



3

Landschap

2021

JAARGANG 38

Tijdschrift voor landschapsonderzoek

Themanummer beekdalvenen

LANDSCHAP, tijdschrift voor landschapsonderzoek, biedt een platform voor wetenschappelijke publicaties over het landschap in brede zin: ecologisch, beleidsmatig, sociologisch, ontwerpgericht, enzovoort. LANDSCHAP is een uitgave van de Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), 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 of kunnen worden opgevraagd bij de redactie.

Meer informatie over de WLO en het bestuur is te vinden op: www.landschap.nl/vereniging

Redactie

Drs. G. De Blust	Dr. Ir. C.S.A. van Koppen
Dr. J.N.M. Dekker (hoofdredacteur)	Ir. K.F. Kuijper (eindredacteur)
Dr. J.R. Delsman	Dr. Ir. J.H.A. Meeus
Dr. J.M.H. van Diggelen	Dr. Ir. D.T. van der Molen
Dr. Ir. W. de Haas	Dr. T. van der Sluis
Dr. R.H.G. Jongman	Dr. M.P. van Veen

E-mail redactie

hoofdredacteur@landschap.nl

f.kuijper@delynx.nl

Administratie

Anna Nauta

Eelko Postma

WLO-secretariaat, Weg der Verenigde Naties 1, 3527 KT Utrecht,

tel. 030 4100 510

e-mail: wlo@knag.nl

website: www.landschap.nl

IBAN: NL73 INGB 0003 9194 46 (t.n.v. WLO te Utrecht).

Lidmaatschap WLO en abonnement 2021

- WLO-lidmaatschap (incl. LANDSCHAP): € 65,-
- WLO-lidmaatschap voor studenten (incl. LANDSCHAP): € 40,-
- Instituutsabonnement LANDSCHAP: € 125,-

Betaling uitsluitend met toegezonden factuur.

Het lidmaatschap/abonnement loopt per kalenderjaar; opzeggingen voor 2022 dienen vóór 1 december 2021 binnen te zijn.

Advertenties Tarieven en inlichtingen via de redactie.

Basis layout Klaas de Vries, Grafisch ontwerper bNO, Groningen

Opmaak GAW ontwerp + communicatie en Uitgeverij Blauwdruk, Wageningen (Harry Harsema)

Foto omslag Mark van Veen. Kaftserie beken in een veranderend landschap.

Druk Modern, Bennekom

ISSN 01696300

© 2021 Geheel of gedeeltelijk overnemen van artikelen – met bronvermelding – is alleen toegestaan na toestemming van de redactie.



Beekdalvenen, te herstellen ecosystemen bij uitstek

Redactioneel

Eén van mijn eerste taken bij Staatsbosbeheer in Noord-Brabant was het schrijven van een pleidooi voor de Raad van State voor het intact laten van de samenvloeiing van Keersop en Dommel, in plaats van deze te reguleren ten behoeve van de landbouw. Het was 1976 en we verloren. De tijd was er niet rijp voor. Later in datzelfde jaar, tijdens de eerste echt droge zomer, stroomde het water van de ene regenbui die in Noord-Brabant viel direct naar de Maas. Er was geen stuw, geen meander en geen beekmoeras om het water af te remmen.

Beken zijn per definitie het laagste deel van landschap. Het zijn complexe ecosystemen. Tot vrij ver in de vorige eeuw traden beken regelmatig buiten hun oevers, maar in de ruilverkavelingen werden ze gereguleerd en genormaliseerd. Bovengenoemde periode, eind jaren '70, luidde wel het einde in van een lange ontwikkeling waarin beeksystemen actief werden omgevormd tot 'afvoergoten'. Veel later werd ook begonnen met beekherstel. Nu worden meanders opnieuw aangelegd, beken mogen plaatselijk weer overstromen en moerassen, beekdalgraslanden en beekbegeleidende bossen worden hersteld. Op een aantal plaatsen wordt de intensieve landbouw uit het inzijsgebied geweerd. Daar gaat het weer de goede kant op.

Het was niet zo moeilijk om deze complex systemen te versimpelen tot afvoerkanalen, maar het vergt kennis, tijd en inspanning om beeksystemen in de oude toestand terug te brengen. Er is geen voorbeeld en geen standaardoplossing. Inmiddels is veel kennis opgebouwd, maar het blijft een proces van experimenteren wat wel en wat niet werkt. Het moeilijkst is het om opnieuw beekdalvenen te laten ontstaan, zoals die er nog zijn in het oosten van Europa. Het gaat hier namelijk om processen op zeer lange termijn, die ondersteund moeten worden door beleid en beheer. En beleid, maar ook beheer, kent meestal een kortere tijdsspanne.

Dit nummer van LANDSCHAP presenteert de stand van zaken rond beekdalherstel in Nederland en België en de huidige kennis van processen in beeksystemen. Wat is de weg terug naar een compleet beekstelsel, inclusief beekdalvenen? Er liggen veel vragen. De antwoorden beginnen veelal met het terugdringen van vermesting, de mogelijkheid van herstel van kwel, het vasthouden van water door de vegetatie en de gevolgen daarvan.

Dit themanummer is gefinancierd door het OBN-kennisnetwerk Beek en Bron. De auteurs laten zien welke kennis over beekdalvenen de afgelopen jaren onder de vlag van dit netwerk is opgebouwd. De themaredactie bestaat uit Rudy van Diggelen, Philippine Vergeer, Ralf Verdonschot (OBN), Geert de Blust, José van Diggelen en Rob Jongman (redactie LANDSCHAP).

Ten slotte een redactiewijziging. Rob Jongman trekt zich terug uit de redactie van LANDSCHAP. We verwelkomen Wim de Haas als nieuw redactielid.

ROB JONGMAN, REDACTIE LANDSCHAP

Cover **Mark van Veen**.
Beekdal in een onveranderd
landschap. Het Drentse
Aa-gebied met hier het
Oudemolensche Diep ademt
de sfeer van lang geleden.



Beekdalvenen in het laagland

Van biodiversiteitsparel naar CO₂-fabriek

In Nederland en Vlaanderen zorgen duizenden kilometers aan beken en beekjes voor de natuurlijke afvoer van grond-, regen- en oppervlaktewater. Ze liggen in beekdalen, aaneengeschakelde laagten in het landschap die meestal al bestonden lang voordat de huidige beek werd gevormd. Beekdalen zijn complexe ecohydrologische systemen met een veelheid aan bodemkundige, hydrologische en vegetatiekundige gradiënten. Veel beekdalen zijn dan ook hotspots van biodiversiteit.

Met uitzondering van de in het Holoceen gevormde grote rivier- en zeelandschappen komen beekdalen voor in alle landschapstypen van Nederland en Vlaanderen. Juist door die grote verscheidenheid zien ze er niet overal hetzelfde uit. Variatie in grootte van intrekgebied, reliëf, moedermateriaal en regionaal klimaat leiden tot grote verschillen in waterafvoer, maar ook van parameters zoals stroomsnelheid, chemische samenstelling van het water, erosievermogen en lengteprofiel. In feite is elk beekdal uniek, maar wanneer naar de grote lijn wordt gekeken kunnen twee hoofdtypen worden onderscheiden. Enerzijds zijn dit dalen van het vlakke land, met gering verval en langzaam stromende beken met geringe sedimentatie (in Nederland laaglandbeekdalen genoemd en in Vlaanderen Kempische beekdalen), anderzijds zijn het de dalen in meer geaccidenteerd terrein met sneller stromende beken en meer sedimentatie (respectievelijk heuvellandbeekdalen en alluviale beekdalen genoemd). In Vlaanderen behoort ca. een derde deel van de beekdalen tot het Kempische type en twee derde tot het alluviale type, in Nederland is de overgrote meerderheid van de beekdalen van het laaglandtype en zijn de heuvellandbeekdalen vrijwel beperkt tot Zuid-Limburg. In beide typen beekdalen komt veen voor maar in de alluviale valleien is dit vrijwel altijd later afgedekt met erosiemateriaal vanuit het omringende heuvellandschap, als gevolg van vroegere fases van ontbossing.

De belangrijkste voorkomens van oppervlakkig veen in beekdalen bevinden zich momenteel in de laaglandbeken. In dit themanummer richten we ons op dat laatste type beekdalen.

Hydrologische gradiënten

Vrijwel alle beekdalen worden gekenmerkt door een complexe hydrologie, met op korte afstand soms grote verschillen in waterstand en fluctuaties in zowel waterstand als in de chemische samenstelling van grond- en oppervlaktewater. Dit heeft alles te maken met de oorsprong van het water. Dat kan zijn: recent gevallen regenwater, grondwater dat meer of minder geologische lagen heeft doorstroomd en in beekdalen opkwelt of overstromend oppervlaktewater dat meestal zelf al een mengsel is van andere typen. Regenwater is onder natuurlijke omstandigheden licht zuur en mineralenarm. In de winter is er sprake van een neerslagoverschot en in de zomer van een neerslagtekort. Standplaatsen in het beekdal die alleen door regenwater worden gevoed zijn daarom in de kalkarme beekdalbodems zuur en voedselarm; in de winter nat en in de zomer droger. Geïnfiltreerd regenwater dat al een korte weg door de ondergrond heeft afgelegd ('ondiep grondwater') is over het algemeen minder zuur, omdat tijdens die passage de nodige mineralen zijn opgelost, meestal ijzer- en calciumverbindingen. Zulke ondiepe systemen zijn vaak tamelijk klein. Vaak vallen

beekdalvenen
laaglandvenen
veenvorming
biodiversiteit
herstel

R. (Rudy) van Diggelen
Onderzoeksgroep
Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen,
Universiteitsplein 1C, 2610
Wilrijk (België),
ruurd.vandiggelen@
uantwerpen.be

P. (Piet) De Becker
Instituut voor Natuur- en
Bosonderzoek, Afdeling
Milieu en Klimaat

**C.J.S. (Camiel)
Aggenbach**
KWR Water Research
Institute

Foto **Mark van Veen**.
De Reest, één van de wei-
nige beken met veel beek-
venen langs de loop.

ze droog tijdens het zomerseizoen, waardoor ook hier de waterstandsfluctuaties nog aanzienlijk kunnen zijn. Voor grondwater uit grotere, diepe systemen geldt dit in veel mindere mate; de grootte van het systeem zorgt daar voor een sterkere buffering tegen seizoensfluctuaties. Water uit diepere systemen is vaak rijker aan opgeloste mineralen, maar dit hangt sterk af van de doorstroomde geologische lagen. Zowel de stand als ook de samenstelling van oppervlaktewater kan sterk fluctueren, afhankelijk van het neerslagoverschot, maar in tegenstelling tot de andere watertypen die van nature voedselarm zijn, is oppervlaktewater ook in natuurlijke omstandigheden meestal voedselrijker doordat hier nutriënten accumuleren en slib wordt getransporteerd

Veeenvorming

Na het einde van de laatste ijstijd, nu ruim 10.000 jaar geleden, steeg de zeespiegel met ruim twintig meter (Van de Plassche, 1982). De beekdalen werden zeer nat, met waterstanden die constant tot op maaiveld lagen. Daardoor werd het bodemmilieu sterk anaeroob, stagneerde de afbraak van organisch materiaal en stapelden resten van afgestorven planten zich in steeds dikkeren lagen op: veen. Met name in sterk kwelgevoede delen bleef de waterstand uitermate stabiel en daar trad dan ook de sterkste veenvorming op. Duizenden jaren met stabiele grondwaterstanden hebben geleid tot het ontstaan van veenpakketten van meerdere meters dik. Ook veenvorming zelf droeg bij aan vernatting van het landschap door opvulling van de dalen en belemmering van de waterafvoer. Vooral in de bovenlopen en delen van de middenloop was lang niet altijd sprake van een duidelijke beek, vaak was daar sprake van diffuse afvoersystemen, de zogenaamde 'moerasbeken' (Walter & Merritts, 2008). In Nederland en Vlaanderen zijn sterk veenvormende systemen grotendeels verdwenen (Declerck et al.,

2016), door langdurige ontwatering maar ook door vroegere afgravingen. De omvang van wat nu als veen op de bodemkaart staat is daarmee slechts een fractie van de historische situatie.

Ecologische gradiënten

In niet of weinig gedraineerde veenlagen blijven plantenresten dermate goed behouden dat we ook nu nog een reconstructie kunnen maken van de vegetatiezonatie die in dergelijke venen bestond en die tegenwoordig nog op kleinere schaal in ongedraineerde venen bestaat (Wołejko et al., 2019). Anders dan vaak wordt gedacht zijn zulke venen grotendeels boomloos. Bomen - en dan met name elzen - komen slechts aan de rand van de venen voor waar de waterstanden nog enigszins fluctueren en er nog enige aanvoer van nutriënten vanuit de rand plaatsvindt. De vegetatie in meer centraal gelegen delen bestaat grotendeels uit zeer ijle kleine zeggenvegetaties met daaronder een vlakdekkende begroeiing van bladmossen. Wanneer de grondwatertoevoer klein is, of de veenlaag zo dik dat opkwellend grondwater niet meer aan de oppervlakte kan komen, stagneert hier regenwater en ontstaan hoogveenkerntjes waar de vegetatie gedomineerd wordt door aan zure omstandigheden aangepaste veenmossen, met andere eigenschappen en milieueisen dan de bladmossen in de omringende kleine zeggenvegetaties. Dichter naar de beek wordt de vegetatie in toenemende mate gedomineerd door meer productieve grote zeggen- en rietvegetaties die profiteren van de hogere voedselrijkdom en aangepast zijn aan de grotere waterstandsschommelingen die gepaard gaan met overstromingen. Door deze grote verscheidenheid aan gradiënten zijn beekdalvenen ook op kleine oppervlaktes bijzonder soortenrijk.

Achteruitgang

Naast natuurlijke factoren hebben ook mensen grote invloed gehad op de ontwikkeling van beekdalvenen. Dat begon in de bronstijd met ontbossing van de hogere gronden en nam verder toe in de Romeinse tijd en vroege Middeleeuwen. Op landschapsschaal leidde dit ertoe dat de verdamping van regenwater afnam en dit water ook minder in het landschap werd vastgehouden, maar ook dat de infiltratie naar het grondwater kon toenemen. Dat heeft ongetwijfeld voor wateroverlast in natte perioden gezorgd, maar vermoedelijk ook de veengroei in laaglandbeekdalen versterkt. Later in de Middeleeuwen was opnieuw sprake van een sterke toename van de ontbossing (Deforce, 2017) maar daarnaast werd toen voor het eerst ingegrepen in de beeklopen zelf. Boven- en middenlopen zonder duidelijke waterloop werden massaal doorgraven. Meandering nam in veel midden- en benedenlopen toe, enerzijds door toegenomen erosie als gevolg van een verhoogde piekafvoer, anderzijds werden meanders ge- en verlegd om bevloeiing en depositie van vruchtbaar beekslib te stimuleren. Vanaf de Middeleeuwen stopte de veengroei grotendeels. Veel venen werden ontwaterd om hooilanden te creëren en deels afgegraven voor brandstof en soms om ijzer te winnen. De beïnvloeding nam steeds verder toe, vooral in de tweede helft van de twintigste eeuw. Ruilverkavelingen ten behoeve van de landbouw leidden tot diepe ontwatering, zowel in de beekdalen als ook in grote delen van de infiltratiegebieden. Om water in neerslagrijke periodes zo snel mogelijk te kunnen afvoeren werden beken rechtgetrokken en verdiept; om watertekorten in droge periodes weer aan te vullen werden stuwen gebouwd en werd oppervlaktewater tot in de verste uithoeken getransporteerd. Door klimaatverandering krijgen beekdalen meer last van weersextremen. De snelle toename van bevolking en industrie in de negentiende en twin-



Foto **Camiel Aggenbach**. Drentsche Aa-gebied: vernat, niet gemaaid beekdal met zeggenvegetatie.

tigste eeuw leidde bovendien tot een sterke watervervuiling, die in de afgelopen vier decennia langzamerhand weer afnam door de bouw van zuiveringsinstallaties. Intensivering van de landbouw, met overbemesting en pesticidengebruik, heeft gezorgd voor hoge nutriënten- en pesticidenconcentraties in de beken zelf en voor grootschalige belasting van grondwatersystemen met nitraat en sulfaat. Dit leidt weer tot sterk negatieve ontwikkelingen in de chemische conditie en vegetatie in kwelzones (Aggenbach *et al.*, 2020).

Foto Camiel Aggenbach.
Zwarte Beek, België.



Herstelopgaves

De sterke biodiversiteitsafname heeft geleid tot een brede erkenning van het belang van bescherming en herstel van beekdalen. In eerste instantie was dit vooral gericht op bescherming van de laatste restjes nog bestaande beekdalnatuur op niet-intensief ontwaterde gronden, recentelijk wordt ook geprobeerd veenvorming weer op gang te brengen. Een belangrijke motivatie hierbij is de realisatie dat beekdalen - naast een belangrijke rol als 'biodiversiteitshotspot' - essentiële ecosysteemdiensten leveren. Diensten op het vlak van de hydrologie en de koolstofkringloop, zoals het tijdelijk bergen van afvoerpieken om de kans op overstromingen te verkleinen of het weer op gang brengen van veengroei om CO₂ vast te leggen. Terwijl ontwaterde beekdalvenen jaarlijks 30-50 kg CO₂ per ha uitstoten door afbraak van de opge-

stapelde organische stof (Tanneberger et al., 2020), zorgt herstel van veenvorming juist voor het vasthouden van CO₂. Naast een opgave vanuit biodiversiteitsdoelstellingen is herstel van beekdalvenen daarom ook essentieel in water- en klimaatbeleid. Vernatting is echter niet eenvoudig in het hedendaagse sterk verdroogde landschap en stopt ook niet aan de rand van het beekdal. Ook in infiltratiegebieden moeten maatregelen worden genomen om de grondwateraanvoer te vergroten in plaats van regenwater zo snel mogelijk af te voeren. Bovendien moet dat infiltratiewater schoon zijn, om ongewenste processen in de kwelgebieden te voorkomen (Aggenbach et al., 2020). Al met al liggen er dan ook grote opgaven om land- en ruimtegebruiksfuncties zo te optimaliseren dat beekdalen hun natuurlijke rol als water- en klimaatbuffer kunnen terugkrijgen.

Door hun aard zijn beekdalen een plek in het landschap waar van alles samenkomt: fysische fenomenen zoals waterstromen en stoffluxen, biologische elementen als fauna en vegetatie en temporele processen zoals natuurlijke dan wel menselijk gestuurde veranderingen. Daaruit resulteert een veelheid aan ecosystemendiensten

en liggen grote en complexe uitdagingen in beheer en herstel van beekdalen te wachten.

Summary

Brook valleys in the lowlands - from biodiversity hotspot to CO₂ factory

Rudy van Diggelen, Piet De Becker & Camiel Aggenbach
brook valley bogs, lowland peatlands, bog development, biodiversity recovery

Brook valleys are wet parts of the landscape where water is transported and partial decomposition of plant remnants has led to the formation of peat. Their complex geology resulted in steep hydrological and hydrochemical gradients and associated high biodiversity.

From the Middle Ages onwards human influence has gradually levelled these gradients out and stopped peat growth. Since the mid-20th century, deep drainage has caused a strong decomposition of the peat, associated with a large loss in biodiversity and huge emissions of greenhouse gasses. The protection and restoration of valley mires and the associated ecosystem services is urgently needed, not only from a biodiversity point of view, but also from water and climate objectives.

Literatuur

Aggenbach, C.J.S., J.J. Nijp, P. Huyghe & R. van Diggelen, 2020. Invloed van met nutriënten verrijkt grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-242-BE.

Decler, K., J. Wouters, S. Jacobs *et al.*, 2016. Mapping wetland loss and restoration potential in Flanders (Belgium): an ecosystem service perspective. *Ecology and Society* 21(4): 46.

Deforce, K., 2017. Wood use in a growing medieval city. The over-exploitation of woody resources in Ghent (Belgium) between the 10th and 12th century AD. *Quaternary International* 458: 123-133.

Plassche, O. van de, 1982. Sea-level change and water-level movements in the Netherlands during the Holocene. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 36-1: 1-93.

Tanneberger, F., L. Appulo, S. Ewert *et al.*, 2020. The power of nature-based solutions: how peatlands can help us to achieve key EU sustainability objectives. *Advanced Sustainable Systems* 5. doi: 10.1002/advsu.202000146

Walter, R.C. & D.J. Merritts, 2008. Natural streams and the legacy of water-powered mills. *Science* 319: 299-304.

Wołejko L., P. Pawlaczyk & R. Stańko R. (eds), 2019. Alkaline fens in Poland - diversity, resources, conservation. Świebodzin. Naturalists' Club.



Kansen voor de ongewervelden van beekdalen bij integraal beekherstel

Habitattypen die in beekdalen voorkomen op het grensvlak van water en land, zoals kleine zeggenmoerassen en elzenbroekbossen, herbergen onder ongestoorde omstandigheden een grote diversiteit aan ongewervelden. Vaak stellen deze karakteristieke semi-terrestrische soorten bijzondere eisen aan hun leefgebied. Dit artikel gaat in op deze randvoorwaarden, plaatst deze in het perspectief van de huidige beheerpraktijk en geeft aanbevelingen om het beheer voor deze ongewervelden te optimaliseren.

In de Nederlandse beekdalen op de hogere zandgronden waren in het verleden, onder invloed van toestromend grondwater, op grote schaal veenvormende systemen aanwezig, zoals doorstroommoerassen met kleine zeggenvegetaties en broekbossen (Van Diggelen & Verdonschot, dit nummer; figuur 1). Door geleidelijke overgangen van deze systemen naar regenwater- en oppervlaktewatergevoede situaties, waren op relatief korte afstand van elkaar allerlei gradiënten van diverse milieuomstandigheden aanwezig. De beken hadden over het algemeen een moeraskarakter en werden geflankeerd door overstromingsvlaktes met bijvoorbeeld grote zeggenvegetaties. Verstoringen, zoals overstromingen, het omvallen van bomen en activiteit van bevers, maakten de structurele complexiteit van het systeem nog groter. Door deze habitatheterogeniteit en -complexiteit op een relatief kleine oppervlakte hebben beekdalen in potentie een hoge biodiversiteit (Naiman & Decamps, 1997; Ramey & Richardson, 2017). In dit systeem nemen ongewervelden een belangrijke positie in, met name veel soorten die aangepast zijn aan het leven op de overgang tussen water en land: de zogenaamde semi-terrestrische fauna.

In de vorige eeuw zijn beekdalsystemen omgevormd naar gebieden met intensieve landbouw en doorsneden met een netwerk aan watergangen en andere drainage-middelen ten behoeve van de ontwatering. De oorspronkelijke doorstroommoerassen zijn vergraven tot gekanaliseerde watergangen met een overgedimensioneerd en genormaliseerd profiel, die het beekdal dreineerden en

verdroogden. Deze watergangen hebben amper interactie met de aanliggende gronden in het beekdal en zijn, vaak met stuw en intensief beheer van de watervegetatie, ingericht om water zo efficiënt mogelijk af- of aan te voeren ten behoeve van agrarische activiteiten. Op de meeste plekken is, door de combinatie van een steil talud en een veranderde hydrologie, geen sprake meer van een geleidelijke overgang van water naar land. In combinatie met een hoge belasting met stoffen vanuit de aanliggende gronden heeft dit geleid tot een groot verlies aan biodiversiteit (Verdonschot *et al.*, 2017).

De meerwaarde van integraal beekherstel

Naast het nemen van maatregelen in de beek zelf zoals het inbrengen van dood hout, en herinrichting zoals het herprofilen van de loop, zetten waterbeheerders en terreinbeherende organisaties steeds vaker in op beekdalbreed herstel. Hierbij spelen de watergerelateerde klimaatopgaven een rol: één van de doelen is het klimaatbestendig inrichten van beekdalen zodat deze meer water vasthouden en dit vertraagd afvoeren (Verdonschot, 2009). Daarnaast is er binnen de Kaderrichtlijn Water meer aandacht gekomen voor doorstroommoerassen en moerasbeken (Van der Molen *et al.*, 2018). Bij beekdalbreed herstel worden niet alleen maatregelen in de beek zelf uitgevoerd, maar wordt het beekdal nadrukkelijk betrokken (Verdonschot *et al.*, 2017). Er wordt integraal naar het beekstelsel gekeken, waarbij de focus ligt op maatregelen om het beekdal te vernatten, zoals het dempen van sloten met een

hersteleecologie
biodiversiteit
macrofauna
beekdallandschap

R.C.M. (Ralf)

Verdonschot

Wageningen Environmental
Research, Postbus 47,
6700 AA Wageningen,
ralf.verdonschot@wur.nl

P.F.M. (Piet)

Verdonschot

Wageningen Environmental
Research & Institute for
Biodiversity and Ecosystem
Dynamics (IBED-FAME),
Universiteit van Amsterdam

Foto **Gertjan van Noord**.
Drentsche Aa.

Figuur 1 Enkele voor semi-terrestrische ongewervelden belangrijke habitattypen in een beekdal: elzenbroekbos (links) en kleine zeggenmoerassen (rechts). Foto's: Ralf Verdonshot (links) / Rudy van Diggelen (rechts).

Figure 1 Examples of important habitat types for semi-terrestrial invertebrates in stream valleys: Alder forest (left) and fen peatland (right).



drainerende werking, het verondiepen van de beek of het stoppen met schoningsbeheer. Ten behoeve van de vegetatieontwikkeling wordt in sommige gevallen ook de voedselrijke toplaag van de bodem verwijderd. Gezien de aard van de maatregelen is de ruimtelijke schaal van deze projecten meestal aanzienlijk. Ook de sterke populatiegroei van de bever draagt bij aan de vernatting van beekdalen (Hommersom, 2010).

Doel van de maatregelen is het in gang zetten van een ontwikkeling in de richting van de systemen die oorspronkelijk op deze plekken aanwezig waren, zoals veenvormende vegetaties. Veel onderzoek is al gedaan naar de chemie, de hydrologie en de vegetatie na herstel.



Figuur 2 De loopkever *Carabus granulatus* komt veel voor in broekbossen en moerassen (foto: Dick Belgers).

Figure 2 The carabid beetle *Carabus granulatus* is common in alder forests and stream valley wetlands.

