

De Brunsummerheide, een uniek maar bedreigd stukje Nederland

EEN SYSTEEMANALYSE VAN HET HELLINGVEEN OP DE BRUNSSUMMERHEIDE

Gijs van Dijk, Radboud Universiteit Nijmegen, Afdeling Milieubiologie, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, e-mail: gijsvdijk@gmail.com

Christian Fritz, Radboud Universiteit Nijmegen, Afdeling Milieubiologie, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Fons Smolders, Onderzoekscentrum B-WARE, Radboud Universiteit Nijmegen, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Nicko Straathof, Natuurmonumenten, Postbus 9955, 1243 ZS 's Graveland

Gert-Jan van Duinen, Stichting Bargerveen, Radboud Universiteit Nijmegen, afdeling Milieukunde, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Ab Grootjans, Rijks Universiteit Groningen, afdeling Milieukunde/Radboud Universiteit Nijmegen, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

In het hart van de Brunsummerheide ligt een veengebied waarin de Roode Beek ontspringt. Het veen is een op Europees niveau uniek hellingveen met een zeer divers karakter. In dit kleine gebied zijn verscheidene landschapstypen als hoogveen, broekbos, bronnen, heischrale vegetaties en een beek te vinden. Dit unieke landschap is zeer gevoelig voor veranderingen in hydrologie en waterkwaliteit. Met welk beheer kan het veen en de erin voorkomende flora en fauna voor de lange termijn worden beschermd? Om die vraag te beantwoorden, is inzicht nodig in het ontstaan en functioneren van dit hellingveen. Welke planten- en diersoorten komen er voor en waar bevinden deze zich in het landschap? Hoe functioneert het veensysteem ecohydrologisch? Welke biogeochemische processen zijn sturend in de hoge diversiteit van het gebied en welke aantastende factoren spelen een rol? Allemaal vragen die aan bod komen in een nog lopend onderzoek waarin de ecohydrologische relaties tussen het hellingveen en zijn omgeving in beeld worden gebracht. In dit artikel wordt verslag gedaan van de eerste resultaten.

GEOLOGIE EN ABIOTIEK

Geo(morfo)logisch is de Brunsummerheide een uniek stukje Nederland. Parallel aan de provinciale weg van Nieuwenhagen naar Brunssum (N299) ligt de Feldbiss-breuk en centraal door het gebied loopt de Heihof-breuk. Met name de Feldbiss-breuk is zeer bepalend voor de bodemopbouw, het verloop van de grondwaterstroming en daarmee voor het ecohydrologisch functioneren van de Brunsummerheide (KIWA WATER RESEARCH & EGG, 2007). Het in het Mioceen afgezette 'zilverzand' en de in het Plioceen afgezette zand- en grindlagen ten zuiden van de Feldbiss-breuk worden afgewisseld met bruinkoollagen en zijn erg zuur en arm aan mineralen en nutriënten (KUYL, 1967; DE JONG & VAN DER WAALS, 1971; VAN DER MAST, 1983). Door uitloging door humuszuren, afkomstig van veenlagen die nu als bruinkool terug zijn te vinden, bevatten de zilverzanden vrijwel alleen pure kwartskorrels. Later hebben de erboven afgezette bruinkoollagen deze zilverzanden tegen inspoeling van verontreinigingen van bovenaf beschermd.

De Roode Beek is ontstaan op de dalbodem van droogdalen die in het Pleistoceen onder periglaciale omstandigheden (ijzige omstandigheden tijdens de laatste ijstijd) zijn gevormd. De Miocene zand-



FIGUUR 1

In het hellingveen bevinden zich grote velden met Beenbreek (Narthecium ossifragum) die het veen geel doen kleuren aan het begin van de zomer (foto: G. van Dijk).

	Monsterpunten										
	1	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5	6	7	8
Watermijten (<i>Acari</i>)	0	6	1	0	1	1	0	2	0	0	0
Waterkevers (<i>Coleoptera</i>)	38	12	19	0	2	61	26	26	24	68	31
Vliegen & Muggen (<i>Diptera</i>)	36	23	20	29	41	23	64	31	62	26	36
Haften (<i>Ephemeroptera</i>)	0	8	7	23	9	0	0	0	2	0	0
Wantsen (<i>Hemiptera</i>)	4	2	4	0	2	1	2	10	3	0	1
Libellen (<i>Odonata</i>)	20	42	39	5	29	13	2	30	0	0	31
Borstelwormen (<i>Oligochaeta</i>)	0	2	3	3	6	2	6	0	8	0	1
Platwormen (<i>Planaria</i>)	0	0	3	10	3	0	0	0	0	0	0
Steeenvliegen (<i>Plecoptera</i>)	0	4	3	25	5	0	0	0	0	5	0
Kokerjuffers (<i>Trichoptera</i>)	1	1	2	5	2	0	0	0	1	0	0

TABEL 1

De procentuele verhouding van de aanwezige aquatische invertebratenfauna per monsterpunt.

bodem heeft ervoor gezorgd dat in het bronengebied van de Rode Beek een nat gebied is ontstaan waar grondwater opkwelt dat van origine arm is aan nutriënten en matig arm aan mineralen. In dit bronengebied heeft veenvorming plaatsgevonden. Vroeger heeft het veen vermoedelijk een groter oppervlak bedekt en lagen in de omgeving nog meer veensystemen (DE WEVER, 1939). Momenteel resteert nog het 15 ha grote hellingveen dat, tussen de droge zandheuvels, midden op de Brunsummerheide ligt.

