

3 Schwermetallanreicherung in Moos als Umweltindikator

Ziel des Ansatzes. "Im Gegensatz zu anderen Politikbereichen fehlt es der Umweltpolitik an einigen wenigen Messgrößen (Indikatoren), die die Beurteilung der Umweltsituation ermöglichen und damit eine Leitfunktion für die politische Diskussion übernehmen können" (BMU 1998). Es gibt viele Vorschläge für solche Umweltindikatoren auf nationaler und internationaler Ebene (WEBER-BLASCHKE et al. 2002). Darunter sind jedoch bisher keine, mit denen die ökologische Wirkung von Stoffeinträgen in die Biosphäre beurteilt werden könnte. Wirkungen von Stoffimmissionen als physiologische oder morphologische Veränderungen von Organismen mit kausaler Zuordnung zu chemischen Agenzien sind jedoch im Ökosystem mit all seinen Einflussfaktoren sehr schwer zu erheben. Einfacher ist die Bestimmung von Stoffkonzentrationen in Organismen. Da in vielen Fällen die Anreicherung von Schadstoffen (Akkumulation) den ersten Schritt zur Wirkung darstellt, wird sie bei der Bioindikation als Wirkung an sich angesehen.

Im bundesweiten Moos-Monitoring wird die Akkumulation von Metallen in einer Messnetzdicke und Ausdehnung erhoben, wie sie für Biomonitoring in Deutschland wohl einmalig ist. Darüber hinaus ist durch die Abstimmung zwischen allen Ländern eine sehr hohe Standardisierung des Probenentnahme- und Analyseverfahrens erreicht worden. Damit sind weitgehende Voraussetzungen geschaffen, die Daten der Länder bei geeigneter Aufbereitung miteinander vergleichen zu können und Schlüsse für einen definierten Ausschnitt des Umweltzustandes zu ziehen – also einen Umweltindikator zu gestalten.

Dargestellt werden soll mit dem Umweltindikator die Immissionswirkung der Metalle im Hintergrundbereich, also außerhalb der Belastungsschwerpunkte, die sich am Besten auf Basis der Länder-Mediane beschreiben lässt. Zur Beschrei-

bung von Belastungsschwerpunkten ist ein Rastermessnetz nur eingeschränkt geeignet, hierfür wäre eine emittentenorientierte Messstrategie notwendig.

Die Ergebnisse der einzelnen Elemente können nur zu einem Umweltindikator zusammengefasst werden, wenn sie derart transformiert werden, dass die metallabhängig unterschiedlichen Konzentrationsbereiche ohne Gewichtungsverzerrung addierbar sind. Ist diese Transformation geschehen, können alle oder beliebige thematisch begründete Stoffgruppen zu aggregierten Indikatoren verrechnet werden.

Methode. Transformation bedeutet hier (PEICHL 2001): Umrechnung der Messergebnisse in *relative Einheiten = Indizes*. Diese müssen sich auf **stoff- und methodenabhängige Festwerte = Bezugswerte** beziehen, damit Trendaussagen möglich sind. Als Bezugswerte werden die für Deutschland geltenden Medianwerte der Monitoringkampagnen 1995 und 2000 verwendet.

In die Berechnungen sind folgende Elemente einbezogen: Aluminium, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Nickel, Titan, Vanadium und Zink:

- Im ersten Schritt werden für jedes Element die Mediane für Deutschland der Jahre 1995 und 2000 gemittelt. Diese Mittelwerte stellen die Element-**Bezugswerte** für die Metall-*Index*-Berechnungen dar.
- Im zweiten Schritt werden die Einzelelement-Mediane der Länder durch die entsprechenden Element-**Bezugswerte** dividiert und dadurch zu *Indizes* umgerechnet. Die Indizes sind mit zwei Kommastellen angegeben, damit Veränderungen im Prozentbereich dargestellt werden können.

In Tabelle 1 ist ein Umrechnungsbeispiel beschrieben. Die so errechneten Indizes aller genannten Elemente können nun für jedes Land zu einem "Umweltindikator" (Gesamt-Metallindex) gemittelt werden.