De vraag is echter hoe de fauna, en in het bijzonder de voor dit milieu typerende semi-terrestrische ongewervelden, reageren op de herstelmaatregelen.

Om beter in beeld te krijgen welke eisen deze groep stelt is de faunacomponent het afgelopen decennium meegenomen in verschillende OBN-onderzoeken naar beekdalsystemen (Aggenbach et al., 2014; Verdonshot et al., 2017; Runhaar et al., 2013; 2019). In kleine zeggenmoerassen in Nederland, België, Duitsland en Polen zijn spinnen, loopkevers (figuur 2), nachtvlinders en kokerjuffers onderzocht. Daarnaast zijn in enkele Nederlandse broekbossen loopkevers en spinnen verzameld. Dit artikel beschrijft wat we uit deze onderzoeken hebben geleerd over de eisen die deze dieren stellen, en hoe die eisen zich verhouden tot de beekdalbrede herstelmaatregelen die op dit moment worden toegepast.

Milieufactoren die sturend zijn voor de samenstelling van de ongewerveldenfauna

De meeste ongewervelden in zowel elzenbroekbossen als kleine zeggenmoerassen zijn niet strikt gebonden aan deze habitattypen. Zo vertonen de spinnen- en loopkeverfauna van kleine zeggenvegetaties, grote zeggenvegetaties, rietlanden en graslanden in overstromingsvlaktes grote overeenkomsten (Aggenbach et al., 2014). Ook de fauna in

Omgevingsfactor	Organismegroep			
	Kokerjuffers (Trichoptera)	Loopkevers (Coleoptera: Carabidae)	Spinnen (Aranea)	Nachtvlinders (Lepidoptera: Heterocera)
Mesoschaal (ca. 1 ha)				
Aandeel korte vegetatie			•	
Aandeel open water		•	•	•
Aandeel bedekking bomen en struiken		•	•	•
Hoogte bomen en struiken	•	•	•	•
Plotschaal (enkele tientallen m²)				
Microtopografie	•		•	•
Mate van inundatie			•	•
Mate van ontwatering		•	•	
Jaren sinds laatste beheer			•	
Biomassa totaal		•	•	
Biomassa strooisel		•	•	•
Biomassa mossen		•	•	•
Biomassa vaatplanten	•		•	•
Lichtdoorlatendheid vegetatie		•	•	•

Tabel 1 Invloed van omgevingsfactoren op de samenstelling van verschillende groepen ongewervelden in kleine zeggenmoerassen in Nederland, België, Duitsland en Polen in de studie van Aggenbach *et al.* (2014). Significante verbanden zijn weergegeven met • op basis van variance partitioning analyses die aangeven hoeveelheid variatie in soortensamenstelling verklaard werd door milieufactoren op verschillende schaalniveaus.

Table 1 Influence of environmental variables on the community composition of invertebrates in fen peatlands in the Netherlands, Belgium, Germany and Poland, based on the study of Aggenbach *et al.* (2014). Significant relationships are indicated with •, summarizing the outcome of variance partitioning analyses which determined the amount of variance in species composition explained by the environmental variables on different spatial scales.

broekbossen overlapt met die van bijvoorbeeld wilgenbossen en grote zeggenmoerassen en zelfs gedeeltelijk met die van dotterbloemhooilanden (Runhaar *et al.*, 2013).

De classificering en begrenzing van deze habitattypen bleek niet volledig passend voor de onderzochte faunagroepen. Soorten die karakteristiek zijn voor goed ontwikkelde bossen en moerassen bleken juist te reageren op de meso- en microstructuren binnen deze habitattypen en niet zozeer op de macroschaal waarop de habitattypen zijn gedefinieerd.

Ongewervelde dieren stellen vaak hoge eisen aan bijvoorbeeld de lucht- en bodemvochtigheid en de structuur van bodem en vegetatie (Turin, 2000). Onderzoek in kleine zeggenmoerassen (Aggenbach *et al.*, 2014; tabel 1) en in

broekbossen (Runhaar *et al.*, 2019) bevestigt het belang van en de samenhang tussen de microtopografie, de natheid van het terrein en de vegetatiestructuur. De aanwezigheid van microreliëf, in kleine zeggenmoerassen in de vorm van bijvoorbeeld mosbulten en polvormende zeggen en in broekbossen in de vorm van stamvoeten van bomen, omgevallen bomen en de kuilen die hierdoor achterblijven, zorgen voor kleinschalige gradiënten in onder andere vochtgehalte en microklimaat (figuur 3). Naast dit microreliëf bleek uit beide studies dat een open begroeiing met een afwisselende structuur een belangrijke vereiste is. In de kleine zeggenmoerassen is dit een vegetatie die bestaat uit soortenrijke begroeiingen van mossen en vaatplanten, met een open structuur waardoor licht tot op

de bodem kan doordringen. In de broekbossen gaat het om een mozaïek van begroeide plekken met vaatplanten of mossen, afgewisseld met kale bodem op drooggevalen plekken die langdurig onder water hebben gestaan. Er is een aanvullende verklaring voor de overlap in soortensamenstelling tussen verschillende habitattypen uit beekdalen. In relatief ongestoorde situaties, zoals op de referentielocaties in Duitsland en Polen, ontbreken de huidige, veelal door beheer ontstane scherpe afbakeningingen tussen habitattypen (bos versus korte vegetatie). Deze beekdalen bevatten veel meer graduele overgangen en interne variatie tussen bos, moerasvegetaties en water, wat meer mogelijkheden biedt voor soorten die verschillende landschapselementen op korte afstand van elkaar nodig hebben om hun levenscyclus te kunnen doorlopen. Uit de onderzoeken bleek ook dat op een groter landschappelijk schaalniveau de samenstelling van de ongewerveldenfauna verklaard kon worden door de aanwezigheid van bomen en struiken in de kleine zeggenmoerassen en door plekken met permanent open water (o.a. beekloopjes, slenken, poelen) in zowel de zeggenmoerassen als de broekbossen.

Deze elementen voegen extra variatie toe aan het landschap, waardoor het habitatmozaïek een nog grotere complexiteit krijgt en een variatie aan milieuomstandig-

heden biedt waarvan ongewervelden kunnen profiteren (Nijssen *et al.*, 2019). Groepen bomen of struiken bieden zowel koele, vochtige schaduwplekken als zonbeschenen randen om op te warmen, of een dikke strooisellaag waarin dieren kunnen overwinteren. Ook kunnen de landschapselementen ieder apart een rol spelen in delen van de levenscyclus van ongewervelden. Zo zijn wateren bijvoorbeeld een plek voor voortplanting of een habitat voor het larvale stadium.

Knelpunten in de huidige (herstelde) situatie

De aanwezigheid van structuurvariatie in zeggenmoerassen en broekbossen leidt tot een grote habitatheterogeniteit, waardoor een relatief groot aantal soorten uit verschillende habitattypen op een relatief klein oppervlak samen kan voorkomen (Runhaar *et al.*, 2013; Aggenbach *et al.*, 2014; Verdonschot *et al.*, 2017). De aanwezigheid van mozaïeken en gradiënten is essentieel voor veel soorten die gedurende hun levenscyclus meerdere habitatelementen nodig hebben. Daarbij moeten deze elementen ook nog eens op een overbrugbare afstand van elkaar liggen. Een ongestoord hydrologisch regime in combinatie met een lage nutriëntenbelasting

Figuur 3 Microtopografie in broekbos (stamvoeten en omgevallen bomen, links) en in kleine zeggenmoerassen (mosbulten, rechts) zorgen voor gradiënten in omstandigheden waarvan ongewervelden profiteren. Foto's: Ralf Verdonschot (links) / Rudy van Diggelen (rechts).

Figure 3 Microtopography resulting from the stem bases and fallen trees in alder forests and moss hummocks in fen peatland creates gradients in environmental conditions shaping invertebrate communities.

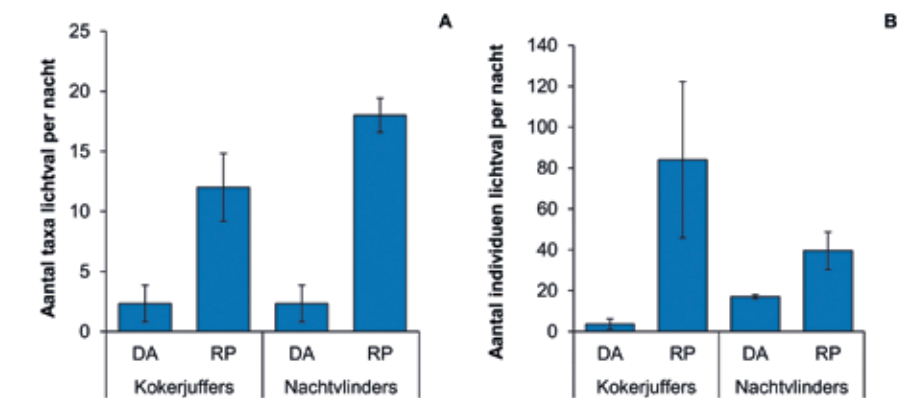


is vereist om de habitatmozaïeken in beekdalsystemen te behouden en daarmee de geschiktheid voor specialistische ongewervelden te waarborgen. Verstoringen in de vorm van toevoer van voedselrijk grond- of oppervlaktewater of een dalende grondwaterstand zorgen al snel voor een te hoge vegetatieproductie en daarmee voor verruiging, waardoor de karakteristieke open mozaïekstructuur verloren gaat. Dit leidt tot verlies van karakteristieke soorten en homogenisering door een toename van soorten met een bredere ecologische amplitude.

Uit onderzoek blijkt dat herstelprojecten in de Nederlandse beekdalen effectief zijn voor een aantal karakteristieke soorten (Verdonschot & Verdonschot, 2020), maar dat deze herstelde beekdalen relatief arm zijn aan soorten en aantallen individuen ten opzichte van weinig gedegradeerde beekdalsystemen in het buitenland (Aggenbach et al., 2014; figuur 4). Dit lijkt vooral samen te hangen met het ontbreken van de kleinschalige variatie die in intacte systemen zo prominent aanwezig is.

Herstelmaatregelen richten zich vaak op een beperkt aantal aspecten. Zo wordt in terreinen waar men streeft naar kleine zeggenmoerassen vaak relatief intensief gemaaid, om het ontstaan van een open soortenrijke vegetatie te bevorderen. Dit maaien gaat echter ten koste van het voor de ongewervelden zo belangrijke microreliëf in het terrein. Ook leidt het maaien tot het verdwijnen van alle opgaande structuur, die bijvoorbeeld van belang is voor het overleven van overwinterende vlinders. Bij een vergelijking tussen niet-gemaaide en gemaaide kleine zeggenmoerassen bleek in de niet-gemaaide delen het aandeel van als rups of pop overwinterende nachtvlindersoorten circa een kwart hoger te liggen dan in de gemaaide delen (Aggenbach et al., 2014).

Bij herstel van broekbossen wordt vaak vernatting toegepast, waarbij het hele bos langdurig of zelfs permanent onder water komt te staan. Hiervan profiteren de karak-



Figuur 4 Vergelijking tussen de taxonrijkdom (A) en de abundantie (B) van volwassen kokerjuffers en nachtvlinders (gemiddeld aantal \pm 1 standaarddeviatie) in lichtvallen in een vrijwel onaangetast kleine zeggenmoeras in Polen (Rospuda; RP, n = 2) en in het beekdal van de Drentse Aa (DA, n = 3) waar herstel van kleine zeggenmoerassen plaatsvindt.

Figure 4 Comparison between light trap catches of adult caddisflies and moths (mean \pm 1 standard deviation) in an undisturbed fen peatland in Poland (Rospuda; RP, n = 2) and a site in the Netherlands (Drentse Aa; DA, n = 3) where restoration measures have been carried out to restore the degraded fen peatlands.

teristieke broekbosbewoners echter niet. De karakteristieke aquatische fauna van broekbossen heeft zich aan periodieke droogval aangepast (Wiggers & Moller Pillot, 2018) en om de vereiste habitatheterogeniteit te krijgen is een periodieke daling van de waterstand tot op maai-veld noodzakelijk (Runhaar et al., 2019).

Om optimale omstandigheden te creëren is een hydrologisch regime nodig waarbij het broekbos in het winterhalfjaar geïnundeerd is, terwijl het in de loop van het zomerhalfjaar droogvalt waarbij alleen lokale kwelplekken en laagtes permanent water blijven bevatten.

Perspectieven voor het beheer

Om de fauna te faciliteren moet in het beheer rekening gehouden worden met instandhouding van kleinschalige variatie en habitatdiversiteit. Om duurzame effecten te bereiken met beheer is het echter ook noodzakelijk de knelpunten in het grotere systeem weg te nemen met maatregelen die de bron van de problemen aanpakken, met name de combinatie van hydrologische verstoring en verrijking met voedingsstoffen. Deze factoren,

die spelen op een regionale schaal, bepalen in hoge mate de uiteindelijke effectiviteit van maatregelen op lokale schaal (Verdonschot *et al.*, 2021).

De consequentie hiervan is dat vooraf, bijvoorbeeld bij het opnieuw inrichten van een gebied, al moet worden nagedacht over de knelpunten die op systeem-schaal een rol spelen in een terrein, en de gevolgen hiervan voor het behalen van de gestelde doelen. Deze knelpunten moeten zo veel mogelijk vooraf worden aangepakt of gemitigeerd, zodat in een later stadium minder of zelfs geen beheer in het terrein meer nodig is en processen zo veel mogelijk natuurlijk kunnen verlopen. Zo zou voorkomen kunnen worden dat telkens terugkerende ingrepen, met negatieve gevolgen voor de fauna, hoog-frequent moeten worden uitgevoerd. Kortom: het is belangrijk om te sturen op processen op een hoger schaal-niveau in plaats van steeds kleinschalige maatregelen uit te voeren.

Ten slotte is herstel van de karakteristieke fauna van zeggenmoerassen en broekbossen afhankelijk van de aanwezigheid van populaties op overbrugbare afstand, die als bron van kolonisten kunnen dienen. Dat de dispersiecapaciteit van soorten beperkend kan zijn voor herstel is bijvoorbeeld aangetoond met een herintro-

ductie-experiment met kokerjuffers (Verdonschot *et al.*, 2019), maar dit geldt hoogstwaarschijnlijk ook voor andere faunagroepen die in beekdalen voorkomen. Aangezien intacte beekdalvenen in Nederland niet meer aanwezig zijn en de meeste broekbossen te lijden hebben onder verdroging en vermessing, is het de vraag in hoeverre het beekdalbrede herstel op korte termijn leidt tot de terugkeer van het gehele spectrum aan specialisten. Dat op korte termijn wel degelijk vestiging van typische moerassoorten kan optreden, laat onderzoek aan loopkevers in grootschalig herstelde moerasbeken en doorstroommoerassen in Drenthe zien (Verdonschot & Verdonschot, 2020). De toekomst moet uitwijzen of andere soorten volgen, of dat voor een deel van de soorten herintroductie overwogen moet worden.

De onderzoeken die aan de basis liggen van dit artikel zijn gefinancierd door het kennisnetwerk ontwikkeling beheer natuurkwaliteit (OBN) onder de projectnummers OBN-169-BE, 183-BE, 199-BE, 215-BE, 227-BE onder begeleiding van het deskundigenteam Beekdallandschap.

Summary

Stream valley invertebrate communities benefit from integrated stream and wetland restoration

Ralf Verdonschot & Piet Verdonschot

restoration ecology, biodiversity, macroinvertebrates, stream-valley-ecosystems

Stream-valley-habitats in the riparian zone of streams, such as fens with small sedge plant communities and

alder forests host in an undisturbed state biodiverse invertebrate assemblages, with many semi-terrestrial invertebrates inhabiting the land-water transitional zone. Specific environmental conditions are required to establish and maintain populations of these species, which are in the light of the restoration and management of the systems, important to identify. Studies in stream valleys in the Netherlands, Belgium, Germany and Poland on carabid beetles, spiders, caddisflies and moths were

used to identify the main drivers of biodiversity in these habitats from the scale of micro- to mesohabitat. On the microscale microtopography and an open vegetation structure were important factors determining the community composition, whilst on the mesoscale the presence of scattered trees and shrubs as well as patches with open water were important factors. In contrast to reference stream valley fens restored sites in the Netherlands

were species poor. This was related to a lack of small-scale habitat variation at the sites, caused by a combination of intensive mowing and a high vegetation production due to eutrophication and hydrological disturbance. Furthermore, species establishment in restored sites might be hampered by a lack of source populations.

Literatuur

Aggenbach, C.J.S., R.C.M. Verdonshot, H.H. de Vries *et al.*, 2014. Effecten van maaibeheer op kleine zeggenmoerassen in beekdalen; effecten op vegetatiestructuur, microtopografie en faunagemeenschappen. Den Haag. Ministerie van Economische Zaken, Directie Agrokennis. Rapport OBN-183-BE.

Hommersom, A., 2010. Bevers in de beek. Vakblad Natuur Bos en Landschap 7: 18-21.

Naiman, R.J. & H. Decamps, 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 621–658.

Nijssen, M., J. Bouwman, H. van Kleef & J. Noordijk, 2019. Kansen voor fauna in natuurbeheer. OBN Expertisegroep Fauna. Zeist. KNNV Publishing.

Ramey, T.L. & J.S. Richardson, 2017. Terrestrial invertebrates in the riparian zone: Mechanisms underlying their unique diversity. *BioScience* 67: 808–819.

Runhaar, J., R.C.M. Verdonshot, C. Swinkels *et al.*, 2019. Ontwikkeling broekbossen. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-227-BE.

Runhaar, J., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders *et al.*, 2013. Herstel broekbossen. Den Haag. Ministerie van Economische Zaken, Directie Agrokennis. Rapport OBN-169-BE.

Turin, H., 2000. De Nederlandse loopkevers. Verspreiding en oecologie (Coleoptera: Carabidae). *Nederlandse Fauna* 3. Leiden. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij en EIS-Nederland.

Van der Molen, D.T., R. Pot, C.H.M. Evers *et al.*, 2018. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027. Amersfoort. STOWA. Rapport 2018-49.

Verdonshot, P.F.M., H. Runhaar, D. Hendriks & R.C.M. Verdonshot, 2017. Integraal natuurherstel in beekdalen. Ontwikkeling van diffuse afvoersystemen, gedempte afvoerdynamiek en beekprofielherstel. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-227-BE.

Verdonshot, P.F.M., 2009. Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving. Flexibele toepassing van het 5B-concept in Peel en Maasvallei. Wageningen. Alterra, Wageningen UR.

Verdonshot, R., E. Penning, K. Berends *et al.*, 2021. Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen beken. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-243-BE.

Verdonshot, P.F.M. & R.C.M. Verdonshot, 2020. Effecten van integraal beekherstel op de loopkeverfauna. *De Levende Natuur* 121: 129-133.

Verdonshot, R., T. van der Meer & P. Verdonshot, 2019. Herintroductie van macrofauna: een haalbare kaart? *Vakblad Natuur Bos Landschap* 151: 23-25.

Wiggers, R. & H. Moller Pillot, 2018. Macrofauna in broekbossen; leven tussen nat en droog. *Macrofaunanieuws* 146: 2-10.



Foto Mark van Veen.
Elzenbroekbos bij
de noordtak van de
Springendalse beek.

De terugkeer van het verdwenen hout

Randvoorwaarden voor de ontwikkeling van elzenbroekbos in beekdalen

Van nature waren onze beekdalen voor een groot deel begroeid met elzenbroekbos. Van dat broekbos is nog maar weinig over. In het kader van de waterbergingsopgave lijken er goede kansen te zijn om in de beekdalen weer nieuwe elzenbroekbossen te ontwikkelen. Door intensief landbouwkundig gebruik zijn bodem en water vaak sterk verrijkt met voedingsstoffen. In hoeverre vormt dat een belemmering voor herstel van elzenbroekbos?

Vóór de ontginning door de mens waren ook de beekdalen in het dekzandlandschap voor een groot deel begroeid met bomen. In de loop van de eeuwen werd steeds meer bos ontgonnen, maar de beekdalen waren lange tijd te nat en daarom onaantrekkelijk voor landbouwkundig gebruik. Uiteindelijk werden ze toch geschikt gemaakt als extensief grasland, door het kappen van het (elzen)bos en door het graven van drainerende sloten, loodrecht op de beek. Natte delen van het beekdal werden vaak opgehoogd met zand. Restanten van het oorspronkelijk 'oerbos' bleven alleen in de natste delen over en werden gebruikt voor het winnen van hak- en geriefhout (Verdonk, 2016).

Figuur 1 laat de veranderingen zien van het landschap rondom de Kromhurken, een elzenbroekbos in het dal van de Keersop bij Bergeijk. Aan het begin van de twin-

tigste eeuw werd het beekdal nog gekenmerkt door een coulissenlandschap met houtwallen, kleine weilandjes en deels ook akkertjes. Er liepen landwegen het gebied in en ook buiten de broekboskern lagen nog natte bossjes. Al met al valt op dat er opvallend veel hout aanwezig was in het beekdal. Buiten het beekdal lagen vooral uitgestrekte heidevelden. Met de komst van prikkeldraad en het gebruik van steenkool als brandstof verloren de houtwallen in de twintigste eeuw hun functie. Aan het begin van de jaren '70 van de vorige eeuw was het meeste hout dan ook uit het beekdal verdwenen en was alleen nog de oude broekboskern aanwezig. De heidevelden zijn ook verdwenen en omgevormd naar vruchtbare landbouwgrond en elders in naaldbossen. Na de ruilverkaveling in 1973 zijn de percelen veel groter geworden en worden grote delen van het beekdal (figuur 1; de



elzenbroekbos
beekdalen
broekbosherstel
nutriënten

A.J.P. (Fons) Smolders
Onderzoekscentrum B-WARE,
Postbus 6558, 6503 GB
Nijmegen & Radboud
Universiteit Nijmegen,
a.smolders@b-ware.eu

J. (Han) Runhaar
KWR Water Research Institute

R. (Roos) Loeb
Onderzoekscentrum B-WARE

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

Figuur 1 De omgeving van het Elzenbroekbos De Kromhurken bij Bergeijk in 1903, 1973 en 2016. Beeld: Kadaster Apeldoorn.

Figuur 1 The surroundings of alder woodland 'De Kromhurken' near Bergeijk in 1903, 1973 and 2016. Image: Kadaster Apeldoorn.

witte vlakken in 2016) gebruikt voor de teelt van snijmais. Ondertussen wordt er ook aan natuurontwikkeling gedaan: rondom de oude broekboskern van de Kromhurken zijn delen van de bouwvoor afgeplagd en komt bos tot ontwikkeling, deels spontaan en deels na aanplant van zwarte els (*Alnus glutinosa*). De grens tussen natuur en zeer intensief gebruikte landbouwgrond is echter zeer scherp.

Het ontwikkelen van nieuwe broekbossen op voormalige landbouwgronden wordt beschouwd als een interessante optie, omdat broekbossen in ecologische zin relatief voedselrijke systemen zijn. Een deel van de huidige landbouwgronden in beekdalen is in het verleden immers ook broekbos geweest.

Omdat als gevolg van klimaatverandering vaker perioden met extreme neerslag optreden krijgen beekdalen steeds meer een functie voor de berging van water. Dat biedt kansen om hier weer nieuwe elzenbroekbossen aan te leggen en zo de biodiversiteit te vergroten en ook een bijdrage te leveren aan het vastleggen van koolstof, niet alleen in de vorm van hout maar ook in de vorm van broekveen.

De condities waaronder we nu nieuwe broekbossen willen ontwikkelen zijn echter compleet anders dan de condities waaronder deze in het verleden spontaan ontstonden in de beekdalen. Aan het begin van de twintigste eeuw werden de beekdalen relatief extensief gebruikt en werd er nauwelijks of helemaal niet bemest, terwijl de directe omgeving van de beekdalen vaak bestond uit zeer voedselarme woeste heidegronden of venen. Nu wordt zowel het beekdal als de directe omgeving gekenmerkt door intensief gebruikte landbouwgronden. De bodems die vrijkomen voor natuurontwikkeling zijn daarom vaak (zeer) voedselrijk, veel droger dan vroeger en grond- en oppervlaktewater zijn vaak vermest.

Kansen voor broekbosontwikkeling in relatie tot nutriëntenbeschikbaarheid

In een OBN-onderzoek naar het herstel van verdroogde broekbossen in beekdalen (Runhaar et al., 2013) werd geconstateerd dat we weliswaar al veel weten over eisen die broekbossen stellen aan de hydrologie, maar dat er relatief weinig kennis is over de nutriëntenhuishouding. Daaraan is in een vervolgonderzoek aandacht besteed (Runhaar et al., 2018). In dit onderzoek is name gekeken naar (a) welk nutriënt (N, P of K) het meest beperkend is voor de plantengroei en (b) in hoeverre de beschikbaarheid van nutriënten een knelpunt vormt voor de ontwikkeling van soortenrijke broekbossen op voormalige landbouwgronden en in waterbergingsgebieden. Om deze vragen te beantwoorden is een vergelijkend onderzoek uitgevoerd waarbij in een groot aantal broekboslocaties de vegetatiesamenstelling en gehalten aan nutriënten in bodem, bodemvocht en gewas zijn bepaald. In het onderzoek lag de nadruk op elzenbroekbossen, het type broekbos dat het meest kenmerkend is voor beekdalen.

