

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 (SCHRÖDER et al. 2002 a). 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 Schwermetallbelastung 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 Schwermetalleinträgen 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 zwei Berichtsteilen vorgelegt. Im **Berichtsteil I** wird die Bearbeitung folgender Teilziele dargestellt (SCHRÖDER et al. 2002 a):

- 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,
- Durchführung von Flächenschätzungen mit dem in den Vorgängerprojekten verwendeten IDW (Inverse Distance Weighted)-Verfahren,
- die Fortschreibung der UBA-Moosdatenbank mit den Ergebnissen des Moos-Monitoring 2000,
- Beschreibung der räumlichen Verteilung der Analysenergebnisse 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 sowie
- Beschreibung der Belastungsentwicklung der Standard- und Zusatzelemente seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995.

Im vorliegenden **Berichtsteil II** werden darüber hinaus folgende weitere Aufgabenschwerpunkte ausgearbeitet:

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

Der **Berichtsteil III** widmet sich ausschließlich der Optimierung eines zukünftigen Moos-Monitoring (SCHRÖDER et al. 2002 c). Dabei geht es 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 Moosartenspezifische Darstellungen

Hintergründe. In dem Moos-Monitoring Projekt 1990 wurde bereits überprüft, ob die verschiedenen Moosarten die Elemente unterschiedlich anreichern (Artenvariabilität) und inwieweit eine Gleichbehandlung der Hauptmoosarten (*Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme*) bei der Ergebnisdarstellung zulässig ist (HERPIN et al. 1995). Die im zweiten Moos-Monitoring Projekt 1995 durchgeführten Untersuchungen von SIEWERS und HERPIN (1998: 120 - 135) - die im Berichtsteil I (→ Kap. 2.3.2 Moosartenvariabilität) zusammenfassend dargestellt wurden – bringen das Ergebnis, keine Korrektur- und Umrechnungsfaktoren zu verwenden. Dies war einerseits darin begründet, dass weder beim Vergleich auf Landesebene (Mediane) noch bei der kartografischen Umsetzung nennenswerte Beeinflussung zu erkennen waren, was gleichermaßen auch für die Ein- bzw. Nichteinbeziehung der weiteren Fehlarten galt. Andererseits sollte besonders wegen der großen Streuungen der Messwerte an demselben Standort (Standortvariabilität) selbst bei jeder einzelnen Moosart in der elementabhängigen Größenordnung von 12 bis 28 % (SIEWERS et al. 2000: 12) auf eine Korrektur verzichtet werden.

Im Übrigen lassen sich diese Umrechnungen nur dann korrekt durchführen, wenn genügend Moosarten parallel an jeweils identischen Standorten entnommen werden und unter Berücksichtigung der Streuungen der Elementgehalte die gemittelten Faktoren errechnet werden. Im Moos-Monitoring 1995 lagen für *P.s.* und *S.p.* von 72 Standorten Moosartenpaare vor.

Des Weiteren kamen auch die Untersuchungen benachbarter europäischer Teilnehmerstaaten (Niederlande, Österreich, Schweiz) zum Artenvergleich zu dem Ergebnis, keine Umrechnungskoeffizienten zu verwenden, da die statistisch belastbare Datenmenge derzeit einen solchen Schritt nicht rechtfertigt (ZECHMEISTER 1997). ZECHMEISTER verweist darauf hin, dass bei der Ableitung von Korrekturfaktoren auch die unterschiedliche annuelle Biomassenbildung der einzelnen Moosarten einzubeziehen sei.

Wenn im Rahmen des Moos-Monitoring-Projekts 2000 nun dennoch eine weitergehende Behandlung des Artenvergleichs vorgenommen wird, so geschieht das insbesondere auf Wunsch des Arbeitskreises Bioindikation und Wirkungsermittlung (Beschluss der 43. Tagung am 26./27. April in Vechta). Dieser mit dem UBA abgestimmte Beschluss führt jedoch dazu, dass die ursprünglich vorgesehene multivariat-statistische und geostatistische Auswertung der Ergebnisse des Moos-Monitorings entfallen muss. Die Bearbeitung dieser vom Auftragnehmer als besonders wichtig und als weiterführend angesehenen Arbeitsschritte sollen im Rahmen einer Dissertation an der Hochschule Vechta erfolgen.

Zielsetzung. Die im Berichtsteil I vorgestellten Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 sollen für die Moosarten *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme* differenziert werden. Für diese drei Haupt- bzw. Ersatzmoosarten werden die Gehalte der Standardelemente As, Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb, Ti, V, Zn, Hg und Sb sowie der Zusatzelemente Al, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na und Sr in Diagrammen, Karten und Tabellen dargestellt. Dabei stehen drei Fragestellungen im Vordergrund:

1. Inwieweit unterscheiden sich die drei untersuchten Moosarten in ihrem Akkumulationsverhalten?
2. Inwieweit unterscheidet sich die moosartenabhängige Betrachtung der Elementgehalte im Moos-Monitoring 2000 von der moosartenunspezifischen Darstellung des Berichtsteils I?