Tabelle 1: Indexberechnung am Beispiel Arsen

	Median_90 mg/kg	Index 90	Median_95 mg/kg	Index 95	Median_00 mg/kg	Index 00
BB			0,311	1,55	0,193	0,96
BW	0,396	1,98	0,268	1,34	0,195	0,98
BY	0,319	1,60	0,172	0,86	0,110	0,55
HE	0,271	1,36	0,207	1,03	0,103	0,51
MV			0,260	1,30	0,160	0,80
NI	0,271	1,36	0,190	0,95	0,120	0,60
NW	0,358	1,79	0,165	0,83	0,160	0,80
RP	0,348	1,74	0,263	1,32	0,190	0,95
SH	0,220	1,10	0,220	1,10	0,150	0,75
SL	0,478	2,39	0,426	2,13	0,280	1,40
SN	1,471	7,36	0,515	2,58	0,300	1,50
ST	0,463	2,32	0,295	1,48	0,160	0,80
TH	0,430	2,15	0,307	1,54	0,240	1,20
BRD	0,338	1,69	0,249*	1,25	0,160*	0,80

*) Median-Mittelwert BRD 1995 / 2000 = 0,20 mg/kg = Bezugswert für As

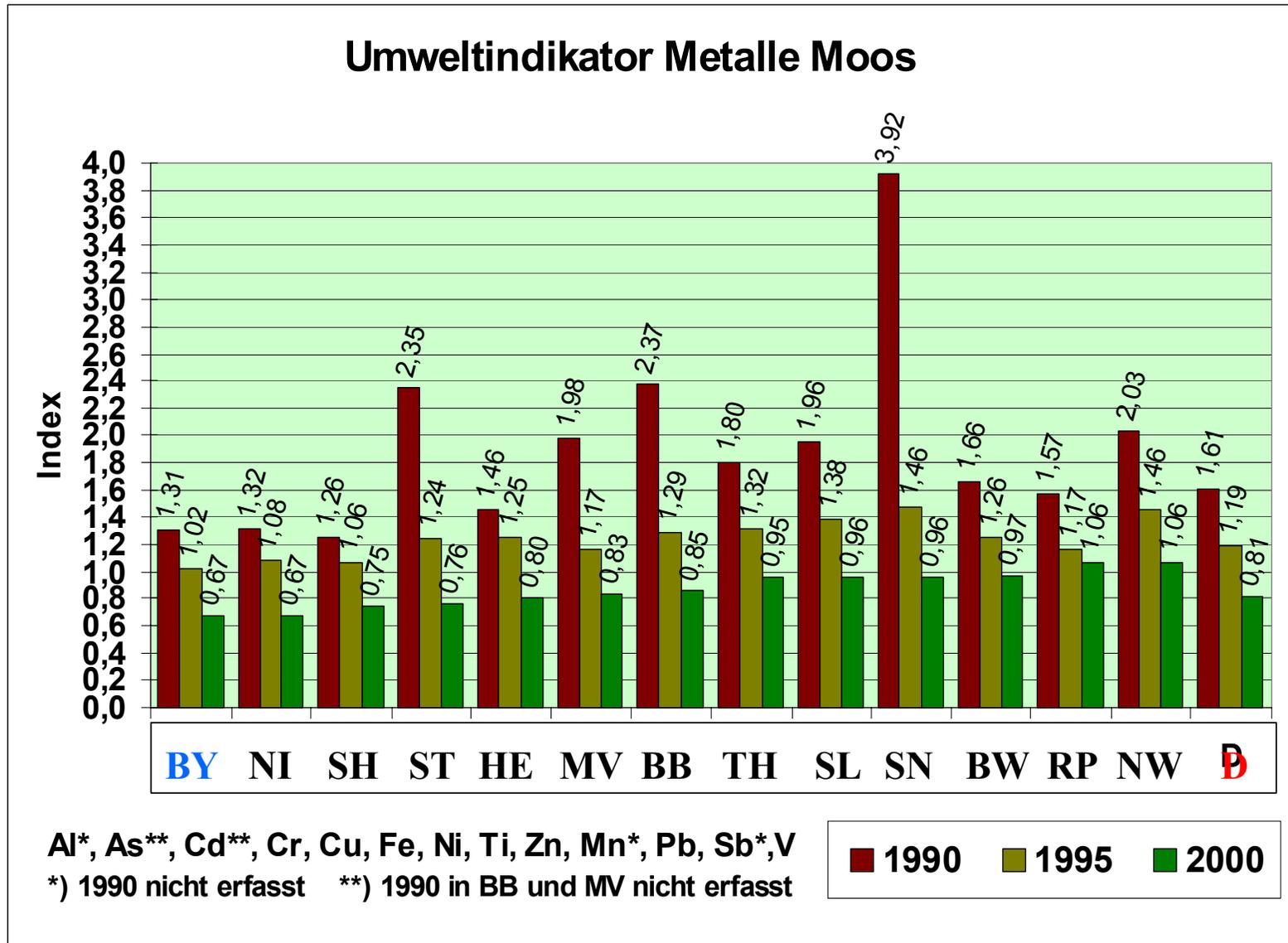
Ergebnisse. Abbildung 171 zeigt die Zeitverläufe der Schwermetallindizes im Ländervergleich. Die Länder Berlin und Hamburg sind nicht einbezogen, da nur 3 bzw. 4 Messwerte vorliegen.

