

## 2 Material und Methoden

Für die methodischen Fragestellungen wird auf die entsprechenden Kapitel im **Berichtsteil I** (S. 21ff) verwiesen.

Bei der Probenentnahme 1995/96 wurden die in der Pilotstudie 1990/91 (HERPIN et al. 1994) gemachten Erfahrungen über Fehlermöglichkeiten bei der Beprobung und der Anlage des Messnetzes berücksichtigt. Die Auswahl der Moosarten und die Festlegung des Zeitrahmens für die Beprobung sowie die Messnetzdichte wurden einvernehmlich mit den Ländern 1995 festgelegt.

Die Probenentnahme erfolgte gemäß der europäischen Richtlinie und der für das nationale Projekt 1990/91 erweiterten Richtlinie (s. Berichtsteil I, Anhang).

Die Pilotstudie 1990/91 wird als Moos-Monitoring 1990/91 und das Folgeprojekt 1995/96 als Moos-Monitoring 1995/96 bezeichnet.

### 2.1 Verwendete Moosarten

In Anlehnung an das Moos-Monitoring 1990/91 wurde *Pleurozium schreberi* (P.s.) als zu beprobende Hauptart belassen. Fehlte diese Art, wurden erneut als Ersatzarten *Scleropodium purum* (S.p.), *Hypnum cupressiforme* (H.c.) und *Hylocomium splendens* (H.s.) beprobt.

### 2.2 Standortvariabilität

#### 2.2.1 Messungen an Teilproben am Standort

Unter Standortvariabilität wird hier der Einfluss der allgemeinen Standortfaktoren auf die untersuchten Moospflanzen verstanden, die am selben Standort vorkommen. Entwicklungs- wie auch Expositions-Unterschiede können u. a. die Elementgehalte der Moose elementabhängig beeinflussen. Um dieses auszugleichen, werden normalerweise - gemäß

der Richtlinie von einer etwa 50 m mal 50 m großen Fläche – die gesammelten Teilproben (5 bis 10) vor der chemischen Aufarbeitung zu einer Mischprobe vereint. Zur Bestimmung der Standortvariabilität wurden an ausgewählten Standorten mit ausreichendem Probenmaterial 4 bis 8 Teilproben separat präpariert und analysiert. Von 49 unterschiedlichen Standorten stand Probenmaterial zur Verfügung (s. Tab. 1).

Tab. 1: Anzahl der Standorte zur Ermittlung der Standortvariabilität in den Ländern

Länder	Anzahl
Niedersachsen	12
Nordrhein-Westfalen	5
Hessen	3
Rheinland-Pfalz	2
Baden-Württemberg	6
Bayern	7
Saarland	1
Berlin	3
Brandenburg	6
Sachsen	1
Sachsen-Anhalt	2
Thüringen	1
Gesamt	49

#### 2.2.2 Einfluss kleinräumiger Strukturen am selben Standort

Weiterhin war zu prüfen, in welchem Umfang kleinräumige Unterschiede in der Geländestruktur ebenfalls zur Streuung der Elementgehalte beitragen können. Diese Fragestellung wurde 1997 nach einer erneuten Beprobung des Standortes NW 27 (Nordrhein-Westfalen, Gemeinde Engelskirchen) untersucht. Er wies auf einer eng begrenzten Fläche derartige Strukturunterschiede auf. Der Wuchsort lag auf einer offenen Terrasse mit einer angrenzenden Hanglage unter dem Einfluss der Kronentraufe. Diese beiden Flächen

lagen ca. 20-30 m auseinander. An beiden Orten wurden die beiden

Hauptarten *Pleurozium schreberi* und *Scleropodium purum* entnommen.

### 2.2.3 Einfluss einer Waschprozedur

Außer den o.g. kleinräumigen Unterschieden und deren Einfluss auf die Elementgehalte können Moose auch am selben Standort mit unterschiedlichen Mengen an Humus-, Boden- oder Staubpartikeln beaufschlagt werden. Zur Überprüfung von Boden- oder Staubeinflüssen wurden Proben von *Pleurozium schreberi* nach den vorgegebenen Richtlinien entnommen. Der Standort befand sich in einem Kiefernforst im Bereich Mellendorf, Niedersachsen. Das Vorkommen und die Wuchsform sind mit häufig und rasenbildend zu charakterisieren.

