

Moosmonitoring: Langfristige Ökosystembeobachtung mit transparenter Datenhaltung

Hrsg.: Roland Pesch¹ und Winfried Schröder²

¹ Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta (rpesch@iuw.uni-vechta.de)

² Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta (wschroeder@iuw.uni-vechta.de)

Beitragsserie

Optimierung des Moosmonitoring-Messnetzes in Deutschland *

Roland Pesch^{1**}, Winfried Schröder¹, Helga Dieffenbach-Fries² und Lutz Genßler³

¹ Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta

² Umweltbundesamt - Fachgebiet II 5.4, UBA-Dienstgebäude Langen, Paul-Ehrlich-Str. 29, D-63225 Langen

³ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Leibnizstr. 10, D-45610 Recklinghausen (als Obmann stellvertretend für den Arbeitskreis Bioindikation und Wirkungsermittlung der Landesanstalten und -ämter) #

** Korrespondenzautor (rpesch@iuw.uni-vechta.de)

Otto Fränze zum 75. Geburtstag gewidmet

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2007.03.166>

Bitte zitieren Sie diesen Beitrag wie folgt: Pesch R, Schröder W, Dieffenbach-Fries H, Genßler L (2008): Optimierung des Moosmonitoring-Messnetzes in Deutschland. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20 (1) 49–61

Zusammenfassung

Ziel und Hintergrund. Deutschland beteiligte sich an den europäischen Moosmonitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000. deren Ziel ist die Kartierung der Metallakkumulation in Moosen als Vergleichswert für die Metalldeposition in terrestrischen Ökosystemen. Vor der vierten Untersuchung im Jahre 2005, die neben der Metall- erstmals auch die Stickstoff-Bioakkumulation umfasst, sollte untersucht werden, ob und wie das bis auf 1028 Standorte angewachsene Messnetz möglichst ohne Einschränkung der statistischen Aussagekraft reduziert werden kann. Hierbei sollte eine stärkere Vernetzung des Moosmonitoring mit anderen Umweltbeobachtungsprogrammen erreicht werden.

Methoden. Die Untersuchung stützt sich auf folgende Daten: Ergebnisse der Messung von bis zu jeweils 40 chemischen Elementen an 592 (1990), 1026 (1995) und 1028 (2000) Standorten in Deutschland; flächenhafte Daten über die Umgebung der Monitoring-Standorte in Bezug auf landschaftsökologische Ausstattung, Landnutzung, Stickstoff-Deposition und andere Umweltbeobachtungen. Diese Informationen wurden in vier Schritten mit Verfahren aus Geo-, Inferenz- und Perzentilstatistik sowie GIS ausgewertet.

Ergebnisse. Das Moosmonitoring-Messnetz für den Survey 2005 wurde von zuletzt 1028 Standorten auf 720 verringert ohne wesentliche Veränderung der Landschaftsrepräsentanz des Netzes, der geostatistischen Repräsentanz seiner Messwerte oder der Schätzung klassischer statistischer Kenngrößen.

Diskussion. Einschränkungen der räumlichen Dichte von Umweltmessnetzen sind vielfach aus Kostengründen nicht zu vermeiden oder aber aus fachlichen Gründen wie z.B. der Verknüpfung von mehreren Messprogrammen auch sinnvoll. In jedem Falle sollte die Umstrukturierung von Messnetzen möglichst nachvollziehbar erfolgen und eine quantitative Überprüfung anhand von Effizienz- und Suffizienzkriterien ermöglichen. Dies ist in der Praxis jedoch die Ausnahme.

Schlussfolgerungen. Die vorgestellte Methodik unterstützt die Restrukturierung von Umweltmessnetzen nachvollziehbar und ermöglicht, diese in ihren möglichen Auswirkungen auf die Informationsqualität anhand bisheriger Messdaten quantitativ zu beschreiben. Damit kann eine Effektivierung der Erhebung, Zusammenführung und Nutzung von Umweltdaten des Bundes und der Länder erreicht werden.

Empfehlungen und Perspektiven. Die Umweltbeobachtungen des Bundes und der Länder sollte auf Effizienz, Suffizienz und Verknüpfungsmöglichkeiten systematisch untersucht werden. Hierbei kann auf erprobte Verfahren zurückgegriffen werden. Effizienzsteigerungen werden nicht nur durch Restrukturierungen von Messnetzen möglich, sondern auch durch die informationelle Vernetzung bestehender Umweltdatenbanken anhand von Messnetz-Metadaten und ökologischen Raumgliederungen über das Internet.

Schlagwörter: Bioindikation; Geostatistik; Landschaftsrepräsentanz; Messnetzo Optimierung; Messnetzverknüpfung; Moosmonitoring; Nachbarschaftsanalysen

Abstract

Optimisation of the German Moss Monitoring Network

Goal and Scope. Germany participated in the European Heavy Metals in Mosses Surveys 1990, 1995 and 2000. The goal was to map the spatial distribution of the metal accumulation as a comparative measure for the metal deposition in terrestrial ecosystems. In the campaign in 2005, additionally nitrogen was monitored for the first time. It should be investigated how the monitoring network could be reduced from 1028 to 720 sites without any significant influence on chosen statistical criteria. Furthermore, the new network should be linked to other environmental monitoring programmes.

Methods. The reorganisation of the monitoring was based on the following data: measurement results of up to 40 elements from 592 (1990), 1026 (1995) and 1028 (2000) German moss monitoring sites, surface maps on the surroundings of the monitoring sites with regard to landscape ecological characteristics,

* ESS-Submission Editor: Univ.-Doz. Dr. Harald G. Zechmeister (Harald.Zechmeister@univie.ac.at)

Konzept des 'AK Bioindikation / Wirkungsermittlung der Landesanstalten und -ämter für Umwelt' in UWSF – Z Umweltchem Ökotox 13 (6) 375–378 (2001)

land use and nitrogen deposition as well as data from other environmental monitoring networks. These data sets were analysed in a four step procedure comprising geostatistics, inference and percentile statistics, and GIS methods.

Results. The moss monitoring network for the survey in 2005 could be reduced from 1028 to 720 monitoring sites without significant change of the landscape coverage of the monitoring sites, the geostatistical representativity of the measurement values or classical descriptive statistical measures.

Conclusions. The presented methodology assists the restructuring of environmental monitoring networks and enables to describe possible effects on the information quality quantitatively on basis of existing measurement data. Accordingly, the efficiency of the acquisition, integration and utilisation of environmental data from the federation and the federal states will be improved.

Recommendations and Perspectives. The environmental surveys of the federation and the federal states should be investigated with regard to efficiency, sufficiency and linking possibilities. This should be performed by applying proven methodologies.

Outlook. Next to improving the efficiency of environmental monitoring networks the existing environmental databases should be linked within a web-based GIS using metadata and ecological regionalisations describing the monitoring design.

Keywords: Bioindication; geostatistics; landscape representativity; linking of measurement nets; monitoring networks optimisation; moss monitoring; neighbourhood analyses

1 Ziel und Hintergrund

Moose reichern atmosphärische Depositionen über mehrere Jahre an und eignen sich daher für die großräumige und langfristige Kartierung von Metallen und Stickstoff in terrestrischen Ökosystemen (Forster et al. 1993, Genßler et al. 2001, Herpin et al. 2004, Kostka-Rick et al. 2001, Mohr 1999, 2007, Schröder & Pesch 2004, 2005, Schröder et al. 2008, Wappelhorst et al. 2000, Zechmeister et al. 2006). Das Moos-Monitoring ist seit 1990 ein wichtiger Bestandteil der Umweltbeobachtung von Bund und Ländern, deren Ziel es ist, methodisch harmonisierte, vergleichbare Daten zu einem Gesamtbild ohne geographische oder thematische Lücken flächendeckend verknüpfen zu können (§ 12 Abs. 3 Bundesnaturschutzgesetz und Gesetzeskommentar S. 81; BMU 1999; Präambel Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich). Dies setzt voraus, dass wissenschaftstheoretische Grundlagen (Schröder & Hofmann 2008) berücksichtigt und damit zusammenhängende praxisrelevante Aspekte der Datenqualität wie beispielsweise analytische Qualitätskontrolle, Methodenharmonisierung oder Repräsentativität (Schröder et al. 1991, 2004, Schröder & Schmidt 2000) dokumentiert werden. Zur Überprüfung dieser Anforderungen in der Praxis der Umweltbeobachtung wurden Instrumente entwickelt und exemplarisch angewendet (Schröder et al. 2002, Schröder & Schmidt 2003). In der vorliegenden Arbeit werden sie in ein Konzept zur quantitativen Bestimmung der Folgen einer Ausdünnung des deutschen Moosmonitoring-Netztes für die Aussagekraft der Monitoring-Daten i.S. der o.g. Anforderungen integriert. Dies sollte im Vorfeld der vierten Messkampagne des europäischen Heavy Metal in Mosses Survey er-

folgen (UFOPLAN FKZ 20564200), an dem Deutschland sich nach 1990, 1995 und 2000 im Jahr 2005 wieder beteiligte. Ziel dieses Biomonitoring-Programms war in den ersten drei Messkampagnen die Kartierung der Metallakkumulation in terrestrischen Ökosystemen, die vierte soll zusätzlich die Stickstoffakkumulation umfassen.

