

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

## Eichensterben und Verjüngungsprobleme beim Gemeinen Wacholder

**Die Bodenversauerung durch Stickstoffdeposition macht Eichen und Wacholder in den Niederlanden zu schaffen**

Die anhaltende Stickstoffdeposition lässt die Böden versauern und verändert deren Basensättigung. In der Folge haben es Eichen und Gemeiner Wacholder schwer. Neue Forschungen aus den Niederlanden erlauben Einblicke in die Wirkung von Stickstoffdeposition und Bodenversauerung auf diese und andere Pflanzen auf schwach gepufferten Böden.

Die Ökosysteme haben sich im Laufe des letzten Jahrhunderts stark verändert. Insbesondere anthropogene Einflüsse wirken direkt und indirekt auf die Biodiversität und auch die Biogeochemie ein. So hat sich in den letzten Jahrzehnten die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen, Wälder und Moore verändert. Aber auch die Luftverschmutzung ist bis in die 1980er-Jahre stark gestiegen, unter anderem verursacht durch eine Zunahme des Verkehrs, der Industrie und durch die Intensivierung der Landwirtschaft (BOBBINK et al. 2010). Bedeutsam ist vor allem der hohe Ausstoß von Schwefel- und Stickstoffverbindungen (GALLOWAY 1995). In den Niederlanden, aber auch in Deutschland (GEUPEL & FROMMER 2014) war seit den 1950er-Jahren eine starke Zunahme von Ammonium und Ammoniakverbindungen in der Luft zu beobachten. Seit den 1990er-Jahren konnte durch verschiedene Maßnahmen diese Luftverschmutzung leicht reduziert werden (BOBBINK et al. 2010). Die stark saure Schwefeldeposition hat seit den 1990er-Jahren stark abgenommen. Dagegen ist bei den Stickstoffoxiden leider keine Abnahme festzustellen.



Abb. 1: Im Laubwald in Noord-Brabant wird Mineralmehl experimentell eingesetzt, um der Bodenversauerung und ihren Folgen entgegenzuwirken  
Foto: R. Bobbink

### Bodenversauerung

Außer dem Nährstoffreichtum ist auch der Säuregrad des Bodens ein wichtiger Faktor für die Vegetationsentwicklung. Um die Fähigkeit der Böden zur Kompensation atmosphärischer Säuren beurteilen zu können, ist das aktive Puffersystem gut geeignet (s. Abb. 2).

Durch die Zufuhr von Säuren werden die positiv geladenen Kationen sowie Calcium und Magnesium an den Silikaten und Tonmineralen gegen Wasserstoffionen ausgetauscht. Ab einem pH-Wert von circa 4,5 treten vermehrt freies Aluminium und Wasserstoffionen in der Bodenlösung auf. Das Aluminium wird durch die hohe Konzentration an Säuren bei dem niedrigen pH-Wert

gelöst. Unter diesen Umständen können Nährstoffmangel und Schäden bei empfindlichen Pflanzenarten die Folge sein.

Vor allem Aluminium, aber auch Ammonium, das sich durch eine gestörte Nitrifikation in sauren Böden akkumuliert, sind für viele Pflanzenarten giftig und können zu Schäden führen. Betroffen sind auch seltene Arten wie die für artenreiche Heiden charakteristische Echte Arnika (*Arnika montana*) und die Englische Kratzdistel (*Cirsium dissectum*) (DE GRAAF et al. 1997, LUCASSEN et al. 2003). Die Folgen der anhaltenden Versauerung durch Stickstoff sind nicht auf einzelne Gebiete beschränkt, sondern sie erstrecken sich über ganze Landstriche. Allerdings sind in schwach gepufferten Ökosystemen die Effekte viel schneller zu sehen. Dazu gehören unter anderem Feuchtheiden mit

Glockenheide (FFH-Lebensraumtyp 4010), Trockene Heiden (Lebensraumtyp 4030), Wälder auf Sandböden (zum Beispiel Wacholderbestände auf Zwergstrauchheiden, Lebensraumtyp 5130), Artenreiche Borstgrasrasen (Lebensraumtyp 6230), nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche Stillgewässer (Lebensraumtyp 3130) und Moore. In diesen Lebensräumen wird die Biodiversität schnell abnehmen (BOBBINK et al. 2010, DE GRAAF et al. 1997, LUCASSEN et al. 2003).

