

De Kathager Beemden geohydrologisch onder de loep

Stefanie Bus, Esdoornlaan 22, 7421 AX Deventer, e-mail: stefaniebus@gmail.com

Gijs van Dijk, Onderzoekscentrum B-WARE en afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen, Postbus 6558, 6503 GB Nijmegen

Fons Smolders, Onderzoekscentrum B-WARE en afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen, Postbus 6558, 6503 GB Nijmegen

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

In de Kathager Beemden bevindt zich een uniek kalkmoeras dat bedreigd wordt door de aanleg van de Buitenring Parkstad Limburg. De bijzondere vegetatie van dit kalkmoeras kan het meest effectief beschermd worden als er voldoende kennis over de geohydrologie en chemie van het gebied voorhanden is. In deze bijdrage wordt ingegaan op de meest invloedrijke geohydrologische en chemische processen in de Kathager Beemden en wordt aangegeven wat de effecten kunnen zijn van ruimtelijke ontwikkelingen en natuurbeheer.

Kalkmoerassen behoren tot de meest bedreigde habitattypen in Europa. Ze zijn rijk aan bijzondere soorten en in Nederland uiterst zeldzaam. Hun voorkomen is hier beperkt tot Zuid-Limburg, waar de Kathager Beemden (of Kathagerbroek) het best ontwikkelde voorbeeld is (WEEDA *et al.*, 2011). De bijzondere combinatie van veenvorming met kalkafzetting kan voorkomen op plaatsen in een heuvels landschap waar grondwater kalkrijke afzettingen passeert die het water verrijken met calciumcarbonaat. Als dit water lager in het landschap als kwel uittreedt kan dit leiden tot een situatie waarbij zowel veen- als moeraskalkvorming optreedt. Een continue aanvoer

van kalkrijk grondwater is cruciaal voor een kalkmoeras en de vegetatie die er voorkomt. Hoewel grondwaterkwantiteit en -kwaliteit dus bepalend zijn voor de instandhouding van het kalkmoeras in de Kathager Beemden, was voor dit gebied hierover slechts weinig gedetailleerde kennis beschikbaar. Om deze leemte op te vullen is in 2011 een geohydrologische systeemanalyse uitgevoerd (Bus, 2011).

ACHTERGROND

De Kathager Beemden is een moeras- en bronboscomplex van ongeveer 40 ha in het dal van de Geleenbeek ten zuidoosten van Vaesrade bij Heerlen. Het kalkmoeras waarop in dit artikel de nadruk ligt heeft een oppervlakte van ongeveer één hectare en bevindt zich op de oostflank van het dal, in het aldaar gelegen hellingveen [figuur 1]. Dit hellingveen wordt aan de bovenkant begrensd door een droge zandrug en onderaan door een zanddijkje, waarvandaan het hellingveen overgaat in bos.

De Kathager Beemden maakt deel uit van het Natura 2000 gebied Geleenbeekdal, dat aangewezen is voor de habitattypen vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen H91EoC) en kalkmoerassen (alkalisch laagveen H7230). De vegetatie van de Kathager Beemden is uitvoerig onderzocht en beschreven door E. Weeda en S. Keulen (onder andere WEEDA, 2007; WEEDA *et al.*, 2011). Vanuit floristisch oogpunt is het gebied bijzonder vanwege het voorkomen van Gele



FIGUUR 1

Kathager Beemden (Foto: S.A.R. Bus).



