

Sebastian Krosse, Gijs van Dijk, Esther C.H.E.T. Lucassen, Emiel Brouwer, Alfons J.P. Smolders, Jan G.M. Roelofs

Die Wiederherstellung nährstoffarmer Moore am Valkenberg

Wie biogeochemische Prozesse Naturschutz, Landschaftspflege und Biodiversität beeinflussen können

Eutrophierung, Versauerung und Austrocknung der Böden verändern die abiotischen Lebensbedingungen von Lebensräumen stark. Soll ein Gebiet renaturiert werden, hängt der Erfolg wesentlich von einer passenden Gewässer- oder Bodenchemie ab. Ein Beispiel aus den Niederlanden nahe der Grenze zu NRW zeigt, wie anhand der Biogeochemie Gebiete ausgewählt und Renaturierungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

Durch den Menschen verursachte Probleme wie die Eutrophierung, die Bodenversauerung und die Austrocknung der Böden haben im letzten Jahrhundert stark zugenommen und nehmen großen Einfluss auf die Ökosysteme. Pflanzen und Tiere haben mit stark veränderten abiotischen Bedingungen zu kämpfen. Eins der größten Probleme ist der erhöhte Nährstoffeintrag in ein Habitat. Oft sind externe Quellen das Problem, wie die Stickstoffdeposition aus der Luft oder die Überdüngung angrenzender Gebiete und die Ausspülung der Nährstoffe über Regen und Grundwasser. Aber auch interne Nährstoffquellen können Probleme verursachen. So kommt es immer häufiger vor, dass ehemalige Agrarflächen renaturiert werden. Durch die frühere Düngung sind die Flächen mit Nährstoffen (Stickstoff und vor allem Phosphor) angereichert. In der Folge nehmen hochwachsende Gräser, Sträucher und Arten wie die Flatter-Binse (*Juncus effusus*) zu.

Die abiotischen Bedingungen in Naturschutzgebieten werden insbesondere in Feuchtgebieten auf verschiedenen Wegen beeinflusst. Bodenversauerung und Anreicherung von Nährstoffen in Ökosystemen durch externe oder interne Quellen stören das natürliche Gleichgewicht und verändern die ursprüngliche elementare Zusammensetzung von Böden oder Gewässern. Durch Nährstoffanreicherung können nährstoffliebende Pflanzen dominieren und andere Pflanzenarten verdrängen. Oft werden Ökosysteme durch eine Kombination von Nährstoffanreicherung mit Bodenversauerung oder stark reduziertem Grundwassereinfluss und Austrocknung der Böden beeinflusst. Arten nährstoffarmer und nur mäßig saurer Böden sind dadurch stark bedroht und inzwischen geschützt.

Obwohl die Auswirkungen von Eutrophierung, Bodenversauerung und Austrocknung der Böden bekannt sind, steht die



Abb. 1: Am Valkenberg nach der Renaturierung im Jahr 2015: Nach geochemischen Messungen wurde der Oberboden abgetragen, um ein nährstoffarmes Moor zu entwickeln.

Foto: Esther C.H.E.T. Lucassen

Wiederherstellung der natürlichen abiotischen Bedingungen in Deutschland nicht im Fokus der Forschung und der Landschaftspflege.

Dieser Beitrag zeigt anhand eines Beispiels aus den Niederlanden (nahe der deutsch-niederländischen Grenze), wie groß der Einfluss der abiotischen Bedingungen auf die Biodiversität sein kann. Ebenso wird dargestellt, wie ein Ökosystem und seine abiotischen Bedingungen wiederhergestellt werden können, indem die Entwicklungsmaßnahmen auf eine abiotische Voruntersuchung abgestimmt werden.

In den dicht besiedelten Niederlanden sind die Eutrophierung, die Bodenversauerung und die Austrocknung der Böden schon

lange Thema. Mit modernem und innovativem Naturschutz versucht man hier, die Lebensraumqualität zu erhalten und zu erhöhen. Dieses ehrgeizige Ziel wird unter anderem durch die Renaturierung von Naturschutzgebieten, Flüssen, Seen und Agrarflächen erreicht. Hierbei spielt die Renaturierung der abiotischen Bedingungen von Böden und Gewässern und deren Hydrologie eine entscheidende Rolle, denn die Abiotik ist oft die Basis für eine vielfältige und artenreiche Natur.