### Eutrophierung

Ein anderer wichtiger Effekt, der durch die Stickstoffdeposition verstärkt wird, ist die Eutrophierung des Bodens und der Gewässer. In vielen Naturgebieten und Habitaten war Stickstoff früher ein limitierender Fak-

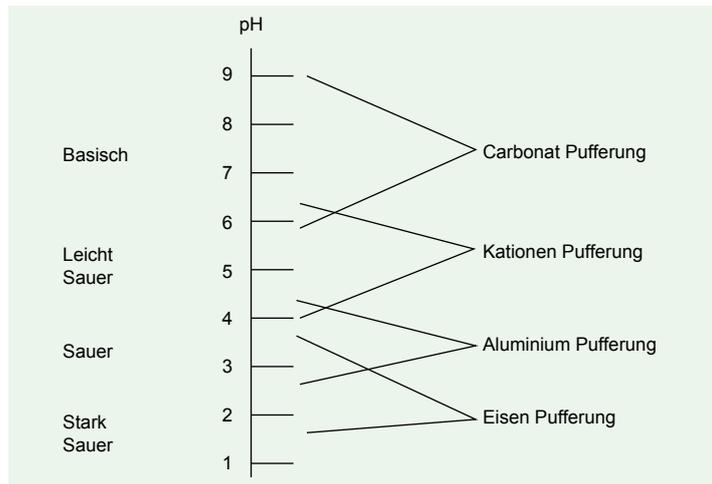


Abb. 2: Abhängig vom pH-Wert sind verschiedene Puffersysteme im Boden aktiv



Abb. 3: Das Phänomen des Stieleichensterbens tritt in den Niederlanden vor allem auf sandigen, wenig gepufferten Böden auf  
Foto: R. Bobbink

tor. Nur Spezialisten konnten dort leben. So wurde eine hohe Biodiversität erreicht. Durch die Stickstoffdeposition gelangt zusätzlich Stickstoff in das Ökosystem und ist in der Folge kein limitierender Faktor mehr. Weiterhin wird durch die Zunahme des Stickstoffs auch mehr stickstoffreicher Detritus gebildet, bei dessen Zersetzung wiederum mehr Stickstoff freigesetzt wird. Durch den höheren Stickstoffanteil im Boden können schnell wachsende Generalisten wie Gräser dominieren und die Spezialisten verdrängen – mit entsprechenden Konsequenzen für die Biodiversität (BOBBINK et al. 1998).

## Konsequenzen

Zusammengefasst führt Stickstoffdeposition zur Eutrophierung des Bodens, toxische Stoffe können freigesetzt werden und der wohl wichtigste Effekt ist die Bodenversauerung und deren Auswirkungen auf die Bodenzusammensetzung. Pflanzengemeinschaften können sich verändern und die Biodiversität kann abnehmen. Durch Naturschutzmaßnahmen kann vielleicht einem Teil der negativen Effekte entgegengewirkt

werden. Dazu ist es wichtig, mehr über die Probleme einzelner Pflanzenarten zu wissen. Im Weiteren werden zwei Fälle beschrieben, in denen die Folgen der Bodenversauerung für den Gemeinen Wacholder (*Juniperus communis*) und die Stieleichen (*Quercus robur*) untersucht wurden.

## Fall 1: Eichensterben und Bodenversauerung

Das Phänomen des Eichensterbens wurde zuerst in den 1970er-Jahren wahrgenommen (FÜHRER 1998). Allerdings sind die Meldungen dann bis in die letzten Jahre zurückgegangen. Jetzt klagen verwaltende Organisationen in den Niederlanden wieder vermehrt über das Sterben der Stieleichen vor allem auf sandigen, wenig gepufferten Böden. Die Sterberate liegt in mehreren niederländischen Naturschutzgebieten zwischen zehn und 45 Prozent. Die Ursachen ihres Anstiegs sind komplex und greifen ineinander. Unter anderem können Klima, Bodenzustand, Krankheiten und Insektenplagen eine Rolle spielen (THOMAS et al. 2002).

Wir haben uns in den letzten Jahren auf die Effekte der Stickstoffdeposition und Bodenversauerung konzentriert und dazu Stieleichen in den Maasdünen (Niederlande, mineralarmer Sandboden) und in einem Referenzgebiet in Egersund (Norwegen, kalkarmer Boden) auf ihre Standorte und die Bodenparameter hin untersucht (LUCASSEN et al. 2014). Dabei wurden die Eichen in die Vitalitätsklassen „abgestorben“, „geschädigt“ und „vital“ eingeteilt. Rund um diese Bäume wurden Boden-, Blatt-, Splintholz- und Bastproben genommen. In diesen Proben aus einer Tiefe von Null bis 20 Zentimeter unter der Humusschicht wurden die Mineralien, der pH-Wert, die Nährstoffgehalte und die Basensättigung bestimmt. Die Blattproben wurden zudem auf ihren Chlorophyll-a-Gehalt hin untersucht.

