

Umweltforschungsplan
des Bundesministers für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Umweltprobenbank einschließlich Human- und Biomonitoring

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 200 64 218

**Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren -
Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91,
1995/96 und 2000/01
- Synthesebericht -**

von

Prof. Dr. Winfried Schröder
(Projektleiter)

Dipl.-Forst. Patrick Anhelm	Torsten Peronne
Dr. Holger Bau	Dipl.-Geogr. Roland Pesch
Dr. Yehia Matter	Jens Pöhlker
Roland Mitze	Dr. Abdul Hanan Roostai
Dr. Karsten Mohr	Zakia Roostai
Dr. Ludwig Peichl	Dipl.-Geol. Gunther Schmidt
Dipl.-Geogr. Anette Peiter	Dr. Ulrich Siewers

(Bearbeiter/in)

Im Auftrag
des Umweltbundesamtes
Juni 2002

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01 - Synthesebericht -		
5. Autoren SCHRÖDER, W.; ANHELM, P.; BAU, H., MATTER, Y.; MITZE, R.; MOHR, K.; PEICHEL, L.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; PÖHLKER, J.; ROOSTAI, H.; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U.	8. Abschlussdatum 31.07.2002	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Institut für Umweltwissenschaften Hochschule Vechta Postfach 15 53 D-49364 Vechta	9. Veröffentlichungsdatum	
	10. UFOPLAN-Nr. 200 64 218	
	11. Seitenzahl 303	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 33 00 22 D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 64	
	13. Tabellen 37	
	14. Abbildungen, Karten 120	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Zusammenfassung Im Moos-Monitoring 2000 wurde mit Hilfe ausgewählter Moosarten der flächenhafte Eintrag von 20 Metall- und Schwermetallelementen in terrestrische Ökosysteme auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von ektohydren Moosen quantitativ erfasst. Die Ergebnisse des Vorhabens werden in drei Berichtsteilen vorgelegt. In der hier vorliegenden Zusammenfassung der Berichtsteile I bis III wird der atmosphärische Eintrag 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 auf dem Gebiet der BRD beschrieben und die räumliche Verteilung sowie zeitliche Entwicklung der Metalleinträge seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 statistisch und kartografisch dargestellt. Zusätzliche Arbeiten sind auf moosartenspezifische Auswertungen, die Entwicklung von Metallindizes sowie auf Optimierungsfragen ausgerichtet.		
17. Schlagwörter Bioindikation, Umweltmonitoring, Moos-Monitoring, atmosphärische Schwermetalleinträge		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Investigation of pollutant entries with the help of bioindicators: Evaluation of the results of the German Moss-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01 - Final Report -		
5. Autoren SCHRÖDER, W.; ANHELM, P.; BAU, H., MATTER, Y.; MITZE, R.; MOHR, K.; PEICHEL, L.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; PÖHLKER, J.; ROOSTAI, H.; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U.	8. Report date 31.07.2002	
6. Performing Organisation Institut für Umweltwissenschaften Hochschule Vechta Postfach 15 53 D-49364 Vechta	9. Publication Date	
	10. UFOPLAN-Ref. No 200 64 218	
	11. No of Pages 303	
7. Funding Agency Umweltbundesamt Postfach 33 00 22 D-14191 Berlin	12. No of Reference 64	
	13. No of Tables 37	
	14. No of Figures, maps 120	
15. Supplementary Notes		
16. Abstract In the German Moss-Monitoring 2000 the atmospheric input of 20 metal and heavy metal elements in terrestrial ecosystems in the area of the Federal Republic of Germany was quantitatively seized in a method-harmonized, quality-controlled chemical-analytic system with the help of selected moss species. The results of the project are submitted in three report parts. In this summary of the report parts I to III the atmospheric entry of the metal and heavy metal elements Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Na, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Sr, Ti, Zn in the area of the Federal Republic of Germany in a method-harmonized, quality-controlled chemical-analytic system is presented, including spatial distribution as well as temporal development of the metal entries since the Moos monitoring 1990 and/or 1995. Additional work aims at moss-specific evaluations, the development of metal indices as well as optimization questions.		
17. Key Words bioindication, environmental monitoring, moss monitoring, atmospheric pollutant entry, heavy metals		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele und -randbedingungen	26
2	Material und Methoden	29
2.1	Vorgaben.....	29
2.1.1	Messnetzgestaltung	29
2.1.2	Probenentnahme.....	29
2.1.3	Probenpräparation und Moosanalytik.....	30
2.1.4	Plausibilitätsprüfungen	31
2.1.5	Kartografische Darstellungen	32
2.1.6	Moosdatenbank und Moos-GIS.....	32
2.1.7	Abgleich mit Daten anderer Umweltbeobachtungsprogramme	33
2.2	Durchführung	34
2.2.1	Messnetzgestaltung	34
2.2.2	Probenentnahme.....	41
2.2.3	Probenpräparation und Moosanalytik.....	47
2.2.4	Plausibilitätsprüfungen	52
2.2.5	Kartografische Darstellungen	53
2.2.6	Moosdatenbanken und Moos-GIS.....	54
2.2.7	Abgleich mit Daten anderer Umweltbeobachtungsprogramme	55
2.3	Hinweise zur Interpretation der Daten.....	56
2.3.1	Standortvariabilität	56
2.3.2	Moosartenvariabilität	59
3	Elementgehalte und ihre zeitliche Entwicklung 1990 → 1995 → 2000.....	62
3.1	Standardelemente	66
3.1.1	Arsen.....	66
3.1.2	Cadmium.....	75

3.1.3	Chrom	83
3.1.4	Kupfer.....	91
3.1.5	Eisen	99
3.1.6	Nickel	107
3.1.7	Blei	115
3.1.8	Titan	124
3.1.9	Vanadium	131
3.1.10	Zink	139
3.1.11	Quecksilber	147
3.1.12	Antimon	155
3.2	Zusatzelemente	163
3.2.1	Aluminium	163
3.2.2	Barium.....	170
3.2.3	Calcium	177
3.2.4	Kalium	184
3.2.5	Magnesium.....	191
3.2.6	Mangan	198
3.2.7	Natrium.....	205
3.2.8	Strontium.....	212
4	Moosartenspezifische Auswertung	219
4.1	Standardelemente	222
4.2	Zusatzelemente	227
5	Schwermetallanreicherung in Moos als Umweltindikator	233
6	Optimierung der Moosprobenentnahme	238
7	Optimierung der Datenbankstruktur	244
7.1	Überarbeitung der bisherigen Datenbankstruktur	245

7.1.1	Homogenisierung der Datentabellen.....	246
7.1.2	Optimierung der UBA-Moos-Datenbankstruktur.....	249
7.2	Konzept für ein Internet- und GIS-gestütztes Umweltmonitoring-System (IGUS)	252
8	Geostatistische Analyse ausgewählter Moos-Monitoringdaten 2000	258
8.1	Theoretische Grundlagen.....	260
8.2	Datenanalyse und -transformation	265
8.3	Durchführung der Variogrammanalysen.....	269
8.4	Durchführung der Krigingprozeduren.....	272
8.5	Ausreißerererkennung und –bewertung.....	280
9	Entwicklung eines Moos-GIS	284
10	Bestimmung von Platin- und Palladium in <i>Pleurozium schreberi</i>	287
11	Zusammenfassung und Ausblick	292
12	Zitierte Literatur.....	297

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Box- und Whiskerplot nach SPSS	64
Abbildung 2: Mediane für Arsen im Moos-Monitoring 2000.....	74
Abbildung 3: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Arsen.....	74
Abbildung 4: Mediane für Cadmium im Moos-Monitoring 2000	82
Abbildung 5: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Cadmium.....	82
Abbildung 6: Mediane für Chrom im Moos-Monitoring 2000	90
Abbildung 7: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Chrom	90
Abbildung 8: Mediane für Kupfer im Moos-Monitoring 2000.....	98
Abbildung 9: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Kupfer.....	98
Abbildung 10: Mediane für Eisen im Moos-Monitoring 2000	106
Abbildung 11: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Eisen	106
Abbildung 12: Mediane für Nickel im Moos-Monitoring 2000	114
Abbildung 13: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Nickel	114
Abbildung 14: Mediane für Blei im Moos-Monitoring 2000	123
Abbildung 15: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Blei.....	123
Abbildung 16: Mediane für Titan im Moos-Monitoring 2000	130
Abbildung 17: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Titan	130
Abbildung 18: Mediane für Vanadium im Moos-Monitoring 2000	138
Abbildung 19: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Vanadium.....	138
Abbildung 20: Mediane für Zink im Moos-Monitoring 2000	146

Abbildung 21: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Zink	146
Abbildung 22: Mediane für Quecksilber im Moos-Monitoring 2000	154
Abbildung 23: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Quecksilber	154
Abbildung 24: Mediane für Antimon im Moos-Monitoring 2000	162
Abbildung 25: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Antimon	162
Abbildung 26: Mediane für Aluminium im Moos-Monitoring 2000.....	169
Abbildung 27: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Aluminium	169
Abbildung 28: Mediane für Barium im Moos-Monitoring 2000	176
Abbildung 29: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Barium.....	176
Abbildung 30: Mediane für Calcium im Moos-Monitoring 2000	183
Abbildung 31: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Calcium	183
Abbildung 32: Mediane für Kalium im Moos-Monitoring 2000	190
Abbildung 33: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Kalium	190
Abbildung 34: Mediane für Magnesium im Moos-Monitoring 2000.....	197
Abbildung 35: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Magnesium.....	197
Abbildung 36: Mediane für Mangan im Moos-Monitoring 2000	204
Abbildung 37: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Mangan	204
Abbildung 38: Mediane für Natrium im Moos-Monitoring 2000.....	211
Abbildung 39: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Natrium	211
Abbildung 40: Mediane für Strontium im Moos-Monitoring 2000	218

Abbildung 41: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Strontium.....	218
Abbildung 42: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990 – moosartenspezifisch	223
Abbildung 43: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 – moosartenspezifisch	224
Abbildung 44: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 2000 – moosartenspezifisch	224
Abbildung 45: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 – moosartenunspezifisch	225
Abbildung 46: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – <i>P.s.</i>	226
Abbildung 47: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – <i>S.p.</i>	226
Abbildung 48: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – <i>H.p.</i>	227
Abbildung 49: Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 - moosartenspezifisch	228
Abbildung 50: Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 2000 – moosartenspezifisch	229
Abbildung 51: Deutschlandweite Darstellung der Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 – moosartenunspezifisch	229
Abbildung 52: Deutschlandweite Darstellung der Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 für – <i>Pleurozium schreberi</i> ..	230
Abbildung 53: Deutschlandweite Darstellung der Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 für – <i>Scleropodium purum</i> .	231
Abbildung 54: Deutschlandweite Darstellung der Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 für – <i>Hypnum cupressiforme</i>	231
Abbildung 55: Umweltindikator Metalle Moos – Ländervergleich	237
Abbildung 56: Auslagern von Spalten in der UBA-Moos-Datenbank.....	251

Abbildung 57: Arbeitsabläufe im Moos-Monitoring bisher	256
Abbildung 58: Arbeitsabläufe im IGUS	257
Abbildung 59: Beispiel eines omnidirektionalen experimentellen Variogramms (Hg im Moos-Monitoring 2000).....	261
Abbildung 60: Variogrammmodelle	261
Abbildung 61: Beispiel einer Modellanpassung (Hg im Moos-Monitoring 2000)	262
Abbildung 62: Schätzung eines Rasterzellenwertes.....	263
Abbildung 63: Experimenteles Variogramm von Hg im Moos-Monitoring 2000 inkl. Probenpaare der ersten acht Distanzintervalle	270
Abbildung 64: Vergleich Pt-Gehalte an der A7 - km 96,5 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet	290
Abbildung 65: Vergleich Pd-Gehalte an der A7 - km 96,5 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet	290
Abbildung 66: Vergleich Pt-Gehalte an der A7 - km 117 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet	291
Abbildung 67: Vergleich Pd-Gehalte an der A7 - km 117 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet	291