Praxisbeispiel: Die Ravenvennen

Das Beispiel der Ravenvennen in Nord Limburg zeigt, wie die Renaturierung

Moor-Renaturierung

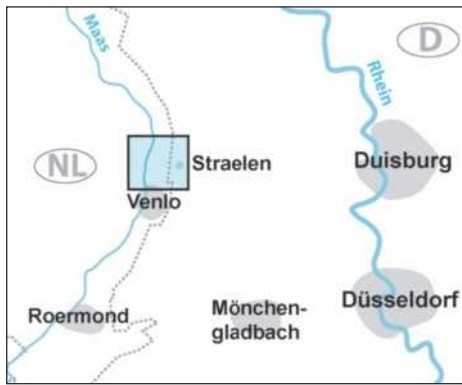


Abb. 2: Die Ravenvennen (im blauen Quadrat) zwischen Venlo und Straelen

ehemaliger Agrarflächen mit nährstoffreichem Boden in ein nährstoffarmes Naturschutzgebiet gelingen kann. Die Ravenvennen gehören zum Natura-2000-Gebiet „De Maasduinen“ und liegen zwischen der Maas und der Grenze zu Deutschland bei Straelen (Abb. 2). Das Gebiet ist vor allem durch die Parabeldünen der Maas gekennzeichnet. Alte Karten verraten, dass noch vor zwei Jahrhunderten Heide, Sümpfe und offene Gewässer die Landschaft prägten. Dann wurden die Ravenvennen trockengelegt und landwirtschaftlich genutzt; die Landschaft bestand aus trockenen Mischwäldern und ausgetrockneten kleinen Moorgewässern. Die heutige Situation der Ravenvennen ist in Abbildung 3 gut zu erkennen. Die grafische Darstellung verdeutlicht die gebietsbezogenen landschaftsökologischen Prozesse, Probleme und Ursachen.

Die Ravenvennen liegen rund fünf Meter höher als ihre Umgebung. Zu den hydrologischen Prozessen und Problemen zählen die Verdunstung durch den höhergelegenen Wald (1), die lokale und natürliche Drainage (2 und 3) und der abgesenkte Grundwasserspiegel (4 und 9). Für die Biogeochemie ist wichtig, was aus dem höhergelegenen Wald in die Ravenvennen kommt. Das sind vor allem organisches Material, Nitrat und Kohlensäure. Hinzu kommen interne Prozesse in dem Moorgebiet selbst, wie der Phosphatnachschieb aus dem ehemaligen Agrarboden (8) und die zeitweilige Austrocknung der Uferzonen. Diese gebietspezifische Kombination der Prozesse bildet die Grundlage für die Renaturierung des Gebietes.

In der Umgebung der Ravenvennen wurden im letzten Jahrhundert die Moore und die Heidelandschaft größtenteils abgebaut, so dass nur noch kleine Teile vorhanden sind. Damit es in diesem Gebiet wieder oligotrophe Moore und Moorgewässer gibt, wurden 1999 drei Agrarflächen (Moor 1, 2 und 3, s. Abb. 4) ausgewählt, die zur Renaturierung geeignet schienen. Als Ziel wurde eine vielfältige nährstoffarme Moor- und Heidelandschaft festgelegt, wie

