

Ergebnisse, Diskussion und Zusammenfassung

Nährstoffeinträge

Die in den Beiträgen ermittelten Untersuchungsdaten zu den atmosphärischen Nährstoffeinträgen, zu den Nährstoffvorräten in der Vegetation und im Boden und zu den Nährstoffausträgen mit dem Sickerwasser (Beiträge I-IV) liegen alle im Rahmen anderer Untersuchungen (Matzner & Ulrich 1980, Engel 1988, Schlieske 1992, Aerts 1993, Gauger et al. 2000, Kirkham 2001).

Deposition

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen für den Untersuchungszeitraum einen jährlichen N-Eintrag von $21,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Beiträge I+II) bzw. $22,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Beiträge III+IV). Der gemessene P-Eintrag lag in allen Untersuchungen unter $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Unsere gemessenen Werte werden durch andere Untersuchungen aus Deutschland und Großbritannien bestätigt (Bleeker et al. 2000, Gauger et al. 2000, Power et al. 2001, Kirkham 2001); es gibt auch Untersuchungen mit höheren Eintragsraten aus den Niederlanden (Bakema et al. 1994, Erisman & de Vries 2000, Eerens et al. 2001). Für ein erfolgreiches Heidepflegemanagement ist wichtig auch die Nährstoffsituation im System zu betrachten. Hilfreich sind dabei die in Simulationsmodellen ermittelten critical load-Werte für N-Einträge. Die dort als Belastungsgrenze für Sandheiden angegebenen $10\text{-}20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Achermann & Bobbink 2003) werden international wie auch lokal im NSG Lüneburger Heide bereits überschritten. Um eine langfristige Erhaltung der Heidesysteme auch zukünftig gewährleisten zu können besteht Handlungsbedarf.

Ascheniederschlag

Messungen der Nährelemente im O-Horizont nach dem Brennen zeigten, dass durch den Ascheniederschlag ein hoher Anteil Ca, K und Mg im System verbleibt, d.h. die Elementgehalte waren nach dem Brandereignis signifikant höher als davor. Da Stickstoff überwiegend gasförmig entweicht, konnten nur geringe N-Zunahmen im O-Horizont nach dem Brennen gemessen werden (Beitrag IV, Allen 1964, Niemeyer et al. 2004).

Exkrement

Bei der Beweidung erfolgen neben den atmosphärischen weiteren Nährstoffeinträge in das System über die Abgabe von Kot und Harn. Da die Schafe über Nacht und während der Mittagsrast außerhalb der Heideflächen gehalten werden, gelangen die täglichen Kot- und Harnabgaben nur partiell in das System. Eine Exkrementverteilung von ca. 30% innerhalb und ca. 70% außerhalb der Heideflächen wurden der Auswertung zugrunde gelegt (Görschen & Müller 1986). Die Ergebnisse zeigen, dass N und K in größeren Mengen in das System zurückgelangen als Ca, Mg und P. In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen zeigen die Analysewerte, dass das Mengenverhältnis der einzelnen Nährelemente in Kot und Harn unterschiedlich ist. Während Ca, Mg und P vorwiegend über den Kot abgegeben werden, gelangen N und K hauptsächlich über den Harn in das System (Barrow 1987, Brenner 2001). Verglichen mit den hohen atmosphärischen eingetragenen Nährstoffmengen treten die Nährstoffeinträge über die Exkreme (z.B. $3,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $0,2 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) in unserer Untersuchung in den Hintergrund.

Nährstoffausträge

Sickerwasser

In unserem Beweidungsexperiment zeigten sich während des Untersuchungszeitraumes von einem Jahr keine signifikanten Unterschiede in der Menge der ausgetragenen Nährstoffe. Aufgrund kontinuierlicher Beweidung kann vermutet werden, dass Einflüsse durch einen Beweidungsausschluss erst nach einer längeren Zeitperiode zu beobachten sein werden (Beiträge I+II).

Bei den übrigen Pflegeverfahren hingegen wurden deutliche Veränderungen der Menge der ausgetragenen Nährstoffe auf den Maßnahmenflächen beobachtet. Die N-Austräge waren nach dem Plaggen, dem Schopern und dem Feuereinsatz signifikant erhöht. Teilweise wurden ebenfalls signifikant erhöhte Austragsmengen von Ca, K und Mg nach den Pflegemaßnahmen beobachtet (Beiträge III+IV). Durch die nach dem Pflegeeingriff fehlende Vegetationsdecke findet keine Nährstoffaufnahme mehr statt. Auch die nun fehlende Beschattung des Oberbodens bewirkt eine deutliche Erwärmung des Humushorizontes und wirkt sich beschleunigend auf die Mineralisationsprozesse aus. Dies führt zu einer erhöhten Nährstofffreisetzung (Mallik 1986, Berendse 1990, Bakema et al. 1994). Durch den

Ascheniederschlag beim Brennen gelangen die basisch wirkenden Kationen Ca, K und Mg wieder auf die Brandflächen. Sie sorgen dort für eine vorübergehende Erhöhung des pH-Wertes, welche ebenfalls eine Beschleunigung der Abbauprozesse bewirkt (Beitrag IV, Mallik & FitzPatrick 1996).

Biomasse und Boden

Im Rahmen der folgenden Diskussion werden die Ergebnisse einer kontinuierlichen Pflegemaßnahme (Beweidung) und die Ergebnisse einmalig wirkender Verfahren (mechanische Pflegemaßnahmen, kontrolliertes Brennen) beschrieben und diskutiert. Da die Beweidung kontinuierlich erfolgt, werden die Eintrags- und Austragsmengen in $[\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$ angegeben. Die übrigen Verfahren stellen einen einmaligen Eingriff dar, so dass Eintrags- und Austragsmengen in $[\text{kg ha}^{-1}]$ angegeben sind.