Die Basensättigung zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen dem Referenzgebiet in Norwegen und den vitalen Bäumen in den Maasdünen (Abb. 4). In Norwegen ist die Stickstoffdeposition viel geringer. Dadurch gibt es dort auch nicht so große Probleme mit der Bodenversauerung und der Abnahme

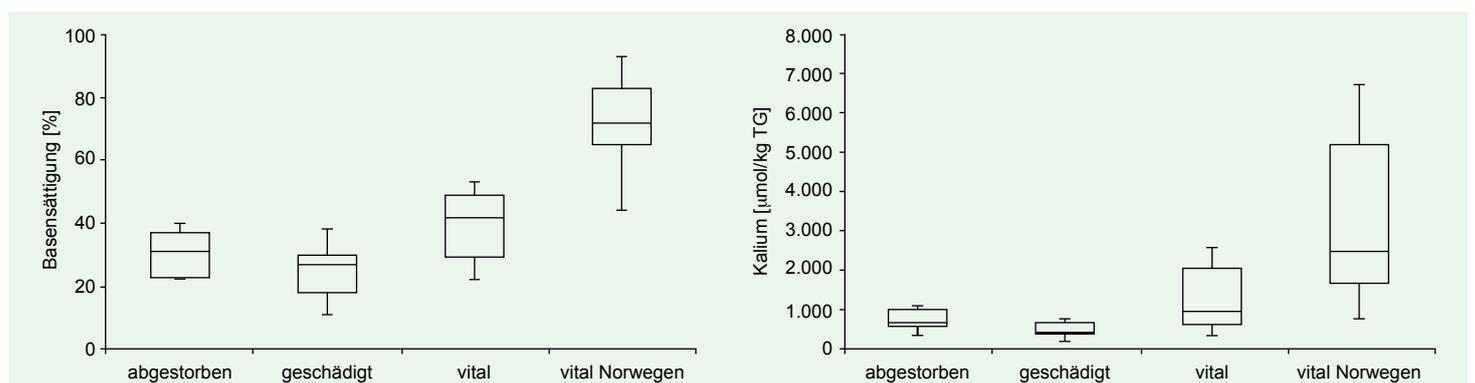


Abb. 4: Links: Basensättigung des Bodens in Prozent in den Vitalitätsklassen. Rechts: freie Kaliumkonzentration im Boden in Mikromol pro Kilogramm Trockengewicht (TG) in den Vitalitätsklassen.