Kartenverzeichnis

Karte 1: Übersicht der Probenentnahmestellen im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000	37
Karte 2: Durchgängig beprobte Standorte im Moosmonitoring 1990, 1995 und 2000	40
Karte 3: Kartografische Übersicht beprobter Moosarten im Moos-Monitoring 2000.....	44
Karte 4: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Arsen im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 475 Standorte) 20 km Suchradius.....	70
Karte 5: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Arsen im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1025 Standorte) 20 km Suchradius.....	70
Karte 6: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Arsen im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	71
Karte 7: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Cadmium im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 475 Standorte) 20 km Suchradius.....	78
Karte 8: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Cadmium im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	78
Karte 9: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Cadmium im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1027 Standorte) 20 km Suchradius.....	79
Karte 10: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Chrom im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	86
Karte 11: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Chrom im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	86
Karte 12: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Chrom im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1025 Standorte) 20 km Suchradius.....	87
Karte 13: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kupfer im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	94
Karte 14: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kupfer im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	94
Karte 15: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kupfer im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	95

Karte 16: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Eisen im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	102
Karte 17: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Eisen im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1025 Standorte) 20 km Suchradius.....	102
Karte 18: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Eisen im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	103
Karte 19: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Nickel im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	110
Karte 20: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Nickel im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	110
Karte 21: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Nickel im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	111
Karte 22: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Blei im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 591 Standorte) 20 km Suchradius.....	119
Karte 23: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Blei im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	119
Karte 24: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Blei im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	120
Karte 25: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Titan im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	126
Karte 26: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Titan im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	126
Karte 27: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Titan im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1023 Standorte) 20 km Suchradius.....	127
Karte 28: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Vanadium im Moos-Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	134
Karte 29: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Vanadium im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	134
Karte 30: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Vanadium im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1027 Standorte) 20 km Suchradius.....	135
Karte 31: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Zink im Moos-	

Monitoring 1990 (Basis: 592 Standorte) 20 km Suchradius.....	142
Karte 32: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Zink im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	142
Karte 33: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Zink im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	143
Karte 34: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Quecksilber im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	150
Karte 35: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Quecksilber im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	151
Karte 36: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Antimon im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	158
Karte 37: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Antimon im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	159
Karte 38: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Aluminium im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	165
Karte 39: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Aluminium im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	166
Karte 40: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Barium im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	172
Karte 41: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Barium im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	173
Karte 42: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Calcium im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	179
Karte 43: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Calcium im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	180
Karte 44: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kalium im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	186
Karte 45: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kalium im Moos- Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius.....	187
Karte 46: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Magnesium im Moos- Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius.....	193

Karte 47: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Magnesium im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius	194
Karte 48: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Mangan im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius	200
Karte 49: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Mangan im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius	201
Karte 50: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Natrium im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius	207
Karte 51: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Natrium im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius	208
Karte 52: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Strontium im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte) 20 km Suchradius	214
Karte 53: IDW-Interpolation der Messergebnisse für Strontium im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte) 20 km Suchradius	215

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Standorte und Messnetzdichten im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (erweitert n. SIEWERS (1998)).....	36
Tabelle 2: Veränderung der Standortanzahl und -dichte vom Moos-Monitoring 1995 bis zum Moos-Monitoring 2000.....	38
Tabelle 3: Entnommene Moosarten im Moos-Monitoring 2000 (ohne Mehrfachbeprobungen)	43
Tabelle 4: Vergleich entnommener Moosarten im Moos-Monitoring 1990, 1995 u. 2000	45
Tabelle 5: Entnahmezeiträume in den Ländern im Moos-Monitoring 2000	46
Tabelle 6: Darstellung der Mehrfachbeprobungen im Moos-Monitoring 2000 ..	47
Tabelle 7: Bestimmungsgrenzen ICP-MS	48
Tabelle 8: Bestimmungsgrenzen ICP-OES	49
Tabelle 9: Mittlere Variationskoeffizienten und deren Standardabweichungen für 4-9 Einzelproben an 49 Standorten (verändert nach SIEWERS et al. 2000)	57
Tabelle 10: Arsengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	72
Tabelle 11: Cadmiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	80
Tabelle 12: Chromgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	88
Tabelle 13: Kupfergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	96
Tabelle 14: Eisengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	104
Tabelle 15: Nickelgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	112
Tabelle 16: Bleigehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos- Monitoring 2000	121

Tabelle 17: Titangehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	128
Tabelle 18: Vanadiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	136
Tabelle 19: Zinkgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	144
Tabelle 20: Quecksilbergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	152
Tabelle 21: Antimongehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	160
Tabelle 22: Aluminiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	167
Tabelle 23: Bariumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	174
Tabelle 24: Calciumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	181
Tabelle 25: Kaliumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	188
Tabelle 26: Magnesiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	195
Tabelle 27: Mangangehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	202
Tabelle 28: Natriumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	209
Tabelle 29: Strontiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000	216
Tabelle 30: Verhältnis zwischen <i>P.s.</i> , <i>S.p.</i> und <i>H.c.</i>	232
Tabelle 31: Indexberechnung am Beispiel Arsen	235
Tabelle 32: Mindestabstände zu potenziellen Emissionsquellen.....	242
Tabelle 33: Zusammenfassung von Spalten in der UBA-Moosdatenbank	250

Tabelle 34: Deskriptiv-statistische Parameter ausgewählter Elemente aus dem Moos-Monitoring 2000 (Teil 1)	267
Tabelle 35: Schätzgütekriterien - Kreuzvalidierung	278
Tabelle 36: Schätzgütekriterien – Messwert-Rasterwertabgleich.....	279
Tabelle 37: Schätzgütekriterien der Kreuzvalidierung der lognormaltransformierten Daten – ohne räumliche Ausreißer.....	281

Danksagung

Das Projekt 200 64 218 „Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren - Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01“ wurde vom BMU finanziert und vom UBA fachlich begleitet. Die in den Abschlussberichten Teil I,II und III vorgestellten Ergebnisse sind durch die Zusammenarbeit vieler Beteiligter zustande gekommen. Den am Moos-Monitoring 2000 beteiligten Landesbehörden und ihren MitarbeiterInnen, die das Vorhaben im *Arbeitskreis Bioindikation und Wirkungsermittlung* fachlich begleiteten sei für die konstruktive Zusammenarbeit gedankt:

- Frau Dr. Zink, Herr Dr. Sattler (Landesanstalt für Umweltschutz und Natur, Mecklenburg-Vorpommern),
- Herr Mütterlein, Herr Küchler (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie),
- Herr Dr. Peichl (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz),
- Frau Dr. Rademacher (Landesumweltamt Brandenburg),
- Herr Dr. Schiller (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt),
- Herr Dr. Wolf (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie),
- Herr Radermacher (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen),
- Herr Genssler, Herr Dr. Gehrman (Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-Westfalen)
- Herr Dr. Wagner (Universität Trier),
- Herr Dr. Rammert (Landesamt für Natur und Umwelt, Schleswig-Holstein),
- Herr Reischl (Thüringer Landesanstalt für Umwelt),
- Herr Dr. Gebhardt, Herr Dr. Franke, Herr Broecker (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg),
- Herr Dr. Wahl (Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Rheinland-Pfalz),
- Herr Dr. Klaus-Peter Giesen (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie),
- Herr Gustav-Adolf Engeli (Landesforstverwaltung Hamburg),

- Herr von Dewitz (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin),
- Herr Prof. Dr. Zimmermann (Fachhochschule Bingen),
- Herr Erhardt (UMEG, Karlsruhe).

Allen, die das Projekt finanziell und ideell unterstützt haben, sei herzlich gedankt. Dies gilt vor allem für die Projektbetreuung durch Herrn Dr. Schlüter (UBA) sowie die beteiligten Projektpartner Herr Dr. Bau, Herr Dr. Matter, Herr Cipra (LUFA Hameln), Zakia und Dr. Abdul Hanan Roostai sowie Dr. Mohr (LUFA Nord-West). Für die wissenschaftliche Begleitung und fachliche Unterstützung sei besonders Frau Knetsch (UBA) und Herrn Dr. Siewers (BGR) gedankt. Die an diesem Projekt beteiligten wissenschaftlichen Angestellten (Dipl.-Math. Heidrun Matejka, Dipl.-Geogr. Roland Pesch, Dipl.-Geol. Gunther Schmidt) sowie die studentischen Hilfskräfte (Dipl.-Forst. Patrick Anhelm, Roland Mitze, Dipl.-Geogr. Anette Peiter, Torsten Peronne) haben mich sehr gut unterstützt. Bleibt dennoch Anlass zu Fragen oder Kritik, so bin ich gerne zur Diskussion bereit.

Vechta, im Juli 2002

Prof. Dr. W. Schröder

Abkürzungen (Teil 1 von 3)

Abkürzung	Bedeutung
A.a.	Abietinella abietina
AAS	Atomabsorptions-Spektrometrie
ACCESS	Datenbank-Software der Firma MicroSoft
Al	Aluminium
APR	Dateiformat bzw. Dateierweiterung einer ArcView-Projekt-Datei
ArcView GIS	GIS-Software der Firma Esri
As	Arsen
ASCII	American Standard Code for International Interchange
B.a.	Brachytecium albicans
B.r.	Brachytecium rutabulum
Ba	Barium
BB	Brandenburg
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen
BE	Berlin
BGR	Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
dbf	Dateiformat bzw. Dateierweiterung für eine dBaseIV-Datenbank
E.p.	Eurhynchium praelongum
ECE	Electrical & Computer Engineering
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
Level II-Programm	Walddauerbeobachtungsflächen des Forstlichen Monitorings in Europa (Level-II Programm)
Fe	Eisen
GIS	Geografisches Informationssystem bzw. Geo-Informationssystem
H.c.	Hypnum cupressiforme
H.j.	Hypnum juticulandum
H.s.	Hylocomium splendens
HE	Hessen
Hg	Quecksilber
HH	Hamburg

Abkürzungen (Teil 2 von 3)

Abkürzung	Bedeutung
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer
ID	Identifikationsziffer bzw. –zahl
IDW	Inverse Distance Weighted
IMP	Integrated Monitoring Programme
IUW	Institut für Umweltwissenschaften an der HS Vechta (FN)
K	Kalium
L.p.	Leckea polycarpa
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
mdb	Dateiformat bzw. Dateierweiterung für eine MS Access Datenbank
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
MS Access	Microsoft Access (Produktbezeichnung)
MS Excel	Microsoft Excel (Produktbezeichnung)
MV	Mecklenburg-Vorpommern
Na	Natrium
Ni	Nickel
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
P.s.	Pleurozium schreberi
P.u.	Plagiothecium undulatum
Pb	Blei
R.s.	Rhytidiadelphus squarrosus
R.t.	Rhytidiadelphus triguetrus
RP	Rheinland-Pfalz
S.p.	Scleropodium purum
Sb	Antimon
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
SPSS	Statistik-Software der Firma SPSS Inc.
Sr	Strontium
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
Ti	Titan

Abkürzungen (Teil 3 von 3)

Abkürzung	Bedeutung
UBA	Umweltbundesamt
UMEG	Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit (Baden-Württemberg)
UPB	Umweltprobenbank
V	Vanadium
Zn	Zink

Glossar (Teil 1 von 3)

Ausdruck	Bedeutung
98-Perzentile	Wert in einer nach der Größe geordneten Datenreihe, unterhalb dessen sich 98% aller Variablenwerte befinden
AAS (Atomabsorptions-Spektrometrie)-Kaldampf-Technik	Die AAS ist ein physikalisch-chemisches Verfahren zur Quantifizierung von Elementgehalten, beruhend auf der Wechselwirkung zwischen Atomen im dampfförmigen Zustand und elektromagnetischer Strahlung. Die AAS-Kaldampf-Technik ist das geeignete Verfahren für diejenigen Elemente, die gasförmige Hydride bilden (u.a. Hg, As, Sb) (STREIT 1991).
Ersatzmoosarten	Die Ersatzmoosarten im Moos-Monitoring sind diejenigen Moosarten, die erst bei Nicht-Auffinden der Hauptmoosart beprobt werden sollen. Im deutschen Moos-Monitoring 2000 sind Scleropodium purum und Hypnum cupressiforme die Ersatzmoosarten.
Extrapolation, räumliche	statistische Schätzung der flächenhaften Verteilung eines gemessenen Merkmals aus Punktmessungen
Fehlarten	Moosarten, die im deutschen Moos-Monitoring beprobt wurden, aber nicht zu den Haupt- und Ersatzmoosarten gehören.
Geo-Informationssystem/ Geografisches Informationssystem (GIS)	Software zur Verwaltung, statistischen Auswertung und kartografischen Abbildung räumlich verorteter Daten
Geostatistik	statistische Verfahren zur Untersuchung der räumlichen Autokorrelation punktuell gemessener metrisch-kontinuierlicher Daten (Variogramm-Analyse) und zu ihrer räumlich gewichteten Extrapolation (Kriging)
Hauptmoosart	Die Hauptmoosart im Moos-Monitoring ist diejenige Moosart, die vor allen anderen Moosarten beprobt werden soll. Im deutschen Moos-Monitoring stellt Pleurozium schreberi die Hauptmoosart dar.
IDW-Verfahren	Das IDW-Verfahren ist ein räumliches Interpolations-Verfahren, das zur Berechnung des Wertes jeweils einer Rasterzelle 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.