Zu untersuchen war, ob und wie das bis auf 1028 Standorte angewachsene Messnetz in Deutschland möglichst ohne Einschränkung der statistischen Aussagekraft auf 720 und damit der europaweiten Mindestdichte von 1,5 Moosprobenentnahmestellen pro 1000 qkm angenähert werden kann. Von einer exakten Angleichung an die europäische Vorgabe (entsprechend 536 Standorte bundesweit) wurde aufgrund bundeslandspezifischer Interessen abgesehen. Weiterhin sollte gleichzeitig eine stärkere Vernetzung des Moosmonitorings mit anderen Umweltbeobachtungen insbesondere der Umweltprobenbank¹ (Wagner et al. 1997), dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes² (Umweltbundesamt 2003), dem ICP Integrated Monitoring³ (Kleemola & Forsius 2006) und dem ICP Forests Level II⁴ (Wellbrock et al. 2003) erfolgen. Weiterhin sollte die räumliche Repräsentanz der Moosmonitoring-Standorte für die ökologischen Raumeinheiten Deutschlands (Schröder und Schmidt 2000), die Corine-Landnutzungs-kategorien (Keil et al. 2005), die räumlichen Schwerpunkte der Metall-Bioakkumulation (Schröder & Pesch 2005) sowie der modellierten Gesamtstickstoff-Deposition (Gauger et al. 2002) gewährleistet und statistisch bestimmt werden.

2 Methoden

Moose sind besonders für großflächige Inventuren der Bioakkumulation von Metallen und Stickstoff (N) geeignet (Markert et al. 2003, Herpin et al. 2004). Im Heavy Metals in Mosses Survey werden ektohydre Moose seit 1990 alle fünf Jahre an rund 7000 Standorten nach UNECE (2001) gesammelt, chemisch bestimmt und kartiert. Das deutsche Messnetz umfasste zunächst 592 (1990) Moosprobenentnahmestandorte und übertraf seit 1995 mit 1026 bzw. 1028 (2000) Standorten die europaweit vorgesehene Mindestdichte von 1,5 Sammelstellen pro 1000 qkm. In den Proben wurden die Konzentrationen von bis zu 40 chemischen Elementen bestimmt. Aus diesen Messdaten wurden elementspezifische Rasterkarten geostatistisch geschätzt. Anschließend wurde für jedes Rasterelement ein ordinal skaliertes Multi-Metall-Index berechnet, der die 1995 und 2000 gemessene Akkumulation von As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn zusammenfassend quantifiziert (Schröder und Pesch 2005). Der Index berechnet sich auf Basis des durchschnittlichen Rangs aller zwölf Metalle pro Rasterzelle und nimmt Werte zwischen 1 (geringe Metallakkumulation) und 10 (hohe Metallakkumulation) an.

Das Messnetz des Jahres 2000 sollte von 1028 Standorten auf 720 reduziert und dabei seine Effizienz unter Aufrechterhaltung seiner Suffizienz optimiert werden. Effizienz bedeutet hier zum einen, dass Messprogramme miteinander ver-

¹ <<http://www.umweltprobenbank.de>>

² <<http://www.umweltbundesamt.de/luft/index.htm>>

³ <<http://www.environment.fi/default.asp?contentid=17110&lan=en>>

⁴ <<http://www.icp-forests.org/MonLvII.htm>>

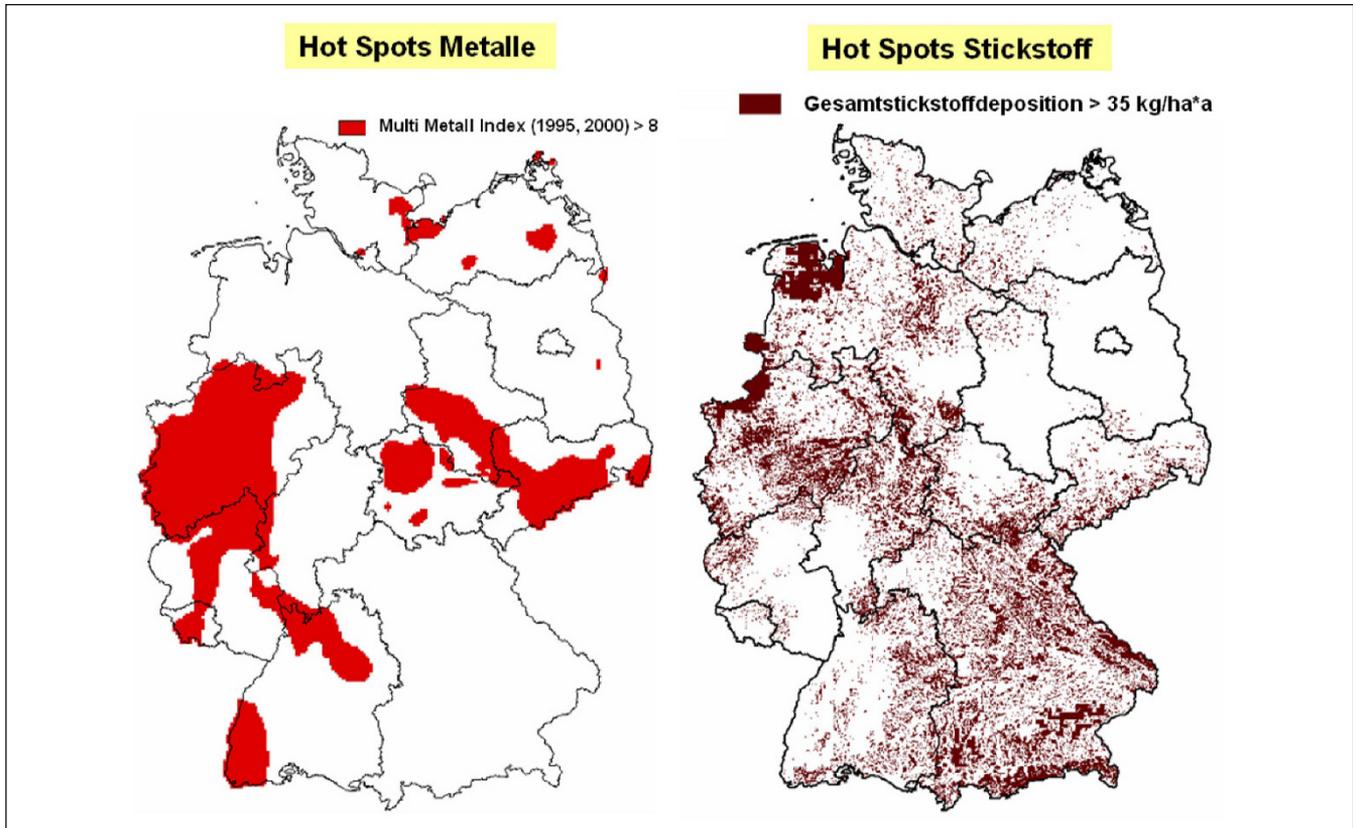


Abb. 1: Räumliche Schwerpunkte der Metall-Akkumulation (1995, 2000) und der N-Deposition (1999)

knüpft werden und somit einzelne Standorte multifunktional genutzt werden. Neben dieser Effizienzsteigerung durch Synergien bedeutet Effizienz auch, dass Moosproben nicht an mehr Standorten entnommen werden sollen als für die Erlangung zuverlässiger Informationen erforderlich sind. Suffizienz bedeutet hier, dass das auf 720 Standorte reduzierte Messnetz in (geo)statistischer, frequenzanalytischer und raumstruktureller Hinsicht dem Messnetz 2000 entspricht: Die Ausdünnung des Messnetzes sollte keine signifikanten Änderungen gegenüber dem Messnetz des Jahres 2000 in Bezug auf die durch die metallspezifischen Messwerte ausgedrückte Bioakkumulation sowie die geostatistische Validität der Messdaten herbeiführen. Ferner sollte im Sinne der Landschaftsrepräsentanz nach Schröder et al. (2002) gewährleistet werden, dass die 720 Standorte die 21 landschaftsökologischen Raumeinheiten Deutschlands nicht schlechter repräsentieren als die 1028 Standorte des Messnetzes 2000. Von einer entsprechenden flächenproportionalen Repräsentierung der 16 Bundesländer wurde zugunsten fachlicher Überlegungen abgesehen. Letztlich sollte die mit dem Multidimensionalen Nachbarschaftsrepräsentanzindex (MNR) gemessene raumstrukturelle Repräsentanz des Messnetzes sowie die potenziellen Metall- und N-Emissionen in einem 5 km-Umkreis der Probenentnahmestellen ohne statistisch signifikante Veränderungen bleiben. Wenn dies erreicht wird, gilt das ausgedünnte Messnetz 2005/2006 auch als suffizient.

