

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling

Hans, F. und Koopmann, R.

Zusammenfassung

Im Rahmen des INTERREG III A DeLux-Projektes „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“ wurden bryologische Untersuchungen in drei unterschiedlich von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Buchenbeständen durchgeführt. Anlass waren beträchtliche Schäden an stammbesiedelnden Moosen in von der Buchenerkrankung betroffenen Beständen in Luxemburg. Erhoben wurden das Artenspektrum und die Häufigkeit der einzelnen Moosarten sowie die jeweils auftretenden Schäden. Mit Hilfe dieser Aufnahmen und einer eingehenden chemischen Untersuchung von Moos- und angrenzendem Borkengewebe wurde nach den Ursachen der Mooschädigung gesucht und geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Schäden an den Moosen und den Schäden an den Buchen besteht.

Zwischen der Absterberate des Mooses *Hypnum cupressiforme* und der Ausprägung der Buchenschäden zeigten sich deutliche Zusammenhänge. Auch wurden Zusammenhänge zwischen der Ausprägung der Schädigung von *Hypnum cupressiforme* und dem Vorkommen bestimmter Moosarten gefunden. Dem Moos *Dicranum tauricum* kommt offenbar eine Indikatorfunktion zu. Waldbestände mit mittelhoher und hoher Frequenz an *Dicranum tauricum* wiesen stets hohe Schäden sowohl bei *Hypnum cupressiforme* als auch an den Buchen auf.

Der vielfach beobachtete grün-braun gefärbte „Überzug“ auf stark geschädigten Moosen konnte als Gallerschicht identifiziert werden, die durch einzellige Grünalgen gebildet wird. Als Nebenbestandteil treten in dieser Gallerte Pilzhyphen auf.

Die biochemischen Analysen zeigen bei zunehmender Schädigung einen abnehmenden Chlorophyll-A-Gehalt bei *Hypnum cupressiforme*. Demgegenüber ergaben sich keine Zusammenhänge zwischen der Borkenchemie und den Mooschäden.

Als Ursache für die Schäden an den Moosen werden überhöhte Stickstoffeinträge in die Buchenwälder vermutet. Diese könnten sowohl die Moose schädigen als auch die Abwehrkraft der Buchen gegenüber Pilz- und Insektenbefall schwächen.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Buchenkomplexkrankheit, Borkenchemie, Tannine, Stickstoffeintrag, *Dicranum tauricum*, *Hypnum cupressiforme*

Research concerning the coherence between the beech bark disease and the dying off rates of epiphytic mosses in the Oesling of Luxembourg

Summary

Within the scope of the INTERREG III A DeLux-Project „Development of strategies to protect beech forests“, bryologic studies were carried out in three beech stands, each stand being affected by the beech bark disease at a different degree. The reason to start off the research was the considerable damage on trunk colonizing mosses in these beech stands in Luxembourg. The species spectrum, the frequency of the different moss species, and the occurring damage have been highlighted. With these results and by performing a detailed chemical analysis of the mosses and the adjacent bark texture, it was possible to study the causes of

moss damage. Furthermore it can be tested whether or not any coherence exists between the damage on the mosses and the damage on the beech trees.

A clear relation between the dying-off rate of the moss *Hypnum cupressiforme* and the degree of beech bark damages could be shown. Relations have also been identified between the degree of the damage on *Hypnum cupressiforme* and the occurrence of certain moss species. The moss *Dicranum tauricum* apparently plays the role of an indicator. Forest stands with a medium or high frequency of *Dicranum tauricum* have always shown a high damage level, both on *Hypnum cupressiforme* and on beech trees.

The commonly observed greenish-brown "cover" on heavily damaged mosses were identified as a jelly film, formed by unicellular green algae. Fungus hyphen represent a minor component of this jelly.

The biochemical analyses show that for the species *Hypnum cupressiforme* increasing damage results in a decrease in chlorophyll A content. On the other hand, no relation between the chemical compounds of the bark and the moss damage was found.