Glossar (Teil 2 von 3)

Ausdruck	Bedeutung
Indikator	Beobachtbarer, messbarer Sachverhalt, der als Teil eines komplexeren, nicht oder nur mit hohem Aufwand direkt messbaren Sachverhalts (Indikandum) auf diesen verweist; kann auch Ergebnis von Aggregierungsprozessen sein.
Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)	Bei der ICP-OES (zu deutsch: Optische Emissionsspektrometrie mit mit induktiv gekoppeltem Plasma) wird das induktiv gekoppelte Plasma als Anregungsquelle benutzt. Beim Übergang von Elektronen aus angeregten Atom- bzw. Ionenzuständen in niedrigere Energieniveaus werden elementspezifische Emissionslinien ausgesendet, deren Intensität proportional zur Elementkonzentration in der Messlösung ist.
Interquartilabstand	Abstand zwischen dem 75. und 25. Quartil einer Messwertverteilung
Kreuzvalidierung	ein in der Geostatistik gebräuchliches Instrument, um für ein gewähltes experimentelles Variogramm eine optimierte Modellanpassung durchzuführen. Aus der Gesamtmenge der Messpunkte wird nacheinander je ein Wert dem Datensatz entnommen und durch Kriging mit dem gewählten Modellvariogramm neu geschätzt.
Kriging	geostatistisches Verfahren zur Extrapolation von Punktdaten, das die mittels Variogramm-Analyse bestimmte räumliche Aussagereichweite punkthafter Messdaten (range) zur räumlich gewichteten Messdaten-Interpolation nutzt
Metadaten	Informationen über Messdaten (Wo werden sie erhoben? Wie werden sie erhoben? Wer erhebt sie?)
Normalisierung	Normalisierung ist ein Verfahren, bei dem in relationalen Datenbanken Relationsschemata (= Tabellen) soweit zerlegt werden, bis keine redundanten Daten mehr vorhanden sind.
Nugget-Effekt	Natürlicher Werteunterschied ein und derselben Messgröße zwischen zwei benachbarten Punkten. Im Variogramm ist dies der Abstand zwischen Ordinatenschnittpunkt und Ursprung des Variogramms auf der y-Achse.
relationale Datenbank	Datenmodell, das auf einem tabellaren Konzept beruht, bei dem sowohl die Daten selbst als auch Beziehungen zwischen Daten in Tabellenform gespeichert werden. Für jeden Entitätstyp, aber auch jede Beziehung wird dabei eine Tabelle angelegt, die dann über gemeinsame Attribute oder Identifikatoren (Schlüssel) in Beziehung gesetzt werden können.

Glossar (Teil 3 von 3)

Ausdruck	Bedeutung
Semivarianz	innerhalb vorzugebener Distanzintervalle die mittleren quadrierten Differenzen der Probenwerte
Sill	aus dem Variogramm abgeleitete dem range zugeordnete Semivarianz
Variationskoeffizient	Der Variationskoeffizient ist ein auf den Mittelwert bezogenes Streuungsmaß, das die Standardabweichung am Mittelwert relativiert.
Variogramm-Analyse	Statistisches Verfahren zur Quantifizierung des Raumausschnittes (range), in dem Messwerte autokorreliert sind und innerhalb dessen zwischen Messpunkten statistisch begründet und räumlich gewichtend z.B. mit Kriging interpoliert werden kann

1 Projektziele und -randbedingungen

Das in diesem Bericht 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 (SCHRÖDER et al. a bis c). Der vorliegende Synthesebericht fasst die Berichtteile I bis III zusammen. Es 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),
- Moosartenspezifische Auswertung der Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 (→ Kapitel 4),
- Entwicklung eines Schwermetallindex (→ Kapitel 5).
- Optimierung der Moosprobenentnahme (→ Kapitel 6),
- Optimierung der Datenbankstruktur (→ Kapitel 7),
- geostatistische Analyse der Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 2000 (→ Kapitel 8),
- Integration von messstandortbeschreibenden Angaben, Messdaten sowie daraus statistisch abgeleiteter Flächendaten in einem Moos-GIS (Geografisches Informationssystem) (→ Kapitel 9) sowie
- Untersuchung von Platin und Palladium in *Pleurozium schreberi* (→ Kapitel 10).

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 Forstlichen Monitorings in Europa (Level-II Programm) 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 2.2.3.

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 (LUFA) 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. Da-

zu 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 Standortdoku-

mentationen 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 Walddauerbeobachtungsflächen des Forstlichen Monitorings in Europa (Level-II Programm).

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, → Tabelle 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 (→ Tabelle 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 Tabelle 1 und Tabelle 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 Messnetzichten im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (erweitert n. SIEWERS (1998))

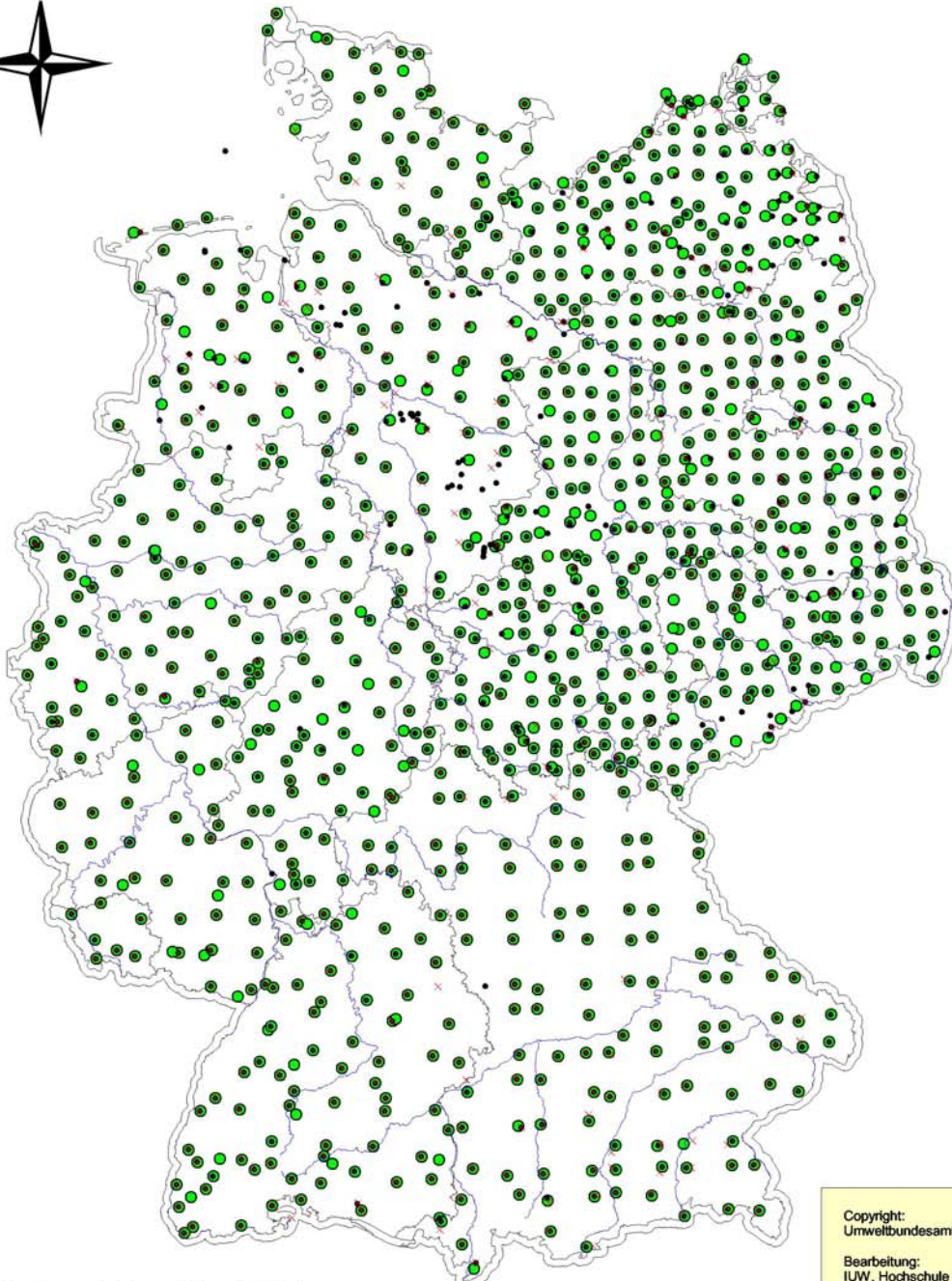
Land	Fläche [km²]	Standorte 1990/91	Standorte/ 1000 km²	Standorte 1995/96	Standorte/ 1000 km²	Standorte 2000/01	Standorte/ 1000 km²
Baden-Württemberg	35751	59	1,7	74	2,1	78	2,2
Bayern	70553	118	1,7	119	1,7	119	1,7
Berlin	889	3	3,4	3	3,4	3	3,4
Brandenburg	29476	55	1,9	126	4,3	121	4,1
Hamburg	755	4	5,3	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

Karte 1: Übersicht der Probenentnahmestellen im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



- × Probenentnahmestellen 1990/91
- Probenentnahmestellen 1995/96
- Probenentnahmestellen 2000/2001

Copyright:
Umweltbundesamt

Bearbeitung:
IUW, Hochschule Vechta

Datengrundlage:
Umweltbundesamt, Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
Koordinatensystem: Gauß-Grüger

100 0 100 200 Kilometer



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 Verkrautung, Zuwuchs oder dem Fehlen der zu entnehmenden Moosarten nicht wieder beprobt werden.

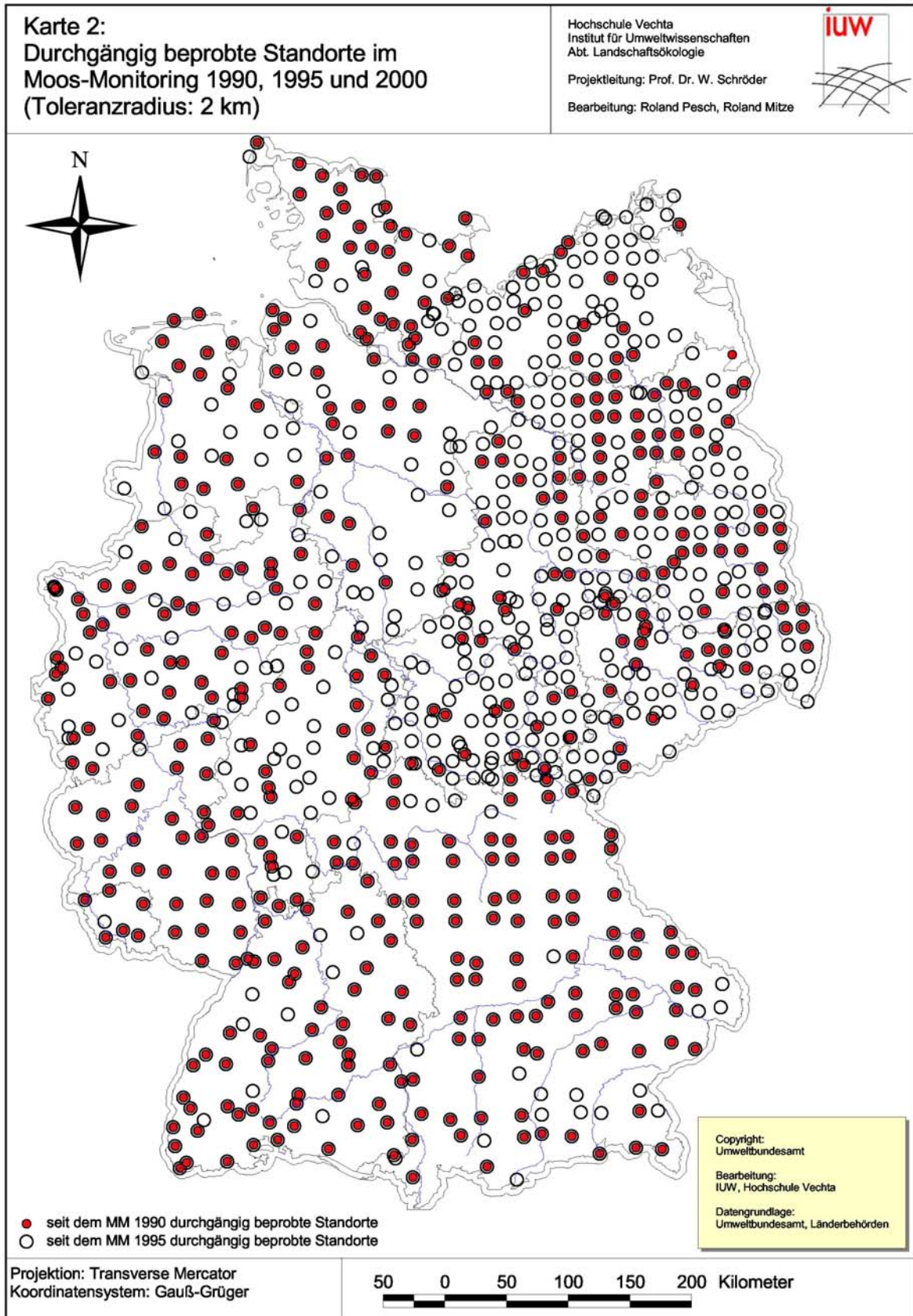
Dieselben Standorte? Ein Abgleich der Standortkoordinaten aus dem Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 ergab, dass nicht in allen Fällen Standorte, die um mehrere Kilometer verlegt wurden, auch unterschiedliche Probenstandortbenennungen erhielten. Gemäß der Vorgehensweise in Bayern wurde zwecks Identifizierung 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 Tabelle 3 und Tabelle 4 wiedergegeben und in der Karte 3 kartografisch dargestellt. In Bezug auf Mengenverhältnisse, räumliche Verteilung und Veränderungen seit dem Moos-Monitoring 1995 (→ Tabelle 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

