

1 Projektziele und -randbedingungen

Das in diesem zweiten von drei Berichten beschriebene FuE-Vorhaben 200 64 218 (im Folgenden abgekürzt Moos-Monitoring 2000) hat die Aufgabe, mit Hilfe ausgewählter Moosarten den flächenhaften Eintrag von 20 Metall- und Schwermetallelementen in Deutschland in einem methodenharmonisierten, qualitätskontrollierten chemisch-analytischen System quantitativ zu erfassen. 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.

Ursprung und Entwicklung des Moos-Monitoring. Die Verwendung ektohydrer Moosarten als Bioakkumulatoren zur Bestimmung von Schwermetalleinträgen in terrestrische Ökosysteme geht auf die Arbeiten der schwedischen Wissenschaftler Åke Rühling und Germund Tylor aus den sechziger Jahren zurück. Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen wurden 1980 und 1985 in Form staatenübergreifender Projekte innerhalb des skandinavischen Raums umgesetzt (GYDESEN et al. 1983, RÜHLING et al. 1987). Während 1980 lediglich Dänemark und Schweden in dieser Hinsicht kooperierten, weitete sich unter der Schirmherrschaft des „Nordic Council of Ministers“ das Moos-Monitoring 1985 auf alle skandinavischen Staaten aus. Die positiven Erfahrungen dieser Vorhaben führten seit 1990 zur zeitgleichen Durchführung nationaler Moos-Monitoringprojekte in Europa, in dem unter 21 europäischen Staaten auch die Bundesrepublik Deutschland teilnahm. In gegenseitiger Absprache werden seither alle fünf Jahre flächendeckende Untersuchungen mit Hilfe von Moosen in diesen Staaten durchgeführt, um zeitliche Entwicklungen der Schwermetallanreicherung in Gesamteuropa aufzeigen zu können.

Vorgängerprojekte. Das Moos-Monitoring 2000 ist somit das dritte Monitoring-Vorhaben seiner Art in Deutschland. Folgende Projekte wurden bereits 1990/91 und 1995/96 durchgeführt:

- In dem FuE Vorhaben 108 02 087 „Monitoring der Schwermetallbelastung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Moosanalysen“ (im Folgenden abgekürzt Moos-Monitoring 1990) wurde 1990/91 erstmalig ein Moos-Monitoring auf nationaler Ebene durchgeführt (HERPIN et al. 1995). Die Koordination dieser Vorhaben erfolgte durch das Umweltbundesamt (UBA) und wurde von der Universität Osnabrück in Zusammenarbeit mit den Ländern durchgeführt. Es wurden bundesweit 592 Standorte auf die Moosarten *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum*, *Hypnum cupressiforme* und *Hylocomium splendens* beprobt und auf die sogenannten Standardelemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V und Zn chemisch analysiert. Die Messergebnisse wurden in Form von Flächenkarten kartografisch aufgearbeitet.
- Das FuE Vorhaben 108 02 087/01 „Moos-Monitoring 1995/96: Zeitabhängige und flächenhafte Untersuchungen von Schwermetalleinträgen in Deutschland“ (im Folgenden abgekürzt Moos-Monitoring 1995) wurde 1995/96 erneut in Kooperation zwischen Bund und Ländern unter Schirmherrschaft des UBA durchgeführt (SIEWERS & HERPIN 1998, SIEWERS et al. 2000). Mit der Durchführung des Vorhabens wurde diesmal die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) beauftragt. Das Messnetz wurde auf insgesamt 1026 Probenentnahmestellen ausgeweitet. Die beprobten Moosarten glichen bis auf wenige Ausnahmen denen des Moos-Monitorings 1990. Neben den im Vorgängerprojekt analysierten Elementen wurden noch 30 weitere Metall- und Schwermetallelemente quantitativ erfasst und flächenhaft dargestellt.

Projektziele und Berichtsstruktur. Wie in den Vorgängerprojekten ist die Quantifizierung von Metalleinträgen in terrestrische Ökosysteme auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland die übergreifende Zielsetzung des Moos-

Monitorings 2000. Erfasst wird jeweils ein Akkumulationszeitraum von 2 bis 3 Jahren bis zum Probenentnahmezeitraum im Jahr 2000. Die Ergebnisse des Vorhabens werden in drei Berichtsteilen vorgelegt. Im vorliegenden **Berichtsteil I** wird die Bearbeitung folgender Teilziele dargestellt:

- Ermittlung des atmosphärischen Eintrags der Metall- und Schwermetallelemente Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Na, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Sr, Ti, Zn in einem methodenharmonisierten, qualitätskontrollierten chemisch-analytischen System (→ Kapitel 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3),
- Durchführung von Flächenschätzungen mit dem in den Vorgängerprojekten verwendeten IDW (Inverse Distance Weighted)-Verfahren (→ Kapitel 2.2.4),
- die Fortschreibung der UBA-Moosdatenbank mit den Ergebnissen des Moos-Monitorings 2000 (→ Kapitel 2.2.5),
- Beschreibung der räumlichen Verteilung der Analyseergebnisse der Standardelemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn und der der Zusatzelemente Al, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na und Sr im Moos-Monitoring 2000 (→ Kapitel 3) sowie
- Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Einträge von Standard- und Zusatzelementen seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 (→ Kapitel 3).

Im **Berichtsteil II** werden darüber hinaus folgende zwei Aufgabenschwerpunkte ausgearbeitet (SCHRÖDER et al. 2002 b):

- Moosartenspezifische Auswertung der Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 sowie
- Entwicklung eines Schwermetallindex.

Der **Berichtsteil III** widmet sich ausschließlich der Optimierung eines zukünftigen Moos-Monitoring (SCHRÖDER et al. 2002 c). Dabei geht es im Einzelnen um vier Ziele:

- Optimierung der Moosprobenentnahme,
- Optimierung der Datenbankstruktur,

- geostatistische Analyse der Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 2000 sowie
- Integration von messstandortbeschreibenden Angaben, Messdaten sowie daraus statistisch abgeleiteter Flächendaten in einem Moos-GIS (Geografisches Informationssystem).

2 Material und Methoden

2.1 Vorgaben

2.1.1 Messnetzgestaltung

Aufgrund des geringen Zeitpuffers zwischen Beginn des Projektes (15.08.00) und der Probenentnahme im September/Oktober 2000 war es dem Forschungsnehmer nicht möglich, statistisch begründete Optimierungsvorschläge zur Messnetzanordnung zu erbringen. Als Zielvorgabe für die Beprobung wurde daher das Moos-Monitoringmessnetz 1995/96 festgelegt. Allerdings sollten im Moos-Monitoring 2000 neben Standorten der Umweltprobenbank (UPB) und des UBA-Luftmessnetzes auch gezielt Standorte des Euro-Level-II Programms beprobt werden.

2.1.2 Probenentnahme

Die Probenentnahmebedingungen innerhalb der europaweit durchgeführten Moos-Monitoring-Programme ist auf die sogenannten skandinavischen Empfehlungen (RÜHLING et al. 1989) ausgerichtet. Diese Empfehlungen wurden im Zuge des Moos-Monitorings 1990 den bundesdeutschen Verhältnissen angepasst. Die Probenentnahme wird von den Ländern organisiert und durchgeführt.

Probenentnahmerichtlinie. Vorgaben über die Standortwahl und Vorgehensweise bei der Moosprobenentnahme wurden 1990 in einer Probenentnahmerichtlinie festgelegt. Die Richtlinie soll Qualität und Vergleichbarkeit der Analysedaten garantieren und spielt daher bei der Bewertung der Ergebnisse des Moos-Monitorings eine zentrale Rolle.

Probenentnahmeschulung. Um den Erfahrungen der Moos-Monitoringprojekte 1990 und 1995 bei der Probenentnahme Rechnung zu tragen, wurde die bestehende Richtlinie im Vorfeld des Moos-Monitorings 2000 zwischen Dr. Siewers (BGR), Dr. Karsten Mohr (LUFA Oldenburg) und dem Forschungsnehmer erneut diskutiert und in einigen Punkten präzisiert. In dieser Form wurde die Probenentnahmerichtlinie den von den Ländern beauftragten Probenehmern am 7./8. September 2000 in Schneverdingen von Dr. Karsten Mohr und dem Forschungsnehmer vorgestellt, ausführlich diskutiert und einstudiert. Die Probenentnahmerichtlinie ist im Anhang C.1 aufgeführt.