Voor het onderzoek zijn broekbossen geselecteerd op plekken in beekdalen die qua hydrologische condities potentieel geschikt leken voor ontwikkeling van soortenrijke broekbossen. Belangrijkste eis was dat de grondwaterstand een groot deel van het jaar tot aan of boven maai-veld staat, met als aanvullende eis dat er ten minste een deel van het jaar sprake moet zijn van grondwateraanvoer. Gestreefd is naar een goede verdeling tussen al langer bestaande broekbossen en broekbossen die in de afgelopen tientallen jaren zijn ontstaan op al dan niet afgegraven voormalige landbouwgrond. Binnen beide categorieën is gezocht naar locaties met en zonder regelmatige overstroming door beekwater. De meeste geselecteerde broekbossen worden gedomineerd door zwarte els (*Alnus glutinosa*). Ter vergelijking zijn ook een aantal broekbossen geselecteerd waarin naast elzen ook wilgen en berken tal-

Code	Naam	Omschrijving	Locaties
Ref	Referentie	Al langere bestaande broekbossen met een goed ontwikkelde broekbosvegetatie, merendeels gekenmerkt door natte condities en aanwezigheid van kwel.	Kromhurken (referentie), Strijper Aa elzenbroek, Strijper Aa wilgenbroek, Ooijen-Wanssum, Dubbroek, Lommerbroek veenmosrijk, Lommerbroek Calla, Voltherbroek, Kloppersblok
OV	Overstroomd	Idem, incidenteel tot regelmatig overstroomd.	Swalmdal elzenbroek, Swalmdal wilgenbroek, Heuloërbroek, Logtse Velden wilgenbroek, Rosep
OA	Overstroomd op afgegraven landbouwgrond	Incidenteel tot regelmatig overstroomde broekbossen die zich recent hebben ontwikkeld op afgegraven voormalige landbouwgrond.	Grote Molenbeek, Westelbeerse Broek*, Kromhurken retentie, Everlose Beek, Verloren Beek
LB	Voormalige landbouwgrond	Broekbos dat zich recent heeft ontwikkeld op voormalige landbouwgrond.	De Heest, Koelbroek**
LA	Afgegraven voormalige landbouwgrond	Broekbos dat zich recent heeft ontwikkeld op afgegraven landbouwgrond.	Holmers, Vossenbroek

*) geen chemische analyses bodem en vegetatie

**) Overstroomt incidenteel met beekwater.

rijk voorkomen, en twee wilgenbroekstruwelen die gedomineerd worden door grauwe wilg (*Salix cinerea*).

In tabel 1 zijn de onderzochte locaties geordend naar de voor dit onderzoek relevante eigenschappen. Het aantal broekbossen op voormalige landbouwgronden was wat minder dan beoogd (9 van de 23 locaties), omdat veel van de aangedragen locaties te droog waren. De oorzaak van een achterblijvende ontwikkeling richting broekbos is op deze locaties bij voorbaat evident, daarom zijn ze in het onderzoek niet meegenomen.

Vegetatiesamenstelling op de onderzoekslocaties

Tabel 2 geeft een overzicht van de vegetatiekundige indeling van de locaties en het voorkomen van een aantal structuurbepalende en/of indicatieve soorten. De vegetatie in de referentielocaties (categorie Ref) bestaat in de meeste gevallen uit een goed ontwikkelde 'typische' vorm van het elzenzegge-elzenbroek (39Aa2a *Carici elongatae* - *Alnetum typicum*), waarin de voor dit vegetatietype kenmerkende elzenzegge (*Carex elongata*) en stijve zegge

(*Carex elata*) talrijk voorkomen. Ook soorten die kenmerkend zijn voor permanent natte, kwelgevoede omstandigheden, zoals waterviolier (*Hottonia palustris*) en holpijp (*Equisetum fluviatile*), komen in deze bossen talrijk voor. Het veenmosrijke elzenbroekbos in het Lommerbroek (Lomm-sph) valt onder een zuurdere vorm van het elzenbroek (39Aa2e *Carici elongatae* - *caricetosum curtae*) en kan worden gezien als een overgang naar berkenbroekbos.

In de overstroomde elzenbroekbossen (categorie OV) komen nog relatief veel voor elzenbroekbossen kenmerkende soorten voor. De elzenbroekbossen in het Heuloërbroek en langs de Rosep, die slechts incidenteel overstroomd met oppervlaktewater, onderscheiden zich qua vegetatiesamenstelling weinig van de referentiebroekbossen. De twee locaties langs de benedenloop van de Swalm, die regelmatig overstroomd, hebben een tamelijk ruige ondergroei met soorten als grote brandnetel (*Urtica dioica*), reuzenbalsemien (*Impatiens glandulifera*) en oeverzegge (*Carex riparia*). Desondanks zijn ze wel vrij soortenrijk met onder meer soorten als dotterbloem (*Caltha palustris*), zwarte

Tabel 1 Verdeling van broekbossen over de bin- nen dit onderzoek onderscheiden categorieën.

Table 1 Distribution of wet woodlands over the categories distinguished within the study.

Locatie	Hoogte boomlaag (m)	Bomen/struiken					Kensoorten/diff.soorten					Hydrologie					Ruigtesoorten			Graslandind.			Aantal soorten	Vegetatietype			
		Kroonslating (%)	Alnus glutinosa	Betula pubescens	Fraxinus excelsior	Salix alba	Salix cinerea	Carex elaeagata	Carex elata	Carex paniculata	Carex remota	Carex riparia	Sphagnum fimbriatum	Sphagnum palustre	Hottonia palustris	Equisetum fluviatile	Calla palustris	Scirpus sylvaticus	Caltha palustris	Urtica dioica	Juncus effusus	Glyceria fluitans			Phalaris arundinacea	Glechoma hederacea	Poa trivialis	Agrostis stolonifera
<i>Referentie (ref)</i>																											
Dubbroek (DB)	20	92	5	.	.	.	1	3	.	2a	.	.	.	.	1	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	28	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
Ooijen-Wanssum (OW)	15	92	5	2b	.	2a	2a	3	2b	2m	.	1	.	.	.	.	2b	.	r	.	.	.	.	.	34	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
Lommerbroek slangewortel (LOMcal)	20	58	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	2b	.	.	.	.	1	2m	.	.	.	.	22	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
Strijper Aa elzenbroek (STRaln)	15	91	5	.	.	r	2a	2b	.	1	.	2m	.	2a	.	.	.	.	+	2m	+	.	.	.	32	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
Kloppersblok (KB)	30	86	5	.	2a	.	2a	.	1	1	.	.	.	2m	1	+	.	+	2b	+	.	1	3	40	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum		
Kromhurken referentie (KHref)	15	86	3	3	.	2a	2a	.	.	.	.	2m	2m	1	2m	.	.	.	2a	2a	.	.	.	.	34	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
Lommerbroek veenmosrijk (LOMsph)	20	83	4	2b	.	.	r	.	.	1	.	2m	4	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	21	39Aa2e Carici elongatae caricetosum curtae	
Strijper Aa wilgenbroek (STRsal)	8	88	2a	.	.	5	2a	1	.	.	.	2a	2a	2b	.	.	.	.	.	1	2b	.	.	.	19	36Aa2 Salicetum cinereae	
Voltherbroek (VO)	30	86	5	.	.	r	+	.	.	1	5	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	23	[Alnion glutinosae] RG Carex riparia	
<i>Overstroomd (OV)</i>																											
Swalmdal benedenloops (SWAaln)	15	85	3	.	.	3	r	.	.	r	+	3	.	.	.	.	.	1	3	.	.	1	1	+	.	39	[Alnion glutinosae/Salicion albae]
Swalmdal bovenloops (SWAsal)	20	85	.	.	3	4	.	.	.	1	4	.	.	1	.	.	.	r	1	.	.	.	.	.	38	[Salicion albae/Alnion glutinosae]	
Heuloëbroek (HEU)	20	87	5	.	.	.	.	1	.	2b	2a	.	.	.	2a	.	.	.	1	.	.	+	.	.	27	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
Rosep (ROS)	15	82	4	r	.	2a	+	3	.	1	.	.	.	.	.	3	.	.	+	1	.	2m	.	.	28	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
Logtse Velden (LV)	6	93	.	.	.	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2a	.	2m	17	36Aa2 Salicetum cinereae	
<i>Overstroomd op afgegraven landbouwgrond (OA)</i>																											
Verloren Beek (VDB)	25	85	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	.	.	.	.	3	r	.	2m	1	2m	2a	38	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
Grote Molenbeek (GMB)	12	96	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	.	1	2b	.	26	-
Everlose Beek (EVB)	15	94	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	1	+	.	20	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
Kromhurken- waterberging (KHwb)	8	91	5	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	4	.	.	2b	1	24	-	
Westelbeerze Broek -WBR)	15	94	3	r	.	3	+	.	.	r	.	.	.	.	.	2b	.	.	2a	1	.	.	2m	+	28	-	
<i>Voormalige landbouwgrond (LB)</i>																											
Koelbroek (KB)	10	93	5	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	1	2m	.	14	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
De Heest (HST)	15	87	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	4	2a	.	2b	2m	.	26	-
<i>Afgegraven voormalige landbouwgrond (LA)</i>																											
Vossenbroek (VOS)	4	78	5	.	.	2a	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	+	.	.	.	30	-
Holmers (HOL)	15	66	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2b	+	.	.	.	.	r	2a	.	.	2m	.	20	-

Tabel 2 Overzicht vegetatiekundige indeling locaties met voorkomen van planten die bepalend zijn voor structuur (bodem/struiken), de plantensociologische indeling (kensoorten en differentiërende soorten), hydrologie (nat gebufferd, meest kwelsoorten) en eutrofiering (ruigtesoorten) en indicatoren voormalig graslandbeheer.

Table 2 Overview of vegetation classification of sites with occurrence of plants that determine structure (soil/shrubs), the plant sociological classification (typical species and differentiating species), hydrology (wet buffered, most seepage species) and eutrophication (common species) and indicators of former grassland management.

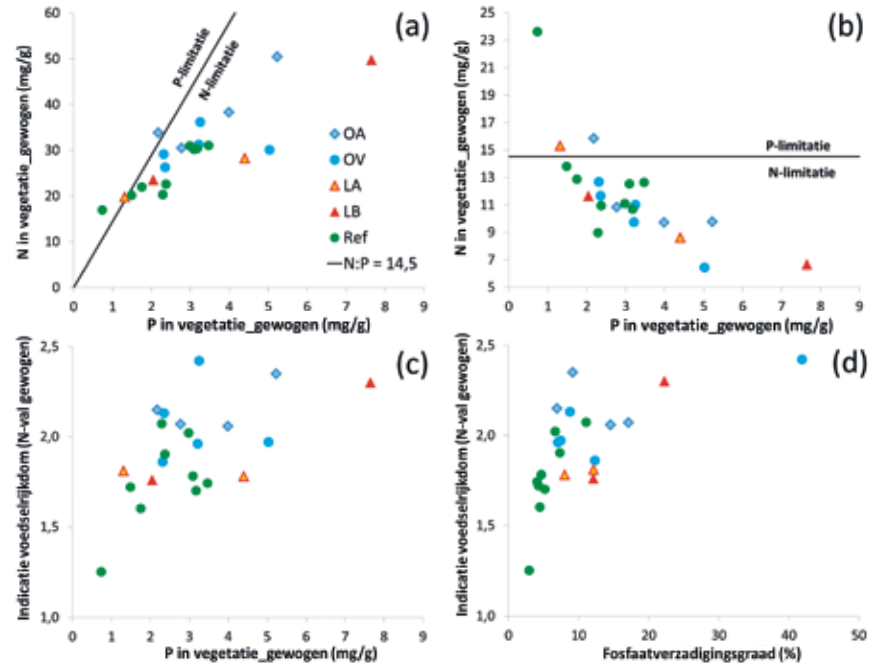
bes (*Ribes nigrum*) en groot springzaad (*Impatiens noli-tangere*).

In de regelmatig overstromde elzenbroekbossen die zijn ontstaan op ten behoeve van waterberging vergraven delen langs de beek (categorie OA), zijn weinig of geen voor elzenbroekbossen kenmerkende soorten aangetroffen. De soorten die voorkomen zijn over het algemeen kenmerkend voor verstoorde en voedselrijke milieus. Deels gaat het om soorten die nog herinneren aan het vroegere gebruik als weiland. De geringe soortenrijkdom en het ontbreken van kenmerkende soorten kan grotendeels worden verklaard uit het feit dat het gaat om jonge bossen die nog weinig tijd hebben gehad zich te ontwikkelen.

De vier niet-overstromde broekbossen op voormalige landbouwgrond (categorieën LB en LA) verschillen onderling sterk. De locatie in het Koelbroek is ontstaan op een verlaten maisakker die door peilopzet van de beek is vernat. De ondergroei wordt gedomineerd door grote brandnetel. Het broekbos in de Heest heeft zich ontwikkeld op voormalig extensief beweid grasland, de ondergroei wordt hier gedomineerd door pitrus (*Juncus effusus*). Dat laatste is ook het geval in het Vossenbroek, dat weliswaar oppervlakkig is afgegraven, maar waar nog een deel van de organische toplaag bewaard is gebleven. In de Holmers is de organische toplaag geheel afgegraven. Daarna is het waterpeil sterk opgezet, waardoor een groot deel van de vegetatieopname permanent of vrijwel permanent onder water staat. Dat verklaart dat hier naast waterviolier en holpijp ook klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) voorkomt.

Nutriëntentoestand

Om een indruk te krijgen van de aard van de nutriëntenbeperking voor de vegetatie, en dan met name de ondergroei, is per locatie gekeken naar de gemiddelde gehalten van de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) en



de N:P-ratio's van de geanalyseerde plantensoorten (figuur 2). Daarbij is gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde, waarbij is uitgegaan van de bedekking van de plantensoorten zoals afgeleid uit de abundantie/bedekkingsklasse volgens Braun-Blanquet (Runhaar et al., 2019; tabel 2). Bij het bepalen van de ratio's per locatie is alleen de ondergroei meegenomen en zijn de boomsoorten buiten beschouwing gelaten.

We zien dat de P- en N-gehalten van de vegetatie met elkaar gecorreleerd zijn. Naarmate een vegetatie rijker is aan fosfor is deze dus ook rijker aan stikstof (figuur 2a). Naarmate het P-gehalte van de vegetatie toeneemt, neemt de N:P-ratio af (figuur 2b). Voor stikstof is er sprake van eenzelfde trend, waarbij de N:P-ratio dus lager is bij hogere N-gehalten. Het is duidelijk dat

Figuur 2 Gewogen N-gehalten (a) en N:P-ratio's (b) voor de verschillende categorieën broekbossen, uitgezet tegen de gewogen P-gehalten en de indicatie voor de voedselrijkdom uitgezet tegen de gewogen P-gehalten in de vegetatie (c) en de fosfaatverzadigingsgraad (d).

Figure 2 Weighted N-contents (a) and N:P-ratios (b) for the different locations plotted against the weighted P-contents and the indication of the nutrient richness plotted against the weighted P-contents in the vegetation (c) and the phosphate saturation degree (d).

op de voedselrijkere locaties de vegetaties zowel meer stikstof als meer fosfor bevatten. De N-gehalten stijgen echter veel minder sterk dan de P-gehalten, waardoor de N:P-ratio afneemt en de vegetaties sterker N-gelimiteerd worden. De P-rijkdom van de vegetatie bleek samen te hangen met de fosfaatverzadiging van de bodem (figuur 2c). Hetzelfde geldt voor de voedselrijkdom-indicatie (figuur 2d), berekend uit de indicatiewaarden die door Witte et al. (2007) zijn afgeleid uit de indeling van plantensoorten in ecologische soortengroepen. De concentratie anorganisch stikstof in de bodems (een goede maat voor de N-beschikbaarheid) liet geen correlatie zien met de voedselrijkdom-indicatie en ook niet met het gewogen N-gehalte van de ondergroei (Runhaar et al., 2019). De voedselrijkdom en vegetatieontwikkeling van het systeem wordt dus, in ieder geval voor een belangrijk deel, verklaard door de P-beschikbaarheid in de bodem en door de hiermee gepaard gaande toename van de P- (en N-)opname door de vegetatie. De referentiebroekbossen hebben gemiddeld wat lagere N- en P-gehalten dan de overige broekbossen (figuur 2a), maar ook binnen de referentiebroekbossen bestaan grote verschillen in voedselrijkdom. De laagste nutriëntengehalten, en ook de laagste N:P-ratio's, werden gemeten op de drie referentielocaties waar sprake was van een codominantie van berk en veenmos in de ondergroei: de referentie-locatie bij Kromhurken, de veenmosrijke locatie bij het Lommerbroek en de locatie Ooijen-Wanssum.

In de overige categorieën zijn er een aantal locaties die duidelijk gekenmerkt worden door voedselrijkere omstandigheden. In vergelijking met de referentielocaties hebben de overstromde locaties op afgegraven landbouwgrond, aangelegd ten behoeve van waterberging (categorie OA), hogere P- en N-gehalten en een indicatie voor grotere voedselrijkdom. Dit hangt deels samen met het feit dat bij afgraven niet altijd de volledige top-

laag wordt verwijderd. Daarnaast overstromen de locaties aan de Everlose Beek en de Grote Molenbeek regelmatig, waarbij, zoals aan de bodemopbouw is af te lezen, ook relatief veel slib wordt afgezet. Binnen de overstromde locaties in bestaande broekbossen (categorie OV) zijn er grote verschillen in voedselrijkdom. Een deel van deze locaties (Verloren Beek, Swalmdal-*alnus*, Swalmdal-*salix*) heeft duidelijk hogere N- en P-gehalten in de vegetatie en een hogere voedselrijkdom-indicatie dan de referentielocaties. Een ander deel (Heuloërbroek, Rosep en Logtse Velden) heeft echter waarden die niet of nauwelijks afwijken van de referentielocaties. Deze verschillen hangen zeer waarschijnlijk samen met verschillen in overstromingsfrequentie en mate van slibafzetting. Zo overstromt het Heuloërbroek slechts incidenteel met Maaswater en zijn er geen sporen die wijzen op slibafzetting, terwijl er bij de Verloren Beek juist sprake is van een goed waarneembare slibafzetting. Binnen de twee broekbossen op niet overstromde landbouwgrond (categorie LB) bestaan grote verschillen in voedselrijkdom, afhankelijk van de landbouwvoorgeschiedenis en de diepte van afgraving. Locatie Koelbroek, op een niet-afgegraven voormalige maisakker, scoort zeer hoog op voedselrijkdom-indicatie en nutriëntengehalten in vegetatie en bodem. Op locatie De Heest, een niet-afgegraven voormalig extensief gebruikt weiland, wijken deze waarden niet af van die in de referentielocaties. Van de beide broekbossen op afgegraven landbouwgrond (categorie LA) scoort de locatie Vossenbroek hoog wat betreft nutriëntengehalten en voedselrijkdom van de vegetatie. Dit hangt samen met het feit dat de organische toplaag hier slechts gedeeltelijk is afgegraven. De Holmers, waar de gehele organische toplaag is verwijderd, is qua voedselrijkdom-indicatie en nutriëntengehalten in vegetatie en bodem vergelijkbaar met de armste referentielocaties. We kunnen concluderen dat de voedselrijkdom van de

vegetatie in belangrijke mate wordt bepaald door de P-verzadiging van de bodem: op fosfaatrijke bodem zijn de N- en P-gehalten van de planten het hoogst en wordt de vegetatie gedomineerd door snelgroeiende, voedselminnende soorten. Dat lijkt op het eerste gezicht strijdig met de conclusie dat N:P-ratio's in de ondergroei laag zijn, wat over het algemeen wordt gezien als een teken van N-limitatie. Dit is echter een schijntegenstelling: hoewel het relatieve aandeel van N ten opzichte van P afneemt bij een hogere beschikbaarheid van P, neemt in absolute zin de hoeveelheid N in de vegetatie juist toe. Dit verklaart ook waarom de relatieve groeisnelheid van soorten meestal negatief gecorreleerd is met de N:P-ratio (en dus positief gecorreleerd met het P-gehalte) van de planten (Güsewell, 2004). De resultaten suggereren dat er een optimum is voor de P-beschikbaarheid in een goed ontwikkeld elzenbroekbos. Van een lage beschikbaarheid is meestal sprake wanneer de aanvoer van grondwater beperkt is. Er komt dan gewoonlijk een zuurder en tevens meer P-gelimiteerd berkenbroekbos tot ontwikkeling. Bij een te hoge P-beschikbaarheid kan verzuuring optreden. Dit komt omdat de N-beschikbaarheid in broekbossen nooit echt laag is, mede door de stikstofbinding door elzen en mogelijk ook door atmosferische depositie en aanvoer van stikstof via verrijkt grond- en oppervlaktewater. Zo kan, wanneer de ondergroei niet gelimiteerd wordt door fosfor, de binding van stikstof door elzen leiden tot een sterkere groei van snelgroeiende soorten in de ondergroei.

In de onderzochte voedselrijke Nederlandse broekbossen verliest de N:P-ratio van de ondergroei aan betekenis. In feite is de fosfaatbeschikbaarheid van de bodem en het hiermee samenhangende P-gehalte van de vegetatie sturend voor de vegetatieontwikkeling. Behalve een goede hydrologie is dus ook een relatief lage P-beschikbaarheid van belang om een broekbos met karakteristieke ondergroei te kunnen ontwikkelen.

Consequenties voor ontwikkeling van elzenbroekbos

Op voormalige landbouwgronden is de P-beschikbaarheid (veel) te hoog voor een goede kwaliteit elzenbroekbos. Het verwijderen van de voedselrijke bouwvoor is in de meeste gevallen dan ook een randvoorwaarde. In beekdalen die bezand zijn kan dit betekenen dat oude, veraarde maar relatief voedselarme broekveenlagen weer aan het oppervlak komen te liggen; in feite dus de oude broekbosbodems. Dit zijn ook de locaties waar broekbosontwikkeling voor de hand ligt omdat hier in het verleden broekbossen hebben gestaan. Een voordeel van het verwijderen van de fosforrijke toplaag is dat het maaiveld lager komt te liggen en het dus ook natter wordt. Het is wel belangrijk om te voorkomen dat de nieuwe laagtes te veel grondwater onttrekken aan nog bestaande goed ontwikkelde broekboskernen - hiermee zou het kind met het badwater worden weggegooid.

Er is ook geëxperimenteerd met het toedienen van ijzerslib (waterijzer) uit een drinkwaterwinning om fosfaat in de bodem te binden (Lucassen et al., 2018). Hieruit bleek dat de fosforbeschikbaarheid geremd werd als ijzerslib door bodems gemengd werd die na afgraven nog steeds te voedselrijk zijn. Voor elzenbroekbos karakteristieke soorten deden het goed in proefplots waar deze behandeling was toegepast bij een permanent hoog waterpeil. Als additionele maatregel is toevoeging van ijzerslib dus zeker kansrijk, maar voor dit op grote schaal kan worden toegepast is nog wel meer onderzoek nodig. Voorwaarde is ook dat het ijzerslib arm is aan fosfor en ammonium.

Uit ons onderzoek is gebleken dat ook overstroming met beekwater in veel gevallen tot een verzuuring van de vegetatie leidt. Het Nederlandse beekwater is vaak rijk aan nitraat, maar vooral de afzetting van beekslib lijkt de oorzaak te zijn van de verzuuring. Uit onderzoek in regelmatig overstroomde beekdalen (Runhaar & Jansen, 2004; Sival et al., 2010) komt afzetting van fosforrijk beekslib naar voren

als belangrijkste oorzaak voor de relatief hoge P-gehalten in beekdaloverstromingsvlaktes. Het onderzoek van Sival *et al.* (2010) laat zien dat de aanvoer van fosfor door slib binnen overstromde delen varieert tussen 0,1 en 50 kg P/ha, afhankelijk van onder meer de afstand tot de beekloop en de hoeveelheid sediment in het overstromingswater. Het slib in de beken is voor een groot deel afkomstig van erosie van voedselrijke bodemdeeltjes uit bovenstrooms gelegen landbouwgronden (Smolders *et al.*, 2017). Zolang dit het geval is brengt inundatie van broekbossen met beekwater het risico van eutrofiëring met zich mee. Met name wanneer broekbosontwikkeling wordt gecombineerd met waterberging is dit een belangrijk aandachtspunt. Het is in ieder geval goed om waterbergingsgebieden waar broekbosontwikkeling wordt nagestreefd niet te klein te maken, om de hoeveelheid slib per oppervlakte beperkt te houden en te zorgen dat er op grotere afstand van de beek ook plekken zijn waar weinig of geen fosfaatrijk slib wordt afgezet. Naast de fosforrijkdom van de bodems is de hydrologie een belangrijk knelpunt voor de ontwikkeling van broekbossen. In hoeverre hogere fosfaatgehalten leiden tot verzuuring hangt mede af van de hydrologie. De broekbossen langs de Swalm en de Verloren Beek laten zien dat onder voldoende natte, door kwel gevoede, situaties zelfs bij frequente overstroming en hoge fosfaatgehalten, nog een relatief soortenrijke ondergroei kan voorkomen met soorten als dotterbloem, zwarte bes en groot springzaad. Er moet dan wel voldoende aanvoer zijn van grondwater en dit moet ook nog eens de juiste kwaliteit hebben. Voor veel beekdalen zijn beide aspecten op dit moment een groot probleem, zoals ook blijkt uit de artikelen elders in dit nummer. Specifiek voor broekbossen geldt dat het grondwater voldoende ijzer moet bevatten en niet te veel sulfaat (Lucassen *et al.*, 2004), terwijl juist met name het sulfaatgehalte van het grondwater sterk is toegenomen als gevolg van verdroging en nitraatuitspoeling. Voor broekbossen die gevoed

worden met sulfaatrijk grondwater is het van belang dat er voldoende doorstroming plaatsvindt waardoor als gevolg van sulfaatreductie gemobiliseerde voedingsstoffen kunnen worden afgevoerd (Smolders *et al.*, 2003; Lucassen *et al.*, 2004). Het is van belang om hier bij het nemen van vernattingsmaatregelen rekening mee te houden.

Doorkijkje klimaat en nieuwe broekbossen

In Nederlandse beekdalen zijn elzenbroekbossen met een goed ontwikkelde ondergroei erg schaars geworden. Veel bos is door intensivering van de landbouw verdwenen en wat nog resteert is vaak van een matige kwaliteit, als gevolg van verdroging en eutrofiëring door overstroming met voedselrijk beekwater. De beste kansen voor het herstel van elzenbroekbos met een goed ontwikkelde ondergroei ontstaan wanneer we gaan voor een integraal herstel van onze beekdalen. Alleen door maatregelen op landschapsschaal kan het noodzakelijke herstel van kwelstromen en grond- en oppervlaktewaterkwaliteit worden gerealiseerd. Na herstel van de hydrologie liggen er voor de ontwikkeling van elzenbroekbos op voormalige landbouwgronden in principe goede kansen wanneer de beschikbaarheid van fosfaat kan worden verminderd. Onder suboptimale hydrologische omstandigheden zouden nieuwe bossen in beekdalen ook kunnen worden gebruikt voor de productie van hout. De terugkeer van het verdwenen hout zal in ieder geval leiden tot een toename van de (bio)diversiteit in het nu sterk gedegradeerde beekdallandschap en zal tevens een bijdrage leveren aan het vastleggen van koolstof.