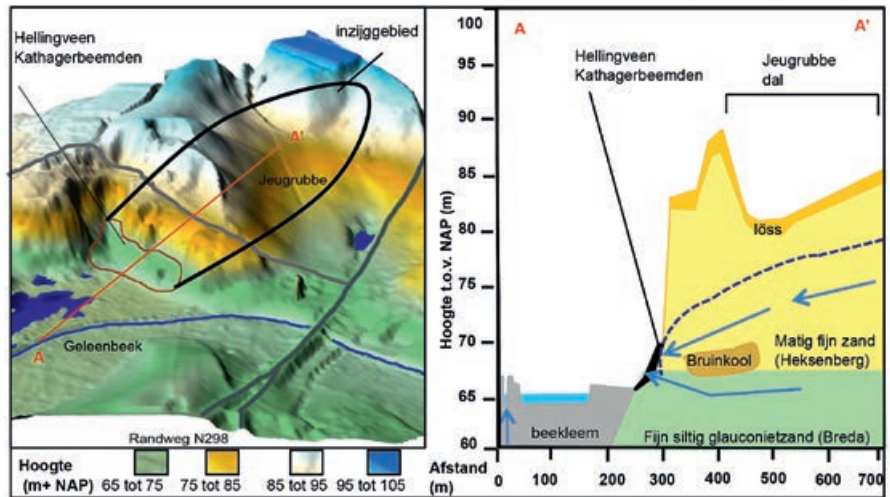
FIGUUR 2

Afvoermetingen met een buizenshot (Foto: S.A.R. Bus).

FIGUUR 3

Inzigggebied en grondwaterstroming rond/in de Kathager Beemden. Op de linker afbeelding is de maaiveldhoogte en het inzigggebied weergegeven. Op de rechterafbeelding is een dwarsdoorsnede van de geologische opbouw en de grondwaterstroming weergegeven.

zegge (*Carex flava*), Schubzegge (*Carex lepidocarpa*), Alpenrus (*Juncus alpinus*) en Parnassia (*Parnassia palustris*). Bovendien is de Kathager Beemden de eerste plaats in Nederland waar Veenzegge (*Carex davalliana*) is ontdekt (WEEDA *et al.*, 2006).



METHODE

De geohydrologische systeemanalyse is uitgevoerd door middel van een uitgebreide veldstudie. Het onderzoek omvatte gedetailleerde maaiveldhoogte-, waterafvoer- [figuur 2] en grondwaterstandsmetingen, waarnemingen van kwel, neerslag van stoffen (ijzer, kalk en/of zwavel aan maaiveld) en biogeochemische analyses van het grondwater op verschillende dieptes in het veen. Als uitgangspunt zijn botanische indicatorsoorten voor kalkrijk water, zuur water en de tussenliggende mengzones gebruikt. Door middel van bodemboringen en het met een prikstok vastleggen van geleidbaarheid (EGV)- en temperatuurprofielen zijn veendikte en verticale grondwaterstroming onderzocht. Samen kunnen deze gegevens iets zeggen over het voorkomen van kwelstromen.

INZIGGEBIED EN GEOLOGIE

Essentieel voor de instandhouding van het kalkmoeras is de bescherming van het inzigggebied, ofwel het voedingsgebied van het

grondwater. De grootte en ligging van het intrekgebied waren tot nu toe voor de Kathager Beemden niet goed bekend. De geologische opbouw en het heuvelachtige landschap van Zuid-Limburg maken het onderzoeken van de grondwaterstroming zeer complex. Door middel van koppeling van de geologische opbouw van het gebied aan grondwaterstanden is hier onderzoek naar gedaan.