Nach der üblichen Präparation des Probenmaterials (mechanische Reinigung) wurde die Gesamtprobe geteilt. Der eine Teil (LS 1) wurde entsprechend der skandinavischen Vorgaben im ungewaschenen Zustand belassen, der andere Teil (LS 2) wurde mit Druckluft ausgeblasen und anschließend mit kaltem destilliertem Wasser gewaschen. Nach der getrennten Homogenisierung und dem üblichen Mikrowellenaufschluss erfolgten die Elementbestimmungen in den Vergleichs-lösungen.

Abb. 1 zeigt die schematische Vorgehensweise.

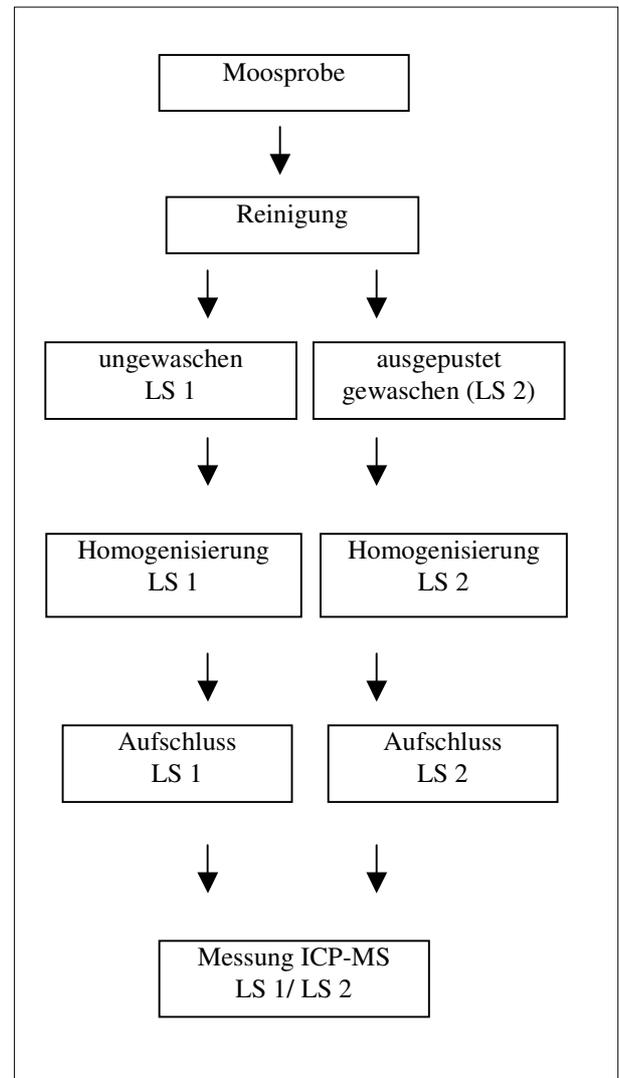


Abb. 1: Schematische Vorgehensweise zum Einfluss einer Waschprozedur

## 2.3 Nachuntersuchungen an besonderen Standorten

Im Moos-Monitoring 1995/96 wurden an einigen Standorten - zumeist in der Nähe von Emittenten - zum Teil hohe Elementgehalte festgestellt. Wenn diese, auch seitens der Länder, nicht ohne weiteres zu erklären waren, wurden gezielte Nachuntersuchungen durchgeführt. In einigen Fällen wurden Standorte erneut beprobt, in anderen das Probenmaterial nochmals analysiert.

### 2.3.1 Nachbeprobung im Bereich potentieller Emittenten

#### 2.3.1.1 Braunkohle-Tagebau (südlich Leipzig)

Aufgrund besonders hoher Elementgehalte in einer Moosprobe (*Brachythecium rutabulum*) wurde ein Standort in Sachsen (SN 21) im November 1997 (SN21 neu) nachbeprobt.

Aus dem Protokoll der Probenentnahme war ersichtlich, dass der Standort SN 21 in unmittelbarer Nähe eines Braunkohle-Tagebaus lag und somit den Vorschriften der Probenentnahme-Richtlinie nicht entsprach.

Eine zusätzliche Moosprobe wurde in ca. 5 km Entfernung auf einem geeigneten Standort entnommen. Um zeitabhängige und standortbedingte Unterschiede zu zeigen, wurden die Ergebnisse aus 1995 und 1997 dem Vergleichsstandort gegenübergestellt.