Zur Operationalisierung der Kriterien Effizienz und Suffizienz bei der Messnetzrestrukturierung wurde ein vierstufiges

Konzept angewendet. Im ersten Schritt wurde eine Karte der Regionen mit einem aus den Daten 1995 und 2000 berechneten Multi-Metall-Index > 8 erzeugt und mit der nach Gauger et al. (2002) für 1999 berechneten jährlichen Überschreitung des N-Eintrags von $35 \text{ kg / ha} \cdot \text{a}$ (Abb. 1) verknüpft. Durch die Verschneidung dieser Metall- und N-Hot-Spots mit der Messnetzkarte des Moosmonitorings konnten die in den Hot Spots der Metallakkumulation und der N-Deposition befindlichen Moosmonitoring-Standorte identifiziert werden.

Im zweiten Schritt wurden die Moosmonitoring-Standorte der Hot-Spot-Regionen mit Standorten geeigneter Umweltbeobachtungsprogramme zusammengeführt. Dabei handelt es sich um Standorte des ICP Forests Level II, ICP Integrated Monitoring, der Umweltprobenbank und des UBA-Luftmessnetzes. An einigen Standorten dieser Umweltbeobachtungsprogramme wurden bereits Moosproben gesammelt. Wo dieses noch nicht geschah, sollte dies erfolgen. In dem ersten und zweiten Schritt wurden insgesamt 484 Monitoring-Standorte für die vierte Kampagne bestimmt. In der weiteren Auswahl waren aus den verbliebenen 544 Moosmonitoring-Standorten der letzten Kampagne ($1028 - 484 = 544$) 236 auszuwählen, um auf 720 Standorte für das neue Messnetz zu kommen.

Im dritten Schritt wurden unter den noch zur Auswahl stehenden 544 Standorten die jeweils nächsten Nachbarn berechnet. Sodann wurden von den Paaren mit einer räumli-

chen Distanz kleiner als 10 km diejenigen Standorte entfernt, die keine Hot Spots der Metallakkumulation sind, nicht in mehreren der bisherigen Kampagnen beprobt wurden und im Jahr 2000 nicht die prioritäre Moosart *Pleurozium schreberi* aufwiesen. Diese Selektion erfolgte schrittweise mit jeweils um 1 km größeren Distanzen, bis aus den 544 Standorten 236 ausgewählt waren. Zusammen mit den 484 Standorten des zweiten Auswahlstrittes waren somit 720 für das Monitoring selektiert.

Diese 720 Standorte waren im vierten Schritt Gegenstand statistischer Auswertungen. Sie umfassten die flächendeckende Berechnung a) des MNR in Bezug auf die landschaftsökologische Ausstattung, die Landnutzung und die N-Deposition, b) einer Kennziffer für potenzielle Metallemissionen und c) einer Kennziffer für potenzielle N-Emissionen sowie d) der Landschaftsrepräsentanz. Schließlich wurde geprüft, ob sich die Moosmonitoring-Messnetze 2000 und 2005/2006 in Bezug auf die Kriterien a) bis d) sowie hinsichtlich der Metallakkumulation statistisch signifikant unterscheiden.

Der MNR nach Vetter und Maas (1994) quantifiziert im Intervall [0,1] die Übereinstimmung der räumlichen Umgebung jeder Rasterzelle einer GIS-Karte mit derjenigen aller anderen Rasterzellen in Bezug auf mehrere Merkmale. In dieser Untersuchung wurden der MNR für die Merkmale landschaftsökologische Ausstattung nach Schröder und Schmidt (2000), die Landnutzung (Corine Landcover, Aufnahme Stand 2000; Keil et al. 2005) die Multi-Metallakkumulation 2000 sowie die N-Deposition 1999 (Gauger et al. 2002) berechnet. Die Kennziffern für Metall- und N-Emissionen wurde in Ermangelung der Verfügbarkeit hinreichend differenzierter Emissionskataster durch die Anteile urban-industrieller und landwirtschaftlicher Landnutzungen im 5 km-Umkreis der Moosprobenentnahmestandorte quantifiziert. Durch die Verknüpfung der Moosmonitoring-Standorte mit der landschaftsökologischen Raumgliederung nach Schröder und Schmidt (2000) im GIS konnte berechnet werden, in wie weit die Anzahl der Moosprobenentnahmestellen in den landschaftsökologischen Raumklassen deren Flächenanteilen in Deutschland entsprechen und insofern landschaftsrepräsentativ sind.

3 Ergebnisse

Für das Moosmonitoring-Messnetz 2005 wurden 720 Standorte nach dem in Kapitel 2 beschriebenen Verfahren ausgewählt. Hierunter befinden sich alle Moosmonitoring-Standorte aus den Metall- und N-Hot-Spots und solche, die weniger als 2 km entfernt sind von 80 Standorten des ICP Forests Level II, von 13 Standorten der Umweltprobenbank und von 8 Standorten des UBA Luftmessnetzes bzw. des ICP Integrated Monitoring. Integrierende Auswertungen mit den Ergebnissen der anderen Umweltbeobachtungsprogramme sind nun möglich. So können z.B. die Stickstoff- und Metallgehalte in den Moosen mit solchen in anderen Biota (z.B. in Blättern und Nadeln) und in der Deposition abgeglichen werden.

Zudem sind von den 500 Moos-Monitoring-Standorten, die sowohl 1990, 1995 und 2000 beprobt wurden, noch 355 (=

71%) in dem neuen Messnetz enthalten. Von den 884 Standorten, an denen 1995 und 2000 Moosproben entnommen wurden, befinden sich 583 (= 66%) im Messnetz 2005. Die drei Hauptmoosarten *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme* sind im Messnetz 2005 in annähernd demselben quantitativen Verhältnis – nämlich zwischen 64% und 83% – repräsentiert wie in demjenigen des Jahres 2000.

Diese vierstufige Operationalisierung der Kriterien Effizienz und Suffizienz ermöglicht einen differenzierten quantitativen Vergleich des neuen Messnetzes mit dem des Jahres 2000. Für 679 der 720 Standorte des Messnetzes 2005 liegen Messdaten über die Metallakkumulation im Jahr 2000 vor. Die Auswertungen zeigen: Weder auf Bundes- noch auf Länderebene ruft die Monitoring-Netzausdünnung signifikante Veränderungen relevanter statistischer Kennzahlen der Messdatenverteilung hervor (Tab. 1, s. Anhang). Dies zeigt sich sowohl hinsichtlich der 20er, 50er als auch der 90er Perzentile aller zwölf Metalle⁵. Am Beispiel der Abb. 2 wird zudem klar, dass die flächenbezogene Aussagekraft (geostatistische Validität) der Daten auch nicht eingeschränkt ist. Weder die Stärke der räumlichen Autokorrelation (ausgedrückt durch das nugget/sill-Verhältnis) noch die aus der Kreuzvalidierung abgeleitete Schätzgüte (ausgedrückt durch den Median der Prozentualen Fehler – MPF) zeigen nennenswerte Veränderungen. Auch die abgebildeten räumliche Trends unterscheiden sich zwischen beiden Messnetzen nicht wesentlich: Die über Differenzenbildung berechnete mittlere prozentuale Abweichung der aus den beiden Messwertverteilungen berechneten Flächenkarten liegt lediglich bei 5,2% (As), 3,5% (Cr) sowie bei 6% (Pb).

Bei der Landschaftsrepräsentanz (Abb. 3) ergeben sich wie auch bei der raumstrukturellen Repräsentanz (Abb. 4) der Messnetze 2000 sowie 2005 / 2006 keine Unterschiede. So repräsentiert das neue Messnetz die 21 landschaftsökologischen Raumklassen nach Schröder & Schmidt (2000) ähnlich gut wie das um 308 Standorte umfangreichere Messnetz 2000: Die maximale Über- bzw. Unterbelegung liegt in beiden Fällen lediglich bei ca. 3%. Bezüglich der durchschnittlichen Umgebung der 720 bzw. 1028 Standorte zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Dies gilt sowohl für den MNR wie auch für die Kennziffern für Metall- und N-Emissionen.

4 Diskussion

'Monitoring' ist ein aus dem Englischen⁶ entlehnter Überbegriff für alle Arten der Beobachtung intersubjektiv wahrnehmbarer Systemzustände im Zeitverlauf. Wenn die beobachteten Beziehungen zwischen Sachverhalten in Zahlen

⁵ Die Auswahl der perzentilstatistischen Kenngrößen resultiert aus deren Verwendung für die Berechnung eines Schwermetallindikators, der derzeit im Arbeitskreis Bioindikation / Wirkungsermittlung der Landesanstalten und -ämter erarbeitet wird.