In de afgelopen eeuw is het veen verdroogd en heeft het te leiden van verzuring en eutrofiëring zoals veel andere Europese natuurgebieden (GROOTJANS *et al.* 2002; GROOTJANS & VAN DIGGELEN, 2009). Niet alleen het hellingveen, maar de gehele Brunsummerheide staat onder invloed van verzuring en eutrofiëring. Ook hebben er belangrijke landschappelijke veranderingen plaatsgevonden. Zo is bijvoorbeeld het oppervlak aan bos sterk toegenomen in de vorige eeuw (HUSTINGS, 1996; DE MARS, 2008). Ondanks deze bedreigingen omvat het hellingveen nog een hoge diversiteit aan overgangen tussen verschillende systeem- en vegetatietypen en herbergt het dankzij deze heterogeniteit nog steeds een hoge diversiteit aan flora en fauna.

Het veen is in vergelijking met andere Nederlandse veengebieden weinig onderzocht en wordt gekenmerkt door een complexe ecohydrologische situatie. Met name de combinatie van een vegetatie kenmerkend voor voedselarme omstandigheden en een sterke

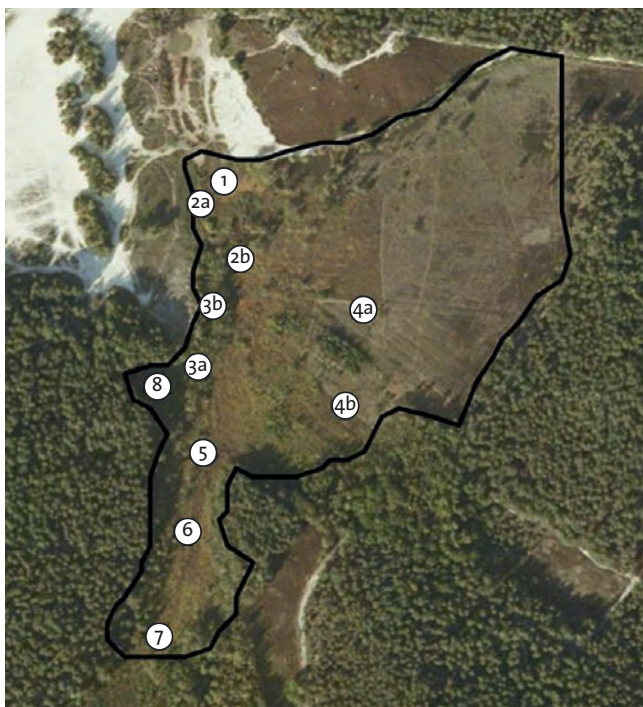
Nijmegen in samenwerking met onderzoekscentrum B-WARE, Stichting Bargerveen en Natuurmonumenten, waarin een breed scala aan onderzoekstechnieken wordt toegepast. Er wordt in detail gekeken naar bodemopbouw, grondwaterstroming, biogeochemische eigenschappen en processen in water en bodem, naar de samenstelling van de vegetatie en de watermacrofauna en de onderlinge relaties hiertussen. Hierbij wordt gekeken op zowel standplaats- als landschapsniveau, omdat lokale (standplaats)condities regionaal kunnen worden aangestuurd (VERBERK *et al.*, 2009). Met het inzicht in het functioneren van het hellingveen wordt bepaald of er, en zo ja welke maatregelen nodig zijn om dit veensysteem met haar karakteristieke flora en fauna te behouden.

METHODE

Gedurende het onderzoek zijn watermonsters genomen van het oppervlaktewater, het regenwater en het grondwater op verscheidene locaties en dieptes in en onder het veen. Aan alle verzamelde watermonsters zijn chemische analyses verricht in het laboratorium van de Radboud Universiteit Nijmegen. Naast watermonsters zijn grondboringen verricht en is de hierbij verzamelde bodem chemisch geanalyseerd. De vegetatie van het hellingveen is voor 17 soorten geheel gekarteerd. Hierbij is het gebied opgedeeld in hokken van vijf bij vijf meter. Per hok is een schatting gemaakt van de bedekking van deze soorten. Daarnaast is in alle verschillende aanwezige aquatische habitats de voorkomende aquatische macrofauna bemonsterd.