Increased nitrogen depositions in beech stands are assumed to be the cause for the damage on mosses. They could lead to damage on mosses as well as to a weakening of the defence of beech trees in relation to infestations by fungi and insects.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, beech bark disease, chemical composition of outer bark, tannins, nitrogen deposition, *Dicranum tauricum*, *Hypnum cupressiforme*

Einleitung

Die bereits im Jahr 2004 durchgeführten Untersuchungen zu Absterberaten von epiphytischen Moosen in geschädigten Buchenwaldbeständen im Luxemburger Oesling ließen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Schädigungsgraden von *Hypnum cupressiforme* und unterschiedlich stark geschädigten Buchenbeständen erkennen. Darüber hinaus wurde ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen bestimmter epiphytischer Moosarten und unterschiedlichen Schädigungsstufen von *Hypnum cupressiforme* vermutet. Diese Arten könnten möglicherweise eine wertvolle Indikatorfunktion für ein frühes Stadium der Buchenkomplexkrankheit darstellen.

Bei den weiterführenden Untersuchungen im Jahr 2005 sollte auch geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Borkenchemie und der Absterberate bzw. dem Schädigungsgrad von *Hypnum cupressiforme* vorliegt.

Die pflanzliche Abwehr gegen pathogene Pilze und Schaderreger sowie Fraßfeinde basiert nämlich im Wesentlichen auf strukturellen und chemischen Eigenschaften der einzelnen Gewebetypen. Der

chemische Schutz der Abschlussgewebe beruht in der Einlagerung von wasserabstoßenden Polymeren, wie dem phenolischen Lignin oder den aliphatischen Säuren des polymeren Suberins (FENGEL und WEGENER, 1984). Innerhalb des lebenden Gewebes sind es vorrangig lösliche phenolische Verbindungen, die bei Stress oder Pathogenbefall vermehrt gebildet werden können und so eine lokalisierte und zeitlich begrenzte Abwehrreaktion ermöglichen (HARBORNE, 1995).

Zwischen den verschiedenen Stoffwechselwegen einer Pflanze gibt es grundlegende Zusammenhänge. So beruht eine der wesentlichen Hypothesen zum Einfluss erhöhter Stickstoffeinträge auf Pflanzen in der Wechselwirkung der Biosynthesewege von Aminosäuren und Phenolen (REICHHARDT et al., 1991).

Die Artenzusammensetzung von Moosgesellschaften nach künstlicher Düngung verändert sich (SOLGA, 2003) und chemische Merkmale, wie z.B. der Gehalt an Gesamtstickstoff, Chlorophyll A und einigen Aminosäuren erfahren signifikante Veränderungen, die von der Höhe der applizierten Düngung abhängig sind (FRANZEN-REUTER, 2004).

Anhand von Untersuchungen in Dauerbeobachtungsflächen in der Eifel wurden an verschiedenen Trägerbaumarten die Auswirkungen erhöhten Stickstoffeintrags auf die Epiphytenvegetation experimentell festgestellt. Die Epiphyten wurden über einen Zeitraum von fast zwei Jahren mit unterschiedlichen stickstoffhaltigen Lösungen besprüht (NH_4Cl , KNO_3 , NH_4NO_3). Die reine Stickstoffkonzentration betrug 11 und 22 mM. Vor allem Ubiquisten wie *Hypnum cupressiforme* haben sich stark ausgebreitet. Andere Arten entwickelten Nekrosen (Schwarzverfärbungen).

Methoden

Die bryologischen Untersuchungen wurden auf drei Standorten im Luxemburger Ösling durchgeführt, die sich hinsichtlich der Ausprägung der Buchenerkrankung unterscheiden (Tab. 1). An jedem Standort wurden an jeweils 50 Bäumen verschiedene Baumparameter, Schadsymptome an den Bäumen und der Moosbesatz sowie Schäden an den Moosen erfasst. Über ein in 120 cm Höhe angebrachtes Raster wurden die vorkommenden Arten erhoben und der Deckungsgrad sowie Beschädigungsgrad eingeschätzt (Abb. 1).

In einem zweiten Schritt wurden an allen drei Standorten Proben von mindestens jeweils 5 Bäumen auf die Gehalte an Chlorophyll A in Moosgeweben unterschiedlicher Schädigungsgrade sowie chemische Untersuchungen (pH-Werte, Tanningehalte) im angrenzenden Borkengewebe durchgeführt. An zwei Proben von Moosen mit starker Schädigung erfolgte zudem eine eingehende mikroskopische Untersuchung des grün-braunen Überzugs. Weiterhin wurden gezielt alle drei Bestände auf Bäume durchmustert, die von *Dicranum tauricum* besiedelt sind. Diese Bäume wurden eingehend



Abb. 1: Erfassungsrahmen an einer Buche
Fig. 1: Assessment frame at a beech tree

auf das Vorliegen von Schadmerkmalen an Moosen und Buchen begutachtet.

