

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Moosarten in Deutschland 1995/96.	22
Abb. 2: Probenstellen 1990/91 und 1995/96.	24
Abb. 3: Datenvorbereitung und Kartendarstellung.	29
Abb. 4: Isolinienkarte mit einem Suchradius von 5 km (Antimon).	30
Abb. 5 a, b: Isolinienkarten mit Suchradien von 10 und 15 km (Antimon).	31
Abb. 6 a, b: Arsen-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	34
Abb. 7: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Arsen in den Ländern und in Deutschland.	38
Abb. 8: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Arsen und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	38
Abb. 9 a, b: Cadmium-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	40
Abb. 10: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Cadmium in den Ländern und in Deutschland.	43
Abb. 11: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Cadmium und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	43
Abb. 12a, b: Chrom-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	45
Abb. 13: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Chrom in den Ländern und in Deutschland.	48
Abb. 14: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Chrom und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	48
Abb. 15a, b: Kupfer-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	50
Abb. 16: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Kupfer in den Ländern und in Deutschland.	53
Abb. 17: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Kupfer und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	53
Abb. 18 a, b: Eisen-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96	55
Abb. 19: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Eisen in den Ländern und in Deutschland.	58
Abb. 20: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Eisen und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	58
Abb. 21 a, b: Nickel-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	60
Abb. 22: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Nickel in den Ländern und in Deutschland.	63
Abb. 23: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Nickel und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	63
Abb. 24 a, b: Blei-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	65
Abb. 25: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Blei in den Ländern und in Deutschland.	68
Abb. 26: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Blei und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	68
Abb. 27 a, b: Titan-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	70

Abb. 28: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Titan in den Ländern und in Deutschland.	73
Abb. 29: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Titan und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	73
Abb. 30 a, b: Vanadium-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	75
Abb. 31: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Vanadium in den Ländern und in Deutschland.	78
Abb. 32: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Vanadium und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	78
Abb. 33 a, b: Zink-Gehalte in Moosen für 1990/91 und 1995/96.	80
Abb. 34: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Zink in den Ländern und in Deutschland.	83
Abb. 35: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Zink und Anzahl der Proben aus 1990/91 und 1995/96 in den Ländern.	83
Abb. 36: Quecksilber-Gehalte in Moosen für 1995/96.	85
Abb. 37: Mediane ($\mu\text{g/kg}$) für Quecksilber (Hg) in den Ländern und in Deutschland.	88
Abb. 38: Antimon-Gehalte in Moosen für 1995/96.	90
Abb. 39: Mediane ($\mu\text{g/g}$) für Antimon in den Ländern und in Deutschland.	93
Abb. 40: Arsen-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken. 1990/91 Aufschluß in Quarzgefäßen mit Schraubverschluß, Analytik mit AAS (Hydridsystem). 1995/96 Aufschluß mit Mikrowelle, Analytik mit ICP/MS.	95
Abb. 41: Cadmium-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	95
Abb. 42: Chrom-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	96
Abb. 43: Kupfer-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	96
Abb. 44: Eisen-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	97
Abb. 45: Nickel-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	97
Abb. 46: Blei-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	98
Abb. 47: Titan-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	98
Abb. 48: Vanadium-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	99
Abb. 49: Vanadium-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken (ohne Maximum).	99
Abb. 50: Zink-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken.	100
Abb. 51: Zink-Gehalte in Moosen aus 1990/91 mit unterschiedlichen Aufschluß- und Analysetechniken (ohne Maximum).	100

