

Bioindikation mit Moosen in Linz



Univ.-Doz. Mag. Dr.
Harald G. ZECHMEISTER
Mag. Daniela HOHENWALLNER
Institut für Ökologie und Naturschutz
der Universität Wien
Abteilung für Naturschutz,
Vegetations- und Landschaftsökologie
Althanstraße 14, 1090 Wien.



Moose (Bryophyta) eignen sich aufgrund ihrer anatomisch-morphologischen Voraussetzungen in besonderem Maße als Bioindikatoren (zur Erklärung des Begriffes Bioindikation siehe Kasten).

Vor allem beblätterte Lebermoose und Laubmoose haben meist einschichtige Blätter und es fehlt ihnen eine Verdunstung hemmende Wachsschicht, die Cuticula. Die meisten Moosarten nehmen Wasser und Nährstoffe direkt aus der Atmosphäre auf. Sie sind damit aber auch Luftschadstoffen ungeschützt ausgesetzt. Moose reagieren daher zumeist rascher und sensibler als Blütenpflanzen auf Veränderungen der Umwelt. Moosblätter werden bei Schadstoffbelastung relativ rasch braun (siehe Abb. 1), die Fortpflanzung geht zurück und schließlich sterben empfindliche Arten aus. Einige Moosarten, die ehemals in Linz vorgekommen sind (z. B. *Antitrichia curtipendula*, *Orthotrichum rogeri*, *Neckera pennata*) konnten bei einer aktuellen Kartierung nicht mehr gefunden werden und sind demnach ein Opfer der Luftverschmutzung der letzten Jahrzehnte geworden (siehe auch ZECHMEISTER u. TRIBSCH 2002).

Moose finden seit einigen Jahren verstärkt Anwendung im Bereich der Bioindikation und des Biomonitorings (BURTON 1990, FRAHM 1998, ZECHMEISTER u. a. 2002a).

Dabei liegen die Anwendungsschwerpunkte einerseits in der Verwendung von Moosen als Akkumulationsindikatoren (siehe Kasten), andererseits im Einsatz als Reaktionsindikatoren. Beide Methoden die-

nen zur Erfassung kurz- und langzeitlicher Umweltveränderungen aufgrund der vom Menschen freigesetzten Schadstoffe.

Wie eine Reihe von Untersuchungen auf dem Gebiet der Reaktionsindikation gezeigt hat, sind Moose vor allem gegenüber Schwefeldioxid (SO_2) empfindlich, dienen aber auch als Zeiger für den Einfluss von Stickoxiden (NO_x , Fluoriden sowie toxi-

schen organischen Verbindungen (z. B. GILBERT 1970, COMEAU u. LEBLANC 1971, RAO 1982).

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts hat man in den englischen Industriegebieten (z. B. in Manchester) einen deutlichen Rückgang an Moosen feststellen können, und schon damals wurde dieses Phänomen mit Luftschadstoffen in Verbindung gebracht. Seither hat es viele Untersuchungen gegeben, die den Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und der Verbreitung bzw. dem Aussterben von Moosen aufgezeigt haben (für einen Literaturüberblick siehe ZECHMEISTER u. a. 2002a). In jüngster Zeit sind jedoch ehemals durch Abgase „freigelegte“ Stadtbereiche wieder von Moosen besiedelt worden (z. B. GILBERT 1992, STAPPER u. a. 2000, FRANZEN 2001), nachdem vom Gesetzgeber entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität eingeleitet wurden. Moose sind nicht nur rasch beim „Verschwinden“, sondern auch bei der Wiederbesiedelung. Das hängt vor allem damit zusammen, dass die meisten Moose sehr viele Sporen aber auch vegetative Fortpflanzungskörper produzieren, die sehr leicht (z. B. durch den Wind) über große Strecken verfrachtet werden. Damit können Moospopulationen, die viele km entfernt, abseits der Schadstoffzentren überleben konnten, zur Wiederbesiedelung in Städten beitragen. Außerdem sind viele Moose zu den Pionierpflanzen zu zählen, was zusätzlich einer Neubesiedelung förderlich ist.