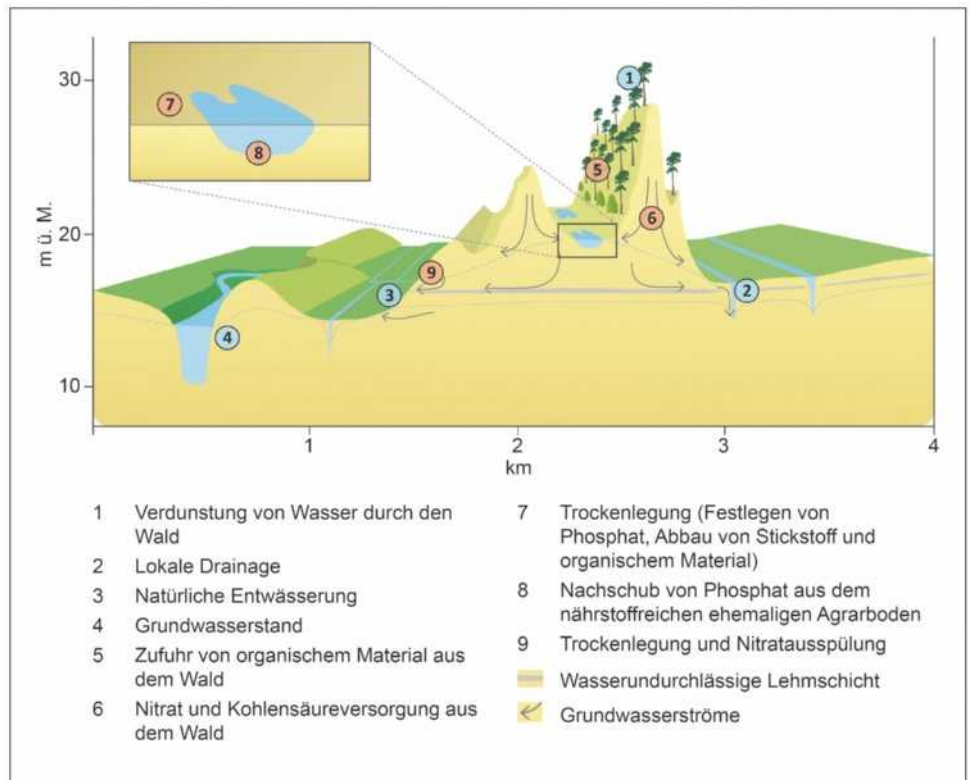


Abb. 3: Schematische Darstellung der Ravenvennen in der Landschaft zwischen Maas und deutsch-niederländischer Grenze in Meter über dem Meeresspiegel und Kilometer

sie in den Ravenvennen selbst zu finden waren und auch noch zu finden sind. Dort kamen 1997 auch die Zielarten Knöterich-Laichkraut (*Potamogeton polygonifolius*), Sechsmänniges Tännel (*Elatine hexandra*), Sumpf-Johanniskraut (*Hypericum elodes*), Europäischer Strandling (*Littorella uniflora*), Flut-Moorbinse (*Isolepis fluitans*), Sumpf-Bärlapp (*Lycopodiella inundata*),

Gewöhnlicher Pillenfarn (*Pilularia globulifera*) und Schnabel-Segge (*Carex rostrata*) vor.

Auswahl der Flächen

Für die Wiederherstellung von kleinen Mooren wurde der Valkenberg gewählt, ein Teilgebiet der Ravenvennen (Abb. 4).



Abb. 4: Ravenvennen mit dazu gehörenden Kleinflächen und Moorgewässern, die 1999 (Moor 1 bis 3) und 2007 (Option 1 bis 3) renaturiert wurden

