

Monitoring von Luftschadstoffen
(NO_x und SO₂, Schwermetall-, Stickstoff-, Schwefel- und PAH-Depositionen)
mittels Moosen im "Biosphärenpark Wienerwald"

H.G. Zechmeister¹, V.Krommer², A. Hanus-Illnar³, S. Scharf³, I. Roder³

¹Zechmeister & Zechmeister-Boltenstern OEG, Technisches Büro f. Ökologie, Fleschgasse
22, 1130 Wien

²Abteilung für Naturschutz, Vegetations- und Landschaftsökologie, Universität Wien,
Althanstr. 14, 1090 Wien

³Umweltbundesamt Wien, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

1 EINLEITUNG

Der Einsatz von Bioindikatoren zur Erforschung der Beeinträchtigung der Umwelt und des menschlichen Gesundheitszustandes durch Schadstoffe hat in den letzten Jahrzehnten vermehrt stattgefunden. Die Vorteile von Bioindikatoren gegenüber dem Einsatz von technischen Messgeräten sind in vielen Bereichen unbestritten, die Gründe sind zahlreich (siehe u.a. Markert et al., 2003). Kosteneffizienz im Einsatz von Biomonitoring ermöglicht meist flächendeckende Untersuchungen, die durch technische Messgeräte kaum möglich wären. Biomonitoring erfordert keinerlei Infrastruktur und ermöglichen trotz einmaliger Beprobung einen Überblick über die Schadstoffdepositionen der letzten Jahre.

Moose finden seit einigen Jahren verstärkt Anwendung im Bereich der Bioindikation und des Biomonitoring von Schadstoffen mit negativem Einfluss auf Ökosysteme und Klimawandel, und sie sind ausgezeichnete Indikatoren für die nachhaltige Nutzung einer Region. (Burton, 1990; Frahm, 1998; Onianwa, 2001; Zechmeister et al., 2003a; Hohenwallner et al., 2006). Moose reagieren zumeist rascher und unmittelbarer als Höhere Pflanzen auf Veränderungen der Umwelt.

Die Anwendungsschwerpunkte liegen in der Verwendung von Moosen als Akkumulationsindikatoren, und im Einsatz als Reaktionsindikatoren. Beide Methoden dienen zur Erfassung kurz- und langzeitlicher Veränderungen aufgrund des Einflusses anthropogener Schadstoffe, welche der atmosphärischen Deposition unterliegen.

Wie eine Reihe von Untersuchungen auf dem Gebiet der **Reaktionsindikation** gezeigt haben sind Moose vor allem gegenüber SO_2 empfindlich, dienen aber auch als Gradmesser für den Einfluss von NO_x , Fluoriden sowie toxischen organischen Verbindungen (z. B. Gilbert 1970, Comeau u. Leblanc 1971, Rao 1982, Zechmeister et al. 2003a). Es wurden mehrere Methoden zur Feststellung des Einflusses von Luftschadstoffen entwickelt. Die bekanntesten sind jene von LeBlanc u. DeSloover (1970) welche den "Index of Atmospheric Purity" (IAP) entwickelt haben, die Integrated-Monitoring-Method (Manual for Integrated Monitoring, Draft 2.0., 1998) und eine für Moose abgewandelte Variante der VDI-Methode für Flechten (VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1, 1995). Untersuchungen haben bewiesen, dass parallel zum Grad der Industrialisierung ein zum Teil dramatischer Artenrückgang zu verzeichnen ist. In jüngster Zeit sind jedoch ehemals durch Immissionen "freigelegte" Substrate und Stadtbereiche wieder von Moosen besiedelt worden, nachdem emissionshemmende Maßnahmen gesetzt wurden (z. B. Gilbert 1992, Stapper u.a. 2000, Franzen 2001). Diese unmittelbare Reaktion der Bryophyta steht in engem Zusammenhang mit ihren hoch volatilen

Verbreitungseinheiten und ihrer Fähigkeit als Pioniere von Höheren Pflanzen kaum besiedelbare Substrate zu erobern. Durch die Erfassung dieser sensiblen Pflanzengruppe und die Beurteilung der Vitalität ausgewählter Arten, lassen sich einerseits bereits jetzt Aussagen zum aktuellen Stand der Belastung mit Luftschadstoffen machen, andererseits dienen derartige Arbeiten als Grundlage für längerfristige Monitoringprogramme.

Die Eignung von Moosen als Bioindikatoren beruht primär auf ihren anatomisch-morphologischen Voraussetzungen: Es fehlt ihnen eine Cuticula oder ein effizientes internes Leitsystem, dadurch kommt es zu einer direkten Aufnahme von Wasser und Nährstoffen aber auch von Schadstoffen aus der Atmosphäre. Epiphytische Moose sind in besonders hohem Maße den Schadstoffen ausgesetzt, da die Krone der Wirtsbäume einen großen Luftraum auskämmt und die Moose über den Stammablauf mit besonders hohen Schadstoffmengen konfrontiert sind, außerdem entfällt Pufferwirkung des Bodens.