ONTSTUIMIG VERLEDEN

Uit de boringen in het veengebied blijkt dat het hellingveen een vallei heeft opgevuld en dat de huidige dikte van het veen varieert van slechts enkele tientallen centimeters tot maximaal drie meter. Uit de boringen is tevens gebleken dat het veen is opgebouwd uit verscheidene veentypes en dus in de historie andere vegetatietypen herbergde. Ook zijn op verscheidene dieptes lagen met zand en grind in de veenlaag aangetroffen. Deze zand- en grindlagen zijn vermoedelijk door erosie vanaf de flanken met afstromend water

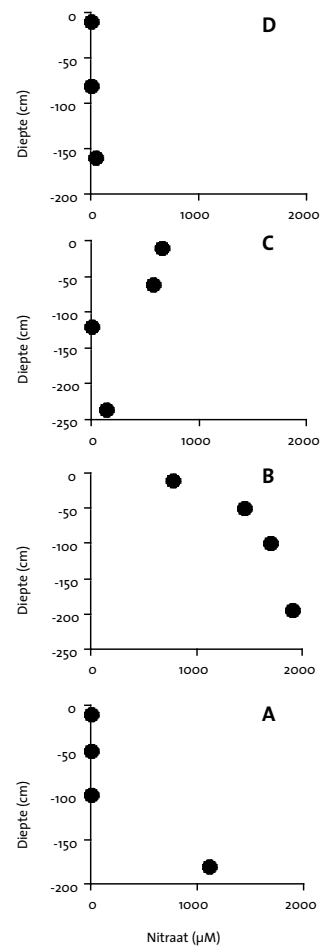
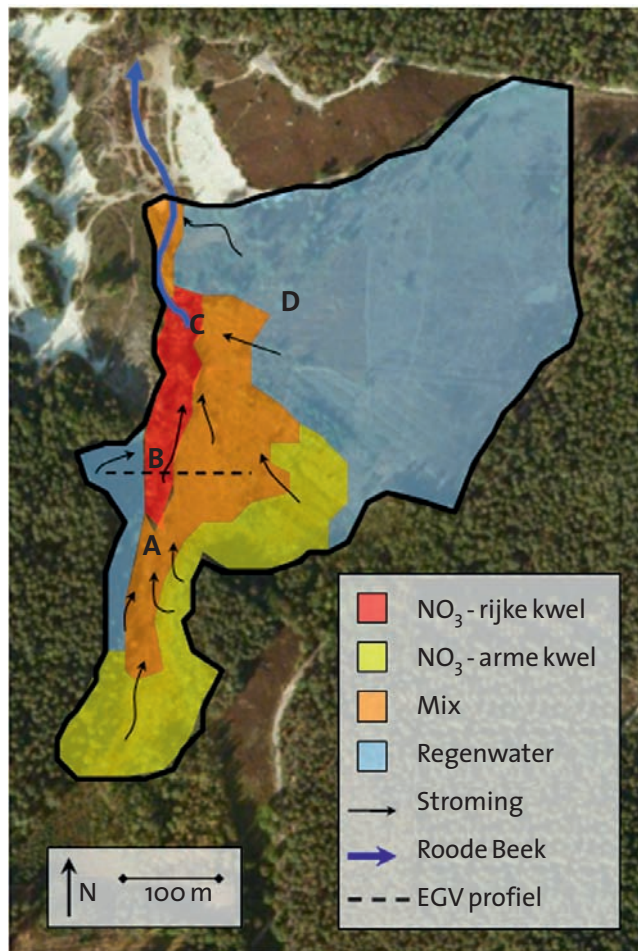


FIGUUR 2

Het hellingveen met hierop de locaties waar de macrofauna is bemonsterd (luchtfoto achtergrond, copyright: Google).

FIGUUR 3

Het hellingveen ingedeeld in watertypen op basis van grondwaterin-vloed (kwel) en nitraatconcentraties. A, B, C en D zijn monsterpuntlocaties waar op verschillende dieptes in het veen watermonsters zijn genomen. Voor de nitraat (NO₃⁻)-concentraties op verschillende dieptes per monsterpunt, zie de grafieken aan de rechterkant van het figuur (luchtfoto achtergrond, copyright: Google).



op het veen afgezet. Door de hoge grondwaterdruk heeft zich na een dergelijke erosieperiode opnieuw veen kunnen ontwikkelen. In samenwerking met de Universiteit van Amsterdam is paleoecologisch onderzoek gestart waarbij met behulp van pollenanalyses een beeld verkregen kan worden over de periodes waarin het veen is ontstaan, hoe het in de loop van de tijd is gegroeid en in welke periode de zand- en grindlagen in het veen zijn afgezet. Ook kan hiermee inzicht verkregen worden in de vroegere invloeden

van de mens op het veen. Recentere directe ingrepen in en om het hellingveen zijn nog zichtbaar in de vorm van de vele greppels en bosaanplant.

VEGETATIE

Het hellingveen is hoofdzakelijk begroeid met verschillende soorten veenmos (*Sphagnum spec.*) met een bedekking van 60% en Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) met 96% bedekking. Pijpenstrootje groeit vaak in het veenmos waardoor de gezamenlijk bedekking groter is dan 100%.