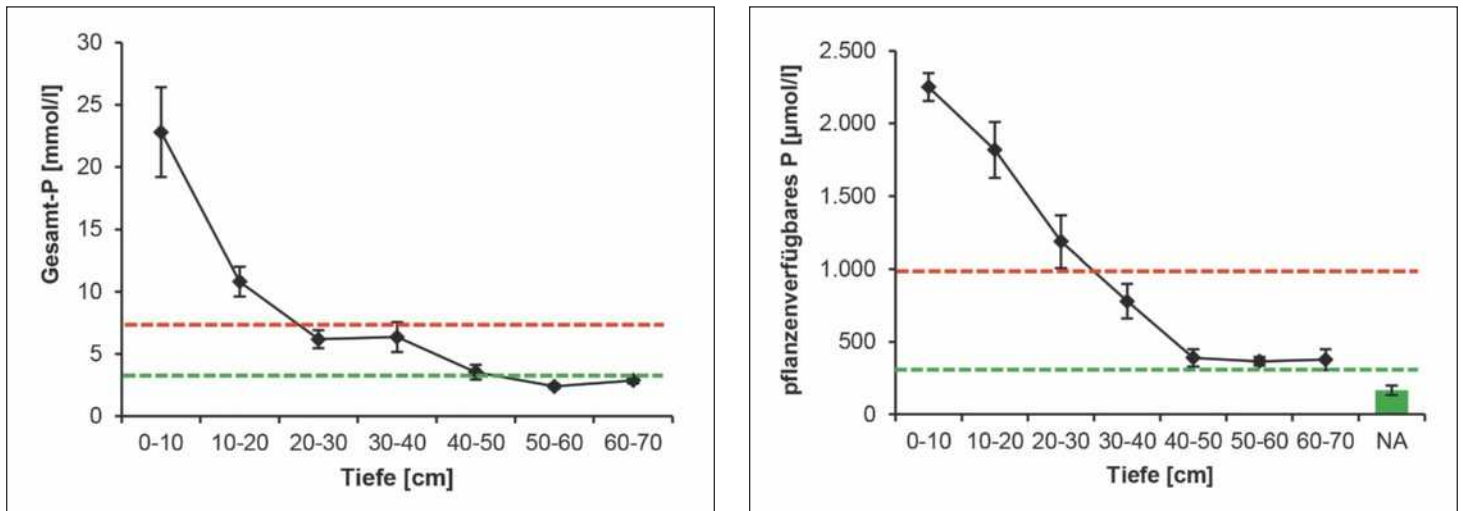


Abb. 5: Links: Gesamtphosphor-Konzentration in mmol/l gemittelt, rechts: pflanzenverfügbare Phosphor-Konzentration in µmol/l gemittelt, von Moor 2 und 3 in den verschiedenen Tiefen. NA ist die Konzentration drei Jahre nach der Abgrabung. In Rot die Konzentration im Moor 1 nach der Abgrabung von 25 Zentimeter Mutterboden. In Grün der Sollwert für nährstoffarme Moore (SMOLDERS et al. 2008).

Für die Herstellung von artenreichen und vielfältigen Mooren wurden 1999 und 2007 jeweils drei Flächen ausgewählt – alle waren zuvor Agrarflächen. Durch die Aufgabe der Landwirtschaft wurden auch die Gräben und Drainagen nicht mehr gepflegt; es trat bereits eine Vernässung des Bodens auf. Durch den nährstoffreichen Boden konnten Arten wie Flatter-Binse (*Juncus effusus*) und Wasser-Schwaden (*Glyceria maxima*) diese Gebiete besiedeln, sich stark verbreiten und andere Arten unterdrücken (LAMERS et al. 2005, LUCASSEN & ROELOFS 2005, SMOLDERS et al. 2006, SMOLDERS et al. 2008). Spezialisten nährstoffarmer Moore haben nur dann die Chance, diese wiederzubesiedeln, wenn für die Pflanzen ein Mangel an wichtigen Nährstoffen wie etwa Stickstoff (BOBBINK et al. 1998), Phosphor, Kalium oder Kohlenstoff (BROUWER et al. 2002) herrscht. Wegen der anhaltend hohen Stickstoffdeposition ist Stickstoff nicht mehr als limitierender Faktor für das Pflanzenwachstum einsetzbar. Nur die Limitierung von Phosphor verspricht über einen mittellangen Zeitraum realisierbar zu sein, in diesem spezifischen Fall konnte man von zwei bis fünf Jahren ausgehen. Dies hängt jedoch sehr von den lokalen Gegebenheiten ab.