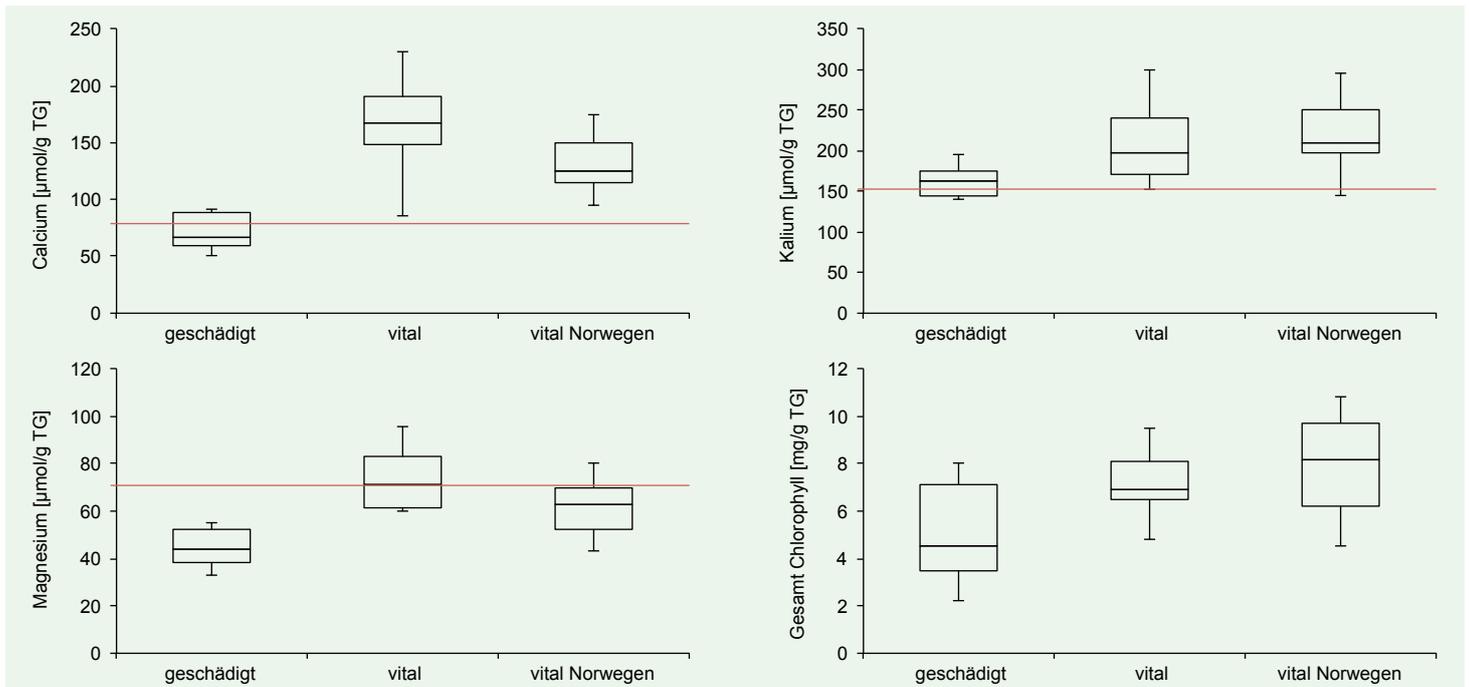


Abb. 5: A: Calcium-, B: Kalium- und C: Magnesiumgehalt in Mikromol pro Kilogramm Trockengewicht (TG) in den Blättern. D: Gesamt-Chlorophyll in den Blättern in Milligramm pro Gramm; rote Linie ist der jeweilige Grenzwert für Mangelerscheinungen.

der Basensättigung wie in den Niederlanden oder in Westeuropa. Auch die Unterschiede zwischen der Basensättigung der vitalen und der Basensättigung der geschädigten und abgestorbenen Bäume in den Maasdünen sind signifikant ( $p < 0,001$ ). Ein ähnliches Bild zeigt die freie Kaliumkonzentration im Boden auf, wobei hier auch in Norwegen die Abweichungen größer sind.

Die Messungen des Stickstoffgehaltes in den Böden der Maasdünen zeigen eine negative Korrelation mit dem pH-Wert ( $R^2 = 0,63771$ ;  $Y = 5,494x^{-0,055}$ ), sodass man auf eine Bodenversauerung durch die Stickstoffdeposition schließen kann – wahrscheinlich in Kombination mit der Nitrifikation von Ammonium in Nitrat und den dabei entstehenden Säuren (LUCASSEN et al. 2014).

Die Blätter vitaler Bäume in den Maasdünen und in Norwegen weisen im Gegensatz zu den Blättern geschädigter Bäume signifikant höhere Konzentrationen an Kalium, Magnesium, Calcium und Chlorophyll auf (Abb. 5 A bis D). Die Konzentration an Magnesium ist bei allen geschädigten Bäumen niedriger als der unterste Grenzwert für Stieleichen ( $70 \mu\text{mol/g}$  Trockengewicht); bei Kalium und Calcium ist dies auch beinahe der Fall ( $150 \mu\text{mol/g}$  Trockengewicht und  $75 \mu\text{mol/g}$  Trockengewicht). Alle Messungen zusammen zeigen einen Mineralmangel (Calcium, Magnesium und Kalium) in den abgestorbenen und den geschädigten Bäumen auf. Mineralien sind wichtig für die Photosynthese und die Bildung von sekundären Abwehrstoffen. Dies erklärt auch, dass die Konzentration von Chlorophyll als direktes Maß für die Photosyntheseaktivität in geschädigten Bäumen geringer ist.

Die negative Korrelation zwischen Stickstoffgehalt und pH-Wert sowie eine abnehmende Basensättigung lassen auf die Stickstoffdeposition als Ursache für die Bodenversauerung und die abnehmende Basensättigung schließen. Es wird deutlich, dass von einer Basensättigung von 20 bis 30 Prozent an abwärts Stieleichen eine höhere Sterberate und eine geringere Vitalität aufweisen (LUCASSEN et al. 2014).

Neben den direkten Beeinträchtigungen durch den niedrigeren pH-Wert, den Mineralmangel und die geringe Basensättigung gibt es auch indirekte Wirkungen, die andere Stressfaktoren begünstigen. Zum Beispiel wird durch den Mangel an Calcium, Magnesium und Kalium das Nährstoffverhältnis von Calcium zu Kalium und von Stickstoff zu Kalium erhöht. Dies führt zu einer gestörten Physiologie der Pflanzen, durch die ihre Abwehr gegen Krankheiten und Insekten verringert wird. In den Niederlanden nimmt hierdurch der Einfluss des Eichenprachtkäfers zu. Dieser Käfer zählt zu den Invasoren und breitet sich, begünstigt durch das wärmer werdende Klima, weiter aus. Die Larven graben sich in den Bast der Eichen, schädigen dadurch die Physiologie der Bäume und bringen damit bereits geschwächte Bäume zum Absterben.