⁶ Engl. monitoring = "something or someone that warns, an overseer". Ursprünglich war 'monitoring' beschränkt auf die Bedeutung "someone who gives a warning so that a mistake can be avoided". Heute bedeutet monitoring auch "the act of observing something", auch: "keeping a record of that observation; keep watch; keep track of; keep under surveillance; or, check usually for a special purpose" (Draggan 2006).

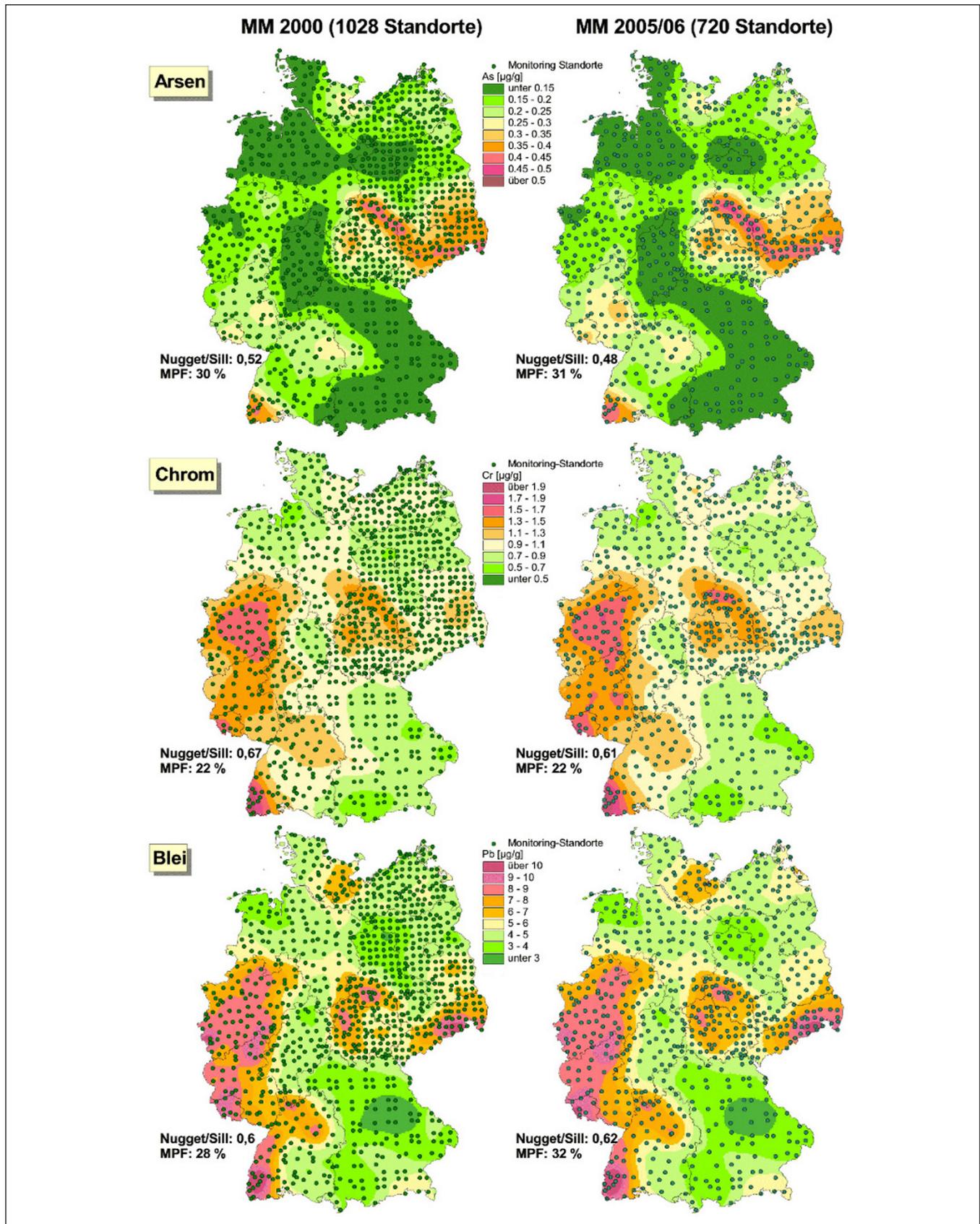


Abb. 2: Vergleich der geostatistischen Flächenschätzung der As-, Cr- und Pb-Akkumulation 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe

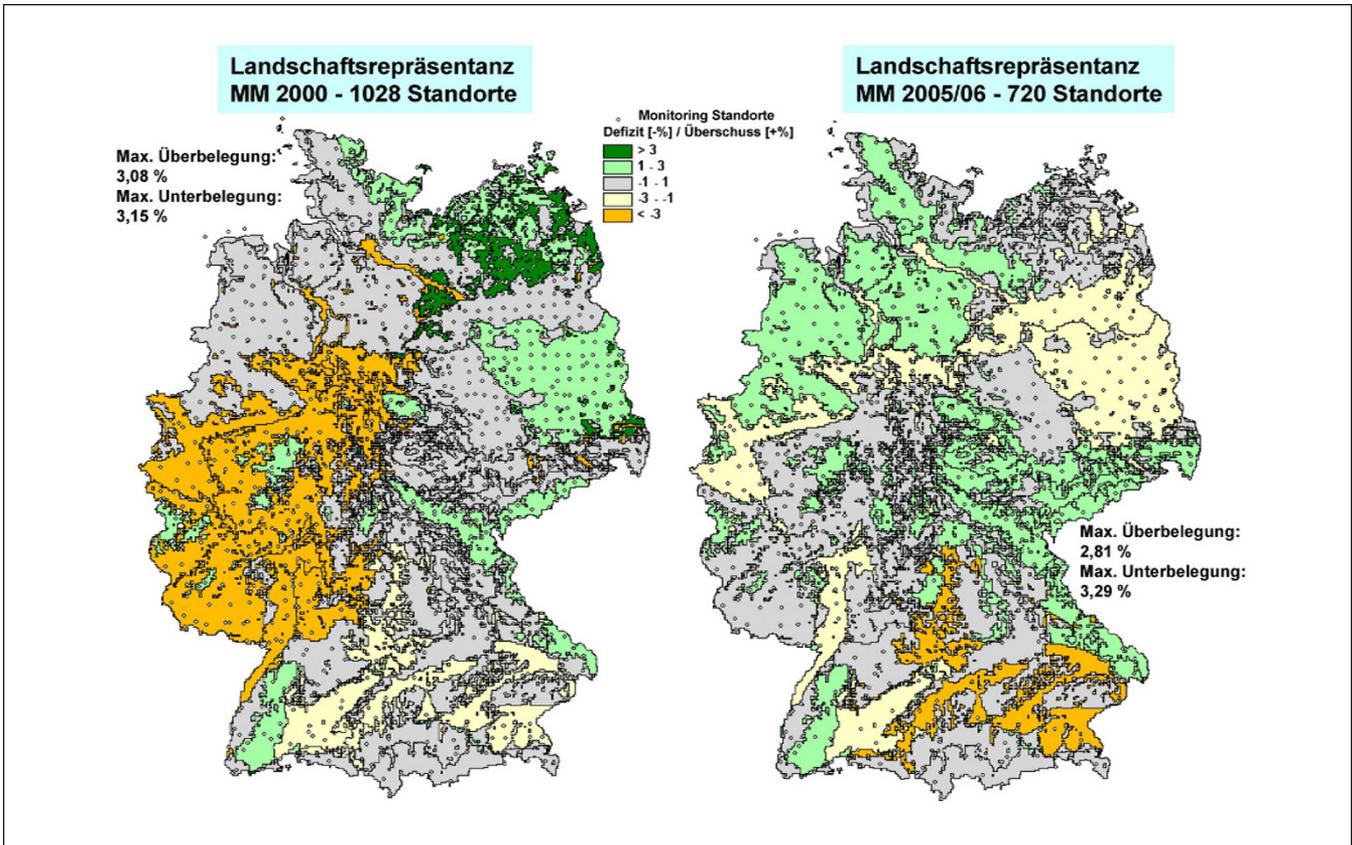


Abb. 3: Landschaftsrepräsentanz der Messnetze 2000 sowie 2005

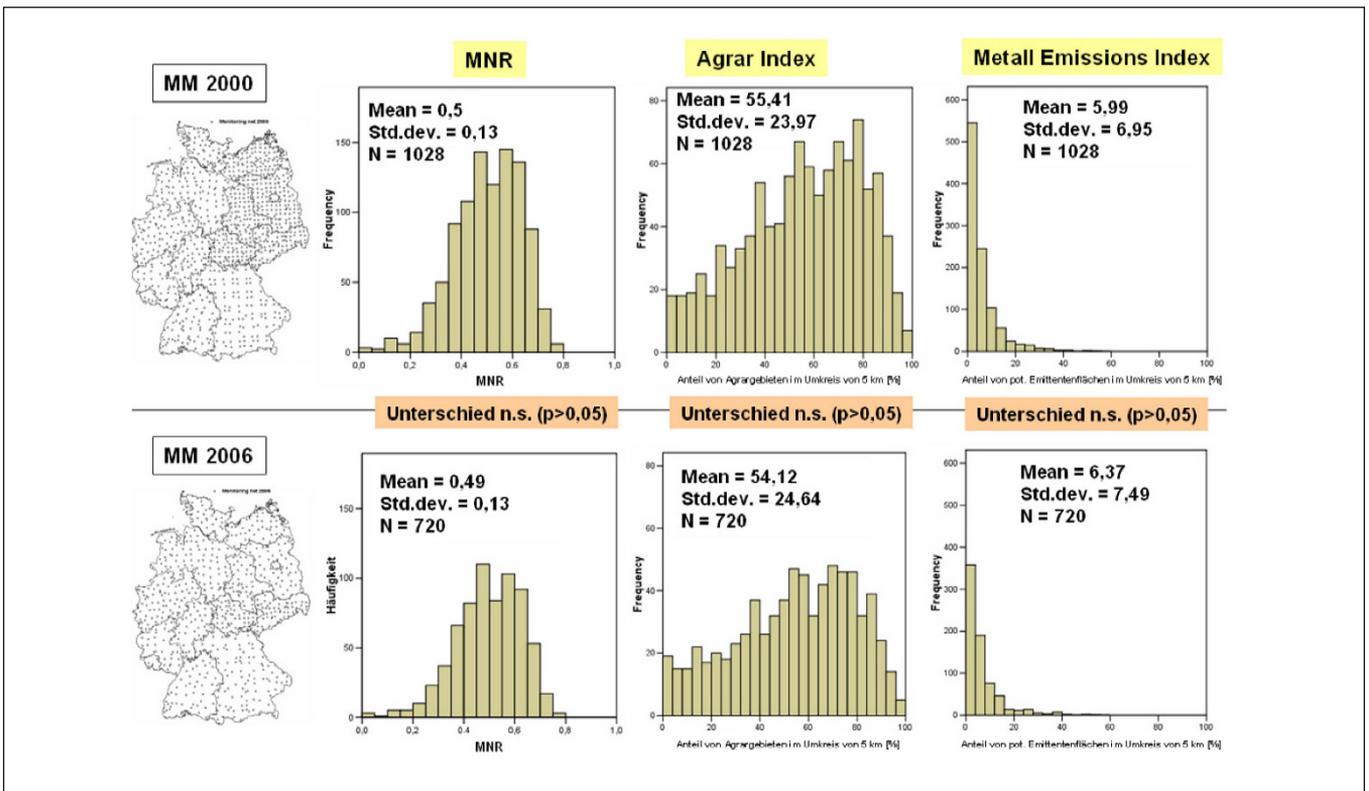


Abb. 4: Raumstrukturelle Repräsentanz der Messnetze 2000 sowie 2005

ausgedrückt werden, spricht man von Messungen (Stevens 1946). Die zahlenmäßige (quantitative) Erfassung realer Sachverhalte ermöglicht es,

1. viele Informationen mit statistischen Verfahren zusammenzufassen,
2. den Grad der Objektivität (Beobachterunabhängigkeit), der Präzision (Wiederholbarkeit, Zuverlässigkeit) und der Validität (Gültigkeit der Beziehung zwischen den Messgrößen / Indikatoren⁷ und dem Indikandum) zu quantifizieren sowie
3. Hypothesen zu testen.

Ausgangspunkt von Hypothesen sind auf Vorwissen und Beobachtungen gestützte Beschreibungen von Sachverhalten, für die eine Erklärung (Wie funktioniert das System?) oder daraus abgeleitete Prognosen (Wie wird sich das System entwickeln?) und Technologien (Was muss getan werden, um einen angestrebten Systemzustand zu ermöglichen?) gesucht werden. Umweltmonitoring soll hypothesengeleitet quantitative Beschreibungen der Zustände ökologischer Systeme und somit die Grundlagen für die o.g. weitergehenden Aussagen sowie für umweltrechtliche Regelungen liefern. Der Gültigkeitsbereich, die Validität der Umweltdaten sollte quantitativ fassbar sein.

Für die Validität von Umweltdaten werden mehrere Kriterien vorgeschlagen (Beier 1997, DIN 1995, Schröder et al. 1991). Diese und andere sind weithin akzeptiert, werden aber bislang bei der Umstrukturierung von Umweltmessnetzen häufig nicht angewendet, was unnötig zu deutlichen Einschränkungen der Messnetzvalidität führt. Beispiele aus dem Depositionsmonitoring und der Bodendauerbeobachtung behandeln Lehmann (2006) sowie Schröder et al. (2004).

Die Validität von Umweltdaten wird durch die Messungen bestimmt und kann darüber hinaus durch die gesamte Untersuchungsplanung entscheidend beeinflusst werden. Hierzu gehört die Konzeption und Operationalisierung der Erhebungsstrategie, nach der die Messungen räumlich und zeitlich anzuordnen sind. Dabei sollten Kenntnisse über die räumlichen und zeitlichen Strukturen der zu untersuchenden Merkmale sowie Verfahren zur Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Repräsentativität der Messungen genutzt werden (Beier 2000, Ripley 1981, Schröder et al. 1991, 2002, 2004).

5 Schlussfolgerungen

Diese Untersuchung zeigt, dass die Ausdünnung von Umweltmessnetzen nicht notwendigerweise zur Einschränkung ihrer Aussagekraft führen muss. Ferner wird nachgewiesen, dass eine an Optimierungskriterien orientierte Messnetzumstrukturierung statistisch operationalisiert und damit in ihren Auswirkungen für die Messnetzvalidität quantifiziert werden kann. Die vorgestellte Methodik unterstützt die Restrukturierung von Umweltmessnetzen in nachvollzieh-

barer Weise. Sie ermöglicht, den Umbau von Umweltmessnetzen in seinen Auswirkungen auf bestimmte Gesichtspunkte der Validität anhand bisheriger Messdaten quantitativ zu beschreiben. Damit kann eine Effektivierung der Erhebung, Zusammenführung und Nutzung von Umweltdaten des Bundes und der Länder erreicht werden.

6 Empfehlungen und Perspektiven

Bisherige Untersuchungen zeigen, dass die Umweltbeobachtungen des Bundes und der Länder dringend einer systematischen Untersuchung auf Effizienz, Suffizienz und Verknüpfungsmöglichkeiten bedürfen (Schröder und Schmidt 2003, Schröder et al. 2002). Hierbei sollte auf bewährte Verfahren zurückgegriffen werden (Beier 2000). Bei der Zusammenführung von Umweltbeobachtungsnetzen sollten nicht nur inhaltlich komplementäre Systeme betrachtet und horizontal miteinander verbunden werden (Ferretti 1997, 2001). Vielmehr geht es hierbei auch darum, eine vertikale Integration der Messungen über die verschiedenen Ebenen der ökosystemaren Organisation zu erreichen. Dies ist insbesondere auch bei der Planung neuer oder der Ergänzung bestehender Messnetze wie beispielsweise im Falle des Monitorings gentechnisch veränderter Pflanzen angezeigt (Schröder et al. 2006).

Die Steigerung der Effizienz in der Umweltbeobachtung wird nicht nur durch Restrukturierungen von Messnetzen ermöglicht. Vielmehr trägt hierzu auch die informationelle Vernetzung bestehender Umweltdatenbanken anhand von Messnetz-Metadaten und ökologischen Raumgliederungen über das Internet bei. Konzepte und praxiserprobte WebGIS-Entwicklungen liegen hierzu vor (Pesch et al. 2007, Schröder et al. 2008).

Literatur

- Beier R (2000): Die Validität von Umweltdaten. In: Fränzle O, Müller F, Schröder W (Hrsg), Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung, Landsberg am Lech, Kap. V-1.2 (6. Erg.Lfg.), 17 S.
- DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) (1995): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. Berlin
- Draggan S (2006): Monitoring. In: Guinasso N (ed), Encyclopedia of Earth. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment <<http://www.eoearth.org/article/Monitoring>>
- Ferretti M (1997): Forest health assessment and monitoring. Issues for consideration. Environ Monit Assess 48, 45–72
- Ferretti M (2001): Ecosystem monitoring. From the integration between measurements to the integration between networks. Pubblicazione del Corso di Cultura in Ecologia, Università degli studi di Padova, S. 3–54
- Forster E-M, Matthies M, Brüggemann R (1993): Optimierung eines Bioindikator-Messnetzes mit geostatistischen Methoden und einem geographischen Informationssystem. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 5 (5) 286–294
- Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Erisman JW, Vermeulen AT, Draaijers GPJ, Bleeker A, Nagel HD (2002): Mapping of ecosystem specific long-term trends in deposition loads and con-

⁷ Indikatoren im wissenschaftstheoretischen Sinne sind direkt messbare Teile eines komplexen Sachverhalts (Indikandum), die direkten Messungen nicht zugänglich ist (Gesundheit, Nachhaltigkeit, Ökosystemintegrität).

