©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 5, 113–133. Hannover 1993.

Der Eintrag von Schad- und Nährstoffen und deren Wirkung auf die Vergrasung der Heide

– Lore Steubing, Gießen –

Abstract

Annual deposition of approx. 1.1 $kg \cdot ha^{-1}$ lead and of 0.04 $kg \cdot ha^{-1}$ cadmium to the „Lüneburger Heide" heathland ecosytem has not yet caused leaching of these heavy metals into the ground water. However, about 50% of the sulfate deposition (37 $kg\ ha^{-1} \cdot a^{-1}$) are leaching from the soil, while phosphorus (deposition: 0.05 $kg ha^{-1} a^{-1}$) and NH_4^+-N and NO_3^--N (deposition approx. 30 $kg \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) are accumulated in the vegetation and soil compartments.

Eutrophication of the systems is one of the main factors forcing the transition of heathland into grassland. Competitive abilities of dwarf-shrubs such as *Callluna vulgaris* decrease at conditions of high nutrional state. Nitrogen metabolism and biomass production are less stimulated in *C. vulgaris* compared with the grass *Deschampsia flexuosa* when nitrogen supply is increased either via the soil or via the atmosphere. Additional impacts on competition between dwarf-shrubs and grasses in heathlands result from secondary effects such as increased sensitivity to climatic and biotic stresses caused by nitrogen accumulation in the shoots of *C. vulgaris.*

1. Einleitung

Seit ihrer Entstehung waren die Heiden einem sehr wechselnden Schicksal unterworfen. Zeiten großer Flächenausdehnung wurden immer wieder abgelöst von starker Einengung. Ursachen hierfür konnten z.B. die kriegsbedingte Einstellung der Heidebewirtschaftung und darauf folgende Wiederbewaldung sein, aber auch eine gezielte Aufforstung oder Umwandlung in Kulturland. Bedingt durch die intensive Landnutzung der heutigen Zeit hat eine weitere Zurückdrängung der Heiden stattgefunden, so daß größere Flächen fast nur noch in Schutzgebieten zu finden sind. Die Bemühungen gehen dahin, wenigstens Relikte jener einst weit verbreiteten Halbkulturformation zu erhalten. Ein hoher Prozentsatz gefährdeter Pflanzenarten kommt in den auf oligotrophen Böden wachsenden Heiden vor, so daß deren Schutz zugleich einen effektiven Artenschutz darstellt (PREISING 1983, ELLENBERG 1985).

Der Aspekt der Heide wird durch die Zwergsträucher geprägt. Regelmäßig wird man aber auch Horstgräser als Vertreter eines völlig anderen Strukturtyps finden. Geht man von einem ungestörten Lebenscyclus des primär dominierenden Zwergstrauches *Calluna vulgaris* aus, so ist dessen Konkurrenzkraft gegenüber den anderen Standortbewerbern in der Pionier- und Degenerationsphase natürlich gering. Während dieser Phasen wird Gräsern und Gehölzen das Eindringen erleichert. Alle Pflegemaßnahmen zur Erhaltung der Heiden versuchen daher, diesen Entwicklungscyclus rechtzeitig zu unterbrechen und durch Beweidung, Plaggen, Mähen oder Brennen eine Verjüngung der *Calluna*-Bestände zu erreichen (POTT & HÜPPE 1991). Jede der aufgeführten Pflegemaßnahmen ist gleichbedeutend mit einem Entzug von Biomasse und den darin gespeicherten Nährstoffmengen.

Seit den 60er Jahren läßt sich nun in den atlantisch beeinflußten Küstenländern eine zunehmende Vergrasung der Heideflächen beobachten, wobei an feuchten Stellen besonders *Molinia caerulea*, an trockenen dagegen *Deschampsia flexuosa* vordringt. Darüber haben u.a. in den Niederlanden HEIL & DIEMONT (1983) und in England WEBB (1990) berichtet. Die Vergrasung im *Genisto anglicae-Callunetum* der Lüneburger Heide ist von BUCHWALD (1984) beschrieben worden. Als Ursache für den Übergang der Zwergstrauch – in eine Graslandschaft

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

gilt vielfach eine fehlende Bewirtschaftung der Heide (PREISING 1969, 1970, WITTIG 1980). Eine andere Hypothese macht die veränderte Immissionssituation verantwortlich, wobei dem Stickstoff eine Schlüsselrolle zugewiesen wird (KOWARIK & SUKOPP 1984, ELLENBERG 1986, HEIL 1984, BERENDSE & AERTS 1984, VAN DER EERDEN 1992). Ein zunehmender Input an Stickstoff muß zu einer Standorteutrophierung führen und damit für die an nährstoffarme Böden gebundene Vegetation eine Verschlechterung der Lebensbedingungen bewirken. FANGMEIER et al. (1992) geben eine Übersicht über Effekte des N-Eintrags auf Ökosysteme. Eine Begehung der Heide zeigt allerdings, daß auch andere Faktoren, wie z.B. Mikrorelief, Bodenqualität oder Witterung Einfluß auf die Vergrasung der Heide haben. Sie können eine prädisponierende, begleitende oder auslösende Funktion für den Übergang der Zwergstrauch – zu einer Graslandschaft besitzen (STEUBING & BUCHWALD 1989). Eine monokausale Deutung der Vergrasung dürfte daher kaum zutreffen.

Im Rahmen eines zunächst von der Niedersächsischen Landesregierung, danach vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens hat sich von 1985–1992 eine Arbeitsgruppe des Instituts für Pflanzenökologie Gießen mit dem Stellenwert des Eintrags einiger Schad- und Nährstoffe für die Vergrasung in der Lüneburger Heide befaßt. Besondere Aufmerksamkeit galt den Reaktionen von *Calluna vulgaris* als Repräsentant der Zwergsträucher und *Deschampsia flexuosa* als Vertreter des gegensätzlichen Wuchstyps und Standortkonkurrenten. Gemessen wurde der Input von Blei und Cadmium sowie von Phosphor, Schwefel und Stickstoff, wobei der analytische Schwerpunkt auf Stickstoff-Wirkungen lag. Hierbei sollte auch geklärt werden, unterhalb welcher Konzentration der Stickstoffeintrag langfristig bleiben muß, um die Vergrasung der Heiden, wenn auch nicht völlig zu unterbinden, so doch zu retardieren.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das Naturschutzgebiet Lüneburger Heide mit einer Gesamtfläche von etwa 20.000 ha liegt südwestlich von Hamburg zwischen Lüneburg, Soltau und Buchholz (Abb. 1). Über Klima, Geologie und Geschichte der Lüneburger Heide existiert eine Fülle von Literatur (TÜXEN 1966, MUHLE & RÖHRIG 1979, BUCHWALD 1984), so daß hier nur ein besonderer Hinweis auf die Versuchsflächen erfolgen wird. Ihre Lage und Größe hing von der zu bearbeitenden Fragestellung ab.

Zunächst sollte geprüft werden, ob überhaupt in dem etwa 5 000 ha Heideflächen umfassenden Gebiet mit einem nennenswerten Eintrag von Schadstoffen zu rechnen ist. Aus diesem Grunde sind – unabhängig von der speziellen Zusammensetzung der Vegetation – 35 über das Naturschutzgebiet verteilte Standorte ausgesucht worden, an denen während einer Vegetationsperiode regelmäßig der Input von Blei und Cadmium und der Gehalt dieser beiden Elemente in Pflanzen, Boden und im Sickerwasser gemessen wurden.

Die Eintragungsmessungen für die nährstoffhaltigen Immissionen konzentrierten sich anfangs auf eine nahe Niederhaverbeck gelegene, schwach nach Süden geneigte und locker mit Wachholdern durchsetzte Heidefläche. Im dortigen *Genisto anglicae Callunetum vulgaris cladonietosum* konnte auf engem Raum der Input von Phosphor, Schwefel und Stickstoff in „Reinbeständen" von *Calluna vulgaris* sowie dominant mit *Deschampsia flexuosa* vergrasten Mischbeständen bestimmt werden. Für genauere und ergänzende Erhebungen sind 1988 weitere Heideflächen südlich vom Stattberg herangezogen worden. Diese hat bereits LÖTSCHERT (1962, 1965) in den 60er Jahren im Rahmen seiner Beobachtungen über die Ökologie der subatlantischen Zwergstrauchheiden beschrieben. Bei den dortigen Versuchsflächen wurde dem Mikrorelief in seiner Bedeutung für den Pflanzenbewuchs besondere Beachtung geschenkt. Generell werden nämlich im Naturschutzgebiet stark geneigte Südhänge weitaus schwächer von *Deschampsia flexuosa* bewachsen als ebene Lagen.

So war der etwa 30° Süd exponierte Hang unterhalb von Stattberg mit einer lückigen Krautschicht bedeckt, in der *Calluna vulgaris* dominierte. Die Talsohle war völlig mit *Deschampsia vulgaris* vergrast. Auf dem gegenüberliegenden N-Hang befanden sich neben dicht

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

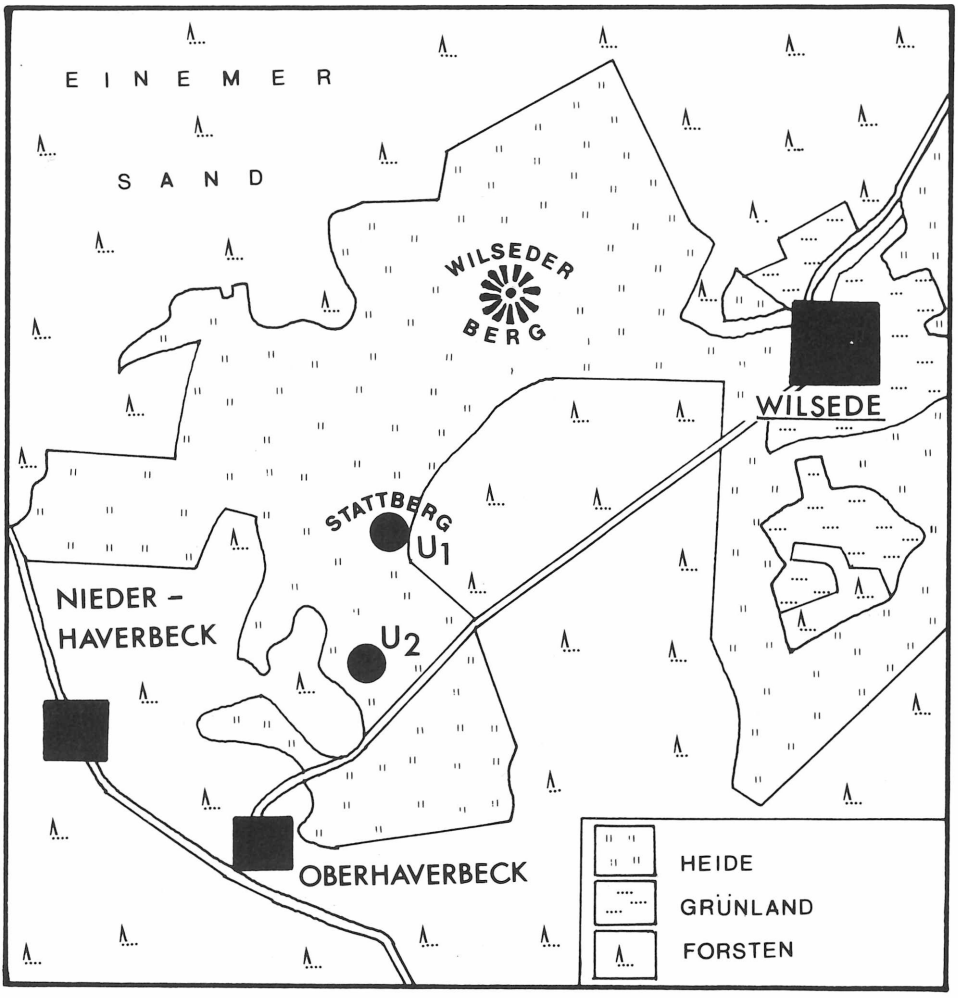


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes und der Untersuchungsflächen

mit *Vaccinium myrtillus*-bewachsenen Bereichen auch zahlreiche Flecken (Patchwork) vergraster Bestände, in denen entweder *Calluna vulgaris* oder *Deschampsia flexuosa* vorherrschten. Die floristische Zusammensetzung der Untersuchungsflächen ist aus Tab. 1 ersichtlich.