## Fall 2: Verjüngungsprobleme beim Gemeinen Wacholder

Der Gemeine Wacholder kommt auf der Nördlichen Halbkugel vor, im südlichen Teil jedoch nur in den Höhenregionen. Er ist an gut durchlässige, trockene Böden gebunden (zum Beispiel trockene Heiden)

und benötigt einen hohen Lichteinfall, weshalb er als Pionierpflanze angesehen wird. In den letzten Jahren lassen die Bestände des Gemeinen Wacholders auf Sandböden in den Niederlanden, Belgien und in Teilen von Deutschland einen Rückgang der Verjüngung erkennen (KNOL & NIJHOF 2014). Wenn die Verjüngung ausbleibt, besteht die Gefahr, dass die noch vorhandenen Wacholderpopulationen überaltern und letztendlich verschwinden. Bei der Verjüngung kann man im Wesentlichen vier Phasen unterscheiden:

1. die Produktion der Beeren,
2. die Verbreitung der Samen,
3. die Keimung und
4. die Festigung der Sprösslinge.

Wie bei den Stieleichen können auch beim Gemeinen Wacholder die anhaltende Stickstoffdeposition, die dadurch schlechtere Basensättigung und der niedrigere pH-Wert des Bodens eine Rolle spielen. Davon könnten vor allem die Phasen 1 und 3 beeinträchtigt werden (LUCASSEN et al. 2011).

In den Jahren 2010 und 2011 haben wir in den Maasdünen in den Niederlanden, auf Hiddensee und in Egersund (Norwegen) Beeren-, Nadel-, Ast- und Bodenproben genommen. Dadurch hofften wir, Einblicke in mögliche Zusammenhänge zwischen Boden und Wacholdervitalität sowie -verjüngung zu bekommen. Die Gebiete wurden in die Klassen „keine“, „wenig“ und „viel“ Verjüngung eingeteilt, wobei die Gebiete auf Hiddensee und in Egersund die einzigen mit viel Verjüngung waren. Es wurden unter anderem der pH-Wert, die Basensättigung sowie die Aluminium-,

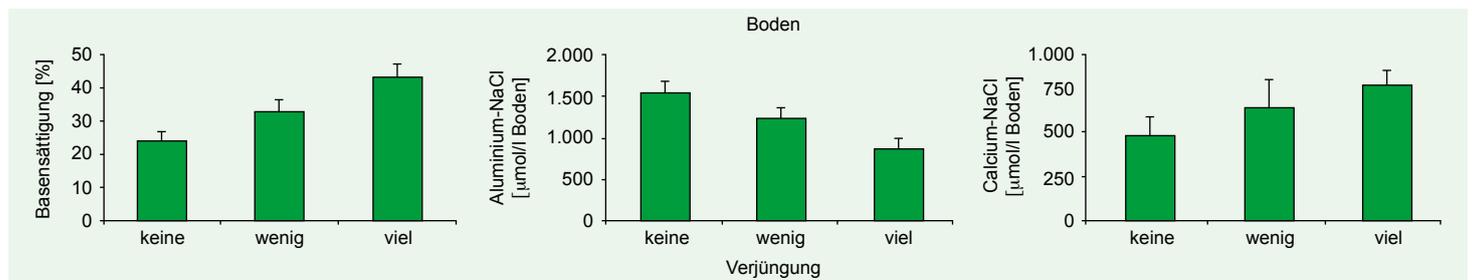


Abb. 6: Basensättigung in Prozent, Aluminiumkonzentration in  $\mu\text{mol/l}$  Boden und Calciumgehalt in  $\mu\text{mol/l}$  Boden in den Gebieten mit keiner ( $n=21$ ), wenig ( $n=12$ ) und viel ( $n=9$ ) Verjüngung

Calcium-, Kalium-, Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen gemessen.

Bei den in Abbildung 6 gezeigten Parametern lässt sich deutlich erkennen, wie die verschiedenen Gebietsklassen mit der Basensättigung des Bodens korrelieren: In der Klasse „keine“ Verjüngung ist die Basensättigung niedrig, dagegen ist sie in der Klasse „viel“ Verjüngung hoch. Im Gegenzug sind die Aluminiumkonzentrationen in Gebieten mit keiner Verjüngung deutlich höher als in Gebieten mit viel Verjüngung. Anders sieht es bei der Calciumkonzentration aus: Wenn diese hoch ist, sind die Böden noch gut gepuffert (LUCASSEN et al. 2011).