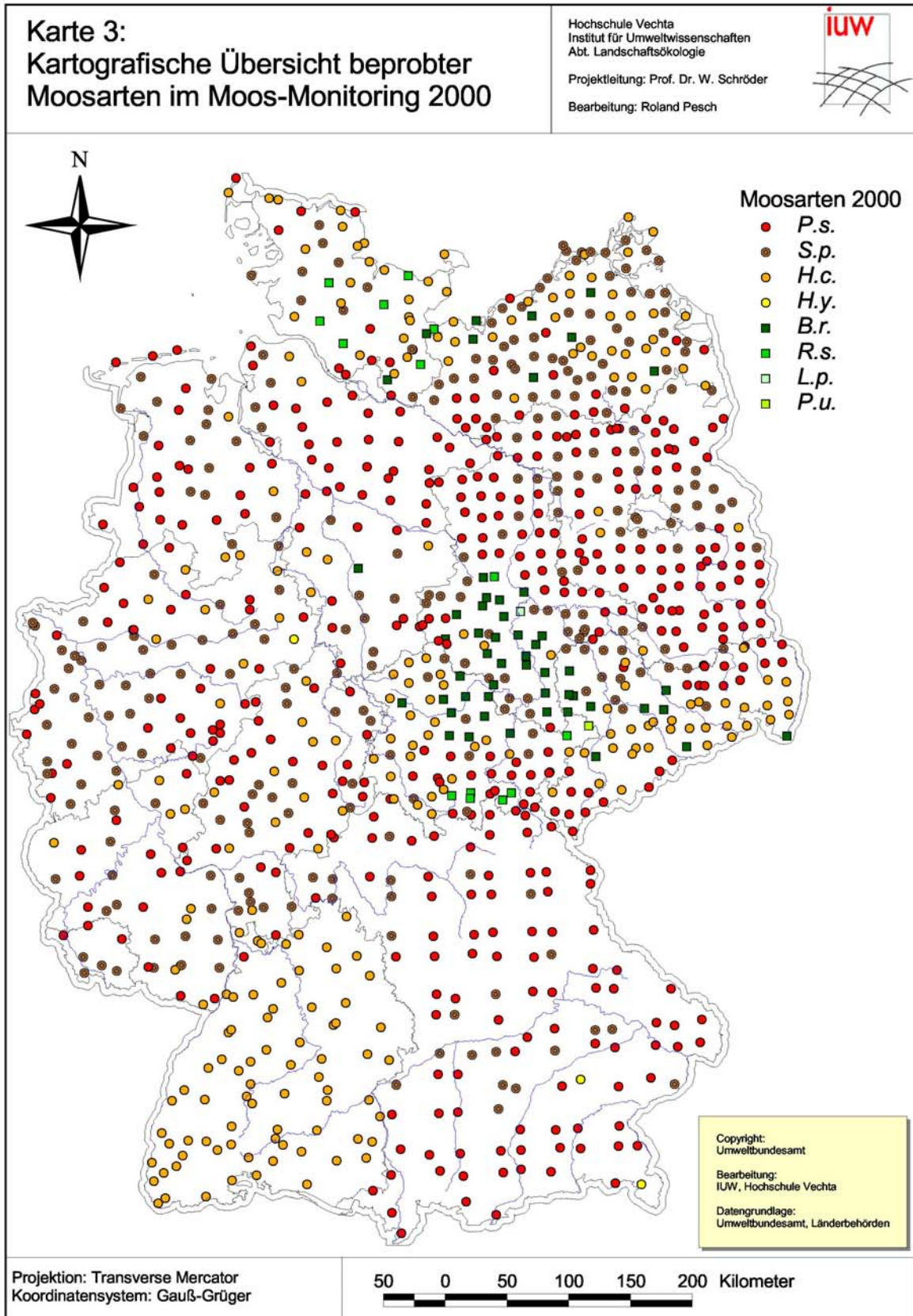


Tabelle 4: Vergleich entnommener Moosarten im Moos-Monitoring 1990, 1995 u. 2000

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 triquetrus</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 (→ Tabelle 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 (→ Tabelle 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 Aufschluszlösung 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 Analyseergebnisse einzelner Elemente aus der statisti-

schen Datenanalyse und den Flächenschätzungen herausgenommen. Eine Übersicht der aufgeführten Gründe für die Nicht-Plausibilität zeigt Anhang D.4.

2.2.5 Kartografische Darstellungen

Gemäß Vorgabe werden 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.** Zur flächenhaften Schätzung der Metalleinträge wird das bereits in den Vorgängerprojekten verwendete IDW-Verfahren 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 erstellen

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 Kapitel 7.2 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 Kapitel 9 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 (→ SCHRÖDER et al. 2002 b) konnten die von den Ländern beprobten Standorte des Forstlichen Monitorings in Europa (Level-II Programm), 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). Im Kapitel 4 erfolgt darüberhinaus eine Zusammenfassung der moosartenspezifischen Auswertungen der Ergebnisse der Moos-Monitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000 des Teils II des Abschlussberichts Moos-Monitoring 2000 (SCHRÖDER 2002 b).

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 Element-Mittelwerte, -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 unterschiedliche 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 geländestrukturale 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 Kapitel 4.

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.

3 Elementgehalte und ihre zeitliche Entwicklung 1990 → 1995 → 2000

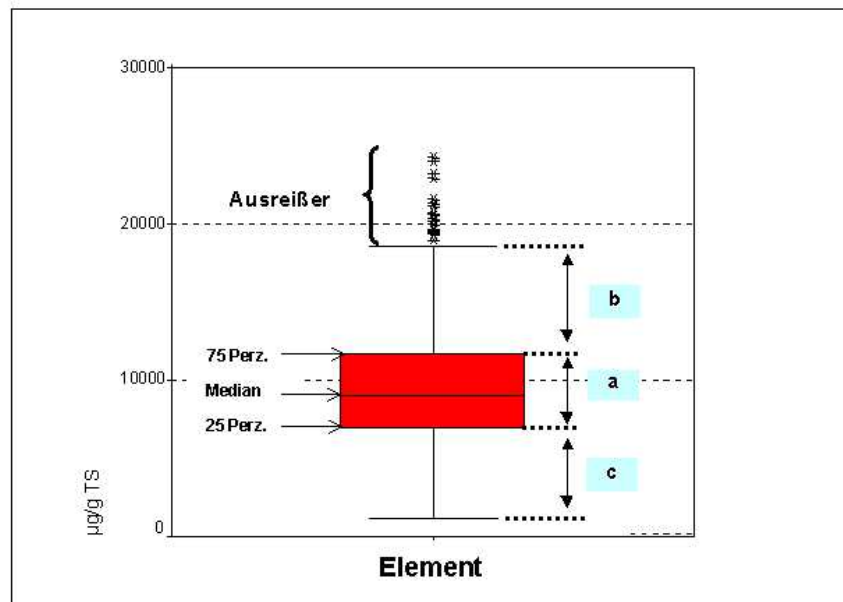
In den Kapiteln 3.1.1 bis 3.2.8 werden wie in den Abschlussberichten des Moos-Monitorings 1990 und 1995 die Analysenergebnisse des Moos-Monitorings 2000 für jedes Metall vorgestellt und mit den Ergebnissen aus den Vorgängervorhaben verglichen. In Kapitel 3.1 werden die Standardelemente des Moos-Monitoring 1995 (SIEWERS & HERPIN 1998) beschrieben. Es handelt sich um As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn. In Kapitel 3.2 folgt die Darstellung der übrigen, neben anderen im Berichtsteil II des Moos-Monitorings 1995 (SIEWERS et al. 2000) aufgeführten Zusatzelemente Al, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na, und Sr. Die methodische Vorgehensweise bei der Beschreibung der Elementgehalte und der Entwicklung der Stoffgehalte richtet sich dabei nach folgendem Schema:

1. Allgemeine Beschreibung der Metalle,
2. Beschreibung der Analyseergebnisse des Moos-Monitorings 2000 sowie
3. Beschreibung der Veränderung der jeweiligen Stoffgehalte seit dem Moos-Monitoring 1990 und 1995.

zu 1. Vorerst werden für das jeweilige Metall allgemeine Hinweise über natürliche Vorkommen, Emissionsquellen und daraus resultierende Gehalte in Lithosphäre, Atmosphäre und Biosphäre vorgestellt. Diese Ausführungen wurden nach Absprache mit Dr. Siewers komplett aus den Abschlussberichten des Moos-Monitorings 1995 übernommen.

Die statistische Beschreibung der Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 erfolgte wie in den Vorgängerprojekten mit Hilfe von Karten, Tabellen und Diagrammen. So wurden für jedes Metall pro Land und Moosart die statistisch-deskriptiven Parameter Minimum, Maximum, Median und 98-Perzentil in einer Tabelle zusammengetragen. Um die Unterschiede der Stoffbelastung in den Ländern untereinander und im Verhältnis zum Bund zu verdeutlichen, wurden die landesweiten Mediane in einem Diagramm dem bundesweiten Median gegenübergestellt. Zur Veranschaulichung der Messwertverteilungen wurden pro Element für jedes Land Box- und Whiskerplots erstellt (→ Anhang B). Die Zuordnung der in einem Box- und Whiskerplot beschriebenen statistischen Kennzahlen richtet sich nach den Vorgaben der Statistik-Software SPSS und ist in der Abbildung 1 veranschaulicht.

Abbildung 1: Box- und Whiskerplot nach SPSS



Für a gilt: 50 % aller Analysenwerte

Für b gilt: $b \leq 1,5 \cdot a$

Für c gilt: $c \leq 1,5 \cdot a$

Neben den in Kapitel 2.2.5 beschriebenen und in den Text integrierten IDW-Karten wurden die Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 zusätzlich in Form von Punktkarten aufgearbeitet (→ Anhang A3). Zur Hervorhebung von Ausreißern sind in diesen Karten die 98-Perzentile des Bundesgebietes markiert worden. Die Klassifizierung der Messwerte richtet sich nach den Vorgaben des Moos-Monitorings 1990 und 1995.

zu 2. Um die flächenhafte Entwicklung der Stoffgehalte seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 zu veranschaulichen, wurden die Ergebnisse der Monitoringvorhaben 1990 und 1995 ebenfalls mit dem IDW-Algorithmus der GIS-Software ArcView verrechnet und die daraus resultierenden Karten in den Text integriert. Zusätzlich wurden die länderweiten Mediane der Analyseergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 in einem Balkendiagramm gegenübergestellt.