Durch die Schafbeweidung wird dem System kontinuierlich Biomasse entzogen. Die Schafe fressen nur bis ca. 3 cm über der Bodenoberfläche und von *Calluna vulgaris* werden selektiv die jungen Triebe bevorzugt (Armstrong et al. 1997), so dass die kurz über den Boden befindliche Vegetation durch den Fraß nicht beeinträchtigt wird (Milne et al. 1998). Nach einem Beweidungsexperiment über ein Jahr wurde auf den unbeweideten Referenzflächen eine *Calluna*-Biomasse von 8.307 kg ha^{-1} , auf den beweideten Untersuchungsflächen eine *Calluna*-Biomasse von 6.142 kg ha^{-1} ermittelt. Bei den Poaceen betrug die maximale Biomasse auf den unbeweideten Referenzflächen 578 kg ha^{-1} und auf den beweideten Flächen 281 kg ha^{-1} . Mit den als Biomasseaustrag definierten Differenzen konnten dem System in diesem Zeitraum $28,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ und $2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ entzogen werden. Durch die geringe Vergrasung des *Calluna*-Bestandes auf der Untersuchungsfläche fällt der Nährstoffaustrag über die Poaceen im Vergleich zum Nährstoffaustrag über die Ericaceen kaum ins Gewicht.

Der Biomasseaustrag durch mechanische Verfahren und Feuereinsatz zeigt deutliche Unterschiede zwischen den extensiven (Mahd, Brennen) und intensiven (Schopfern, Plaggen) Pflegeverfahren. Bei den extensiven Verfahren wird die oberirdische Biomasse des *Calluna*-Bestandes nur teilweise, die Gräser und Moosschicht kaum entfernt. Durch die Mahd wurden 63% (Sieber et al. 2004), durch das kontrollierte Brennen 72% (10jähriger *Calluna*-Bestand) bzw. 84% (15jähriger

Calluna-Bestand) der oberirdischen Biomasse aus dem System ausgetragen. Bei Schopfern und Plaggen wird die komplette oberirdische Biomasse entfernt. Diese Verfahren bewirken einen Nährelementaustrag zwischen 86 und 155 kg ha⁻¹ N bzw. 4 und 10 kg ha⁻¹ P (Beiträge III+IV).

Diese intensiven Pflegemaßnahmen beeinflussen die oberen Bodenschichten (O- und A-Horizont) und entfernen diese zum Teil. Hier befinden sich im Vergleich zur Vegetation die größten Nährelementvorräte (Beiträge III+IV). Durch das Schopfern wurden 87% des O-Horizontes entfernt und damit 833 kg ha⁻¹ N und 32 kg ha⁻¹ P ausgetragen. Das Plaggen greift noch tiefer in den Boden und entfernt neben dem gesamten O-Horizont auch noch Teile des A-Horizontes. Daher wurden durch diesen einmaligen Eingriff 1.572 kg ha⁻¹ N und 66 kg ha⁻¹ P aus dem System entfernt. Die extensiven Verfahren wirken sich kaum auf den Boden aus und sorgen allein über den Austrag oberirdischer Biomasse für den Nährstoffentzug (Beiträge III+IV, Sieber et al. 2004).

Die Effizienz der verschiedenen Pflegemaßnahmen bezüglich des Nährstoffaustrags hängt sowohl von den vorhandenen Nährstoffvorräten, wie auch von der Intensität und dem Zeitpunkt des einmalig durchgeführten Pflegeeingriffs ab. Die Ergebnisse zeigen, dass die intensiven Pflegemaßnahmen einen vergleichsweise hohen Nährstoffaustrag bewirken und aus nährstoffdynamischer Sicht sehr erfolgreich sind. Aufgrund ihres sehr langen Bearbeitungszyklus' und ihres Einwirkens auf die Bodenstruktur gilt es aber in der Praxis zu entscheiden, ob und in welchem Umfang derartige Pflegeeingriffe überhaupt möglich sind (z.B. Geländegegebenheiten, Bodenentwicklung, finanzielle Rahmenbedingungen).

Theoretische Wirkungsdauer (TEP)

Zur Verdeutlichung der Wirksamkeit der verschiedenen maschinellen Pflegeverfahren und des kontrollierten Brennens wurde in den Beiträgen III-V die theoretische Wirkungsdauer TEP vorgestellt. Unter diesem Aspekt werden nun auch die Ergebnisse der Beweidungsuntersuchungen näher betrachtet. Die TEP definiert den Zeitraum, in dem die durch Pflegemaßnahmen entzogenen Nährstoffmengen durch die atmogenen Nährstoffeinträge wieder in das System gelangen. Dabei gilt die theoretische Wirkungsdauer jeweils für die konkrete Untersuchungsfläche mit ihren spezifischen Gegebenheiten während (Beweidung) bzw. vor der Maßnahme

(Mahd, Schopfern, Plaggen, kontrolliertes Brennen). Die Nährstoffeinträge (Deposition, Ascheniederschlag, Exkrememente) werden zu den Nährstoffausträgen (Oberirdische Biomasse, Bodenkompartmentverluste, Sickerwasser) in Beziehung gesetzt (Tab. 1).