Die Aluminiumwerte, die in den Böden gemessen wurden, stimmen auch mit den Unterschieden der Aluminiumwerte in den Beeren in den betreffenden Gebieten überein (Abb. 7 B). Zudem kommen für Pflanzen essenzielle Nährstoffe, hier Kalium, Calcium und Phosphor, in den Beeren aus den Gebieten ohne Verjüngung in viel niedrigeren Konzentrationen vor als in Gebieten mit viel Verjüngung (Abb. 7 C und D). Dadurch nehmen auch die Verhältnisse von Stickstoff zu Phosphor und Stickstoff zu Kalium zu. In den Nadeln zeigen sich ähnliche Ergebnisse.

Um die Vitalität beziehungsweise die Lebensfähigkeit der Samen zu beurteilen, wurde ein Test mit Tetrazoliumchlorid durchgeführt. Dieser Stoff ist farblos, wird aber durch eine Redox-Reaktion in lebenden Zellen rot. Diese Eigenschaft ermöglicht es, Samen schnell auf ihre Lebensfähigkeit hin zu testen (s. Abb. 8).

Die durch diesen Test gewonnen Ergebnisse sind auch in Abbildung 7 E zu sehen. Die Lebensfähigkeit korreliert unverkennbar mit der Phosphor- und Kaliumkonzentration in den Beeren, aber auch mit der Basensättigung des Bodens. Dem Phosphor in den Samen fällt dabei wahrscheinlich die wichtigste Rolle zu. So wird aus Phosphor Adenosintriphosphat gebildet, das als Energiequelle für den zu entwickelnden Embryo genutzt wird. Steht nicht genügend Phosphor zur Verfügung, kann das direkt die Lebensfähigkeit der Samen beeinträchtigen. Weiterhin weisen die Beeren in den Gebieten mit keiner Verjüngung wesentlich größere Schildlauspopulationen auf. Hier ist auch eine Korrelation zwischen dem Vorkommen von Schildläusen und der Bodenversauerung festzustellen (Abb. 6 rechts und Abb. 7 F).

Durch all diese Messungen kann man wohl davon ausgehen, dass die fehlende Verjüngung des Gemeinen Wacholders in Phase 1 des Verjüngungsprozesses mit der Bodenversauerung durch die Stickstoffdeposition in Verbindung steht, die wiederum vom Pufferpotenzial des Bodens abhängt. Die Gebiete mit viel Verjüngung auf Hiddensee und in Egersund waren nie einer solch erhöhten Stickstoffdeposition ausgesetzt wie Westeuropa (LUCASSEN et al. 2011). Aus diesem Grund sind dort noch Gebiete ohne Vermehrungsprobleme zu finden.

## Maßnahmen zur Verbesserung der Böden

Bei Stieleichen und Wacholder lassen sich die Probleme erkennen, die eine über Jahrzehnte anhaltende hohe Stickstoffdeposition verursacht. Natürlich sind nicht nur diese Arten betroffen, sondern das ganze Ökosystem. Eine Reduzierung der Stickstoffdeposition auf ein natürliches Level wäre wohl die beste Lösung für humusarme Sandböden. Da dies nicht so schnell und effektiv umzusetzen ist und die bereits erfolgte Versauerung irreversibel ist, müssen andere Lösungen gefunden werden, um der Stickstoffdeposition und vor allem der