In den Anhängen A.1, A.2 und A.3 sind die Messwerte der Vorgängerprojekte wie die Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 in Form von Punktkarten veranschaulicht. Um die Entwicklung am Standort zu verdeutlichen, wurden unter Zugrundelegen der 880 zwischen 1995 und 2000, sowie der 479 zwischen 1990, 1995 und 2000 durchgängig beprobten Standorte Punktkarten angefertigt, in denen für den einzelnen Standort die Zu- bzw. Abnahmen der jeweiligen Stoffgehalte in Form von Punktsymbolen beschrieben werden. Diese Karten sind im Anhang A4 und A5 aufgeführt.

Eine Bewertung darf nicht ohne Berücksichtigung der Ergebnisse der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Vergleichsmessungen zwischen den Laboren der LUFA Hameln und der BGR Hannover erfolgen. Auch die in Kapitel 2.3.1 beschriebenen hohen Varianzen am Standort müssen bei einer derartigen Betrachtung berücksichtigt werden. Im vorliegenden Bericht werden die damit verbundenen Einschränkungen bei den besonders problematischen Metallen im Text erwähnt. Korrekturfaktoren wie bei den Ergebnissen des Moos-Monitorings 1990 wurden nicht eingebracht.

Die Entwicklung der Stoffgehalte kann nicht für alle 20 Elemente seit dem Moos-Monitoring 1990 aufgezeigt werden, denn im Moos-Monitoring 1990 wurden nur die 10 Elemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V und Zn analysiert.

3.1 Standardelemente

3.1.1 Arsen

Allgemeines. Arsen kommt gediegen als Scherbenkobalt (Fliegenstein) vor und ist Bestandteil von mindestens 245 Mineralien meist in Form von Arseniden und Sulfiden und hier oft assoziiert mit Ag, Co, Cu, Fe, Pb, Ni und Sb. Ein häufiges Mineral ist Arsenkies (FeAsS). In der Erdkruste finden sich durchschnittlich 1,7 µg/g Arsen (RÖSLER & LANGE 1975). Böden über Sulfidlagerstätten können dagegen mehrere Hundert µg/g As aufweisen. In kontaminierten Gebieten wurden bis zu 2500 µg/g As nachgewiesen (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1992; ZIEMACKI et al. 1989).

Steinkohle enthält mittlere Gehalte von 18 (0,5 – 93) µg/g As, Braunkohle bis zu 1500 µg/g As. Die Durchschnittsgehalte von Erdöl betragen 0,26 mg/l, von Benzin 0,0015 mg/l (FOWLER 1983; LEONARD 1991). Nach DARBINJAN (1988) ergeben sich für Braunkohlen ostelbischer Lagerstätten Schätzwerte von 15 (0,2-22) µg/g. Es ist bekannt, dass Braunkohlen aus nordtschechischen Lagerstätten sehr viel mehr Arsen enthalten können. Arsen wird vor allem als Nebenprodukt der Kupfer- Blei-, Gold- und Nickelschmelze gewonnen. Nach MARKERT (1992) wird der mittlere Gehalt in Pflanzen auf 0,02 µg/g – 1,5 µg/g As geschätzt.

An Emissionen tragen neben natürlichen Prozessen (vulkanische Aktivitäten) die Verarbeitung sulfidischer Erze (Buntmetallindustrie), die industrielle Verwendung von Arsenverbindungen sowie die Kohleverbrennung (qualitativ geringwertige Braunkohle) bei (NRIAGU & PACYNA 1988; ZIEMACKI et al. 1989). Insbesondere in Flugaschen von Kohlekraftwerken reichert sich Arsen bis zu 440 µg/g an (FOWLER 1983). In der Luft kommt Arsen vor allem als Arsen trioxid (As₂O₃) vor, mit Gehalten von 1-10 ng/m³ in ländlichen Gegenden und 20

ng/m³ in urbanen Gebieten. In der Nähe von Metallhütten und Kohlekraftwerken können die Gehalte 1000 ng/m³ As und mehr erreichen (LEONARD 1991). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 – Dezember 1989 Gesamtdepositionen (naß und trocken) für Arsen von 11,4 µg/m² * d im Fichtenaltbestand und von 2,8 µg/m² * d im benachbarten Freiland.

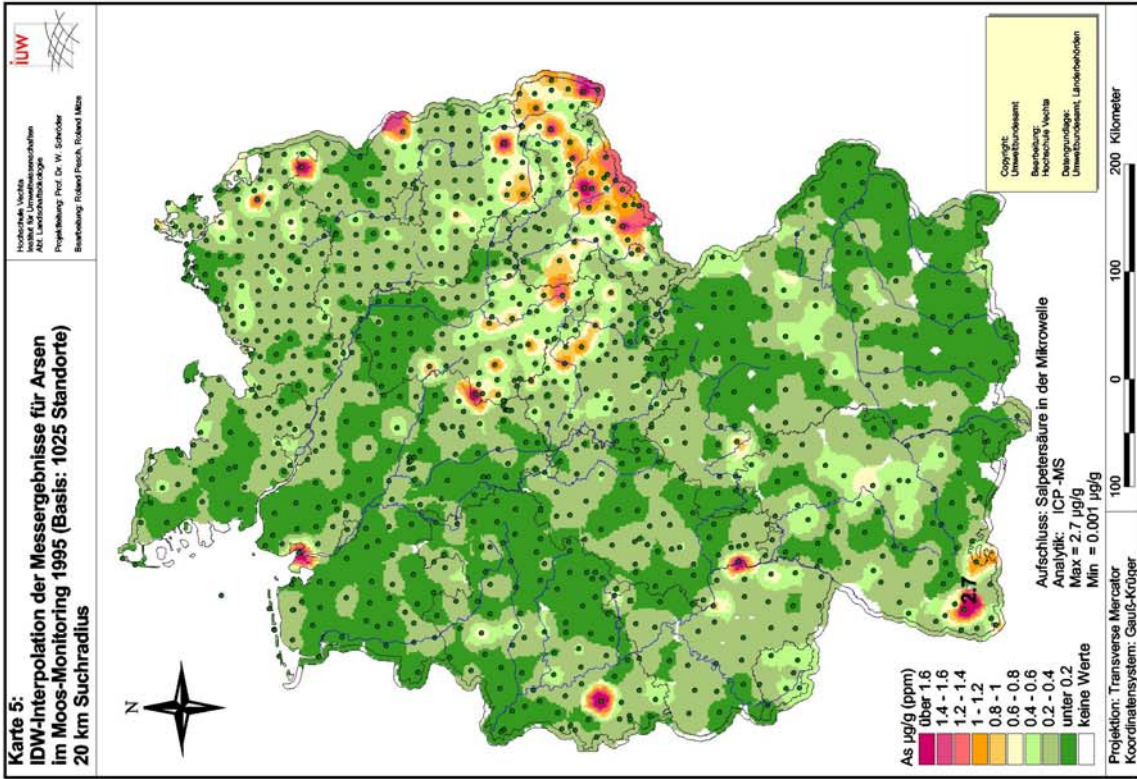
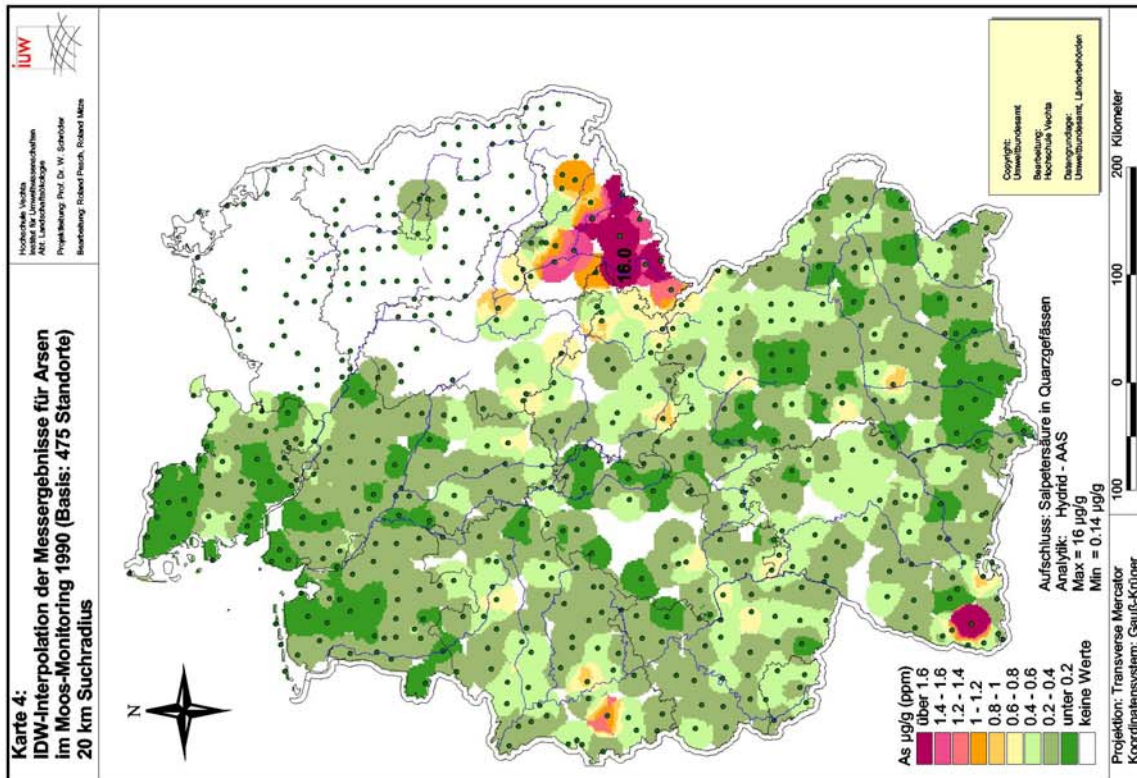
Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Arsengehalte wie auch der Entwicklung von Arsen in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sollten vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen analytischen Qualitätskenngrößen der Labore der BGR und der LUFA Hameln (As ~ 29%) und der in Kapitel 2.1.3 behandelten Standortvariabilität (As ~ 29%) betrachtet werden.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. In Deutschland wurden im Moos-Monitoring 2000 an insgesamt 1026 Standorten Arsengehalte zwischen 0,05-1,31 µg/g ermittelt (→ Tabelle 10). Im bundesweiten Vergleich können gemäß der Darstellung in der Karte 6 erhöhte Arsengehalten in weiten Teilen von Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Thüringen, dem Saarland, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg festgestellt werden. In diesen dicht und meist industriell geprägten Regionen befinden sich dann auch die Probenentnahmestandorte, an denen Werte oberhalb des 98-Perzentils (= 0,665 µg/g) gemessen wurden (→ Anhang A.3.2 und B.2). Das Maximum von 1,31 µg/g findet sich im nördlichen Rheinland-Pfalz an der Grenze zu Nordrhein-Westfalen. Das ursprüngliche Maximum von 8,96 µg/g in Sachsen wurde aufgrund vermuteter Bodenkontamination aus den statistischen Auswertungen und kartografischen Darstellungen herausgenommen (→ Kapitel 2.2.4). Wie die Abbildung 2 zeigt, liegen Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen gemessen an dem bundesweiten Median im bundesdeutschen Schnitt, die Länder Bayern, Niedersachsen, Hessen und Berlin weisen niedrigere Mediane auf.

Zeitliche Entwicklung. Die Abbildung 3 zeigt, dass gemessen an dem Medianen der Arsenergebnisse aller Ländern mit Ausnahme von Hamburg seit 1990 bzw. 1995 eine kontinuierliche Abnahme des Arsengehalts erfolgt ist. Die in den Vorgängerprojekten ermittelten Regionen mit hohen Stoffgehalten sind auch im Moos-Monitoring 2000 wiederzufinden. Diese Feststellung lässt sich anhand eines optischen Vergleichs der interpolierten Flächenkarten des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 belegen. In ihnen weisen ehemals hoch belastete Regionen in weiten Teilen Sachsens, Sachsen-Anhalts und Süd-Brandenburgs aber auch in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz deutlich geringere Werte auf (→ Karten 4, 5 und 6). Maximale Werte von 15,9 µg/g in Sachsen im Moos-Monitoring 1990 und 2,69 µg/g in Baden-Württemberg im Moos-Monitoring 1995 wurden im Moos-Monitoring 2000 nicht erreicht. Die Verteilung der Standorte mit Werten oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils zeigen weiterhin, dass in den meisten Fällen in allen drei Messphasen erhöhte Gehalte an denselben Standorten gemessen wurden (→ Anhang A.1.1, 2.2 und 3.2). Wie durch die Medianvergleiche und die kartografischen Darstellungen angedeutet, zeigt sich an diesen Standorten eine kontinuierliche Abnahme des Arsengehalts von 1990 über 1995 bis 2000. Dem ist allerdings hinzuzufügen, dass besonders belastete Standorte z.T. nicht durchgängig beprobt wurden (z.B. Standort Nordenham in Niedersachsen).