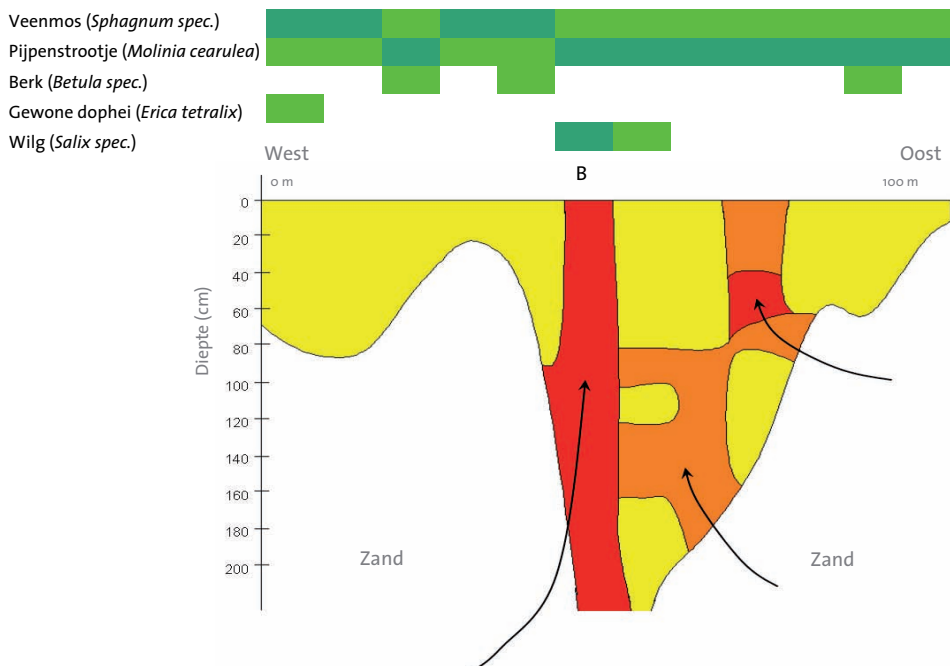
Het centrale veen wordt gedomineerd door veenmossen met Eenarig wollengras (*Eriophorum vaginatum*) en Pijpenstrootje en grote velden met Beenbreek (*Narthecium ossifragum*) [figuur 1]. Het oostelijke gedeelte is een droge vegetatie gedomineerd door Struikhei (*Calluna vulgaris*), die in westelijk richting overgaat via een natere heide gedomineerd door Gewone dophei (*Erica tetralix*) naar een door veenmossen gedomineerde vegetatie met Pijpenstrootje. Naar de droge flanken toe neemt Pijpenstrootje en de opslag van berk (*Betula spec.*) en Grove den (*Pinus sylvestris*) toe. Enkele noemenswaardige soorten zijn Moeraswolfsklauw (*Lycopodium inundata*), Ronde en Kleine zonnedauw (*Drosera rotundifolia* en *Drosera intermedia*), Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*), Laveldelhei (*Andromeda polifolia*), Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*), Witte snavelbies (*Rhynchospora alba*) en Holpijp (*Equisetum fluviatile*).

Het hellingveen bevat dus zure oligotrofe hoogveenvegetaties,

grondwatergevoede en daardoor gebufferde, voedselrijkere milieus en overgangen daartussen. Het hellingveen is in het verleden in onvoldoende detail beschreven om nu met zekerheid iets te kunnen zeggen over toe- of afname van soorten.

MACROFAUNA

Het hellingveen herbergt een grote diversiteit aan habitats voor aquatische invertebraten, van stilstaande voedselarme hoogveenplasjes tot een voedsel- en mineraalrijke, stromende beek en de overgangen hiertussen. Deze diversiteit is ook terug te zien in de aangetroffen macrofauna [tabel 1]. Het veen herbergt een breed scala aan verschillende ordes, maar per orde slechts weinig soorten en bovendien in lage aantallen. In de grotere poeltjes op het veen zijn veel larven van libellen (*Anisoptera*), waterjuffers (*Zygoptera*), dansmuggen (*Chironomidae*) en waterkevers (*Coleoptera*) aangetroffen [monsterpunten 1, 5 en 8 in tabel 1 en figuur 2]. In het beschaduwde voedselrijke en gebufferde broekbos is de soortensamenstelling totaal verschillend. Hier worden veel steenvliegen (*Plecoptera*), kokerjuffers (*Trichoptera*) en platwormen (*Planaria*) aangetroffen [monsterpunten 3a en 3b]. De macrofauna in kleinere poeltjes en slenkjes wordt gedomineerd door dansmuggen (*Chironomidae*) en waterkevers (*Coleoptera*) [monsterpunten 4a, 4b, 6 en 7]. Ook komen enkele zeldzame soorten voor, zoals de dansmug *Chaetocladius* subsp. *herkenbosch*, de Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*), de Beekoeverlibel (*Orthe-trum coerule-sens*) (zie ook KETELAAR & PAHLPLATZ, 2009) en de water-