- centrations of air pollutants in Germany and their comparison with Critical Loads and Levels: Part 1: Deposition Loads 1990–1999. Final Report 29942210 on behalf of Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin
- Genßler L, Rademacher J, Rammert U (2001): Arbeitskreis der Landesanstalten und -ämter. Konzeption der künftigen Aufgabenbereiche. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 13 (6) 1–4
- Herpin U, Siewers U, Markert B, Rosolen V, Breulmann G, Bernoux M (2004): Second German heavy metal survey by means of mosses, and comparison of the first and second approach in Germany and other European countries. *Env Sci Pollut Res* 11 (1) 57–66
- Keil M, Kiefl R, Strunz G (2005): CORINE Land Cover 2000 – Germany. Final Report. German Aerospace Center, German Remote Sensing Data Center, Oberpfaffenhofen
- Kleemola S, Forsius M (eds) (2006): UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. FE30/2006 15th Annual Report 2006. *The Finnish Environment* 30/2006
- Kostka-Rick R, Leffler US, Markert B, Herpin U, Lusche M, Lehrke J (2001): Biomonitoring zur wirkungsbezogenen Ermittlung der Schadstoffbelastung in terrestrischen Ökosystemen. Konzeption, Durchführung und Beurteilungsmaßstäbe im Rahmen von Genehmigungsverfahren. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 12 (1) 5–12
- Lehmann CMB (2006): Atmospheric deposition monitoring to assess trends in atmospheric species. Urbana, Illinois, USA
- Markert B, Breure A, Zechmeister HG (eds) (2003): Bioindicators, biomonitors. Elsevier, Amsterdam
- Mohr K (1999): Passives Monitoring von Stickstoffeinträgen in Kiefernforsten mit dem Rotstengelmoss (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.). UWSF – Z Umweltchem Ökotox 11 (5) 267–274
- Mohr K (2003): Biomonitoring von Stickstoffimmissionen. Möglichkeiten und Grenzen von Bioindikationsverfahren. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (4) 255–264
- Pesch R, Schmidt G, Schröder W, Aden C, Kleppin L, Holy M (2007): Development, implementation and routine application of the WebGIS 'MossMet'. In: Scharl A, Tochtermann K (eds), *The Geospatial Web*. Springer, Berlin, S. 191–200
- Ripley BD (1981): *Spatial statistics*. John Wiley, New York
- Schröder W, Hofmann F (2008): Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Beobachtung von GVO-Umweltwirkungen. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20 (1) 2–8
- Schröder W, Hornsmann I, Pesch R, Schmidt G, Fränzle S, Wünschmann S, Heidenreich H, Markert B (2008): Moosmonitoring als Spiegel der Landnutzung? Stickstoff- und Metallakkumulation in Moosen zweier Regionen Mitteleuropas. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20 (1) 62–74
- Schröder W, Garbe-Schönberg CD, Fränzle O (1991): Die Validität von Umweltdaten. Kriterien für ihre Zuverlässigkeit: Repräsentativität, Qualitätssicherung und -kontrolle. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 4 (3) 237–241
- Schröder W, Pesch R (2004): The 1990, 1995 and 2000 moss monitoring data in Germany and other European countries. Trends and statistical aggregation of metal accumulation indicators. EHS – Gate to Environmental and Health Sciences Online First, pp 1–25 <DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/ehs.2004.06.011>>
- Schröder W, Pesch R (2005): Time series of metals in mosses and their correlation with selected sampling site-specific and eco-regional characteristics in Germany. *Env Sci Pollut Res* 12 (3) 159–167
- Schröder W, Pesch R, Schmidt G (2004): Soil monitoring in Germany. Spatial representativity and methodical comparability. *J Soils Sediments* 4 (1) 49–58
- Schröder W, Schmidt G (2000): Raumgliederung für die Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 12 (4) 237–243
- Schröder W, Schmidt G (2003): Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg. Ergebnisse eines Modellprojekts. In: Medienübergreifende Umweltbeobachtung. Stand und Perspektiven. Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz, Hrsg.), S. 39–60
- Schröder W, Schmidt G, Pesch R, Eckstein T (2002): Harmonisierung der Umweltbeobachtung. Instrumente zur Prüfung methodischer Vergleichbarkeit und räumlicher Repräsentanz. In: Fränzle O, Müller F, Schröder W (Hrsg), *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Landsberg am Lech, Kap. V–1.3 (8. Erg.Lfg.), 22 S.
- Schröder W, Weis M, Schmidt G (2006): Flächenbezogene Aspekte des Informationssystems GVO-Monitoring. Grafische Konzeption, Entwicklung und Erprobung raumbezogener Dokumentations- und Analysemethoden. Abschlussbericht des Teilvorhabens 3 in dem Verbundprojekt 'Informationssystem für ein Monitoring gentechnisch veränderter Organismen (ISMO)'. FKZ 804 67 030 im Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Bonn
- Stevens S (1946): On the theory of scales of measurement. *Science* 103 (2684) 677–680
- UFOPLAN FKZ 20564200 (in Bearbeitung): Moos-Monitoring 2005/06: Schwermetalle IV und Gesamtstickstoff. Auftragnehmer: Prof. Dr. Winfried Schröder (Projektleiter), Dr. Roland Pesch (Projektbearbeiter), Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta
- Umweltbundesamt (2003): Jahresbericht 2002 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. UBA Texte 89/03
- UNECE (2001): Monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Europe using bryophytes. *Experimental Protocol 2000 / 2001 Survey*, Bangor, UK
- Vetter L, Maas R (1994): Nachbarschaftsanalytische Verfahren. In: Schröder W, Vetter L, Fränzle O (Hrsg), *Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie*. Braunschweig, Wiesbaden, S. 103–107
- Wagner G, Klein B, Klein R, Müller P, Paulus M (1997): Umweltprobenbank. In: Fränzle O Müller F, Schröder W (Hrsg), *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Landsberg am Lech, Kap. V–1.3 (Grundwerk), 17 S.
- Wappelhorst O, Korhammer S, Leffler US, Markert B (2000): Ein Moosbiomonitoring zur Ermittlung atmosphärischer Elementeinträge in die Euroregion Neiße (D, PL, CZ). UWSF – Z Umweltchem Ökotox 12 (4) 191–200
- Wellbrock N, Wolff B, Rieck W, Schröder W (2003): Ansätze, Ergebnisse, Defizite und Perspektiven der Waldschadensforschung. In: Fränzle O, Müller F, Schröder W (Hrsg), *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Landsberg am Lech, München, Zürich, Kap. VI-2.3 (9. Erg.Lfg.), 28 S.
- Zechmeister HG, Dullinger S, Hohenwallner D, Riss A, Hanus-Illnar A, Scharf S (2006): Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria. *Env Sci Pollut Res* 13 (6) 398–405

Eingegangen: 19. Januar 2007
 Akzeptiert: 13. März 2007
 OnlineFirst: 14. März 2007

Anhang

Tabelle 1: Nach Bund und Ländern differenzierter Vergleich von perzentilstatistischen Kenngrößen des Jahres 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe 2005

Element	Bundesrepublik Deutschland						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
	n = 1028	n = 679	n = 1028	n = 679	n = 1028	n = 679	
As	0,160	0,160	0,110	0,100	0,380	0,392	p > 0,05
Cd	0,210	0,220	0,160	0,160	0,375	0,400	p > 0,05
Cr	0,910	0,950	0,690	0,700	1,622	1,742	p > 0,05
Cu	7,1	7,1	5,6	5,6	10,6	10,8	p > 0,05
Fe	343	351	236	228	661	720	p > 0,05
Hg	0,041	0,042	0,031	0,031	0,071	0,075	p > 0,05
Ni	1,13	1,18	0,83	0,84	2,21	2,41	p > 0,01
Pb	4,62	4,83	3,09	3,12	9,24	10,21	p > 0,05
Sb	0,150	0,160	0,110	0,110	0,260	0,280	p > 0,05
Ti	7,94	7,91	5,13	4,86	18,31	20,06	p > 0,05
V	1,06	1,13	0,74	0,74	1,96	2,10	p > 0,05
Zn	41,0	40,8	32,3	31,6	64,5	67,1	p > 0,05
Element	Baden Württemberg						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
	n = 78	n = 58	n = 78	n = 58	n = 78	n = 58	
As	0,195	0,225	0,149	0,153	0,392	0,456	p > 0,05
Cd	0,230	0,240	0,170	0,166	0,490	0,491	p > 0,05
Cr	1,103	1,230	0,877	0,926	1,771	1,964	p > 0,05
Cu	7,1	7,1	5,3	5,5	10,4	10,6	p > 0,05
Fe	460	499	329	359	766	771	p > 0,05
Hg	0,052	0,051	0,037	0,039	0,077	0,086	p > 0,05
Ni	2,04	2,18	1,40	1,63	3,35	3,43	p > 0,05
Pb	5,25	5,65	3,89	3,96	14,76	16,70	p > 0,05
Sb	0,165	0,180	0,120	0,126	0,321	0,352	p > 0,05
Ti	8,78	9,54	6,21	6,74	14,52	16,02	p > 0,05
V	1,41	1,48	0,99	1,02	2,60	2,82	p > 0,05
Zn	34,5	35,8	25,5	26,6	64,2	64,7	p > 0,05
Element	Bayern						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
	n = 119	n = 86	n = 119	n = 86	n = 119	n = 86	
As	0,110	0,100	0,080	0,080	0,200	0,167	p > 0,05
Cd	0,150	0,150	0,120	0,120	0,200	0,192	p > 0,05
Cr	0,710	0,710	0,600	0,600	1,085	1,061	p > 0,05
Cu	7,1	7,1	5,5	5,5	9,3	9,6	p > 0,05
Fe	243	234	181	178	430	402	p > 0,05
Hg	0,033	0,033	0,027	0,027	0,050	0,047	p > 0,05
Ni	0,96	0,93	0,72	0,71	1,59	1,53	p > 0,05
Pb	3,09	3,04	2,25	2,37	5,80	5,92	p > 0,05
Sb	0,140	0,140	0,100	0,110	0,260	0,264	p > 0,05
Ti	5,86	5,47	3,82	3,70	13,48	12,08	p > 0,05
V	0,74	0,72	0,57	0,56	1,23	1,15	p > 0,05
Zn	33,0	32,6	26,7	27,1	46,7	44,4	p > 0,05