Die Effektivität der Schafbeweidung auf Heideflächen im NSG Lüneburger Heide kann im Hinblick auf den jährlichen N-Austrag als positiv bewertet werden, da die TEP >1 ist. Somit wird über ein Jahr mehr N aus dem System entfernt als über den gleichen Zeitraum über die Atmosphäre eingetragen wird. Durch ein Jahr extensive Beweidung können die atmosphärischen N-Einträge desselben Zeitraumes kompensiert werden. Dies liegt zum einen an der Austragsmenge oberirdischer Biomasse über Fraß, zum anderen an der Verminderung der Exkremementeinträge durch das Herdenmanagement. Würde die Herde ohne Hüttehaltung 24 Stunden/Tag auf den Heideflächen verbleiben, so würden die Exkrememente zu 100% auf die Heideflächen gelangen. Das Ergebnis eines derartigen Szenarios zeigt, dass es zu einer N-Akkumulation kommt, da die N-Einträge die N-Austräge überwiegen (Beitrag II). Anders das Ergebnis beim Phosphor. Die theoretische Wirkungsdauer von 4 Jahren zeigt, dass das System unter Beweidung kontinuierlich P-Verluste aufweist. Die daraus resultierende Problematik wird folgend im Abschnitt N- und P-Limitierung näher erläutert.

Tabelle 1: Gesamtausträge und Theoretische Wirkungsdauern (TEP) von Beweidung, kontrolliertem Brand, Mähen, Schopfern und Plaggen für die Elemente N und P. Da die P-Konzentration in den flüssigen Proben die Bestimmungsgrenze oft unterschritt, wurden nur die Maximal-Austräge angegeben. Zur Berechnung der TEP wurde von maximalen Einträgen und minimalen Austrägen und folglich minimaler Wirkungsdauer ausgegangen (Daten auf Grundlage der Beiträge II, III und IV).

	Beweidung [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	Kontrollierter Brand [kg ha ⁻¹]	Mahd [kg ha ⁻¹]	Schopfern [kg ha ⁻¹]	Plaggen [kg ha ⁻¹]
N					
Max. Austrag	31,0	105,6	99,9	1007,8	1711,8
TEP [a]	1,6	5,1	5,0	60,7	89,6
P					
Max. Austrag	2,3	3,1	8,6	42,2	72,8
TEP [a]	4	> 3,2	> 14	> 83,2	> 144
Austrags-					
Verhältnis N/P	13	34	12	24	24

Die anderen extensiven Pflegeverfahren (Mähen, kontrolliertes Brennen) weisen für N TEPs von etwas 5 Jahren auf (Tab. 1). Aufgrund ihres üblichen 10- bzw. 10/15-jährigen Eingriffszyklus' (Miller & Miles 1970, Terry et al. 2004) gelingt es diesen Pflegeverfahren nicht, über einen längeren Zeitraum die atmosphärischen N-Einträge zu kompensieren. Aufgrund ihrer Wirkungsdauer sind diese Pflegeverfahren für das Heidepflegemanagement problematisch, da nach 5 Jahren auf diesen Maßnahmenflächen der erzielte Nährstoffaustrag durch die atmosphärischen Einträge wieder kompensiert ist. Z.B. würde eine zweite Mahd dieser Fläche zu diesem Zeitpunkt einen geringeren Nährstoffaustrag bewirken. Der nachgewachsene Bestand hat innerhalb dieser Zeitspanne einen geringeren Nährstoffvorrat aufgebaut als der ursprüngliche Bestand. Somit kann allein durch die Mahd die N-Bilanz nicht im Gleichgewicht gehalten werden.

Die intensiv eingreifenden mechanischen Pflegeverfahren Schopfern und Plaggen hingegen weisen TEPs von mehreren Jahrzehnten auf. Das ist zurückzuführen auf den hohen Nährstoffentzug durch den partiellen Austrag von O- und A-Horizont. Diese Verfahren sind sehr gut geeignet den oligotrophen Charakter des Heideökosystems zu erhalten bzw. wieder herzustellen, können aber in der Praxis nur begrenzt eingesetzt werden (Beitrag III).

In Konsequenz unserer Ergebnisse liegt eine Kombination intensiver und extensiver Pflegeverfahren nahe, um die Arten- und Strukturvielfalt des Lebensraumes Heide zu erhalten. Auch die Kombination von extensiven Maßnahmen wie die Beweidung von Mahd- oder Brandflächen ist vorteilhaft (Vandvik et al. 2005).

N- und P-Limitierung

Die Auswirkungen der verschiedenen Pflegemaßnahmen auf die N- und P- Vorräte im Heidesystem sind von besonderer Bedeutung, da diese Nährelemente eine limitierende Rolle spielen (Kirkham 2001, Tessier & Raynal 2003). Daher ist das Austrags-Verhältnis dieser beiden Nährelemente zueinander (N-Austrag/P-Austrag) ein wichtiger Hinweis auf mögliche Veränderungen im System. Je größer das N/P-Verhältnis des Nährstoffaustrages, desto mehr N wird in Relation zu P aus dem System entfernt, je kleiner das N/P-Verhältnis, desto mehr P wird in Relation zu N aus dem System entfernt. Somit ermöglicht die Untersuchung dieser Größe in

Verbindung mit den verschiedenen Pflegeverfahren eine Aussage über Veränderungen im Heidesystem hinsichtlich limitierender Faktoren.

Die untersuchten Pflegemaßnahmen greifen in unterschiedlichem Maße in die N- und P-Vorräte des Systems ein (Beiträge II, III und IV). Der Vergleich der N/P-Verhältnisse des Nährstoffaustrages wurden in Tabelle 1 dargestellt und zeigen, dass die Beweidung (13) und das Mähen (12) ein kleines N/P-Verhältnis aufweisen. Das kontrollierte Brennen bewirkt das größte N/P-Verhältnis (34) und wirkt sich am geringsten auf den P-Haushalt des Heidesystems aus.