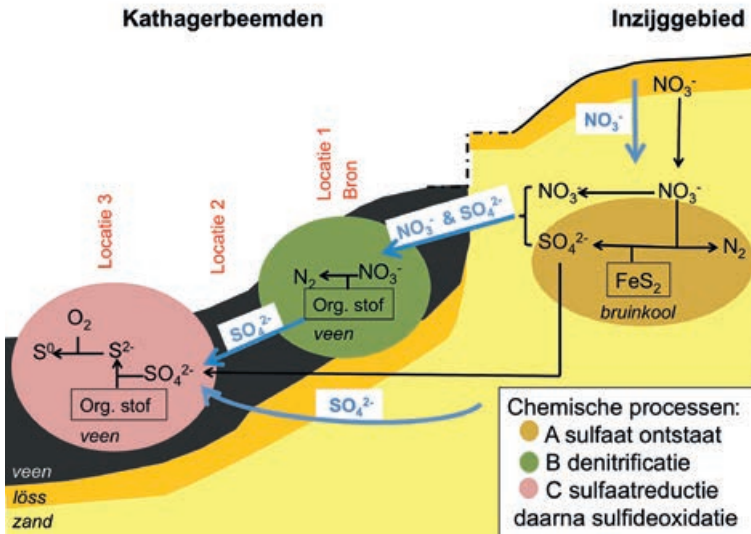
Het kalkmoeras wordt continu gevoed door grondwater dat voornamelijk uit (noord)oostelijke richting afkomstig is (Bus, 2011). De ligging van het inzigggebied is samen met de geohydrologische opbouw weergegeven in figuur 3. De lokale stromingsrichting van oost naar west wordt bevestigd door een recent opgesteld grondwaterdetailmodel van de Kathager Beemden (PROVINCIE LIMBURG/ ROYAL HASKONING DHV, 2012). Ter hoogte van het Jeugrubbedal [figuur 4] stroomt het grondwater door de matig fijne zanden van Heksenberg en door de slechter doorlatende, fijne, siltige zanden van de Formatie van Breda. Van belang is ook dat er bruinkoolafzettingen in de Formatie van Breda voorkomen [figuur 3]. Ter hoogte van de Kathager Beemden dagzomen de Formaties van Heksenberg en Breda, waardoor hier een deel van het grondwater in de vorm van bronnen en diffuse kwel uitteedt. Door de continue toestroom van



FIGUUR 4
Het inzigggebied: het Jeugrubbedal (Foto: S.A.R. Bus).



FIGUUR 5
Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) (Foto: D. Haaksma).



FIGUUR 6

Situatieschets van chemische processen in de Kathager Beemden. Er vinden verschillende chemische processen in het grondwater plaats: In het inzigggebied ontstaat sulfaat [(A: bruine cirkel)]. Vervolgens vindt bovenin het hellingveen denitrificatie (locatie 1) plaats [B: groene cirkel]. Onderaan het hellingveen vindt sulfaatreductie en daarna sulfideoxidatie plaats (locatie 3) [C: roze cirkel].

neert het veen te sterk, waardoor plaatselijk ook sprake is van verdroging. Een gedetailleerde beschrijving van de voorkomende vegetatie is terug te vinden in de rapportage over eerder uitgevoerd onderzoek (WEEDA *et al.*, 2011).

SAMENSTELLING VAN HET KWELWATER

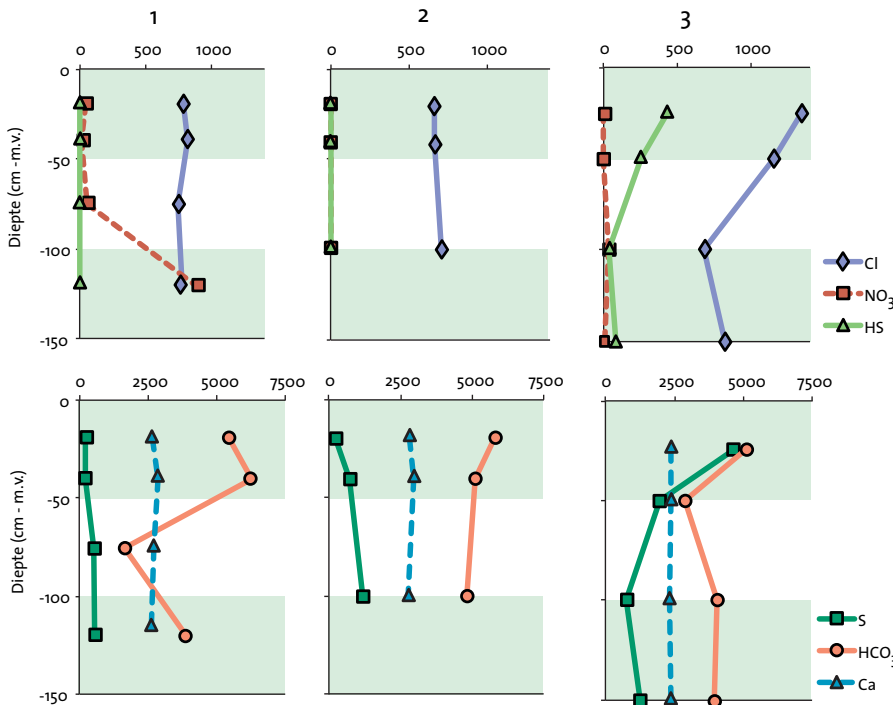
grondwater heeft er veenvorming plaats kunnen vinden op de helling. Het andere deel van het grondwater stroomt ondergronds verder in de richting van de Geleenbeek.