Verwendete Moosarten. Wie in den Vorgängerprojekten sollte die Moosprobenentnahme gemäß einer festgelegten Prioritätenliste erfolgen. *Pleurozium schreberi* (P.s.) wurde hierbei als zu beprobende Hauptart belassen. Als Ersatzarten dienten erneut in der Reihenfolge *Scleropodium purum* (S.p.), *Hypnum cupressiforme* (H.c.) und *Hyclomium splendens* (H.s.).

Probenentnahmezeitraum. Wie 1990 und 1995 sollte die Moosprobenentnahme aufgrund saisonaler Schwankungen in einem etwa vierwöchigen Zeitraum zwischen September und Oktober durchgeführt werden.

2.1.3 Probenpräparation und Moosanalytik

Die Quantifizierung von Schwermetalleinträgen in terrestrische Ökosysteme erfolgt im Moos-Monitoring 2000 wie in den Vorgängerprojekten in einem methodenharmonisierten, qualitätskontrollierten chemisch-analytischen System. Die

Vorgaben hinsichtlich der Methodik gleichen größtenteils denen des Moos-Monitorings 1995. Die instrumentelle Messung der Proben sollte somit mit ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer), ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer) sowie AAS (Atomabsorptions-Spektrometer)-Kaltdampf-Technik erfolgen. Eine ausführliche Darstellung der Vorgehensweise der Probenpräparation und Moosanalytik erfolgt im Kapitel 2.2.2.

Vergleichbarkeit. Um die Vergleichbarkeit der Analysedaten aus den Moos-Monitoring-Vorhaben 1995 und 2000 zu gewährleisten, sollten Messungen an Rückstellproben aus dem Moos-Monitoring 1995 vorgenommen werden. Die Vergleichbarkeit der Ergebnissen des Moos-Monitorings 1990 und 1995 wurde bereits im letzten Vorhaben sichergestellt. Die damals ermittelten Korrekturfaktoren für die Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990 werden im vorliegenden Bericht in den statistischen Analysen und den kartografischen Darstellungen berücksichtigt.

Analysierte Elemente. Auftragsgemäß sollten im Moos-Monitoring 2000 folgende 20 Elemente analysiert werden: Aluminium (Al), Arsen (As), Barium (Ba), Calcium (Ca), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Quecksilber (Hg), Kalium (K), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Natrium (Na), Nickel (Ni), Blei (Pb), Antimon (Sb), Strontium (Sr), Titan (Ti), Vanadium (V) und Zink (Zn).

Zur Optimierung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Moos-Monitorings 1995 und 2000 wurde die Probenpräparation von demselben Auftragnehmer durchgeführt wie im Moos-Monitoring 1995. Die chemische Moosanalytik wurde im Unterauftrag an die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) Hameln vergeben.

2.1.4 Plausibilitätsprüfungen

Um einen Eingang nicht plausibler Messwerte in die statistischen Analysen und Flächenschätzungen zu verhindern, wurden die Länder gebeten, die Analyseergebnisse im Vorfeld der Datenauswertung auf Plausibilität zu überprüfen. Dazu wurden den Länderbeauftragten die Analyseergebnisse in Form von Tabellen, Statistiken und Karten zur Verfügung gestellt.

2.1.5 Kartografische Darstellungen

Die kartografische Darstellung der räumlichen Verteilung der Messwerte im Moos-Monitoring 2000 sollte in Form von Punkt- und Flächenkarten durchgeführt werden. Die punktuelle Darstellung der Messwerte im Raum vermittelt einen Eindruck über die Verhältnisse am Standort, ohne allerdings auf die zwischen den Standorten liegenden Bereiche Auskunft zu geben. Mit ausgewählten Schätzverfahren, wie dem in den Vorgängerprojekten angewandten IDW-Verfahren, lässt sich dieses Informationsdefizit ausgleichen.

2.1.6 Moosdatenbank und Moos-GIS

UBA-Moosdatenbank. Die Ergebnisse der vorangegangenen Moos-Monitoringvorhaben lagen zu Beginn des Moos-Monitorings 2000 in Form einer Access-Datenbank vor. Die Struktur dieser Datenbankanwendung besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten:

1. Dateneingabemaske, nach deren Vorgabe die Probenentnahme im Gelände dokumentiert werden soll,
2. sämtliche innerhalb der in den Moos-Monitoringvorhaben 1990 und 1995 aufgenommenen Standortinformationen,
3. Analyseergebnisse des Moos-Monitorings 1990 sowie

4. Abfragemodule zur Sichtung und Recherche dieser Standortinformationen.

Diese Datenbankanwendung war mit den Ergebnissen der Standortdokumentationen aus dem Moos-Monitoring 2000 fortzuschreiben. Im Hinblick auf die zusammenhängende Auswertung von Analyseergebnissen und Standortdokumentationen sollten die Analyseergebnisse aus den Moos-Monitoringvorhaben 1995 und 2000 in die Datenbank integriert und dort mit den Standortinformationen verknüpft werden.

Moos-GIS. Nach BILL und FRITSCH (1991) ist ein Geografisches Informationssystem (GIS) ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können sogenannte Geo-Objekte, wie z.B. ein Messstandort und dessen Messdaten, digital erfasst, gespeichert, verwaltet, aktualisiert, analysiert und modelliert sowie alphanumerisch (d.h. aus Dezimalziffern und Buchstaben bestehend) und (karto)grafisch präsentiert werden. Der Vorteil eines GIS besteht somit in der Möglichkeit, Punkt- und Flächendaten sowie darauf bezogene Attributinformation in Form einer computergestützten Anwendung abrufbar zu machen. Neben den Messwerten können so beispielsweise auch die standortbeschreibenden Informationen in der UBA-Moosdatenbank mit den Standortkoordinaten verknüpft und veranschaulicht werden.

2.1.7 Abgleich mit Daten anderer Umweltbeobachtungsprogramme

Die Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 sollten mit Ergebnissen anderer Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes statistisch abgeglichen werden. Dementsprechend sollten von den Ländern an Standorten ausgewählter Messnetze Moosproben entnommen werden. Hierbei handelt es sich um Standorte

- der Umweltprobenbank,
- des UBA-Luftmessnetzes,

- des Integrated Monitoring Programme (IMP) sowie
- der Euro Walddauerbeobachtungsflächen (Euro Level II).

2.2 Durchführung

2.2.1 Messnetzgestaltung

Messnetzanordnung 2000. Die Auswahl der im Moos-Monitoring 2000 zu beprobenden Standorte wurde wie in den Vorgängerprojekten von den jeweiligen Ländern geplant und durchgeführt und richtete sich nach den Vorgaben des Moos-Monitorings 1995. Im Moos-Monitoring 2000 wurden so insgesamt 1028 Standorte mit einer durchschnittlichen Messstellenanzahl von 2,9 Standorten pro 1000 km² beprobt (→ Karte 1, → Tab. 1). Aufgrund des innerhalb Deutschlands auf Wunsch der Länder unterschiedlich dichten Probenentnahmerasters (alte Länder: ~ 25 * 25 km²; neue Länder: ~ 16 * 16 km²) stehen einer durchschnittlichen Anzahl von 4,5 Standorten pro 1000 km² in den neuen Ländern 2,2 in den alten Ländern gegenüber (→ Tab. 1).

Entwicklungstendenzen. Die Entwicklung der Messstellenanordnung zwischen dem Moos-Monitoring 1990 und 1995 wurde bereits ausführlich von SIEWERS und HERPIN (1998) beschrieben. Festzuhalten ist, dass die Anzahl an beprobten Messstellen zwischen diesen Monitoringphasen von 592 im Moos-Monitoring 1990 auf 1026 im Moos-Monitoring 1995 nahezu verdoppelt wurde.