Neben den Standard-Elementen des Monitoring-Programms (s. Berichtsteil I) wurden zusätzlich die Elemente Molybdän und Thallium als Indikator für die vermutete Beeinträchtigung aus dem Tagebau in die Untersuchung eingeschlossen.

#### 2.3.1.2 Metallhütte (Nordenham)

Im Moos-Monitoring 1995/96 wurde im Bereich der Metallhütte von Nordenham an der Wesermündung ein neuer Standort in die Untersuchung aufgenommen, der im Moos-Monitoring 1990/91

nicht beprobt wurde. Dieser Standort zeichnete sich durch besonders hohe Elementgehalte von Arsen, Cadmium, Chrom, Eisen, Blei, Titan, Vanadium und Zink aus. Eine Nachbeprobung wurde im August 1998 im Umfeld des Emittenten in unterschiedlichen Entfernungen und Himmelsrichtungen durchgeführt, um einen möglichen Einfluss desselben aufzuzeigen. In Abb. 2 ist die Lage der einzelnen Standorte dargestellt.

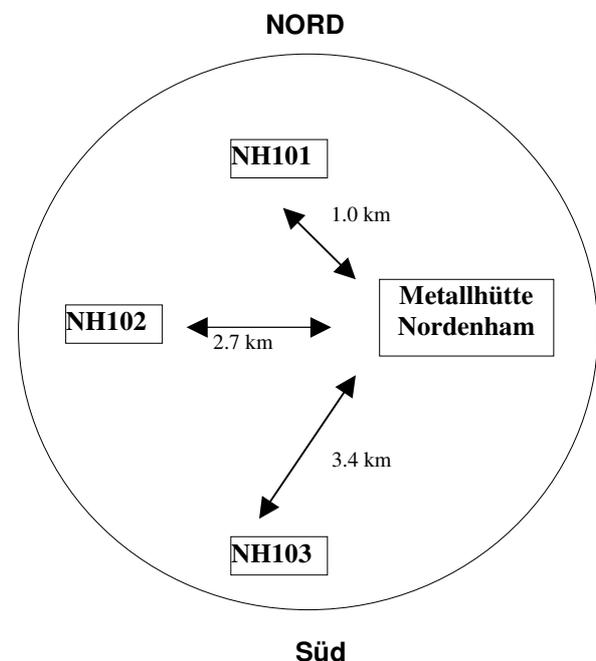


Abb. 2: Verteilung und Entfernungen der Entnahmestandorte von Moosproben im Bereich der Metallhütte Nordenham.

### 2.3.2 Wiederholungsmessungen von vier Moosproben aus Hamburg

Aufgrund einiger auffällig hoher Gehalte in den Moosproben in Hamburg aus 1995/96 und der generell über dem Bundesdurchschnitt liegenden Gehalte für die zwölf Elemente aus dem Berichtsteil I wurden in Absprache mit der zuständigen Landesforstverwaltung alle Proben nochmals aufgeschlossen und analysiert.

### 2.3.3 Nachbeprobungen in Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen waren auffällig hohe Elementgehalte an neun Standorten Anlass zu einer erneuten Beprobung. In Absprache mit der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten wurden diese Standorte mit unplausiblen hohen Elementgehalten im November 1997 erneut beprobt. Die Ergebnisse wurden denen aus der Untersuchung 1995/96 gegenübergestellt.

### 2.4 Vergleich der Ergebnisse aus den Moosanalysen mit den Daten aus den Depositionsmessungen des UBA - Luftmessnetzes (wet only und Schwebstaub)

Die Abschätzung von Depositionsraten aus den Metallgehalten in Moosen war mit Hilfe der Daten aus dem Depositionsmessprogramm (wet-only) des Umweltbundesamtes durchzuführen. Die Moosbeprobung sollte möglichst nahe an den Standorten der Depositionssammler erfolgen, um räumliche Verzerrungen bei der Gegenüberstellung der Daten auszuschließen.

Für diese vergleichende Betrachtung standen Daten von 27 UBA-Messtandorten zur Verfügung. Die Depositionsdaten der Schwermetalle im nassen Niederschlag wurden - als Jahreseinträge (g/ha\*a) - sowohl für das Jahr 1995 einzeln als auch als Summe der Jahre 1994 und 1995 den Elementgehalten in den Moosen gegenübergestellt.