Durch die Erfassung dieser sensiblen Pflanzengruppe und die Beurteilung der Vitalität ausgewählter Arten, lassen sich einerseits Aussagen zum aktuellen Stand der Luftschadstoffbelastung machen, andererseits dienen Arbeiten wie die vorliegende als Grundlage für langfristige Monitoringprogramme.



Abb. 1: Verbräunungen des epiphytisch wachsenden „Zypressen Schlaf-Mooses“ (*Hypnum cupressiforme*). Besonders der Stammabflussbereich ist höheren Luftschadstoffkonzentrationen ausgesetzt.

Bioindikation

Es gibt eine Vielzahl an „Indikatoren“, die alle etwas anzeigen (lateinisch „indicare“ = anzeigen): zum Beispiel der Dow-Jones Index dem Börsenmakler, Lackmus-Papier dem Chemiker oder Wettquoten dem Spieler.

Unter **Bioindikatoren** verstehen wir Lebewesen, welche Auskunft über die Umwelt(veränderungen) geben. Ein Bioindikator zeigt sowohl natürliche als auch vom Menschen bedingte Umweltveränderungen an. Bioindikation ist das Arbeiten mit Bioindikatoren.

Ist nicht nur das bloße Vorhandensein, sondern auch eine Feststellung der Menge (Quantifizierung) der vorhandenen Einflussfaktoren/Schadstoffe möglich (z. B. durch Messungen), sprechen wir vom **Biomonitor(ing)**.

So genannte **Akkumulationsindikatoren** nehmen bestimmte Schadstoffe im Verhältnis zum Eintrag auf. Durch Messungen (z. B. chemische Analysen) lassen sich genaue Rückschlüsse auf die Menge der deponierten Schadstoffe machen (z. B. die Aufnahme von Schwermetallen durch Moose).

Reaktionsindikatoren reagieren mehr oder weniger sensibel auf einen Schadstoff. Durch Veränderungen (z. B. das Verfärben von Blättern - Nekrosen) zeigen sie an, dass bestimmte Schadstoffe (z. B. Ozon, SO_2) in größeren Mengen vorhanden sind. Es lassen sich jedoch keine exakten Rückschlüsse auf die Menge der Schadstoffe ziehen.

Der Vorteil der Verwendung von Bioindikatoren ist vielfältig. Sie sind Teile der Nahrungskette und somit Teil des gesamten Ökosystems. In vielen Fällen erweisen sie sich rein technischen Messungen als überlegen, da die Lebewesen auf Schadstoffe vielfältig reagieren und diese Reaktion oft über eine simple Addition von Einzelwerten (wie man sie aus Messgeräten erhält) hinausgeht (MARKERT u. a. 2002; ZECHMEISTER 1994).

Methodik

Im Bereich der Reaktionsindikation wurden zwei Methoden angewandt:

- * „Index of Atmospheric Purity“ (IAP) nach LEBLANC u. DE SLOOVER (1970)
- * VDI Methode, adaptiert nach der für Flechtenprogramme gültigen VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1, 1995

Für beide Methoden gibt es eine Reihe festgelegter Arbeitsschritte:

Es kommen ausschließlich **epiphytische** Moose, also Moose, die auf den Borken von Bäumen wachsen ohne diese zu schädigen, zum Einsatz (siehe Abb. 2). Diese Epiphyten

se Schadstoffe filtert bzw. neutralisiert sind die epiphytischen Moose entlang des Stammes mit hoch konzentrierten, toxischen Substanzen konfrontiert.

Bei beiden Methoden ist besonders auf die Vergleichbarkeit der untersuchten Standorte sowie auf ähnliche Borkeneigenschaften der Trägerbäume Rücksicht zu nehmen. Unterschiedliche pH-Werte, Nährstoffgehalte, Feuchtigkeit etc., was auf den Moosbewuchs Einfluss nimmt. Am besten wäre es natürlich, nur die Epiphyten einer einzigen Baumart zu untersuchen; dies lässt sich aber in einem ausgedehnten Gebiet meist nicht flächendeckend erfüllen. Es müssen daher Bäume mit ver-



Abb. 2: Reichlich mit epiphytischen Moosen und Flechten bewachsener Alleebaum in Linz-Urfahr. Der Baum ist Aufnahmepunkt für die Bioindikationsmethoden nach IAP und VDI. Das für die VDI Methode notwendige Untersuchungsnetz ist zu sehen.