Summary

The return of the vanished wood: preconditions for the development of Alder woodland in brook valleys

Fons Smolders, Han Runhaar, Roos Loeb en Esther Lucassen

Stream valley, alder woodland, restoration, nutrients

Originally our brook valleys were largely covered with Alder forests but nowadays little is left of these marshy woodlands. In the context of water storage, there seem to be good opportunities to develop new alder woodland in brook valleys. The intensive agricultural use often results in heavily nutrient-enriched soil and (ground) water. Nevertheless the development of new alder forests on former agricultural land is often seen as an in-

teresting option because this forest type is ecologically known as a relatively nutrient-rich system. In an OBN study on the restoration of desiccated mixed forests in brook valleys, it was concluded that already a lot is known about the hydrological requirements of wet alder woodlands, but that there is relatively little knowledge about the role of nutrient availability in these forests. Therefore, in a follow-up study more attention was paid to the specific role of nutrients. The results show that phosphorus availability plays an important role. Well-developed species-rich vegetation is only observed in forests where the undergrowth is P limited. This means that for the development of new wet forests on former agricultural soils the creation of adequate hydrological conditions and the realization of P limited conditions are both important.

Literatuur

Güsewell, S., 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164: 243–266.

Lucassen, E.C.H.E.T., E. Brouwer, A.J.P. Smolders *et al.*, 2018. Broekbosontwikkeling op landbouwgronden. Heeft het toevoegen van drinkwaterslib en doelsoorten een meerwaarde? *LANDSCHAP* 35(4): 198–209.

Lucassen E.C.H.E.T., 2004. Biogeochemical constraints for the restoration of sulphate rich fens. Nijmegen. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Runhaar, J. & P.C. Jansen, 2004. Overstroming en vegetatie. Vergelijkend onderzoek in 5 beekdalallocaties. Wageningen. Alterra, Wageningen UR. Rapport 1079.

Runhaar J., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders *et al.*, 2013. Herstel broekbossen. Den Haag. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken. Rapport OBN-169-BE.

Runhaar J., R.C.M. Verdonschot, C. Swinkels *et al.*, 2019. Ontwikkeling broekbossen. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). Rapport OBN-227-BE.

Sival, F.P., H. ten Beest & R. Engelbertink, 2010. Sedimentatie en nutriëntenaanvoer in kleine rivier- en beekdalgraslanden. Wageningen. Alterra, Wageningen UR. Rapport 1064.

Smolders A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs, 2003. Waterpeilregulatie in broekbossen, bron van aanhoudende zorg. *H20* 36(24): 17–19.

Smolders, A., E. Lucassen, J. Roelofs *et al.*, 2017. Woekering van waterplanten in beken tot op de bodem uitgezocht. *H20-Online*, 16 februari 2017.

Verdonk H., 2016. Het vergeten landschap. Beekdalen in de Kempen. Uitgegeven in eigen beheer, 93 pp.

Witte, J.P.M., R. Wójcik, P.J.J.F. Torfs *et al.*, 2007. Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *Journal of Vegetation Science* 18: 605–612.



Herstel van verdroogde beekdalvenen

Effecten van vernatting op biogeochemie en vegetatie

Een eeuwenlange historie van antropogene ontwatering en versnippering heeft diepe sporen achtergelaten in het Europese beekdallandschap. Ongestoorde beekdalvenen komen nauwelijks meer voor, en de venen die nog reesteren hebben vaak grote veranderingen doorgemaakt in biogeochemie en vegetatie. Veenherstel door grootschalige vernatting is nu de enige weg voorwaarts, maar het is de vraag of deze maatregel toereikend is voor biogeochemisch herstel.

Ongestoorde beekdalvenen vertonen een grote ruimtelijke heterogeniteit in biogeochemie en vegetatie. Als we het klassieke dwarsprofiel van een beekvallei onderzoeken, dan zien we vaak een dominantie van algemene grote helofyten zoals moeraszegge (*Carex acutiformis*), riet (*Phragmites australis*) of grote lisdodde (*Typha latifolia*) in de nabijheid van de centrale beek of rivier. Deze eutrafente soorten profiteren van het voedselrijke slib dat bovenop het veen wordt afgezet tijdens periodieke overstromingen. Op wat grotere afstand van de beek, buiten het overstromingsgebied, wordt het ongestoorde veen voornamelijk beïnvloed door uittredend grondwater. Kenmerkend voor dit kwelmilieu is een lage beschikbaarheid van nutriënten zoals fosfor (P) en stikstof (N), een relatief hoge basenrijkdom en een stabiele waterstand.

De vegetatie in deze zone wordt gekenmerkt door een hoge abundantie van mesotrafente en basenminnende kleine zeggen, zoals ronde zegge (*Carex diandra*), draadzegge (*C. lasiocarpa*), schubzegge (*C. lepidocarpa*) of tweehuizige zegge (*C. dioica*). De moslaag bestaat meestal uit zeer zeldzame slaapmossen zoals viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*), groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*), sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) of het in de Benelux uitgestorven harlekijnmos (*Paludella squarrosa*) (figuur 1). Veenmossen zijn doorgaans minder prominent aanwezig in het kwelmilieu, met uitzondering van lokale bultvormers of specialistische laagveensoor-

ten zoals trilveenveenmos (*S. contortum*) of sparrig veenmos (*S. teres*). Een dergelijke mosrijke kleine zeggenvegetatie is de 'kers op de taart' van het beekdalveen en wordt beschermd in de Natura 2000-wetgeving (habitattypen H7230 Alkalisch laagveen en H7140 Overgangstrilveen). De aanwezigheid van dit vegetatietype is belangrijk voor actieve veenvorming in het beekdallandschap.

Veenvorming treedt op wanneer de productie van vers organisch plantenmateriaal de snelheid van afbraak overtreft, wat alleen voorkomt onder zuurstofloze omstandigheden. Zolang een veensysteem waterverzadigd blijft kan het veenpakket doorgaans langdurig blijven groeien. Laagveenbodems bestaan voor ca. 30 - 50% uit koolstof (C) en de veenaccumulatiesnelheid is onder optimale omstandigheden niet hoger dan ca. 0,3 - 1 mm per jaar (Borren et al., 2004; Succow & Joosten, 2012). Dit betekent dat de metersdikke veenpakketten die we nog sporadisch aantreffen in beekvalleien duizenden jaren oud zijn. Figuur 3 laat een voorbeeld zien van een ongestoord veenprofiel tot op 30 cm diepte.

Gedurende het laatste millennium begon het tij echter langzaam te keren voor het veenlandschap, met name in de dichtbevolkte lage landen. De ontginning van turf en ijzeroer leidde tot het verdwijnen van een groot deel van de historische veengronden, terwijl de resterende venen grotendeels werden omgezet tot akker- of hooi-

kleine zeggenvegetatie
fosfor
ijzer
koolstof
laagveen

W.-J. (Willem-Jan) Emsens

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen,
Universiteitsplein 1C, 2610
Wilrijk, België
willem-jan.emsens@uant-
werpen.be

R. (Rudy) van Diggelen

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen

C.J.S. (Camiel) Aggenbach

KWR Water Research
Institute

A.J.P. (Fons) Smolders

Onderzoekcentrum B-WARE

Foto **Willem-Jan Emsens**.
Beekdalveen in het
zuiden van België, met
een vegetatie bestaande
uit kleine zeggen en
slaapmossen.

Figuur 1 Enkele kenmerkende en uiterst zeldzame soorten uit de kleine zeggen- en slaapmosgemeenschap die kenmerkend is voor ongestoorde, nutriëntenarme en basenrijke laagvenen. Van linksboven naar rechtsonder: tweehuizige zegge (*Carex dioica*), schubzegge (*C. lepidocarpa*), harlekijnmos (*Paludella squarrosa*; uitgestorven in de Benelux) en viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*; uitgestorven in Nederland). Foto's: Willem-Jan Emsens.

Figure 1 Some characteristic and extremely rare plant species of undisturbed, mesotrophic fen peatlands. From top left to bottom right: dioecious sedge (*Carex dioica*), long-stalked yellow-sedge (*C. lepidocarpa*), tufted fen-moss (*Paludella squarrosa*; extinct in the Benelux) and woolly feather moss (*Tomentypnum nitens*; extinct in the Netherlands). Photos: Willem-Jan Emsens.





land. Het beekdallandschap werd gedurende deze periode versnipperd, langdurig ontwaterd en soms zelfs bemest (figuur 2).

Gevolgen van ontwatering op biogeochemie en vegetatie

Eeuwenlange ontwatering heeft grote gevolgen voor het veen. Wanneer zuurstof de veenbodem binnendringt, leidt dit nagenoeg onmiddellijk tot een verhoogde veenafbraak. Macro- en mesofauna, die doorgaans nauwelijks overleven in een permanent nat milieu, vinden hun weg in het verdroogde veen en fragmenteren het organisch materiaal (Wu *et al.*, 2017). Tegelijkertijd neemt de microbiële biomassa toe en wordt een consortium van aerobe saprofyten geactiveerd (Jaatinen *et al.*, 2008), waaronder diverse schimmelgroepen die in staat zijn om recalcitrant organisch materiaal af te breken (Rupp *et al.*, 2021). Tijdens dit versnelde afbraakproces wordt bodemorganisch koolstof omgezet tot CO₂, wat vrijkomt in de atmosfeer en daar bijdraagt aan het broeikaseffect (Smolders *et al.*, 2019). De veenbodem zakt vervolgens

als een kaartenhuis in elkaar, waardoor de bulkdichtheid van de bodem toeneemt en het waterdoorlatend vermogen afneemt. Onder sterk ontwaterde en zuurstofrijke omstandigheden klinkt de veenbodem enkele millimeters tot 1 cm per jaar in, zeker gedurende de eerste jaren (Van den Born *et al.*, 2016). Dit staat in schril contrast met de maximale veenopbouw van ca. 1 mm per jaar onder waterverzadigde omstandigheden (figuur 3). Het verlies van koolstof uit de bodem is niet de enige biogeochemische verandering die plaatsvindt onder invloed van ontwatering. Door de aerobe veenoxidatieprocessen komt zuur (H⁺) vrij, terwijl de invloed van baserijk grondwater afneemt. Als gevolg wordt de veenbodem zuurder. Daarnaast leidt de verhoogde afbraaksnelheid tot het vrijkomen van fosfor (P), zwavel (S), stikstof (ammonium (NH₄⁺)) en diverse mineralen uit het veen, waarmee de beschikbare voorraad van deze stoffen wordt vergroot (Aggenbach *et al.*, 2013; Smolders *et al.*, 2019). In ontwaterde venen wordt het vrijgemaakte NH₄⁺ doorgaans snel genitrificeerd door bacteriën, wat zichtbaar is als een sterke toename in nitraatconcentra-

Figuur 2 Links: Rospudavallei, Polen: een relatief ongestoord beekdalveen. Rechts: Zwarte Beekvallei, België: een beekdalveen dat eeuwenlang sterk beïnvloed is geweest door turf- en ijzeroerwinning, versnippering, ontwatering, verbossing en landomvorming. Foto's: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.

Figure 2 Left: Rospuda Valley, Poland: a relatively undisturbed fen peatland. Right: Zwarte Beekvallei, Belgium: a peatland that has been heavily influenced for centuries by peat and iron extraction, fragmentation, drainage, reforestation and land conversion. Photos: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens



Figuur 3 Ontwatering van veen leidt tot het verlies van koolstof uit de veenbodem, met name uit de geoxideerde toplaag (data uit 13 relatief ongestoorde en 13 ontwaterde beekdalvenen in Europa).

Figure 3 Drainage of peat triggers the loss of carbon from the peat soil, especially from the oxidized top layer (data from 13 relatively undisturbed and 13 drained fen peatlands in Europe).

ties (NO_3^-) (figuur 4). Onder permanent waterverzadigde omstandigheden zou dit stikstof in het veen in organische vorm vastgelegd blijven, en dus niet of nauwelijks beschikbaar zijn voor opname door planten of microben. Ontwatering van veen leidt daarmee, naast het verlies aan koolstof, ook tot een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten.

Niet alle mineralen die in de bodem accumuleren als gevolg van veenafbraak en bodeminklinking komen uit het veen zelf. Een relevant voorbeeld is ijzer (Fe). Opgelost ijzer wordt in beekdalvenen vaak langdurig aangevoerd door het grondwater. Het ijzer wordt vervolgens in de veenbodem vastgehouden door diverse chemische processen zoals de vorming van sideriet en vivianiet, of de vorming van ijzer-organischestofcomplexen (Kooijman et al., 2020). Door de eeuwen heen is ijzer zo van nature geaccumuleerd in het veenpak-

ket. Wanneer een veenpakket wordt ontwaterd, oxideren gereduceerde ijzermineralen en slaat het ijzer neer in kristallijne mineralen waaronder ijzer(hydr)oxide: ‘roest’ (Smolders et al., 2019). Dit neerslaan van geoxideerde mineralen vindt met name plaats in de toplaag van het ontwaterde veen omdat deze laag het sterkst wordt beïnvloed door oxidatie. In deze toplaag is ook het verlies van bodemorganisch koolstof het grootst, waardoor het ijzer zich nog sterker concentreert. Dit heeft op zijn beurt gevolgen voor de beschikbaarheid van fosfor. Onder zuurstofrijke omstandigheden is het ijzer namelijk in staat om het - door veenafbraak vrijgemaakte - anorganische fosfor sterk te adsorberen zodat het niet uitspoelt (Smolders et al., 2013; Smolders et al., 2019). Netto leidt ontwatering daarom vaak tot een verhoging van de ijzer- en fosforgehaltes in de aerobe toplaag van het veen, wat weer positief correleert met de fosforbeschikbaarheid (Emsens et al., 2017). De meest ijzerrijke venen, zoals bijvoorbeeld de Drentsche Aa in Nederland of de Zwarte Beekvallei in België, hebben in het verleden vaak de grootste hoeveelheden fosfor geaccumuleerd (Emsens et al., 2019).

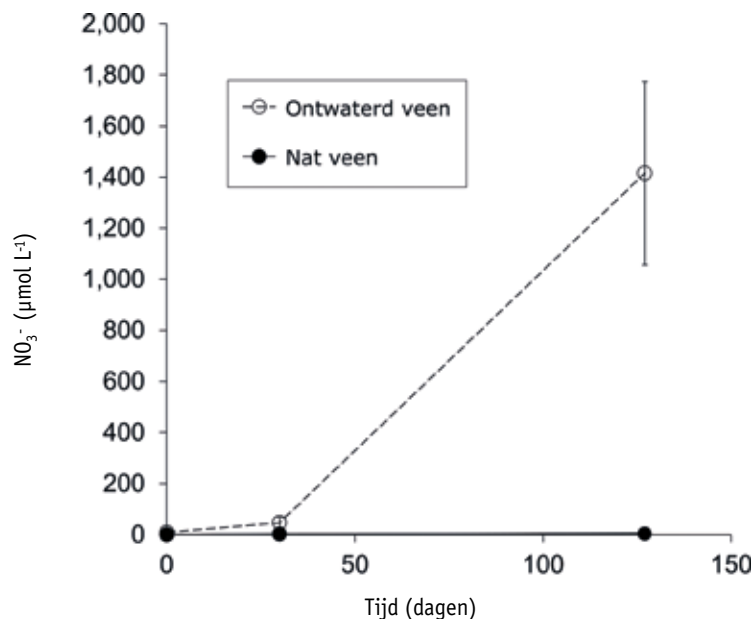
Ontwatering heeft ook grote gevolgen voor de veenvormende kleine zeggengemeenschap. Nagenoeg alle soorten uit de kleine zeggengemeenschap hebben zich evolutionair aangepast aan de stabiele, nutriëntenarme, basenrijke en permanent waterverzadigde omstandigheden van het laagveen. Onder dergelijke omstandigheden, die buitengewoon stresserend zijn voor de meeste andere plantensoorten, zijn de soorten uit de kleine zeggengemeenschap heer en meester. Echter, door verdroging, verzuring en eutrofiëring onder invloed van ontwatering verliezen deze soorten hun concurrentievoordeel ten opzichte van snelgroeiende en meer droogtetolerante, vaak algemene, plantensoorten. De productivi-

teit van de kruidlaag neemt vervolgens toe, wat leidt tot een sterke lichtbeperking aan het maaiveld (Emsens et al., 2018). De vegetatie evolueert dan zeer snel in de richting van een meer productieve grasland- of ruigtevegetatie (figuur 5). Bij een zwakke ontwatering kan zich ook dotter- of soms blauwgrasland ontwikkelen, maar deze vegetatietypen houden vaak niet duurzaam stand in een veensysteem met voortschrijdende veenafbraak.

Vernatting als oplossing?

Vernatting is noodzakelijk om het resterende koolstof in de veenbodem zoveel mogelijk vast te houden en de mobilisatie van in het organisch materiaal opgeslagen nutriënten te remmen. Daarbij bestaat de hoop dat vernatting, door vernieuwde veenopbouw, weer zal leiden tot actieve netto accumulatie van koolstof en immobilisatie van nutriënten.

Op dit moment is nog onduidelijke of vernieuwde veenopbouw ook effectief plaatsvindt na vernatting van langdurig verdroogde venen. Wel staat vast dat vernatting minimaal leidt tot een flinke reductie van de uitstoot van CO_2 (Günther et al., 2020). Vaak wordt in dit kader de vrees geuit dat de winst door CO_2 in de bodem te houden teniet wordt gedaan door de aan vernatting gekoppelde toename in de uitstoot van methaangas (CH_4). Recente berekeningen hebben echter aangegeven dat op langere termijn de eindbalans voor het klimaat altijd in het voordeel is van vernatting, onder meer vanwege de relatief korte levensduur van CH_4 in de atmosfeer (Günther et al., 2020). Naast de koolstofwinst leidt vernatting ook tot de activatie van andere biogeochemische processen. Zodra zuurstof uit de veenbodem is verdwenen, worden een reeks microbiel gestuurde reductieprocessen in gang gezet. Zo worden respectievelijk nitraat, ijzer en sulfaat gereduceerd. Tijdens deze reductiereacties wordt veel bicarbonaat (HCO_3^-) gepro-



Figuur 4 Ontwatering van veenbodems leidt vaak al binnen enkele maanden tot zeer hoge nitraatconcentraties in het porievocht, wat het gevolg is van de verhoogde veenafbraak en de daaropvolgende nitrificatie van het vrijgekomen ammonium. Resultaten uit een kolomexperiment (Emsens et al., 2016).

duceerd (Aggenbach et al., 2013) waardoor de pH van de veenbodem snel stijgt. Het vernatting van verdroogd laagveen is dus een effectieve maatregel tegen verzuring.

Bovengenoemde reductieprocessen gaan echter ook gepaard met een verdere afbraak van organisch materiaal (Smolders et al., 2013; 2019), de elektrondonor in deze reacties. Gedurende de eerste maanden tot jaren na vernatting kan de snelheid van veenafbraak daardoor nog steeds vrij hoog zijn. In sterk gedegreerde venen gaat dit anaerobe afbraakproces soms gepaard met hoog oplopende concentraties ammonium (Emsens et al., 2016), wat door de waterverzadigde omstandigheden nog maar nauwelijks wordt omgezet in nitraat. Ammonium kan bij zeer hoge concentraties ($> \text{ca. } 1 \text{ mmol L}^{-1}$ porievocht) toxisch worden voor gevoelige plantensoorten.

Figure 4 Drainage of peat soils often leads to nitrate accumulation in the pore water, which is the result of increased peat mineralization rates and the subsequent nitrification of ammonium. Results from a mesocosm experiment (Emsens et al., 2016).

Bijkomende fyto-toxiciteitseffecten kunnen nog verder versterkt worden door de plotselinge accumulatie van sulfide of van opgelost tweewaardig ijzer in het porievocht. Een hele reeks plantensoorten die niet zijn aangepast aan een dergelijk gereduceerd toxisch milieu, waaronder vele dominante grassen maar ook een reeks rode-lijstsoorten, kunnen dus snel verdwijnen na vernatting. Ondertussen is ook duidelijk geworden dat het vernatting van langdurig verdroogd veen zelden leidt tot een snel herstel van een lage nutriëntenrijkdom: vernatte venen

blijven vaak nog lange tijd veel nutriëntenrijker dan vóór hun historische ontwatering. Door de langdurige ontwatering zijn stikstof en fosfor in grote hoeveelheden aanwezig in voor planten makkelijk beschikbare anorganische vorm. Deze nutriëntenproblematiek wordt verder versterkt wanneer er ook nog sprake is van een landbouwkundig verleden met bemesting. Hoewel de overmaat aan anorganisch fosfor onder ontwaterde en zuurstofrijke omstandigheden nog relatief sterk gebonden werd aan ijzer, komt het na vernat-

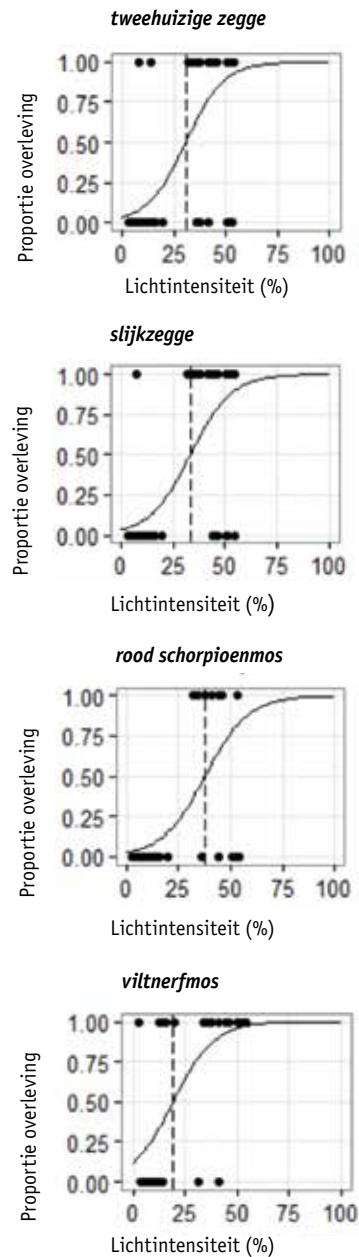
Figuur 5 Links: laagproductieve kleine zeggen- en slaapmosgemeenschap in een relatief ongestoord laagveen (Biebrza, Polen). Rechts: Gesloten verzuuringsvegetatie in een ontwaterd en verstoord laagveen (Zwarte Beek, België). Foto's: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.

Figure 5 Left: Small sedge and brown moss community in a relatively undisturbed fen peatland (Biebrza, Poland). Right: productive vegetation in a drained and degraded fen peatland (Zwarte Beek, Belgium). Photos: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.



ting massaal vrij door ijzerreductie en fosfordesorptie (Smolders *et al.*, 2019). In het gros van de vernatte beekdalvenen is momenteel, in tegenstelling tot in veel (maar zeker niet alle) ongestoorde venen, dus geen sprake meer van fosforlimitatie (Emsens *et al.*, 2017). Hierdoor blijft ondanks vernatting de productiviteit van de kruidlaag relatief hoog. De strijd om licht wordt in dergelijke voedselrijke veensystemen stevast gewonnen door de grotere en snelgroeïende plantensoorten, terwijl de kenmerkende traaggroeïende soorten uit de kleine zeggen-gemeenschap zich niet opnieuw kunnen vestigen door lichtgebrek (figuur 6). Vernatte venen hebben mede daardoor vaak een slecht ontwikkelde en soortenarme moslaag, terwijl juist die moslaag belangrijk is voor hernieuwde veenvorming. Ten slotte zijn vele kenmerkende soorten die door de langdurige ontwatering en veende-gradatie verdwenen zijn niet meer in staat om de vernatte venen op eigen kracht te herkoloniseren.

Concreet zien we in vernatte beekdalvenen dan vaak een ontwikkeling richting (middel)grote zeggenvegetatie met algemene soorten zoals snavelzegge (*Carex rostrata*) of moeraszegge (*C. acutiformis*), zoals op dit moment bijvoorbeeld waar te nemen is in de Zwarte Beekvallei (Emsens *et al.*, 2019). De moslaag wordt meestal gedomineerd door robuuste en algemene mossoorten zoals gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) of hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*). De ontwikkeling richting dergelijke meer productieve vegetatietypen is zeker waardevol en zonder meer een verbetering ten opzichte van de verdroogde situatie, maar het herstel van een soortenrijke kleine zeggenvegetatie blijkt op korte termijn vaak te stagneren. Het is afwachten wat er zal gebeuren op de langere termijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat nutriënten gradueel weer worden vastgelegd in het veen dankzij hernieuwde veenvorming, of dat de nutriënten na verloop van tijd uitspoelen met het opnieuw



Figuur 6 Logistisch verband tussen de relatieve lichtintensiteit (%) aan maaiveld en de overlevingskansen van enkele typische kleine zeggen en slaapmossoorten uit voedselarme laagvenen. Resultaten uit een introductie-experiment met o.a. tweehuizige zegge (*Carex dioica*), slijkzegge (*C. limosa*), rood schorpioenmos (*Scorpidium scorpioides*) en viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*) (Emsens *et al.*, 2018). De verticale stippellijn geeft het omslagpunt van minimale lichtintensiteit aan maaiveld weer waarbij de kans op overleven ca. 50% is.

Figure 6 Logistic relationship between relative light intensity (%) at soil surface level and survival probabilities of some typical small sedge and brown moss species from mesotrophic fen peatlands. Results are from an introduction experiment with, among others, dioecious sedge (*Carex dioica*), bog sedge (*C. limosa*), hooked scorpion moss (*Scorpidium scorpioides*) and woolly feather moss (*Tomentypnum nitens*) (Emsens *et al.*, 2018). Vertical dashed lines indicate the inflection points (i.e. light intensity at which survival probability equals 50%).

doorstromende grondwater. Wanneer dit niet gebeurt kan overwogen worden om meer rigoureuze maatregelen te nemen. Er zijn bijvoorbeeld veelbelovende resultaten geboekt met het afgraven van de sterk veraarde en geëutrofiëerde toplaag van het veen (Emsens *et al.*, 2015, Klimkowska *et al.*, 2015). Een dergelijke ingreep moet wel met de nodige voorzichtigheid gebeuren, aangezien de hydrologische gevolgen voor het omliggende landschap groot kunnen zijn. Tenslotte kan men, na abiotisch herstel, overwegen om lokaal uitgestorven soorten weer gericht te herintroduceren.