3. Methode

Die Untersuchungen fanden vorwiegend im Naturschutzgebiet der Lüneburger Heide statt. Im Freien war allerdings immer mit unkontrollierbaren Störungen zu rechnen. Da außerdem im Bearbeitungsgebiet kein Gradient im N-Eintrag feststellbar war, wurden zusätzlich besser standardisierbare Experimente an eingetopften Modell-Pflanzgemeinschaften („Rein"- und Mischbestände von *Calluna vulgaris* und *Deschampsia flexuosa*) in Gießen durchgeführt.

Zur Analytik sind folgende Geräte und Verfahren benutzt worden (STEUBING & FANGMEIER 1992):

- **Nasse Deposition:** Auffangen des Regens in 1,50 m Höhe in Niederschlagssammlern des Typs Münden 100.
  Trockene Deposition: Sam- Filter (SO_2, NO_x, NH_y).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 1: Pflanzensoziologische Charakteristik der Untersuchungsflächen im NSG Lüneburger Heide (LINDEMANN, unveröff.)

Probefläche	C	CD	D
Exposition	S–SW	N	–
Inklination ()	20–35	10–25	–
Größe d. Fläche (m^2)	25	25	25
Zahl d. Veg.–Aufnahmen	3	3	3
Höhe der Vegatation (in cm)	45	65	70
Artenzahl (Mittel, min–max)	10^{8-11}	10^{7-12}	6^{5-6}
KA–Genisto–Callunetum			
Calluna vulgaris	3^{4-5}	3^{3-4}	1^{+}
Genista anglica	1^{r}	–	–
TA Subass. cladonietosum			
Cladonia chlorophaea	3^{+-3}	2^{2}	–
Cladonia glauca	2^{2}	–	–
Cladonia uncialis	2^{1-2}	–	–
Cladonia mitis	2^{1-2}	–	–
Cladonia floerkeana	2^{1}	–	–
TA Subass. danthonietosum			
Galium harcynicum	–	2^{1-2}	3^{3-4}
Nardus stricta	–	1^{2}	3^{2-4}
Festuca tenifolia	1^{r}	–	2^{2}
Carex pilulifera	1^{r}	–	2^{1-2}
Danthonia decumbens	1^{+}	–	–
Potentilla erecta	–	2^{r-+}	–
Begleiter			
Deschampsia flexuosa	1^{1}	3^{3-4}	3^{3-5}
Rumex acetosella	2^{+-1}	1^{+}	–
Pinus sylvestris	2^{+}	2^{+}	–
Dicranum scoparium	2^{1-2}	2^{1}	–
Cladonia portentosa	2^{1-2}	1^{1}	–
Cladonia furcata	1^{1}	1^{2}	–
Betula pendula	1^{r}	2^{+}	–
Pleurozium schreberi	–	2^{2}	2^{2}
Vaccinium myrtillus	–	1^{2}	1^{2}
Cladonia spec.	1^{2}	–	–
Cladonia rangifera	1^{1}	–	–
Cladonia anomaea	–	1^{2}	–
Cladonia fimbriata	–	1^{2}	–
Pohlia nutans	–	1^{2}	–
Cladonia rei	–	1^{2}	–

- **Interzeption:** Auffangen des Abtropfwassers unter den Pflanzenbeständen mittels gehälfter Polyäthylenschläuche, die zu einem Sammelgefäß führen (HEIL & VAN DAM 1986).
- **Sickerwasser:** Einsatz von Kleinlysimetern und Saugkerzen für 50 cm und 130 cm Bodentiefe.
- **Phytomasse-Bestimmung:** Erntemethode.
- **Altersbestimmung von *Calluna*:** Auszählung der Jahresringe an Wurzeln und Sprossen.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

- **Mycorrhiza – Frequenz:** Anfärbung der Wurzeln mit Anilin-Milchsäure.
- **Pb, Cd-Gehalte:** Einsatz der Zeeman-Atomabsorption.
- **NH_4^+-N, NO_3^--N im Boden:** Verwendung ionensensitiver Elektroden.
- **Gesamt-N:** Kjeldahl-Verfahren.
- **Aminosäuren:** Homogenisation des Pflanzenmaterials in Sulfosalicylsäure, Aufarbeitung mittels HPLC.
- **Glutaminsynthetase:** Homogenisation des Pflanzenmaterials in Imidazol-Triton-Puffer, Bestimmung als Glutamylhydroxamat (MANDERSCHEID et al. 1991).
- **Pigmente:** Spektralphotometrische Bestimmung im Acetonauszug.

4. Ergebnisse

4.1. Eintrag und Verbleib von Blei und Cadmium

In dem 1989 von CRAWFORD erschienenen Buche „Studies in Plant Survival" werden der Verlauf der Pollendiagramme von *Calluna vulgaris* und von *Gramineen* – beide aus Sedimentproben von Loch Enoch, Schottland – mit den zeitgleich im Substrat ermittelten Konzentrationen an Blei, Zink und Kupfer verglichen. Der Autor stellte bei *Calluna* eine Verringerung an Pollen mit steigenden Schwermetallkonzentrationen fest, dagegen nicht bei den Gräsern. Es ist bekannt, daß sowohl *Calluna* als auch *Deschampsia* Abraumhalden besiedeln können und entsprechende Ökotypen bilden (MARRS & BANNISTER 1978, HOILAND & OFTEDAL 1980, BADSHA & BADSHA 1988). Denkbar wäre, daß die Adaptation an eine hohe Standortkontamination bei den Gräsern schneller als bei der Besenheide erfolgt, woraus eine zeitlich befristete Verschiebung der Relation zwischen Zwergsträuchern und Gräsern resultieren müßte. Bevor aber eine solche Hypothese zur Deutung der Vergrasung in der Lüneburger Heide herangezogen werden konnte, mußten die dortige Höhe des Schwermetalleintrags und die Kontamination von Pflanzen und Boden festgestellt werden. Sieht man von der westlich vom Naturschutzgebiet verlaufenden Autobahn ab, so befinden sich keine Emittenten in der Lüneburger Heide. Der registrierte Immissionseintrag beruht demnach auf einem Ferntransport.

Im Untersuchungsgebiet betrug im Jahre 1985 im Mittel der Input an Blei 1,08 kg/ha, an Cadmium 0,04 kg/ha und war damit etwas niedriger als 5 Jahre zuvor (MAYER 1983). Hinsichtlich des Schwermetalleintrags kann die Lüneburger Heide noch zu den „Reinluftgebieten" gerechnet werden. Zu bedenken ist, daß es aber auch bei einem pro Zeiteinheit niedrigen Anfall an Schwermetallen im Verlauf der Jahre zu einer Akkumulation in Boden und Pflanzen kommen muß (Tab. 2). Ein Austrag an Blei oder Cadmium mit dem Sickerwasser wurde bisher nicht festgestellt.

In Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen zeigte sich, daß die Speicherung von schwermetallhaltigen Immissionen besonders hoch bei den Thallophyten war (Abb. 2). Die Wurzeln der Kormophyten enthielten mehr Blei und Cadmium als die Sproße (Abb. 3.). Der Schwermetallgehalt dieser Pflanzen stammte daher vorwiegend aus der Absorption von Blei und Cadmium aus dem Boden.

Tab. 2: Blei- und Cadmiumgehalte in verschiedenen Bodenhorizonten im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide.

Horizont	Tiefe in cm	Pb (kg/ha)	Cd (kg/ha)
O_f	0–3,5	33,7	0,24
A_h	3,5- 9	11,6	0,39
A_e	9–16	2,5	0,11

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

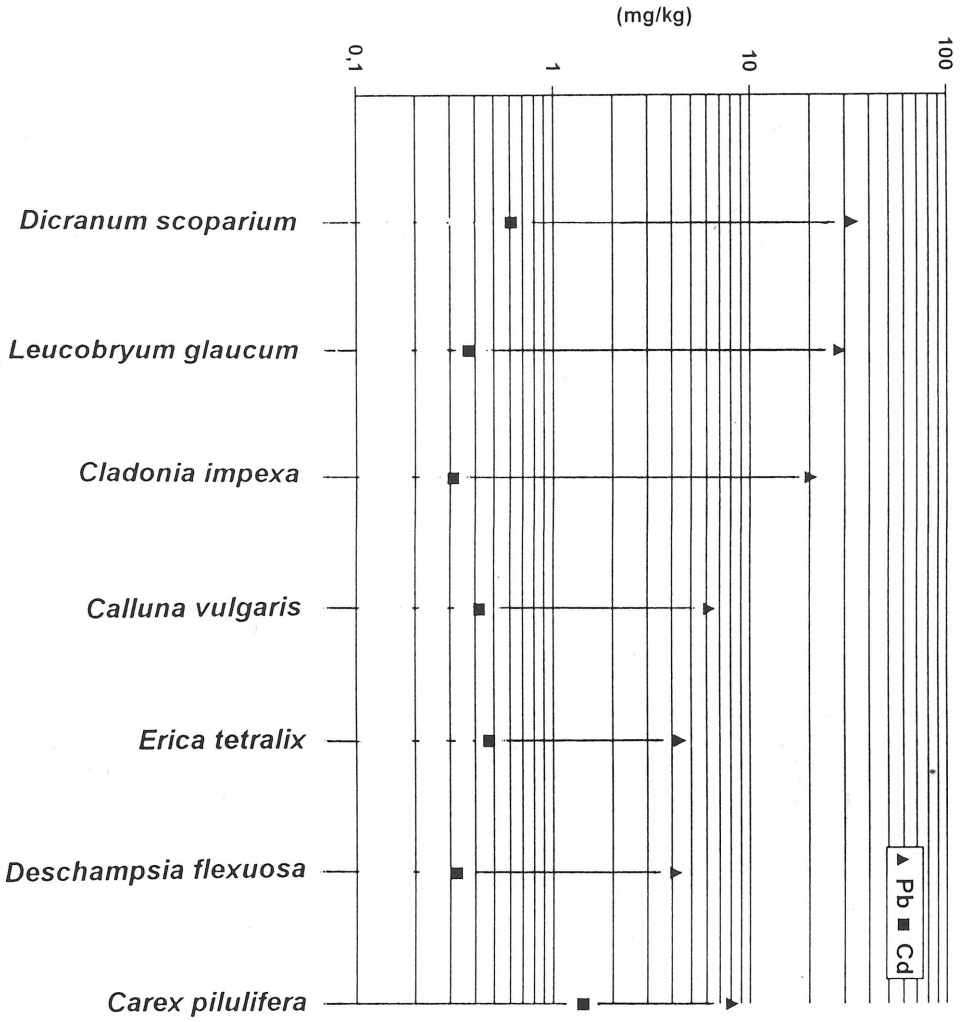


Abb. 2: Blei- und Cadmiumgehalte von Thallophyten und Kormophyten am selben Standort in der Lüneburger Heide