sind in besonders hohem Ausmaß für die Indikation von Luftschadstoffen geeignet. Dies hat mehrere Ursachen: Durch die Krone eines Baumes wird ein relativ großer Luftraum „ausgekämmt“. Ein Großteil der im Regenwasser gelösten Schadstoffe wird entlang des Stammes abgeleitet. Da die Borke in viel geringerem Ausmaß als z. B. der Boden die-

gleichen Borkeneigenschaften herangezogen werden. So gelten zum Beispiel Esche-Walnuss-Apfel-Pappel-Ulme als eine Kartierungsgruppe, Linde-Ahorn-Birne-Robinie als eine weitere. In Linz wurden vor allem die Moose auf Esche (*Fraxinus excelsior*) und Ahorn (*Acer negundo*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*) untersucht. Doch auch Alter und so-

mit Brusthöhendurchmesser und Kronenform/-größe sollen vergleichbar sein. Alle Untersuchungsobjekte müssen gerade Stämme aufweisen, da auf schräg gewachsenen Objekten völlig andere Depositions- und Stammabflussverhältnisse herrschen.

Die Zahl der Untersuchungspunkte in Linz betrug 53. Pro Untersuchungspunkt wurde der Moosbewuchs von 4-7 Bäumen analysiert, das heißt in Summe wurden 263 Einzelbäume für diese Art der Studie untersucht. Untersucht wurden nur Moose des Stammes; Moose im Stammfußbereich wurden bei beiden Methoden nicht berücksichtigt.

Für die detaillierte Kenntnis der weiteren Erhebungsmethoden bzw. der Formeln für die Auswertungsschritte sei auf den umfassenden Endbericht der in Linz durchgeführten Studie verwiesen; er ist im Naturkundlichen Jahrbuch der Stadt Linz veröffentlicht (ZECHMEISTER u. a. 2002b).

Für die Untersuchungen zur Erfassung der Schwermetalldepositionen kam ein Verfahren aus dem Bereich der **Akkumulationsindikation** (siehe Kasten) zum Einsatz. Diese Methode findet seit fast dreißig Jahren in ganz Europa Anwendung und ist weit entwickelt (z. B. ZECHMEISTER 1997, RÜHLING 1998, ZECHMEISTER u. a. 2002a). Durch die Aufsammlung von Moosen an Standorten, die nach oben hin nicht abgeschirmt sind (z. B. nicht unter Bäumen), kann der direkte Schwermetalleintrag aus der Atmosphäre gemessen werden. Moose nehmen Schwermetalle aufgrund besonderer chemischer Eigenschaften der Zellwände proportional zum Eintrag auf. Dieser Aufnahmeprozess ist unabhängig von Witterung oder Jahreszeit (immergrüne Moose!), was eine ganzjährige Aufnahme garantiert. Auf dieser Basis, und belegt durch eine große Zahl an Studien, kann gesagt werden, dass Moose wohl die besten Bioindikatoren zur Erfassung der über die Atmosphäre deponierten Schwermetalle sind und dabei sogar meist technische Messgeräte überreffen.

In Linz wurden an 11 Standorten Moosproben des Rotstengelmosses (*Pleurozium schreberi*) und des Tännchenmosses (*Thuidium abietinum* - Abb. 3) gesammelt. Die Sammelpunkte waren möglichst gleichmäßig über das Stadtgebiet verteilt.



Abb. 3:
Das Tännchenmoos (*Thuidium abietinum*) ist eine der Hauptindikatorarten für die Untersuchungen zur atmosphärischen Schwermetallbelastung.

Die Aufsammlungen erfolgten soweit möglich in Übereinstimmung mit nationalen und internationalen Richtlinien vergleichbarer Untersuchungen.

Die Proben wurden im Labor des Amtes für Luftreinhaltung und Energietechnik, Abteilung Umweltschutz, der Oö. Landesregierung analysiert. Für die Analysen war Mag. Karl Jäger verantwortlich. Analysiert wurden die Gehalte an Aluminium, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Cobalt, Chrom, Eisen, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Vanadium und Zink.