FIGUUR 4

Dwarsdoorsnede door het veen, ter plaatse van de met een stippellijn in figuur 3 weergegeven locatie. Het EGV is weergegeven in drie categorieën: geel (0-300 $\mu\text{S/cm}$), oranje (300-600 $\mu\text{S/cm}$) en rood (600-1000 $\mu\text{S/cm}$). In groen enkele dominant voorkomende plantensoorten (lichtgroen is aanwezig, donkergroen is abundant aanwezig). Op punt B komt nitraatrijk kwelwater tot bovenin het veen, waardoor hier een hoge EGV gemeten is [zie ook nitraatprofiel in figuur 3]. De pijlen geven kwelstromen weer.

het veen. Het EGV kan als indicatie gebruikt worden voor de invloed van grondwater. Grondwater bevat veel ionen en mine-

wantsen *Gerris gibbifer* en *Sigara limitata*. De eerste twee soorten komen in een intact hoogveensysteem alleen voor in situaties met invloed van langzaam stromend water of overgangssituaties tussen de door regenwater gevoede hoogveenkern en de meer door grondwater gevoede onderdelen van het landschap (overgangssvenen en lagg-zones). Als gevolg van de turfwinning en ontginning die aan de randen van veensystemen begon, zijn dergelijke situaties in de grotere hoogveenrestanten in West-Europa zelden aanwezig (VAN DUINEN *et al.*, 2009). De diversiteit aan macrofauna en het voorkomen van bijzondere soorten is nauw verbonden met de in het gebied aanwezige diversiteit aan habitats.

HYDROLOGIE

Het hellingveen ligt in een dal en wordt sterk door grondwater beïnvloed. In het verleden is de grondwaterinvloed altijd zo groot geweest dat langdurige veenvorming heeft plaatsgevonden. De naam Roode Beek duidt ook op een hoge invloed van ijzerrijk grondwater, dat een rode neerslag geeft. Op basis van veldindicaties, gemeten grondwaterstanden en analyse van het veenwater is vastgesteld waar dieper grondwater opkwelt. Hieruit blijkt dat op meerdere locaties in en aan de rand van het veengebied een hoge grondwaterdruk aanwezig is en grondwater opkwelt, wat ook uit eerder onderzoek reeds naar voren kwam (VAN DRIE & HOEVENAARS, 1995; SWIERSTRA, 2008). Het grondwater beïnvloedt het hele veengebied direct en indirect en stroomt in noordelijke richting door het veen [figuur 3] (GANZEVLES & VAN ZIEL, 1996; BUIJS, 1996; SWIERSTRA, 2008) en vormt noordelijk ervan de Roode Beek. In het veen liggen meerdere kleine stilstaande poeltjes en stromende slenkjes waarin het peil gedurende het jaar en onder invloed van regenval en grondwater weinig fluctueert. Centraal in en aan de oostzijde van het veen is de doorstroming met grondwater minder en ontstaan regenwaterlenzen waarop zich een hoogveenvegetatie heeft ontwikkeld [figuur 3]. In figuur 4 is een profiel van een dwarsdoorsnede door het veen weergegeven met de mate van geleidbaarheid, het zogenaamde Elektrisch Geleidend Vermogen (EGV), op verschillende dieptes in

ralen die goed geleiden en heeft daardoor een hoog EGV. Zuur door regenwater gevoede veenwater bevat juist erg weinig ionen en mineralen en heeft dus een laag EGV. In figuur 4 is te zien dat de oosten- en westkant van het veengebied door regenwater wordt gevoed en lage EGV-waarden hebben. Bij punt B kwelt grondwater op tot bovenin het veen, wat ook in de hoge metingen van het EGV naar voren komt. Aan de oostkant van de vallei kwelt mineraal- en ionenarmer grondwater op.

WATERCHEMIE

Op basis van de chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater zijn verschillende watertypes aangetroffen in het veengebied. Aan de zuid- en zuidoostkant van het hellingveen is een watertype gevonden dat duidt op grondwaterinvloed met relatief hoge gehalten aan ijzer (minstens 500 $\mu\text{mol/L}$) en andere grondwater gerelateerde elementen zoals calcium en silicium. Aan de westkant van het gebied, in het elzen- en wilgenbroekbos, is ook een sterk door grondwater beïnvloed watertype aangetroffen. Dit watertype heeft, in tegenstelling tot het in het zuidelijk en zuidoostelijk opkwellende grondwater, zeer hoge nitraatgehalten tot wel 2.000 $\mu\text{mol/l}$ in het veen [zie monsterpunt B in figuur 3]. Het oostelijk met oude greppels doortrokken hoogveen- en veenheidegebied is minder door het grondwater beïnvloed en hier zijn ook enkele regenwaterlenzen te vinden [het regenwatertype in figuur 3]. Het centrale gedeelte van het veen wordt niet direct beïnvloed door grondwater, maar gevoed door zowel regenwater, als water dat vanuit de bossen en veenheide op de flanken van de vallei door het veen heen door de laagte stroomt.