Bei einem flächendeckenden Monitoring mit *Calluna vulgaris* und *Carex pilulifera* als Indikatorarten lagen bei beiden Arten 80% der Blatt-Bleigehalte unter 5 mg/kg, waren demnach sehr gering. Im Gegensatz zur guten Übereinstimmung der Bleiwerte der beiden Pflanzenarten bestanden hinsichtlich der Cadmiumgehalte erhebliche Unterschiede. Während die Cd-Konzentrationen bei *Calluna* kaum über 0,1 mg/kg erreichten, wurden in den *Carex*-Blättern Werte zwischen 1–5 mg/kg gemessen. Nach der Futtermittelverordnung bestand aber für Weidevieh keinerlei Risiko beim Verzehr der Heidepflanzen. Insgesamt dürfte die Schwermetallanreicherung in Boden und Pflanzen derzeit noch nicht so hoch sein, daß sie zu einer Wettbewerbsverzerrung der beiden Standortkonkurrenten beitragen könnte.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

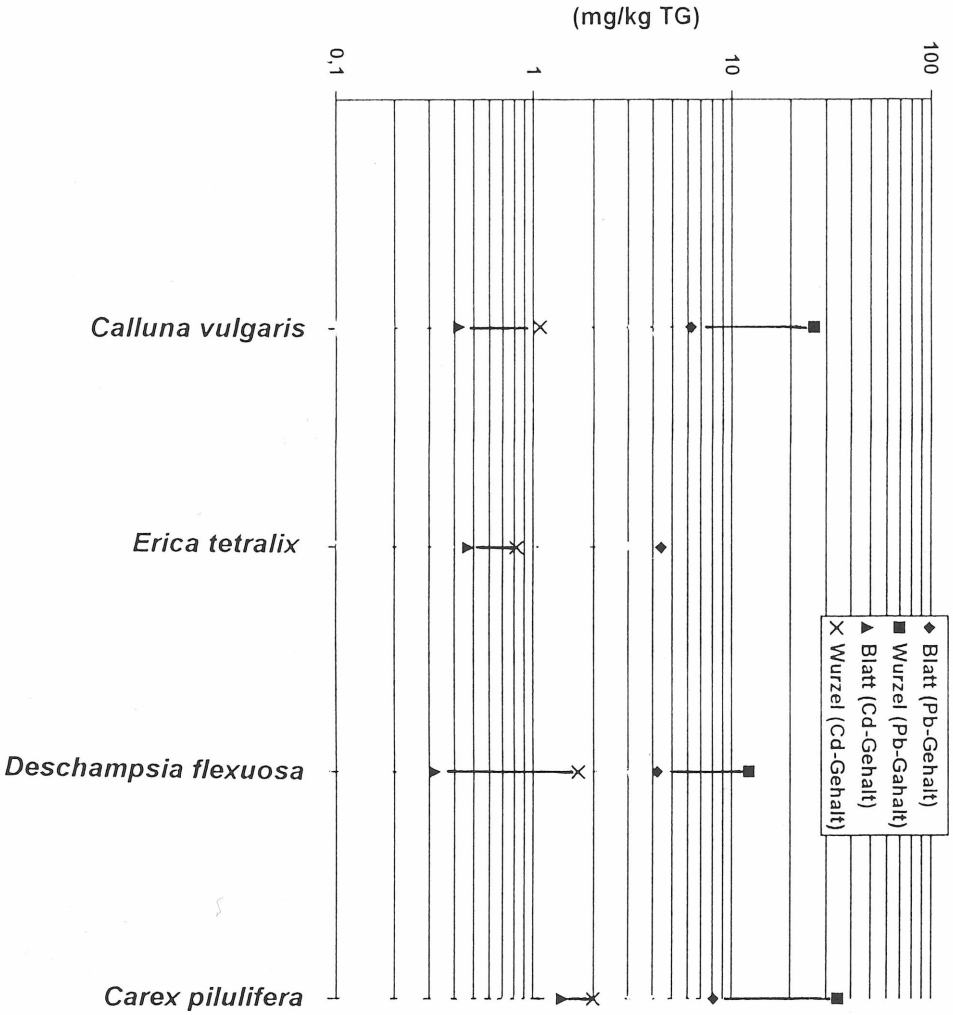


Abb. 3: Blei- und Cadmiumgehalte in Sproß und Wurzel von Zwergsträuchern und Gräsern in der Lüneburger Heide

4.2. Eintrag von Nährstoffen

4.2.1. Phosphor und Schwefel

Nach ENGEL (1988) belief sich während der Jahre 1985–1987 der Input an Phosphat im Untersuchungsgebiet auf 0,5 kg/ha und 36,7 kg/ha an Sulfat (Tab. 3.). Während nun der eingetragene Phosphor völlig im Bestand bzw. in den humosen Bodenhorizonten verblieb und nur auf den geplaggten Flächen eine Auswaschung erfolgte, wurde vom Schwefel lediglich die Hälfte des Eintrags zum Aufbau von pflanzlicher Biomasse und Humus verwendet.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 3.: Eintrag und Austrag P- und S-haltiger Immissionen in der Lüneburger Heide (Angaben in kg/ha·a^{-1})

	PO_4^{3-}		SO_4^{2-}
		Input	
Trockene Deposition			22,8
Nasse Deposition	0,5		13,9
		Output	
Unter *Calluna*-Beständen	–		18,1
Unter *Deschampsia*-Beständen	–		18,0
Unter geplaggten Flächen	0,3		26,3

4.2.2. Stickstoff

Nach Abb. 4 lag die nasse Stickstoff-Deposition im Jahre 1989 bei 22,8 kg/ N/ha, die mittels SAM – erfaßte trockene Deposition betrug 5,6 kg/ N/ha. Die Werte waren 1990 noch etwas höher. Der allgemeine Trend eines Konzentrationsanstiegs N-haltiger Immissionen bestätigt sich damit auch in der Lüneburger Heide: MATZNER & ULRICH (1980) hatten dort nämlich 10 Jahre zuvor noch einen Input von 13,7 kg/ha gemessen.

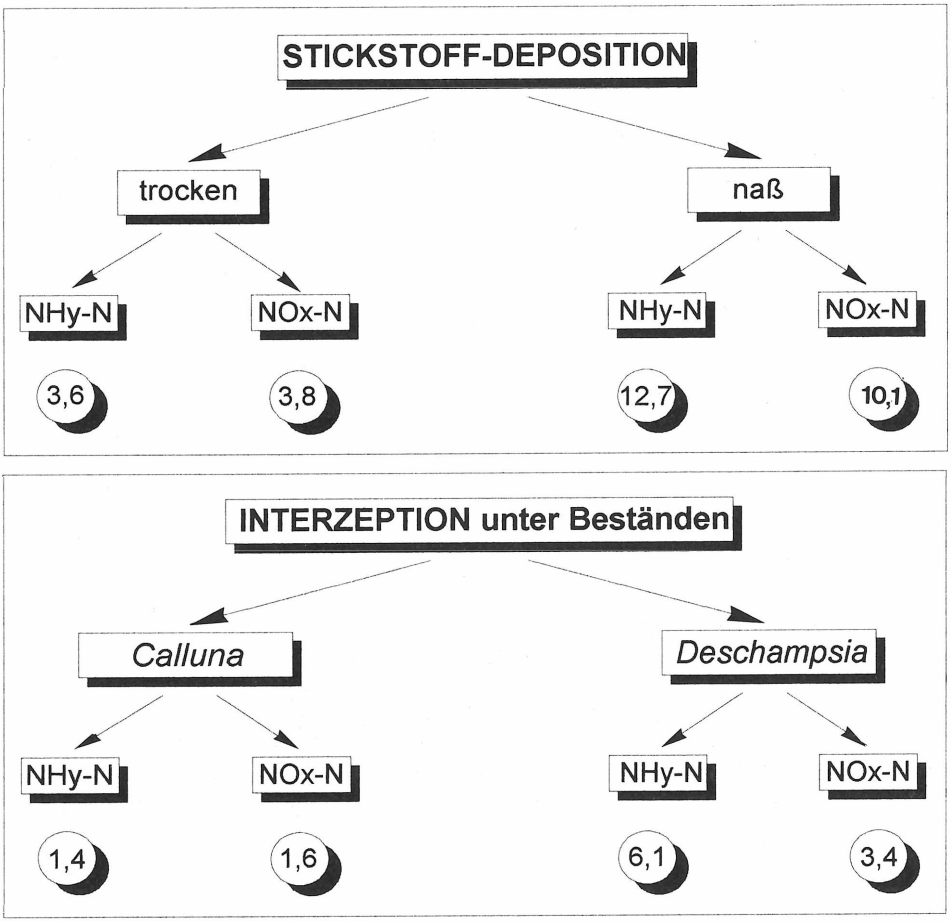
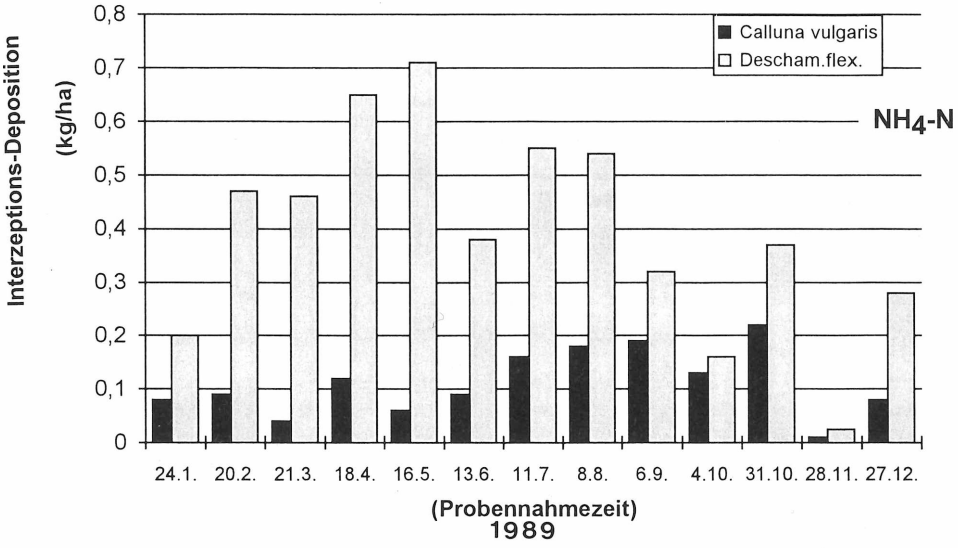