Dit onderzoek werd mede gefinancierd door BiodivERSA/BELSPO (BR/175/A1), OBN (OBN178-BE), en FWO (1214520N). We danken twee anonieme reviewers voor hun kritische blik op een eerdere versie van het artikel.

Summary

Restoration of drained peatlands. Effects of rewetting on biogeochemistry and vegetation
Willem-Jan Emsens, Rudy van Diggelen, Camiel Aggenbach & Fons Smolders

Small sedge vegetation, phosphorus, iron, carbon, fens

Rewetting is a first crucial step in the restoration of long-term drained groundwater-fed peatlands (fens). However, a complete recovery of local biogeochemical conditions and vegetation is unlikely within the short term (< few decennia). Drainage has triggered the irreversible loss of soil organic matter, the mobilization of nutrients, and the loss of target species of small sedge and brown moss communities. Although rewetted fens are often dominated by tall sedges and reeds rather than low-productive small sedge communities, this is already an improvement compared to the vegetation under drained conditions. Currently, it remains uncertain whether species-rich

small sedge and brown moss communities will recover over a longer time span of several decades to centuries. More rigorous restoration measures, including removal of the degraded top soil or species re-introduction, may be required to facilitate recovery.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., H. Backx, W.J. Emsens *et al.*, 2013.** Do high iron concentrations in rewetted rich fens hamper restoration? *Preslia* 85:405-420.
- Borren, W., W. Bleuten & E.D. Lapshina, 2004.** Holocene peat and carbon accumulation rates in the southern taiga of western Siberia. *Quaternary Research* 61: 42-51.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, A.J. Smolders *et al.*, 2015.** Topsoil removal in degraded rich fens: can we force an ecosystem reset? *Ecological Engineering* 77: 225-232.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, C. Dictus *et al.*, 2019.** Laagveenherstel door vernatting. Terug naar oernatuur in de vallei van de Zwarte Beek. *Natuur Focus* 18: 60-65.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, H. Rydi, *et al.*, 2018.** Competition for light as a bottleneck for endangered fen species: an introduction experiment. *Biological Conservation* 220: 76-83.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, K. Schoutens *et al.*, 2016.** Soil iron content as a predictor of carbon and nutrient mobilization in rewetted fens. *PloS one* 11(4): e0153166.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, A.J.P. Smolders *et al.*, 2017.** Restoration of endangered fen communities: the ambiguity of iron-phosphorus binding and phosphorus limitation. *Journal of Applied Ecology* 54: 1755-1764.
- Günther, A., A. Barthelmes, V. Huth *et al.*, 2020.** Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications* 11(1): 1-5.
- Jaatinen, K., R. Laiho, A. Vuorenmaa *et al.*, 2008.** Responses of aerobic microbial communities and soil respiration to water level drawdown in a northern boreal fen. *Environmental microbiology* 10: 339-353.
- Klimkowska, A., D.J. van der Elst & A.P. Grootjans, 2015.** Understanding long term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science* 18: 110-120.
- Kooijman, A.M., I.S. Mettrop, T. Neijmeijer *et al.*, 2020.** Nieuwe kijk op fosfaatbeschikbaarheid in kalkrijke en ijzerrijke venen. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 17: 23-25.
- Rupp, D.L., L.J. Lamit, S.M. Techtmann *et al.*, 2021.** The rhizosphere responds: rich fen peat and root microbial ecology after long-term water table manipulation. *Applied and Environmental Microbiology* 87: e00241-00221.
- Smolders, A.J.P., B. van de Riet, J.H.M. van Diggelen *et al.*, 2019.** De toekomst van ons veenweidelandschap. Over vernatten, optoppen en veenmosteelt. *LANDSCHAP* 36(3): 133-141.
- Smolders, A.J.P., J. Verhoeven, H. Tomassen *et al.*, 2013.** Waterberging en veenvorming als klimaatbuffer. Kansen en valkuilen vanuit biogeochemisch perspectief. *LANDSCHAP* 30(4):197-206.
- Succow, M. & H. Joosten, 2012.** *Landschaftsökologische Moorkunde*. Stuttgart. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Van den Born, G., F. Kragt, D. Henkens *et al.*, 2016.** Dalende bodems, stijgende kosten: mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied. Beleidsstudie. Den Haag. Planbureau voor de Leefomgeving, PBL-publicatienummer 1064.
- Wu, X., R. Cao, X. Wei *et al.*, 2017.** Soil drainage facilitates earthworm invasion and subsequent carbon loss from peatland soil. *Journal of Applied Ecology* 54: 1291-1300.

Op Pad met ...

Anne van Kuijk langs de Dommel

Verbinding als kernkwaliteit van de Dommel

CV Anne van Kuijk

2013 – heden
Adviseur Omgevingskwaliteit, Provincie Noord-Brabant

2001 – 2013
Beleidsmedewerker, Provincie Noord-Brabant (ruimte, sociaal beleid, communicatie)

1998 – 2001
Assistent-projectleider Streekplan, Provincie Noord-Brabant

1991 – 1998
Stedenbouwkundig adviseur, Gelders Genootschap, Arnhem

1988 – 1991
Onderzoeksassistent sociologie van de ruimtelijke ordening, TU Eindhoven

Opleiding:
TU Eindhoven, Bouwkunde, afstudeer-richting Stedenbouwkundige planologie



Anne van Kuijk is als adviseur Omgevingskwaliteit bij de provincie Noord-Brabant betrokken bij de Landschapstriënnale 2021, in het bijzonder bij het landschapslaboratorium Brabantse beken (zie kader op pagina 170). Vakmatig en persoonlijk heeft zij een grote liefde voor de Dommel. De Dommel is volgens haar een belangrijke verbinder; ecologisch, landschappelijk en sociaal. Anne neemt ons mee naar de Dommel bij de Odaberg, ten zuiden van Sint-Oedenrode; een plek waar deze nog meandert.



Een deel van de meanders is in het verleden afgesneden, om water voor de landbouw snel af te voeren. Nu worden ze vanwege de veranderde wateropgave, naast afvoer ook waterberging, juist hersteld, zoals bij de Eschestroom vlak voor deze de Dommel instroomt. Wat vind je daarvan?

"Hermeandering is een manier om het water langer in het gebied te houden. Het is niet de enige oplossing, maar onderdeel van een bredere aanpak. Het is allemaal onderdeel van een groter geheel. Om tot duurzame oplossingen te komen kijken we naar het hele bekenlandschap: de systeembenadering. Dus niet alleen naar de directe stroom, maar naar de beek in zijn hele omgeving, waaronder de hogere zandgronden. Hoe kunnen we daar bijvoorbeeld de sponswerking van de bodem verbeteren?"



Wat zijn de kernkwaliteiten van de Dommel?
"Wandelend over het Dommelpad kom je door verschillende landschappen, verschillende buurtschappen, zelfs midden door Eindhoven. Die variatie vind ik dé kernkwaliteit van de Dommel. De Dommel is van oorsprong tot monding een verbindertussen steden, dorpen en gehuchten, die daar niet toevallig zijn ontstaan. De Dommel verbindt mensen, hun identiteit, hun verbondenheid met die plek. Ik ben opgegroeid in een dorpje aan de Dommel, heb gestudeerd in Eindhoven aan de Dommel en woon nu in Sint-Oedenrode aan de Dommel. Mijn hele leven is verbonden met die Dommel.

In de Dommelvallei zijn veel mensen betrokken bij de Dommel door vrijwilligerswerk, zoals educatie, natuurbeheer, zwerfafval opruimen of samen een nieuwe voetgangersbrug ontwikkelen. Mensen schrijven er gedichten en verhalen over; maken foto's voor het plaatselijke krantje of sociale media. In Eindhoven is dat precies hetzelfde: de Dommel stroomt dwars door de stad en verbindt belangrijke plekken waar Eindhovenaren en expats werken. De High Tech Campus, het centrum van Eindhoven, de parkenstructuur, de TU/e-Campus, fiets- en wandelroutes, het is allemaal verbonden aan de Dommel."

Verbinden heeft voor jou een positieve associatie. Vroeger waren beken open riolen en vijandig.

"Dat is voor de Dommel ook heel lang zo geweest. In mijn jeugd zwommen er ratten. Er is veel geïnvesteerd in de waterkwaliteit. In Sint-Oedenrode is twintig jaar geleden een plan gestart voor een park rond de Dommel, het Plan Dotterbloem. Daardoor is de Dommel in plaats van een achterkant die stinkt nu een voorkant geworden waar je je mee verbonden voelt en waar je van geniet. Er verdrinken nog steeds mensen en dat maakt veel indruk. Het besef dat zo'n rivier door de dorpen stroomt en kan overstromen, zoals onlangs in Zuid-Limburg, dringt steeds



meer door. We moeten leren meebewegen met het water vanwege perioden met wateroverlast en perioden van grote droogte. Hoe kun je slim water opvangen en gebieden creëren waar het water gebufferd kan worden? Als de Dommel door een dichte dorpskern stroomt heb je niet veel ruimte en moet je met keringen werken. Daarbuiten is meer ruimte voor overstroming. We moeten het natuurlijk systeem van bodem en water in de vingers krijgen. In plaats van technologie leidend laten zijn, moet je technologie combineren met de logica van het water- en bodemsysteem. Dat leidt tot een verbetering van de omgevingskwaliteit.

Ik zal niet zeggen dat het in het stroomgebied van de Dommel allemaal vloeiend verloopt. Er zijn zo veel belangen, juist omdat we in een verstedelijkt gebied zitten. Het is altijd proberen er samen uit te komen. Dat is de strategie van Brabant, en we zijn ervan overtuigd dat dit de enige manier is. Natuurlijk stokken die processen regelmatig, bijvoorbeeld wanneer een grondeigenaar niet meewerkt, maar in steeds meer gebieden lukt het.”

Zijn er nog meer kernkwaliteiten dan de verbindingfunctie en de verbondenheid van mensen?

“Water, biodiversiteit, natuur, recreatie,

toerisme en erfgoed. Omgevingskwaliteit in de brede zin van het woord. Een voorbeeld is het watermolenproject van Molenstichting Noord-Brabant met vele partners. De watermolens zijn vormend geweest voor het Dommellandschap. Het gaat niet alleen om die watermolens op zich, maar om de hele keten van molens, die een cascade van watermolenlandschappen vormt. Het opstuwen van het water vóór de molen en vervolgens het wegstromen ervan had veel invloed op de waterhuishouding, de biodiversiteit en de landschapsvorming rond die watermolens. Kunnen wij vanuit de herkomstwaarde van die molens en de logica van de watermolenlandschappen aanknopingspunten vinden voor de water- en biodiversiteitsopgave?”

Wat bedoel je met ‘water moet leidend zijn’?

“Tijdens de Internationale Architectuur Biënnale Rotterdam, 2013-2014, hebben we deelgenomen met het BrabantStadatelier om de ruimtelijke toekomst van Brabant op de onderzoekstafel te leggen. De conclusie van het ontwerpend onderzoek was: Je moet in Brabant stoppen met de stedenontwikkeling, natuurontwikkeling en landbouwontwikkeling los van elkaar. Dat werkt niet meer; je moet naar een verweven aanpak. Dat is verbeeld op een groot geweven tapijt, dat in de hal van het provinciehuis hangt. De ontwerpers zagen de wateropgave als grote en centrale opgave voor de toekomst. Als je andere opgaven met die wateropgave verbindt,

combineer je ook verschillende partijen. Dat gedachtengoed is in verschillende gebiedsprocessen in praktijk gebracht. Bijvoorbeeld in landschapspark Pauwels bij Tilburg; daar wordt een waterlandschap ontwikkeld in combinatie met bos, waarbij historische waterstructuren worden benut als aanknopingspunt voor de water- en droogteopgave rond Tilburg.

In die zelfde tijd startte het waterschap samen met de gemeente Sint-Oedenrode, nu onderdeel van Meierijstad, de volgende fase van het werken aan de Dommel. De kans op overstromingen neemt toe. Het waterschap dacht nog aan technische oplossingen, maar was dat wel passend? We hebben net twintig jaar geïnvesteerd in een parkachtige ontwikkeling van de Dommel door het dorp; dijken doen de omgevingskwaliteit daarvan teniet. De droogteproblematiek kwam in die tijd steeds sterker naar voren. Nu komen op enkele plekken dijkjes. Elders zijn er gebieden voor waterberging. Dat is maatwerk volgens de verweven aanpak. en die was er niet gekomen zonder de actieve betrokkenheid van het dorp en de lokale en historische kennis van de watersystemen.”

Is dat model ook toegepast in het buitengebied? Kan je dat opschalen?

“Dat zal wel moeten.

Als je de wateropgave centraal stelt moet je heel precies kijken naar het bodem- en watersysteem, en wat er nog meer speelt. Of je nu binnen de bebouwde kom zit, aan



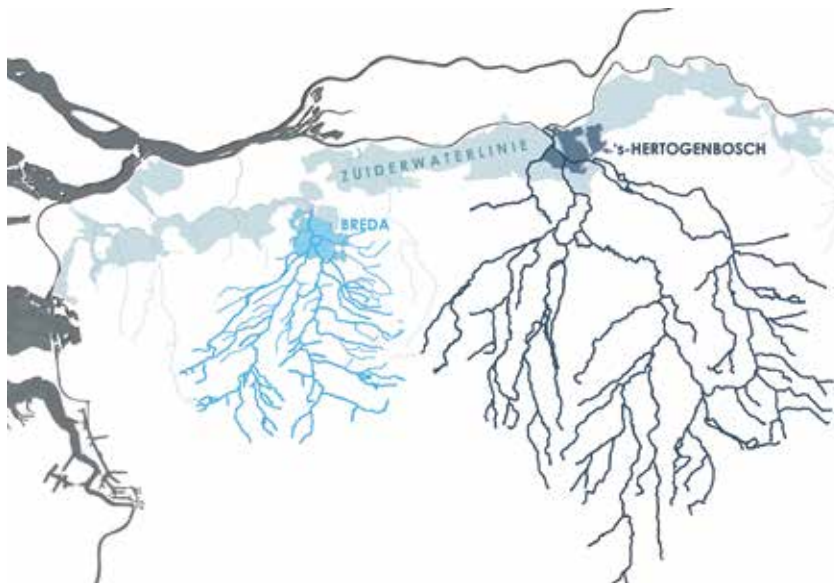
de stadsrand of daarbuiten, het is overal aan de orde. De wateropgave is, zei Paul van Dijk van Waterschap De Dommel altijd, nooit alleen een wateropgave. De waterschappen hebben een kerntaak, maar voelen zich ook onderdeel van andere opgaven.”

Als je het grotere systeem wilt beheren, is een leidende overheid nodig. Jij stelt juist de lokale inbreng en de persoonlijke contacten centraal.

“Het is de combinatie. De overheid heeft verantwoordelijkheid en middelen. Voor een bepaald gebied en een bepaalde gemeenschap moet je nagaan wat de beste

manier is. Je moet niet zomaar iets dropen in een gemeenschap, maar je voegen naar die gemeenschap. Je kunt dan betere gesprekken voeren en komt er dan achter waaróm iemand dwarsligt. Je krijgt meer lokale kennis dan wanneer je dat van achter je bureau of computerscherm uitzoekt.”

We hebben geen tijd meer om het zo aan te pakken. De problemen van klimaatverandering, droogte en nattigheid zijn urgent. Vandaar het pleidooi voor een nationale landschapscommissaris, die door kan drukken. Gemeenschappen die zeggenschap willen over hun omgeving is een prachtig idee, maar het werkt niet voldoende.



De twee primaire beeksystemen van Brabant als kerngebieden in het Van Gogh Nationaal Park. In zwart het systeem waarvan de Dommel onderdeel is. Bron: Masterplan Van Gogh Nationaal Park. 's Hertogenbosch. 2020.

“Het werkt wel. Als de urgentie wordt gevoeld, en dat is het geval, krijgt de overheid veel meer mandaat van de burger. Als die overheid denkt hier wel even overheen te banjeren kan ze het vergeten. In een land als Nederland, met zijn democratische constellatie, zijn ‘wisdom of the crowd’, en zijn betrokkenheid, kun je niet anders dan het met elkaar uitvinden. Het argument ‘het moet, het is dringend en anders gaat het fout’ geloof ik niet. Waarom groeit de weerstand tegen bijvoorbeeld de energietransitie? Omdat je een gevoel van machteloosheid krijgt, waardoor je al per definitie nee zegt. Al generaties werken we samen aan het landschap. Ik geloof heel

erg in de Brabantse aanpak, het met elkaar ontwikkelen, samen urgentie voelen en tot actie komen. Als je ziet wat er in het Groene Woud, een van de kerngebieden in het Van Gogh Nationaal Park, is gerealiseerd: dat is ongekend.”

Er is scepsis over de Brabantse landbouw. Die wil helemaal niet, kijk maar naar het mestprobleem, het varkensprobleem, het stikstofprobleem.

“Dit beeld van de agrarische sector is geen realiteit. Natuurlijk heb je in elke sector extremen. Vergeet ook niet dat de Brabantse boeren onderdeel zijn van wereldwijde ketens. Maar ik zie ook hele

goede voorbeelden. De Duinboeren bij de Loonse en Drunense duinen bijvoorbeeld zijn al wel twintig jaar bezig met wat we nu ecologische of kringlooplandbouw noemen. Gaandeweg begint die beweging op gang te komen.”

In het Masterplan Van Gogh Nationaal Park (NP) wekken twee plaatjes van een beekdallandschap de indruk dat de intensieve veehouderij zal verdwijnen.

“Het beleid voor de Dommelvallei is gericht op natuurontwikkeling en andere kwaliteiten. De intensieve veehouderij dicht bij de rivier zal geleidelijk wel verdwijnen of omschakelen. Maar ik denk niet dat de intensieve veehouderij helemaal zal verdwijnen uit Brabant. Dat is niet alleen een Brabantse vraag, maar ook een zaak van Europa en de wereldmarkt. We investeren in innovatie. Waar je al een concentratie van de agrosector hebt, ontstaat een modern landbouwlandschap. Op een gegeven moment ontstaat kringlooplandbouw, waarbij ook het landschap zal veranderen omdat je meer ruimte nodig hebt en inspeelt op natuurlijke omstandigheden.

De kracht van het concept Van Gogh Nationaal Park is dat je stedelijke ontwikkeling, landbouw en natuur niet meer los van elkaar ziet. Het gedachtegoed van Van Gogh Nationaal Park zie ik onder meer als een verdieping van de Omgevingsvisie van Noord-Brabant. Dit gedachtegoed is een beweging die past bij het tijdperk waarin Brabant zich nu bevindt. De sociale net-

werken rond stedelijke ontwikkeling en de sociale netwerken verbonden aan het landelijke gebied moeten we met elkaar verweven. Dat hebben we de laatste zes jaar welbewust in gang gezet en het masterplan Van Gogh Nationaal Park is een cumulatieve van die beweging. De Landschapstriënnale 2021 heeft dat moment mooi gemarkeerd.”

We hebben nieuwe verhalen nodig over het landschap, met het oog op de grote opgaven. Het oude verhaal van bescherming werkt niet meer. Wat kunnen we van de nieuwe generatie verwachten, die het landschap leert kennen vanachter de computer? “Mam, landschap is iets voor oude mensen”, zei onze jongste dochter toen ze 16 was. Zij schaaft landschap in dezelfde categorie als erfgoed, museum, suf, er mag niets. Dat is zeker ook een kwestie van leeftijd, toen ik 16 was dacht ik misschien ook zo. Naarmate je ouder wordt ga je je meer hechten aan waar je vandaan komt. Je krijgt andere waarden dan jong, wild, snel en toekomst. Voor een deel kun je jonge mensen wel bereiken voor het landschap, voor een deel ook niet. Bij de opleidingen vloeien de vakgebieden steeds meer in elkaar over. Van een afstudeerproject op de Academie voor Bouwkunst kun je bijna niet meer zien of het gemaakt is door een student stedenbouw, architectuur of landschapsarchitectuur. Zij vinden die verbanden vanzelfsprekend. De studenten van nu, de generatie van de digitalisering,



de smartphone en de snelheid, willen het aardse ervaren. Iets maken met natuurlijke materialen. Niet alleen jong, snel, wild, maar ook rust, stilte, bezinning. Ze willen aan de ene kant een bijdrage leveren aan de grote opgaven, en tegelijkertijd het heel dichtbij zoeken, heel tastbaar maken. Andere verhalen dus.”

JOS DEKKER & GEERT DE BLUST



Anne van Kuijk draagt dit interview op aan Paul van Dijk, strateeg bij Waterschap de Dommel, die op 5 juli 2021 na een kort ziekbed overleed. Zijn boodschap uit de film voor het landschapslaboratorium Brabantse Beken voor de Landschapstriënnale 2021 klinkt door in dit interview op YouTube: bit.ly/paulvandijk

Mozaïekcode

Onderdeel van de Landschapstriënnale 2021 (zie kader in LANDSCHAP 1 van dit jaar) was het landschapslaboratorium Brabantse beken. Daarin stond het samenwerken aan het bekenlandschap centraal. Een van de producten is de Mozaïekcode.

Het tapijt van het IABR-BrabantStadatelier verbeeldt het verhaal van de verweving van stad, natuur en landbouw, waarbij de wateropgave centraal staat. Met het verhaal van verweven en de centrale wateropgave is de afgelopen jaren ervaring opgedaan. Die ervaringen zijn bij elkaar gebracht in de Mozaïekcode, onder het motto 'Alles begint met water'. De Mozaïekcode bestaat uit negen tegeltjes, met achter elke tegeltje een toelichting met ervaringen en andere informatie.

1. Ervaar het landschap
2. Trek een cirkel rond het gebied en geef het een naam
3. Laat de logica van het water leidend zijn
4. Koester schoonheid en bewaak kwetsbaarheden
5. Zet een stip op de horizon en werk daar stap voor stap naar toe
6. Benoem de waarden van een gebied en van de gebruikers
7. Dansen met wel 40 partijen in een breed samenspel
8. Schep speelruimte om te kunnen doen
9. Ontmoet elkaar bij de dorpspomp

www.brantsebeken.nl/mozaiekcode

Dansen met 40 partijen

Anne van Kuijk over de Mozaïekcode: "In mijn werk wordt veel bediscussieerd en besloten zonder dat het landschap écht ervaren wordt, zoals tegel 1 bepleit. Ter plekke gaan kijken, het ruiken, voelen, proeven, de lokale kennis benutten, dat is helemaal niet zo vanzelfsprekend.

Een mooi voorbeeld van de dans met 40 partijen, tegel 7, is het project 'De levende Beerze', een gebiedsontwikkeling die al lang gaande is. Een netwerk van lokale gemeenschappen, waterschap en overheden werkt met een gezamenlijke aanpak waarin verantwoordelijkheden, financiële middelen en instrumenten worden gecombineerd. Verhalen, lokale betrokkenheid, kunst in het landschap; alles komt daar samen. Ook hier waren moeilijke fasen, maar nu stroomt het weer. Dat heeft te maken met vertrouwen, urgentie en kansen zien."

www.brantsekempen.eu/portfolio-items/boek-leve-de-kleine-beerze/



Ervaar het landschap!



Trek een cirkel rond het gebied en geef het een naam



Laat de logica van water leidend zijn



Benoem de waarden van het gebied en van de gebruikers



Zet een stip op de horizon en werk daar stap voor stap naartoe



Koester schoonheid en bewaak kwetsbaarheden



Dans met wel 40 partijen in een breed samenspel



Schep speelruimte om te kunnen doen



Ontmoet elkaar bij de dorpspomp

WLO gaat samen met VVM

De WLO sluit zich aan bij de Vereniging van Milieuprofessionals (VVM) en heft zichzelf op als zelfstandige vereniging per 1 januari 2022. De Algemene Ledenvergadering (ALV) van de WLO heeft hiertoe besloten op 4 en 25 juni 2021. Bij de VVM kunnen de succesvolle activiteiten van de WLO voortbestaan: het tijdschrift LANDSCHAP, de Nieuwsbrief en de Academie. De WLO wordt een sectie van de VVM. Van daaruit kunnen zoals van oudsher activiteiten en excursies worden georganiseerd.

Het WLO-bestuur heeft de afgelopen jaren geprobeerd de WLO weer een levendige vereniging te laten zijn. We hebben het congres Het Betwiste Land georganiseerd en nieuwe activiteiten opgezet zoals de Academie voor Landschap. Maar helaas hebben we moeten constateren dat er weinig leven meer zit in de werkgemeenschap. Er worden geen activiteiten ondernomen door de leden en de aanwas van jonge nieuwe leden is miniem. Wellicht speelt de tijdgeest daarbij een rol. Het tijdschrift LANDSCHAP floreert echter en de nieuwe Academie voor Landschap heeft een eerste goede leerlijn gepresenteerd. Financieel staat de WLO er gezond voor, maar de hoge kosten voor administratie bij een teruglopend aantal leden vormen een bron van zorg.

We hebben ons daarom beraden over onze toekomst en zijn als bestuur tot de conclusie gekomen dat het goed zou zijn om aan te sluiten bij de VVM, met behoud van onze activiteiten, producten en leden. Beide organisaties zouden hier voordeel van kunnen hebben. Deze keuze van het bestuur is door de leden tijdens de ALV's onderstreept. In de herfst van 2021 zullen we als bestuur stappen nemen om de vereniging, haar activiteiten en ledenadministratie per 1 januari 2022 onder te brengen bij de VVM.

Alle leden ontvangen een brief van het WLO-bestuur over het besluit om aan te sluiten bij de VVM en de WLO als zelfstandige vereniging op te heffen. Hierin zal ook worden ingegaan op de consequenties voor ieders lidmaatschap. In november volgt nog een ALV om de fusie te bekrachtigen. Wij hopen de transitie zo naadloos mogelijk te laten verlopen.

Het tijdschrift LANDSCHAP gaat in de huidige opzet over. Daarbij blijven redactiestatuut, status van Nederlandstalig wetenschappelijk tijdschrift, redactionele onafhankelijkheid, hoofdredactie en redactie en de aard van de artikelen in principe gehandhaafd. Wel zal de lay-out worden vernieuwd, conform de wensen van de redactie.