Tabelle 1: Resistenz von epiphytisch wachsenden Moosen gegenüber Luftschadstoffen (= „Q-Wert“); niedriger Zahlenwert – resistente Art; hoher Zahlenwert – wenig resistente Art; es wurden nur Arten aufgelistet, die mehr als zehnmal pro Baumart vorgekommen sind.

Art	Q-Wert
<i>Platygyrium repens</i>	2,70
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	3,38
<i>Leucodon sciuroides</i>	3,39
<i>Orthotrichum pumilum</i>	3,75
<i>Hypnum cupressiforme</i>	3,81
<i>Ulota crispa</i>	3,83
<i>Pylaisia polyantha</i>	3,83
<i>Orthotrichum affine</i>	3,86
<i>Tortula papillosa</i>	4,27
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	4,45
<i>Radula complanata</i>	4,54
<i>Orthotrichum stramineum</i>	4,67
<i>Leskea polycarpa</i>	4,68
<i>Orthotrichum speciosum</i>	5,08
<i>Orthotrichum lyellii</i>	5,13
<i>Amblystegium serpens</i>	5,26
<i>Orthotrichum obtusifolium</i>	5,27
<i>Bryum subelegans</i>	5,56
<i>Tortula virescens</i>	5,61

Die VDI / IAP Kartierungen fanden vorwiegend im Winter 1999/2000 und im Frühjahr 2000 statt, die Aufsammlung zur Schwermetalluntersuchung in Übereinstimmung mit der damals in ganz Europa durchgeführten Aufsammlung im Spätsommer 2000.

Ergebnisse der Luftschadstoff-Untersuchungen

Nach der IAP-Methode konnten 50 epiphytisch wachsende Moosarten gefunden werden. 35 der 263 untersuchten Bäume waren nicht mit epiphytischen Moosen besiedelt. Die Anzahl der Arten pro Baum reichte von 0 bis 17 (!). Methodisch bedingt wurden bei der VDI-Methode weniger Arten gefunden.

Für die Berechnung des IAP-Indexes, der die Luftgüte eines Standortes angibt, musste für jedes Moos ein so genannter „Toxizitätsfaktor“ berechnet werden. Dieser gibt Auskunft, wie widerstandsfähig eine Art gegenüber Luftschadstoffen ist. Dieser Faktor, auch „Q-Wert“ genannt, kann aus klimatischen und arealkundlichen Gründen in unterschiedlichen Gegenden verschieden sein. Er muss daher in jedem Untersuchungsgebiet und für jede Trägerbaumart (siehe oben) neu berechnet werden. In Tabelle 1 sind die „Q-Werte“ für die am häufigsten vorkommenden Moosarten angegeben.

Aus dem „Q-Wert“ kann in weiterer Folge (auf Basis ausgedehnter Berechnungen) auf die Luftgüte eines Standortes (=IAP Index) geschlossen werden. Abbildung 4 zeigt die