Abb. 4: Stickstoffeintrag und N-Gehalte des unter *Calluna vulgaris*- und *Deschampsia flexuosa*-Beständen aufgefangenen Niederschlags

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Die gesamte Konzentration des Depositions-N kann allerdings nur auf vegetationsfreiem Boden zur Geltung kommen. Messungen der Interzeption zeigten erhebliche Stickstoffverluste, die bei der Passage des Niederschlags durch die Vegetation auftraten (Abb. 4.). Die Verringerung der im Regen enthaltenen Stickstoffmengen war unter *Calluna* signifikant stärker als unter *Deschampsia*. Dies galt sowohl für Ammonium-N als auch für Nitrat-N, wie die monatlichen Aufzeichnungen der Interzeptionswerte belegten (Abb. 5). Als Fazit ergab sich, daß unter den *Calluna* – Beständen 88% NH_4^+-N und 85% an NO_3^--N oberirdisch festgehalten wurden. Bei *Deschampsia* wurden durch Interzeption 59% NH_4-N und 70% NO_3 -N abgefangen.



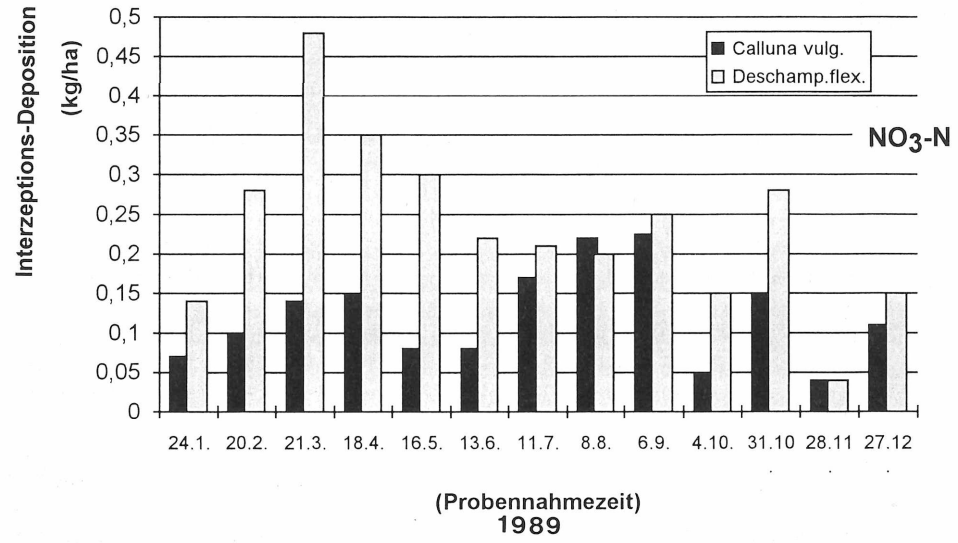


Abb. 5: Ammonium- und Nitratgehalt im Interzeptionswasser unter Zwergstrauch- und Grasbeständen

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 4: N-Konzentrationen in verschiedenen Kompartimenten der Lüneburger Heide (Angaben in%)

Kompartiment	N-Gehalt
Phytomasse	
Calluna vulgaris	
Grüne Teile	1,1–1,6
Blüten	0,9–1,3
Holz	0,4–0,9
Wurzeln	0,6–0,7
Deschampsia flexuosa	
Blätter	1,2–1,4
Wurzeln	1,0
Streu	1,5–1,7
Boden	
Calluna „Reinbestand"	
Rohhumus	0,9–1,2
A_h-Horizont	0,9–1,2
A_e-Horizont	0,6–0,7
Patchwork dom. *Calluna*	
Rohhumus	1,1–1,2
A_h-Horizont	0,6–0,9
A_e-Horizont	0,7–0,8
Patchwork dom. *Deschampsia*	
Rohhumus	1,3–1,4
A_h-Horizont	0,8–1,0
A_e-Horizont	0,6–0,9
Deschampsia „Reinbestand"	
Rohhumus	1,2–1,6
A_h-Horizont	0,7–1,2
A_e-Horizont	0,7–1,4

Zur Deutung dieser Befunde muß die unterschiedliche Wuchsform der beiden Standortkonkurrenten berücksichtigt werden. Der strauchige Wuchs der Besenheide bietet auftreffenden Niederschlägen eine bessere Auffangfläche als der vertikale Graswuchs, an dem der Regen schneller abläuft. Gestützt auf die Ergebnisse von Begasungsversuchen (VAN DER EERDEN 1992) läßt sich vermuten, daß von *Calluna* mehr Stickstoff oberirdisch absorbiert wird als von *Deschampsia*. MATZNER & ULRICH (1980) hatten unter *Calluna* – Beständen ebenfalls eine Verringerung des Stickstoffs im Interzeptionswasser gemessen. Im Gegensatz zu diesen Befunden stehen die Ergebnisse von HEIL et al. (1987), die unter *Calluna vulgaris* eine Anreicherung von Ammonium feststellten. Hierbei ist zu bedenken, daß in den Niederlanden durch die intensive Massentierhaltung weitaus höhere Werte an NH_y-Immissionen als in der Lüneburger Heide gemessen werden. BOBBINK et al.(1992) ermittelten einen Maximalwert von 30 kg/ha Ammonium in der nassen Deposition, HEIJ & SCHNEIDER (1991) gaben 21,7 kg/ha NH_y-N als Durchschnitt für die trockene Deposition an. Die dort beobachtete Erhöhung des Ammoniumgehaltes unter *Calluna vulgaris* dürfte auf einer Abwaschung von adsorbiertem $(NH_4)_2SO_4$ beruhen.

Da sich der N-Output in der Lüneburger Heide als sehr gering erwies, dient offenbar der gesamte Input zur Standorteutrophierung und dem Aufbau von Biomasse. In den verschiede-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

nen Kompartimenten nehmen die Stickstoffgehalte von den Blättern über die Blüten zu den Wurzeln hin ab. Zwischen den N-Werten der Blätter von *Calluna* und *Deschampsia* bestanden kaum Differenzen, wohl aber hinsichtlich der Wurzeln. Sie waren bei dem Gras N-reicher als bei dem Zwergstrauch. Der N-Gehalt des Rohhumus hängt weitgehend von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ab, das zur Humifizierung verwendet wird (Tab. 4).

Angaben über die in der Lüneburger Heide pro Flächeneinheit vorhandene Phytomasse schwanken innerhalb weiter Grenzen. Die Werte liegen für die oberirdische Biomasse von *Calluna* zwischen 5.900–11.000 kg/ha (MUHLE & RÖHRIG 1978, MATZNER 1980, ENGEL 1988). Abb. 6. gibt Aufschluß über die Stickstoffvorräte unterschiedlich zusammengesetzter Bestände (*Calluna* 12–14jährig), die im Oktober 1990 in der Lüneburger Heide beerntet wurden. Die Vergleichbarkeit solcher Erhebungen mit denen anderer Autoren ist nicht nur dadurch erschwert, daß alle Erntemethoden destruktiv sind, und daher die selben Bestände für spätere Erhebungen nicht mehr zur Verfügung stehen, sondern auch durch die meist fehlenden Altersangaben der beernteten Zwergsträucher. Die Lückigkeit der *Calluna* bestandenen Flächen hängt in hohem Maße von der Entwicklungsphase der Besenheide ab. Ebenso spielen Erntetermin und Witterung während der Vegetationsperiode eine wichtige Rolle.

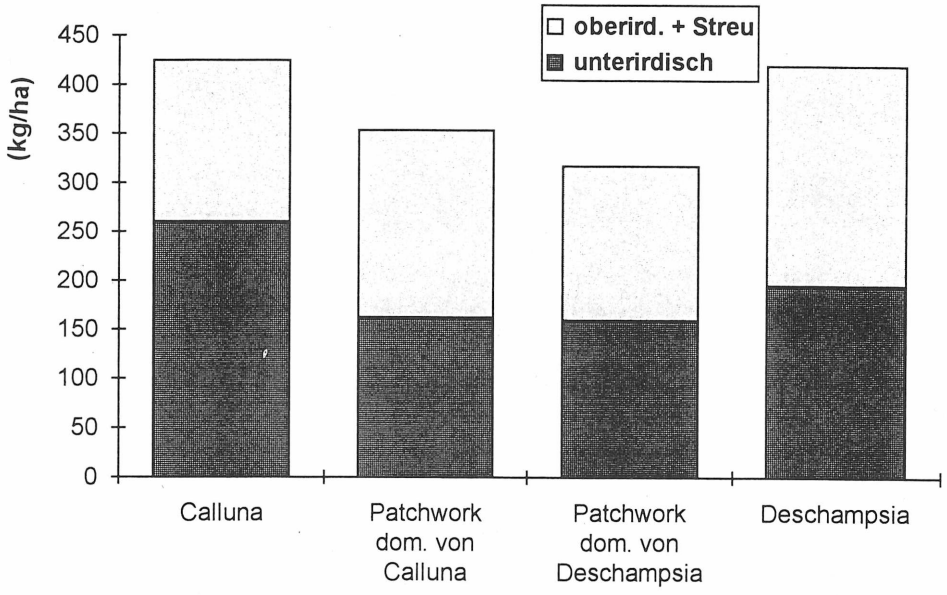


Abb. 11: Anstieg des Ammoniumgehaltes im Boden, der Glutaminsynthetase-Aktivität und des Proteingehaltes von *Calluna vulgaris* und *Deschampsia flexuosa* in 30 m Entfernung vom Emittenten (Schweinemästerei); Kontrollstandort (= 100%) in 1 km Entfernung

Calluna vulgaris gilt als Rohhumusbildner, *Deschampsia flexuosa* als Rohhumuszehrer. Der Boden unter der Drahtschmiele und unter dem Patchwork enthielt meist mehr Stickstoff als unter den alleinigen Beständen der Besenheide (Abb. 7). Dies galt sowohl für den organischen als auch für den anorganischen Stickstoff (Abb. 8). Messungen der Stickstoff-Mineralisation (Abb. 9) ergaben, daß diese infolge günstigerer bodenklimatischer Bedingungen unter den Gräsern intensiver erfolgte als unter den Zwergsträuchern (ENGEL 1988).Nach den Bodenanalysen steht demnach der Drahtschmiele am gleichen Standort mehr Gesamt – N und mehr löslicher Stickstoff zur Verfügung als der Besenheide. Düngungsexperimente im Freiland und im Gewächshaus hatten übereinstimmend mit anderen Autoren belegt, daß – im Gegensatz zu *Deschampsia* – die Produktion an Biomasse bei *Calluna* durch ein erhöhtes N-Angebot im Boden kaum gesteigert wird (MICKEL et al. 1991).