Als Zielvorgabe bei der Wahl von zu beprobenden Standorten im Moos-Monitoring 2000 wurde das Messnetz des Moos-Monitorings 1995 zugrundegelegt. Es zeigen sich große Übereinstimmungen zwischen beiden Messnetzen (→ Karte 1). Bei einer Zunahme von 2 Standorten von 1026 auf 1028 ist die Standortdichte im Moos-Monitoring 2000 mit derjenigen des Moos-Monitorings 1995 vergleichbar. Dennoch zeigen die Tabellen 1 und 2 Veränderungen in der

Verteilung der Probenentnahmestellen innerhalb der jeweiligen Länder. Hierbei sind folgende Auffälligkeiten zu nennen:

- In Niedersachsen zeigt sich ein starker Rückgang der beprobten Standorte um 31 von 126 auf 95, mit einer Abnahme der Standortdichte um 0,65 auf 2 Standorte/1000 km². Niedersachsen (2 Standorte/1000 km²) hat mit Bayern (1,7) und Rheinland-Pfalz (2) die niedrigste Standortdichte in Deutschland.
- Auch in Brandenburg wurde das Probenentnahmenetz um 5 Standorte auf 121 reduziert. Die jetzige Standortdichte stellt mit 4,1 Standorten/1000 km² die niedrigste Standortdichte in den neuen Ländern dar.
- Zunahmen in der Anzahl der beprobten Stellen sind vor allem in Hessen (+8), Rheinland-Pfalz (+8), aber auch in Sachsen-Anhalt (+5) festzustellen. Leichte Zunahmen zeigen sich in Nordrhein-Westfalen (+4), Baden-Württemberg (+4), Schleswig-Holstein (+4), Sachsen (+3) und Thüringen (+2).
- Gemessen an der Zu-/Abnahme von Probenentnahmestellen zeigen sich in Bayern, Berlin, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und dem Saarland keine Veränderungen seit dem Moos-Monitoring 1995.

Tabelle 1: Vergleich der Standorte und Messnetzdichten im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (erweitert n. SIEWERS (1998))

Land	Fläche [km²]	Standorte 1990/91	Standorte/ 1000 km²	Standorte 1995/96	Standorte/ 1000 km²	Standorte 2000/01	Standorte/ 1000 km²
Baden-Württemberg	35751	59	1,7	74	2,1	78	2,2
Bayern	70553	118	1,7	119	1,7	119	1,7
Berlin	889	3	3,4	3	3,4	3	3,4
Brandenburg	29476	55	1,9	126	4,3	121	4,1
Hamburg	755	4	5,3	4	5,3	4	5,3
Hessen	21114	26	1,2	52	2,5	60	2,8
Mecklenburg-Vorpommern	23196	37	1,6	113	4,9	113	4,9
Niedersachsen	47572	82	1,7	126	2,6	95	2,0
Nordrhein-Westfalen	34071	55	1,6	84	2,5	88	2,6
Rheinland-Pfalz	19845	31	1,6	31	1,6	39	2,0
Saarland	2570	6	2,3	7	2,7	7	2,7
Sachsen	18408	27	1,5	80	4,3	83	4,5
Sachsen-Anhalt	20442	26	1,3	86	4,2	91	4,5
Schleswig-Holstein	15731	41	2,6	46	2,9	50	3,2
Thüringen	16175	22	1,4	75	4,6	77	4,8
Gesamt	356952	592	1,7	1026	2,9	1028	2,9



Tabelle 2: Veränderung der Standortanzahl und -dichte vom Moos-Monitoring 1995 bis zum Moos-Monitoring 2000

Land	Standortdifferenz	Dichtedifferenz auf 1000 km ²
Baden-Württemberg	4	0,11
Bayern	0	0,00
Berlin	0	0,00
Brandenburg	-5	-0,17
Hamburg	0	0,00
Hessen	8	0,38
Mecklenburg-Vorpommern	0	0,00
Niedersachsen	-31	-0,65
Nordrhein-Westfalen	4	0,12
Rheinland-Pfalz	8	0,40
Saarland	0	0,00
Sachsen	3	0,16
Sachsen-Anhalt	5	0,24
Schleswig-Holstein	4	0,25
Thüringen	2	0,12
BRD	2	0,01

Karte 1 zeigt allerdings, dass in Ländern ohne wesentliche Veränderung der Messstellenanzahl Standorte räumlich verlegt wurden. Denn in mehreren Fällen konnten Standorte aus dem Moos-Monitoring 1995 aufgrund von Verkräutung, Zuwuchs oder dem Fehlen der zu entnehmenden Moosarten nicht wieder beprobt werden.

Dieselben Standorte? Ein Abgleich der Standortkoordinaten aus dem Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 ergab, dass nicht in allen Fällen Standorte, die um mehrere Kilometer verlegt wurden, auch unterschiedliche Probenstandortbenennungen erhielten. Gemäß der Vorgehensweise in Bayern wurde zwecks Identifizierung gleicher Standorte ein Toleranzradius von 2 km um den jeweils alten Probenentnahmepunkt festgelegt. Wird dieser Radius überschritten, ent-

spricht der neue Standort nicht mehr dem alten und eine neue Standort-ID hätte vergeben werden müssen¹.

Vor diesem Hintergrund wurden die Daten der Moos-Monitoringprojekte 1990, 1995 und 2000 nach *gemeinsamen* Standorten abgesucht. Setzt man den oben erwähnten Toleranzbereich von 2 km zugrunde, ist festzuhalten, dass

- von 1026 Standorten des Moos-Monitorings 1995 880 Standorte (~86 %) im Moos-Monitoring 2000 wiederbeprobte wurden (→ Karte 2) sowie
- seit dem Moos-Monitoring 1990 von den ursprünglichen 592 Standorten 479 Standorte (~81 %) durchgängig im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 beprobt wurden (→ Karte 2).

¹ Dieser Sachverhalt stellt vor dem Hintergrund der Durchführung von Zeitreihenanalysen ein Problem dar und wurde auf der 43. Sitzung des Arbeitskreises Bioindikation und Wirkungsermittlung in Güstrow am 20.–21. September diskutiert.



2.2.2 Probenentnahme

Entnommene Moosarten. Die nun folgende Beschreibung der entnommenen Moosarten im Moos-Monitoring 2000 bezieht sich auf eine Moosart pro Standort. Im Falle von Mehrfachbeprobungen wird die prioritäre Moosart in der Statistik benannt².

Die im Moos-Monitoring 2000 entnommenen Moosarten sind in den Tabellen 3 und 4 wiedergegeben und in der Karte 3 kartografisch dargestellt. In Bezug auf Mengenverhältnisse, räumliche Verteilung und Veränderungen seit dem Moos-Monitoring 1995 (→ Tab. 4) lässt sich Folgendes festhalten:

- Mit einem relativen Anteil von 41,2 Prozent (= 423 Probenentnahmestellen) stellt die **Hauptmoosart** *P.s.* wie im Moos-Monitoring 1990 und 1995 die am häufigsten entnommene Moosart dar. Insgesamt wurden 44 Standorte weniger beprobt als 1995. Allein 72 % der im Moos-Monitoring 2000 mit *P.s.* beprobten Standorte finden sich in Bayern (86 Proben), Brandenburg (82), Niedersachsen (60), Sachsen-Anhalt (40) und Nordrhein-Westfalen (34).
- In Bezug auf die **Ersatzmoosarten** wurde *S.p.* im Moos-Monitoring 2000 an 286 Probenentnahmestellen entnommen (= 27,9 %). Seit dem Moos-Monitoring 1995 wurden somit 43 Standorte weniger auf *S.p.* beprobt. Bis auf Baden-Württemberg zeigt sich im Moos-Monitoring 2000 eine relativ gleichmäßige Verteilung der mit dieser Moosart beprobten Standorte in Deutschland. Besonders häufig wurde *S.p.* in Mecklenburg-Vorpommern (55 Proben), Nordrhein-Westfalen (44), Brandenburg (34) und Sachsen (25) entnommen.