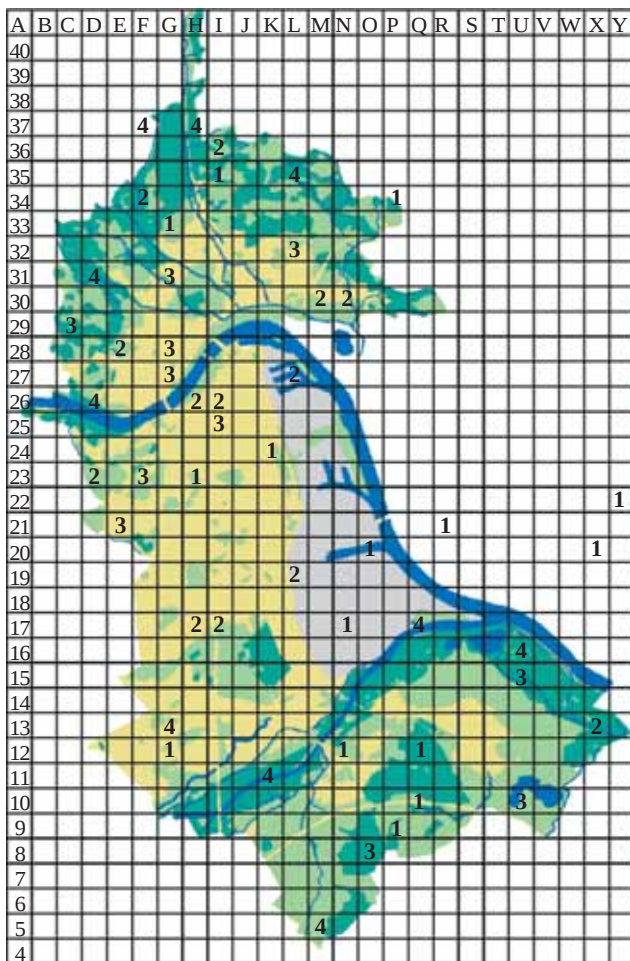


Abb. 4: Indices of Atmospheric Purity (IAP), berechnet aus dem Vorkommen von Moosen an den einzelnen Untersuchungspunkten auf Linzer Stadtgebiet und am Pfenningberg. Die Zahlen geben über die Luftgütesituation an den einzelnen Standorten Auskunft - standortsklimatische Unterschiede können aber die reelle Situation verfälschen. Die Skala geht von 1 (höher belastet) bis 4 (niedrig belastet).

berechneten IAP-Indizes für die einzelnen Standorte. Diese Zahlenwerte zwischen 1 und 4 geben über die Belastung der einzelnen Untersuchungspunkte Auskunft (1 - höher belastet; 4 - wenig belastet). Die Zahlen sind nur als Relativwerte im untersuchten Gebiet zu sehen.

Aus diesen Einzelwerten können Zonen gleicher Belastung erstellt und in so genannten „Isolinienkarten“ dargestellt werden. Eine solche Karte ist in Abbildung 5 ersichtlich. Die Isolinienkarten geben einen relativ raschen Überblick über die Luftgütesituation. Sie verdecken auch Unstimmigkeiten, welche sich durch einzelne, meist aus standortsklimatischen Gründen abweichende Untersuchungspunkte ergeben.

Vermehrung und Luftgüte

Ein wissenschaftlich interessantes Detail konnte am Rande dieser Un-

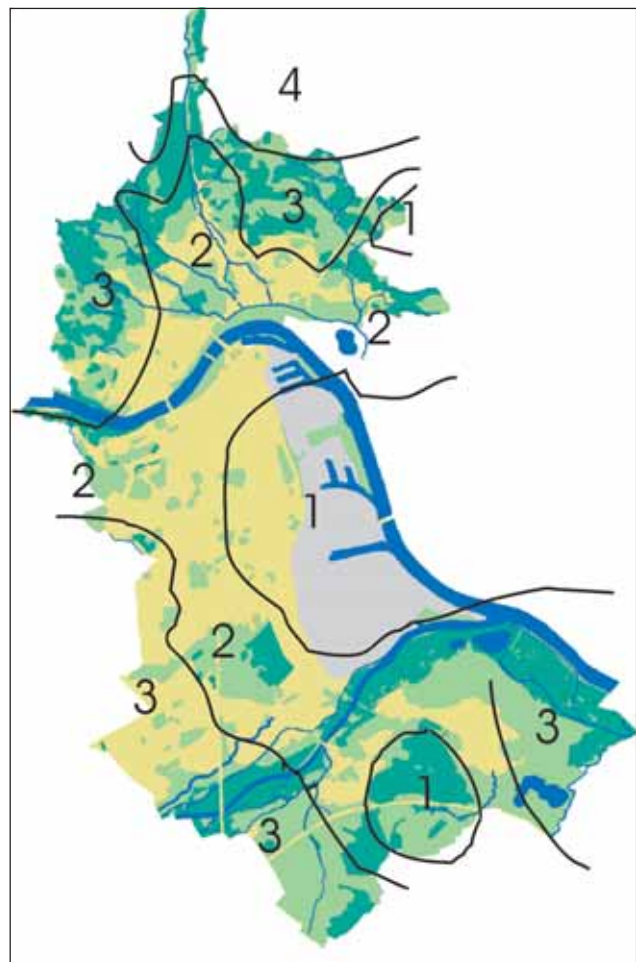


Abb. 5: Zonen gleicher Belastung mit Luftschadstoffen (Isolinienkarte) berechnet aus dem Vorkommen von Moosen (IAP-Indices). Die Skala geht von 1 (höher belastet) bis 4 (niedrig belastet).