Ausführung und Messungen 1999

Von den drei gewählten Flächen wurde bei Moor 1 (Abb. 4) ohne vorherige Messung der Nährstoffe im Bodenprofil 25 Zentimeter Mutterboden bis zur mineralischen Sandschicht abgetragen. Auf den beiden anderen Flächen (Moor 2 und 3) wurden Bodenproben bis zu einer Tiefe von 70 Zentimetern genommen und chemisch auf vier Parameter analysiert, die wichtig für die Verfügbarkeit von Phosphor in Böden

und Gewässern sind. Dies erfolgte, um einen Einblick in die Phosphor-Verteilung im Boden zu bekommen und damit auch die möglichen Renaturierungsmaßnahmen abwägen zu können. Gemessen wurden der pflanzenverfügbare Phosphor und der Gesamtphosphor, außerdem das Verhältnis der Gesamtgehalte von Calcium und Eisen zu Phosphor. Letzteres gibt Aufschluss über die Bindungskapazität des Bodens für Phosphor. Ist sie hoch, kann der Boden Phosphor binden und so die Ausspülung ins Oberflächenwasser verhindern (SMOLDERS et al. 2001, SMOLDERS et al. 2008). Um zum Beispiel die Ausbreitung der Flatter-Binse zu bremsen, sollte die Konzen-

tration an pflanzenverfügbarem Phosphor 300 Mikromol pro Liter (µmol/l) und die Gesamtphosphor-Konzentration 3.000 µmol/l im Boden nicht überschreiten. Diese Werte werden als Grenzwerte angesehen, bei denen die Flatter-Binse (*Juncus effusus*) nicht mehr gut gedeihen kann (SMOLDERS et al. 2008). Neben den Nährstoffen im Boden sind auch die Konzentrationen im Grundwasser zu berücksichtigen. Durch eine hohe Phosphat-Konzentration im Grundwasser ist eine zukünftige Eutrophierung des Oberflächenwassers nicht ausgeschlossen (Abb. 3).

Aus den Messungen ist zu sehen, dass pflanzenverfügbares Phosphor und die

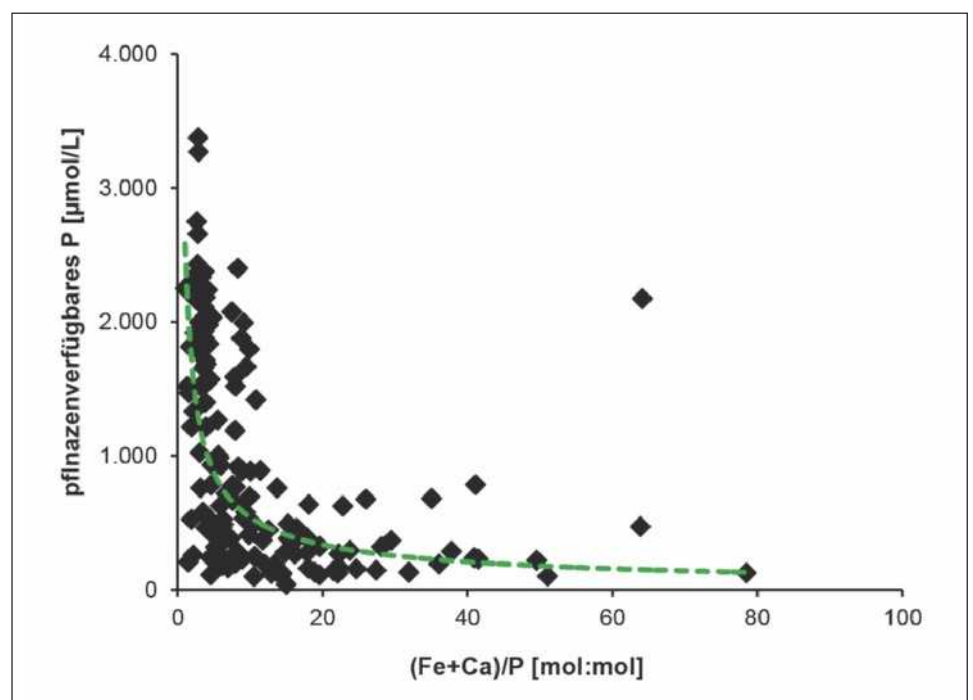


Abb. 6: Pflanzenverfügbares Phosphor in µmol/l und das Verhältnis von Eisen und Calcium zu Phosphor im Gebiet des Valkenbergs

Moor-Renaturierung

Gesamtphosphor-Konzentration in den obersten 40 Zentimetern zu hoch waren, um dort den Grundstein für nährstoffarme Moore zu legen (Abb. 5). Weiterhin zeigen die Messungen, dass die Gesamtphosphor-Konzentration in der Tiefe abnimmt; im Gegenzug dazu nimmt das Verhältnis von Calcium und Eisen zu Phosphor zu (Abb. 6).