Es wird deutlich, dass in allen Ländern Luftreinhaltemaßnahmen zu erheblichen Minderungen der Immissionswirkungen geführt und ein sehr einheitliches Niveau erreicht haben. Besonders deutlich sind die Maßnahmen in den neuen Ländern abzulesen. Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen stehen als Länder mit hoher Bevölkerungs- und Industriedichte an letzter Stelle, die Flächenstaaten Bayern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein führen den Vergleich an.

Unerwartet weit hinten liegt Baden-Württemberg. Nur in diesem Land wurde als Hauptmoosart *Hypnum cupressiforme* mit 76 von 78 Proben gesammelt. Alle anderen Länder beproben überwiegend oder zumindest mit sehr hohen Anteilen *Pleurozium schreberi*. Beim Vergleich der moospezifischen Mediane der Ergebnistabellen fällt auf, dass *H.c.* oftmals höhere Werte als *P.s.* anzeigt. Um diese moospezifischen Unterschiede statistisch eindeutig zu belegen, müssten standortgenaue Probenvergleiche durchgeführt werden. Errechnet man hilfsweise für jedes Metall einen Faktor aus den Unterschieden der BRD-Mediane 2000 für *H.c.* und *P.s.* und mittelt diese über alle im Indikator zusammengefassten Elemente, so wären die Jahresindizes für Baden-Württemberg mit einem mittleren Faktor von 0,73 zu multiplizieren. Baden-Württemberg würde damit an die dritte Stelle rücken.

Der Umstand, dass die verschiedenen Moosarten auch unterschiedlich Stoffe anreichern, und die daraus resultierende Ungewissheit für einen Ländervergleich anhand eines Umweltindikators verdeutlicht: Vergleiche, ob durch Umweltindikatoren oder bundesweite Ergebnisdarstellungen in Kartenform sind auch bei hoher Standardisierung der Mess- und Erhebungsverfahren in Kenntnis natürlich oder messtechnisch bedingter Schwankungsbreiten von Ergebnissen kritisch zu hinterfragen.

Abbildung 204: Umweltindikator Metalle Moos – Ländervergleich



4 Zusammenfassung

In dem FuE-Vorhaben 200 64 218 „Moos-Monitoring 2000“ wurde der in ausgewählten Moosarten akkumulierte Eintrag von 20 Metall- und Schwermetallelementen deutschlandweit methodenharmonisiert, qualitätskontrolliert erfasst. Das Vorhaben knüpft inhaltlich und methodisch an zwei bereits 1990 und 1995 in Deutschland durchgeführte Moos-Monitoringprogramme an und ist eingebettet in das europaweite EMEP/ECE Projekt "Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe - estimations based on moss analysis". Das Moos-Monitoring 2000 wurde wie 1990 und 1995 in Zusammenarbeit von Bund und Ländern durchgeführt. Der Bund-/Länderarbeitskreis „Bioindikation/Wirkungsermittlung“ hat das Vorhaben fachlich begleitet.