Abb. 6: Die Alge *Pleurococcus viride* ist auf den ersten Blick als grüner Überzug zu erkennen; diese Grünalge ist in Gegenden, die stärker mit Schadstoffen belastet sind, oft der einzige Epiphyt (hier auf Buche am W-Abhang des Pfenningberges).

tersuchung gefunden werden: der Zusammenhang zwischen der Luftgüte und der Vermehrung von Moosen. Dabei zeigte sich, dass bei hoher Luftverschmutzung (Luftgütekategorie 1) die Fortpflanzung von Moosen stark zurückgeht und es bei einem mäßigen Anteil an Luftschadstoffen (Kategorie 2) zu besonders starker, vor allem vegetativer Vermehrung kommt. Bei epiphytischen Moosen scheint eine mittlere Reizschwelle (geprägt durch Luftschadstoffe) die Bildung von Fortpflanzungseinheiten zu stimulieren. Dies ist sicherlich als stressbedingtes „Notsignal“ der Pflanzen zu verstehen. Das Vorherrschen vegetativer Fortpflanzungskörper ist darauf zurückzuführen, dass vegetative Vermehrung viel weniger aufwendig ist als sexuelle. Bei Luftgütekategorie 3 und 4 pendelt sich die Fortpflanzung auf ein „normales“ Maß ein, wobei die vegetative Fortpflanzung eine deutlich geringere Rolle spielt.

Interpretation der Luftgütekarten

Geringe Artenzahlen, bis zum völligen Ausfall von epiphytischen Moosen, sind auf den Untersuchungspunkten am Pfenningberg bzw. im Industriegebiet und teilweise in der Innenstadt zu finden. Als Ursachen sind lokale Schadstoffbelastung bzw. ungünstige klimatische Effekte (Wärmeinseln) anzunehmen. In diesen Bereichen kann zum Teil nur mehr die schadstoffresistente Grünalge *Pleurococcus viride* (Abb. 6) als Epiphyt überleben.

Der Einfluss der Industrie und des städtischen Großlebensraumes im Allgemeinen (Stadtklima, Hausbrand, Verkehr etc.) macht sich auch in den angrenzenden Wohnbereichen bemerkbar (z. B. Katzbach, Bindermühl). Auffällig ist auch die schlechte Einstufung des Gebietes südlich der Traun, das von MURSCH-RADLGRUBER u. a. (1999) als Gebiet ausgewiesen wurde, in dem nächtliche Luftströmungen besonders lange verweilen, und welches daher in dieser Zeit erhöht Schadstoffen ausgesetzt ist.

Der Freinberg und seine weitere Umgebung liegen im Spannungsfeld zwischen den Belastungen bei Ostwind, Inversionswetterlagen und den angrenzenden naturnahen Beständen. Die Zahl der Stickstoffzeiger (u. a. *Tortula latifolia* - Abb. 7) ist hier besonders hoch.



Abb. 7: Breitblättriges Bartmoos (*Tortula latifolia*): Diese Art findet man heute im Stadtgebiet manchmal auf Alleeebäumen. Sie ist ein typischer Stickstoffzeiger, der früher nur im Überschwemmungsbereich von Bächen vorgekommen ist. Heute wird die Verbreitung des Moores durch atmosphärische Stickstoffdepositionen (z. B. aus Autoabgasen) gefördert.

Die Aufnahmepunkte im Nahbereich von Fließgewässern (z. B. U16, K11, G27) sind kritisch zu betrachten. Gerade an diesen Punkten wird die Bedeutung des Standortklimas für die Verbreitung von Moosen sichtbar, welches die Wirkung der Schadstoffe überdecken kann und die Aussagekraft der Moos-Methoden relativiert.

Die äußeren Randlagen (Hochlagen) in Urfahr zeigen deutlich den abnehmenden Schadstoffgradienten und die erhöhte Luftfeuchtigkeit bzw. geringeren Temperaturen (= geringere Verdunstung) der beginnenden Mühlviertler Hochlagen. Hier gibt es auch häufiger epiphytische Lebermoose (z. B. *Radula complanata* - Abb. 8). Auffällig sind die schlech-

ten Werte der Randlagen der Bebauung in Urfahr, die in den Bereich ungünstiger lokaler Luftströmungen fallen (MURSCH-RADLGRUBER u. a. 1999) und deshalb sowohl unter ungünstigen Temperatur- als auch Schadstoffverhältnissen zu leiden haben.