Abb. 52: Mediane für alle Arsen- und Cadmiumwerte in Moosen in Deutschland. Unkorrigierter und korrigierter Datensatz aus 1990/91 und Datensatz aus 1995/96.	104
Abb. 53: Mediane für alle Chrom-, Nickel- und Vanadiumwerte in Moosen in Deutschland. Unkorrigierter und korrigierter Datensatz aus 1990/91 und Datensatz aus 1995/96.	104
Abb. 54: Mediane für alle Kupfer-, Blei- und Titanwerte in Moosen in Deutschland. Unkorrigierter und korrigierter Datensatz aus 1990/91 und Datensatz aus 1995/96.	105
Abb. 55: Mediane für alle Zink- und Eisenwerte in Moosen in Deutschland. Unkorrigierter und korrigierter Datensatz aus 1990/91 und Datensatz aus 1995/96.	105
Abb. 56 a - i: Regressionsanalysen zwischen <i>Pleurozium schreberi</i> (Bezugsart) und <i>Scleropodium purum</i> für die Elemente Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 1990/91 und 1995/96.	110
Abb. 56 j - l: Regressionsanalysen zwischen <i>Pleurozium schreberi</i> (Bezugsart) und <i>Scleropodium purum</i> für die Elemente As, Hg und Sb im Moos-Monitoring 1995/96.	113
Abb. 57 a - i: Regressionsanalysen zwischen <i>Pleurozium schreberi</i> (Bezugsart) und <i>Hypnum cupressiforme</i> für die Elemente Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 1990/91 und 1995/96.	114
Abb. 57 j - l: Regressionsanalysen zwischen <i>Pleurozium schreberi</i> (Bezugsart) und <i>Hypnum cupressiforme</i> für die Elemente As, Hg und Sb im Moos-Monitoring 1995/96.	117
Abb. 58a , b: Blei-Gehalte in Moosen (Original-Datensatz) und <i>Scleropodium purum</i> umgerechnet auf <i>Pleurozium schreberi</i>	118
Abb. 59a , b: Zink-Gehalte in Moosen (Original-Datensatz) und <i>Scleropodium purum</i> umgerechnet auf <i>Pleurozium schreberi</i>	119
Abb. 60: Immissionsklassen für Blei.	123
Abb. 61: Ermittlung von Teilmodellgüten.	124
Abb. 62: Standardisierungsverfahren	125
Abb. 63: Bewertungsmodell zur Ermittlung einer Gesamtgüte (ökologischen Güte).	126
Abb. 64: Luft - Güteklassen mit standardisierten Elementgehalten.	128
Abb. 65 (Anhang): Arbeitsschritte zum Analysenvergleich von 2 Standortproben aus Tschechien.	137
Abb. 66 (Anhang): Arbeitsschritte zum Analysenvergleich von 3 Standortproben aus Polen und 4 Standortproben aus Deutschland.	139

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Hauptmoosarten (Prioritätenliste) vom Moos-Monitoring 1990/91 und 1995/96: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> .	23
Tab. 2: Anzahl der Probenentnahmestellen 1995/96 in den Ländern und die jeweils entnommenen Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> sowie sonstige Arten.	25
Tab. 3: Vergleich der Standorte und Meßnetzdichten im Moos-Monitoring 1990/91 und 1995/96.	25
Tab. 4: Entnahmezeiten in den Ländern im Moos-Monitoring 1995/96.	26
Tab. 5: Anzahl der Standorte mit den Artenkombinationen <i>Pleurozium schreberi</i> / <i>Scleropodium purum</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> / <i>Hypnum cupressiforme</i> .	26
Tab. 6: Arsen-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	36
Tab. 7: Cadmium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	41
Tab. 8: Chrom-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	46
Tab. 9: Kupfer-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	51
Tab. 10: Eisen-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	56
Tab. 11: Nickel-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	61
Tab. 12: Blei-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	66
Tab. 13: Titan-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	71
Tab. 14: Vanadium-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	76