De sterkste opwaartse kwelstroming vindt aan de boven- en onderkant van het hellingveen plaats. Het bovenaan de helling uit-tredende grondwater stroomt door en over het veen en wordt grotendeels door drainagegeulen afgevoerd. Deze zijn niet natuurlijk ontstaan, maar in het verleden gegraven. Typische plantensoorten voor het kalkmoeras zoals Schubzegge, Kleine valeriana (*Vale-riana dioica*), Veenzegge, Slanke waterbies (*Eleocharis uniglumus*), Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) [figuur 5] en Groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*) groeien langs deze geultjes. Ze vormen een belangrijk element voor het functioneren van het kalkmoeras en de handhaving van de hier voorkomende biodiversiteit. Plaatselijk ontstaat langs de geulen een microhabitat waar deze kalkminnende soorten zich kunnen handhaven. De geultjes hebben echter niet alleen een positief effect: een aantal diepere geulen drai-

De in het gebied voorkomende vegetatie is afhankelijk van constante toestroom van grondwater met een specifieke waterkwaliteit. Bij de terreineigenaar bestaan grote zorgen over de veranderingen in de chemische samenstelling van het opkwellende grondwater en de mogelijke invloed hiervan op de voorkomende vegetatie. Het grondwater dat in de Kathager Beemden opkwelt bevat hoge nitraat- en sulfaatconcentraties (DE MARS *et al.*, 2012). Ook was niet duidelijk waarom er rondom de bronnen geen travertijn (moeras-kalk) neerslaat. Uit het veldonderzoek naar de chemische samenstelling en herkomst van het grondwater is er meer duidelijkheid op deze punten ontstaan. Boven in het hellingveen is het uittredende grondwater rijk aan nitraat en matig rijk aan sulfaat [zie figuur 6 en tabel 1]. Verder is het water rijk aan calcium en bicarbonaat, maar niet dusdanig rijk dat, zoals in het Bunderbos (SMOLDERS *et al.*, 2014), kalktufvorming te verwachten is [tabel 1]. Op locatie 1 komt het water op grotere diepte overeen met het bronwater dat hier lokaal uittreedt en afstroomt via de geultjes [tabel 1]. Onderaan

het hellingveen (locatie 3) worden in het grondwater hogere sulfaatconcentraties gemeten en zeer lage nitraatconcentraties (figuur 7 en tabel 1).

Het inzigggebied van het hellingveen bestaat uit (voormalige) landbouwgronden en verharde wegen [figuur 4]. Door dit type landgebruik wordt infiltrerende neerslag verrijkt met onder an-



FIGUUR 7

Diepteprofielen van de grondwatersamenstelling in de Kathager Beemden. Lengtes in centimeters beneden maaiveld (cm-mv). Op drie verschillende locaties (1, 2 en 3, zie figuur 6 voor de ligging) en vier diepten zijn de concentraties chloride (Cl⁻), nitraat (NO₃⁻) (bovenste helft van de figuur) en sulfide (HS⁻) en de concentraties van totaal zwavel (Stot), calcium (Ca²⁺) en bicarbonaat (HCO₃⁻) (onderste helft van de figuur). De concentraties zijn in µmol/l.