MÜCK (unveröff.) versah im Gewächshaus Modell-Pflanzengemeinschaften mit Dünger-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

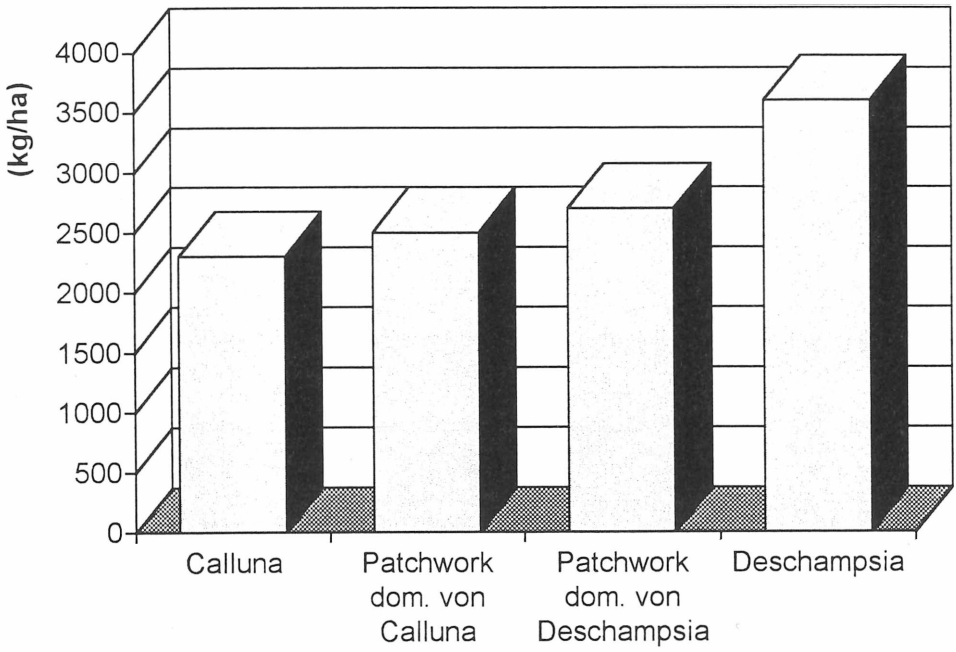


Abb. 7: N-Vorräte im Boden unterschiedlich zusammengesetzter Heidebestände (Angaben in kg/ha, nach MÜCK, unveröff.)

gaben von 75 und 150 kg N/ha in Form von Ammoniumcarbonat (N) oder Ammoniumnitrat (NN). Bei den nach Versuchsende durchgeführten Bodenanalysen stellte sich heraus, daß unter den *Calluna* -Bepflanzungen der geringste Stickstoffverbrauch zu verzeichnen war, der höchste in den *Deschampsia* bewachsenen Gefäßen. Eine Mittelstellung nahmen die Patchwork-Bestände ein. Generell lag die Ausnutzung von Ammoniumcarbonat über der von Ammoniumnitrat gleicher Konzentration.

Zur Verwertung aufgenommenen Bodennitrats dienen die beiden Enzyme Nitratreduktase und Nitritreduktase. In den Wurzeln der Besenheide lag die Konzentration der Nitratreduktase fast an der Nachweisgrenze. Eine Nutzung des Nitrats ist unter solchen Bedingungen kaum möglich. Zur gleichen Zeit wies die Drahtschmiele eine beachtliche Aktivität der Nitratreduktase auf. *Deschampsia* vermag demnach – im Gegensatz zum Zwergstrauch – beide N-Formen im Boden problemlos zu nutzen.

Die Aufnahme der Bodennährstoffe wird durch die Mycorrhiza verbessert. Es wurde daher bei den beiden Standortkonkurrenten die Empfindlichkeit ihrer Mycorrhiza gegenüber steigenden Stickstoffgaben geprüft (Abb. 10). Bei diesen Gewächshausexperimenten sank die Infektionshäufigkeit der VA-Mycorrhiza von *Calluna* schon durch Düngung mit 40 kg N/ha signifikant ab. Die Mycorrhizierung von *Deschampsia* war im Freiland und im Gewächshaus sehr niedrig, so daß keine gesicherten Aussagen möglich sind. Es scheint aber, als ob die ektotrophe Mycorrhiza des Grases nicht so empfindlich wie die ericoide des Zwergstrauches ist.

Nach Begasungsexperimenten in den Niederlanden ist *Calluna vulgaris* durchaus in der Lage, gasförmig angebotenen Stickstoff oberirdisch aufzunehmen und in den Stoffwechsel einzubauen (PEREZ-SOBA et al. 1990, DUECK et al. 1991, VAN DER EERDEN 1992). Da innerhalb der Lüneburger Heide keine größeren Unterschiede im Immissionseintrag zu erwarten waren, wurden die Ammoniak- und Ammonium-haltigen Emissionen einer Schweinemästerei genutzt, um vergleichende Aussagen über bestimmte Stoffwechselvorgänge bei *Calluna* und *Deschampsia* zu ermöglichen. Zu diesem Zweck sind aus der Lüneberger Heide stammende *Calluna* und *Deschampsia* in größere Gefäße eingesetzt und diese dann in 30 m und – als Kontrolle – in 1 km Entfernung von der Mästerei exponiert worden. Die trockene Stickstoff-Deposition

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

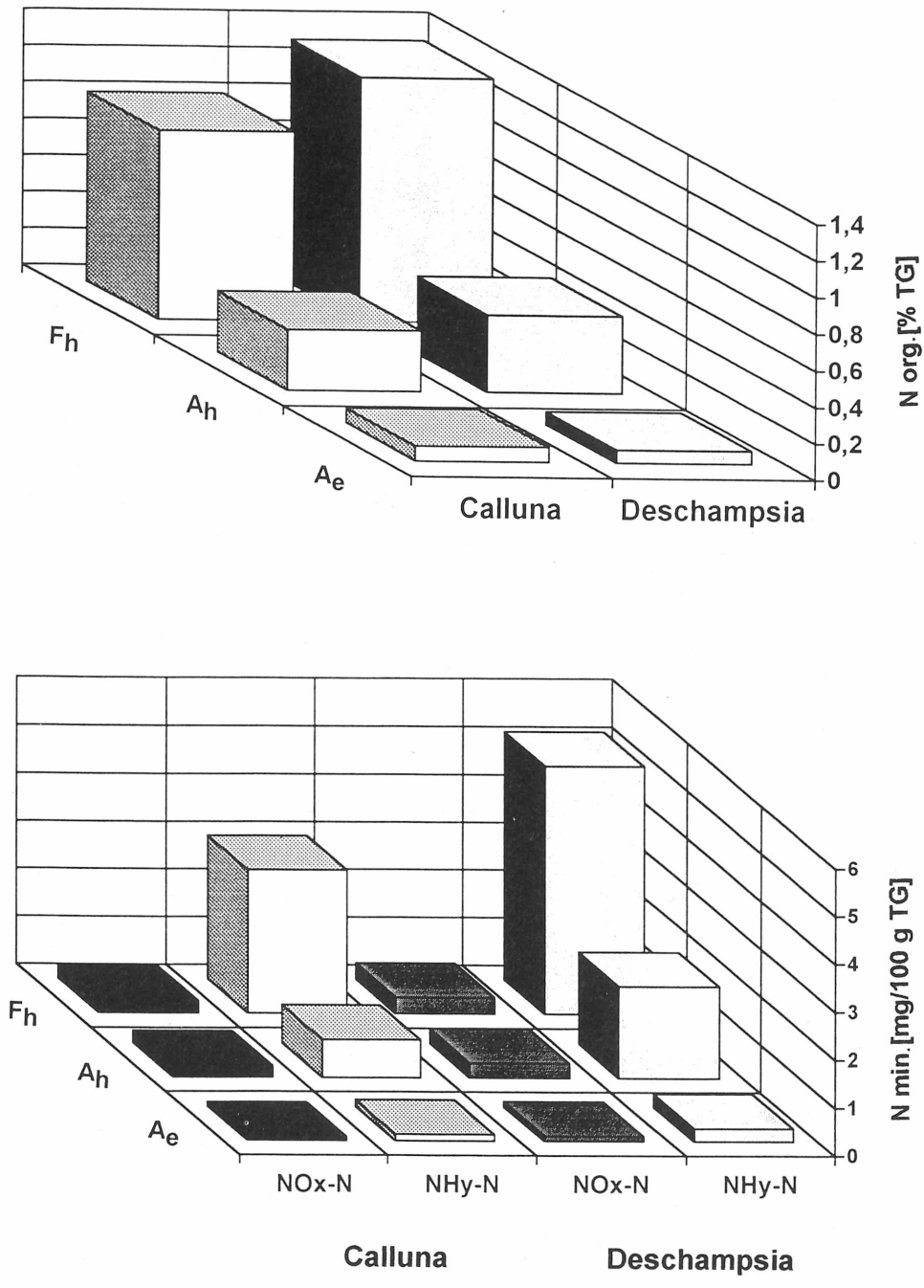
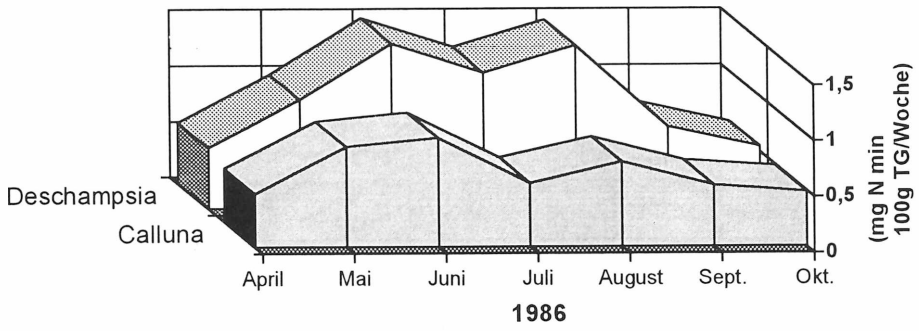
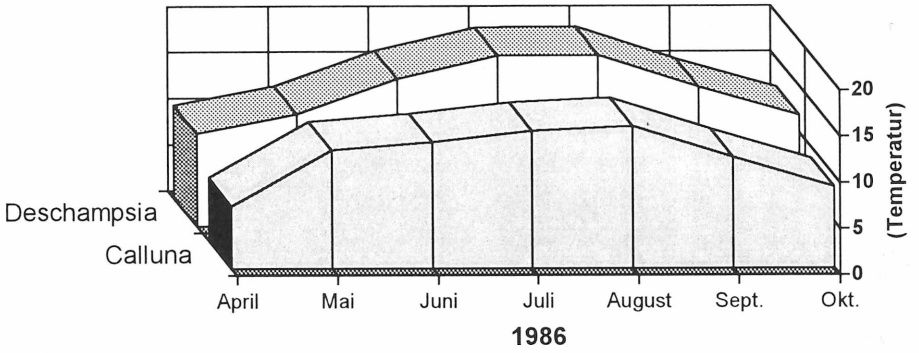