Ergebnisse

Zusammenhang zwischen Borkenchemie und Mooschädigungen

Moose unterschiedlicher Schädigungsgrade, eingeteilt in die Klassen 1 bis 5, weisen starke Unterschiede in Farbe, Geruch und Vitalität auf. Während Moose der Klasse 1 dunkelgrün, vital und von angenehmem Geruch sind, zeigen Moose der Klassen 2 bis 4 gelbe bis braune Verfärbungen. In der Klasse 5 sind Gewebe aufgelöst, der Geruch ist unangenehm und es zeigt sich häufig ein grün-brauner Überzug, der eine gelartige Konsistenz aufweist und beim Trocknen der Probe das Gewebe verkrustet.

Einhergehend mit den sichtbaren Verfärbungen von grün über gelb nach braun ist eine nachweisbare Abnahme des Chlorophyllgehaltes (Tab. 2).

Von den drei Untersuchungsgebieten zeigte der

Tab. 1: Kennwerte der drei Untersuchungsstandorte

Tab. 1: Characteristics of the three research sites

Bezeichnung	Gemeinde	Forstrevier	Waldort	Höhe ü.NN	Exposition	Hangneigung	Alter	Schadausmaß
				[m]		[%]		
1	Hosingen	Hosingen	Akescht	ca. 460	S - SO	ca. 29	ca. 120	gering
2	Bastendorf	Bastendorf	Grousseboesch	ca. 300	S	ca. 6	ca. 120	mittel
3	Rambrouch	Perlè	Grousseboesch	ca. 500	O - NO	ca. 12	ca. 120	hoch

Standort Hosingen die deutlichste Abstufung im Chlorophyllgehalt von 0,26 mg/g (Klasse 1) bis 0,09 mg/g (Klasse 4), während in den anderen beiden Standorten (Bastendorf und Rambrouch) die Minimalwerte in der Klasse 4 oberhalb 0,15 mg/g lagen.

Borkenproben der Buchen wiesen Tanningehalte zwischen 16 und 52 mg/g Trockengewicht (TG) auf, der Mittelwert lag bei 31 mg/g TG.

Die Borken-pH-Werte schwanken zwischen 4,45 und 5,29 (Tab. 3). Eine einzelne Probe zeigte einen pH-Wert von 6,1 (Hosingen, H9, SG 5). Borken-pH-Werte oberhalb pH 5,0 waren ausschließlich in den zu den Schadensgruppen 4/5 gehörenden Bäumen zu finden (Tab. 4), jedoch konnte nur für den Standort Hosingen eine pH-Zunahme von Klasse 1 bis 5 auch für die Mittelwerte aus 5 Proben mit statistischer Sicherheit gezeigt werden. Die bei den unterschiedlichen Schädigungsgraden ermittelten pH-Maximalwerte sind bei Betrachtung aller Standorte zusammen deutlich mit den Schädigungsklassen korreliert.

Unsere Ergebnisse verifizieren die nach visuellen Symptomen erfolgte Einteilung des untersuchten Mooses *Hypnum cupressiforme* in Schadensgruppen mithilfe des Parameters „Gehalt an Chlorophyll A“. Diese Übereinstimmung zwischen visueller Schadenssymptomatik und dem biochemischen Parameter „Chlorophyll A“ im Moos *Hypnum cupressiforme* ist für die praktische ökologische Kartierungsarbeit wertvoll. Ein Absinken des Chlorophyll A-Gehaltes um 35 - 65 % im Vergleich der Schadensklassen 1 bis 4 belegt eine erhebliche Vitalitätsabnahme der untersuchten Gewebe. Die Schadensklasse 5 mit Besiedlung durch Grünalgen zeigt in vier von fünf untersuchten Proben sogar eine Chlorophyllabnahme von 85 – 96 %.