LANDSCHAP zoekt een nieuwe hoofdredacteur. Na 10 jaar hoofdredacteurschap wil de huidige hoofdredacteur Jos Dekker andere dingen gaan doen. Voor een functieomschrijving zie <https://www.landschap.nl/tijdschrift/2021-2/hoofdredacteur-landschap>.

Heeft u vragen of interesse? Neem dan contact op met de huidige hoofdredacteur Jos Dekker.

NEL SANGERS
Voorzitter WLO



Herstel van beekdalvenen door vernatting

Effecten na 30 jaar vernatting van het Gasterensche Diep

Beekdalen zijn natte laagten in het landschap, die grondwater draineren en oppervlaktewater afvoeren. Van nature kwamen in beekdalen grondwatergevoede moerassen met veenvorming voor, die afhankelijk waren van stabiele waterstanden rond maaiveldhoogte. Door grootschalige ontwatering en veranderingen in het overstromingspatroon is deze moerasnatuur met veenvorming in beekdalen verdwenen of sterk gedegradeerd. Dit artikel gaat over de mogelijkheden om het hydrologisch functioneren van resterende beekdalvenen te herstellen.

In hydrologisch opzicht komt in beekdalen veel samen. Net als andere landschappen ontvangen ze neerslag en treedt er verdamping op, maar anders dan bij andere landschappen is kwel een belangrijke component van de waterbalans. Deze aanvoer van grondwater zorgt voor een stabiele waterstand rond maaiveld en voor aanvoer van calcium, bicarbonaat en ijzer, die van grote invloed zijn op de basenhuishouding en nutriëntrijkdom. Ook kunnen door de aanvoer van oppervlaktewater overstromingen optreden, waarmee ook weer bepaalde stoffen worden aangevoerd. Vroeger waren veel beekdalen in het laagland zo nat dat veenvorming optrad. Omdat beekdalen al vanaf de Middeleeuwen in agrarisch gebruik waren en in de moderne tijd sterk werden ontwaterd, zijn veel van deze venen letterlijk de lucht ingegaan.

Verdroging van beekdalen leidt niet alleen tot te lage waterstanden en het wegvallen van kwel in het maaiveld, maar ook tot afbraak en inklinking van de veenbodem, wat grote gevolgen heeft voor het reliëf in het beekdal en de fysische eigenschappen van het veen. Dergelijke veranderingen werken door op de hydrologische processen in het veen en kunnen een zeer lange herstelperiode vragen - als ze al omkeerbaar zijn. Herstel van beekdalen vergt dan ook ingrijpende maatregelen in de waterhuishouding, zeker wanneer het doel is om ook een veenvormend systeem te herstellen. Het stoppen van

de lokale ontwatering is een eerste vereiste.

Dit artikel beschrijft de resultaten van onderzoek naar de mogelijkheden om met lokale maatregelen de waterhuishouding in het beekdal te herstellen tot het niveau van ongestoorde beekdalvenen met veenvormende kleine zeggen-slaapmosvegetaties (habitattypen H7140 *Overgangs-* en *trilvenen*). Het onderzoek omvat een casestudie in het Gasterensche Diep, een vernat beekdal in het Drentsche Aa-gebied, en een review van de literatuur over grondwatergevoede venen en hoogvenen (Aggenbach et al., 2021).

Effecten van vernattingsmaatregelen in het Gasterensche Diep

Het Gasterensche Diep is één van de middenlopen in het Drentsche Aa-gebied, een stelsel van beekdalen op het Drentse Plateau waarin gedurende het Holoceen veenvorming heeft plaatsgevonden. Van oorsprong herbergden deze beekdalen een combinatie van doorstroom- en overstromingsvenen, mogelijk met lokale kwelvenen met veendiktes tot 7 m. Gedurende de gehele ontwikkelingsperiode van deze veensystemen was er een beek of een andere vorm van oppervlaktewaterafvoer aanwezig (Candel et al., 2017). Een groot deel van deze beekdalen is nu natuurgebied. Tot eind jaren '90 van de vorige eeuw werden de meeste beekdaltrajecten zwaar ontwaterd door een verdiepte beekloop en een dicht stelsel van sloten en grep-

beekdal
vernatting
hydrologie
moeras
veenvorming

C.J.S. (Camiel) Aggenbach

KWR Water Research
Institute, Postbus 1072,
3430 BB Nieuwegein
camiel.aggenbach@
kwrwater.nl

A. (Arnaut) van Loon

KWR Water Research
Institute

J.J. (Jelmer) Nijp

KWR Water Research
Institute

R. (Rudy) van Diggelen

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen

I. (Iacopo) Ferrario

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen

Foto Camiel Aggenbach.
Taarloosche Diep, Drentsche
Aa-gebied



Figuur 1 Het dal van het Gasterensche Diep en de meetpunten voor waterstand en stijghoogten. De kaartuitsnede van figuur 2 en het transect van figuur 4 zijn ook weergegeven.

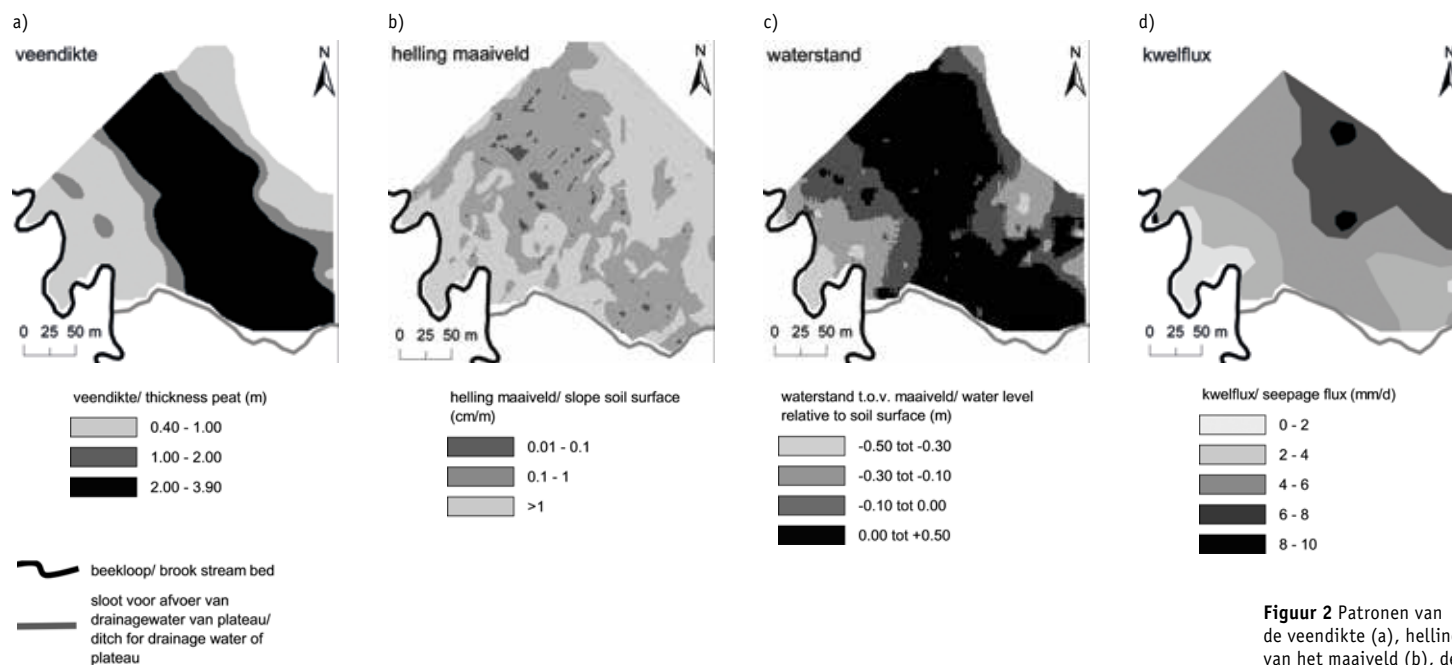
Figure 1 The brook valley Gasterensche Diep and the measurement locations for phreatic water level and pressure head. Also indicated are the map cutout of figure 3 and the transect of figure 4.



pels, waardoor vochtige, soortenarme graslandvegetaties overheersten. Eind jaren '90 is Staatsbosbeheer begonnen met vernatting van de middenlooptrajecten door het dichtten van de detailontwatering (Lammerts et al., 2015), met als doel het herstel tot een meer natuurlijk beekdal met veenvormende moerassen. In het Gasterensche Diep zijn de hydrologische effecten van deze vernatting in meer detail onderzocht (Aggenbach et al., 2021).

Het studiegebied ligt in een 350-500 m breed beekdaltraject van het Gasterensche Diep (figuur 1) dat is opgevuld met een tot 3,9 m dik veenpakket (figuur 2a) waarin de beekloop asymmetrisch aan de voet van de westelijke dalflank ligt. Het grote intrekgebied aan de oostzijde (Hondsrug) is sterk ontwaterd door sloten en buisdrainage, het kleinere intrekgebied aan de westzijde is minder sterk ontwaterd. Het beekdal was doorsneden met een dicht stelsel van diepe sloten (tot ca. 1,5 m diep) en greppels. De beek had door opschonenbeheer een uitgediepte bedding met een beekpeil dat bij lage afvoeren ca. 1,0 tot 1,5 m lager was dan de vlakke delen van het beekdal. Eind jaren '90 werd gestopt met het opschonen van de detailontwatering en in de periode 2004-2008 werden de ontwateringssloten gedempt door deze vanaf de zijkanalen op te vullen met de afgeschraapte toplaag van de veenbodem. Op dit moment zijn vrijwel alle sloten gedempt. Enkele sloten zijn gehandhaafd voor de afvoer van drainage water van de Hondsrug naar de beek. Om het beekpeil te verhogen zijn in de beekbedding in 1997 lage drempels (voordes) geplaatst en in 2008 over relatief korte beektrajecten boomstronken en takkenbossen aangebracht.

De waterhuishouding in het studiegebied is vergeleken met de uitkomsten van hydrologisch onderzoek aan ongestoorde doorstroomvenen (o.a. Succow & Joosten, 2001; Schipper et al., 2007) om te bepalen in hoeverre herstel heeft plaatsgevonden en welke factoren daarbij van



Figuur 2 Patronen van de veendikte (a), helling van het maaiveld (b), de waterstand ten opzichte van maaiveld (c) en de kwelflux (d). Waterstand en kwelflux zijn gemeten in september 2015. Kaartuitsnede: zie figuur 1.

Figure 2 Patterns of peat thickness (a), surface level slope (b), phreatic water level relative to surface level (c) and seepage flux (d). Water level and seepage flux were recorded in September 2015. Map area is indicated in figure 1.

belang zijn. Er is gebruik gemaakt van metingen van waterstanden en stijghoogten uit de periode 1997-2011. In de periode 2016-2019 zijn intensieve metingen uitgevoerd aan waterstand, stijghoogten, kwelfluxen en maaiveldhoogte. Tot en met 2011 is de waterstand gemeten in ondiepe filters van 0,5 m lengte (maximaal tot 1,3 m onder maaiveld) en vanaf 2015 ook in een volledig geperforeerde buis tot 0,5 m onder maaiveld (zie figuur 1 voor locaties). Ook zijn bodemeigenschappen van het veenpakket gekarakteriseerd (C-gehalte, bulkdichtheid, verzadigde doorlatendheid, indringingsweerstand). De metingen zijn gecombineerd en vertaald naar waterbalansen.

Geleidelijke en zelfversterkende vernatting

Vanaf eind jaren '90 is de waterstand in de bovenste

veenlaag geleidelijk gestegen (maximaal 28 cm in de periode 1997-2019 in de sterkst vernatte delen; figuur 3). Deze stijging trad al op voordat de lokale ontwatering was gedicht en wordt toegeschreven aan het stoppen van het slootonderhoud. Opvallend is dat de stijging van de waterstand gepaard gaat met een stijging van het maaiveld door opzwellen van het veen (figuur 3). Op drie peilbuislocaties in sterk vernatte delen bedroeg de berekende gemiddelde maaiveldstijging 0,5 tot 1,5 cm/jaar gedurende de periode 1997-2016. In iets lager (0,1-0,2 m) gelegen delen steeg het maaiveld veel meer dan in de hogere delen, waardoor de beekdalvlakke vlakker en de lokale drainage geringer werd. Omdat het maaiveld nog steeds stijgt (dagelijkse loggermetingen), lijkt deze positieve terugkoppeling tussen stijging van waterstand

en maaiveld nog steeds werkzaam te zijn. De achterliggende oorzaak van de maaiveldstijging zou gasvorming in de bodemtoplaag kunnen zijn. Accumulatie van organisch materiaal is waarschijnlijk niet de oorzaak, omdat het proces van veenvorming daarvoor te langzaam gaat. Bijkomende beekpeilverhogende maatregelen droegen maar in geringe mate bij aan vernatting van het beekdal. Het inbrengen van hout in de beek vond plaats over een klein traject en had ter plekke van de maatregel een tijdelijk verhogend effect van 0,3 m op het beekpeil (Hofstra et al., 2014), dat gezien het verval van het beekpeil ca. 450 m stroomopwaarts doorwerkt. Dit effect is zeer beperkt in vergelijking met het verschil tussen beekpeil en dalvlakte van ca. 1,0-1,5 m. Door afbraak van de ingebrachte takken trad later ook weer een verlagening op van het beekpeil.

Maaiveldhelling als belangrijke factor voor zeer natte condities

In ongestoorde doorstroomvenen is de hellinghoek van het maaiveld over de hele breedte van het dal gering (0,01-1 cm/m) (Succow & Joosten, 2001; Schipper et al., 2007). De geringe helling beperkt de laterale afvoer van water in de veentoplaag en via oppervlaktewater over maaiveld. De grondwaterstand zakt daardoor in droge perioden niet diep onder maaiveld uit. In het Gasterensche Diep heeft ontwatering geleid tot ongelijkmatige maaiveldaling van het veen. In een zone langs de beek en langs een voorheen diepe sloot is de helling daardoor relatief groot (1-10 cm/m; figuur 2b). Het oostelijke deel van de dalvlakte, ver van de beek, heeft juist een zeer geringe helling van 0,01-1 cm/m, vergelijkbaar met die van ongestoorde, zeer natte doorstroomvenen.

De waterstand ten opzichte van maaiveld hangt in het studiegebied sterk samen met de helling van het maaiveld.

Hoge waterstanden aan of boven maaiveld komen vooral voor in de vrijwel vlakke delen met een hoge positie in de dalvlakte, terwijl de waterstand in de sterk hellende zone in de zomer enkele decimeters onder maaiveld uitzakt door een hoge laterale afvoer (figuur 2c). Drainage door de diepliggende beek draagt daar ook aan bij. Dit suggereert dat het patroon van maaiveldhoogte in de gedegradete toestand een belangrijke factor is die van invloed is op de mogelijkheden voor herstel naar weinig fluctuerende waterstanden rond maaiveld.

Grondwatervoeding in ruimte en tijd

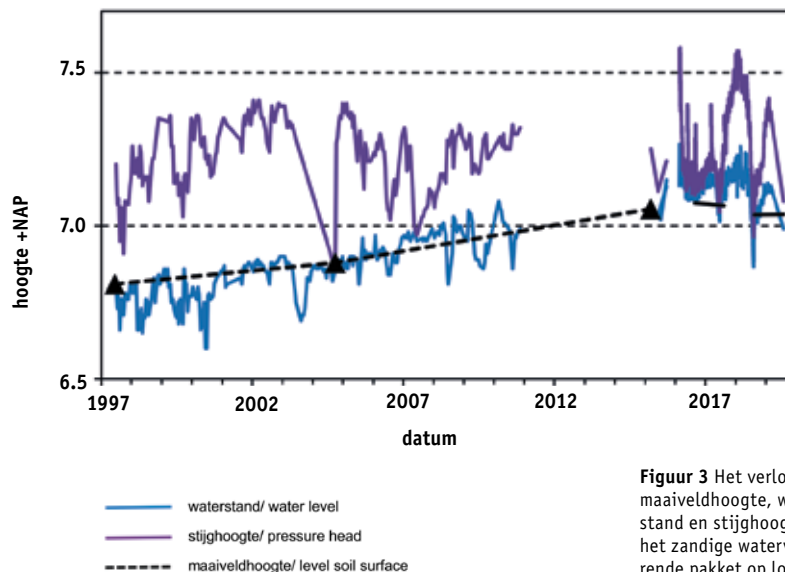
Onder het veenpakket is in de zandige afzettingen een watervoerend pakket aanwezig, waarvan de stijghoogte in het gehele dal en gedurende het gehele jaar boven de freatische waterstand zit. De stijghoogteverschillen zijn groot: in de winters is de druk in het diepe pakket 0,5-1,5 m hoger dan de freatische waterstand, in droge zomers 0,3-1,1 m. Door dit stijghoogteverschil treedt opwaartse stroming van grondwater op naar de wortelzone. Met metingen van het temperatuurprofiel in de bodem en berekeningen met een stationair warmtetransportmodel (Anibas et al., 2011) zijn kwelfluxen bepaald. De kwelflux is het hoogst (6-10 mm/d) in het oostelijk deel van de dalvlakte, ver van de beek (figuur 2d). Dichterbij de beek zijn de kwelfluxen meestal lager (0-4 mm/d). In een groot deel van het studiegebied zijn de kwelfluxen hoog voor een Nederlands beekdal. Ongestoorde doorstroomvenen hebben in een zone aan de dalrand een hoge kwelflux (10-20 mm/d), met verder op de dalvlakte richting de beek zwakke kwel (enkele mm/d), of plaatselijk wegzijging (Schipper et al., 2007; Van Loon et al., 2009). Het ruimtelijke patroon van de kwelflux in het vernatte studiegebied vertoont dus gelijkenis met die van ongestoorde doorstroomvenen. In de dalvlakte van het studiegebied treedt gedurende het gehele jaar kwel

op met afvoer van water over maaiveld. Dit is ook zichtbaar aan de begrenzing van de waterstand iets boven maaiveldniveau (figuur 3). Door een hoge en permanente kwelflux kan er na de uitvoering van vernattingsmaatregelen geen regenwater infiltreren.

Doorlatendheid van het veen

De doorlatendheid van het veen voor waterstroming is een belangrijke factor voor het hydrologisch functioneren van een veensysteem. Het is bepalend voor de kwelflux en belangrijk voor de laterale afvoer van grondwater door de veentoplaag (beide groter bij een grotere doorlatendheid). Op basis van een review van studies in ongestoorde hoog- en laagvenen (Aggenbach et al., 2021) blijkt dat de range van horizontale doorlatendheden in veen zeer groot is (700 - ca. 0,0001 m/d). Metingen aan doorstroomvenen vallen in het hoge bereik van deze waarden. Zeer hoge doorlatendheden tot 130-730 m/d zijn alleen gemeten in de toplaag (ca. 0-0,5 m beneden maaiveld) van hoogvenen met weinig veraard en poreus veen met een vezelstructuur (Nijp et al., 2017). In ongestoorde venen is de doorlatendheid van de toplaag vaak veel hoger dan die van de diepere delen (> 0,5 m onder maaiveld) van het veenpakket: de diepere veenlaag wordt door voortschrijdende decompositie en langdurigere blootstelling aan druk van bovenliggende lagen minder goed doorlatend. De hogere doorlatendheid van de veentoplaag heeft twee belangrijke hydrologische consequenties. Ten eerste kan er bij een waterstand dicht onder maaiveld relatief snel water worden afgevoerd door laterale stroming. De meeste laterale afvoer in het veen zal dan ook plaatsvinden door de toplaag. Ten tweede neemt de doorlatendheid in het bovenste deel van de verzadigde zone af bij een daling van de waterstand. Daarmee zorgt het veensysteem voor een negatieve terugkoppeling op de afvoer van water in droge pe-

riodes: de uitzakking van de waterstand wordt beperkt. Dit mechanisme is ook in hoogvenen belangrijk voor de regulatie van de waterstand (Waddington et al., 2015). In het studiegebied is de doorlatendheid gemeten met pompproeven in filters. In de veentoplaag (0-0,65 m) is de doorlatendhe veel hoger (5-530 m/d) dan in het diepere (0,65-1,85 m) veen (<0,3 m/d). Het diepteprofiel van de verticale gelaagdheid is hierdoor vergelijkbaar met die van ongestoorde hoogvenen. Opvallend is dat dit diepteprofiel tot stand komt bij een sterk gedegradeerde toestand van het veen. In ongestoorde doorstroomvenen is het veen weinig veraard en opgebouwd uit vezels van afgestorven zeggenwortels en slaapmossen. Dergelijk veen heeft een zeer lage bulkdichtheid en een zeer hoge porositeit. In het vernatte studiegebied heeft het veen een hogere humificatiegraad als gevolg van de vroegere, langdurige ontwatering. De toplaag bestaat na vernatting uit veen van vooral fijne organische deeltjes met

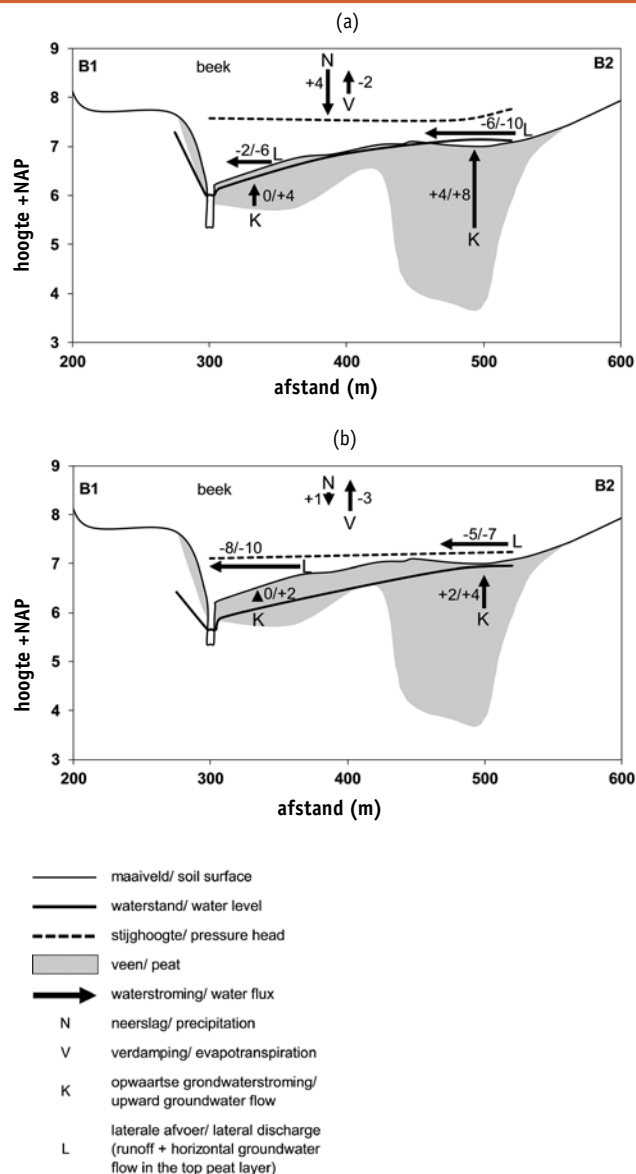


Figuur 3 Het verloop van maaiveldhoogte, waterstand en stijghoogte in het zandige watervoerende pakket op locatie G198 in een sterk vernat daldeel. De meetlocatie is weergegeven in figuur 1.

Figure 3 Trends of soil surface level, phreatic water level and pressure head in the sandy aquifer at location G198 in a strongly rewetted valley part. Location of measurement is indicated in figure 1.

Figuur 4
Waterstand, stijghoogte in het zandige watervoerende pakket en waterbalans in de natte zomer van 2016 (a) en droge zomer van 2018 (b). De lengte van de pijlen voor waterstroming is proportioneel naar de flux, de getallen geven de flux in mm/d. De positie van het transect is weergegeven in figuur 1.

Figure 4 Phreatic water level, pressure head in the sandy aquifer, and water balance in a wet summer of 2016 (a) and dry summer of 2018 (b). The arrow length is proportional to the water flux, numbers indicate the water flux in mm/d. The position of the transect is indicated in figure 1.



een slappe slurrystructuur en een lage bulkdichtheid. Het diepere veen heeft juist een vaste structuur en ook een hoge humificatiegraad. De gemeten doorlatendheid heeft een vrij sterk negatief exponentieel verband met de gemeten mechanische indringingsweerstand ($r^2 = 0,74$), maar nauwelijks met het organischestofgehalte of de bulkdichtheid, zoals wel is gevonden in diverse andere veenstudies (o.a. Boetler, 1969). Ondanks de sterke degradatie van de veentoplaag door de vroegere verdroging kan in het studiegebied door de gelaagdheid van de doorlatendheid toch een belangrijk terugkoppelingsmechanisme werken dat uitzakking van de waterstand beperkt. De zeer hoge doorlatendheid van de toplaag legt overigens wel een belangrijke randvoorwaarde aan een veensysteem op: de helling van het maaiveld moet zeer gering zijn om laterale waterverliezen tegen te gaan en een hoge waterstand te kunnen handhaven. Bij een grotere helling stroomt het water immers veel sneller weg dan het door grondwaterstroming kan worden aangevoerd.

Invloed van meteorologische variatie op waterstand en waterbalans

De studieperiode viel samen met sterke verschillen in het neerslag-verdampingspatroon. In najaar en winter van 2015/2016 en 2017/2018 was het neerslagoverschot hoog, in 2016/2017 juist laag. Voorjaar en zomer van 2016 waren nat, terwijl die van 2017 matig nat en die van 2018 uitzonderlijk droog waren. De verschillen in neerslagoverschot in de winter bleken nauwelijks door te werken in de waterstanden in het veen, die dan rond of iets boven maaiveld liggen. Er is op de onderzochte locatie in de winter altijd een wateroverschot door sterke kwel die over maaiveld wordt afgevoerd. Alleen dicht bij de beek in de sterk hellende zone is de waterstand in drogere winters iets lager (0,1-0,2 m). Verschillen in neer-

slagoverschot in het voorjaar en de zomer werken wel sterk door in de zomerwaterstand (figuur 4). Vooral in 2018 zakte de waterstand in het hele veen enkele decimeters uit. Dit ging samen met een langdurig dieper beekpeil en veel lagere (ca. 0,5 m) stijghoogtes dan in de natere zomers. Dit betekent dat de grondwatervoeding van het regionale grondwatersysteem in de extreem droge zomer te gering was om een waterstand rond maaiveld te kunnen handhaven. De aanvoer van kwelwater halveerde in de droge zomer van 2018 (figuur 4b). In het vlakke deel van de dalvlakte werd dit deels gecompenseerd met een afname van de laterale afvoer. In het sterk hellende deel van de dalvlakte langs de beek nam de laterale afvoer juist toe door een langdurige daling van het beekpeil, als gevolg van een lage afvoer uit het bovenstroomse gebied bij gebrek aan neerslag.