Abb. 8: Organischer und anorganischer Stickstoff in verschiedenen Bodenhorizonten unter *Calluna vulgaris*-und *Deschampsia flexuosa*-Beständen

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)





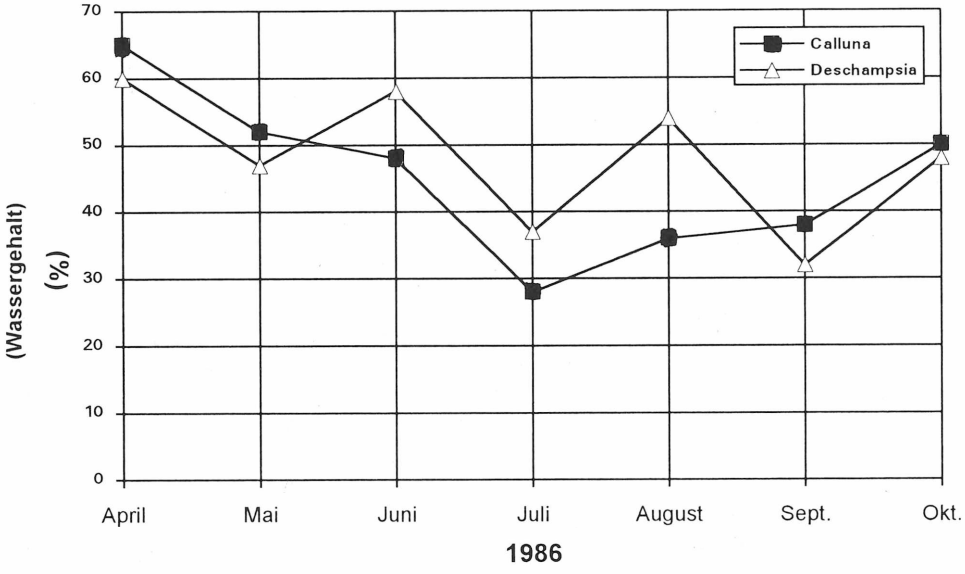


Abb. 9: N-Mineralisation sowie Temperatur und Wassergehalt zu verschiedenen Terminen unter *Calluna vulgaris*-und *Deschampsia flexuosa*-Beständen

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

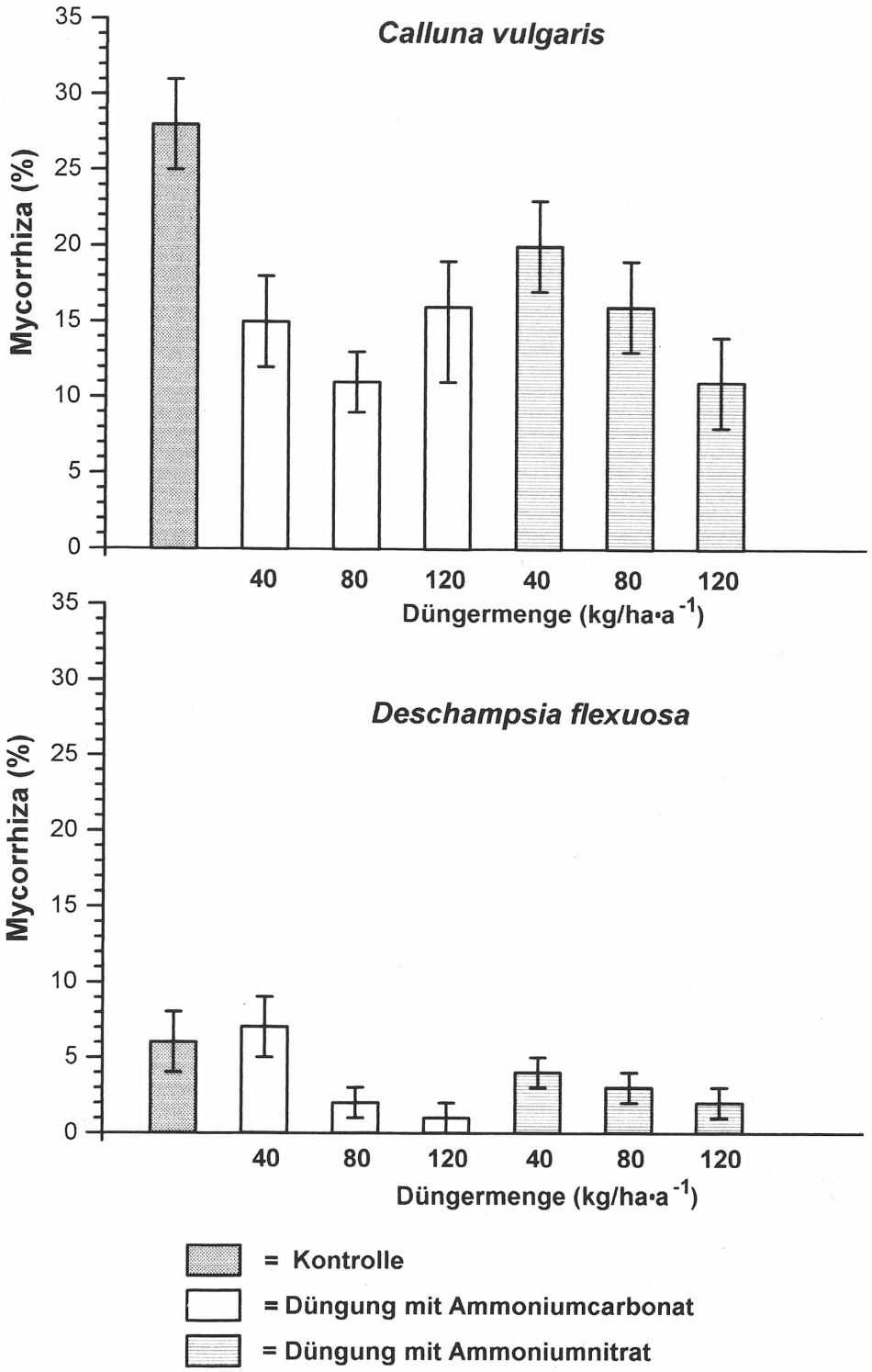


Abb. 10: Infektionsfrequenz der Mycorrhiza in Abhängigkeit von der Düngerkonzentration und Zusammensetzung (nach MICKEL, 1990)

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

am Emittenten-nahen Standort lag bei 27 kg/ha und betrug in 1 km Abstand etwa 2,7 kg/ha. In guter Übereinstimmung mit den Befunden aus der Lüneburger Heide zeigte sich, daß das Interzeptionswasser unter dem Grasbestand mehr Stickstoff als unter den Zwergsträuchern enthielt. Daraus resultierte für *Deschampsia* eine etwas höhere Anreicherung an Ammonium-Stickstoff im Boden als für *Calluna* (Abb. 11).

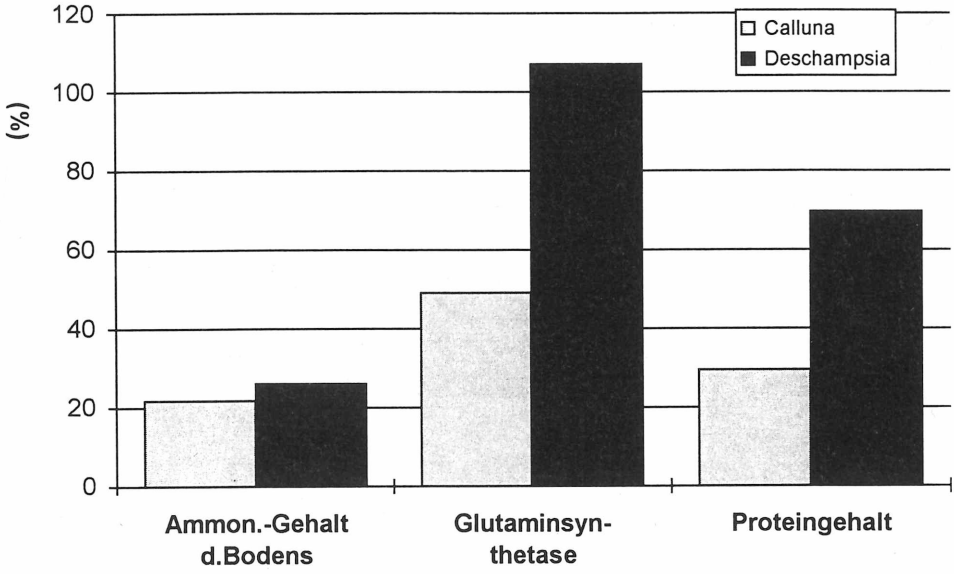


Abb. 11: Anstieg des Ammoniumgehaltes im Boden, der Glutaminsynthetase-Aktivität und des Proteingehaltes von *Calluna vulgaris* und *Deschampsia flexuosa* in 30 m Entfernung vom Emittenten (Schweinemästerei); Kontrollstandort (= 100%) in 1 km Entfernung

Als Indikator für die Biomasseproduktion läßt sich die Proteinbildung verwenden. Für die Eweißsynthese gilt die Glutaminsynthetase als ein Schlüsselenzym. Abb. 11 macht deutlich, daß die Aktivität dieses Enzyms bei beiden Kontrahenten in Stallnähe anstieg und zur entsprechend höheren Proteinbildung führte. Wieder zeichnete sich das Gras durch eine schnellere Verwertung des Stickstoffangebotes aus. Bei beiden Pflanzenarten stiegen auch die Aminosäurekonzentration unter dem Einfluß der Stallabluft an (Abb. 12). Die Drahtschmiele reagierte wieder stärker. Interessant war, daß sie im Gegensatz zur Besenheide keine Erhöhung an Asparagin aufwies. Diese Aminosäure gilt als erstes Speicherprodukt bei nur geringer Verfügbarkeit von Kohlenstoffgerüsten. DUECK et. al. (1991) hatten in Begasungsexperimenten mit Ammoniak nachgewiesen, daß *Calluna* den absorbierten Stickstoff in den Blättern akkumuliert, während bei *Deschampsia* eine gleichmäßige Verteilung auf Sproß und Wurzeln stattfindet. Diese Befunde passen gut zu der fehlenden Asparagin-Speicherung in *Deschampsia*-Blättern und ebenso zu den etwa gleich hohen Konzentrationen des Stickstoffes in Sproß und Wurzeln dieser Pflanzenart (Tab. 4).