Die Beprobung von Standorten mit *H.c.* hat sich seit dem Moos-Monitoring 1995 um 78 auf 246 Standorte erhöht. Dies entspricht einem prozentualen

² An sechs Standorten wurden im Moos-Monitoring 2000 Mischproben von *S.p.* und *P.s.* entnommen. Je nach dominantem Anteil wurden vier dieser Proben *S.p.* bzw. *P.s.* zugeordnet. In zwei Fällen erfolgte eine 50:50 Mischbeprobung. Diese Proben wurden in den Tabellen 3 und 4 sowie der Karte 3 *P.s.* zugeordnet.

Anteil von 24 % an der Gesamtanzahl der in Deutschland beprobten Standorte. Mit einer Anzahl von 76 Probenentnahmestellen zeigt Baden-Württemberg die häufigste Beprobung dieser Moosart, gefolgt von Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen (jeweils 35), Thüringen (26) und Schleswig-Holstein (23). *H.s.* wurde im Moos-Monitoring 2000 an drei Standorten in Bayern und Nordrhein-Westfalen entnommen. Bereits im Moos-Monitoring 1995 erfolgten lediglich 10 Beprobungen mit dieser Moosart.

- Insgesamt gesehen wurden im Moos-Monitoring 2000 an 70 Standorten **Fehlarten**³ beprobt, 18 mehr als im Moos-Monitoring 1995. Darunter nimmt *Brachytecium rutabulum* (*B.r.*) die dominante Stellung ein mit 54 Probenentnahmen, gefolgt von *Rhytidiadelphus squarrosus* (*R.s.*) mit 14 Probenentnahmen. Die Arten *Plagiothecium undulatum* (*P.u.*) und *Leckea polycarpa* (*L.p.*) wurden jeweils einmal beprobt. Mit 42 Standorten zeigt sich eine Konzentration von *B.r.* im Bereich Sachsen-Anhalts (21), Sachsens (11) und Thüringens (10). Durch Fehlarten beprobte Standorte werden, entsprechend der Vorgehensweise im Moos-Monitoring 1995, bei der flächenhaften Beschreibung der Analyseergebnisse berücksichtigt.

³ Als Fehlarten werden Moosarten bezeichnet, die nicht in der Prioritätenliste (*P.s.*, *S.p.*, *H.c.*, *H.s.*) aufgeführt sind.

Tabelle 3: Entnommene Moosarten im Moos-Monitoring 2000 (ohne Mehrfachbeprobungen)

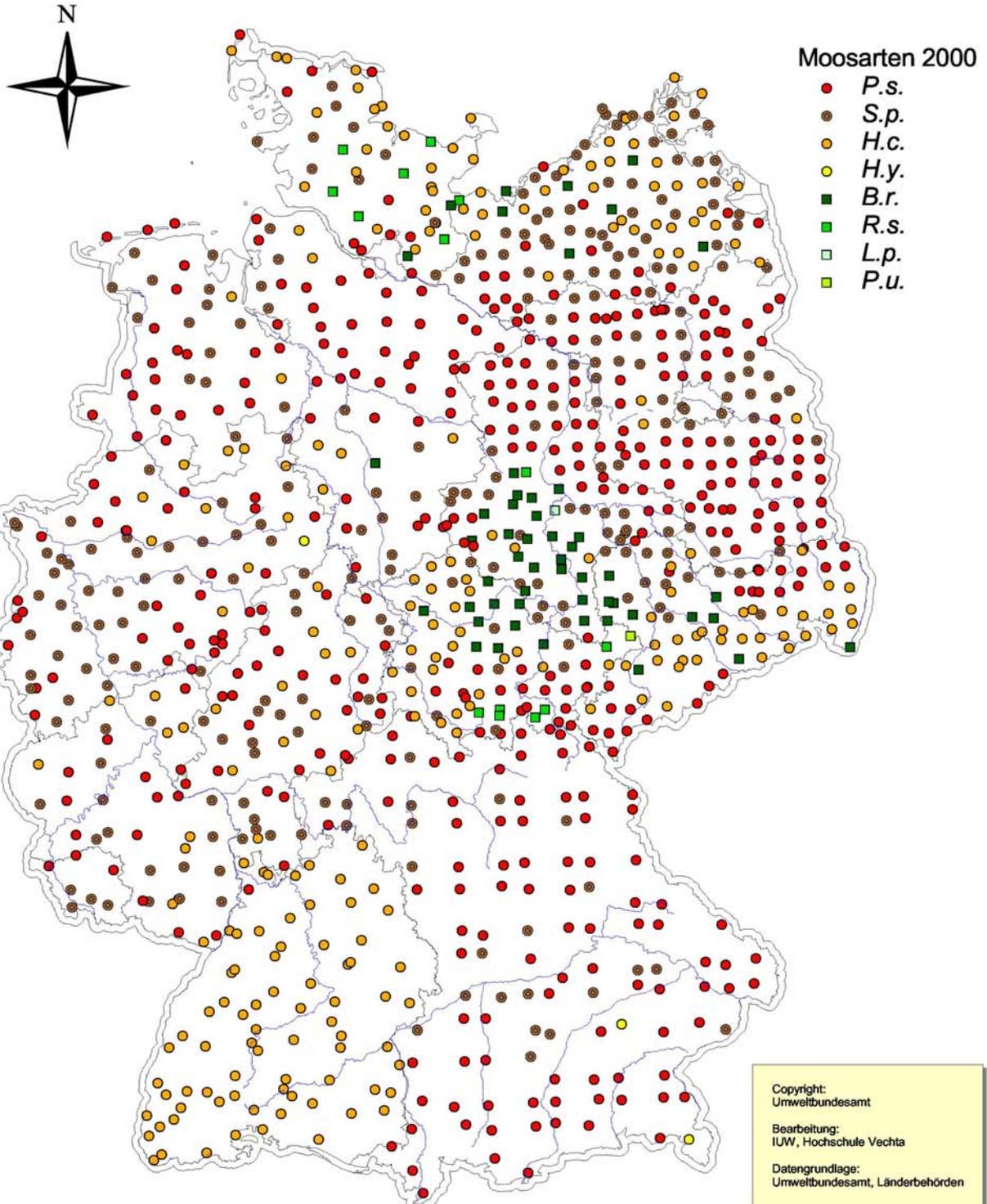
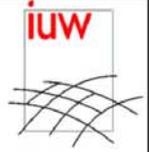
Land	Beprobte Standorte	Hauptmoosart	Ersatzmoosarten			Fehlarten			
		<i>P.s.</i>	<i>S.p.</i>	<i>H.c.</i>	<i>H.s.</i>	<i>Brachytecium rutabulum</i>	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	<i>Plagiothecium undulatum</i>	<i>Leckea polycarpa</i>
Baden-Württemberg	78	2	--	76	--	--	--	--	--
Bayern	119	88	23	6	2	--	--	--	--
Berlin	3	--	3	--	--	--	--	--	--
Brandenburg	121	82	34	3	--	2	--	--	--
Hamburg	4	4	--	--	--	--	--	--	--
Hessen	60	25	23	12	--	--	--	--	--
Mecklenburg-Vorpommern	113	16	55	35	--	7	--	--	--
Niedersachsen	95	60	25	9	--	1	--	--	--
Nordrhein-Westfalen	88	34	44	9	1	--	--	--	--
Rheinland-Pfalz	39	14	16	9	--	--	--	--	--
Saarland	7	3	4	--	--	--	--	--	--
Sachsen	83	24	13	35	--	11	--	--	--
Sachsen-Anhalt	91	39	26	3	--	21	1	--	1
Schleswig-Holstein	50	8	10	23	--	2	7	--	--
Thüringen	77	24	10	26	--	10	6	1	--
Gesamt	1028	423	286	246	3	54	14	1	1
Proz. Anteil [%]	100,0	41,1	27,8	23,9	0,3	5,3	1,4	0,1	0,1