Vergleich mit technischen Luftschadstoffmessungen

Die Ergebnisse der Moos-Kartierung wurden mit den SO₂ und Stickoxidmessdaten der Jahre 1995-1999 an 11 Stationen verglichen. Diese Messergebnisse wurden vom Magistrat Linz, Amt für Natur- und Umweltschutz (Hr. Dipl.-Ing. W. Hager) zur Verfügung gestellt.



Abb. 8: Kleine, beblätterte epiphytische Lebermoose (hier z. B. *Radula complanata*) sind normalerweise wenig resistent gegen Luftschadstoffe und kommen erst an weniger belasteten Standorten vor. Die kleinen Polster von *Ulota crispa* zeigen aber bereits leichte Verbräunungen.

Dabei konnte vor allem für SO_2 ein Zusammenhang zwischen den Messwerten und den Werten der IAP-Kartierung gefunden werden (für weitere Details siehe ZECHMEISTER u. a. 2002b). Die Messwerte der Stickoxide korrelieren weder mit den IAP- noch mit den VDI Ergebnissen. Dadurch wird wieder einmal sowohl die besondere Bedeutung der SO_2 -Werte für die Verbreitung von Moosen bestätigt als auch die Güte der über die Moosdaten ermittelten Ergebnisse.

Schwermetalldepositionen in Linz

Linz als „Stahlstadt“ kämpft seit Jahrzehnten mit der Schwermetallproblematik. Eine Vielzahl an Konzepten und Umweltschutzmaßnahmen hat in den letzten Jahren zu einer deutlichen Reduktion der Schwermetallemissionen geführt. Dies konnte durch die Analyse der Moose auf ihren Schwermetallgehalt nur bestätigt werden. Etwas auffällig erhöhte Werte (z. B. bei Blei und Kupfer) sind primär an industrienahen Probenpunkten (z. B. am Jachthafen) oder in der Nähe verkehrsreicher Punkte (z. B. Neue Heimat) zu finden. Insgesamt sind die Werte aber alle eher als gering einzustufen.

Schlussfolgerungen

Die „Moos-Methoden“ zur Untersuchung der Luftgüte von Linz liefern vielschichtige Ergebnisse und ein umfassendes Bild. Ihre Durchführung erfordert zwar Spezialisten, die jedoch z. B. auch bei technischen Messungen notwendig sind. Im Vergleich zur großen Dichte an untersuchten Punkten sind die „Moos-Methoden“ allerdings relativ kostengünstig. Die Qualität der Daten ist durchaus mit denen technischer Messungen vergleichbar (siehe auch THÖNI u. a. 1996, ZECHMEISTER u. a. 2002a).

Die Luftgüte der Stadt muss in Bezug auf die untersuchten Schadstoffe SO_2 und Schwermetalle durchaus positiv betrachtet werden. Bei beiden Schadstoffgruppen ist die Tendenz im Vergleich zu früheren Untersuchungen deutlich rückläufig. Dies ist allerdings ein österreichweiter Trend (UMWELTKONTROLLBERICHT 1998). In historischen Dimensionen betrachtet sind allerdings aufgrund

der Luftverschmutzung in Linz (vor allem durch hohe SO_2 -Emissionen) schadstoffempfindliche Moose aus dem Stadtgebiet verschwunden (z. B. *Antitrichia curtipendula*). Dieser Artenrückgang scheint jedoch gestoppt. Die langfristigen Folgen von steigenden Mengen an freigesetzten Stickoxiden können mit der „Moos-Methode“ in Linz derzeit noch nicht beurteilt werden, ebensowenig wie die Auswirkungen anderer gefährlicher Substanzen (z. B. toxische organische Verbindungen). Vereinzelt Studien aus bislang wenig belasteten Gebieten zeigen aber bereits die Dramatik dieser Entwicklung auf (z. B. ZECHMEISTER 1999). Eine Fortsetzung der Beobachtung der Moose in Linz wird daher angeraten. Das dafür notwendige Monitoringnetz wurde mit dieser Untersuchung eingerichtet.