Dies war sehr vorteilhaft, da es zeigte, dass die Phosphorbindung in den tieferen Bodenschichten niedrig genug ist. Als Renaturierungsmaßnahme wurde für die Moorgewässer 2 und 3 der Mutterboden 25 Zentimeter und die oberste mineralische Sandschicht 20 Zentimeter abgetragen. Danach wurden die Entwässerungsgräben geschlossen, sodass sich die neuen Moore mit Grundwasser füllen konnten. Die Qualität des Grundwassers war mit einem pH-Wert von 5,4, einer Bicarbonatkonzentration von 390 Mikromol und einem Phosphatwert von 1,4 Mikromol (LUCASSEN & SMOLDERS 2007) ideal, um ein nährstoffarmes Moor zu ermöglichen.

Zwei Jahre später

In den acht darauffolgenden Jahren wurden die Wasserwerte in regelmäßigem Abstand überwacht und zwei Jahre nach den Renaturierungsmaßnahmen nochmals Bodenproben für die Messung des pflanzenverfügbaren Phosphors genommen. Die Wasserqualität war nach anderthalb Jahren stabil. Dabei hatte sich in Moor 1 ein mäßig hartes Wasser mit zeitweise hohen Phosphat-, Kohlenstoff- und Bicarbonat-Konzentrationen gebildet. Auch die Gehalte des Bodens an pflanzenverfügbarem Phosphor waren, wie am Anfang, zu hoch für ein nährstoffarmes artenreiches Moor. Die eutrophe Umgebung sorgte für eine starke Biomasseproduktion und so auch für eine zwei bis 15 Zentimeter dicke Schlammschicht am Grund des Moores. Die Vegetation wurde im offenen Wasser durch Ufermoos (*Leptodictyum riparium*) dominiert, welches nährstoffreiche Gewässer liebt. Des Weiteren kamen Kleine Wasserlinse (*Lemna minor*), Wasser-Knöterich (*Persicaria amphibia*) und Krauses

Laichkraut (*Potamogeton crispus*) häufig vor. In den Uferbereichen wuchsen vermehrt Flutender Schwaden (*Glyceria fluitans*), Flatter-Binse (*Juncus effusus*), Spitzblütige-Binse (*Juncus articulatus*) und Breitblättriger Rohrkolben (*Typha latifolia*).

Im Gegensatz hierzu konnte man in Moor 2 und 3 beobachten, wie sich ein schwach gepuffertes nährstoffarmes Gewässer entwickelt hat. Die Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Bicarbonat und Phosphat wiesen einen guten Gradienten von relativ hoch zu niedrig auf und überschritten nicht die Grenzwerte für nährstoffarme Moore. Dies war auch bei der Primärproduktion zu beobachten. Nach acht Jahren hatte sich noch keine Schlammschicht gebildet und die Ufer zeigten eine mäßige Vegetation, die den Boden zwischen 65 und 95 Prozent bedeckte. Die Flora wurde von Arten dominiert, die nährstoffarme Böden bevorzugen, wie Gewöhnlicher Pflenfarn (*Pilularia globulifera*) und Sumpf-Johanniskraut (*Hypericum elodes*). Hinzu



Abb. 7: A – Valkenberg vor der Renaturierung 2007; B – während der Abtragung des Bodens; C und D: Moorgewässer im Valkenberg 2015; C im Vordergrund *Echinodorus repens* (Gewöhnlicher Igelschlauch) Fotos: Esther C.H.E.T. Lucassen

kamen lokale Populationen von Knöterich-Laichkraut (*Potamogeton polygonifolius*), Vielstängeliger Moorbirse (*Eleocharis multicaulis*), Flut-Moorbinse (*Eleogiton fluitans*) und Europäischem Strandling (*Littorella uniflora*). Diese besonderen und bedrohten Arten stellten sich nicht unmittelbar, sondern erst ein Jahr nach der Renaturierungsmaßnahme ein. Durch die nährstoffarmen Ufer und den nährstoffarmen Gewässergrund konnten sich diese Pflanzen ansiedeln, ohne dass sie durch schnellwachsende Arten überwuchert und verdrängt wurden.