dere nitraat en chloride, respectievelijk door meststoffen en strooizout. Hierdoor komen in het grondwater over het algemeen hoge chloride- (gem. 95 mg/L (Bus, 2011)) en nitraatconcentraties (max. 100 mg/L) voor. De fosfaatconcentraties ($\leq 0,4$ mg-P/L) zijn overigens laag. Ook in andere door grondwater gevoede systemen in Limburg zijn verhoogde nitraatconcentraties in het grondwater waargenomen (zie bijvoorbeeld VAN DIJK *et al.*, 2012; DE MARS *et al.*, 2012). Deze worden vermoedelijk veroorzaakt door nitraatuitspoeling vanuit landbouwgebieden (ten gevolge van mesttoediening) en door nitraatuitspoeling vanuit bossen via stikstofdepositie uit de atmosfeer. De hoge sulfaatconcentraties (50-114 mg/L) in het grondwater kunnen afkomstig zijn van zwavelverbindingen in bruinkool. Het zuurstof- en nitraathoudende grondwater stroomt vanuit de landbouwgronden langs dieper in de bodem aanwezige bruinkoollagen; zuurstof en nitraat oxideren hier het ijzersulfide (FeS_2) (pyriet en marcasiet) uit de bruinkool, waardoor sulfaat vrijkomt [figuur 6] (SMOLDERS *et al.*, 2010).

KALKMOERAS: VEGETATIE EN WATERKWALITEIT

De bijzondere kalkmoerasvegetatie wordt beïnvloed door lokale verschillen in de toevoer van regenwater en de samenstelling van het grondwater. Door de aanwezige greppelstructuur zijn er op kleine schaal gradiënten aanwezig met overgangen van iets hoger gelegen, zuurdere, meer door regenwater beïnvloede plekken naar lager gelegen, meer basische, meer door grondwater beïnvloede greppeltjes. Op de zuurdere plekken staan soorten als Gewimperd veenmos (*Sphagnum fimbriatum*), Kamvaren (*Dryopteris cristata*), Wijfjesvaren (*Athyrium filix-femina*), Struikhei (*Calluna vulgaris*) en Kussentjesmos (*Leucobryum glaucum*). Vlak daarnaast, op de door grondwater beïnvloede plekken, komen soorten voor die ba-

Chemische processen in het kalkmoeras

Het grondwater baant zich een weg door het veen. Nitraat en sulfaat reageren onderweg met het in het veen aanwezige organische materiaal. Bij deze reactie met nitraat en sulfaat wordt het organisch materiaal in het veen afgebroken door middel van redoxreacties (redoxreacties is een verzamelterm van reductie- en oxidatieprocessen waarbij elektronen uitgewisseld worden). Doordat het ene proces meer energie oplevert dan het andere ontstaat er een volgorde waarin deze processen optreden en verschillende stoffen met het organische materiaal reageren. Dit betekent concreet dat het organische materiaal als eerste met het nitraat reageert, waarbij nitraat wordt omgezet in stikstofgas (denitrificatie). Daarna reageert het organische materiaal met sulfaat waarbij dit wordt omgezet in sulfide (sulfaatreductie). Door deze trapsgewijs verlopende redoxprocessen ontstaat er een gradiënt in het veen waarlangs stoffen die via het grondwater worden aangevoerd juist wel, of juist niet meer aanwezig zijn [figuur 7].

Nitraat is erg reactief en wordt in organische bodems snel gedenitrificeerd. Tegen de tijd dat het door de veenlaag diffuus opkwellende grondwater het maaiveld bereikt is dit nitraat verdwenen. De sulfaatconcentratie neemt pas in de meest ondiepe delen van het veen af. Voor de hooggelegen bron geldt dat het water snel omhoog komt zodat het hier uittredende grondwater lijkt op het diepere grondwater onder het veen [tabel 1] en nog rijk is aan nitraat. Op locatie 3 [figuur 6], wordt een sterke kwelstroming waargenomen. Het opkwellende grondwater is hier rijk aan sulfaat en arm aan nitraat. Het nitraat is onderweg door denitrificatie verdwenen en door dezelfde processen is de sulfaatconcentratie toegenomen. Hier worden in het bodemwater zeer hoge sulfide en totaal-zwavelconcentraties aan het maaiveld gemeten. Afgaande op de ionenbalansen bestaat een groot deel van dit zwavel uit elementair zwavel. Dit kan worden verklaard door aan te nemen dat hier aan het maaiveld nog veel sulfaatrijk water uittreedt. Het sulfaat wordt door reactie met het organisch materiaal gereduceerd tot sulfide dat vervolgens weer deels wordt geoxideerd tot elementair zwavel. Met het sulfide vormt dit elementaire zwavel polysulfiden die deels in oplossing kunnen blijven. Het elementaire zwavel is ook duidelijk zichtbaar als neerslag op de bodem of op mossen [figuur 8] (Bus, 2011).