Durch die hohen P-Vorräte in der Biomasse greifen die Pflegeverfahren durch ihren Austrag oberirdischer Biomasse stark in den P-Haushalt des Heidesystems ein. Die atmosphärischen Eintragsraten für P durch die Deposition sind gering. Auch die P-Nachlieferung durch Mineralverwitterung in den Sandböden des NSG Lüneburger Heide ist sehr gering (Scheffer & Schachtschnabel 1989). Daher führt ein konstanter Biomasseaustrag z.B. durch kontinuierliche Beweidung zu einer steten Reduzierung der P-Vorräte im Heidesystem. Zukünftig würden die hohen atmosphärischen N-Einträge und die P-Verluste durch die Mehrzahl der Pflegeverfahren zu einer N-Anreicherung und zu einer P-Verarmung im Heidesystem führen. Unter diesen Umständen würde sich auch das N/P-Verhältnis in der Vegetation und im Boden zunehmend vergrößern und zu einer Verschiebung von N-(co-)limitierten hin zu P-(co-)limitierten Heiden führen. Ein stetiger P-Entzug würde das Eindringen von Arten fördern, die mit minimaler Versorgung konkurrenzfähig sind, so z.B. *Molinia caerulea* (Kirkham 2001, Roem et al. 2002).

Managementmaßnahmen, die auf die Kompensation der zunehmenden atmosphärischen N-Einträge abzielen und in erster Linie die oberirdische Biomasse entfernen (Beweidung, Mahd), werden in ihrer Effektivität gemindert durch die gleichzeitige Reduzierung der P-Vorräte (Güsewell 2004). Auch hier zeigen die Ergebnisse, dass die Kombination von verschiedenen Pflegeverfahren hinsichtlich ihrer Wirkung auf N- und P-Vorräte sinnvoll erscheint, wie z.B. die gezielte Beweidung von Brandflächen (Beitrag II + IV).

Zusammenfassung

- ◆ Gegenwärtige atmogene N-Einträge in die Lüneburger Heide überschreiten die durch den critical-load für Sandheiden definierte Belastungsgrenze von 10-20 kg ha⁻¹ und zeigen den Handlungsbedarf für eine langfristige Erhaltung dieser geschützten Lebensräume.
- ◆ Die traditionelle Schafbeweidung im NSG Lüneburger Heide kann diese hohen atmogenen N-Einträge kompensieren. Das Herdenmanagement minimiert den Nährstoffeintrag über die Exkremente der Tiere, so dass diesem Transfer nur eine geringe Bedeutung zukommt.
- ◆ Die N-Austräge über das Sickerwasser vor, während und nach den Pflegemaßnahmen spielen nur eine untergeordnete Rolle.
- ◆ Extensive Pflegemaßnahmen wie die Mahd und das kontrollierte Brennen sind nicht geeignet die atmogenen N-Einträge langfristig zu kompensieren. Intensiven Pflegemaßnahmen (Schopfern, Plaggen) gelingt dieses, benötigen aber einen zu langen Bearbeitungszyklus, innerhalb dessen kombinierte Verjüngungsmaßnahmen notwendig werden.
- ◆ Die Pflegemaßnahmen haben Auswirkungen auf die N- und P-Vorräte im Heidesystem und führen großteils zu einer P-Verarmung. Das kontrollierte Brennen beeinflusst den P-Haushalt am geringsten. Eine Kombination des Feuereinsatzes mit anderen extensiven Maßnahmen erscheint daher sinnvoll.

Literatur

- Achermann, B. & Bobbink, R. (Eds.) 2003. *Empirical critical loads for nitrogen*. Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape (SAEFL), Berne, Switzerland.
- Adams, M.A., Iser, J., Keleher, A.D. & Cheal, D.C. 1994. Nitrogen and Phosphorus availability and the role of fire in heathlands at Wilsons Promontory. *Australian Journal of Botany* 42, 269-281.
- Aerts, R. & Berendse, F. 1988. The effect of increased nutrient availability on vegetation dynamics in wet heathlands. *Vegetatio* 76, 63-69.
- Aerts, R., Wallen, B. & Malmer, N. 1992. Growth-limiting nutrients in *Sphagnum*-dominated bogs subject to low and high atmospheric nitrogen supply. *Journal of Ecology* 80, 131-140.
- Aerts, R. & Heil, G.W. (Eds.), 1993. *Heathlands: Patterns and processes in a changing environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL
- Aerts, R., de Caluwe H. & Beltman, B. 2003. Is the relation between nutrient supply and biodiversity co-determined by the type of nutrient limitation ? *OIKOS* 101, 489-498.
- Allen, S.E. 1964. Chemical aspects of heather burning. *Journal of Applied Ecology* 1, 347-367.
- Alonso, I., Hartley, S.E. & Thurlow, M. 2001. Competition between heather and grasses on Scottish moorlands: Interacting effects of nutrient enrichment and grazing regime. *Journal of Vegetation Science* 12, 249-260.
- Armstrong, H.M. & MacDonald, A.J. 1992. Tests of different methods of measuring and estimating utilization rate of heather (*Calluna vulgaris*) by vertebrate herbivores. *Journal of Applied Ecology* 29, 285-294.
- Armstrong, H.M., Gordon, I.J., Grant, S.A., Hutchings, N.J., Milne, J.A. & Sibbald, A.R. 1997. A model of the grazing of hill vegetation by sheep in the UK. I. The prediction of vegetation biomass. *Journal of Applied Ecology* 34, 166-185.
- Bakema, A.H., Meijers, R., Aerts, R., Berendse, F. & Heil, G.W. 1994. *HEATHSOL: a heathland competition model*. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Report No. 259102009, Bilthoven, NL.
- Bakker, J.P. & Berendse, F., 1999. Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities. *Trends In Ecology & Evolution* 14, 63-68.