De zwavelgehalten in het oppervlakte- en grondwater zijn ook opvallend hoog. De hoge ijzer- en zwavelgehalten zijn vermoedelijk afkomstig van de oxidatie van pyriethoudende bodems in de ondergrond. Bruinkollagen bevatten relatief veel pyriet en in de zandlaag direct onder het bruinkool is het zwavel- en ijzerhoudende mineraal markasiet aangetroffen (mondelinge mededeling A. Menkovic). Deze afzettingen kunnen oxideren onder invloed van zuurstof (na verdroging) of onder invloed van nitraat. Het hieruit vrijkomende sulfaat

FIGUUR 5

Hellingveen met een slenkje waar een witte zwavelneerslag zichtbaar is. Deze zwavel is afkomstig uit pyriet in de bodem en kan toxische effecten hebben op de voorkomende flora en fauna (foto: G. van Dijk).

wordt in de anaerobe veenbodem gereduceerd tot sulfide. Er worden lokaal dan ook hoge sulfidegehalten aangetroffen (minstens 150 µmol/L), welke toxisch kunnen zijn voor veenmossen en hogere planten (LAMERS *et al.*, 2002). Dit sulfide wordt aan de oppervlakte geoxideerd tot een witroze zwavelneerslag [figuur 5]. De fosfaatgehalten in het water en in het veen zijn relatief laag. De hoge gehalten aan ijzer in het veen zorgen ervoor dat het fosfaat in de bodem gebonden blijft en hierdoor in mindere mate beschikbaar is voor de vegetatie. Deze lage gehalten aan fosfaat in het water en in de bodem betekent dat, ondanks de hoge beschikbaarheid van stikstof via depositie uit de lucht en aanvoer via grondwater, op grote delen van het veen toch een nutriëntarme vegetatie kan ontstaan door de limitatie van fosfor.

DISCUSSIE

Het hellingveen is vanuit vele oogpunten een uniek gebied. Vanwege de hoge diversiteit en de geringe grootte is het echter ook zeer kwetsbaar. Afgezien van het feit dat de omgeving van het hellingveen in het verleden al behoorlijk is aangetast door begreppeling, zandafgraving, bruinkoolwinning, bebossing en uitbreiding van de stedelijke omgeving, lijkt het hellingveen nog weinig beïnvloed. Niets is echter minder waar. In het veengebied zijn duidelijke effecten waar te nemen van verdroging, eutrofiëring en verzuring. Ondanks het feit dat het hellingveen nog gedeeltelijk door grondwater wordt gevoed en nog veenvorming plaatsvindt, drogen de randen uit. Dit uitdrogen van de randen van het veen stopt de veenvorming en zorgt voor interne eutrofiëring (SMOLDERS *et al.*, 2006), waardoor Pijpenstrootje en opslag van berken en Grove dennen toenemen. Daarnaast hebben de verdroging en veranderingen in de waterkwaliteit ook een direct effect op de aanwezigheid en kwaliteit van habitat voor aquatische fauna.

De invloed van de veranderde waterkwaliteit (toestroming nitraatrijk grondwater) heeft mogelijk nog veel grotere effecten op het hellingveen dan verdroging. Toevoer van grondwater is noodzakelijk voor de veenvorming in het hellingveen, maar tegelijkertijd zal een toename van de invloed van juist het voedselrijke grondwater op termijn desastreuze gevolgen kunnen hebben. De vorming van het broekbos en wilgenstruweel wordt door de hoge aanvoer van onder andere nitraat sterk gestimuleerd. Uiteindelijk kunnen grote delen van het veen door els (*Alnus spec.*) en wilg (*Salix spec.*) overwoekerd worden, waardoor een groot deel van de huidige terreinheterogeniteit en soortendiversiteit verloren zal gaan. In figuur 4 is duidelijk te zien dat op locaties waar nitraatrijke kwel opkomt nu al veel wilg voorkomt. Het nitraat in het grondwater is vermoedelijk deels afkomstig van bronnen buiten de Brunssummerheide, maar gedeeltelijk ook uit interne bronnen.