FIGUUR 8
Zwavelneerslag (Foto: S.A.R. Bus).

Locatie	pH	Alk*	Ca ²⁺	Cl ⁻	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻
Eenheid:	-	mEq/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Bron	6,64	3,73	104,10	28,55	0,03	221,00	1,29	15,11	0,04	12,60	73,17	0,56	0,22	54,34	0,00
Locatie 1 (1,20 cm)	6,62	4,09	104,00	27,36	0,09	237,08	2,02	15,35	0,05	12,37	53,97	0,95	0,45	53,79	0,00
Locatie 3 (25 cm)	6,79	5,56	94,18	47,57	0,07	308,78	0,96	14,16	0,12	7,42	0,07	0,43	0,39	-	13,84
Locatie 3 (150 cm)	6,98	3,81	96,56	29,29	0,03	240,74	0,66	15,75	0,13	7,89	0,18	0,16	0,18	114,07	2,53

TABEL 1

Chemische samenstelling van het grondwater in het kalkmoeras in het hellingveen. * Alkaliteit (Alk) is het zuur bufferend vermogen tegen plotselinge veranderingen van de pH waarde.



FIGUUR 9

Sterregoudmos (Campylium stellatum) (Foto: D. Haaksma).

sisch water indiceren zoals Sterregoudmos (*Campylium stellatum*) [figuur 9], Geveerd diknerfmos, Geel boogsterrenmos (*Plagiomnium elatum*), Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*), Veenzegge en Schubzegge. Deze soorten komen niet in het lage deel (locatie 3) voor, waar zeer hoge sulfideconcentraties werden gemeten. Sulfide is giftig voor de meeste hogere planten (zie tabel 1 en kader: "Chemische processen in het kalkmoeras").

Uit het bovenstaande blijkt dat de verspreiding van soorten in het hellingveen gerelateerd is aan chemische processen in de bodem die mede beïnvloed worden door de kwaliteit van het toestromende grondwater.

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Het is inmiddels bekend dat kwelstroming de drijvende kracht is achter het kalkmoeras [figuur 10]. Het bijbehorende inzijggebied van de Kathager Beemden ligt ter hoogte van het Jeugrubbedal



[figuur 3]. In deze zone is de nieuwe autoweg Buitenring Parkstad Limburg gepland (PROVINCIE LIMBURG/ROYAL HASKONING DHV, 2012). Deze plannen houden zowel kansen als bedreigingen in voor het kalkmoeras in de Kathager Beemden. Kansen omdat de landbouwgronden een andere functie krijgen, wat gunstig is vanwege de resulterende lagere nitraat- en indirect ook sulfaatconcentraties in het grondwater. De grootste bedreiging bestaat uit de toename van het verharde oppervlak, waardoor de infiltratie van neerslag in de bodem en daarmee de voeding van het kalkmoeras kan verminderen. Dat zou vooral kunnen spelen als de gehele weg-

constructie het gebied met de hoogste grondwaterstand doorsnijdt. Indien het grondwater wordt aangesneden door het wegbed is de kans groot dat de stromingsrichting van het grondwater ter plaatse verandert. Het wegbed heeft namelijk een aanzienlijk hogere doorlatendheid dan de bestaande ondergrond, waardoor het kan gaan functioneren als een soort snelweg voor het grondwater. Om de bovengenoemde bedreigingen voor het kalkmoeras te minimaliseren is het noodzakelijk om de afstromende neerslag rechtstreeks in de naastgelegen wegberm te infiltreren. Daarnaast is het van belang om te monitoren of er geen verlaging van de grondwaterstand optreedt. Als er verlaging optreedt kunnen er maatregelen getroffen worden, zoals meer infiltratie van regenwater.