Darüber hinaus wurden die Schwermetallgehalte im Schwebstaub (UBA - Luftmessnetz) mit den Moosdaten verglichen. Entsprechend des Probenentnahmedatums der Moose wurden die

jeweiligen Summen der Schwermetallgehalte im Schwebstaub der vorausgegangenen zwölf Monate verwendet. Für diesen Vergleich standen Daten von sieben Stationen des UBA-Luftmessnetzes zur Verfügung.

### 2.5 Vergleich von Moos- und Humusproben

Für das europäische Moos-Monitoring 1995/96 war seitens der skandinavischen Länder (RÜHLING 1994) vorgeschlagen worden, parallel zu der Moosbeprobung ebenfalls eine Entnahme von Humusproben am selben Standort vorzunehmen. Für Deutschland konnte dieser Vorschlag nur für Nordrhein-Westfalen realisiert werden. In Nordrhein-Westfalen wurde der Auflagehumus geteilt: Der obere Teil bestand aus einer Mischprobe der O<sub>1</sub> - („litter“: unzersetzte Humusauflage) und O<sub>f</sub> - (fermentierter Humus) Horizonte, der untere Teil aus dem O<sub>h</sub>-(humifizierten) Horizont.

Die Akkumulation von Elementen im Humuskörper von Waldstandorten stellt eine Art Senke dar, so dass die Elementgehalte in Moosen und Humus insbesondere zur Frage einer gegenseitigen Beeinflussung eine Antwort geben könnten.

### 2.6 Darstellung weiterer Elementgehalte in Moosen

Neben den zwölf bereits im Berichtsteil I behandelten Elementen (in Tab. 2 grau hinterlegt) werden im vorliegenden Berichtsteil II die Ergebnisse weiterer 28 Elemente vorgestellt, die in den Moosproben analysiert wurden.

Diese zusätzlichen Elemente sind zeitgleich aus derselben Aufschlusslösung und mit demselben Analyseverfahren (s. Kap. 2.9) gemessen wie die zwölf Elemente des Berichtsteils I.

Die Zahl der untersuchten Elemente geht somit weit über das Standard-Untersuchungsprogramm

des Moos-Monitoring-Programms (UBA - Auftrag) hinaus. Dadurch ergeben sich für die Interpretation der Elementdaten aus dem Standard-Programm zum Teil weitere Hinweise auf Immissionsmuster oder auf Quereinträge aus anderen Quellen, z. B. durch Boden- bzw. Staubverwehungen.

In der Tab. 2 sind die analysierten Elemente des Moos – Monitorings 1995/96 nach ihren durchschnittlichen Gehalten in der Erdkruste geordnet.

Tab. 2: Durchschnittliche Gehalte der Erdkruste nach Rösler & Lange (1975): Geochemische Tabellen (ppm = mg / kg)

Nr.		Element	Gehalt
1	Al	Aluminium	8,5 %
	<b>Fe</b>	<b>Eisen</b>	<b>4,65</b>
2	Ca	Calcium	3,0
3	Na	Natrium	2,5
4	K	Kalium	2,5
5	Mg	Magnesium	1,9
	<b>Ti</b>	<b>Titan</b>	<b>0,45</b>
6	Mn	Mangan	1000 ppm
7	Ba	Barium	650
8	Sr	Strontium	340
9	Rb	Rubidium	130
	<b>V</b>	<b>Vanadium</b>	<b>90</b>
	<b>Cr</b>	<b>Chrom</b>	<b>83</b>
	<b>Zn</b>	<b>Zink</b>	<b>83</b>
10	Ce	Cer	70
	<b>Ni</b>	<b>Nickel</b>	<b>58</b>
11	La	Lanthan	49
	<b>Cu</b>	<b>Kupfer</b>	<b>47</b>
12	Y	Yttrium	29
13	Ga	Gallium	19
14	Co	Kobalt	18
15	Sc	Scandium	10 - 27
	<b>Pb</b>	<b>Blei</b>	<b>16</b>
16	Th	Thorium	13
17	Be	Beryllium	3,8
18	Cs	Cäsium	3,7
19	U	Uran	2,5
20	Sn	Zinn	2,5
	<b>As</b>	<b>Arsen</b>	<b>1,7</b>
21	Ge	Germanium	1,5
22	W	Wolfram	1,3
23	Mo	Molybdän	1,1
24	Tl	Thallium	1,0