Es konnte ausgehend von ausschließlich organischen Metaboliten (hier Borken-Tannine und Moos-Chlorophylle) als Untersuchungsparameter keine verifizierbare Kausalkette zwischen der Borkenchemie und den Mooschädigungen abgeleitet werden. Borken-pH-Werte korrelierend zu geschädigten Moosproben der Schadensstufen 4 und 5

Tab. 2: Chlorophyll A Gehalte in Moosen unterschiedlicher Schadensgruppen

Tab. 2: Chlorophyll-A-concentration in moss of different damage classes

Standort Hosingen	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	0,26 (+/- 0,06)
2	0,18 (+/- 0,10)
3	0,10 (+/- 0,04)
4	0,09 (+/- 0,02)
5	0,01 **

Standort Bastendorf	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	0,24 (+/- 0,06)
2	0,26 (+/- 0,10)
3	0,18 (+/- 0,04)
4	0,17 (+/- 0,08)
5	n.d.

Standort Rambrouch	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	n.d.
2	0,16 (+/- 0,05)
3	0,15 (+/- 0,03)
4	0,14 (+/- 0,05)
5	0,13 (+/- 0,10)

* Daten sind Mittelwerte aus 4 - 7 Proben

** Einzelwert in SG 5

n.d. Nicht beprobt / nicht vorhanden

ergaben sich wie folgt: pH > 4,9 und Chlorophyll A < 20 mg/g.

Eine Korrelation zwischen Borken-pH-Wert und Borken-Tanningehalten konnte für die Mehrzahl

Tab. 3: Borken-pH-Werte

Tab. 3: pH in outer bark

Standort Hosingen	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	4,7 (+/- 0,1)
2	4,8 (+/- 0,1)
3	4,7 (+/- 0,1)
4	5,0 (+/- 0,1)
5	6,1 (+/-0,10) **

* Daten sind Mittelwerte aus 4 - 7 Proben

** Einzelwert

der Proben nicht aufgezeigt werden. Entscheidend ist offenbar der tatsächlich das Moosgewebe erreichende Stammwasserabfluss und nicht ausschließlich das angrenzende Borkengewebe.

Der grün-braune, gelartige „Überzug“ auf Moosen starker Schädigung konnte anhand zweier exemplarischer Proben der Schadensstufe 5 identifiziert werden. Hauptbestandteil sind einzellige Grünalgen, die eine Gallertschicht bilden. Als Nebenbestandteil treten Pilzhyphen auf (< 10%).

Untersuchung von Indikatorarten zur Feststellung eines frühen Stadiums der Buchenkomplexkrankheit

Die Gegenüberstellung von *Dicranum tauricum* zur prozentualen Verteilung der Schadensgruppen 1 bis 5 und Befall oder Nichtbefall mit Pilzen ergab im Rahmen der Untersuchung im Jahr 2004 einen Anteil von 57 Prozent an den Schädigungsklassen 4 und 5. Der Anteil von nur 17 Prozent an ungeschädigtem *Hypnum cupressiforme* an den betroffenen Bäumen ließ vermuten, dass *Dicranum tauricum* eine Indikatorfunktion für eine kurz bevorstehende Erkrankung besitzen könnte.

Um diese Hypothese zu prüfen wurden alle Bestände auf das Vorkommen des Mooses *Dicranum tauricum* durchmustert. Am Standort Rambrouch ist *Dicranum tauricum* ein häufiges Moos und an fast allen erkrankten Buchen anzutreffen. Demgegenüber ist dieses Moos am Standort Bastendorf nur an einigen sehr alten Buchen anzutreffen. Am Standort Hosingen wurde *Dicranum tauricum* an 15 Bäumen gefunden. An den mit *Dicranum tauricum* bewachsenen Buchen sind häufig Bohrlöcher oder rundliche, vernarbte Strukturen anzutreffen, die vermuten lassen, es könne sich dabei um überwachsene Bohrlöcher handeln (Tab. 5, Abb. 2).