Karte 3:
Kartografische Übersicht beprobter
Moosarten im Moos-Monitoring 2000

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Grüger

50 0 50 100 150 200 Kilometer

Tabelle 4: Vergleich entnommener Moosarten im Moos-Monitoring 1990, 1995 u. 2000

Moosart	Anzahl 1990	Anzahl 1995	Anzahl 2000
Hauptart			
<i>Pleurozium schreberi</i>	415	468	424
Ersatzarten			
<i>Scleropodium purum</i>	99	328	285
<i>Hypnum cupressiforme</i>	74	168	246
<i>Hylocomium splendens</i>	4	10	3
Summe Ersatzarten	177	506	534
Fehlarten			
<i>Brachytecium rutabulum</i>	--	39	54
<i>Brachytecium albicans</i>	--	1	--
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	--	3	14
<i>Rhytidiadelphus triguetrus</i>	--	1	--
<i>Eurhynchium praelongum</i>	--	1	--
<i>Plagiothecium undulatum</i>	--	1	1
<i>Leckea polycarpa</i>	--	--	1
<i>Abietinella abietina</i>	--	1	--
<i>Hypnum juticulandum</i>	--	5	--
Summe Fehlarten	--	52	70
Gesamt	592	1026	1028

Probenentnahmezeitraum. Die Einhaltung des vierwöchigen Probenentnahmezeitraums konnte im Moos-Monitoring 2000 nicht eingehalten werden (→ Tab. 5.) Dennoch konnten in den Monaten September/Oktober 2000 ca. 90 % und bis zum Ende des Jahres 2000 ca. 95 % aller Standorte beprobt werden.

Tabelle 5: Entnahmezeiträume in den Ländern im Moos-Monitoring 2000

Land	Entnahmezeitraum
Baden-Württemberg	17.09. - 01.12.2000
Bayern	18.09. - 23.10.2000
Berlin	21.10.2000
Brandenburg	14.09. - 13.12.2000
Hamburg	16.01. – 19.01.2001
Hessen	12.09. - 06.10.2000
Mecklenburg-Vorpommern	13.10. - 20.11.2000
Niedersachsen*	08.09. - 22.02.2001
Nordrhein-Westfalen**	21.09. - 16.01.2001
Rheinland-Pfalz	03.01. - 24.01.2001
Saarland	07.10. - 08.10.2000
Sachsen	06.10. - 14.11.2000
Sachsen-Anhalt	27.09. - 25.10.2000
Schleswig-Holstein	04.10. - 19.10.2000
Thüringen	05.10. - 27.10.2000

* In Niedersachsen wurden nur drei Proben im Dezember 2000 bzw. Februar 2001 entnommen. Die restliche Moosprobenentnahme bezieht sich auf einen Zeitraum zwischen dem 08.09. – 31.10.2000.

** Drei Standorte der bereits im September 2000 in Nordrhein-Westfalen beprobten Standorte wurden Mitte Januar 2001 parallel zur rheinland-pfälzischen Probenentnahme in der Nähe der Grenze zu Rheinland-Pfalz erneut beprobt. Alle übrigen Probenentnahmen wurden zwischen dem 21.09. und dem 18.10.2000 durchgeführt.

Parallelbeprobungen. An 32 Standorten im Moos-Monitoring 2000 sind Parallelbeprobungen erfolgt. Hierbei wurden in 23 Fällen unterschiedliche Moosarten entnommen (→ Tab. 6), in 9 Fällen wurden bis zu drei Probenentnahmen derselben Moosart durchgeführt.

Tabelle 6: Darstellung der Mehrfachbeprobungen im Moos-Monitoring 2000

Land	PS/SP	PS/HC	PS/BR	PS/RS	SP/HC	eine Moosart
Brandenburg	1					
Baden-Württemberg		1				2 (HC)
Mecklenburg-Vorpommern				1		
Nordrhein-Westfalen	14	1				1 (SP)
Niedersachsen					1	
Rheinland-Pfalz		1				1 (HC)
Hamburg						1 (PS)
Sachsen			1			4 (PS)
Thüringen	1			1		
Gesamt	16	3	1	2	1	9

2.2.3 Probenpräparation und Moosanalytik

Säuberung der Proben. Alle Proben wurden entsprechend der europäischen Richtlinie – wie im Moos-Monitoring 1995 - mit Plastikpinzetten von Hand von anhaftendem Fremdmaterial (Blätter, Wurzeln, Humuspartikel usw.) gesäubert und keiner weiteren Waschprozedur unterzogen. Aufgrund des schwer bestimmbareren Jahreszuwachses wurde bei den Arten *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* der grün-grünbraune Anteil genommen, der etwa einen Zeitraum von 2 bis 3 Jahren repräsentiert (PAKARINEN & RINNE 1979). Wegen des günstigeren morphologischen Aufbaus von *H.s.* dienten die 2 bis 3 Jahre alten Triebe als Probenmaterial.

Trocknung und Vermahlung. Anschließend wurden die Proben bei 40 °C / 72 h bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank getrocknet. Die Proben wurden mit einer Tecator-Mühle gemahlen. Die Mahlgarnitur der Tecator-Mühle besteht hauptsächlich aus Aluminium (s.u. Qualitätskontrolle). Die Proben wurden anschließend bis zur weiteren Analyse bei Raumtemperatur in Plastiksachteln

gelagert. Vor jeder Analyse wurden die betreffenden Proben über Nacht im Trockenschrank bei 40 °C nachgetrocknet.

Probenaufschluss. Von dem gemahlten und homogenisierten Probenmaterial wurden 0,75 - 0,85 g auf 0,01 g genau in einem Teflonbecher eingewogen und mit 5,0 mL HNO₃ (suprapur) und 1,0 mL 30%-igem Wasserstoffperoxid (p.a.) versetzt. Anschließend wurden die Proben in einer Mikrowelle in Teflon-Hochdruckbehältern bis 100 bar aufgeschlossen, die klare Lösung ungefiltert mit bidest. Wasser in 25 mL Messkolben überspült und bis zur Marke aufgefüllt.

Analytik. Die chemische Moosanalytik wurde gemäß der Vorgaben mit ICP-MS, ICP-OES und AAS (Atomabsorptions-Spektrometer) Kaltdampf-Technik durchgeführt:

- Die Massenkonzentrationen der Elemente Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Vanadium in der Aufschlusslösung wurden mit einem Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) bestimmt.

Tabelle 7: Bestimmungsgrenzen ICP-MS

Element	Masse	Bestimmungsgrenze [mg/kg]
Antimon	121	0,01
Arsen	75	0,03
Blei	208	0,01
Cadmium	111	0,01
Chrom	52	0,06
Nickel	60	0,06
Vanadium	51	0,03

- Die Massenkonzentrationen der Elemente Aluminium, Barium, Calcium, Eisen, Kalium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Natrium, Strontium, Titan und Zink in der Aufschlusslösung wurden mit einem Atom-Emissions-Spektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) gemessen.

Tabelle 8: Bestimmungsgrenzen ICP-OES

Element	Emissionslinie (nm)	Bestimmungsgrenze [mg/kg]
Aluminium	308,217	1
Barium	455,402	0,1
Calcium	317,933	1
Eisen	238,203	1
Kalium	766,49	10
Kupfer	324,754	0,1
Magnesium	279,078	1
Mangan	257,612	0,1
Natrium	589,588	1
Strontium	407,767	0,1
Titan	336,122	1
Zink	213,858	0,1

Die Massenkonzentration von Quecksilber in der Aufschlusslösung wurde mit einem Quecksilber-Gerät (AAS-Kaltdampf-Technik) ermittelt. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,006 mg/kg trockenem Moos.