Die seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 zu verzeichnende Abnahme der Arsen-Stoffgehalte wird auch aus den Karten der Anhänge A.4.1 und A.5.2 deutlich. In diesen Karten sind nur diejenigen Standorte aufgezeigt, die zwischen den jeweiligen Moos-Monitoringkampagnen um nicht mehr als 2 km verlegt wurden (→ Kapitel 2.2.1). So verzeichnen die 381 seit 1990 durchgängig beprobten Standorte in 91 % der Fälle im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte als im Moos-Monitoring 1990. Mit Rückgangsraten von mehr als 1 µg/g As zeigen sich besonders hohe Rückgänge in Baden-Württemberg und Sachsen. Dennoch existieren örtliche Zunahmen oberhalb von 0,5 µg/g Arsen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt. In der Entwicklung der

Stoffgehalte seit dem Moos-Monitoring 1995 zeigen sich bei den seit 1995 durchgängig beprobten Standorten in 70 % der Fälle niedrigere Werte. Rückgänge von mehr als 1 µg/g sind in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Brandenburg und Baden-Württemberg festzustellen. Zunahmen mehr als von 0,5 µg/g finden sich an Standorten in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg.

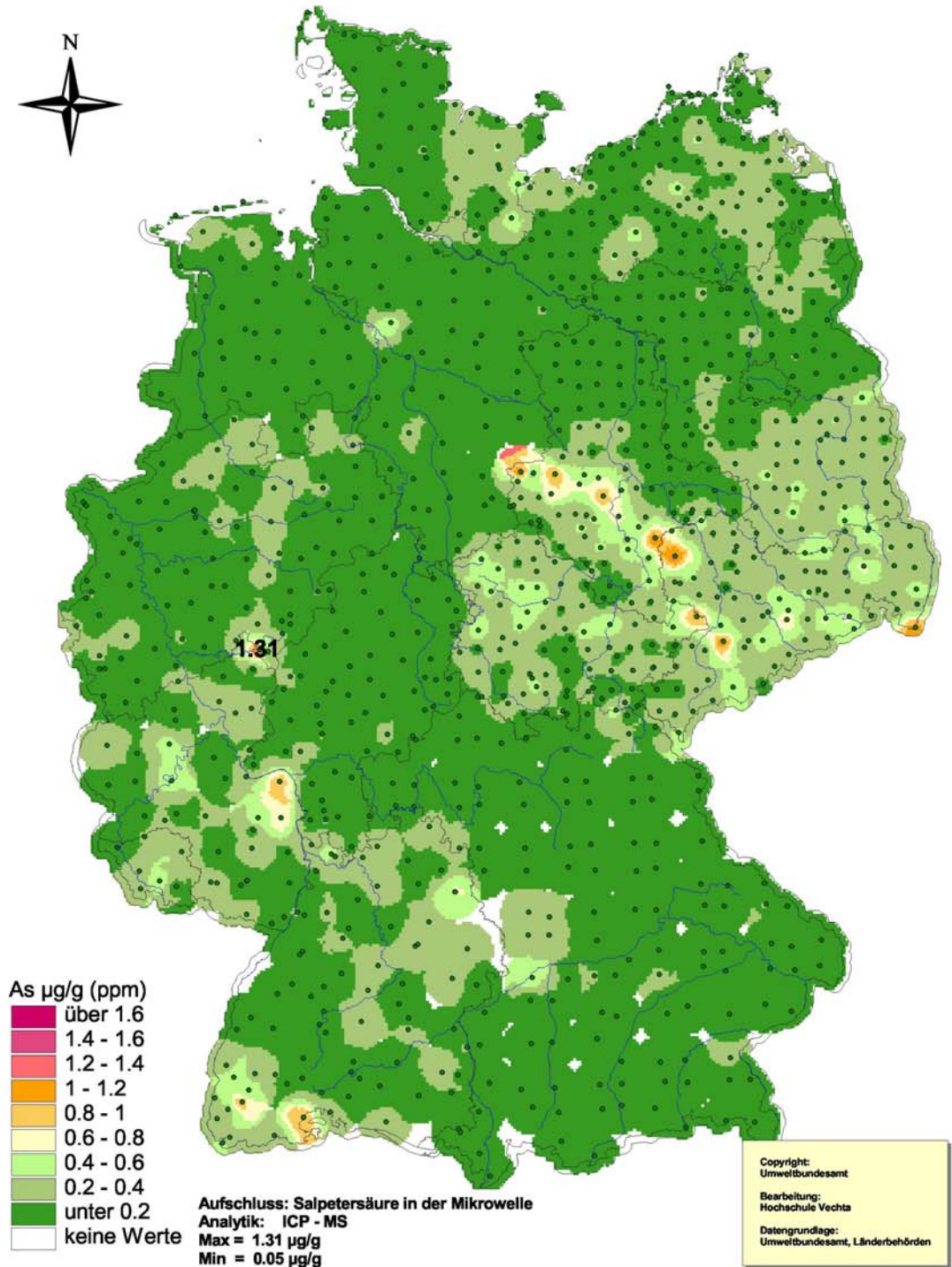


Karte 6:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Arsen
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 10: Arsengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,125	0,125	0,180	0,070	0,178
	H.c.	76	0,200	0,253	1,040	0,080	0,970
	Gesamt	78	0,195	0,250	1,040	0,070	0,968
Bayern	P.s.	88	0,100	0,108	0,315	0,050	0,246
	S.p.	23	0,125	0,156	0,550	0,080	0,420
	H.c.	6	0,173	0,178	0,295	0,070	0,287
	H.s.	2	0,100	0,100	0,120	0,080	0,119
	Gesamt	119	0,110	0,121	0,550	0,050	0,293
Berlin	S.p.	3	0,100	0,110	0,160	0,070	0,158
	Gesamt	3	0,100	0,110	0,160	0,070	0,158
Brandenburg	P.s.	81	0,220	0,235	0,570	0,080	0,506
	S.p.	34	0,135	0,157	0,490	0,070	0,398
	H.c.	3	0,290	0,338	0,460	0,265	0,453
	(B.r.)	2	0,190	0,190	0,230	0,150	0,228
	Gesamt	120	0,193	0,215	0,570	0,070	0,490
Hessen	P.s.	25	0,105	0,121	0,265	0,070	0,260
	S.p.	23	0,090	0,103	0,210	0,050	0,203
	H.c.	12	0,150	0,160	0,275	0,080	0,264
	Gesamt	60	0,103	0,122	0,275	0,050	0,263
Hamburg	P.s.	4	0,220	0,219	0,270	0,165	0,269
	Gesamt	4	0,220	0,219	0,270	0,165	0,269
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	0,155	0,161	0,250	0,070	0,247
	S.p.	55	0,140	0,141	0,310	0,060	0,258
	H.c.	35	0,250	0,255	0,420	0,110	0,406
	(B.r.)	7	0,430	0,349	0,530	0,120	0,528
	Gesamt	113	0,160	0,192	0,530	0,060	0,445
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	0,170	0,176	0,310	0,050	0,264
	S.p.	44	0,135	0,146	0,270	0,065	0,261
	H.c.	9	0,230	0,235	0,390	0,120	0,385
	H.s.	1	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	Gesamt	88	0,160	0,167	0,390	0,050	0,323
Niedersachsen	P.s.	60	0,130	0,138	0,590	0,060	0,251
	S.p.	25	0,090	0,111	0,300	0,050	0,252
	H.c.	9	0,130	0,137	0,220	0,090	0,212
	(B.r.)	1	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
	Gesamt	95	0,120	0,131	0,590	0,050	0,265
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	0,175	0,278	1,310	0,130	1,071
	S.p.	16	0,210	0,300	0,880	0,100	0,844
	H.c.	9	0,230	0,251	0,510	0,140	0,484
	Gesamt	39	0,190	0,281	1,310	0,100	0,983

Tabelle 10: Arsengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,140	0,148	0,230	0,100	0,223
	S.p.	10	0,135	0,135	0,280	0,080	0,258
	H.c.	23	0,160	0,177	0,420	0,100	0,358
	(B.r., R.s.)	9	0,240	0,312	0,590	0,130	0,588
	Gesamt	50	0,150	0,188	0,590	0,080	0,580
Saarland	P.s.	3	0,210	0,233	0,370	0,120	0,364
	S.p.	4	0,315	0,328	0,540	0,140	0,529
	Gesamt	7	0,280	0,287	0,540	0,120	0,520
Sachsen	P.s.	24	0,275	0,322	0,750	0,160	0,718
	S.p.	13	0,250	0,288	0,740	0,120	0,661
	H.c.	34	0,305	0,391	1,200	0,140	0,943
	(B.r.)	11	0,380	0,508	1,230	0,220	1,204
	Gesamt	82	0,300	0,370	1,230	0,120	1,138
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,150	0,155	0,300	0,070	0,292
	S.p.	26	0,160	0,236	1,260	0,050	1,155
	H.c.	3	0,500	0,670	1,210	0,300	1,182
	(B.r., R.s., L.p.)	23	0,410	0,438	0,990	0,160	0,911
	Gesamt	91	0,160	0,267	1,260	0,050	1,082
Thüringen	P.s.	24	0,190	0,221	0,620	0,060	0,565
	S.p.	10	0,165	0,184	0,330	0,080	0,321
	H.c.	26	0,315	0,336	0,560	0,100	0,555
	(B.r., R.s., P.u.)	17	0,290	0,350	1,040	0,120	0,893
	Gesamt	77	0,240	0,284	1,040	0,060	0,599
Deutschland	P.s.	422	0,150	0,176	1,310	0,050	0,482
	S.p.	286	0,140	0,167	1,260	0,050	0,543
	H.c.	245	0,230	0,269	1,210	0,070	0,827
	HS	3	0,120	0,133	0,200	0,080	0,197
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	0,350	0,391	1,230	0,120	1,077
	Gesamt	1026	0,160	0,210	1,310	0,050	0,665