Het kalkmoeras in de Kathager Beemden is ook kwetsbaar vanwege de geringe omvang. Daarom zou uitbreiding van het oppervlak kunnen bijdragen aan de instandhouding. De paardenwei ten oosten van het gebied zou hiervoor in aanmerking kunnen komen, aangezien dit perceel ook uit veen bestaat dat door kwel wordt gevoed. Daarnaast is het van groot belang dat er aandacht wordt besteed aan het beheer van het huidige gebied. Het jaarlijkse maaien is cruciaal voor het afvoeren van nutriënten en het afremmen van vegetatiesuccessie en verruiging. De vegetatie van het kalkmoeras wordt namelijk gedomineerd door Riet (*Phragmites australis*). Daarnaast is het essentieel dat er voldoende doorstroming van het kalkmoeras is. Concreet betekent dit dat diepe geulen ondieper gemaakt moeten worden en dat het aantal ondiepe geulen uitgebreid moet worden. Dit moet geleidelijk gebeu-

FIGUUR 10

Kwel en bronnen zijn goed zichtbaar in de sneeuw (Foto: S.A.R. Bus).

ren zodat de vegetatie met deze uitbreidingen kan meegroeien. De Kathager Beemden worden gekenmerkt door een zeer diverse vegetatie. Er komen zowel soorten van kalkrijke als zure milieus en zowel van voedselarme als voedselrijke milieus voor, terwijl de bodem op het eerste gezicht overal uit veen bestaat (KEULEN, 2011). De hoge nitraat- en sulfaatconcentraties van het grondwater vormen een potentiële bedreiging voor de aanwezige zeldzame vaatplanten en mossen. Bovendien leiden nitraat en sulfaat beide tot een verhoging van de afbraak van het veen, wat een negatief effect op de netto veenvorming heeft. De overwegend zeer geringe beschikbaarheid van fosfaat in de bodem verklaart dat het nitraat maar zeer lokaal leidt tot verzuuring van de vegetatie. De effecten van sulfaat zijn onderaan de helling zichtbaar. De sulfaatreductie die hier in de bodem plaatsvindt leidt tot de productie van het voor planten giftige sulfide, waardoor de vegetatie lokaal afsterft.

Goed beheer in combinatie met bescherming van het intrekgebied zijn essentieel voor het voortbestaan van het kalkmoeras. Hierdoor wordt ook het voortbestaan van zeldzame soorten als Geveerd diknerfmos, Groen schorpioenmos, Veenzegge, Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*) en Brede orchis (*Dactylorhiza majalis majalis*) in de Kathager Beemden verzekerd.

DANKWOORD

Diverse personen zijn wij dankbaar voor het verstrekken van informatie of delen van kennis ten behoeve van dit onderzoek. Roel Dijk en George Bier van de WUR worden bedankt voor de begeleiding van het onderzoek. Eddy Weeda, Stef Keulen en Paul Spreuwenberg worden bedankt voor de vegetatieopnames van de hydrologische indicatorsoorten.

Summary

THE KATHAGER BEEMDEN AREA AND ITS GEOHYDROLOGICAL 'KEY ISSUES'

Calcareous mires are among the most threatened and diminishing habitat types in Europe. The Kathager Beemden area in Southern Limburg includes a well-developed calcareous mire with very high ecological values. It is a Natura 2000 area with conservation objectives which aim to improve its ecological quality and to expand the surface area of the calcareous mire. In order to achieve these objectives it is essential to study geohydrological and biogeochemical processes influencing the mire's functioning.