	<b>Sb</b>	<b>Antimon</b>	<b>0,5</b>
25	In	Indium	0,15
	<b>Cd</b>	<b>Cadmium</b>	<b>0,13</b>
	<b>Hg</b>	<b>Quecksilber</b>	<b>0,08</b>
26	Ag	Silber	0,07
27	Se	Selen	0,05
28	Bi	Wismut	0,01 ppm

## 2.7 Strukturelle und inhaltliche Verknüpfung der Ergebnisse des Moos-Monitorings mit anderen Programmen des Bundes und der Länder

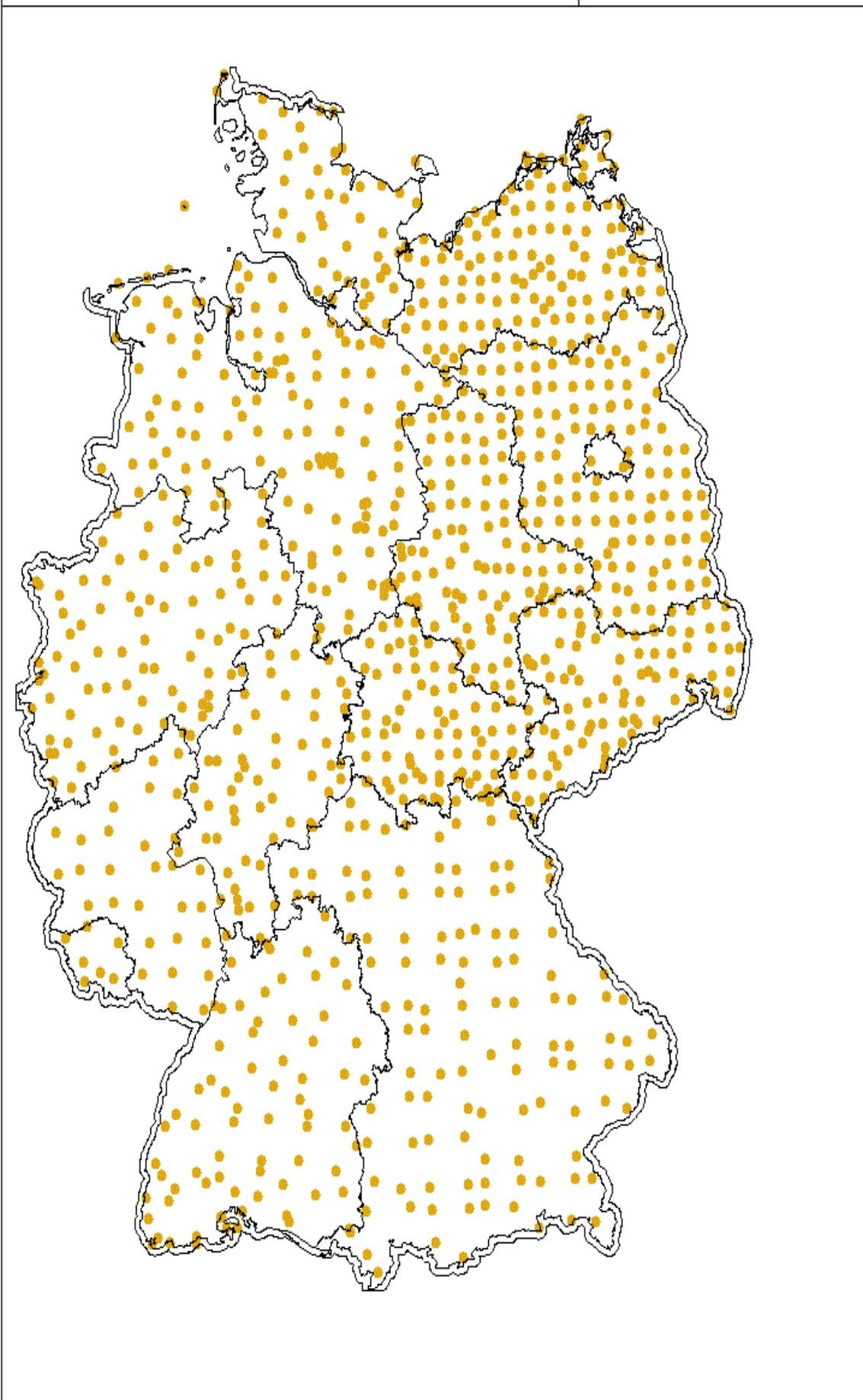
Ein wichtiger Aspekt bei der Optimierung des Moos - Messnetzes für die Beprobung 1995/96 (s. Berichtsteil I, Kap. 2.2.1 und 2.2.2) war der Versuch, eine mögliche inhaltliche Verknüpfung mit anderen Untersuchungsprogrammen des Bundes und der Länder zu erreichen. Wie am Beispiel des UBA – Luftmessnetzes bereits erfolgt, sind diejenigen Standorte des Moos - Messnetzes, die in den Untersuchungsgebieten anderer Programme liegen, aufzuzeigen und möglichst kartografisch zu unterlegen. Auch das derzeit vom Bund und den drei Ländern Bayern, Hessen und Thüringen gemeinsam durchgeführte Untersuchungsprogramm im Biosphärenreservat Rhön bietet hierzu eine Verknüpfung (Abb. Seite 8 und 9).