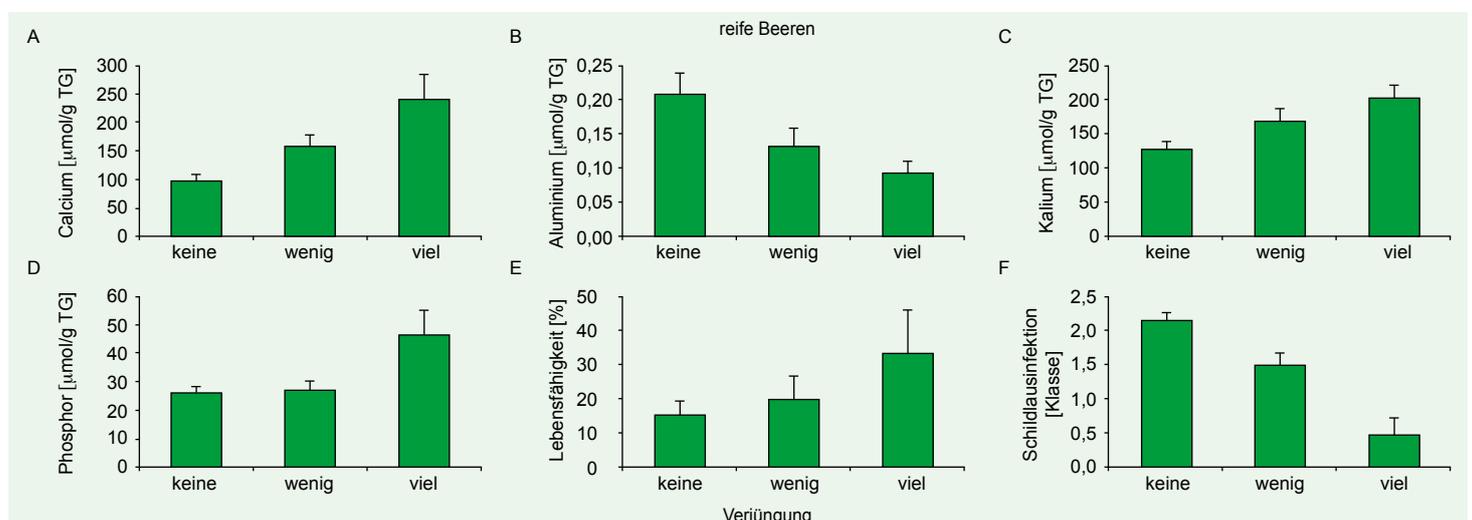


Abb. 7: Parameter der reifen Beeren verteilt über die Gebietsklassen „keine“ ( $n=21$ ), „wenig“ ( $n=12$ ) und „viel“ ( $n=9$ ) Verjüngung: A Calcium-, B Aluminium-, C Kalium- und D Phosphorkonzentration in  $\mu\text{mol/kg TG}$ . E Lebensfähigkeit in Prozent. F Schildlausinfektion in Klassen.



Abb. 8: Tetrazoliumchlorid-Test an Samen des Gemeinen Wacholders: Bild A lebensfähiger, Bilder B und C nicht lebensfähiger Same

Fotos: E. Pierson/Gemeinschaftliches Instrumentarium, Radboud Universität Nijmegen

dadurch bedingten Bodenversauerung entgegenzuwirken. Der Bodenversauerung auf sandigen, schwach gepufferten Böden ließe sich zum Beispiel durch das Zuführen von Basen gegensteuern. Für ausgetrocknete, ehemals nasse Gebiete wäre eine Wiedervernäsung durch basenreiches Grundwasser eine Lösung. Für trockene Gebiete oder trockenheitsliebende Pflanzen ist eine Zufuhr von Mineralien über die Erdoberfläche möglich. In den Niederlanden laufen zurzeit Versuche, um die Basensättigung durch das Aufbringen von Kalk, Steinmehl mit hohem Magnesium- und Kalkanteilen oder Patentkali als Kaliumquelle zu erhöhen. Da Kalk sich meistens nur langsam löst und in tiefere Bodenschichten gelangt, werden in kurzer Zeit nur die obersten Zentimeter mit Basen angereichert. Für versauerte Borstgrasrasen mit flachwurzelnden Pflanzen ist dies eine sehr gute Maßnahme. Es ist jedoch fraglich, ob so die Qualität der Beeren des Wacholders oder die Sterberate der Stieleichen schnell verbessert werden kann, denn beide Pflanzen sind Tiefwurzler. Hierfür wird mit Tiefenkalkung experimentiert. Aber höchstwahrscheinlich können nur durch die Kombination mehrerer Maßnahmen zufriedenstellende Resultate erreicht werden.

## Ausblick

Um die anhaltenden Probleme mit der zu hohen Stickstoffdeposition und der daraus resultierenden Bodenversauerung in schwachgepufferten Böden in den Griff zu bekommen und frühzeitig zu erkennen, ist es wichtig, mehr über die Naturgebiete zu wissen. Vor allem auf sandigen und schwach gepufferten Böden (zum Beispiel Heiden) treten schneller Probleme auf; dort wird auch die Vegetation schnell Schwierigkeiten bekommen. Dies führt über kurz oder lang zur Veränderung der Vegetation und damit auch der Biodiversität. In den meisten Fällen wird die Physiologie von Arten schnell gestört werden und sich die Biodiversität langsam verringern. Solch ein Effekt in der Vegetationsdiversität und -qualität hat direkte Auswirkungen auf Herbivore, zum Beispiel

viele Insekten. Auch wenn die Stickstoffdeposition verringert wird, werden Maßnahmen nötig sein, um die Pufferkapazität und den Mineralienhaushalt von versauerten Böden wiederherzustellen. Hier kann man unter anderem an das Aufbringen von Kalk, Steinmehl oder organischem Material denken. Alle Maßnahmen haben Vor- und Nachteile und sollten auf den Habitattyp abgestimmt werden. Hierbei können jahrelange Erfahrung und experimentelle Feldversuche helfen.