Qualitätskontrollen. Es wurden folgende Qualitäts- und Kontrollmessungen durchgeführt:

1. Untersuchung von 36 Moosproben aus dem Moos-Monitoring 2000 durch die BGR Hannover und Vergleich der Ergebnisse mit denen der LUFA Hameln (**Vergleichbarkeit** → Anhänge D.1.1-D.1.3),
2. Doppelbestimmung von 158 Moosproben aus dem Moos-Monitoring-Programm 2000 (**Wiederholbarkeit** → Anhang D.2.1) sowie Mittelwertkontrollkarte der Moosprobe "Referenzmaterial LRM2/ BGR-Labor" (**Langzeitige Wiederholbarkeit** → Anhang D.2.2),

3. Vergleich der Mahlergebnisse der zwei Mühlen: Scheibenschwingmühle mit Achateinsätzen und Zentrifugalmühle mit Aluminium-Rotor (**Kontamination** → Anhang D.3).

zu 1. Um die **Vergleichbarkeit** der Analyseergebnisse der Labore der LUFA Hameln und der BGR Hannover hinsichtlich zeitlicher Trends zu gewährleisten, wurden von der BGR Hannover Vergleichsmessungen an 36 bereits durch die LUFA Hameln analysierten Moosproben aus dem Moos-Monitoring 2000 durchgeführt. Sowohl die Werte der LUFA Hameln als auch die der BGR Hannover beziehen sich auf Einzelmessungen.

In den Anhängen D.1.1, D.1.2 und D.1.3 sind die Ergebnisse der Labor-messungen der LUFA und der BGR tabellarisch gegenübergestellt. Um die Laborergebnisse statistisch abzugleichen, wurden in den jeweils letzten Zeilen der Tabellen deren Mittelwerte berechnet und miteinander verglichen. Weiterhin sind die Variationskoeffizienten der 36 Datensätze pro Vergleichsmessung gemittelt worden. Der Anhang D.1.1 und 1.3 enthält die Gegenüberstellung der Elemente Ti, Cu, Mn, Zn, Sr und Ba (LUFA: ICP-OES; BGR: ICP-OES und ICP-MS) sowie Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, As, Sb und V (LUFA: ICP-MS/Kaltdampftechnik; BGR-Labor : ICP-MS). Im Anhang D.1.2 sind die Elemente K, Mg, Na, Ca, Fe, und Al (LUFA: ICP-OES; BGR-Labor: ICP-OES) gegenübergestellt.

Der Vergleich der Mittelwerte der Variationskoeffizienten der Ergebnisreihen beider Labore zeigt folgende Abweichungen:

0 – 5 %:	Mn, Zn, Sr, Ba, Ca (LUFA und BGR: ICP-OES).
5 –10 %:	K, Fe, Mg (LUFA und BGR: ICP-OES), Zn (LUFA: ICP-OES; BGR: ICP-MS), Pb (LUFA und BGR: ICP-MS)
10–20 %:	Cu, Al (LUFA und BGR: ICP-OES), Cd, Ni, Sb und V (LUFA und BGR: ICP-MS),

	Mn, Sr, Ba, Cu (LUFA: ICP-OES; BGR: ICP-MS),
	Hg (LUFA: Kaltdampftechnik; BGR: ICP-MS)
20-30 %:	As, Cr (LUFA und BGR: ICP-MS)
	Na, Ti (LUFA und BGR: ICP-OES)
61 %:	Ti (LUFA: ICP-OES; BGR: ICP-MS)

zu 2. Zur Darstellung der **Wiederholbarkeit** der Messungen wurden die ersten 158 Moosproben doppelt untersucht. Die Proben wurden von der Einwaage bis zur Messung parallel analysiert (→ Anhang D.2.1). Danach wurde von allen anderen Moosproben jede 10. Probe doppelt untersucht. Die Ergebnisse der Doppelbestimmungen zeigen nur geringe Abweichungen. Der Wiederhol-Variationskoeffizient liegt für die meisten Elemente unter 10 %. Bei 2 Proben (Ti), 1 Probe (Cr), 3 Proben (Cd), 19 Proben (As), 7 Proben (Sb) und 1 Probe (V) liegt der Wiederhol-Variationskoeffizient zwischen 10 und 17 %. Das liegt z.T. an den niedrigen Gehalten (Cd, As, Sb) sowie an den nicht homogen verteilten Bodenpartikeln (Cr, V, Ti) in diesen Moosproben. Das Thema Standortvariation ist bei SIEWERS et al. (2000) ausführlich diskutiert worden.

Zur Sicherstellung der **langzeitigen Wiederholbarkeit** liegen in Anhang D.2.2 die Ergebnisse von 42 Messkontrollen mit Referenzmaterial LSM2 (Labor-Standard-Moos-2; BGR-Labor – Mikrowellenaufschluss) vor. Eine maximale Abweichung aller gemessenen Elemente zeigt Natrium mit lediglich 8,3%.

zu 3. Im Gegensatz zu der im Moos-Monitoring 1995 zum Einsatz gekommenen Scheibenschwingmühle wurde im Moos-Monitoring 2000 eine Tecatormühle zur Homogenisierung der Moosproben verwendet. Die Mahlgarnitur einer Tecator-Mühle besteht hauptsächlich aus Aluminium, Nebenbestandteile sind Elemente, die in Edelstahllegierungen vorkommen. Die Verwendung einer Tecatormühle zeichnet sich gegenüber einer Schei-

benschwingmühle v.a. durch eine vergleichsweise geringe Mahldauer aus.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus dem Moos-Monitorings 1995 und 2000 abzusichern, wurden 6 Moosproben aus dem Moos-Monitoring 2000 halbiert und je eine Hälfte mit der Scheibenschwingmühle und mit der Tecator-Mühle gemahlen und anschließend analysiert. Der Vergleich zwischen den zwei Mühlen in Bezug auf den vermuteten Abrieb der Tecator-Mühle (Al, Fe, Cr, Ni, V, Co, Mo) in dem Mahlgut zeigt, dass die Kontamination der Proben durch Abrieb in diesem Fall sehr gering, sogar geringer als bei der Schwingmühle ist (→ Anhang D.3). Die prozentualen Abweichungen zwischen beiden Mühlen sind weiterhin mit Werten unter 3 %, in den meisten Fällen sogar unter 1 % sehr gering. Aus diesem Grund wurden alle restlichen Moosproben mit der Tecator-Mühle vermahlen.

2.2.4 Plausibilitätsprüfungen

Zur Durchführung der Plausibilitätsprüfungen wurden allen Länderbeauftragten bis zum 08.08.2001 die Analyseergebnisse in Form von Microsoft (MS) Excel Datenbanken und in ArcView GIS generierten Punktkarten zur Verfügung gestellt. Die MS Excel Datenbanken enthielten neben den Ergebnisdaten des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 auch deskriptiv-statistische Kenngrößen für die jeweiligen Länder und die BRD. Die Klassifizierung der Messwerte im GIS erfolgte gemäß der Vorgaben der vorangegangenen Projekte. Weiterhin enthielten die Punktkarten die 98-Perzentile der Länder.

Ergebnisse. In den Ländern Sachsen, Nordrhein-Westfalen und Brandenburg wurden aufgrund der dort durchgeführten Plausibilitätsprüfungen an neun Probenentnahmestellen Analysenergebnisse einzelner Elemente aus der statistischen Datenanalyse und den Flächenschätzungen herausgenommen. Eine Übersicht der aufgeführten Gründe für die Nicht-Plausibilität zeigt Anhang D.4.

2.2.5 Kartografische Darstellungen

Innerhalb der Berichtsteile I und II werden gemäß Vorgabe Punkt- und Flächenkarten zur Veranschaulichung der Ergebnisse der chemischen Moosanalytik verwendet. Die Klassifizierung der Messwerte wurde aus den Vorgaben des Moos-Monitorings 1990 und 1995 übernommen, die Farbgebung musste den im GIS vorliegenden Farbpaletten angepasst werden. Allen Karten wurde das Gauß-Krüger Koordinatensystem zugrundegelegt.

- **Punktkarten.** Alle Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 wurden in Form von Punktkarten visualisiert (→ Anhang A1 bis A3). Als statistische Kenngröße zur Identifizierung von Extremwerten enthalten die Punktkarten die 98er Perzentile des Landes.
- **Flächenkarten.** Im Berichtsteil I wird das bereits in den Vorgängerprojekten verwendete IDW-Verfahren zur flächenhaften Schätzung der Metalleinträge benutzt. Das Verfahren setzt die Festlegung eines definierten Gitternetzes (= Raster) für das Untersuchungsgebiet voraus. Zur Berechnung des Wertes jeweils einer Rasterzelle werden die Messwerte aller innerhalb eines festzulegenden Suchradius befindlichen Standorte zuerst gewichtet und dann aufsummiert. Die Wichtung der Messwerte erfolgt gemäß des reziproken Quadrats der Entfernung zwischen Rasterzellenmittelpunkt und Standort.