- Barker, C.G., Power, S.A., Bell, J.N.B. & Orme, C.D.L. 2004. Effects of habitat management on heathland response to atmospheric nitrogen deposition. *Biological Conservation* 120, 41-52.
- Barrow, N.J. 1987. *Return of nutrients by animals. Ecosystems of the world 178. Managed grasslands.* (Ed. R.W. Shaydon) Elsevier, Amsterdam, S. 181-186.
- Behrens, H., Hamann, K.T. & Seefeldt, G. 1993. *Die Graue Gehörnte Heidschnucke.* Verband Lüneburger Heidschnuckenzüchter e.V., Uelzen, 84 S.
- Berendse, F. 1990. Organic matter accumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in heathland ecosystems. *Journal of Ecology* 78, 413-427.
- Biermann, R., Breder, C., Daniels, F.J.A., Kiffe, K. & Paus, S. 1994. Heideflächen im Raum Munster, Lüneburger Heide: eine floristisch-pflanzensoziologische Erfassung als Grundlage für Pflege- und Optimierungsmaßnahmen. *Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover* 136, 105-161
- Bleeker, A., Draaijers, G.P.J., Klap, J.M. & van Jaarsveld, J.A. 2000. *Deposition of acidifying components and base cations in Germany in the period 1987-1995.* National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report No. 722108027, Bilthoven, NL.
- Bobbink, R. & Heil, G.W. 1993. Atmospheric deposition of sulphur and nitrogen in heathland ecosystems. In: Aerts, R. & Heil, G.W. (Eds.), *Heathlands: Patterns and processes in a changing environment.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, pp. 51-84.
- Brenner, S. 2001. *Quantifizierung horizontaler Nährstoffbewegungen durch angepasste Weidewirtschaft mit Schafen in Naturschutzgebieten unter Berücksichtigung floristisch-vegetationskundlicher Analysen.* Friedrich-Wilhelm-Universität, Institut für Tierernährung, Bonn, Dissertation, 118 S.
- Britton, A.J., Marrs, R.H., Carey, P.D. & Pakeman, R.J. 2000. Comparison of techniques to increase *Calluna vulgaris* cover on heathland invaded by grasses in Breckland, south east England. *Biological Conservation* 95, 227-232.
- Britton, A.J., Pakeman, R.J., Carey, P.D. & Marrs, R.H. 2001. Impacts of climate, management and nitrogen deposition on the dynamics of lowland heathland. *Journal of Vegetation Science* 12, 797-806.
- Bullock, J. M. & Pakeman, R. J. 1996. Grazing of lowland heath in England: Management methods and their effects on heathland vegetation. *Biological Conservation* 79, 1-13.

- Eerens, J.W., Van Dam, J.D., Beck, J.P., Dolmans, J.H.J., Van Pul, W.A.J., Sluyter, R.B.C., Van Velze, K. & Vissenberg, H.A. 2001. *Grootschalige luchtverontreiniging en depositie in de Nationale Milieuverkenning 5*. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report No. 408129016/2001, Bilthoven, NL.
- Engel, S. 1988. *Untersuchungen über schwefel- und stickstoffhaltige Immissionswirkungen in Heidegesellschaften des Naturschutzgebietes Lüneburger Heide*. Dissertation, Universität Gießen, DE.
- Erisman, J.W. & de Vries, W. 2000. Nitrogen deposition and effects on European forests. *Environmental Review* 8, 65-93.
- Forgeard, F. 1990. Development, growth and species richness on Brittany heathlands after fire. *Acta Oecologica* 11, 191-213.
- Gauger, T., Köble, R. & Anshelm, F. 2000. *Kritische Luftschadstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme, Teil I: Deposition Loads 1987-1989 und 1993-1995*. Institut für Navigation der Universität Stuttgart, Bericht No. 29785079, Stuttgart, DE.
- Gimingham, C.H. 1972. *Ecology of heathlands*. Chapman and Hall Ltd, London, UK.
- Gimingham, C.H. 1992. The lowland heathland management handbook. *English Nature Science* 8.
- Görschen, M. & Müller, K. 1986. *Vergleich der Wirkung von Mahd und Beweidung als Pflegemaßnahme im regenerierenden Hochmoor*. Teil II. Gutachten im Auftrag des schleswig-holsteinischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, DE, 93 S.
- Grant, S.A. & Armstrong, H.M. 1993. Grazing ecology and the conservation of heather moorland – the development of models as aids to management. *Biodiversity and Conservation* 2, 79-94.
- Güsewell, S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164, 243-266.
- Haaland, S., 2002. *Feuer und Flamme für die Heide - 5000 Jahre Kulturlandschaft in Europa*. Hauschild, Bremen, DE.
- Heil, G.W. & Diemont, W.H. 1983. Raised nutrient levels change heathland into grassland. *Vegetatio* 53, 113-120.