Effecten van vernattingsmaatregelen op overstroming

De lokale vernattingsmaatregelen hadden in het studiegebied weinig invloed op overstroming vanuit de beek omdat de beekpeilverhoging gering en deels ook tijdelijk was. Daarbij hadden de vernattingsmaatregelen weinig effect op de berging van beekwater op maaiveld in de lagere delen van de beekdalvlakte, waar de beek overstroomt bij de veel voorkomende piekafvoeren. Wel is op grote schaal overstroming gaan optreden met oppervlaktewater dat via sloten van de oostelijke dalflank afstroomt. Vóór de herstelmaatregelen kon drainagewater uit het oostelijke intrekgebied via diepe sloten door het dal naar de beek afwateren. Nu zoekt een aanzienlijk deel van dit water in de beekdalvlakte een weg naar de beek over het maaiveld. Dit oppervlaktewater is nutriëntenrijk en zorgt daarmee voor een sterke eutrofiëring van aanzienlijke oppervlakten van zowel gemaaide als niet gemaaide delen. Hier zijn respectievelijk overstro-

mingsgrasland en een vegetatie van riet en grote lisdode ontstaan. Dit frustrereert de ontwikkeling van voedselarme moerasvegetatie, zoals het habitatype H7140 Overgangs- en trilvenen.

Conclusies hydrologische herstelbaarheid van beekdalvenen

Het geselecteerde studiegebied ligt in een beekdal met een voor Nederlandse beekdalen hoge kwelflux. Alleen het dichten van lokale ontwatering zorgde daarom al voor een vergaande vernatting, waarbij in aanzienlijke delen van het dal hoge, weinig fluctuerende waterstanden aan of iets boven maaiveld zijn ontstaan. In beekdalen met lagere kwelfluxen, en zeker in beekdalen die tegenwoordig netto infiltrerend zijn geworden, zijn lokale maatregelen alleen niet afdoende om hoge en stabiele waterstanden te herstellen. In hoeverre in beekdalen met lagere kwelfluxen herstel van moeras- en veenvorming mogelijk is vergt nadere analyse.

Deze studie laat zien dat in beekdalen met een hoge kwelflux de standplaatscondities die in ongestoorde doorstroomvenen worden aangetroffen weer kunnen terugkeren door lokale maatregelen. Een belangrijke succesfactor was dat een deel van de dalvlakte vlak genoeg was, waardoor laterale afvoer en verdamping een groot deel van de tijd in evenwicht zijn met de aanvoer door kwel en neerslag. De ongelijkmatig stijging van het maaiveld maakte de dalvlakte nog vlakker en daarmee is een zelfversterkend vernattingproces in gang zet. Het systeem beweegt nu uit zichzelf de goede kant op. Ook vertoont het verticale doorlatendheidsprofiel van het veen, ondanks de sterke degradatie van het veen in het verleden, gelijkenis met dat van ongestoorde venen. Hierdoor ontstaat een belangrijke negatieve feedback tussen lage waterstanden en laterale afvoer. Dit draagt sterk bij aan een stabiele waterstand rond maaiveld,

mits voldoende grondwater wordt aangevoerd. Het onderzoek laat ook knelpunten zien. Ten eerste is het herstel van stabiele waterstanden in sterk hellende delen in de beekdalvlakte langs de beek gebrekkig. Dit is een gevolg van de maaiveldddaling in de periode met diepe ontwatering, dat zonder verdere ingrepen nog lang zal blijven bestaan. Het reliëf in het beekdal is daarmee een belangrijke sturende factor voor succesvolle vernatting. Bij te grote hoogteverschillen zou een herprofilering van het maaiveld een zinvolle aanvullende maatregel kunnen zijn, bijvoorbeeld door het verwijderen van de veraarde veentoplaag in lokale hoogten en het opvullen van sterk ingeklonken zones met veen of zand. Het onderzoek maakt ook duidelijk dat ingrepen die de maaiveldhelling vergroten, zoals in het verleden wel gedaan is met het aanleggen van ‘afvoerslenken’, uiterst negatieve consequenties kunnen hebben. Een tweede knelpunt is dat de lokale vernattingsmaatregelen in het Gasterensche Diep niet kunnen voorkomen dat in droge zomers de waterstand in het hele beekdal te diep uitzakt. Om dit tegen te gaan zijn twee maatregelen belangrijk. Allereerst dienen zowel de beekbedding als de diepe sloten die water naar de beek afvoeren sterk te worden verondiept, bijvoorbeeld met zandsuppletie. Deze maatregel dient te worden afgestemd op eventuele herprofilering van het maaiveld. Daarmee wordt de diepste drainagebasis in het beekdal sterk verhoogd en kan het beekpeil ook bij een lage afvoer niet meer diep uitzakken. Een beekbedding dicht aan maaiveld leidt tot een stabiele waterstand rond maaiveld in de vlakke delen van de dalbodem en zal ook sterk bijdragen aan de ecologische kwaliteit van de beek. Deze maatregel kan ook een ontwikkeling naar een meer diffuus stromende ‘moerasbeek’ initiëren, een beektype dat nauwelijks is verdwenen uit de Benelux (Aggenbach et al.,

2009). Een tweede maatregel is het verminderen van de ontwatering in het intrekgebied. Vooral in zones langs het beekdal kan deze maatregel effectief zijn. Een derde knelpunt dat naar voren komt uit deze studie, is dat vergaande lokale vernattingsmaatregelen gepaard kunnen gaan met afstroming van nutriëntenrijk oppervlaktewater over maaiveld in het beekdal vanaf de dalflank. Het maakt duidelijk dat herstel van de waterhuishouding van beekdalen moet samengaan met het verminderen van de belangrijke nutriëntenstromen in het omringende landschap.

Het onderzoek laat zien dat er perspectief is voor hydrologisch herstel van grondwatergevoede doorstroomvenen in beekdalen met voldoende kwel. Vernatting van beekdalen kan daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan herstel en uitbreiding van laagveenmoerassen met voor biodiversiteit belangrijke natuurypten.

Dit onderzoek is gefinancierd door OBN (OBN 2014-65-BE), Staatsbosbeheer en Waterschap Hunze & Aa's.

Summary

Restoration of brook valleys by rewetting
Camiel Aggenbach, Arnaut van Loon, Jelmer Nijp, Rudy van Diggelen & Iacopo Ferrario

brook valley, rewetting, hydrology, mire, peat formation

Restoration of peat-forming systems in drained brook valleys requires hydrological measures. Based on a case study in a rewetted brook valley and literature review, we investigated the possibilities to restore the hydrology of drained brook valleys to the level of undisturbed percolation mires by removing local drainage. Due to a high seepage flux, it is possible to realise a water level close to surface level in the flat parts of a brook valley. In sloping parts this failed because of substantial lateral dis-

charge. Due to the swelling of the peat, a self-reinforcing rewetting process occurs. The high saturated conductivity of peat top layer and the lower values in the deeper peat in undrained peatlands causes a negative feedback of low groundwater levels on the lateral discharge. In an extremely dry summer, the water level in the entire brook valley area dropped decimetres below surface level due to a strong decrease in seepage flux and an increase in lateral discharge in the sloping zone along the brook. A deep streambed of the brook and strong drainage in the infiltration area contribute to this. The results indicate that there is perspective for hydrological restoration of groundwater-fed percolation mires in stream valleys with the precondition of strong seepage.

Literatuur

Aggenbach, C.J.S., D. Groenendijk, R.H. Kemmers *et al.*, 2009. Preadvies Beekdallandschappen. Knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen. Den Haag. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis. Rapport DK nr. 2009/dk107-0.

Aggenbach, C.J.S., Loon A., I. Ferrario *et al.*, 2021. Waterhuishouding van herstellende beekdalvenen. Ontwikkeling, bepalende factoren en mogelijkheden voor herstel. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren (VBNE). Rapport OBN-244-BE.

Anibas, C., K. Buis, R. Verhoeven *et al.*, 2011. A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater-surface water interaction. *Journal of Hydrology* 397: 93-104.

Boelter, D.H., 1969. Physical Properties of Peat as Related to Degree of Decomposition. *Soil Science Society of America* 33: 606-609.

Candel, J.H.J., B. Makaske, J.E.A. Storms *et al.*, 2017. Oblique aggradation: a novel explanation for sinuosity of low-energy streams in peat-filled valley systems. *Earth Surface Processes and Landforms* 42: 2679-2696.

Lammerts, E.J., H. Offringa, R. Postma *et al.*, 2015. Het Drentsche Aa-gebied: een voortdurende uitdaging voor het terreinbeheer. *De Levende Natuur* 116 (3): 92-97.

Loon, A.H. van, P.P. Schot, J. Griffioen *et al.*, 2009. Paleohydrological reconstruction of a managed fen area in The Netherlands. *Journal of Hydrology* 378: 205-217.

Nijp, J.J., K. Metselaar, J. Limpens *et al.* 2017. A modification of the constant-head permeameter to measure saturated hydraulic conductivity of highly permeable media. *MethodsX* 4: 134-142.

Schipper A.M., R. Zeefat, F. Tanneberger *et al.*, 2007. Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia). *Plant Ecology* 193: 131-145.

Succow M. & H. Joosten, 2001. *Landschaftsökologische moorkunde*. Stuttgart. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 622 pp.

Waddington, J.M., Morris, P.J., Kettridge *et al.*, 2015. Hydrological feedbacks in northern peatlands. *Ecohydrology* 8: 113-127.



Impact van vermest grondwater op kwelafhankelijke natuur

Modelstudie voor het Bunder- en Elslooërbos

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

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

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

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

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

nutriënten
modellering
stroombanen
kalktufbron
kalkmoeras

H. (Rikje) van de Weerd

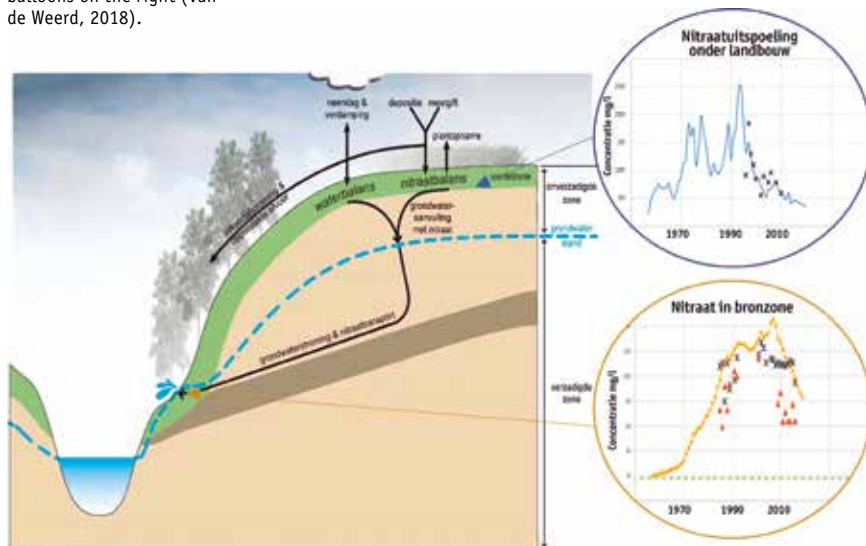
Rechobot – Water & Kennis, Eykmanstraat 1, 6706 JT Wageningen, rikje.vandeweerd@rechobot.nl

L. (Leo) Spoormakers Provincie Limburg

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

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

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



Systeembeschrijving

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

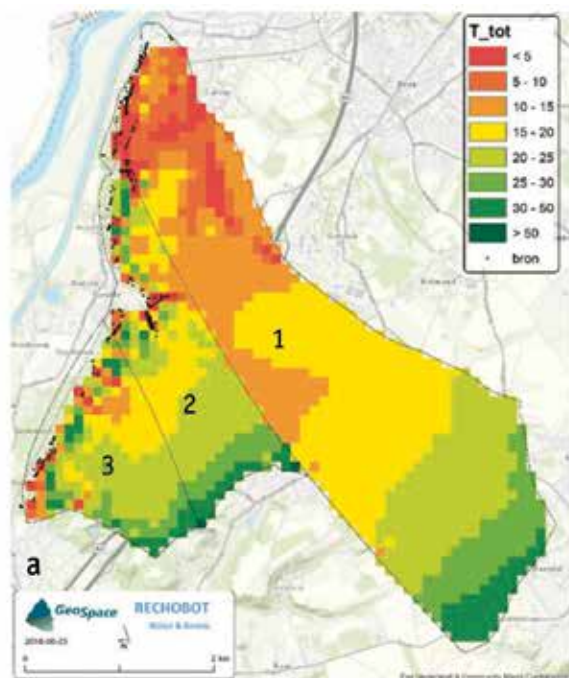
Over ondoorlatende kleilagen in de ondergrond stroomt het grondwater in noordwestelijke richting en dagzoomt in honderden bronnen bij de aansnijding van de kleila-

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

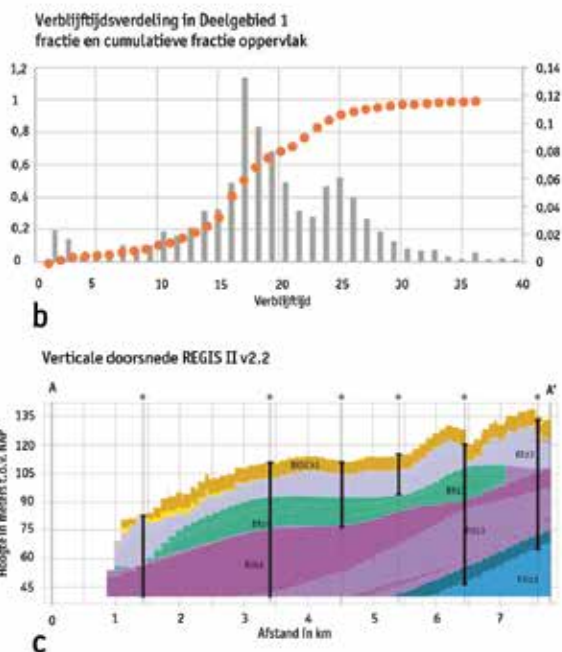
Op basis van de geologie zijn de contouren van het intrekgebied, met verschillende deelgebieden, afgeleid. Het intrekgebied is ca. 1500 ha groot. Deelgebied 1 is met ca. 1000 ha het grootst. Voor dit gebied wordt op basis van het gemiddeld neerslagoverschot van 200 mm/j een infiltratie van ca. 67 l/s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

Historische ontwikkeling van de waterkwaliteit

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



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



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

Ecologische randvoorwaarden en knelpunten

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

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

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

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

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

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

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

Modelonderzoek

Methode

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

Modelinstrumentarium

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

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

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

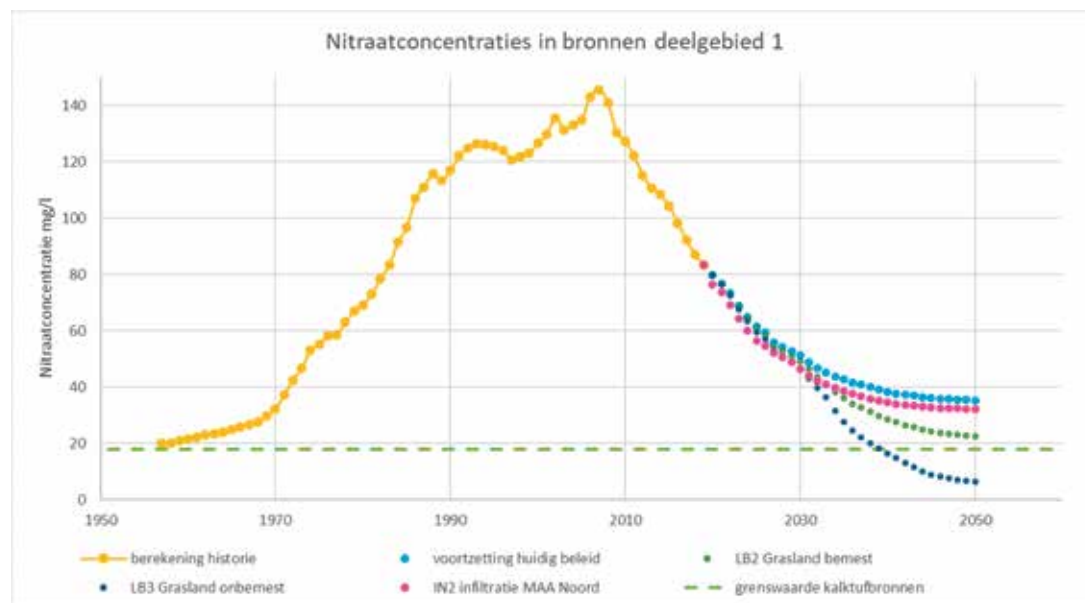
Resultaten

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

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

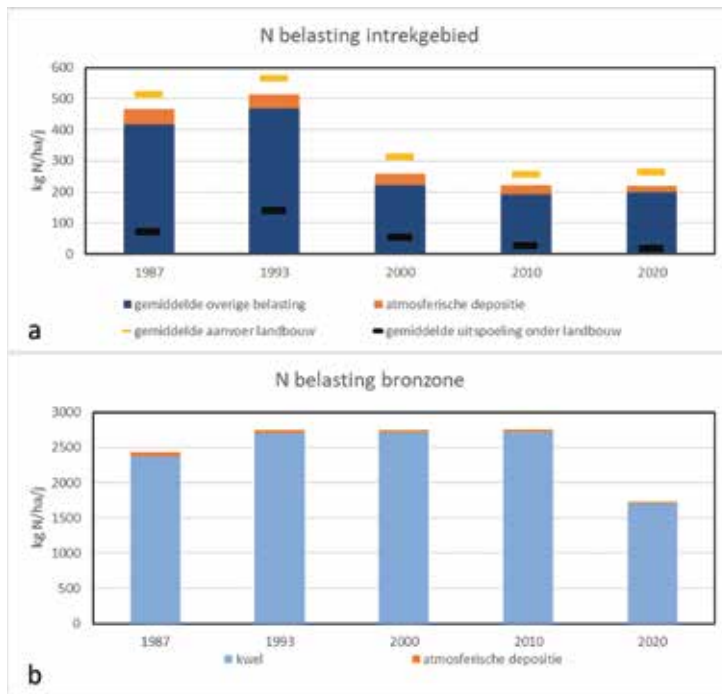
de eerste mestmaatregelen vanaf 1987 is het gebruik van mest steeds meer aan banden gelegd in Nederland (o.a. Van de Broek, 2005). In het studiegebied was pas vanaf ca. 1994 sprake van verminderde bemesting en een daling van de uitspoelingsconcentraties. De nitraatgehaltes in de bronnen reageerden daar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

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



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

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



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

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

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

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

Impact van depositie en waterfluxen op natte natuur

Aanvoer van nutriënten naar natte natuur vindt plaats via kwel en atmosferische depositie. Met de stikstofgegevens uit het model en beschikbare depositiegetallen kan de totale belasting van stikstof in de bron- en kwelzones in de tijd in beeld gebracht worden. Figuur 4 geeft een overzicht van de stikstofaanvoer in zowel het intrekgebied als de bronzone van deelgebied 1.

De totale belasting van stikstof in de bronzone is 5 tot 12 keer hoger dan de stikstofbelasting in het intrekgebied. Doordat water afkomstig uit een groot intrekgebied (1000 ha) een relatief kleine bronzone (20 ha) voedt, is de gemiddelde kwelflux (26 mm/d) groot en daarmee ook de nitraatvrucht. Vanuit het intrekgebied wordt niet de totale belasting afgevoerd. Er is sprake van verlies via denitrificatie in de bodem maar vooral ook van afvoer via gewas op landbouwgronden. De berekende uitspoeling onder landbouwgrond is een goede weergave van de hoeveelheid stikstof die met het geïnfilterde water op weg gaat richting de bronnen.

Stikstofbelasting van vegetatie

De kritische depositiewaarden van stikstof voor de habitattypen kalkmoerassen en beekbegeleidende vochtige alluviale bossen betreffen resp. 16 en 26 kg N/ha/j (van Dobben *et al.*, 2012).

Door de regionale daling van de atmosferische depositie vanaf 1987 van 49 tot ca 18 kg N/ha/j wordt deze kritische depositiewaarde niet of nauwelijks meer overschreden. De stikstofbelasting via kwel is echter tot meer dan een factor 100 hoger in dit gebied (figuur 4b). De stikstofbe-

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

Afbraak van veen en moerige bodems

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

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

Conclusies

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

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

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

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

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

Summary

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

Rikje van de Weerd & Leo Spormakers

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

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

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

Literatuur

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



Beekdallandschappen in beweging

De weg vooruit

Op 19 oktober 2020 verscheen de rapportage 'State of Nature in the EU' (EEA, 2020), waarin gesteld wordt dat op Europees niveau maar liefst 81% van de habitats in slechte staat verkeert, waarbij veengebieden, graslanden en duinhabitats het meest achteruitgaan. Ontginning, verdroging en vermessing hebben ook in beekdalvenen in de Lage Landen gezorgd voor een enorme achteruitgang in biodiversiteit en een forse toename van de uitstoot van broeikasgassen naar de lucht en nutriënten naar het oppervlaktewater. Gezien de huidige klimaat- en biodiversiteitscrisis staan we meer dan ooit voor een keuze: breken we het veen verder af of kiezen we voor natuurherstel en vergroting van de ecosystemendiensten die beekdalvenen leveren?

De Algemene Verzameling van de Verenigde Naties heeft op 1 maart 2019 resolutie 73/284 aangenomen, waarin de periode 2021-2030 wordt uitgeroepen tot 'decade of restoration'. Zowel zoetwater (freshwaters) als veengebieden (peatlands) worden expliciet genoemd als twee van de acht habitattypen waarbij herstel broodnodig wordt geacht. De reactie op de oproep van de VN was overweldigend: een inventarisatie van het Nederlandse Planbureau voor de Leefomgeving in november 2020 (Sewell et al., 2020) liet zien dat er op dat moment toezeggingen waren voor het herstel van ca. 1 miljard hectare gedegradieerd habitat: een gebied ter grootte van China. De Europese Commissie (EC) zet nog concretere stappen met de lancering van de zogenoemde Green Deal in december 2019 (EC, 2019), met als doel om van Europa een duurzaam continent te maken. De EC wil onder andere bindende afspraken maken voor het herstel van ecosystemen en ecosystemendiensten. Voor biodiversiteitsherstel wil de EC 30% van het land- en zeeoppervlak beschermen en waar nodig herstellen. Als expliciet beleidsdoel wordt herstel van 25.000 kilometer beken en rivieren benoemd, naast het beschermen en herstellen van koolstofrijke ecosystemen zoals veengebieden. Om deze

ambitieuze doelen te bereiken wil de EC 20 miljard euro per jaar beschikbaar stellen.

Beekdalsystemen kunnen bij uitstek veel bijdragen aan de klimaatdoelen, het versterken van koolstofopslag, het verduurzamen van het waterbeheer en het verbeteren van de biodiversiteit. Als we de uitstoot van broeikasgassen in 2050 tot nul willen reduceren, zoals vastgelegd in het klimaatverdrag van Parijs, is ontwatering van veengebieden op termijn niet meer mogelijk. Klimaatbeleid, gericht op het vasthouden of vergroten van de koolstofvoorraad in de bodem, is gebaat bij constant hoge waterstanden rond maaiveld. Elke afwijking leidt tot een vergroting van broeikasgasemissies (Tanneberger et al., 2021). Dit betekent dat alle verdroogde en verdrogende beekdalvenen moeten worden vernat, ongeacht het gekozen hersteldoel.

Hydrologisch herstel

Herstel van verdroogde beekdalvenen betekent allereerst vernatting. Omdat een beekdal hydrologisch gezien onderdeel is van het hele stroomgebied (Krause et al., 2007) hebben lokale aanpassingen aan de hydrologie van de beek zelf meestal slechts een beperkt effect (zie Aggenbach et al., dit nummer). Integraal hydrolo-

natuurherstel
vernatting
streefbeeld
ecosysteemdiensten
nature-based
solutions

R. (Rudy) van Diggelen

Onderzoeksgroep
Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen,
Universiteitsplein 1C, 2610
Wilrijk (België),
ruurd.vandiggelen@
uantwerpen.be

P.F.M. (Piet) Verdonschot

Onderzoeksgroep
Zoetwaterecosystemen,
Wageningen Environmental
Research

Foto **Gertjan van Noord**.
Beekdal bij Berlicum,
waar de Aa opnieuw
meanderend is aangelegd.

Figuur 1 Biebrza, Polen. Een relatief ongestoord natuurlijk beekdal, zoals die in oostelijk Europa nog voorkomen. Foto Frank Vassen.

Figure 1 Biebrza, Polen. A relatively undisturbed natural stream valley, as still occur in eastern Europe. Photo Frank Vassen.



gisch herstel van het hele beekdal is een randvoorwaarde voor succes. In hydrologische termen betekent dat: vasthouden, bergen en vertraagd afvoeren van water. Vasthouden vindt vooral plaats in de bovenstroomse gebieden, infiltratiegebieden en op de flanken van beekdalen. Het houdt in dat het water in de bodem wordt opgeslagen en via het grondwater en zogenaamde diffuse afvoersystemen (doorstroom- en beekbegeleidende moerassen) traag naar de beken stroomt. Om interne ontwatering in de infiltratiegebieden en de beekdalen te stoppen moeten sloten en greppels worden gedicht. In de beken kan de afvoer worden vertraagd door hermeandering, maar vooral door het vergroten van water-

berging - lees overstrooming - in met name de midden- en benedenstroomse beekdalen. Het is dan ook zaak de beek meer ruimte te geven dan nu gebruikelijk is, bijvoorbeeld door beekdalzones toe te wijzen waar overstroomingen worden geaccepteerd.