The mire at Kathager Beemden is influenced by seepage originating from the Jeugrubbe (to the north-east of the area). This groundwater infiltration area consists mainly of agricultural land, which causes high groundwater nitrate levels. This nitrate-rich groundwater flows through sand deposits with brown coal and fossil seashells, which enrich the water with sulphate and calcium, respectively. Kathager Beemden is located on a slope of the Geleenbeek valley, where peat has been formed due to high groundwater pressure causing seepage and permanently wet conditions. The mire is heavily influenced by the seepage of groundwater flowing over and through it. Along its flow path through and over the mire, the chemical composition of the groundwater

changes. After nitrate has been degraded, sulphate is next degraded to sulphide and eventually to pure sulphur. These circumstances have led to the development of a calcareous mire (with e.g. *Campyllum stellatum* and *Scorpidum cossonii*). Since sulphide is present in the porewater (which acidifies the water), species of acid and mixed environments are present nearby. Various groundwater influences and biogeochemical processes cause acidity gradients and calcareous influences, resulting in a very high biodiversity in a small area.

Improving the quality and expanding the surface area of the calcareous mires requires sufficient knowledge of groundwater flows and chemical processes. The Natura 2000 objectives can be pursued by properly managing the area, including mowing and making the gullies in the peat shallower. Nitrate pollution of the groundwater forms an important threat, which requires measures in the area surrounding the nature reserve.

Crucial to the existence of the mires is safeguarding the groundwater flow, so the groundwater infiltration area has to be protected from disruption like drainage or the construction of paved surfaces. There is currently a plan to construct a major new road (yhr 'Buitenring') in the feeding area. It is important for the functioning of the mire and the conservation of its biodiversity that the road construction and agricultural activities will not pollute the groundwater or reduce its influence.

Literatuur

- BUS, S.A.R., 2011. Hydrogeologische systeem-analyse hellingveen Kathager Broek in Zuid-Limburg. Master Hydrology and Water Quality, Wageningen University, Wageningen.
- DIJK, G. VAN, F. SMOLDERS, C. FRITZ, A.P. GROOTJANS, N. STRAATHOF & G.J. VAN DUINEN, 2012. Ecologische gradiënten op de helling in de Brunsummerheide, De Levende Natuur 113(4): p.174-179.
- KEULEN, S.M.A., 2010. IVN, Zienswijze: Ontwerp Inpassingsplan Buitenring Parkstad Limburg.
- MARS, H. DE, J. SCHUNSELAAR & J. SCHAMINEE, 2012. Ecohydrologie van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen. OBN159-HBE rapportage.
- PROVINCIE LIMBURG / ROYAL HASKONING DHV, 2012. Grondwatermodel Buitenring Parkstad Limburg, Detailmodel Geleenbeekdal en Kathagerbeemden, 9X4814.Ao
- SMOLDERS, A.J.P., E.C.H.E.T. LUCASSEN, R. BOBBINK, J.G.M. ROELOFS & L.P.M. LAMERS, 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrofication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. Biogeochemistry. 98:1-7.
- SMOLDERS, A.J.P., J. LOERMANS, M. VAN MULLEKOM & M. JALINK, 2014. De waterkwaliteit van de bronsystemen in het Bunder- en Elslöerbos: Bronnen van zorg, Natuurhistorisch Maandblad, 103(5):125-131.
- WEEDA, E.J., 2007. De Kathager Beemden: een grasland vol moeras- en boslandplanten, met het Crepido- Juncetum acutiflori als spil. Stratiotes 33/34:35-57.
- WEEDA, E.J., S.M.A. KEULEN & J.W. KOELINK, 2006. Maaibeheer in de Kathager Beemden beloond: Veenzegge (*Carex davalliana* Sm.) nieuw voor Nederland. Natuurhistorisch Maandblad 95(12):262-268.
- WEEDA, E.J., H. DE MARS & S.M.A. KEULEN, 2011. Kalkmoeras in Zuid-Limburg, Natuurhistorisch Maandblad 100(11):233-242.