Abbildung 2: Mediane für Arsen im Moos-Monitoring 2000

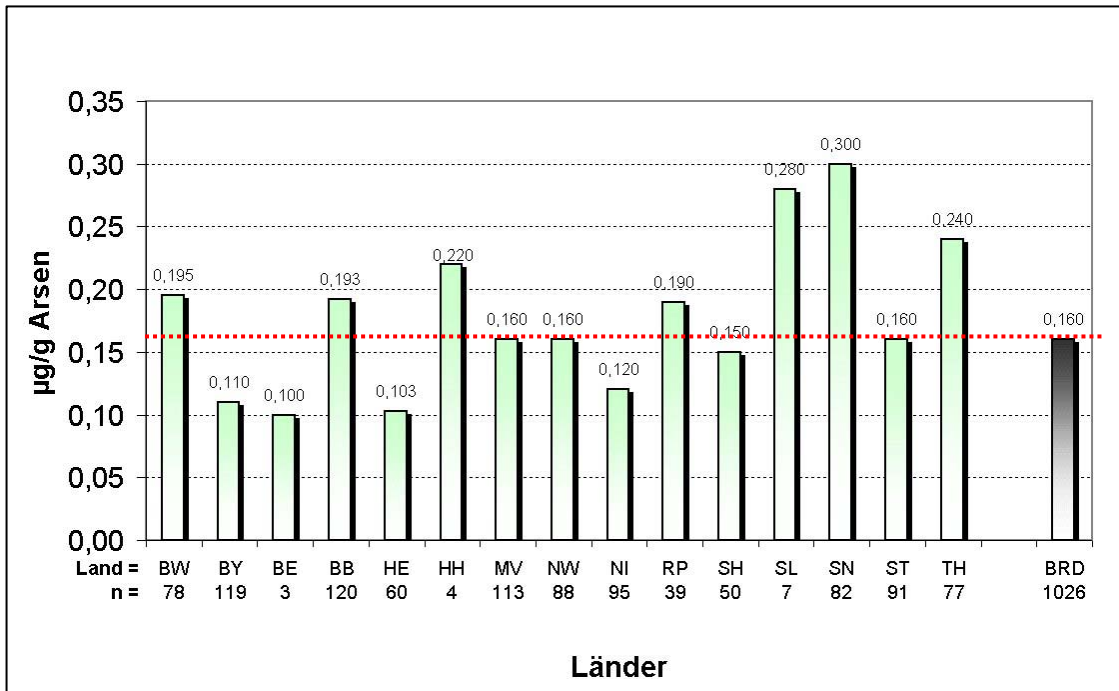
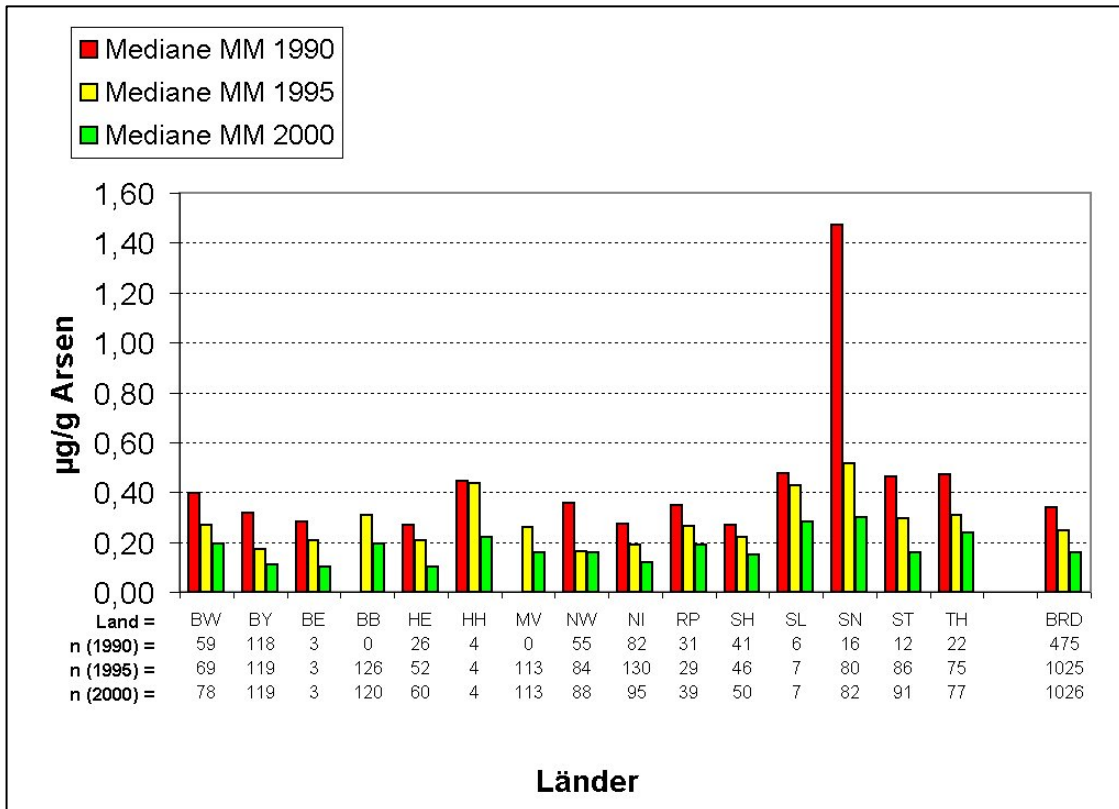


Abbildung 3: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Arsen



3.1.2 Cadmium

Allgemeines. Cadmium kommt als Mineral (z.B. als CdS) sehr selten vor. Hauptsächlich findet sich Cadmium in Zinkmineralen wie Zinkblende (ZnS) mit 0,1-2,0 % Cadmium und in Galmei (ZnCO₃) mit Werten bis zu 5 % Cd. Cadmium wird zu 95 % aus Nebenprodukten der Zinkverhüttung gewonnen. STOEPLER (1991) gibt im Mittel annähernd 3 kg Cadmium pro produzierter Tonne Zink an. Dünger-Phosphate weisen im Mittel Cadmiumgehalte von annähernd 15 µg/g auf (STOEPLER 1991).

In der Erdkruste sind durchschnittlich 0,13 µg/g Cd enthalten (RÖSLER & LANGE 1975). Die Cadmiumgehalte in fossilem organischen Material differieren stark. Für Steinkohle und Braunkohle werden mittlere Gehalte bis 2 µg/g Cd berichtet, während der Cadmiumgehalt von Rohöl mit < 1 µg/g gering ist (STOEPLER 1991). Nach MARKERT (1992) werden für Pflanzen mittlere Gehalte von 0,03-0,5 µg/g Cd angegeben. Die von MARKERT (1991) veröffentlichten Basisdaten für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa geben einen mittleren Gehalt von 0,2 µg/g Cd.

Cadmium-Emissionen sind vor allem auf Buntmetallproduktion und -verarbeitung (Zn-, Cu- und Pb-Erze), Verbrennung fossiler Brennstoffe und Müll sowie Eisen- und Stahlerzeugung zurückzuführen (NRIAGU & PACYNA 1988; STOEPLER 1991; ZIEMACKI et al. 1989). In der Nassdeposition variieren die Gehalte in ländlichen und hoch industrialisierten Gebieten von <0,05 µg/l bis 5 µg/l Cd. JOST (1984) berichtet von Cadmiumgehalten in der Trockendeposition in Deutschland und schätzt für ländliche Gebiete Depositionsraten von 0,5 µg/m² * d, für gering belastete Gebiete 2,0 µg/m² * d und für stark belastete A-reale 6,0 µg/m² * d. SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (nass und trocken) für

Cadmium von $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

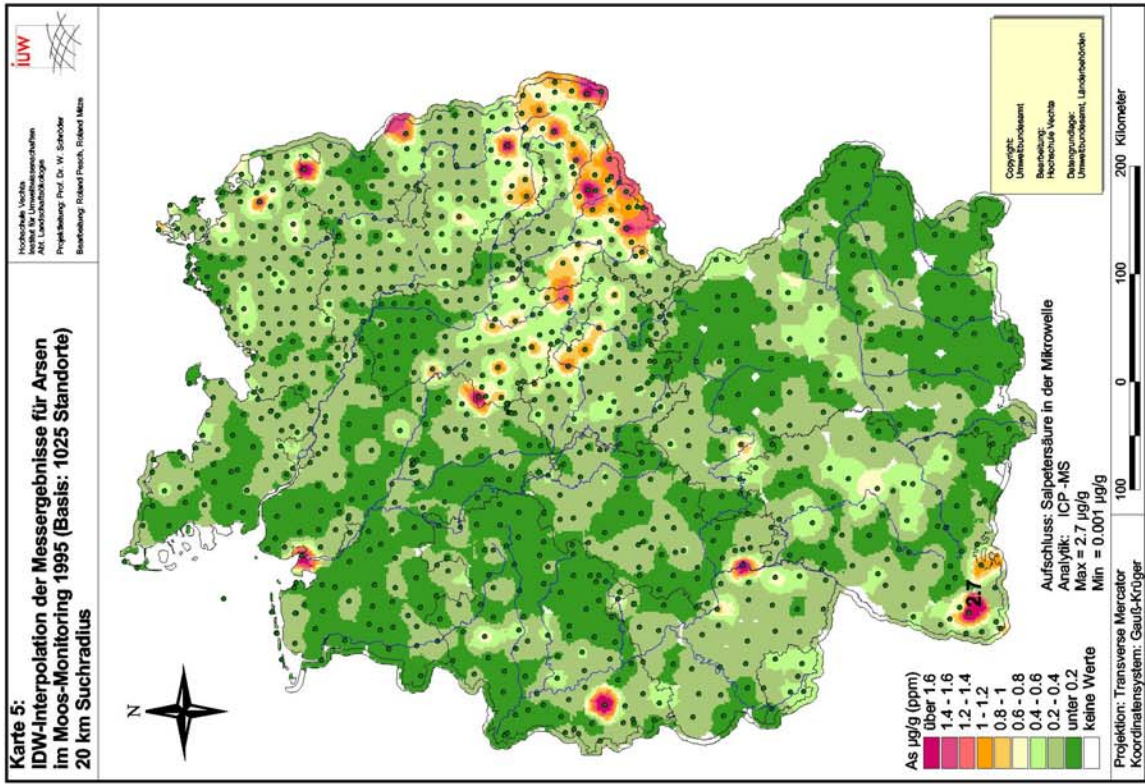
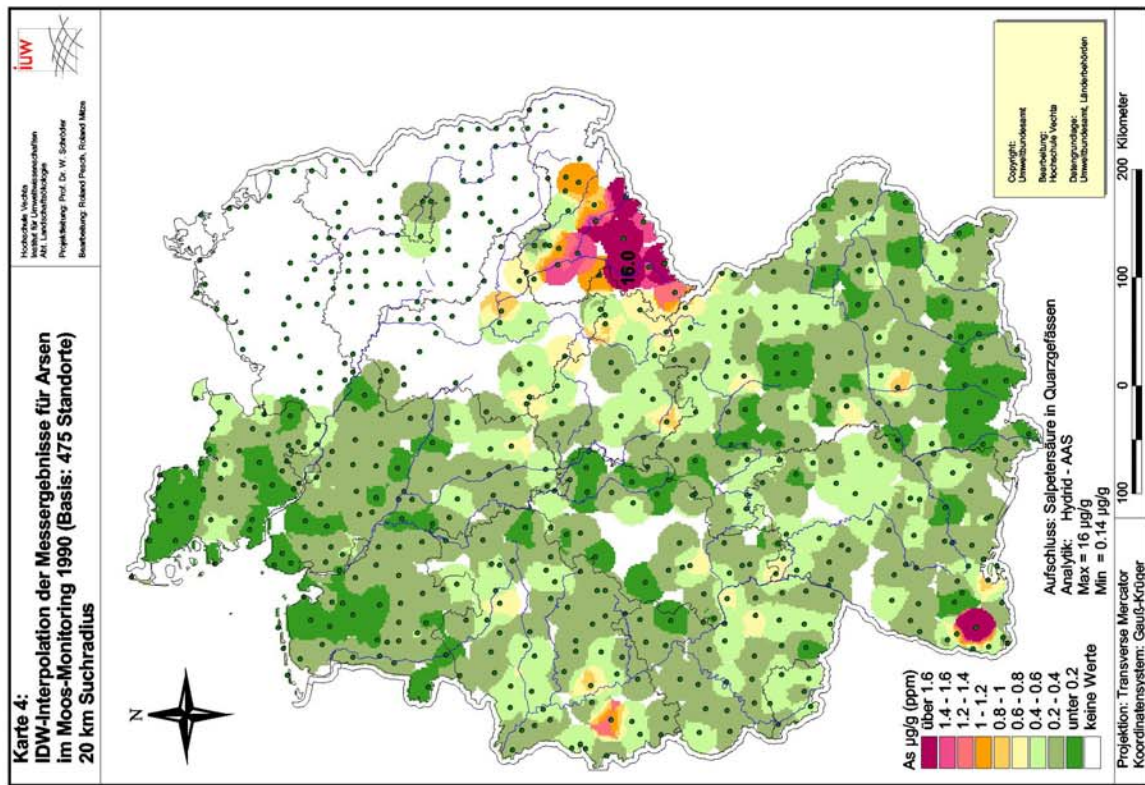
Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1027 Standorten ermittelten Cadmiumgehalte liegen zwischen Werten von $0,07$ in Schleswig-Holstein und $1,525 \mu\text{g}/\text{g}$ in Nordrhein-Westfalen. Das bundesweite 98-Perzentil liegt bei $0,55 \mu\text{g}/\text{g}$ (\rightarrow Tabelle 11). In Bezug auf den Vergleich der landesweiten Mediane liegt Nordrhein-Westfalen bedingt durch die Anhäufung von Metallhütten und metallverarbeitender sowie chemischer Industrie mit einem Faktor von $1,6$ über dem bundesdeutschen Schnitt. Alle anderen Medianwerte liegen nur dicht unter- bzw. oberhalb des bundesweiten Medians von $0,21 \mu\text{g}/\text{g}$ (\rightarrow Abbildung 4). Der Box- und Whiskerplot im Anhang B.5 zeigt weiterhin, dass in einigen Ländern besonders hohe Extremwerte auftreten. Karte 9 und Anhang A.3.5 zeigen, dass diese Standorte mit Werten oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils einerseits in eher unbelasteten Regionen, wie z.B. in Niedersachsen mit $1,06 \mu\text{g}/\text{g}$, isoliert auftreten. Andere Regionen, wie z.B. in Nordrhein-Westfalen (Ruhrgebiet) und Sachsen-Anhalt zeigen großräumig belastete Bereiche. Durch weitgehend niedrige Werte ($< 0,2 \mu\text{g}/\text{g}$) gekennzeichnet sind vor allem weite Gebiete in Bayern, Brandenburg sowie des nördlichen Sachsen-Anhalts.