Tab. 4: pH-Wert-Spannen verschiedener Schädigungsklassen von *Hypnum cupressiforme*

Tab. 4: pH range at different damage classes of *Hypnum cupressiforme*

Schädigungsgrad	pH-min	pH-max
Schädigungsklasse 1	4,45	4,93
Schädigungsklasse 2	4,46	4,88
Schädigungsklasse 3	4,37	4,97
Schädigungsklasse 4	4,45	5,29
Schädigungsklasse 5	4,43	6,1
n=69		

Diskussion

Abnehmende Chlorophyllgehalte in Thallophyten, wie Flechten und Moosen sind nach FRANZENREUTER (2004) zum Beispiel bei sehr stark erhöhten Stickstoffdepositionen zu erwarten. Obwohl die Gehalte von Chlorophyll A bei Düngungsversuchen

Tab. 5: Moosartenzusammensetzung von *Dicranum tauricum*-Buchen mit Bohrlochsymptomatik

Tab. 5: Species distribution of mosses at beech trees with *Dicranum tauricum* and bore hole symptomatic

Moosarten	Hosingen	Bastendorf	Summe
<i>Dicranum tauricum</i>	15	13	28
<i>Hypnum cupressiforme</i>	9	6	15
<i>Dicranum montanum</i>	4	9	13
<i>Dicranum scoparium</i>	1	12	13
<i>Metzgeria furcata</i>	7	4	11
<i>Isothecium alopecuroides</i>	1	8	9
<i>Ulota bruchii</i>	6	2	8
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2	1	3
<i>Orthotrichum stramineum</i>	4	0	4
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	0	6	6
<i>Isothecium myosuroides</i>	0	5	5
<i>Lophocolea heterophylla</i>	0	4	4
<i>Frullania tamarisci</i>	0	5	5
<i>Ulota crispa</i>	0	1	1
<i>Orthotrichum affine</i>	0	2	2
<i>Platygyrium repens</i>	0	1	1
<i>Zygodon rupestris</i>	0	1	1
<i>Bryum laevifilum</i>	0	1	1
<i>Mnium hornum</i>	0	1	1



Abb. 2: Bohrlochsymptomatik an Buchen mit *Dicranum tauricum*-Bewuchs
 Fig. 2: Borehole symptomatic at a beech with *Dicranum tauricum*

zunächst anstiegen, sind ab einem Schwellenwert die Chlorophyllgehalte jedoch wieder stark abnehmend. Magnesiummangel ist ein weiterer Faktor, der Chlorophyllmangel und damit einhergehende Gewebeverfärbungen bedingen kann (BERGMANN, 1986).

STAPPER (2000) stellt die Erhöhung des Stickstoffeintrages in Zusammenhang mit der Zunahme der Artenzahlen in Level II Waldflächen in Nordrhein-Westfalen. Die maximal gemessenen Stickstoffeinträge liegen in diesen Flächen bei 46 kg/ha/a. Auch wurde auf diesen Flächen mit sehr hohen Stickstoffeinträgen eine Überwucherung der Moose durch fadenförmige Grünalgen beobachtet.

Eutrophierung bewirkt durch Zunahme basischer Stickstoffeinträge eine Erhöhung von Borken-pH-Werten (FRANZEN-REUTER, 2004). Wasserlösliche Extraktstoffe der Borke, insbesondere solche mit phenolischen Gruppen, führen aufgrund deren Azidität zu einer Herabsenkung des Borken-pH-Wertes (FENGEL und WEGENER, 1984). Sowohl der niedrige pH-Wert als auch der hohe Anteil an antimikrobiell wirksamen phenolischen Extraktstoffen bilden

einen effektiven Schutz gegen Pathogene und Insekten.

Unsere Arbeitshypothese zur biochemischen Kausalkette basiert auf der Annahme, dass erhöhte Stickstoffdepositionen aufgrund einer Verschiebung der Phenol- zugunsten der Aminosäuresynthese zu erniedrigten Borken-Tanningehalten und allgemein verminderter Abwehrkraft führen.

Wir führen Mooschädigungen auf äußere Einflüsse zurück, und zwar auf die Eutrophierung mit basischen Stickstoffverbindungen. In einzelnen Proben hoher Schadensstufen waren Borken-pH-Werte > 4,9 mit erniedrigtem Extraktstoffanteil korreliert. Damit ergibt sich ein Hinweis auf eine verminderte Abwehrkraft des untersuchten Baumes nach der im vorangegangenen vorgestellten Hypothese, dass erhöhte Stickstoffeinträge zu einer Umschaltung der Biosynthesewege von abwehrrelevanten Phenolen zu proteingebundenen Phenolen führen (HYVÄRINEN et al., 2002).

Letztere Hypothese sollte sich an biosynthetisch aktivem Gewebe oder durch direkte Messung des Gesamtstickstoffgehaltes im Rahmen weiterer For-

schungsarbeiten prüfen lassen.