Tabelle 1 (Fortsetzung): Nach Bund und Ländern differenzierter Vergleich von perzentilstatistischen Kenngrößen des Jahres 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe 2005

	Brandenburg + Berlin						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 124	n = 51	n = 124	n = 51	n = 124	n = 51	
As	0,190	0,180	0,110	0,100	0,376	0,350	p > 0,05
Cd	0,190	0,190	0,160	0,160	0,270	0,269	p > 0,05
Cr	0,830	0,810	0,648	0,640	1,304	1,130	p > 0,05
Cu	6,6	6,8	5,4	5,3	9,0	9,5	p > 0,05
Fe	335	306	228	217	588	537	p > 0,05
Hg	0,039	0,039	0,029	0,028	0,054	0,052	p > 0,05
Ni	0,97	0,97	0,76	0,81	1,30	1,31	p > 0,05
Pb	4,35	4,26	3,10	2,98	6,31	6,31	p > 0,05
Sb	0,150	0,155	0,110	0,094	0,230	0,223	p > 0,05
Ti	8,66	8,46	5,32	4,85	14,46	13,58	p > 0,05
V	0,95	0,95	0,70	0,67	1,55	1,69	p > 0,05
Zn	43,1	42,1	34,9	35,8	58,9	55,6	p > 0,05
	Hessen						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 60	n = 46	n = 60	n = 46	n = 60	n = 46	
As	0,103	0,100	0,080	0,080	0,195	0,192	p > 0,05
Cd	0,220	0,215	0,160	0,160	0,345	0,376	p > 0,05
Cr	0,875	0,835	0,640	0,618	1,354	1,318	p > 0,05
Cu	6,8	6,6	5,3	5,2	10,1	10,2	p > 0,05
Fe	298	278	215	201	532	536	p > 0,05
Hg	0,037	0,036	0,029	0,028	0,057	0,056	p > 0,05
Ni	1,29	1,19	0,87	0,85	2,21	2,38	p > 0,05
Pb	3,67	3,67	2,90	2,90	7,68	7,76	p > 0,05
Sb	0,160	0,150	0,116	0,112	0,245	0,240	p > 0,05
Ti	9,20	7,85	5,53	5,21	22,83	21,70	p > 0,05
V	0,83	0,82	0,64	0,63	1,59	1,60	p > 0,05
Zn	39,7	39,4	34,2	33,4	52,1	54,8	p > 0,05
	Mecklenburg-Vorpommern						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 113	n = 49	n = 113	n = 49	n = 113	n = 49	
As	0,160	0,180	0,120	0,130	0,320	0,320	p > 0,05
Cd	0,230	0,240	0,188	0,198	0,340	0,390	p > 0,05
Cr	0,840	0,895	0,630	0,676	1,326	1,482	p > 0,05
Cu	8,4	8,4	6,7	6,8	11,2	11,1	p > 0,05
Fe	350	387	252	262	704	775	p > 0,05
Hg	0,047	0,052	0,038	0,042	0,086	0,096	p > 0,05
Ni	1,11	1,26	0,83	0,90	2,00	2,50	p > 0,05
Pb	3,91	4,13	2,99	2,98	7,99	9,05	p > 0,05
Sb	0,130	0,140	0,100	0,100	0,200	0,243	p > 0,05
Ti	8,48	9,07	5,54	5,88	18,03	18,37	p > 0,05
V	1,16	1,31	0,82	0,84	2,27	2,18	p > 0,05
Zn	47,2	48,0	36,3	36,7	61,4	60,9	p > 0,05

Tabelle 1 (Fortsetzung): Nach Bund und Ländern differenzierter Vergleich von perzentilstatistischen Kenngrößen des Jahres 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe 2005

	Niedersachsen + Bremen -Vorpommern						
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 95	n = 81	n = 95	n = 81	n = 95	n = 81	U-Tests
As	0,120	0,120	0,080	0,080	0,184	0,180	p > 0,05
Cd	0,200	0,200	0,160	0,160	0,334	0,330	p > 0,05
Cr	0,830	0,845	0,642	0,660	1,208	1,206	p > 0,05
Cu	5,6	5,6	4,7	4,7	7,5	7,5	p > 0,05
Fe	246	245	191	192	432	431	p > 0,05
Hg	0,031	0,031	0,025	0,026	0,046	0,048	p > 0,05
Ni	0,87	0,87	0,70	0,71	1,24	1,24	p > 0,05
Pb	4,14	4,16	2,99	3,01	6,05	6,04	p > 0,05
Sb	0,150	0,150	0,102	0,110	0,252	0,252	p > 0,05
Ti	4,94	4,90	3,47	3,48	8,97	9,02	p > 0,05
V	1,19	1,17	0,81	0,81	1,71	1,70	p > 0,05
Zn	38,2	38,2	30,9	31,0	53,4	55,2	p > 0,05
	Nordrhein-Westfalen						
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 88	n = 77	n = 88	n = 77	n = 88	n = 77	U-Tests
As	0,160	0,160	0,119	0,114	0,250	0,251	p > 0,05
Cd	0,353	0,365	0,268	0,279	0,491	0,491	p > 0,05
Cr	1,320	1,320	1,010	1,038	1,908	1,908	p > 0,05
Cu	9,2	9,5	7,2	7,3	13,2	13,3	p > 0,05
Fe	401	407	306	308	575	575	p > 0,05
Hg	0,047	0,048	0,039	0,039	0,074	0,074	p > 0,05
Ni	1,54	1,59	1,16	1,17	2,53	2,55	p > 0,05
Pb	7,04	6,90	5,24	5,24	11,08	11,87	p > 0,05
Sb	0,235	0,235	0,160	0,160	0,391	0,402	p > 0,05
Ti	7,10	7,21	5,25	5,17	10,79	11,02	p > 0,05
V	1,46	1,45	1,01	1,00	2,05	2,07	p > 0,05
Zn	62,5	63,6	48,4	48,7	96,8	96,8	p > 0,05
	Rheinland-Pfalz + Saarland						
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 46	n = 37	n = 46	n = 37	n = 46	n = 37	U-Tests
As	0,210	0,210	0,140	0,140	0,519	0,540	p > 0,05
Cd	0,240	0,240	0,200	0,200	0,468	0,510	p > 0,05
Cr	1,245	1,260	0,978	0,970	2,302	2,330	p > 0,05
Cu	6,2	6,3	5,1	5,1	10,3	10,3	p > 0,05
Fe	432	438	330	328	1093	1172	p > 0,05
Hg	0,045	0,045	0,036	0,038	0,067	0,066	p > 0,05
Ni	1,70	1,70	1,10	1,12	2,86	3,06	p > 0,05
Pb	7,52	7,46	4,71	4,73	13,46	13,60	p > 0,05
Sb	0,170	0,170	0,120	0,120	0,290	0,290	p > 0,05
Ti	8,75	9,75	5,74	5,74	23,17	24,49	p > 0,05
V	1,38	1,43	1,06	1,02	2,58	2,69	p > 0,05
Zn	51,7	51,7	40,0	39,7	82,3	85,9	p > 0,05

Tabelle 1 (Fortsetzung): Nach Bund und Ländern differenzierter Vergleich von perzentilstatistischen Kenngrößen des Jahres 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe 2005