Weitere Renaturierung 2007

Um noch mehr alte Agrarflächen zu nährstoffarmen Lebensräumen zu renaturieren, wurden 2007 in drei weiteren Gebieten im Valkenberg abiotische Messungen durchgeführt (s. Abb. 4, Optionen 1 bis 3). Es wurden an mehreren Stellen der Grundwasserstand, die Grundwasserströmung die Bodenchemie und die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers gemessen sowie Bodenprofile aufgenommen.

Nach Auswertung der Hydrologie kam nur für Option 1 und 3 ein nährstoffarmes schwach gepuffertes Moor in Betracht. Hier war der Grundwasserstand übers Jahr gesehen hoch genug, um die Moore mit Wasser zu versorgen. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor und die Gesamtphosphor-Konzentration waren in den tieferen Bodenschichten (ab 40 beziehungsweise 50 Zentimetern) niedrig genug, um durch eine Abtragung der ersten 40 bis 50 Zentimeter Mutterboden eine gute Ausgangssituation zu schaffen. Es erschien ratsam, die Waldflächen in nächster Nähe zu den Mooren etwas zu roden, um einer Eutrophierung durch den Eintrag von organischem Material vorzubeugen. Zudem sorgte der hohe Wasserverbrauch des Waldes für eine Austrocknung der Randgebiete der Moorgewässer. Der zentrale Entwässerungsgraben wurde geschlossen und langgestreckte flache Ufer geschaffen, welche durch zeitweises Trockenfallen neue ökologische Nischen beförderten. Um den Bodenchemismus der Ufer noch weiter zu verbessern, wurden diese mit zwei Tonnen pro Hektar gekalkt.

Option 2 war für die Renaturierung zu einem Moor leider nicht geeignet; der Grundwasserstand war zu niedrig und die Phosphat-Konzentration zu hoch. Um dennoch ein artenreiches und nährstoffarmes Habitat zu schaffen, war die Entwicklung von trockener Heide eine gute Lösung. Hierzu musste nur die oberste Bodenschicht (40 Zentimeter) abgetragen werden. Aus der Lommerheide wurden gehäckselte Heidesträucher aufgebracht. Diese Maßnahme begünstigte die schnelle Ansiedlung von Heidegewächsen und unterdrückte unerwünschte Gräser.

Die 2007 durchgeführten Maßnahmen sorgten für artenreiche und diverse Habitate. Im und um die Moorgewässer herum fanden sich 2015 unter anderem Gewöhnlicher Pillenfarn (*Pilularia globulifera*), Sechsmänniger Tännel (*Elatine hexandra*), Zwiebel-Birse (*Juncus bulbosus*), Glocken-Heide (*Erica tetralix*), Mittlerer Sonnentau (*Drosera intermedia*), Besenheide (*Calluna vulgaris*), Sumpf-Hornklee (*Lotus uliginosa*) und Trügerisches Torfmoos (*Sphagnum fallax*).

Auf den Fotos von Abbildung 7 ist gut zu sehen, wie sich die Landschaft von einer nassen Wiese in ein vielfältiges und artenreiches Moor gewandelt hat. Dieses bietet durch verschiedene Gradienten in der Biogeochemie und der Hydrologie den Arten viele verschiedene Nischen und begünstigt deren Ansiedlung und Ausbreitung. In erster Linie wird die Flora angesprochen, aber auch die Fauna wird dieses nährstoffarme Feuchtgebiet zu schätzen wissen. Im Besonderen ist in Abbildung 7 C *Echinodorus repens* (Gewöhnlicher Igelschlauch) mit seinen weißen Blüten zu sehen, welcher nur im atlantisch geprägten Europa zu finden ist.