Literatur

- BURTON M. A. S. (1990): Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial areas. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104: 267-280.
- COMEAU G., LEBLANC F. (1971): Influence de l'ozone et de l'anhydride sulfureux sur la regeneration des feuilles de *Funaria hygrometrica*. *Hedw. Nat. Can. (Que.)* 98: 347-358.
- DILG C. (1998): Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren der Luftqualität im Stadtgebiet von Bonn. *Limprichtia* 11: 1-94.
- FRAHM J.-P. (1998): Moose als Bioindikatoren. Wiesbaden, Quelle & Mayer.
- FRANZEN I. (2001): Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren der Luftqualität am Westrand des Ruhrgebietes. *Limprichtia* 19: 1-85 + Karten.
- GILBERT O. L. (1970): Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne valley. *New Phytologist* 67: 15-30.
- GILBERT O. L. (1992): Lichen reinvasion with declining air pollution. In: BATES J., FARMER A. (eds.): *Bryophytes and lichens in a changing environment*. Oxford, Clarendon Press: 159-177.
- LEBLANC F., DESLOOVER J. (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48: 1485-1496.
- MARKERT B. A., BREURE A. M., ZECHMEISTER H. G. (eds.) (2002): *Bioindicators / Biomonitoring (principles, assessment, concepts)*. Elsevier. Amsterdam. in Druck.
- MURSCH-RADLGRUBER E., GEPP W., MURSCH-RADLGRUBER G. (1999): Wärmeinsel Linz und belüftungsrelevante Strömungssysteme. Endbericht. Wien, Univ. Bodenkultur Wien.
- RAO D. N. (1982): Responses of bryophytes to air pollution. In: SMITH A. J. E. (ed.) *Bryophyte Ecology*. London, Chapman and Hall: 445-471.
- RÜHLING Å. (ed.) (1998): Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. Nord 1998: 15. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- STAPPER N., FRANZEN I., GOHRBANDT S., FRAHM J.-P. (2000): Epiphytische Moose und Flechten kehren ins Ruhrgebiet zurück. *LÖBF-Mitteilungen* 2/2000: 12-21.
- THÖNI L., SCHNYDER N., KRIEG F. (1996): Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in bulk precipitations. *Fresenius J. Anal. Chem.* 354: 703-708.
- UMWELTKONTROLLBERICHT (1998): *Umweltsituation in Österreich*. 5. Umweltkontrollbericht. Wien, Umweltbundesamt.
- VDI-RICHTLINIE 3799. Blatt 1. (1995): Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten; Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütwertes (LGW). VDI Handbuch Reinhaltung der Luft. Band 1.
- ZECHMEISTER H. G. (1994): Biomonitoring der Schwermetalldepositionen mittels Moosen in Österreich. *Monographien des Umweltbundesamtes Wien* 42: 1-168.
- ZECHMEISTER H. G. (1997): Schwermetalldepositionen in Österreich. *Aufsammlung 1995*. *Monographien des Umweltbundesamtes Wien* 94: 1-145.
- ZECHMEISTER H. G. (1999): Wiederholungsinventur der Moose zur Reaktionsindikation und passiven Akkumulationsindikation am Zöbelboden 1998. *Umweltbundesamt Wien, Integrated Monitoring Serie, IM-Rep-025*, Wien.
- ZECHMEISTER H. G., TRIBSCH A. (2002): Die Moosflora von Linz. *ÖKO-L* 24(1): 24-32
- ZECHMEISTER H. G., GRODZINSKA K., SZAREK-LUKASZEWSKA G. (2002a): Bryophytes. In: BREURE A. M., MARKERT B. A., ZECHMEISTER H. G. (eds.): *Bioindicators / Biomonitoring (principles, assessment, concepts)*. Amsterdam, Elsevier. In Druck.
- ZECHMEISTER H. G., TRIBSCH A., HOHENWALLNER D. (2002b): Die Moosflora von Linz und ihre Bedeutung für die Bioindikation. *Naturkundliches Jahrbuch der Stadt Linz* 48 (in Druck).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [ÖKO.L Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [2002_3](#)

Autor(en)/Author(s): Zechmeister Harald Gustav, Hohenwallner Daniela

Artikel/Article: [Bioindikation mit Moosen in Linz 11-16](#)