	Sachsen						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 83	n = 60	n = 83	n = 60	n = 83	n = 60	
As	0,300	0,320	0,226	0,232	0,674	0,678	p > 0,05
Cd	0,260	0,280	0,196	0,212	0,350	0,388	p > 0,05
Cr	0,920	0,930	0,770	0,790	1,570	1,580	p > 0,05
Cu	7,1	7,2	5,8	6,2	9,6	10,1	p > 0,05
Fe	377	383	302	313	739	741	p > 0,05
Hg	0,044	0,047	0,033	0,035	0,066	0,068	p > 0,05
Ni	1,33	1,40	0,94	0,96	2,46	2,52	p > 0,05
Pb	5,75	6,44	3,83	3,83	11,61	12,06	p > 0,05
Sb	0,160	0,160	0,120	0,120	0,260	0,258	p > 0,05
Ti	12,32	12,64	8,89	9,01	23,45	26,73	p > 0,05
V	0,96	1,01	0,76	0,76	1,90	1,92	p > 0,05
Zn	43,6	45,8	35,0	35,9	61,2	67,8	p > 0,05
	Sachsen-Anhalt						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 91	n = 48	n = 91	n = 48	n = 91	n = 48	
As	0,160	0,265	0,120	0,130	0,588	0,828	p > 0,05
Cd	0,200	0,205	0,154	0,158	0,424	0,476	p > 0,05
Cr	0,830	1,035	0,674	0,710	2,038	2,913	p > 0,05
Cu	7,3	7,6	5,7	6,2	13,2	13,6	p > 0,05
Fe	326	446	231	241	1004	1727	p > 0,05
Hg	0,041	0,049	0,032	0,036	0,103	0,138	p > 0,05
Ni	0,91	1,06	0,72	0,80	1,83	2,39	p > 0,05
Pb	3,60	4,68	2,73	2,99	10,78	12,38	p > 0,05
Sb	0,130	0,130	0,090	0,098	0,170	0,222	p > 0,05
Ti	8,87	11,27	5,80	5,81	27,30	47,74	p > 0,05
V	0,90	1,06	0,66	0,74	2,20	3,94	p > 0,05
Zn	40,2	39,9	33,8	32,5	78,1	96,7	p > 0,05
	Schleswig-Holstein + Hamburg						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
Element	n = 54	n = 34	n = 54	n = 34	n = 54	n = 34	
As	0,160	0,160	0,110	0,110	0,320	0,360	p > 0,05
Cd	0,205	0,210	0,160	0,152	0,360	0,356	p > 0,05
Cr	0,810	0,920	0,690	0,680	1,180	1,384	p > 0,05
Cu	6,9	6,8	5,3	5,4	11,5	12,3	p > 0,05
Fe	307	321	227	223	593	807	p > 0,05
Hg	0,042	0,043	0,028	0,029	0,067	0,071	p > 0,05
Ni	1,15	1,15	0,81	0,78	1,82	1,88	p > 0,05
Pb	4,99	4,95	3,28	3,05	8,77	8,90	p > 0,05
Sb	0,145	0,130	0,100	0,090	0,270	0,306	p > 0,05
Ti	7,24	7,46	4,97	4,60	15,99	22,26	p > 0,05
V	1,35	1,47	0,96	0,91	2,12	2,62	p > 0,05
Zn	35,0	34,9	28,2	26,2	66,5	60,1	p > 0,05

Tabelle 1 (Fortsetzung): Nach Bund und Ländern differenzierter Vergleich von perzentilstatistischen Kenngrößen des Jahres 2000 in der Vollstichprobe und in der für 2005 selektierten Teilstichprobe 2005

Element	Thüringen						U-Tests
	Median [$\mu\text{g/g}$]		20er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		90er Perz. [$\mu\text{g/g}$]		
	MM00	MM06	MM00	MM06	MM00	MM06	
	n = 77	n = 52	n = 77	n = 52	n = 77	n = 52	
As	0,240	0,250	0,160	0,160	0,532	0,540	p > 0,05
Cd	0,230	0,230	0,170	0,170	0,414	0,437	p > 0,05
Cr	1,070	1,070	0,796	0,796	1,858	2,062	p > 0,05
Cu	7,8	7,8	6,0	6,0	10,7	10,4	p > 0,05
Fe	445	446	309	293	910	986	p > 0,05
Hg	0,057	0,064	0,038	0,038	0,099	0,113	p > 0,05
Ni	1,32	1,40	0,94	0,95	2,25	2,35	p > 0,05
Pb	5,85	6,06	3,94	3,94	11,32	12,17	p > 0,05
Sb	0,170	0,170	0,120	0,116	0,240	0,240	p > 0,05
Ti	11,17	12,71	7,42	7,31	27,15	34,03	p > 0,05
V	1,13	1,18	0,77	0,77	2,21	2,50	p > 0,05
Zn	39,6	39,3	32,1	32,7	56,8	61,9	p > 0,05

Env Sci Pollut Res 12 (3) 159–167 (2005)

Time Series of Metals in Mosses and their Correlation with Selected Sampling Site-Specific and Ecoregional Characteristics in Germany

Winfried Schröder* and Roland Pesch

Institut für Umweltwissenschaften, PO 15 53, 49364 Vechta, Germany

* Corresponding author (wschroeder@iuw.uni-vechta.de)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/espr2005.04.246>

Abstract

Goal, Scope and Background. The UNECE Heavy Metals in Mosses Surveys provide exposure data (Predicted Environmental Concentrations – PEC) for ecotoxicological risk assessments by measuring the accumulation of several metals in naturally growing mosses throughout Europe. Germany took part in the monitoring campaigns 1990, 1995 and 2000. The article deals with the description and application of the extensive methodical design developed to investigate the following three hypotheses: 1. The metal accumulation in mosses measured at up to 1000 sites may be geostatistically extrapolated from the sampling sites to ecoregions in order to transform the site-specific PEC values to surface PEC values. 2. The metal specific measurement values may be aggregated to metals integrating accumulation indices. 3. The ecoregional situation as well as sampling site-specific topographical features such as altitude, slope gradient or direction influence the accumulation of metals in mosses.

Methods. The methodical design integrates several data sources as well as statistical analysis and GIS techniques: The site-specific data on metal accumulation are geostatistically transformed to valid surface data on metal accumulation. The sampling site-specific measurement data and the estimated surface data on the accumulation of As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V and Zn are aggregated to integrative metal accumulation indices by means of percentile statistics. The metal-specific estimated data and the metals integrating accumulation indices are correlated with site-specific data on altitude, slope gradient and direction as well as with the ecoregional conditions derived from a multivariate ecoregionalisation. The mean multi-metal accumulation index for the whole of Germany over the ten year period from 1990 to 2000 was related to the accumulation indices within each of the ecoregions and each of the monitoring campaigns 1990, 1995 and 2000. In addition to this ecoregionalisation of the temporal trends of metal accumulation, the hot spots of accumulation are mapped.

Results and Discussion. The Heavy Metals in Mosses Survey 2000 reveals low metal concentrations in most European countries. In Germany, all metals decreased about 22% (Cu) to 64% (Pb) from 1990 to

2000. Mapping concentrations as dot maps deliver the most unbiased and detailed picture of the spatial structure of the metal accumulation in mosses. This information, detailed with respect to metal species and sampling site, is spatially generalized by means of geostatistical estimation. According to the cross-validation, the precision of the geostatistical estimation is quite good so that the extrapolation does not bias the spatial structure, but helps to clarify it. By percentile statistics, an ordinarily scaled multi-metal accumulation index is calculated and spatially differentiated over time in terms of ecoregions which were calculated by means of Classification and Regression Trees (CART). The integrative statistical analysis reveals declinations of up to 80% of the multi-metal accumulation in some of Germany's ecoregions from 1990 to 2000.

Conclusion. The monitoring of heavy metal bioaccumulation by means of mosses is an effective and cheap method for the analysis of the environmental concentrations of metals accumulated in terrestrial ecosystems. Geostatistics, percentile statistics, cross-tabulations and ecoregionalisation serve well to clarify the spatial and temporal trends in the large data sets coming out of the UNECE Heavy Metals in Mosses Surveys: By combining these statistical methods and integrating them into a geographical information system (GIS), they allow to detect and map the spatial-temporal trends of metal accumulation, to calculate metal-integrating accumulation indices, to describe temporal trends of metal accumulation within ecoregions, and to detect and map hot spots.

Recommendation and Perspective. The spatial and temporal trends of metal accumulation in mosses should be linked with deposition data and data on the vitality of forest ecosystems, as well as with data on human health. Statistical valid interspecies calibration is needed. The integrated methodology of data evaluation presented in the article at hand should be implemented in the future UNECE Heavy Metals in Mosses Surveys. The hot spot areas should be investigated with special care in the 2005 survey to prove if the PEC values of the metals exceed the Predicted no Effect Concentrations (PNEC values). In addition to the metals, the 2005 survey should monitor the nitrogen accumulation in mosses.

Keywords: Classification and regression trees; contingency tabulation / cross-tabulation; cross-validation; ecoregionalisation; geostatistics; GIS; metals; measured / predicted environmental concentration (PEC); mosses; multi-metal accumulation index