Literatur

BOBBINK, R., HORNING, M. & J.G.M. ROELOFS (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86(5): 717–738.

BROUWER, E., BOBBINK, R. & J.G.M. ROELOFS (2002): Restoration of aquatic macrophyte vegetation in acidified and eutrophied soft-water lakes: an overview. *Aquatic Botany* 73(4): 405–431.

LAMERS, L., LUCASSEN, E.C.H.E.T., SMOLDERS, A.J.P. & J.G.M. ROELOFS (2005): Nieuwe natte natuur; fosfaat als adder onder het gras. *H2O* 17: 28–30.

LUCASSEN, E.C.H.E.T. & J.G.M. ROELOFS (2005): Vernatten met beleid: Lessen uit het recente verleden. *Natuurhistorisch Maandblad* 94: 211–215.

LUCASSEN, E.C.H.E.T. & A.J.P. SMOLDERS (2007): Herstel van de Ravenvennen op voormalig landbouwgronden in de Valkenberg: hydrologie, vegetatieontwikkeling en kwaliteit van grondwater, oppervlaktewater en bodem. B-WARE rapportage 2007.09.

SMOLDERS, A.J.P., LAMERS, L.P.M., MOONEN, M., ZWAGA, K. & J.G.M. ROELOFS (2001): Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. *Biogeochemistry* 54(2): 219–228.

SMOLDERS, A.J.P., LUCASSEN, E.C.H.E.T., TOMASSEN, H., LAMERS, L. & J.G.M. ROELOFS (2006): De fosfaatproblematiek: biogeochemische interacties en consequenties voor natuurbeheer en natuurontwikkeling in Nederland. *Vakblad natuurbeheer* April: 5–11.

SMOLDERS, A.J.P., LUCASSEN, E.C.H.E.T., VAN DER AALST, M., LAMERS, L.P.M. and J.G.M. ROELOFS (2008) Decreasing the Abundance of

Juncus effusus on Former Agricultural Lands with Noncalcareous Sandy Soils: Possible Effects of Liming and Soil Removal. *Restoration Ecology* 16(2), 240–248.

Zusammenfassung

Natur- und Landschaftspflege bleiben wichtige Maßnahmen, um dem Artensterben und den Umweltproblemen entgegenzuwirken. Dabei ist es wichtig, ein vielfältiges Habitat zu schaffen, um möglichst vielen Arten geeignete Nischen zur Verfügung zu stellen. Hierzu sind Gradienten in der Biogeochemie und Hydrologie unabdingbar. Am Valkenberg zeigt sich, welche Einflüsse die Gewässer- und Bodenchemie auf den Erfolg der Maßnahmen haben kann. In den unterschiedlichen Gebieten hatten die vorherigen Messungen der Biogeochemie sowie die Bestimmung der Hydrologie entscheidende Vorteile, um schneller und letztendlich auch kostengünstiger die gesetzten Ziele zu erreichen. Das Verständnis des Zusammenhangs von Biogeochemie, Hydrologie, Flora, Fauna und Geologie macht es möglich, die derzeitigen und künftigen Probleme schneller zu sehen und zu lösen. Eine gute vorherige Analyse des Ist-Zustandes und eine Festsetzung der Zielparameter hilft, die geeigneten Maßnahmen auszuwählen, um eine artenreiche und beständige Natur zu fördern.

Anschriften der Verfasser

Sebastian Krosse MSC
Gijs van Dijk MSC
Dr. Esther C.H.E.T. Lucassen
Dr. Emiel Brouwer
Prof. Alfons J.P. Smolders
Forschungszentrum B-WARE B.V.,
Radboud Universiteit Nijmegen
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen, Niederlande
s.krosse@b-ware.eu
g.vandijk@b-ware.eu
e.lucassen@b-ware.eu
e.brouwer@b-ware.eu
a.smolders@b-ware.eu

Prof. Jan G.M. Roelofs
Aquatische Ökologie (IWWR)
Radboud Universiteit Nijmegen
Heyendaalseweg 135
6503 GB Nijmegen, Niederlande
j.roelofs@science.ru.nl