- Kirkham, F.W. 2001. Nitrogen uptake and nutrient limitation in six hill moorland species in relation to atmospheric nitrogen deposition in England and Wales. *Journal of Ecology* 89, 1041-1053.
- Koopmann, A. 2001. *An Naturschutzzielen und historischer Heidebauernwirtschaft orientierte Landwirtschaft auf Sandböden. Fallstudie Landschaftspflegehof Tütsberg (Lüneburger Heide)*. Göttinger Bodenkundliche Berichte 114, 209 S.
- Koopmann, A. & Mertens, D. 2004. Offenlandmanagement im Naturschutzgebiet "Lüneburger Heide" - Erfahrungen aus Sicht des Vereins Naturschutzpark. *NNA-Berichte* 17(2), 44-61.
- Lütkepohl, M. & Kaiser, T. 1997. Die Heidelandschaft. In: Cordes, H., Kaiser, T., van der Lancken, H., Lütkepohl, M. & Prüter, J. (Eds.) *Naturschutzgebiet Lüneburger Heide. Geschichte - Ökologie - Naturschutz*. Hauschild, Bremen, Deutschland, S. 87-100.
- Lütkepohl, M. & Stubbe, A. 1997. Feuergeschichte in nordwestdeutschen Calluna-Heiden unter besonderer Berücksichtigung des NSG Lüneburger Heide. *NNA-Berichte* 10 (5), 105-114.
- Mallik, A.U. 1986. Near-ground Micro-climate of Burned and Unburned Calluna Heathland. *Journal of Environmental Management* 23, 157-171.
- Mallik, A.U. & FitzPatrick, E.A. 1996. Thin section studies of Calluna heathland soils subject to prescribed burning. *Soil Use and Management* 12, 143-149.
- Mallik, A.U. & Gimingham, C.H. 1985. Ecological effects of heather burning. II. Effects on seed germination and vegetative regeneration. *Journal of Ecology* 73, 633-644.
- Marcos, E., Calvo, L. & Luis-Calabuig, E. 2003. Effects of fertilisation and cutting on the chemical composition of vegetation and soils of mountain heathlands in Spain. *Journal of Vegetation Science* 14, 417-424.
- Marrs, R.H. 1993. An assessment of change in *Calluna* heathlands in Breckland, eastern England, between 1983 and 1991. *Biological Conservation* 65, 133-139.
- Matzner, E. & Ulrich, B. 1980. The transfer of chemical elements within a heath-ecosystem (*Calluna vulgaris*) in Northwest Germany. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 143, 666-678.
- Miller, G.R. & Miles, J. 1970. Regeneration of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) at different ages and seasons in north-east Scotland. *Journal of Applied Ecology* 7, 51-60.

- Milne, J.A., Birch, C.P.D., Hester, A.J., Armstrong, H.M. & Robertson, A. 1998. The impact of vertebrate herbivores on the natural heritage of the Scottish uplands - a review. *Scottish Natural Heritage Review* No. 95.
- Mockenhaupt, M. & Keienburg, T. 2004. Ansätze zur Untersuchung des Einflusses der Hüteschafhaltung auf die Stickstoffbilanz der Heiden im Naturschutzgebiet „Lüneburger Heide“. *NNA Berichte* 17, 116-122.
- Müller, J. & Schaltegger, S. 2004. Sozioökonomische Analyse des Heidemanagements in Nordwestdeutschland - Wirtschaftlichkeit, Kosten-Wirksamkeitsverhältnisse und Akzeptanz. *NNA Berichte* 17, 183-197.
- Niemeyer, T., Fottner, S., Mohamed, A., Sieber, M. & Härdtle, W. 2004. Einfluss kontrollierten Brennens auf die Nährstoffdynamik von Sand- und Moorheiden. *NNA-Berichte* 17(2), 65-79.
- Nilsen, L.S., Johansen, L. & Velle, L.G. 2005. Early stages of *Calluna vulgaris* regeneration after burning of coastal heath in central Norway. *Applied Vegetation Science* 8, 57-64.
- Palmer, S.C.F. 1997. Prediction of the shoot production of heather under grazing in the uplands of Great Britain. *Grass and Forage Science* 52, 408-424.
- Power, S.A., Ashmore, M.R., Cousins, D.A. & Sheppard, L.J. 1998. Effects of nitrogen addition on the stress sensitivity of *Calluna vulgaris*. *The New Phytologist* 138, 663-674.
- Power, S.A., Barker, C.G., Allchin, E.A., Ashmore, M.R. & Bell, J.N.B. 2001. Habitat Management: A tool to modify ecosystem impacts of nitrogen deposition? *The Scientific World* 1, 714-721.
- Power, S.A., Ashmore, M.R., Terry, A.C., Caporn, S.J.M., Pilkington, M.G., Wilson, D.B., Barker, C.G., Carroll, J.A., Cresswell, N., Green, E.R. & Heil, G.W. 2004. Linking field experiments to long-term simulation of impacts of nitrogen deposition on Heathlands and Moorlands. *Water, Air & Soil Pollution: Focus* 4, 259-267.
- Prüter, J., 2004. Schutz und Erhaltung der Heide - Aktuelle Ansätze aus europäischer Perspektive. *NNA-Berichte* 17(2), 22-26.
- Read, J.M., Birch, C.P.D. & Milne, J.A. 2002. HeathMod: a model of the impact of seasonal grazing by sheep on upland heaths dominated by *Calluna vulgaris* (heather). *Biological Conservation* 105, 279-292.