## Literatur

- BOBBINK, R. & L.P.M. LAMERS (1999): Effecten van stikstofhoudende luchtverontreiniging op vegetaties. Overschotten van stikstof en fosfaat; bruggen slaan tussen milieudoelstellingen en landbouw productie, 1–31.
- BOBBINK, R., HORNUNG, 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: 717–738.
- BOBBINK, R. & J-P, HETTELINGH (Hrsg.) (2010): Review and revision of empirical critical loads and dose response relationships. UN/ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Noordwijkderhout, The Netherlands.
- BOBBINK, R., BAL, D., VAN DOBBEN, H.F., JANSEN, A.J.M., NUISSEN, M., SIEPEL, H., SCHAMINÉE, J.H.J., SMITS, N.A.C. & W. DE VRIES (2011): De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. Pp. 41–81, PAS (Smits, N.A.C., Adams, A.S., Bal, D. & Beije H.M., Hrsg.). Wageningen/Den Haag: Alterra Wageningen UR en Programmadirectie Natura 2000 van Ministerie van EZ.
- DE GRAAF, M.C.C., BOBBINK, R., VERBEEK, P.J.M. & J.G.M. ROELOFS (1997) Aluminum toxicity and tolerance in three heathland species. *Water, Air and Soil Pollution* 98: 229–239.
- FÜHRER, E. (1998): Oak decline in Central Europe; a synopsis of hypotheses. Pp. 7–24, USDA Forest Service General Technical Report, Washington.
- GALLOWAY, J.N. (1995): Acid deposition: perspectives in time and space. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 15–24.

GEUPEL, M. & J. FROMMER (2014): Reaktiver Stickstoff in Deutschland – Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen. Umweltbundesamt.

KNOL, W.C. & B.S.J. NIJHOF (2014): Jeneverbes (*Juniperus communis* L.) in de verdrukking. Een integrale verkenning van de verjongingsproblematiek. Alterra rapport 942.

LUCASSEN, E.C.H.E.T., BOBBINK, R., SMOLDERS, A.J.P., VAN DER VEN, P.J.M., LAMBERS, L.P.M. & J.G.M. ROELOFS (2003): Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology* 165: 45–52.

LUCASSEN, E.C.H.E.T., VAN DEN BERG, L., ABEN, R., SMOLDERS, A.J.P., ROELOFS, J.G.M. & R. BOBBINK (2014): Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. *Landschap* 4: 185–193.

LUCASSEN, E.C.H.E.T., LOEFFEN, L., POPMA, J., VERBAARSCHOT, E., REMKE, E., KORT DE, S. & ROELOFS, J.G.M. (2011): Bodemverzuring lijkt een sleutelrol te spelen in het verstoorde verjongingsproces van Jeneverbes. *De Levende Natuur*: 235–239.

THOMAS, F.M., BLANK, R. & G. HARTMANN (2002): Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology* 32(4-5): 277–307.

## Zusammenfassung

Stickstoffdeposition ist und bleibt ein anhaltendes Problem mit negativen Folgen für den Boden und die Biodiversität. Dabei bestimmen hauptsächlich pH-Wert, Basensättigung, Mineralienverfügbarkeit und Bodenversauerung das Vorkommen der Pflanzenarten. So können Bäume langsam sterben oder sich einfach nicht weiter verjüngen, wie hier bei den Stieleichen und den Wacholdern auf schwachgepufferten Böden dargestellt. Wichtige Kriterien zur Einschätzung der Auswirkungen des Stickstoffeintrags auf Habitate und Arten, sind die Bodenzusammensetzung und die Hydrologie. Es wurde gezeigt wie sich eine veränderte Bodenchemie direkt auf die Chemie der Bäume auswirken kann und so als Indikator für deren Vitalität dienen kann. Durch Messungen der Bodenchemie und Hydrologie kann man schnell einen guten Einblick in die Bodenversauerung und den Zustand des Bodens bekommen und so schneller passende Maßnahmen zum Schutz der Bäume ergreifen.

## Autoren

Sebastian Krosse MSc  
Gijs van Dijk MSc  
Dr. Esther C.H.E.T. Lucassen  
Dr. Roland Bobbink  
Prof. Alfons J.P. Smolders  
Prof. Jan G.M. Roelofs

Forschungszentrum B-WARE B.V.  
Radboud Universiteit Nijmegen  
Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen, Niederlande  
s.krosse@b-ware.eu