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Gehalte in Moosen in Deutschland mit den Daten aus dem Geochemischen Atlas für Bachwässer und Bachsedimente zu verknüpfen. Die Daten liegen digital vor (FAUTH et al. 1985). Aus dem Datenbestand für Bachwässer (etwa 76.000) und für Bachsedimente (etwa 66.000) lassen sich die geogenen und anthropogenen Gehalte aus den verschiedenen Regionen herausziehen. Ein erster Versuch stammt von BERLEKAMP et al. (1998). Der geochemische Atlas von Deutschland wird

gerade von der BGR aktualisiert und um des  
Beitrittsgebiet erweitert.

**der Lander**

Erarbeitung: Guntmar Schmidt  
Björn Schmidt



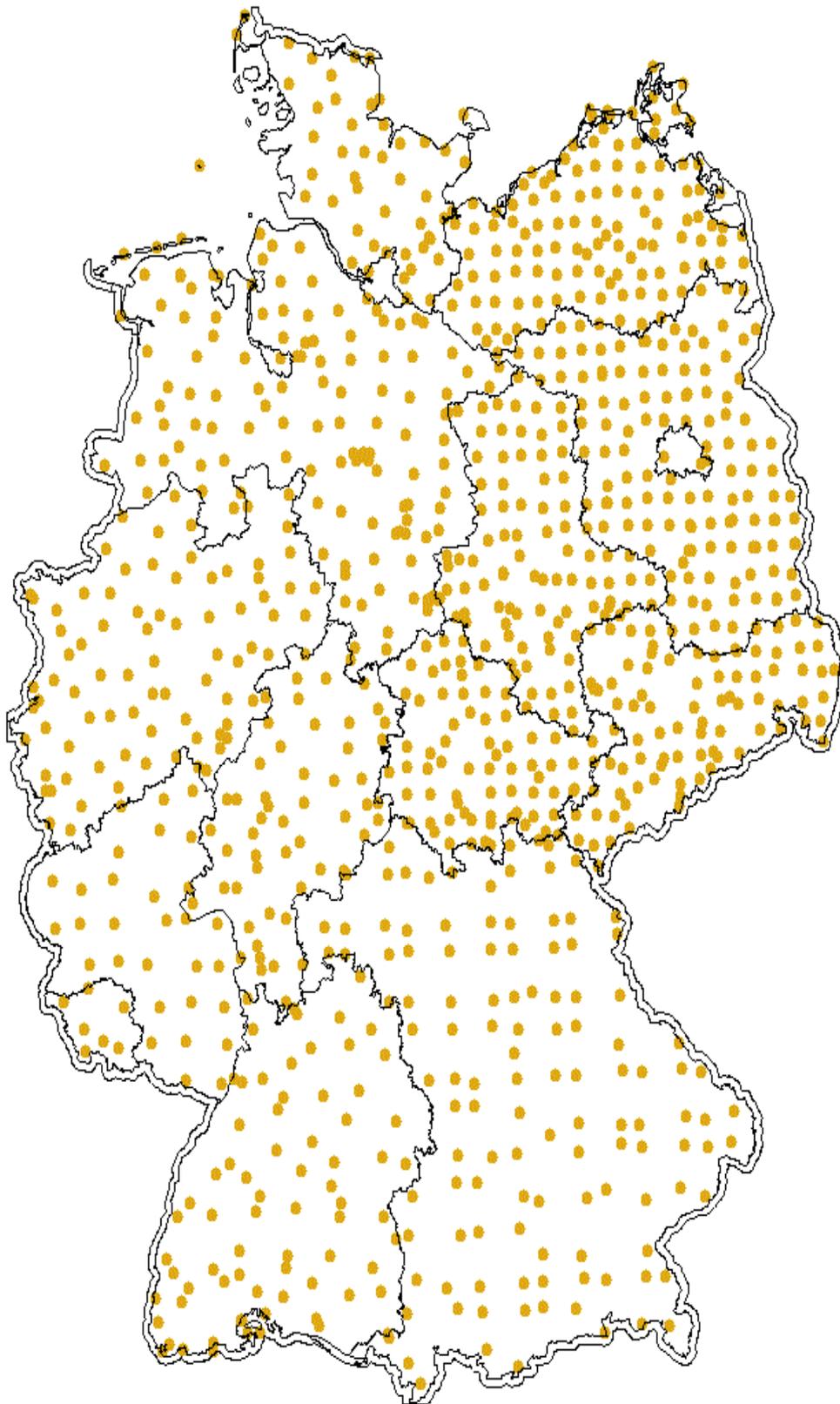
Projektion: Gauß-Krüger

Maßstab: 1 : 4.000.000

Quelle: DWD

**der Lander**

Erarbeitung: Guntmar Schmidt  
Björn Schmidt



Projektion: Gauß-Krüger

Maßstab: 1 : 4.000.000

Quelle: DWD

## 2.8 Vergleich der Ergebnisse des nationalen Moos-Monitorings 1995/96 mit den Ergebnissen anderer europäischer Staaten

Aufgrund enger Kooperationen mit den Wissenschaftlern aus den angrenzenden Staaten Dänemark, Polen, Tschechien, Österreich und Schweiz können die Mediane der Elementgehalte in den Moosen aus jenen Staaten den Ergebnissen von Deutschland gegenübergestellt werden.

In diesen Vergleich wurden auch die Staaten Schweden, Norwegen und Slowakien einbezogen.

Es liegen nur für zehn Elemente Vergleichswerte vor.