De toename van bos op de Brunssummerheide en op de flanken van het hellingveen heeft invloed op zowel de waterstanden, als de waterkwaliteit. Een naaldbos verdampt meer grond- en neerslagwater (via interceptie van regenwater dat in de boomkronen blijft hangen) dan andere vegetatietypen (PARFITT *et al.*, 2002; BERGER *et al.*, 2008), waardoor minder water vanaf de flanken naar het



hellingveen stroomt. Daarnaast vangt naaldbos meer stikstof en zwavel uit de lucht in dan kruidachtige vegetaties (De SCHRIJVER *et al.*, 2008). In bosbodems wordt, in tegenstelling tot heidebodems, ammonium dat wordt ingevangen door de bomen efficiënt geoxideerd tot nitraat. Dit nitraat is in tegenstelling tot ammonium mobiel en spoelt gemakkelijk uit. Nitraat en sulfaat kunnen zo via het grondwater in het hellingveen terecht komen. In 2008 zijn de bossen op de flanken al wel gedund, maar uit regenwatermonsters op het veen en in het bos op de flanken zijn de effecten van het bos nog duidelijk waarneembaar. De neerslag van water op de bosbodem van de Brunssummerheide is ongeveer 30% lager dan in het veen, terwijl de stikstof- en zwaveldepositie in het bos ongeveer 50% hoger is dan in het veen. De stikstofdepositie uit de lucht versterkt de toename van berk en Pijpenstrootje (TOMASSEN *et al.*, 2003). Verder onderzoek zal moeten uitwijzen welke factoren in de veranderende (grond-)waterkwaliteit en hydrologie het meest cruciaal zijn voor de degradatie van het hellingveen en welke maatregelen nodig zijn om het systeem met zijn soortendiversiteit in stand te houden.

De ouderdom en chemische samenstelling van het grondwater en de bodem zijn medebepalend voor de biogeochemische processen in het hellingveen. Zo kunnen mogelijk ook externe bronnen invloed hebben op de biogeochemie van het hellingveen.

Op basis van de bestaande en nieuwe kennis over het functioneren van dit bijzondere veensysteem zal een beheersplan worden gemaakt. Duidelijk is in ieder geval dat de kwaliteit van het toestromende grondwater verbeterd en verdere verdroging van het hellingveen geremd moet worden. In eerste instantie moet het toestromen van nutriënten via het grondwater voorkomen worden.

Om de vinger aan de pols te houden en om zonnig in te grijpen is het daarnaast van belang dat de (grond)waterkwaliteit, -kwantiteit en flora en fauna goed wordt gemonitord. Verder dient om de huidige diversiteit van het gebied te behouden de omvangrijke opslag van berk en Grove den (gedeeltelijk) verwijderd te worden. Gedurende de verdere voortzetting van dit onderzoek zal meer inzicht verkregen worden in de ecohydrologie van het hellingveen en de effecten van veranderingen hierin op de sturende biogeochemische processen en de voorkomende flora en fauna. Meer details en de uiteindelijke resultaten zijn te vinden in VAN DIJK (2009).

DANKWOORD

Jeroen Graafland en Jelle Eygenstein worden hartelijk bedankt voor hulp bij de chemische analyses. Jan Kuper, Albert Dees, Cornelia Bufe en Joost Claas hebben bijgedragen aan het verzamelen van data in het veld. Wouter Swierstra, Linda Wortel en Maurice Mouthaan worden hartelijk bedankt voor de prettige samenwerking. Aan de familie De Vogel zijn de auteurs dank verschuldigd voor het bieden van een goedkope overnachtings- en opslaglocatie.

Summary

THE BRUNSSUMMERHEIDE, A UNIQUE BUT THREATENED LANDSCAPE IN THE NETHERLANDS

A systems analysis of a sloping peatland site in a heathland reserve

The Brunssummerheide area presents a geologically unique landscape in the Netherlands. Its geological basis, with nutrient-poor sandy layers deposited during the Miocene, has led to the formation of a valley where peat is formed. Although the peaty area is nowadays small and vulnerable, it still features high biodiversity. The area is strongly influenced by groundwater but also harbours a well-developed oligotrophic raised bog vegetation. The great diversity of habitats in the landscape is well reflected in the flora and the aquatic invertebrates. The effects of acidification, desiccation, eutrophication and changes in groundwater composition (which has become richer in nitrogen) are clearly visible in the area. There are three different types of water in the area, two of which are determined by groundwater while one is more strongly influenced by rainwater. High concentrations of nitrate and sulfur have been found, which can have large effects on the biogeochemical functioning of the area. To preserve and protect the area, the influence of nutrient-rich groundwater should be reduced and further desiccation should be prevented. The knowledge gathered during this research project should be used to design a new management plan. Further research is expected to produce more information on the ecohydrology of the system and the effects of its changes on biogeochemical processes and the area's flora and fauna.

(*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce-beech stand. *Forest Ecology and Management* 255:605-618.