5. Schema über die Wirkung des N-Eintrags in das Genisto anglicae-Callunetum

Die Ergebnisse der Freiland- und Gewächshausversuche lassen sich in einem Modell zusammenfassen, das die Ursachen für die Verschiebung der Konkurrenzkraft zwischen *Calluna* und *Deschampsia* verdeutlicht (Abb. 13.). Der Primäreffekt beruht auf einer Düngung, die von den Standortkonkurrenten mit unterschiedlicher Schnelligkeit und unterschiedlichem Aus-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

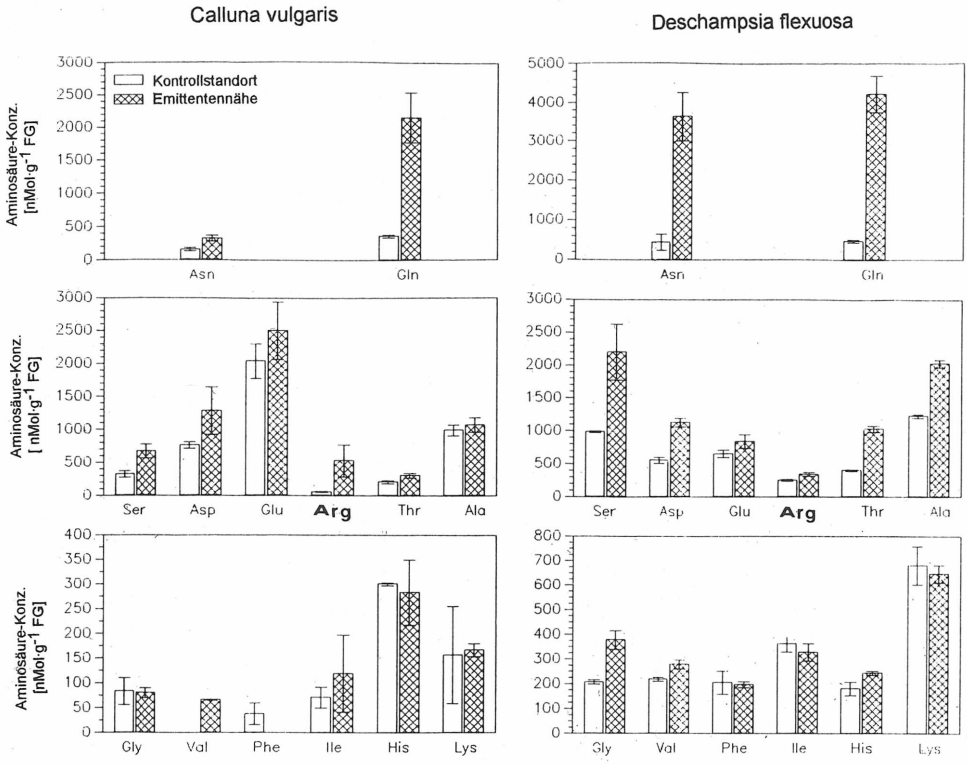


Abb. 12: Konzentration der Aminosäuren von *Calluna vulgaris*-und *Deschampsia flexuosa* in 30 m Entfernung vom Emittenten (Schweinemästerei); Kontrollstandort (= 0%) in 1 km Entfernung

maße verwertet wird: Bei beiden Pflanzenarten erfolgt durch ein Angebot aerogenen und/oder pedogenen Stickstoffs eine Stimulation des N-Metabolismus und daraus resultierende Bildung von Biomasse bzw. Protein. *Deschampsia flexuosa* reagiert aber schneller und intensiver als *Calluna vulgaris.* Dem Gras steht allerdings im Boden pro Flächen-und Zeiteinheit etwas mehr Stickstoff als dem Zwergstrauch zur Verfügung, weil

- das Interzeptionswasser unter der Drahtschmiele etwas N-reicher als unter *Calluna* ist,
- *Deschampsia* nicht nur Ammonium, sondern auch Nitrat durch die hohe Aktivität ihrer Nitratreduktase nutzen kann,
- die Stickstoffmineralisation unter den Grasbeständen infolge günstigeren Bodenklimas beschleunigt abläuft.

Daraus resultiert ein verstärkter Abbau der Rohhumusschicht. Der Rohhumus bietet den auflaufenden und schnell wachsenden Keimlingen von *Deschampsia* wenig Schwierigkeiten. Dagegen vermögen die *Calluna*-Keimlinge die schwer benetzbare und im Sommer leicht austrocknende Rohhumusschicht vielfach nicht schnell genug zu durchwachsen. Sie vertrocknen, bevor sie in den feuchten Mineralboden gelangen. Fehlender Jungwuchs muß sich aber auf die Bestandsstruktur auswirken.

Die Nahtstelle zwischen Primär- und Sekundärwirkungen des Stickstoffs stellt die allein von *Calluna* bevorzugte Speicherung oberirdisch absorbierten Stickstoffes in den Blättern dar, die VAN DER EERDEN (1992) experimentell absichern konnte. Als Indiz hierfür sei auch der nur bei *Calluna* beobachtete Anstieg an Arginin in der Nähe der Schweinemästerei erwähnt. Je stickstoffreicher die Blätter sind, desto anfälliger werden sie gegen Frost und Dürre. BER-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

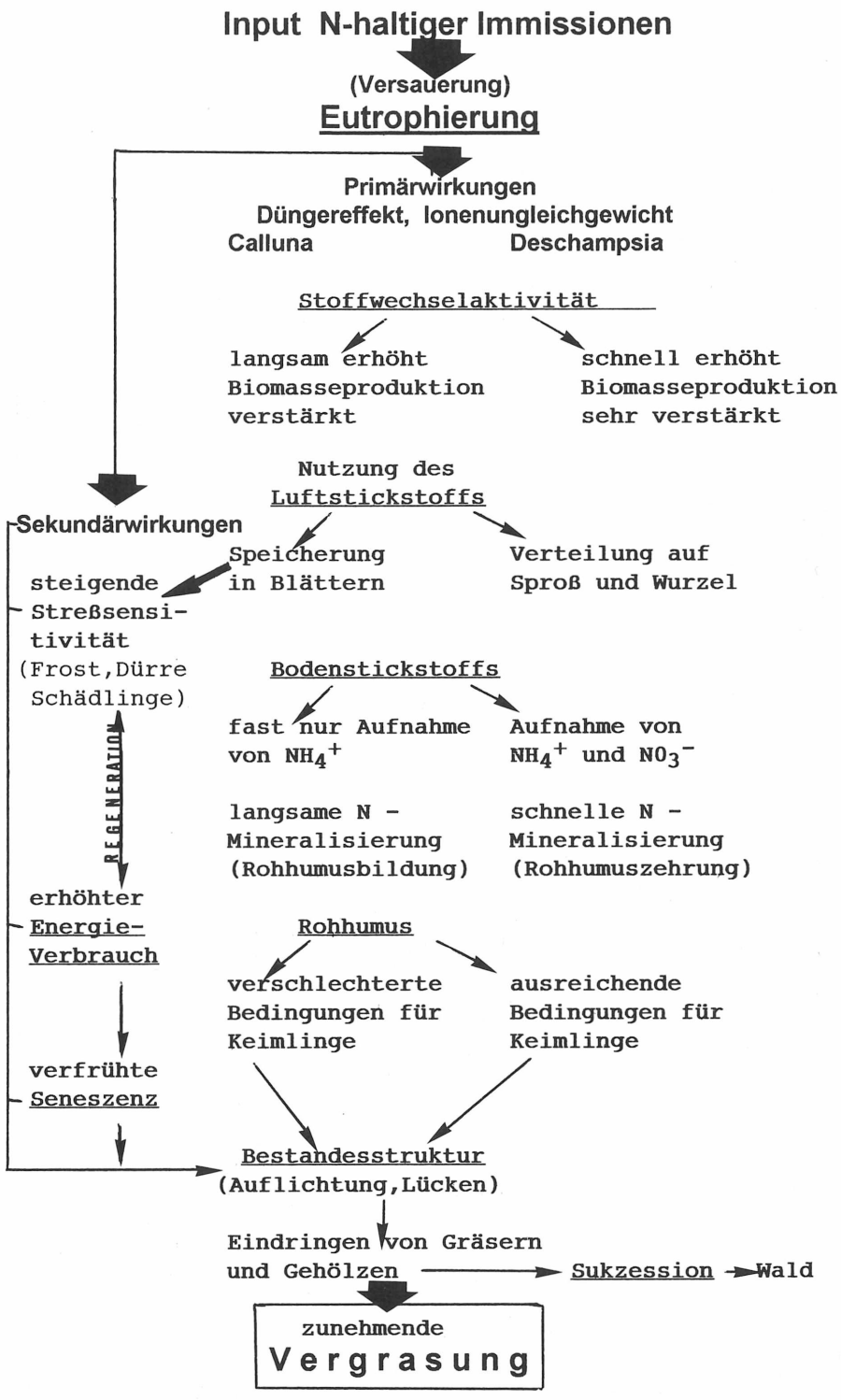


Abb. 13: Folgen des Sickstoffeintrages auf das Genisto anglicae-Callunetum

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

DOWSKI (1987) konnte belegen, daß die gedüngten Zwergsträucher in erhöhtem Umfange vom Heidekäfer befallen werden. Wenn durch solche natürlichen „Katastrophen" ein Absterben der *Calluna*-Sprosse oder weitgehender Verlust der Assimilationsfläche eintritt, kommt es meist zu einer Regeneration, die aber an den Energiereserven zehrt. Infolge der erhöhten Streßanfälligkeit proteinreicher Pflanzen dürfte öfters auf die Energievorräte in den Speicherorganen zurückgegriffen werden als bei ungedüngten Exemplaren. Dies bedingt eine verfrühte Seneszenz, die unter Immissionseinfluß vielfach beobachtet wird. In der Lüneburger Heide beziffert LINDEMANN (unveröff.) die ältesten Exemplare von *Calluna* jetzt mit 19 Jahren, während KANNGIESSER (1906) noch von 27jährigen Zwergsträuchern im gleichen Gebiet berichtet hat. Eine Regeneration der Heide kann aber nur dann erfolgreich verlaufen, wenn genügend grüne Blätter vorhanden und entsprechend Assimilate gespeichert worden sind. Dies bedeutet, daß nach einem Blattverlust (z.B. durch Trockenheit) ausreichend Zeit zur Verfügung stehen muß, um nach Neubildung der Assimilationsorgane die Energierspeicher ausreichend zum Überleben der ungünstigen Jahreszeit aufzufüllen (BERDOWSKI 1987). Andernfalls kommt es zum Zusammenbruch der Heide-Bestände und verstärktem Eindringen der Gräser.