- Roem, W.J., Klees, H. & Berendse, F. 2002. Effects of nutrient addition and acidification on plant species diversity and seed germination in heathland. *Journal of Applied Ecology* 39, 937-948.
- Rose, R.J., Webb, N.R., Clarke, R.T. & Traynor, C.H. 2000. Changes on the heathlands in Dorset, England, between 1987 and 1996. *Biological Conservation* 93, 117-125.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (Eds.) 2002. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Enke, Stuttgart, DE.
- Schlieske, K. 1992. Böden schleswig-holsteinischer Heide-Naturschutzgebiete und Maßnahmen zur Heidepflege. *Schriftenreihe des Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel* 16, 150S.
- Sieber, M., Fottner, S., Niemeyer, T. & Härdtle, W. 2004. Einfluss maschineller Pflegeverfahren auf die Nährstoffdynamik von Sandheiden. *NNA Berichte* 17 (2), 92-107.
- Terry, A.C., Ashmore, M.R., Power, S.A. & Allchin, E.A. 2004. Modelling the impacts of atmospheric nitrogen deposition on *Calluna*-dominated ecosystems in the UK. *Journal of Applied Ecology* 41, 897-909.
- Tessier, J.T. & Raynal, D.J. 2003. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology* 40, 523-534.
- Valbuena, L. & Trabaud, L. 2001. Contribution of the soil seed bank to post-fire recovery of a heathland. *Plant Ecology* 152, 175-183.
- Van der Eerden, L. J., Dueck, T. A., Berdowski, J. J. M., Greven, H. & Van Dobben, H. F. 1991. Influence of NH_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on heathland vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 40 (4), 281-296.
- Vandvik, V., Heegaard, E., Maren, I.E. & Aarrestad, P.A. 2005. Managing heterogeneity: the importance of grazing and environmental variation on post-fire succession in heathlands. *Journal of Applied Ecology* 42, 139-149.
- Welch, D. 1984. Studies in the grazing of heather moorland in north-east Scotland. II. Response of heather. *Journal of Applied Ecology* 21, 197-207.

Publikationen

- NIEMEYER, T., **WIEMERSLAGE, S.**, SIEBER, M., HÄRDTLE, W., 2002. Impact of different methods of heathland management on the nutrient balance and vegetation dynamic. *Verh. GFÖ* 32, 129.
- NIEMEYER, T., **FOTTNER, S.**, MOHAMED, A., SIEBER, M., HÄRDTLE, W., 2004. Einfluss kontrollierten Brennens auf die Nährstoffdynamik von Sand- und Moorheiden. *NNA Berichte* 17(2), 65-79.
- * **FOTTNER, S.**, NIEMEYER, T., SIEBER, M., HÄRDTLE, W., 2004. Einfluss der Beweidung auf die Nährstoffdynamik von Sandheiden. *NNA Berichte* 17(2), 80-91.
- SIEBER, M., **FOTTNER, S.**, NIEMEYER, T., HÄRDTLE, W., 2004. Einfluss maschineller Pflegeverfahren auf die Nährstoffdynamik von Sandheiden. *NNA Berichte* 17(2), 92-107.
- HÄRDTLE, W., **FOTTNER, S.**, NIEMEYER, T., SIEBER, M., MOHAMED, A., 2004. Nährelementaustrag aus Heideökosystemen durch verschiedene Pflegeverfahren – eine integrierende Betrachtung. *NNA Berichte* 17(2), 123-125.
- FOTTNER, S.**, NIEMEYER, T., SIEBER, M., HÄRDTLE, W., 2004. Zur kurzfristigen Vegetationsentwicklung auf Pflegeflächen in Sand- und Moorheiden. *NNA BERICHTE* 17(2), 126-136.
- FOTTNER, S.**, NIEMEYER, T., SIEBER, M., HÄRDTLE, W., 2004. Auswirkungen unterschiedlicher Pflegemaßnahmen auf die Stickstoffdynamik von Heideökosystemen in Nordwestdeutschland. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, 183-199.
- * NIEMEYER, T., NIEMEYER, M., MOHAMED, A., **FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., 2005. Impact of prescribed burning on the nutrient balance of heathlands with particular reference to nitrogen and phosphorus. *Applied Vegetation Science* 8, 183 – 192
- * HÄRDTLE, W., NIEMEYER, M., NIEMEYER, T., ASSMANN, T., **FOTTNER, S.**, submitted. Can management compensate for effects of atmospheric nutrient deposition in heathland ecosystems? *Journal of Applied Ecology*.
- * NIEMEYER, M., NIEMEYER, T., MOHAMED, A., **FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., submitted. Impacts of high-intensity management measures (sod-cutting, choppering) on nutrient budgets of heathlands. *Biological conservation*.
- * **FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., MOCKENHAUPT, M., NIEMEYER, M., NIEMEYER, T., submitted. Estimates of nutrient removal by sheep grazing in heathlands. *Applied Vegetation Science*.

Vorträge

- FOTTNER, S.**, SIEBER, M., NIEMEYER, T., 2002. Auswirkungen verschiedener Pflegemaßnahmen auf Nährstofftransfer und Entwicklungsdynamik. Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland. NNA (Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz), Hof Möhr.
- NIEMEYER, T., SIEBER, M., **FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., 2003. Impact of different management practices on nutrient dynamics in heathlands (Lower Saxony, Germany). NNA, 8th European Heathland Workshop, Camp Reinsehlen.
- FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., NIEMEYER, T., SIEBER, M., 2003. Auswirkungen unterschiedlicher Pflegemaßnahmen auf die Nährstoffdynamik von Heideökosystemen (Nordwestdeutschland). Weidelandschaften und Wildnisgebiete. Vom Experiment zur Praxis, BFN, Uni Lüneburg, Lüneburg.
- NIEMEYER, T., **FOTTNER, S.**, SIEBER, M., 2004. Nährstoffdynamik im Ökosystem Heide bei unterschiedlichen Pflegeverfahren. Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland, NNA (Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz), Camp Reinsehlen.
- NIEMEYER, T., **FOTTNER, S.**, SIEBER, M., 2004. Kurzfristige Auswirkungen verschiedener Pflegeverfahren auf die Vegetationsdynamik. Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland, NNA (Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz), Camp Reinsehlen.