Hierbij rijst de vraag tot welk niveau de hydrologie moet worden afgeregeld. Elke lokale verandering in de waterstand heeft gevolgen voor aangrenzende, vaak veel grotere gebieden én voor andere doelen en ecosysteemdiensten dan die waarvoor de waterstand in eerste instantie wordt aangepast. Maximaal vernatten is hier het devies. In operationele termen houdt dit in: het herstellen van de natuurlijke hydrologische processen, passend bij

het betreffende beekdallandschap. Omdat dit vaak niet maximaal kan moet een balans worden gezocht tussen het bereiken van een optimaal functioneren van het beekdal in relatie tot de andere gebruiksdoelen, zoals klimaatmitigatie, biodiversiteit en medelandgebruik. Maar steeds vanuit het principe ‘functie volgt water’: water is bepalend, de andere gebruiksfuncties volgen.

Streefbeelden

Bij iedere landschapsinrichting wordt een streefbeeld ontworpen. Feitelijk zijn al deze beelden terug te voeren op drie basisbeelden (Swart et al., 2001), al dan niet in combinatie: (1) het geheel *natuurlijke*, niet door de mens beheerde wildernislandschap (zie figuur 1); (2) het *half-natuurlijke*, minder intensief door mensen gebruikte arcadische landschap en (3) het *intensief gebruikte* utiliteitslandschap. In een benadering van ‘functie volgt water’ bestaan deze drie typen niet naast elkaar, maar vormen een hiërarchische reeks waarbij het natuurlijke beeld leidend is en, afhankelijk van maatschappelijke weging, het halfnatuurlijke en soms het intensief gebruikte landschap prevaleert. Hoe hoger in deze hiërarchie, hoe meer wordt bijgedragen aan klimaat-, biodiversiteits- en waterbeheerdoelen (tabel 1).

Het *natuurlijke* beekdallandschap wordt vooral gekarakteriseerd door grootschalige processen. Herstel richt zich daarom vooral op het weer op gang brengen van zulke processen, zoals herstel van de landschapshydrologie in kwel- en inzigggebieden, de aanleg van bufferzones langs beekdalflanken om oppervlakkige toestroming van nutriënten vanuit hogere gronden te voorkomen en herstel van de beek zelf door deze te verondiepen en kades te verwijderen. In een *halfnatuurlijk* beekdallandschap zijn de grootschalige gradiënten van de natuurlijke landschappen grotendeels opgesplitst en worden lokale processen steeds belangrijker. Lokale

ECOSYSTEEDIENST	ONTWATERD BEEKDAL			
	NATUURLIJK	HALF-NATUURLIJK	NATTE LANDBOUW	ONTWATERD BEEKDAL
Regulatie wateraanvoer en waterveiligheid	++	++	++	--
Koolstofopslag	++	-	0/+?	--
Biodiversiteit	++	++	0/-	-
Landbouwkundig gebruik	--	0/+	++	++

herstelmaatregelen, zoals aanpassingen in het maaibeheer of afvoer van nutriënten door te plaggen, kunnen in dergelijke systemen tot goede resultaten leiden. Ook het *intensief gebruikte landschap* behoeft aanpassingen om meer duurzaam te worden met betrekking tot waterveiligheid, waterkwaliteit, biodiversiteit en klimaat. Dit gaat echter niet samen met de huidige landbouwtechnieken. *Paludicultuur* of ‘natte landbouw’ (Wichtmann et al., 2016), waarbij gewassen zoals riet, lisdodde of veenmos worden geteeld, lijkt veelbelovend. Deze vorm van landbouw staat echter nog in de kinderschoenen en een aantal problemen wacht nog op een oplossing, zoals het rendement en het realiseren van een hoge productie zonder de beekdalen te belasten met nutriënten.

Meer dan hydrologisch herstel

Ieder beekdallandschapsherstel is na hydrologisch herstel nog niet af. De veenbodems blijven sterk veranderd door langdurige ontwatering en het ophopen van nutriënten en mineralen (Emsens et al., dit nummer; Smolders et al., dit nummer). Ook heeft de ontwatering grote invloed gehad op de bodemstructuur, waardoor ook waterberging, capillaire opstijging en opzwellver-

Tabel 1 Het effect van verschillende inrichtings-scenario's op geleverde ecosysteemdiensten. ++: sterk positieve invloed; +: positieve invloed; 0: geen invloed; -: negatieve invloed; --: sterk negatieve invloed.

Table 1 Effect of alternative landscape development scenarios on ecosystems delivered. ++: highly positive effect; +: positive effect; 0: no effect; -: negative effect; --: highly negative effect.

mogen sterk afwijken (Aggenbach *et al.*, dit nummer). Na vernatting verschilt de abiotiek op standplaatsniveau nog steeds sterk van die in de oorspronkelijke open, grotendeels door bladmossen gedomineerde venen, maar hij wijkt ook af van de daaruit ontstane halfnatuurlijke blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden. Hydrologisch herstel alleen leidt op korte termijn dan ook in vrijwel geen enkel geval tot de terugkeer naar een vroegere situatie.

Het hersteldoel natuurlijke beekdalen is het meest veelzijdig ten aanzien van stabiele waterstanden en hydrochemische condities. Herstel van open beekdalvenen is op dit moment dan ook niet mogelijk zonder beheer of zeer ingrijpende inrichtingsmaatregelen zoals het afgraven van de veraarde bovenlaag. In combinatie met een hoge kweldruk kan afgraven tot op het onveranderde veen echter wel de kans op hernieuwde veenvorming sterk vergroten.

Wanneer dergelijke ingrepen achterwege worden gelaten en bestaand beheer simpelweg wordt beëindigd ontwikkelt zich een elzenbroekbos, via een tussenfase met wilgenstruweel, waarbij de kwaliteit van het biodiversiteitsherstel in grote mate wordt bepaald door de hydrologie (Smolders *et al.*, dit nummer).

Het doel halfnatuurlijke vegetaties heeft een grotere bandbreedte ten aanzien van waterregime en nutriëntenbeschikbaarheid. Een groot probleem is echter dat veel soorten verdwenen zijn, zowel uit de vegetatie als ook uit de ondergrondse zaadbank (Klimkowska *et al.*, 2010), terwijl tegelijkertijd dispersie in het huidige gefragmenteerde landschap sterk is afgenomen (Ozinga *et al.*, 2009). Relevante aandachtspunten zijn hier dan ook versterking van verbindingen tussen natuurgebieden en herintroductie van soorten wanneer potentiële bronpopulaties van verdwenen soorten in de regio ontbreken. Een extra aandachtspunt is het met nutriënten belaste

landbouwwater dat bij inundaties over het veenoppervlak stroomt en daar voor verruiging en waarschijnlijk tot een hogere uitstoot van broeikasgassen leidt (Bhullar *et al.*, 2014). Hier zijn verdergaande waterkwaliteitsverbeterende maatregelen in het stroomgebied nodig, die parallel met het beekdalherstel moeten worden uitgevoerd.

Prioritering

De verschillende landschapsbeelden leveren ook verschillende ecosysteemdiensten. Tabel 1 laat zien dat de huidige, sterk ontwaterde situatie vrijwel alleen agrarische waarden oplevert, terwijl de andere landschapsbeelden ook positief scoren op diensten op het vlak van water, klimaat en biodiversiteit. Wildernisontwikkeling voegt op deze domeinen het meeste toe, gevolgd door het halfnatuurlijke scenario. Het intermediaire paludicultuur-utiliteitsscenario ('natte landbouw') voegt meer toe aan agrarische waarden. Letten we daarentegen op ruimtebeslag en haalbaarheid, dan stelt het wildernisscenario de hoogste eisen. Veenontwikkeling in beekdalen is pas mogelijk wanneer grotere aaneengesloten oppervlaktes zijn vernat. Herstel van natuurlijke beekdalen is daarmee vooralsnog slechts op een klein aantal plekken praktisch realiseerbaar. Tegelijk betekent dit ook dat dit scenario de hoogste prioriteit dient te krijgen op plekken waar het wél te realiseren is. Het halfnatuurlijke scenario stelt minder strenge hydrologische eisen en is gemakkelijker inpasbaar in bestaand landgebruik. Tenslotte stelt paludicultuur de laagste omgevingseisen. Feitelijk gaat het daarbij vooral om vernatting, waarbij de oorsprong van het water nauwelijks ter zake doet. Met technische aanpassingen is een dergelijke vorm van landgebruik ook vrij kleinschalig inpasbaar in bestaande situaties.

Summary

Stream valley landscapes in motion – the way ahead Rudy van Diggelen & Piet Verdonschot

nature restoration, rewetting, vision, ecosystem services, nature-based solutions

Stream valleys are highly suitable to fulfil a rapidly growing list of policy demands and their restoration will yield significant contributions to climate, water and biodiversity goals. To clarify how this can be achieved, we formulated three alternative visions for stream valley restora-

tion: wilderness (natural), arcadian (semi-natural) and utilitarian (wet agriculture). We conclude that from a climate, water and biodiversity point of view, all drained stream valleys should be rewetted and provided with buffer zones. This is only possible when the whole landscape hydrology is restored. Various design scenarios are conceivable in which the associated preconditions lead to the following prioritization: natural > semi-natural > wet agriculture with buffer zones.

Literatuur

Bhullar, G.S., P.J. Edwards & H. Olde Venterink, 2014. Influence of different plant species on methane emissions from soil in a restored Swiss wetland. *PLoS ONE* 9: e89588.

European Environment Agency, 2020. State of nature in the EU. Results from reporting under the nature directives 2013-2018. Luxembourg. Publications Office of the European Union, EEA Report 10/2020.

Europese Commissie, 2019. Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Europese Raad, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's: De Europese Green Deal. Brussel, 11-12-2019.

Klimkowska, A., R.M. Bekker, R. Van Diggelen *et al.*, 2010. Species trait shifts in vegetation and soil seed bank during fen degradation. *Plant Ecology* 206: 59–82.

Klimkowska, A., D.J.D. van der Elst & A.P. Grootjans, 2015. Understanding long-term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science* 18: 110–120.

Krause, S., A. Bronstert & E. Zehe, 2007. Groundwater-surface water interactions in a North German lowland floodplain - Implications for the river discharge dynamics and riparian water balance. *Journal of Hydrology* 347: 404–417.

Ozinga, W.A., C. Römermann, R.M. Bekker *et al.*, 2009. Dispersal failure contributes to plant losses in NW Europe. *Ecology Letters* 12: 66-74.

Sewell, A., S. van der Esch & H. Löwenhardt, 2020. Goals and commitments for the restoration decade. A global overview of countries' restoration commitments under the Rio conventions and other pledges. Den Haag. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, report 3906.

Swart, J.A.A., H.J. van der Windt & J. Keulartz, 2001. Valuation of Nature in Conservation and Restoration. *Restoration Ecology* 9: 230–238.

Tanneberger, F., L. Appulo, S. Ewert *et al.*, 2020. The Power of Nature-Based Solutions: How Peatlands Can Help Us to Achieve Key EU Sustainability Objectives. *Advanced Sustainable Systems* 5.

Wichtmann, W., C. Schröder & H. Joosten, 2016. Paludiculture - productive use of wet peatlands. Stuttgart. Schweizerbart Science Publishers.

De ontdekking van de natuur

Jan Luiten van Zanden, Thomas van Goethem, Rob Lenders & Joop Schaminée, 2021. De ontdekking van de natuur. De ontwikkeling van biodiversiteit in Nederland van ijstijd tot 21ste eeuw. Amsterdam, Prometheus, 330 pagina's. € 24,99. ISBN: 978 90 446 47341.

Ooit leefde de mens in een paradijselijke harmonie met de natuur, maar door landbouw en techniek heeft de mens de biodiversiteit ernstig aangetast. Deze wijdverbreide opvatting willen de auteurs van dit boek nuanceren. Dit doen zij met een



indrukwekkend overzicht van de ontwikkeling van de biodiversiteit van ijstijd tot nu. Het boek is geen puur ecologisch verhaal, maar integreert geschiedenis (met name de economische geschiedenis) en ecologie. De schrijvers richten zich vooral op Nederland, dat, zo constateren zij, verrassend veel variatie biedt op een kleine oppervlakte. Biodiversiteit, 'de rijkdom van de natuur', vatten zij daarbij breed op: het omvat het aantal soorten, de omvang van populaties, de zeldzaamheid van soorten én de vervangbaarheid. Dat doen ze overigens zonder in te gaan op discussie over de waarden die hiermee verbonden zijn, of op de politieke betekenis van het concept biodiversiteit.

Het boek onderscheidt vier perioden, waarin de mens achtereenvolgens optreedt als jager-verzamelaar, die de megafauna heeft uitgeroeid; als landbouwer, die het areaal bos drastisch heeft teruggebracht; als schepper van halfnatuur, die een biodivers weidelandschap heeft gecreëerd en ten slotte als industrieel, die de laatste woeste gronden heeft ontgonnen. De schrijvers concluderen dat het optreden van de mens heeft geleid tot een groot verlies aan biodiversiteit. Maar zij zien ook minder ongunstige ontwikkelingen voor de biodiversiteit, bijvoorbeeld in de halfnatuurlijke landschappen die juist het gevolg zijn van menselijk ingrijpen.

Ook vinden zij het gunstig dat mensen meer belangstelling voor de waarde van de natuur hebben gekregen en meer investeren in natuurbescherming.

De waarde van het boek zit hem echter niet in het onderscheiden van deze grote lijnen. De schrijvers willen nuanceren en dat doen ze in vele, zeer leesbare kleinere verhalen aan de hand waarvan de vier perioden worden beschreven. Het verhaal van de mus, van de kastanje, van de zwarte kraai, van het konijn, het zijn maar een paar voorbeelden.

Het boek eindigt met een belangwekkend onderscheid tussen de eerste en tweede domesticatie. De eerste domesticatie van de natuur was gericht op het verkrijgen van voedsel en andere nuttige producten. Tijdens de huidige, tweede domesticatie is ingrijpen juist gericht op het behouden van biodiversiteit. Dit levert de paradoxale situatie op dat het beschermen van natuur samengaat met een proces van 'verdierentuinen', althans in Nederland. Die situatie moeten we echter accepteren, aldus de schrijvers. We leven nou eenmaal in het antropoceen en dat brengt verantwoordelijkheden met zich mee. De biodiversiteit kan stabiliseren of herstellen, als mensen het willen.

WIM DE HAAS

Natuurschoon als verbindend begrip

Lange tijd was het gebruikelijk om dat wat wij als natuurliefhebbers proberen te beschermen aan te duiden als 'natuurschoon'. De eerste inventarisatie van waardevolle Nederlandse natuurgebieden, uitgebracht in 1939 en gebaseerd op een lijst van Jac. P. Thijsse, heette dan ook 'Het Voornaamste Natuurschoon in Nederland'. Daarna is de term uit de gratie geraakt. Hij heeft plaatsgemaakt voor 'ecologische waarden' en vervolgens 'biodiversiteit'. Deze column is een pleidooi voor eerherstel, omdat natuurschoon bij uitstek het begrip is dat de verschillende motieven van natuurbescherming kan verbinden.

Om te beginnen verbindt natuurschoon dieren, planten en landschap. In onze beleving van natuur, bijvoorbeeld tijdens een wandeltocht, zijn die voortdurend samen aanwezig, in een spel van voorgrond en achtergrond, individu en groter geheel, spontane beweging en blijvend beeld. Juist dit samenspel maakt natuurbeleving zo rijk. Natuurschoon is daarvoor een geschikte noemer.

Natuurschoon verbindt ook biologische en cultuurhistorische waarden. Dat heeft alles te maken met de leesbaarheid van het landschap. Zoals soortenkennis diepgang geeft aan onze beleving van dieren en

planten, zo maakt cultuurhistorische kennis onze verbondenheid met natuur in de tijd zichtbaar. Beide vormen van diepgang dragen bij aan de schoonheid van natuur.

Hoe zit dat met ethische waarden van natuur? Dat is een meer complexe vraag. Maar als we schoonheid opvatten in haar diepere betekenis – zoals de filosoof Kant dat doet – dan denk ik dat natuurschoon ook een brug slaat naar ethische waarden van natuur. Schoonheid is dan iets waarvan we belangeloos genieten, zonder bijgedachten of concrete voordelen. In actuele termen: het maakt natuur waardevol ongeacht de specifieke voordelen die we kunnen ontleen aan ecosysteemdiensten.

En verder verbindt natuurschoon biologen met alle andere natuurliefhebbers - natuuronderzoekers met natuurbezoekers. Laat er geen misverstand over bestaan: natuuronderzoekers worden meestal nog sterker gedreven door het genieten van natuurschoon dan andere natuurliefhebbers. Voor wie dat wil zien, staat schoonheid – impliciet of expliciet - met hoofdletters geschreven boven elke natuurdocumentaire en elk veldbiologisch verslag.

En biodiversiteit dan? Dat is wellicht een handige paraplu-term, een wetenschappelijke grootste gemene deler. Maar na-

tuurbeschermingsactiviteiten zijn vrijwel nooit gericht op biodiversiteit als zodanig; ze zijn gericht op specifieke vormen van biodiversiteit – meestal de vormen die we het mooiste vinden. Strikt wetenschappelijk gezien is biodiversiteit een combinatie van getallen; een index. Een index kun je niet liefhebben. Schoonheid wel.

KRIS VAN KOPPEN

Reacties op deze column zijn welkom op kris.vankoppen@wur.nl

IN HET VELD – De Manychki kalksteppen

Met een oude Lada Niva, veldmateriaal en de nodige kampeeruitrusting zijn we uit Lugansk vertrokken. De Russische grens kost wat tijd, en aan de andere kant staan de biologen uit Rostov on Don al te wachten met een luxe Lexus terreinauto. We doen veldwerk, een ‘expeditie’ zoals het daar heet, met de Russische en Oekraïense biologen, naar kalksteppen in de grensregio. Steppen worden gekenmerkt door een heet en droog klimaat. Kalksteppen zijn kleurig en heel soortenrijk, maar ook sterk bedreigd.

Alweer twaalf jaar geleden werkte ik als expert bij het ‘Eurasian steppe project’ aan het beheer en herstel van steppen in Moldavië, Oekraïne en Rusland. Elke maand was ik in Kiev, vanwaar ik een of twee weken tussen Rostov, Odessa of Chisinau reisde om lokale teams te ondersteunen. Tijdens deze expeditie bestaat mijn bijdrage vooral uit het karteren van het netwerk van kalksteppen en het inventariseren van reptielen en amfibieën. En uit de 100 ‘live-traps’ die ik meebreng, muizenvallen van Alterra, al heeft dat nogal wat voeten in de aarde bij de douane op het vliegveld. Elke avond zetten we langs een transect vallen uit die de volgende ochtend worden geleegd. De oogst gedurende een week is met 20 muizen mager. Wel vangen we een blindmuis (*spalax*),

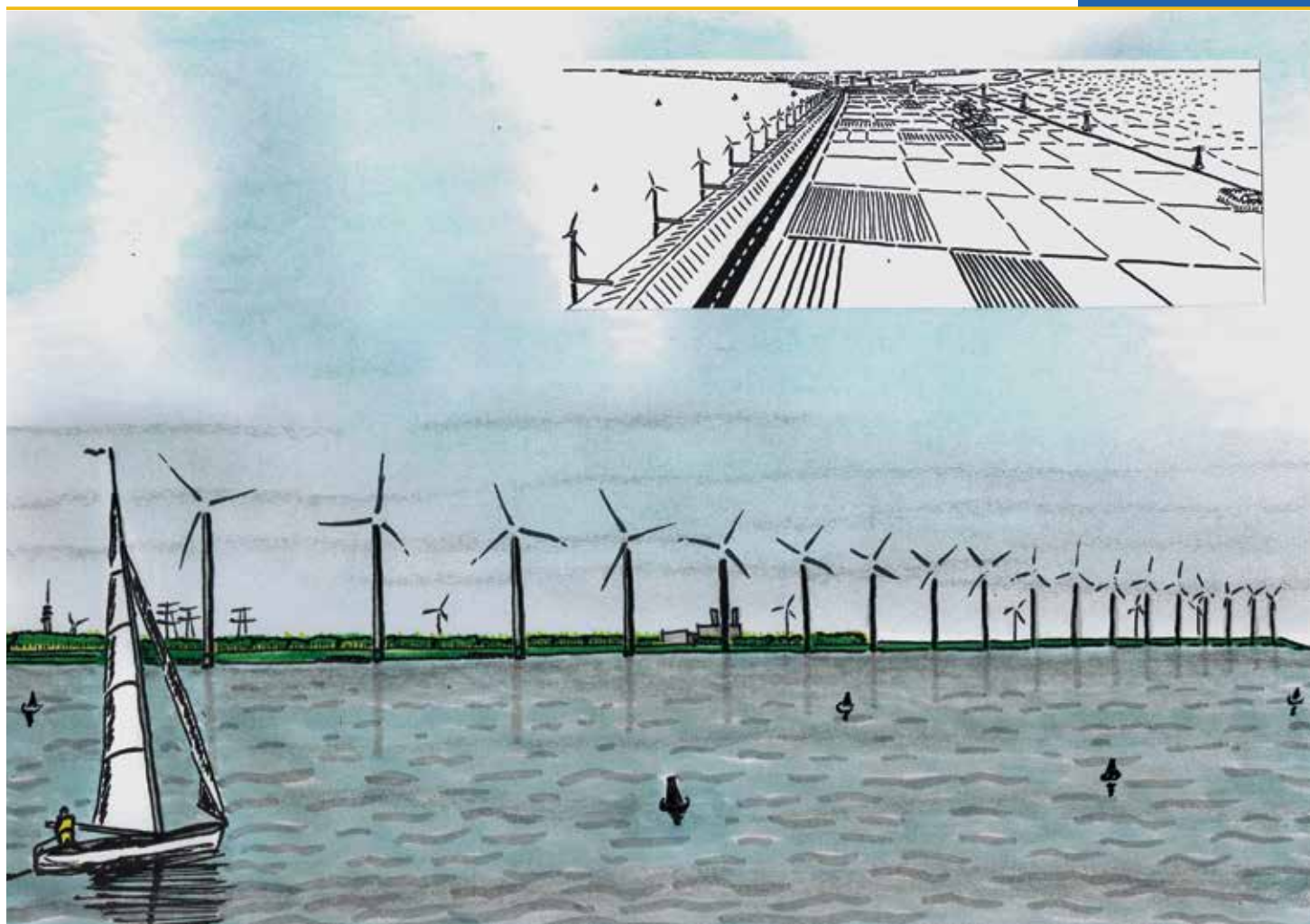


een agressief beestje dat moeiteloos een potlood in tweeën bijt. We doen ook veel vogelwaarnemingen, soorten als de wielewaal, bijeneter, scharrelaar, pelikaan, hop, jufferkraan, dwergarend et cetera.

Communiceren gaat vaak moeizaam, slechts één bioloog spreekt beperkt Engels. Mijn Russisch is weinig beter, al leer je snel bij in zo’n week. De laatste kampeerplek is in een rivierdal aan de voet van kalkhellingen. Na een dag werk in de brandende zon wordt ’s avonds brood gebakken op het kampvuur. Ons bad is een duik in de rivier. Die nacht krijgen we een noodweer over ons heen. De Oekraïense trots is groot als de zware Lexus vastdraait in de modder langs de rivier, terwijl de oude en veel lichtere Lada Niva door alle diepe sporen heenschiet.

De terugreis is memorabel. Op een onderzoekstation is een jonge wolf van een paar maanden oud uit een hol gehaald nadat jagers de moeder hadden gedood. Die gaat mee naar de boerderij van een van de biologen, samen met een dobbelsteenslang. Stuiterend in een volgepakte Niva, de lucht bezwangerd met wolf, formaldehyde en andere niet te benoemen geuren, met op de imperiaal kratten met muizenvallen, arriveren we weer bij de Oekraïense grens. De grens is abrupt, en vooral een lijn op de kaart. De kalksteppen in Oekraïne vormen echter één geheel met de steppen in de beekdalen in Rusland en zijn de poort naar de immense ‘euraziatische vlakke’, direct buiten ons dichtbevolkte Europa.

THEO VAN DER SLUIS



*Vanaf het IJsselmeer verdient een rij palen langs de oever geen
schoonheidsprijs. Tussen Lelystad en Ketelbrug raast snelweg A6
achter de dijk. Daar cirkelen windmolens boven het talud, om er
een fenomeen van te maken. De turbines worden vervangen. Het
doek valt bij herplaatsing aan weerszijden van de vaargeul.*

Johan Meeus

- 131 Redactioneel
Beekdalvenen, te herstellen ecosysteem bij uitstek
- 132 Beekdalvenen in het laagland
Van biodiversiteitsparel naar CO₂-fabriek
Rudy van Diggelen, Piet De Becker & Camiel Aggenbach
- 138 Kansen voor de ongewervelden van beekdalen bij integraal beekherstel
Ralf Verdonschot & Piet Verdonschot
- 146 De terugkeer van het verdwenen hout
Randvoorwaarden voor de ontwikkeling van elzenbroekbos in beekdalen
Fons Smolders, Han Runhaar, Roos Loeb & Esther Lucassen
- 156 Herstel van verdroogde beekdalvenen
Effecten van vernatting op biogeochemie en vegetatie
Willem-Jan Emsens, Rudy van Diggelen, Camiel Aggenbach & Fons Smolders
- 166 Op pad met ... Anne van Kuijk langs de Dommel
Verbinding als kernkwaliteit van de Dommel
- 173 WLO-nieuws
- 175 Herstel van beekdalvenen door vernatting
Effecten na 30 jaar vernatting van het Gasterensche Diep
Camiel Aggenbach, Arnaut van Loon, Jelmer Nijp, Rudy van Diggelen & Iacopo Ferrario
- 184 De impact van vermest grondwater op kwelafhankelijke natuur
Modelstudie voor het Bunder en Elslooërbos
Rikje van de Weerd & Leo Spoomakers
- 194 Beekdallandschappen in beweging
De weg vooruit
Rudy van Diggelen & Piet Verdonschot
- 200 Boek
- 201 Forum
- 202 Column
- 203 Beeld

Landschap

www.landschap.nl