerismeplan ontwikkelen zonder kaarten?

Na wat piekeren over het probleem dient zich een oplossing zich aan. Ik laat het park een kampeerplaats met sanitaire faciliteiten

aanleggen. Daarna organiseer ik een 'toerisme-week' voor enthousiaste buitensporters. Met circa 15 vrijwilligers gaan we de paden verkennen en beoordelen voor toeristische activiteiten: 'citizen science'! Deelnemers zijn van verschillende nationaliteiten: Ghanezen, Nederlanders, Zwitsers, Fransen, Nepali en Duitsers. Waaronder collega's van de ambassade en SNV. Ook nog een aantal Amerikaanse Peace Corps vrijwilligers (jongeren die een jaar sociaal werk doen).

Elke dag onderneemt men in groepjes een activiteit: wandelen naar een waterval, naar Breast Mountains of langs de grensrivier. Meerdere deelnemers hebben hun eigen mountainbike meegebracht en fietsen routes. De Amerikanen doen aan 'tubing', op een band de rivier afzakken. Ieder groepje krijgt een GPS mee om de route vast te leggen, net als een formulier waarop ze beoordelen hoe mooi het is, hoe zwaar, hoe lang, de hoogtoppen. Zo vullen we geleidelijk voor het hele park de kaart in. Op de laatste avond is er als beloning een barbecue, samen met de nationale parkstaf. Het is zo succesvol (en er zijn zoveel paden) dat we dit het jaar daarop nog eens herhalen.

Het levert een mooie kaart op, met lichtere en zwaardere wandelingen en een paar fietsroutes. Ook zijn er spirituele plaatsen om te bezoeken, zoals een grot van de voorvaderen, met bovenop de bergrug een kampeerplek op een platform. En er is een dam met vogelkijkhut. Het jaar daarop kan het toerismeplan met het geld van de ambassade uitgevoerd worden.

(Over tubing: trap er niet in als het aangeboden wordt, er is te weinig stroming en de Amerikanen werden aangevallen door 'army ants' die in het riet zaten. Die beesten kunnen venijnig bijten.)

THEO VAN DER SLUIS



De kaart is te downloaden via de qr-code of op [landschap.nl](http://landschap.nl) (bij jaargang 41)



*Aan de Linge bij Arnhem-Zuid werd zeven jaar geleden het maaiveld verlaagd en onder water gezet. Rietmoeras met piekberging moest het worden. Wapperend lint behoedde rietscheuten voor ganzenvraat. Voorjaar 2024 schuilt de roerdomp in overjarig riet en heerst de bruine kiekendief over het 'Waterrijk'. Wilgenopslag wacht de klepel.*

*Johan Meeus*

- 55 **Redactioneel**  
**Toegepast onderzoek**  
Wim de Haas
- 57 **Essay**  
**Meten is weten. Twintig jaar B-WARE**  
Piet-Jan Westendorp & José van Diggelen
- 65 **Onderzoek**  
**Zwavelland. Sulfaat als obstakel voor het bereiken van de KRW-doelen**  
Fons Smolders, Yvon Verstijnen, José van Diggelen, Moni Poelen, Esther Lucassen & Gijs van Dijk
- 73 **Onderzoek**  
**Emissie van broeikasgassen uit veenbodems en watersystemen. Onderliggende processen en kansen voor mitigatie**  
Gijs van Dijk, Sarah Faye Harpenslager, Christian Fritz, Sarian Kosten & Fons Smolders
- 80 **In gesprek**  
**“We moeten een keer die natuurdoelen aanpassen”**  
Emiel Brouwer en Hilde Tomassen over B-WARE
- 87 **Onderzoek**  
**Vijf decennia te veel stikstof: de effecten op heide en bos**  
Maaïke Weijters & Roland Bobbink
- 97 **Onderzoek**  
**GRIP: ‘levende’ database koppelt vegetatie en bodemsamenstelling**  
Emiel Brouwer, Adam Koks, Jelmer van Doorn & Mark van Mullekom
- 108 **Boek**  
**Het echte stikstofprobleem**  
Jos Dekker
- 109 **Forum**  
**Antropoceen**  
Kris van Koppen
- 110 **In het veld**  
**Citizen science in Kyabobo**  
Theo van der Sluis
- 111 **Beeld**  
Johan Meeus

# Landschap

[www.landschap.nl](http://www.landschap.nl)