## 2.9 Probenaufschluss und Analytik

**Z**ur Probenaufbereitung siehe Kap. 2.3 im Berichtsteil I.

Von dem homogenisierten Probenmaterial wurden 250,0 mg in Teflongefäße eingewogen und mit 5,0 ml HNO<sub>3</sub> (Merck suprapur) und 2,0 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Merck) versetzt. Anschließend wurden die Proben in einer Mikrowelle (MLS-1200) in Teflon-Hochdruckbehältern (zugelassen bis 100 bar) aufgeschlossen und die klaren Lösungen ungefiltert mit aqua bidest. in 250 ml FEP-Gefäßen auf 200,0 g aufgefüllt.

## 2.10 Qualitätskontrolle

Die instrumentelle Messung der Proben erfolgte mit ICP-MS (Perkin Elmer – Sciex Elan 5000 A). Zusätzlich wurden zur Qualitätskontrolle der Messungen die Elemente K, Na, Mg, Ca, Fe, Mn, Al, Ba, Cu, Pb, Sr, Ti und Zn mit einer ICP-OES (Spectro Flame M) analysiert.

Nähere Angaben, auch zu den Nachweis- und Bestimmungsgrenzen liefern REIMANN et al. (1996, 1999).

Zur Qualitätskontrolle wurden Blindwertanalysen und Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit und Richtigkeit mit internationalen Referenzproben und einer eigenen Moos-Referenzprobe für alle Messungen des Programms durchgeführt. Ausführliche Hinweise gibt der Berichtsteil I.

## 2.11 Kartografische Darstellungen

Die vorgestellten Elemente werden gemäß dem Berichtsteil I, Kap. 2.4 (SIEWERS & HERPIN 1998) als farbige Isolinienkarten ausgegeben.