Critical loads

In der Lüneburger Heide mit dem jährlichen Stickstoff – Eintrag von fast 30 kg/ha war *Deschampsia* im Jahre 1991 trotz der Pflegemaßnahmen zu 90% in allen Flächen vertreten (LINDEMANN, unveröff.). Bei den vorstehend geschilderten Experimenten reagierten die Heidepflanzen schon nach 6 Wochen auf überhöhte Düngergaben per Luft oder Boden und zwar stets zu Ungunsten von *Calluna.* Das Wachstum der Besenheide erstreckt sich über viele Jahre. Um so wichtiger erscheint daher eine drastische Reduktion des derzeitigen N-Input. Sofern durch Pflegemaßnahmen kein nennenswerter Stickstoffaustrag stattfindet, werden die „Critical Loads" zur dauerhaften Erhaltung der Zwergstrauchheiden pro Jahr mit 3–5 kg N/ha veranschlagt (UN-ECE 1988).

6. Zusammenfassung

Der jährliche Input von 1,1 kg/ha Blei und 0,04 kg/ha Cadmium hat in der Lüneburger Heide bisher noch zu keiner Einwaschung in das Grundwasser geführt, während von den ca. 37 kg/ha Sulfat etwa die Hälfte mit dem Sickerwasser abgeführt werden. Demgegenüber verbleiben die Einträge von etwa 0,05 kg/ha Phosphat und annähernd 30 kg/ha Ammonium- und Nitratstickstoff in der Vegetation und im Boden.

An der schleichenden Vergrasung ist die zunehmende Standorteutrophierung maßgeblich beteiligt. Sie erniedrigt die Wettbewerbsfähigkeit von *Calluna vulgaris* gegenüber den Gräsern: So wird der N-Metabolismus und damit auch die Produktion an Biomasse bei einem N-Angebot per Luft oder Boden weniger stimuliert als bei *Deschampsia flexuosa.* Eine weitere Wettbewerbsverzerrung der Standortkonkurrenten entsteht dadurch, daß *Calluna* den absorbierten Stickstoff bevorzugt in den Blättern akkumuliert und dadurch besonders anfällig gegenüber Witterungsextremen und Schädlingen wird.

7. Literatur

BADSHA, K.S. & BADSHA, S.J. (1988): Factors affecting the seasonal heavy metal concentrations in upmoorland grass, *Molina caerulea* and *Deschampsia flexuosa.* – Chemosphere **17**, 451–458.

BERDOWSKI, J.J.M. (1987): The catastrophic death of *Calluna vulgaris* in Dutch heathlands. – Habil. Schrift Rijks Universiteit Utrecht.

BERENDSE, F. & AERTS, R. (1984): Competition between *Erica tetralix L.* and *Molina caerulea* (L.) as affected by the availibility of nutrients. – Oecol. Plant. **5**, 3–14.

BOBBINK, R., HEIL, G.W. & RAESSEN, M.B.A.G. (1992): Atmospheric deposition and canopy exchange processes in heathland ecosystems. – Environ. Pollut. **75**, 29–37.

BUCHWALD, K. (1984): Zum Schutze des Gesellschaftsinventars vorindustriell geprägter Kulturlandschaften in Industriestaaten. – Fallstudie Lüneburger Heide. – Phytocoen. **12**, 395–432.

CRAWFORD, R.M.M. (1989): Studies in plant survival. – Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

DUECK, T.A., van der EERDEN, L.J.M., BREEMSTERBOER, B. & ELDERSON, J. (1991): Nitrogen uptake and allocation by *Calluna vulgaris* (L.) *Hull* and *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. exposed to $^{15}NH_3$.- Acta Bot. Neerl. **40**, 257–267.

ELLENBERG, H. (1985): Veränderung der Flora Mitteleuropas unter Einfluß von Düngung und Immissionen. – Schweizer Z. F. Forstwirt. **136**, 19–39.

– (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. – Ulmer Verlag, Stuttgart.

ENGEL, S. (1988): Untersuchungen über die schwefel- und stickstoffhaltigen Immissionswirkungen in Heidegesellschaften des Naturschutzgebietes Lüneburger Heide (Verdrängung von *Calluna vulgaris* durch *Deschampsia flexuosa*). – Diss. Univ. Gießen.

FANGMEIER, A.H., FANGMEIER, A. & JÄGER, H.J. (1992): Ammoniak in der bodennahen Atmosphäre – Emission, Immission und Auswirkungen auf terrestrische Ökosysteme. – Minist. f. Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft d. Landes NRW, Düsseldorf.

HEIJ, G.T. & SCHNEIDER, T. (eds.) (1991): Acidification research in the Netherlands. – Environmental Sci. Ser. **46**, Amsterdam.

HEIL, G.W. (1984): Nutrients and the species composition of heathland. – Habil. Schrift Rijks Univ. Utrecht.

– & DIEMONT, W.H. (1983): Raised nutrient levels change heathland into grassland. – Vegetatio **53**, 113–120.

– & van DAM, D. (1986): Vegetation structures and their roughness with respect to atmospheric deposition. – Proceedings of the Seventh World Clean Air Congress 1986. (Clean Air Society, Eastwood, N. S. W., Australia 1986) **5**, 16–21.

–, van DAM, D. & HEIJNE, B. (1987): Catch of atmospheric deposition in relation to vegetation structures of heathland. – In: ASSMAN, W.A.H. & DIEDEREN, H.S.M.A. (eds.): Ammonia and acidification. – Proceedings of the Sympos. of EUROSAP, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 13.–15. April 1987, 107–123.

HOILAND, K. & OFTEDAL, P. (1980): Lead tolerance in *Deschampsia flexuosa* from a naturally lead polluted area in S-Norway. – Oikos **34**, 168–172.

KANNGIESSER, F. (1906): Über Alter und Dickenwachstum von *Calluna vulgaris*. – Nat. Wiss. Z. F. Land. – u. Forstwiss. **1**, 55–60.

KOWARIK, I. & SUKOPP, H. (1984): Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die spontane Vegetation. – Angew. Bot. **58**, 157–170.

LÖTSCHERT, W. (1962): Entstehung und Erhaltung der nordwestdeutschen Heide. – Natur u. Museum **92**, 286–293.

– (1962,): Beiträge zur Ökologie der subatlantischen Zwergstrauchheide NW-Deutschlands, I. Vegetation und Bodenfaktoren. – Beitr. Biol. Pfl. **37**, 321–380.

– (1962,): Beiträge zur Ökologie der subatlantischen Zwergstrauchheide NW-Deutschlands, II. Mikroklima und Transpiration. – Beitr. Biol. Pfl. **37**, 381–410.

– (1962,): Beiträge zur Ökologie der subatlantischen Zwergstrauchheide NW-Deutschlands, III. Niederschlag bei verschiedener Exposition und die CO_2-Abgabe des Bodens. – Beitr. Biol. Pfl. **41**, 359–366.

MANDERSCHEID, R., BENDER, J. WEIGEL, H.J. & JÄGER, H.J. (1991): Low dosis of ozone effect nitrogen metabolism in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) leaves. – Physiol. Pflanzen **187**, 283–291.

MARRS, R.H. & BANNISTER, P. (1978): The adaption of *Calluna vulgaris* (L.) *Hull* to contrasting soil types. – New Phytol. **81**, 753–761.

MATZNER, E. (1980): Untersuchungen zum Elementhaushalt eines Heide-Ökosystems (*Calluna vulgaris*) in Nordwestdeutschland. – Götting. Bodenkundl. Ber. **63**, 1–120.

– & ULRICH, B. (1980): The transfer of chemical elements within a heath ecosystem (*Calluna vulgaris*) in Nordwestdeutschland.- Z. Pflanzenernährung Bodenkd. **143**, 666–678.

MAYER, R. (1983): Schwermetalle in Waldökosystemen der Lüneburger Heide. – Mittlg. Dt. Bodenkd. Ges. **38**, 251–256.

MICKEL, S. (1990): Die Bedeutung des Stickstoff-Faktors für *Calluna vulgaris* und *Deschampsia flexuosa* in Rein- und Mischkulturen unter besonderer Berücksichtigung der Mycorrhizierungsfrequenz. – Dipl. Arb. Univ. Gießen.

MICKEL, S., BRUNSCHÖN, S. & FANGMEIER, A. (1991): Effects of nitrogen nutrition on growth and competition of *Calluna vulgaris* (L.) *Hull* and *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. – Angew. Bot. **65**, 359–372.

MUHLE, O. & RÖHRIG, E. (1979): Untersuchungen über die Wirkungen von Brand, Mahd und Beweidung auf die Entwicklung der Heide-Gesellschaften. – Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen **61**

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

PEREZ-SOBA, M.S., TULEN, I. & van der EERDEN, L.J.M. (1990): Effects of NH_3 on the N-metabolism of *Pinus sylvestris*. – Proc. Int. Congr. Forest Decline Research, Friedrichshafen, Germany, Oct. 1989.
POTT, R. & HÜPPE, J. (1991): Die Hudelandschaften Nordwestdeutschlands. – Westf. Museum f. Naturkd., Münster. 56, 313 S.
PREISING, E. (1969/70): Zur Erhaltung und Wiederherstellung von Heideflächen im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide unter besonderer Berücksichtigung des Birkenaufwuchses, – Mskr. Nds. LVA.
– (1984): Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme der Pflanzengesellschaften in Niedersachsen, Hannover. – unveröff. Mskr.
STEUBING, L. & BUCHWALD, K. (1989): Analyse der Artenverschiebung in der Sand-Ginster-Heide des Naturschutzgebietes Lüneburger Heide. – Natur u. Landschaft **64**, 100–105.
– & FANGMEIER, A. (1992): Pflanzenökologisches Praktikum. – UTB, Ulmer, Stuttgart.
TÜXEN, R. (1966): Die Lüneburger Heide. Werden und Vergehen einer Landschaft. – In: Anthropogene Vegetation. – Den Haag, Junk, 379–395.
UN-ECE (1988): Critical loads for sulphur and nitrogen. – Reprint of the workshop report, Skokloster, Sweden 1988.
van der EERDEN, L.J.M. (1992): Fertilizing effects of atmospheric ammonia on semi-natural vegetations. – Diss. Univ. Amsterdam.
WEBB, N.R. (1990): Changes of the heathlands of Dorset, England, between 1978 and 1987. – Biol. Conserv. **51**, 273–286.
WITTIG, R. (1980): Vegetation, Flora, Entwicklung Schutzwürdigkeit und Probleme der Erhaltung des NSG „Westruper Heide" in Westfalen. – Abh. Landesmus. Naturkd. Münster/Westf. **42**, 3–30.

Prof. Dr. Lore Steubing
Heinrich-Buff-Ring 38
35392 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Steubing Lore

Artikel/Article: Der Eintrag von Schad- und Nährstoffen und deren Wirkung auf die Vergrasung der Heide 113-133