Im Bereich der **Akkumulationsindikation** werden Moose aus folgenden Gründen seit mehr als drei Jahrzehnten als Indikatoren für Schwermetalle, PAHs und Stickstoffdepositionen eingesetzt :

Durch die weitgehend fehlende Cuticula werden die Ionen ungehindert von den in den Zellwänden vorhandenen Austauschkapazitäten (Polyuronsäuremoleküle u.a.) aufgenommen. Die Aufnahme ist passiv und somit unabhängig von stoffwechselabhängigen Prozessen (Brown, 1984). Die Aufnahmereaktion ist ein einfacher Substitutionsprozess, dabei werden polyvalente Ionen (wie Schwermetalle) selbst bei einem hohen Anteil an konkurrenzierenden, physiologisch relevanten Ionen weitgehend ungehindert aufgenommen. Hohe Temperaturen und pH-Werte <4 beeinflussen aber die Aufnahmereaktionen (Gjengedal & Steinnes, 1990). Die Aufnahmeraten für die einzelnen Schwermetalle schwanken zum Teil stark. Die Aufnahmekapazitäten bei den unterschiedlichen Monitoringarten sind nach den bisherigen Erfahrungen aber durchaus vergleichbar. Die Auswaschung trocken deponierter Partikel beträgt nach Taylor & Whitterspoon (1972) deutlich weniger als 20% (siehe auch Kapitel 3.8).

Aufgrund ihrer Wuchsform und dichten Beblätterung kommt es zu einer effizienten Filterung der Luft. Die Wuchsform (Filze, im Sinne von Mägdefrau, 1982) gewährleistet, daß die untersuchten Teile der Pflanzen nicht mit Bodenteilchen in Kontakt kommen und somit sekundär kontaminiert werden.

Die Abgrenzung der annualen Zuwächse ist bei den eingesetzten Monitoringarten möglich (Zechmeister, 1994; 1995, 1998), womit eine zeitliche Zuordnung der analysierten Konzentrationen gewährleistet wird. Dadurch wird es erst ermöglicht, daß mittels einer

einzigste Aufsammlung die Depositionen der letzten Jahre exakt erfaßt und quantifiziert werden können. Dies stellt wohl einen der größten Vorteile dieser Methode gegenüber anderen Biomonitoringmethoden dar. Darüberhinaus ermöglicht die exakte zeitliche Zuordnung auch das Verfolgen von mittel- und längerfristigen Veränderungen der Schwermetalldepositionen an exakt denselben Orten und Regionen (z.B. Berg & Steinnes, 1997; Rühling & Steinnes, 1998; Herpin *et al.*, 2001).

Zusätzlich ist eine äußerst korrekte Quantifizierung der deponierten Schadstoffe möglich, weil durch die langzeitige Anreicherung die Konzentrationen in den untersuchten Arten höher sind und somit Meßfehler einen geringeren Stellenwert einnehmen als dies oft bei der Analyse technisch gesammelter Einträge (z.B. mittels Bergerhoff) mit geringen Konzentrationen der Fall ist.

Die Erforschung der (epiphytischen) Moosflora des Biosphärenparkes "Wienerwald" ist extrem mangelhaft. Neben einigen historischen Referenzen (e.g. Höfer 1887, Onno 1941) und einer aktuellen Diplomarbeit in einem kleinem Teil auf Wiener Stadtgebiet (Humer-Hochwimmer & Zechmeister 2001) gab es bislang keine Information über die Diversität von Moosen in diesem Gebiet.

Die Zielsetzungen für die vorliegende Studie waren: 1) die Erfassung der Biodiversität der epiphytischen Moosflora im Biosphärenreservat "Wienerwald" mittels zwei ausgewählter Methoden, welche seit Jahren auf internationaler Ebene im Bereich der Bioindikation verwendet werden und Rückschlüsse auf die Beeinflussung des Gebietes durch die gasförmigen Schadstoffe SO_2 und NO_x ermöglichen; 2) Verknüpfung von Messdaten atmosphärischer Schadstoffe und Klimadaten (von Messstationen des Landes NÖ, der Gemeinde Wien, sowie der ZAMG) mit den Bioindikationsdaten zur Evaluierung der Ergebnisse; 3) Untersuchung der Depositionen von Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAHs) an 10 ausgewählten Standorten zur Erfassung der Belastung des Gebietes mit diesen Schadstoffen. Diese Untersuchungen stellten eine Verdichtung eines internationalen Monitoringnetzes im Rahmen der UN-ECE ICP Vegetation dar und erlaubten daher den direkten Vergleich mit anderen Regionen Österreichs sowie gesamt Europas.

Die Arbeiten wurden in Kooperation mit Mitarbeitern des Inst. f. Meteorologie der Universität für Bodenkultur Wien durchgeführt.