3. Inwieweit unterscheidet sich die moosartenspezifische Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der Stoffgehalte in den drei Moos-Monitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000 von der im Berichtsteil I vorgeführten moosartenunabhängigen Darstellung?

Vorgehen. Die Fragestellungen 1 bis 3 werden primär in der Struktur des Berichtsteils I bearbeitet. Die moosartenspezifische Beschreibung der Ergebnisse aller drei Messperioden erfolgt anhand von Vergleichen der länderspezifischen Stoffgehalt-Mediane. Für jedes Element, jede Moosart und jedes Land wird die Zentraltendenz der Messdaten durch Mediane und in Balkendiagrammen dargestellt. Dies geschieht ohne Rücksicht darauf, ob bestimmte Moosarten nur an bestimmten Standorten mit spezifischen Luftbelastungen auftreten und ob alte Standorte mit inzwischen anderen Moosarten untersucht wurden. Auf dieser Basis erfolgen für jedes Element folgende Auswertungen:

- Die Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 werden für *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* anhand der landesbezogenen Mediane verglichen.
- Die moosartenspezifischen Mediane der Elementgehalte im Moos-Monitoring 2000 werden für *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* denen der moosartenunabhängigen Mediane gegenübergestellt.
- Die Entwicklung der Stoffgehalte seit dem Moos-Monitoring 1990 in den Moosarten *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* wird anhand der landesbezogenen Mediane mit der moosartenunabhängigen Entwicklung verglichen.

Die textliche Bearbeitung der aufgeführten Fragestellungen ist ausschließlich auf den Vergleich der Mediane pro Land und Moosart ausgerichtet. Für jedes Element erfolgt die Beschreibung in der Reihenfolge Artenvergleich – Stoffgehalte in *P.s.* - Stoffgehalte in *S.p.* - Stoffgehalte in *H.c.*. Die bereits im Berichtsteil I beschriebenen moosartenunabhängigen Mediendiagramme sind zur Übersicht für jedes Element erneut in den Text integriert worden. Die kartografischen Darstellungen werden auf klassifizierte Punktkarten von *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* aus dem Moos-Monitoring 2000 beschränkt (→ Anhang A.6.1, A.6.2,

A.6.3). Die Aussagekraft der in den Kapiteln 2.1 und 2.2 dargestellten Ergebnisse sollte vor dem Hintergrund der nachfolgend benannten statistischen und räumlich bedingten Unsicherheiten gesehen werden.

Räumlich bedingte Einschränkungen. Um statistisch abgesicherte Akkumulationstendenzen von *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* abzuleiten, ist es eigentlich nötig, die Elementgehalte von parallel am selben Standort entnommenen Moosproben zu vergleichen. Bei den hier durchgeführten Medianvergleichen werden jedoch Zentraltendenzen von Messwertverteilungen aus unterschiedlichen räumlichen Stichproben aus unterschiedlichen Ökosystemen gegenübergestellt.

Statistisch bedingte Einschränkungen. Aufgrund unterschiedlicher Standortbedingungen war weder eine gleichmäßige noch eine über die Jahre konstante Verteilung über das Bundesgebiet von *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* in den drei Moos-Monitoring-Vorhaben gegeben. Vielmehr dominiert in einigen Ländern oftmals eine der gewählten Moosarten während diese in anderen Ländern überhaupt nicht beprobt wurde (so wurde in 2000 in Baden-Württemberg fast ausschließlich *H.c.* beprobt). Der Anteil von *H.c.* in Deutschland verdoppelte sich zudem von 13 % in 1990 auf 26 % in 2000. Führt man demnach Ländervergleiche auf der Basis von Medianen durch, muss berücksichtigt werden, aus wie vielen Messergebnissen der jeweilige Median berechnet wurde. Die in den Kapiteln 2.1 und 2.2 dargestellten Balkendiagramme enthalten deshalb Angaben über die Anzahl der Messergebnisse, aus denen der jeweilige Landesmedian berechnet wurde.

In der textlichen Beschreibung der Medianvergleiche wird bei besonders problematischen Fällen auf die beschriebenen räumlich und statistisch bedingten Unsicherheiten hingewiesen. Des weiteren enthält der Anhang D.5 länderspezifische Angaben über Anzahl und Dichte der in den Moos-Monitoring-Vorhaben 1990, 1995 und 2000 mit *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* beprobten Standorte.