Zusammenfassung. Die Ergebnisse des Vorhabens werden in drei Berichtsteilen vorgelegt. In dem Berichtsteil I werden die Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 nach dem Vorbild der Abschlussberichte der Moos-Monitoring Vorhaben 1990 und 1995 statistisch ausgewertet sowie textlich und kartografisch dargestellt (SCHRÖDER 2002 a). Der Berichtsteil III widmet sich ausschließlich Optimierungsfragen des Moos-Monitorings (SCHRÖDER 2002 c). In dem hier vorliegenden Berichtsteil II sind darüber hinaus folgende Aufgabenschwerpunkte ausgearbeitet worden:

- moosartenspezifische Auswertung der Ergebnisse des Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (→ Kapitel 2),
- Entwicklung eines Schwermetallindex (→ Kapitel 3),

Für die Moosarten *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme* wurde die Zentralität der Messungen der Standardelemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn sowie der Zusatzelemente Al, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na und Sr für jedes Land durch Medianbalkendiagramme beschrieben. Ein Vergleich der moosartenspezifischen Ländermediane ergab,

dass besonders As, Cd, Ni, Pb, Hg, Al, Ba, und Ca in *Hypnum cupressiforme* am stärksten akkumulieren. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die verglichenen Stichproben räumlich nie identisch sind.

Im Moos-Monitoring 2000 wurde weiterhin über gezielte Transformation der Messwerte des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 ein Gesamt-Metallindex abgeleitet. Dieser Index ermöglicht es, in Ergänzung zu den Einzel-element-Betrachtungen, die Umweltsituation in Deutschland in Form einer Gesamt-Metallbetrachtung zu beurteilen. Die diesbezüglichen Ergebnisse zeigen, dass seit 1990 in allen Ländern Luftreinhaltemaßnahmen zu erheblichen Minderungen der Immissionswirkungen geführt und ein sehr einheitliches Niveau erreicht haben.

5 Zitierte Literatur

- BMU (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. - Bonn (April 1998)
- HERPIN, U.; LIETH, H.; MARKERT, B. (1995): Monitoring der Schwermetallbelastung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Moosanalysen. - Berlin (UBA-Texte 31/95)
- PEICHL, L. (2001): Umweltindikatoren für Immissionswirkungen. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung -Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 13 (3), S. 130 - 138
- SCHRÖEDER, W.; ANHELM, P.; BAU, H., MATTER, Y.; MITZE, R.; MOHR, K.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; ROOSTAI, H; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U. (2002 a): Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01-Teil I. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Umweltprobenbank einschließlich Human- und Bio-monitoring, UFOPLAN-Fkz 200 64 218)
- SCHRÖEDER, W.; BAU, H., MATTER, Y.; MOHR, K.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; PÖHLKER, J.; ROOSTAI, H; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U. (2002 c): Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01-Teil III. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Umweltprobenbank einschließlich Human- und Biomonitoring, UFOPLAN-Fkz 200 64 218)
- SIEWERS, U.; HERPIN, U. (1998): Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995/96. - Stuttgart (Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Heft SD 2)
- SIEWERS, U.; HERPIN, U., STRAßBURG, S. (2000): Schwermetalleinträge in

Deutschland. Moos-Monitoring 1995/96. Teil 2. - Stuttgart (Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Heft SD 3)

WEBER-BLASCHKE, G.; FRIEß, H.; PEICHL, L.; FAULSTICH, M. (2002): Aktuelle Entwicklungen bei Umweltindikatorensystemen. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung -Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie (online first)

ZECHMEISTER, H. (1997): Schwermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995).- Wien (UBA-Monographien 94/97)