Tab. 15: Zink-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	81
Tab. 16: Quecksilber-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	86
Tab. 17: Antimon-Gehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland. Gehalte in µg/g TS als Median, arithmetischer Mittelwert, Maximum und Minimum. Moosarten: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Scleropodium purum</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und sonstige Arten.	91
Tab. 18: Korrekturfaktoren für Moosdaten 1990/91 (Universität Osnabrück) in Bezug auf die Aufschluß- und Meßtechnik von 1995/96 (BGR, Hannover).	101
Tab. 19: Mediane der untersuchten Elemente (µg/g) und die relativen Abweichungen (%) der unkorrigierten Mediane aus 1990/91 und der Mediane aus 1995/96.	103
Tab. 20: Mediane der untersuchten Elemente (µg/g) und die relativen Abweichungen (%) der korrigierten Mediane aus 1990/91 und der Mediane aus 1995/96.	103
Tab. 21: Emissionsdaten aus 1990 und 1995 in Deutschland und Elementgehalte (Mediane) aus dem Moos-Monitoring 1990/91 und 1995/96.	106
Tab. 22: Gegenüberstellung der Mediane, Mittelwerte, Maxima und Minima aus den Datensätzen mit allen Moosarten (mit Fehlarten , n = 1026) und nur mit den Hauptarten (ohne Fehlarten , n = 973).	107
Tab. 23: Ausgewählte Teilmodelle aus einem Ökosystem.	120
Tab. 24: Klassifikation der Blei-Gehalte in Moosen.	121
Tab. 25: Normalbereiche der ausgewählten Teilmodelle und Schwellenwerte zur Einstufung von Elementgehalten aus dem Moos-Monitoring 1995/96.	122
Tab. 26 (Anhang): Meßergebnisse (µg/g) unterschiedlicher Präparation und Analytik in Tschechien und in Deutschland.	138
Tab. 27 (Anhang): Meßergebnisse (µg/g) unterschiedlicher Präparation und Analytik in Polen und in Deutschland.	140
Tab. 28 (Anhang): Skandinavische Referenz-Moosproben und verschiedene Analysetechniken.	141
Tab. 29 (Anhang): Überprüfung der Richtigkeit der Analysen mit dem Pflanzen-Referenzmaterial BCR 60 (<i>Lagarosiphon major</i>).	143
Tab. 30 (Anhang): LMS 2 Laborinterne Moos-Referenzprobe (ungewaschen), Gehalte in µg/g, 30 Analysen.	144
Tab. 31 (Anhang): Laborinterne Moos-Referenzprobe (gewaschen), Gehalte in µg/g, 3 Analysen.	144
Tab. 32 (Anhang): Schwermetallgehalte an allen deutschen Probenentnahme-Standorten.	145

Abkürzungen

AAS	Atomabsorptions-Spektrometrie
ICP-MS	Massenspektrometer mit gekoppelter Plasmaanregung (engl.: inductively coupled plasma mass spectrometer)
ICP-OES	Optische Emissionsspektrometrie mit gekoppelter Plasmaanregung
FEP	Ein Fluorkarbonwerkstoff für extrem saubere Gefäßmaterialien (frei von Fremdelementen) für den analytischen Spurenbereich
TS	Trockensubstanz: Trocknung der Moose bei 40 °C für 72 Stunden bis zur Gewichtskonstanz. Die Elementgehalte werden auf die verbliebenen, getrockneten Gewichtsanteile bezogen.

Vorwort

Deutschland und weitere mitteleuropäische Staaten haben 1990 erstmals an einem gemeinsamen Monitoring-Programm mit Hilfe von Moosen teilgenommen. Die Initiative hierzu haben die skandinavischen Staaten gelegt, die 1985 ein gemeinsames Monitoringprogramm zur Erfassung von Schwermetall-Einträgen mit Hilfe von Moosanalysen durchführten (RÜHLING et al. 1987). Dieses Programm, initiiert vom "Steering Body of Environmental Monitoring in the Nordic Countries", stand unter der Schirmherrschaft des "Nordic Council of Ministers".

Zur Erfassung der zu erwartenden Rückgänge der Schwermetall-Einträge aufgrund der Verbesserungen im Emissionsschutz und zur Optimierung des Meßnetzes wurde das Moos-Monitoring 1995 europaweit wiederholt. Hierzu erfolgte 1995 im Umweltbundesamt in Berlin eine Abstimmung mit Vertretern aus Schweden, Polen, Tschechien, Slowakien, Rumänien, Slowenien, Niederlande, Österreich, Schweiz, Portugal und Deutschland. Die Koordinierung mit den baltischen Staaten lag in den Händen der Universität Lund, Schweden.