Eine mit der Borken-pH-Wert-Erhöhung einhergehende Erhöhung der Schadsymptome bei *Hypnum cupressiforme* konnte auch in unserer Untersuchung an einem Untersuchungsstandort (Hosingen) belegt werden.

Stickstoffbelastung führt zunächst zu einer verstärkten Ansiedlung von Moosen. Weitere Stickstoffbelastung führt zu Schädigungen und schließlich zum Absterben der Moose. Ab einem bestimmten Schwellenwert der Stickstoffüberdüngung kommt es zu einer Abnahme des Chlorophyllgehaltes. Magnesium-, Kalzium- oder Kaliummangel oder der Mangel an Fe^{++} , das wesentlicher Bestandteil der Proteine des Photosynthesesystemes ist, können hierfür eine Ursache sein.

Stickstoffbelastung führt aber gleichzeitig zu einer Wachstumszunahme bei Buchen. Dies zeigen die vielerorts zu beobachtenden überdurchschnittlich hohen Zuwachsraten der Buchen in den vergangenen 10 bis 15 Jahren. Gleichzeitige Mangelsymptomatik kann zu einer verstärkten Anfälligkeit der Buchen gegenüber Schädlingen führen.

Buchen auf extrem sauren und nährstoffarmen Böden dürften dabei empfindlicher reagieren. Hier spielen wahrscheinlich auch Vorschädigungen des Feinwurzelsystems durch Bodenversauerungsprozesse eine wesentliche Rolle.

Epiphytische Moose reagieren (nicht nur in Wald-ökosystemen!) parallel zum verstärkten Wachstum der Buchen. Insbesondere in niederschlagsreichen Gebieten resultiert dies in einem starken Moosbewuchs und in einer Veränderung des Artenspektrums. Dabei sind die möglicherweise komplementären Auswirkungen der rezenten klimatischen Veränderungen auf das Artengefüge der Moose (HANS, 2004) nicht außer Acht zu lassen.

Die Schädigungen an Moosen und Buchen sind insofern an den drei unterschiedlichen Standorten Bastendorf, Rambrouch und Hosingen in Zusammenhang zu bringen. Die Schadensursache liegt aber wahrscheinlich in der Überdüngung durch Stickstoffeinträge. Ein direkter kausaler Zusammenhang zwischen Borkeninhaltsstoffen und der Schädigung von Moosen besteht nicht.

Literatur

- BERGMANN, W. (1986): Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen Visuelle und analytische Diagnose. 2, erw. Aufl. Jena, Fischer.
- FENGEL, D. und WEGENER, C. (1984): Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions. W. De-Gruyter Verlag, Berlin, New York.
- FRANZEN-REUTER, I. (2004): Untersuchungen zur Auswirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. Dissertation, Universität Bonn; elektron. publ.: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss-online>.
- HANS, F. (2004): Neue und seltene Arten aus der Familie der Orthotrichaceae (Musci) für Luxemburg – Mögliche Indikatoren für einen Klimawechsel? Bull. Soc. Nat. luxemb. 105: 15-25.
- HARBORNE, J.B. (1995): Ökologische Biochemie. Spektrum Verlag, Heidelberg.
- HYVÄRINEN, M.; WALTER, B. und KOOPMANN, R. (2002): Secondary metabolites in *Cladina stellaris* in relation to reindeer grazing and thallus nutrient content. Oikos, 96: 273-280.
- REICHHARDT, P.B.; CHAPIN, F.S.; BRYANT, J.P.; MATTES, B.R. und CLAUSEN, T.P. (1991): Carbon/nutrient balance as a predictor of plant defense in Alaskan balsam poplar: Potential importance of metabolic turnover. Oecologia 88: 401-406.
- SOLGA, A. (2003): Untersuchungen zur Eignung von Moosen als Bioindikatoren atmosphärischer Stickstoffeinträge. Dissertation, Universität Bonn.
- STAPPER, N. (2000): Epiphytische Moose und Flechten als Monitororganismen auf Level-II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in NRW. LÖBF-Mitteilungen 4/2000. 67-74.

Autorenanschriften:

Florian Hans
Oeko-Bureau
Boite Postale 44
L-3701 Rumelange
Email: oekoburo@pt.lu

Dr. Ricarda Koopmann
Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen
Meckenheimer Allee 170
D-53115 Bonn
Email: nees@uni-bonn.de