- BUIJS, R., 1996. Geologie en hydrologie van Brunssummerheide en omgeving. Vereniging Natuurmonumenten, afdeling Onderzoek en Beheerplannen, 's Graveland.
- DIJK, G. VAN, 2009. Systeemanalyse hellingveen Brunssummerheide. Een systeemanalyse op basis van hydrologie, biogeochemie, flora en fauna. Rapportage. Radboud Universiteit, Nijmegen.
- DUINEN, G.A. VAN, E. BROUWER, A.J.M. JANSEN, J.M.G. ROELOFS & M.G.C. SCHOUTEN, 2009. Van hoogveen- en venherstel naar herstel van een 'compleet' nat zandlandschap. *OBN: van standplaats tot landschap. De Levende Natuur* 110(3):118-123.
- DRIE, T. VAN & M. HOEVENAARS, 1998. Hydrologie en waterkwaliteit van het brongebied van de Rode Beek. Vakgroep Fysische Geografie, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- GANZEVES, P.H.J. & H.W. VAN ZIEL, 1996. Beheersvisie Brunssummerheide 1994. Buro Hemmen, Voorst.
- GROOTJANS, A.P., J.P. BAKKER, A.J.M. JANSEN & R.H. KEMMERS, 2002. Restoration of brook valley meadows in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478:149-170.
- GROOTJANS, A.P. & R. VAN DIGGELEN, 2009. Hydrological Dynamics III: Hydro-ecology. In: Maltby, E. & T. Barker, *The Wetlands Handbook*. Blackwell Publishing, Blackwell, Oxford.
- HUSTINGS, F., 1996. Broedvogels van de Brunssummerheide 1975-96. SOVON-inventarisatierapport 1996/11. SOVON, Beek-Ubbergen.
- JONG, J.D. DE, & L. VAN DER WAALS, 1971. Depositional environment and weathering phenomena of the white miocene sands of southern Limburg (The Netherlands). *Geologie en Mijnbouw* 50(3):417-424.
- KETELAAR, R. & R. PAHLPLATZ, 2009. Klein maar fijn: bijzondere libellen, dagvlinders en sprinkhanen op de Brunssummerheide. *Natuurhistorisch Maandblad* 98(11):266-271.
- KIWA WATER RESEARCH & EGG, 2007. Knelpunten en kansanalyse Natura 2000-gebieden. Kiwa Water Research/EGG, Nieuwegein/Groningen.
- KUYL, A.S., 1967. Geologische waarnemingen op de Brunssummerheide, *Natuurhistorisch maandblad* 56(7/8):121-124.

- LAMERS, L.P.M., S.J. FALLA, E.M. SAMBORSKA, I.A.R. VAN DULKEN, G. VAN HENGSTUM & J.G.M. ROELOFS, 2002. Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate-polluted freshwater wetlands. *Limnology and Oceanography* 47(2):585-593.
- MARS, H. DE, 2008. Luchtfotoanalyse bronhoogveengebied Brunssummerheide (1943-2005). In: Swierstra, W., *Passende beoordeling Sigranogroeve*. Royal Haskoning, Maastricht.
- MAST, G. VAN DER, 1983. 10 jaar actief natuurbeheer in Brunssummerheide en Schinveldse Bossen. *Natuurhistorisch Genootschap in Limburg*, Maastricht.
- PARFITT, R.L., G.J. SALT & L.F. HILL, 2002. Clear-cutting reduces nitrate leaching in a pine plantation of high N status. *Forest Ecology and Management* 170:43-53.
- SCHRIJVER, A. DE, J. STAELENS, K. WUYTS, G. VAN HOYDONK, N. JANSSEN, J. MERTENS, L. GIELS, G. GEUDENS, L. AUGUSTO & K. VERHEYEN, 2008. Effect of vegetation type in throughfall deposition and seepage flux. *Environmental Pollution* 153:295-303.
- SMOLDERS, A.J.P., L.P.M. LAMERS, E.C.H.E.T. LUCASSEN, G. VAN DER VELDE & J.G.M. ROELOFS, 2006. Internal eutrophication: How it works and what to do about it - a review. *Chemistry and Ecology* 22(2):93-111.
- SWIERSTRA, W., 2008. *Passende beoordeling Sigranogroeve*. Royal Haskoning, Maastricht.
- TOMASSEN, H.B.M., A.J.P. SMOLDERS, L.P.M. LAMERS & J.G.M. ROELOFS, 2003. Stimulated growth of *Betula pubescens* and *Molinia caerulea* on ombrotrophic bogs: role of high levels of atmospheric nitrogen deposition. *Journal of Ecology* 91:357-370.
- VERBERK, W.C.E.P., A.P. GROOTJANS & A.J.M. JANSEN, 2009. *Natuurherstel: van standplaats naar landschap. OBN: van standplaats tot landschap. De Levende Natuur* 110(3):105-110.
- WEVER, A. DE, 1939. Wat er was en over is van "de groote stille heide". De Heerler- en Brunssummerheide vroeger en nu. In: Grunsven, M.F.G.M., L. van Hommerich, A. de Wever, P. Overhage, F.H. van Rumelen, L. Hennem, Ch. A. Franken & Chr. Smits, *Mijnennummer 1939-40*. Officieele uitgave der Vereniging voor Vreemdelingenverkeer voor Heerlen (Mijnen-nummer 9). *VVV/Limburgsch Dagblad, Heerlen: 77-101*.

Literatuur

- BERGER, T.W., H. UNTERSTEINER, H. SCHUME & G. JOST, 2008. Throughfall fluxes in a secondary spruce