Mit den Ländern der Bundesrepublik Deutschland bestand für die Realisierung eines derartigen bundesweiten Monitoringprogrammes wegen der Zuständigkeiten und Aufgabenverteilungen zwischen Bund und Ländern ein erheblicher Koordinierungsbedarf. Mit der Durchführung des Gesamtprojektes wurde die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover vom Umweltbundesamt im Rahmen eines F+E Vorhabens beauftragt. Die notwendigen Abstimmungen zwischen Bund und Ländern hinsichtlich Auswahl der Probenflächen, Durchführung der Beprobung und Validierung der Meßdaten erfolgte mit den zuständigen Landesämtern / -anstalten für Umweltschutz, dem Umweltbundesamt und der BGR im Rahmen der halbjährigen Treffen des Ländergremiums "Arbeitskreis Bioindikation/Wirkungsermittlung".

Die administrative Koordination wurde vom Umweltbundesamt wahrgenommen.

Den beteiligten Landesbehörden und ihren Mitarbeitern, die an der Realisierung des beispielhaft und bundesweit durchgeführten Moos-Monitoring Programms beteiligt waren, sei hiermit für die erfolgreiche Zusammenarbeit Dank ausgesprochen.

Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umweltschutz, Sachgebiet Ökotoxikologie,

Herr Kurt Kreimes.

Bayern: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz,

Herr Dr. Ludwig Peichl.

Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie - III A 311,

Herr Dr. Andreas Faensen- Thiebes.

Brandenburg: Landesumweltamt,

Frau Dr. Jutta Rademacher.

Hamburg: Landesforstverwaltung,

Herr Gustav-Adolf Engelen, Frau Dr. Regina Fuchs.

Hessen: Hessische Landesanstalt für Umwelt,

Herr Gasch, Herr Dr. Dieter Lehne, Herr Nicolas Lohmann.

Mecklenburg-Vorpommern: Landesamt für Umwelt und Natur, Abt. Immissionsschutz,
Herr Dr. Hans Sattler.

Niedersachsen: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt,
Herr Dr. Harro Reepmeyer.

Nordrhein-Westfalen: Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten,
Herr Lutz Genßler.
Landesumweltamt,
Herr Ludwig Radermacher.

Rheinland-Pfalz: Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht,
Fachhochschule Bingen, Fachbereich Umweltschutz,
Herr Prof. Dr. Ralf - D. Zimmermann.

Saarland: Universität des Saarlandes, Zentrum für Umweltforschung/Biogeografie,
Herr Dr. Gerhard Wagner.

Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
Herr Rainer Mütterlein.

Sachsen-Anhalt: Landesamt für Naturschutz,
Herr Dr. Claus Schiller.

Schleswig-Holstein: Landesamt für Natur und Umwelt,
Herr Dr. Rammert.

Thüringen: Landesanstalt für Umwelt,
Herr Bernd Anding.

Das Land Bremen ist nicht im o. g. Arbeitskreis vertreten. Die Untersuchungen im Bremer Raum wurden von Niedersachsen aus durchgeführt.

Die reibungslose Durchführung dieses Projektes war nur durch die Mithilfe von weiteren Personen möglich, denen die Autoren auf diesem Weg danken möchten:

Herrn Dr. H. Bau, Frau G. Knetsch und Frau Dr. U. Doyle, Umweltbundesamt Berlin, für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Gesamtvorhabens und bei der redaktionellen Endfassung des Abschlußberichtes.

Herrn H.-J. Werthmann danken wir für die Probenpräparation, Herrn J. Hagendorf für den Probenaufschluß und Herrn H. Lorenz (alle BGR) für die instrumentelle Analytik.

Unser Dank geht auch an diejenigen, die 1200 Moosproben in mühseliger Arbeit säuberten:

Frau Katrin Kimmann, Frau Claudia Haß, Frau Nadia und Herrn Abdul Roostai.