Die IDW-Berechnungen wurden im Moos-Monitoring 2000 mit der im GIS-Programm ArcView GIS implementierten Methode durchgeführt. Obwohl der Algorithmus derselbe ist, ließen sich die im Moos-Monitoring 1990 und 1995 unter Verwendung eines Fortran-Programms erstellten Karten nicht genau reproduzieren. Um dennoch eine möglichst hohe Übereinstimmung mit den kartografischen Darstellungen aus dem Moos-Monitoring 1995 zu erlangen, wurde nach Absprache mit Dr. Siewers das 1995 verwendete Raster von 5*5 km² durch ein 2*2 km² ersetzt und der Suchradius von 15 auf 20 km erhöht.

2.2.6 Moosdatenbanken und Moos-GIS

Moosdatenbanken. Entsprechend der in Kapitel 2.1.6 beschriebenen Vorgaben wurden die von den Ländern im Moos-Monitoring 2000 ausgefüllten digitalen Probenentnahmeprotokolle in einer Datenbankanwendung zusammengeführt. Die Analyseergebnisse aus den Vorhaben 1995 und 2000 konnten ohne Probleme in die Datenbank integriert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Syntax der von den Probenehmern vergebenen Standort-ID's und der von den Laboren vergebenen Proben-ID's konnte allerdings keine automatisierte Anbindung durchgeführt werden. Die Vereinheitlichung der Syntax von Proben- und Standort-ID's erfolgt im Rahmen der Erstellung einer internetfähigen Moosdatenbank und wird im Berichtsteil II näher ausgeführt.

Moos-GIS. Im Moos-Monitoring 2000 wurde zur Verarbeitung der räumlichen Daten mit dem GIS-Softwareprodukt ArcView GIS der Firma Esri eine Software verwendet, die sich durch eine weite Verbreitung in Umweltbehörden auszeichnet. Der Vorteil dieser Software ist weiterhin die im Vergleich zu anderen GIS-Programmen kompatible Bedienbarkeit und Anpassungsfähigkeit. Die Programmarchitektur von ArcView GIS gliedert sich im wesentlichen in zwei Komponenten: Programmoberfläche und Geoobjekte.

1. **Programmoberfläche.** Die Programmoberfläche von ArcView wird durch sogenannte ArcView Projektdateien bzw. Projekte gebildet. In Form eines modularen Aufbaus werden dem Anwender unterschiedliche Möglichkeiten bei der Analyse, Abfrage und Visualisierung räumlicher Daten zur Verfügung gestellt.
2. **Geoobjekte.** In den ArcView Projekten können nun die eigentlichen Geoobjekte visualisiert und deren Attribut- und Metainformationen abgefragt werden. Die Dateien, aus denen diese Objekte generiert werden, sind mit der Programmoberfläche lediglich dynamisch verknüpft.

Die Art der Geoobjekte und der mit diesen Objekten verknüpften Informationsschichten bilden im Moos-GIS die eigentliche Besonderheit gegenüber anderen GIS-Anwendungen. Je nach Anwendungsschwerpunkt werden dabei unterschiedliche Projektdateien generiert. Die diesem Vorgehen zugrundeliegende Systematik wird im Berichtsteil II näher ausgeführt.

2.2.7 Abgleich mit Daten anderer Umweltbeobachtungsprogramme

Aufgrund der zusätzlichen, im Rahmen der 43. Sitzung des AK Bioindikation / Wirkungsermittlung 25. bis 26. April 2002 in Vechta vereinbarten moosartenspezifischen Auswertungen (→ Berichtsteil II) konnten die von den Ländern beprobten Standorte des Euro-Level II Programms, der Umweltprobenbank, des UBA-Luftmessnetzes sowie des Integrated Monitoring Programms (IMP) nicht mit den Ergebnissen des Moos-Monitorings 2000 abgeglichen werden.

2.3 Hinweise zur Interpretation der Daten

Für die Bewertung der in Kapitel 3 vorgestellten Ergebnisse ist es wichtig zu quantifizieren, inwieweit

- am selbem Standort entnommene Proben derselben Moosart unterschiedliche Elementgehalte aufweisen (**Standortvariabilität**),
- die entnommenen Moosarten hinsichtlich deren Adsorptions- und Akkumulationseigenschaften vergleichbar sind (**Moosartenvariabilität**).

Da im Moos-Monitoring 2000 keine derartigen Untersuchungen vorgesehen waren, werden im Folgenden die in den Moos-Monitoring-Vorhaben 1990 und 1995 gemachten Erkenntnisse kurz zusammengefasst (HERPIN et al. 1995, SIEWERS & HERPIN 1998, SIEWERS et al. 2000).

2.3.1 Standortvariabilität

Um genauere Kenntnisse hinsichtlich der Standortvariabilität der in den Moosproben bestimmten Elementgehalte zu erlangen, wurden im Moos-Monitoring 1995 folgende exemplarische Untersuchungen durchgeführt:

- Messungen an Teilproben desselben Standorts,
- Untersuchung des Einflusses kleinräumiger Strukturen am selben Standort sowie
- Untersuchung des Einflusses einer Waschprozedur.

Messungen an Teilproben desselben Standorts. Zur Ermittlung der Variabilität der Elementgehalte von As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V, Zn, La, Ce, Sb und Hg am selben Standort wurden im Moos-Monitoring 1995 an 49 Standorten je 4 bis 9 Einzelproben getrennt analysiert. Zur Darstellung der Streuung der analysierten Einzelproben wurden für alle Probenentnahmestellen die Elementmittelwerte, -Standardabweichungen und -Variationskoeffizienten berechnet.

Die Tabelle 9 zeigt die über alle 49 Standorte gemittelten Variationskoeffizienten sowie deren Standardabweichungen.

Tabelle 9: Mittlere Variationskoeffizienten und deren Standardabweichungen für 4-9 Einzelproben an 49 Standorten (verändert nach SIEWERS et al. 2000)

Element	Mittlere Variationskoeffizienten [%]	Standardabweichung [%]
As	28,7	20,7
Cd	13,8	10,9
Cr	26,8	18,8
Cu	11,9	6,1
Fe	19,8	15,1
Ni	20,5	12,7
Pb	16,7	12,5
Ti	23,0	17,0
V	17,0	11,8
Zn	12,3	8,1
La	26,7	23,4
Ce	26,2	23,1
Sb	16,3	16,0
Hg	22,2	14,6

Ergebnisse. Die Tabelle 9 zeigt, dass die Gehalte typischer „anthropogener Elemente“ wie Cd, Cu, Pb, Sb und Zn im Mittel weniger am selben Standort streuen. Im Gegensatz dazu zeigen die Gehalte an „häufigen Erdkrustenelementen“ wie Fe, V, Ti, Ce und La stärkere Schwankungen. Auffällig sind weiterhin die hohen Streuungen der Arsen-, Quecksilber-, Nickel- und Chromgehalte in den Einzelproben der 49 Standorte. Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, dass die am selben Standort entnommenen Einzelproben vermutlich durch un-

terschiedliche Partikelgrößen je Element und kleinräumig differierende Faktoren beeinflusst werden können.

Kleinräumige Strukturen am selben Standort. Um die Auswirkung von kleinräumig differierenden Einflussfaktoren auf die Elementgehalte in Moosen zu untersuchen, wurde im Moos-Monitoring 1995 ein Standort aus Nordrhein-Westfalen, der auf einer eng begrenzten Fläche starke geländestrukturelle Unterschiede aufwies, mehrfach beprobt. Der Wuchsort des Moores lag auf einer offenen Terrasse mit einer angrenzenden west-exponierten Hanglage unter dem Einfluss der Kronentraufe. Es wurden jeweils auf der freiliegenden Fläche und am Hang Proben von *P.s.* und *S.p.* entnommen und auf die Elemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn analysiert.