Posterpräsentationen

- HÄRDTLE, W., NIEMEYER, T., SIEBER, M., **WIEMERSLAGE, S.**, 2001. Studies on the impact of different methods of heathland management on nutrient transfer and vegetation dynamics in NW German heathland ecosystems. 1st Int. Workshop on Pasture-landscape and Nature Conservation, BFN, Uni Lüneburg, Lüneburg.
- NIEMEYER, T., SIEBER, M., **FOTTNER, S.**, HÄRDTLE, W., 2002. Impact of different methods of heathland management on nutrient balances. Jahrestagung der GFÖ, Cottbus.
- HÄRDTLE, W., NIEMEYER, M., NIEMEYER, T., **FOTTNER, S.**, 2005. Can management compensate for the effects of atmospheric nutrient deposition in heathland ecosystems? Multifunctionality of Landscapes – Analysis, Evaluation, and Decision Support. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Vor- und Zuname Silke Fottner, geb. Wiemerslage
Geburtsdatum/-ort 26. April 1969, in Ibbenbüren
Anschrift Lindenstraße 27, 21335 Lüneburg
Tel.: 04131/732629
e-mail: fottner@uni-lueneburg.de
Familienstand verheiratet, 1 Kind

Schulausbildung

1975 - 1979 Grundschule in Ibbenbüren
1979 - 1988 Gymnasium in Ibbenbüren
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Berufliche Ausbildung

1988 -1990 Ausbildung zur Biologisch-Technischen Assistentin
am Institut für berufliche Aus- und Weiterbildung,
Osnabrück

Berufliche Tätigkeit

1990 - 1992 Biologisch-Technische Assistentin am Max-Planck-
Institut für Hirnforschung, Frankfurt am Main

Studium

1992 - 1998 Angewandte Kulturwissenschaften (Magister),
Universität Lüneburg
Schwerpunkte: Ökologie und Umweltbildung, Natur
und Umweltschutz, Betriebswirtschaftslehre
Abschluss: Magister Artium

Auslandsaufenthalt

1995 Studium am Christ-Church-College in Canterbury,
England (ERASMUS-Austauschprogramm)

Promotion

1999 - 2001 Graduiertenstipendium der Universität Lüneburg
2001 - 2003 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Universität
Lüneburg
2006 Abschluss der Promotion

Dank

Für den erfolgreichen Abschluss der vorliegenden Arbeit schulde ich vielen Menschen meinen herzlichen Dank.

Ich danke meinem Doktorvater Prof. Dr. Werner Härdtle für die Überlassung des Promotionsthemas, für die Betreuung der Arbeit sowie für die stete Diskussionsbereitschaft und vielen Ratschläge. Herrn Professor Dr. Thorsten Aßmann gilt mein Dank für die Übernahme des Zweitgutachtens und für seine unkomplizierte Unterstützung meiner Promotion an der Universität Lüneburg. Bei Herrn Prof. Dr. Wolfgang Ruck und Herrn Dr. Wolf Palm möchte ich mich für die wertvolle Zusammenarbeit hinsichtlich der chemischen Analyse und der Nutzung der Analysengeräte bedanken. Meinen Kollegen Marion und Thomas Niemeyer gilt ein sehr herzlicher Dank, denn die Zusammenarbeit mit ihnen war eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen dieser Arbeit. Unsere „Bibliothek-Atmosphäre“ hat viele Ideen hervorgebracht und jeden Arbeitstag bereichert – Danke.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Johannes Prüter und Tobias Keienburg, die es innerhalb der Projektleitung an der NNA immer wieder verstanden, die Fäden der verschiedenen Projektteilnehmer zu verknüpfen und erfolgreich zusammenzuführen. Den Mitarbeitern vom VNP-Lüneburger Heide danke ich für die Kooperation und Dr. Andreas Koopmann für die Informationen rund um die Heidschnucken. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei allen Schäfern bedanken, die während meiner Arbeit die Heidschnuckenherde betreuten und mich einen Einblick in den Schäferalltag nehmen ließen – Danke.

Für tatkräftige Hilfe bei der Geländearbeit, für die Unterstützung bei den Laborarbeiten, für Aufmunterungen während der Arbeit, für anregende Diskussionen bei der Arbeit und auch fernab der Arbeit danke ich allen nicht namentlich erwähnten KollegInnen, MitarbeiterInnen, DiplomandInnen, FreundInnen, die sich hoffentlich an dieser Stelle wiederfinden. Ohne sie wäre ein Gelingen dieser Arbeit nicht möglich gewesen – Danke.

Last but not least mochte ich mich ganz, ganz herzlich bei meiner Familie bedanken. Dieser Abschnitt meines Lebens wäre ohne die kontinuierliche Unterstützung meiner

Eltern und Familie nicht möglich gewesen. Mein Mann Markus und meine Eltern haben mich bestärkt, wenn ich selbst an der erfolgreichen Fertigstellung meiner Doktorarbeit gezweifelt habe. Mein Sohn Bjarne hat mich in der Lüneburger Heide – kaum auf der Welt – auch andere Facetten sehen lassen und seine Urlaubswochen bei Oma & Opa bleiben unvergessen – Danke.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland“ vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) gefördert.