Ergebnisse. Für die Elemente As, Cr, Mo, Pb, Sb und V wurden am Hang in beiden entnommenen Moosarten höhere Gehalte nachgewiesen. Darüber hinaus zeigte *P.s.* am Hang für die Elemente Cd, Cu, Fe, Ti und Zn auffallend höhere Werte, *S.p.* für Hg. Niedrigere Werte am Hang konnten lediglich für Cd, Cu, Fe, Ti, Zn (*S.p.*) sowie Hg (*P.s.*) nachgewiesen werden.

Einfluss einer Waschprozedur. Im Moos-Monitoring 1995 wurde weiterhin untersucht, inwieweit sich an den Moosen haftende Humus-, Boden- und Staubpartikel auf die zu bestimmenden Elementgehalte auswirken. Hierzu wurde ein ausgewählter Standort in Niedersachsen auf *P.s.* beprobt und die Gesamtprobe entsprechend der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Vorgehensweise mechanisch gesäubert. Danach wurde das Probenmaterial in zwei Fraktionen aufgeteilt:

- Die erste Fraktion wurde entsprechend den skandinavischen Vorgaben im ungewaschenen Zustand belassen.
- Die zweite Fraktion wurde mit Druckluft ausgeblasen und mit kaltem destilliertem Wasser gewaschen.

Die zwei Fraktionen wurden anschließend getrennt homogenisiert und in der Mikrowelle aufgeschlossen. Die jeweiligen Aufschlusslösungen wurden mit ICP-MS auf 44 Elemente, inkl. der im Moos-Monitoring 1995 analysierten Metallelemente, analysiert. Dieser Vorgang wurde insgesamt zehnmal durchgeführt und die Ergebnisse je Element in Form von Mittelwerten und Standardabweichungen gegenübergestellt.

Ergebnisse. Die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zeigten, dass essentielle Makroelemente wie K, Ca und Mg signifikant höhere Gehalte in der gewaschenen Fraktion aufwiesen, ebenso essentielle Spurenelemente wie Mn, Zn, Ba und Sr. Diese Elemente sind offensichtlich im Moosmaterial integriert und können nicht abgewaschen werden. Durch den Waschvorgang werden diese Elemente relativ angereichert, da das abgewaschene Material fehlt. Geogene Elemente wie Al, Fe, Cr, V, Ni, Ce und La erwiesen sich in der unbehandelten Fraktion hingegen signifikant erhöht und werden durch den Waschvorgang abgereichert. Elemente wie Na, Rb, Cu, B, Cd und Ag zeigten in den Vergleichslösungen keine signifikanten Unterschiede.

An ein und demselben Standort inkorporiert bzw. sobiert dieselbe Moosart die Elemente unterschiedlicher stark. Partikuläre Eisen- und Aluminiumhydroxide und Titandioxid können leichter abgespült werden (34% bzw. 37% Abnahme) als elementar eingetragene Elemente wie vermutlich Blei mit 12% Abnahme.

2.3.2 Moosartenvariabilität

Hintergründe. Zur Prüfung des Aufnahme- und Adsorptionsverhaltens der im Moos-Monitoring verwendeten Moosarten wurden im Moos-Monitoring 1990 und 1995 Vergleichsuntersuchungen zwischen *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme* an jeweils denselben Standorten

durchgeführt (HERPIN et al. 1995, SIEWERS & HERPIN 1998). Die Auswahl der betrachteten Elemente umfasste

- Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Ti, Pb, V und Zn im Moos-Monitoring 1990 sowie
- As, Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Ti, Pb, V, Zn, Sb und Hg im Moos-Monitoring 1995.

Die statistische Auswertung der Vergleichsmessungen erfolgte in beiden Moos-Monitoringvorhaben in Form von Korrelations- und Regressionsanalysen, wobei *P.s.* als Bezugsgröße sowie *S.p.* und *H.c.* als abhängige Größe festgelegt wurde⁴. Die aus diesen Berechnungen gewonnenen Erkenntnisse wurden im Abschlussbericht des Moos-Monitoring 1995 von SIEWERS & HERPIN (1998) zusammenfassend beschrieben. Im Folgenden werden diese Ausführungen kurz nachgezeichnet. Eine ergänzende Gegenüberstellung des Akkumulationsverhaltens der im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 entnommenen Moosarten erfolgt im Berichtsteil II.

Vergleich *Pleurozium schreberi* – *Scleropodium purum*. Die Anzahl der verglichenen Probenpaare *P.s.* und *S.p.* betrug im Moos-Monitoring 1990 49, im Moos-Monitoring 1995 72 und 73. Für diese Artenkombination konnten für alle betrachteten Elemente signifikante Korrelationen festgestellt werden. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen ließen die folgenden Auffälligkeiten erkennen:

- Für die Elemente Cd, Cu, Fe, Pb, V und Zn sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen in beiden Moos-Monitoring Programmen vergleichbar.
- Für das Element Cr zeigten sich leichte, für die Elemente Ni und Ti starke Abweichungen bei den Regressionsanalysen der beiden Moos-Monitoring Programme.
- Bei allen verglichenen Elementen waren z.T. beträchtliche Streuungen um die Regressionsgerade festzustellen.

⁴ Im Moos-Monitoring 1990 wurde *Hylocomium splendens* ebenfalls in die Vergleichsuntersuchungen einbezogen. Da *H.s.* im Moos-Monitoring 2000 bundesweit nur dreimal beprobt wurde, wird auf eine entsprechende Ausführung verzichtet.

- Für die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Ti ließen die Regressionsberechnungen im Moos-Monitoring 1995 auf gleiches Verhalten der betrachteten Moosarten schließen.
- Die Ergebnisse der Regressionsanalysen aus dem Moos-Monitoring 1995 zeigen, dass *P.s.* besonders Pb, V, Sb und As stärker anzureichern scheint als *S.p.*.

Für die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Ti wurde es nicht als sinnvoll erachtet, die Werte von *S.p.* gemäß der Regressionsgeraden auf *P.s.* umzurechnen, da die Abweichungen weniger als 10 % betragen. Bei den sehr großen Streuungen am Standort wurden diese Abweichungen als vernachlässigbar erachtet. Für Pb und Zn wurden die Werte exemplarisch umgerechnet und kartografisch gegenübergestellt. Hierbei zeigten sich beim optischen Vergleich bundesweit grundsätzlich keine wesentlichen Unterschiede.

Vergleich *Pleurozium schreberi* – *Hypnum cupressiforme*. Die Anzahl der verglichenen Probenpaare *P.s.* und *H.c.* betrug im Moos-Monitoring 1990 25, im Moos-Monitoring 1995 24. Generell konnten für diese Artenkombination ähnliche Verhältnisse festgestellt werden wie bei dem Vergleich *P.s./S.p.*:

- Für die Elemente Cd, Cr, Cu, Fe und V zeigten sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen in beiden Moos-Monitoring Programmen vergleichbar.
- Ni, Pb und Zn zeigten auffallend große Unterschiede bei den Ergebnissen der Regressionsberechnungen beider Moos-Monitoring Programme.
- Wie beim Vergleich *P.s./S.p.* waren bei allen verglichenen Elementen z.T. beträchtliche Streuungen um die Regressionsgerade festzustellen.
- Lediglich für Ti (Moos-Monitoring 1995) konnte zwischen *P.s.* und *H.c.* ähnliches Akkumulationsverhalten festgestellt werden.
- Fe zeigte im Mittel höhere Elementgehalte in *P.s.*, Cd überwiegend höhere Gehalte in *H.c.*.
- Cr, Cu, V, Ni, Zn, Hg, Sb und As (Moos-Monitoring 1995) zeigten in höheren Konzentrationsbereichen höhere Gehalte in *P.s.*.

Aufgrund der bei den Regressionsanalysen verwendeten geringen Probenanzahl und der starken Streuungen um die Regressionsgerade wurde es im Moos-Monitoring 1995 für nicht sinnvoll erachtet, die Elementgehalte von *H.c.* auf *P.s.* umzurechnen.