Zeitliche Entwicklung. Gemessen an der Medianentwicklung in den drei bisherigen Moos-Monitoringkampagnen zeigt sich in den einzelnen Ländern keine kontinuierliche Abnahme des Cadmiumgehalts seit 1990 (\rightarrow Abbildung 5). Die niedrigsten Medianwerte sind allerdings für alle Länder durchgehend im Moos-Monitoring 2000 anzutreffen. Lag der bundesdeutsche Median im Moos-Monitoring 1990 noch bei $0,288 \mu\text{g}/\text{g}$ und erhöhte sich dieser im Moos-Monitoring 1995 leicht auf $0,294 \mu\text{g}/\text{g}$, liegt dieser im Moos-Monitoring 2000 mit $0,21 \mu\text{g}/\text{g}$ weit unterhalb der bisherigen Messphasen. Diese Entwicklung findet sich auch bei einem Vergleich der drei interpolierten Flächenkarten wieder (\rightarrow Karten 7 bis 9). So lassen sich seit dem Moos-Monitoring 1990 durchgängig be-

lastete Regionen in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Sachsen und Sachsen-Anhalt identifizieren, wobei die geringsten Stoffgehalte im Moos-Monitoring 2000 festgestellt werden können.

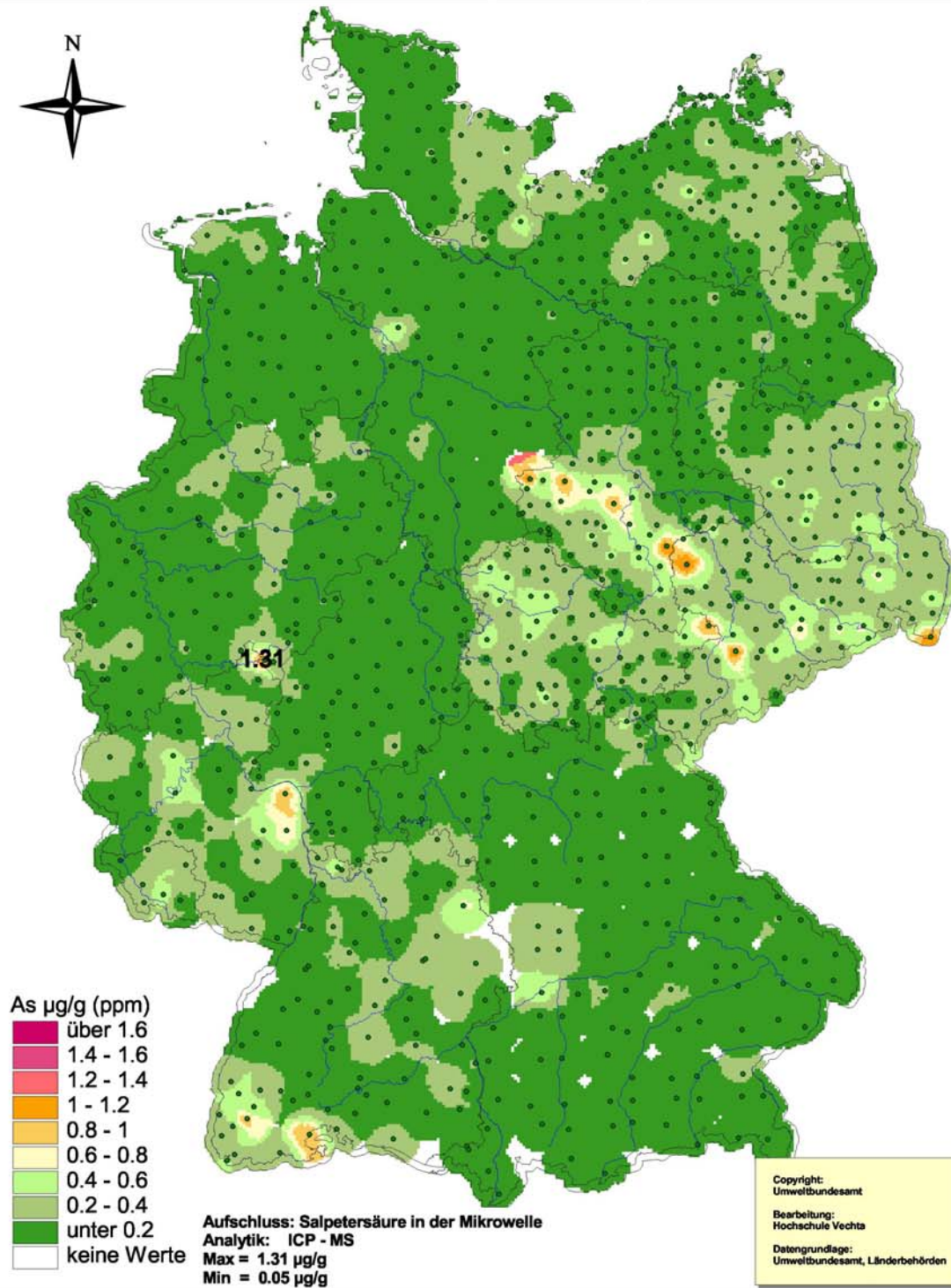
Vergleicht man das Auftreten hoch belasteter Standorte zwischen den drei Monitoringkampagnen, so lässt sich weiterhin festhalten, dass in Sachsen, wo im Moos-Monitoring 1995 noch weiträumig Standorte anzutreffen waren, die das 98-Perzentil überschritten, im Moos-Monitoring 2000 keine derart hochbelasteten Standorte wiedergefunden werden können (→ Anhang A.1.2, A.2.5 und A.3.5). Ein aufgrund vermuteter Bodenkontamination als nicht plausibel eingestuft erhöhter Cadmiumwert von 0,86 µg/g wurde nicht in die Betrachtung einbezogen (→ Kapitel 2.2.1).

Die abnehmende Intensität der Stoffgehalte findet sich des weiteren auch bei der Betrachtung der an den seit 1990 bzw. 1995 durchgängig beprobten Standorten wieder (→ Anhänge A.4.2 und A.5.5). Von den 382 in den Moos-Monitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000 beprobten Standorten weisen 318 (= 83 %) 2000 geringere Werte auf als 1990. Diese Standorte sind weitgehend gleichmäßig über das ganze Bundesgebiet verteilt. In Sachsen und Schleswig-Holstein beträgt der maximale Rückgang der Cadmium-Konzentration in Moosen über 0,4 µg/g. Örtlich treten auch Zunahmen von über 0,4 µg/g auf, wobei das Maximum in Niedersachsen mit 0,822 µg/g zu finden ist. An den 879 zwischen 1995 und 2000 durchgängig beprobten Standorten zeigt sich mit einer Rückgangsrate von 83 % (= 725 Standorte) ein ähnliches Bild. Ein Rückgang von über 0,8 µg/g findet sich in Sachsen, während die maximale Zunahme wiederum an dem oben genannten Standort in Niedersachsen liegt (= 0,87 µg/g).



Karte 6:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Arsen
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie
 Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
 Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 11: Cadmiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,215	0,215	0,260	0,170	0,258
	H.c.	76	0,230	0,275	1,120	0,080	0,695
	Gesamt	78	0,230	0,273	1,120	0,080	0,690
Bayern	P.s.	88	0,150	0,151	0,350	0,080	0,248
	S.p.	23	0,160	0,162	0,280	0,110	0,240
	H.c.	6	0,201	0,186	0,230	0,135	0,228
	H.s.	2	0,315	0,315	0,520	0,110	0,512
	Gesamt	119	0,150	0,157	0,520	0,080	0,276
Berlin	S.p.	3	0,170	0,167	0,190	0,140	0,189
	Gesamt	3	0,170	0,167	0,190	0,140	0,189
Brandenburg	P.s.	82	0,190	0,200	0,420	0,110	0,314
	S.p.	34	0,180	0,194	0,310	0,120	0,290
	H.c.	3	0,200	0,212	0,245	0,190	0,243
	(B.r.)	2	0,230	0,230	0,270	0,190	0,268
	Gesamt	121	0,190	0,199	0,420	0,110	0,310
Hessen	P.s.	25	0,190	0,210	0,390	0,140	0,380
	S.p.	23	0,225	0,218	0,310	0,135	0,306
	H.c.	12	0,308	0,360	0,830	0,150	0,795
	Gesamt	60	0,220	0,243	0,830	0,135	0,638
Hamburg	P.s.	4	0,183	0,209	0,300	0,170	0,293
	Gesamt	4	0,183	0,209	0,300	0,170	0,293
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	0,200	0,203	0,280	0,140	0,271
	S.p.	55	0,220	0,220	0,380	0,130	0,299
	H.c.	35	0,260	0,283	0,590	0,160	0,549
	(B.r.)	7	0,240	0,281	0,500	0,140	0,492
	Gesamt	113	0,230	0,241	0,590	0,130	0,483
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	0,313	0,325	0,600	0,200	0,527
	S.p.	44	0,383	0,405	1,525	0,220	0,773
	H.c.	9	0,350	0,363	0,530	0,180	0,525
	H.s.	1	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	Gesamt	88	0,353	0,368	1,525	0,180	0,613
Niedersachsen	P.s.	60	0,190	0,220	1,060	0,110	0,418
	S.p.	25	0,200	0,228	0,570	0,090	0,464
	H.c.	9	0,290	0,328	0,650	0,230	0,605
	(B.r.)	1	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	Gesamt	95	0,200	0,235	1,060	0,090	0,580
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	0,230	0,246	0,400	0,170	0,379
	S.p.	16	0,225	0,303	0,980	0,110	0,839
	H.c.	9	0,280	0,319	0,560	0,130	0,558
	Gesamt	39	0,240	0,286	0,980	0,110	0,661

Tabelle 11: Cadmiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,165	0,180	0,280	0,140	0,270
	S.p.	10	0,180	0,188	0,290	0,110	0,283
	H.c.	23	0,220	0,237	0,550	0,070	0,519
	(B.r., R.s.)	9	0,260	0,283	0,380	0,160	0,380
	Gesamt	50	0,215	0,227	0,550	0,070	0,481
Saarland	P.s.	3	0,220	0,200	0,220	0,160	0,220
	S.p.	4	0,310	0,305	0,390	0,210	0,385
	Gesamt	7	0,220	0,260	0,390	0,160	0,380
Sachsen	P.s.	24	0,215	0,226	0,370	0,150	0,338
	S.p.	13	0,270	0,268	0,350	0,170	0,348
	H.c.	34	0,270	0,267	0,420	0,120	0,400
	(B.r.)	11	0,350	0,354	0,530	0,190	0,526
	Gesamt	82	0,260	0,267	0,530	0,120	0,473
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,170	0,189	0,330	0,130	0,284
	S.p.	26	0,225	0,270	0,900	0,120	0,860
	H.c.	3	0,710	0,603	0,740	0,360	0,739
	(B.r., R.s., L.p.)	23	0,250	0,258	0,540	0,100	0,500
	Gesamt	91	0,200	0,243	0,900	0,100	0,756
Thüringen	P.s.	24	0,205	0,225	0,410	0,150	0,405
	S.p.	10	0,200	0,212	0,310	0,120	0,308
	H.c.	26	0,300	0,302	0,530	0,150	0,505
	(B.r., R.s., P.u.)	17	0,220	0,251	0,450	0,110	0,447
	Gesamt	77	0,230	0,255	0,530	0,110	0,470
Deutschland	P.s.	423	0,190	0,206	1,060	0,080	0,410
	S.p.	286	0,220	0,252	1,525	0,090	0,556
	H.c.	245	0,255	0,286	1,120	0,070	0,675
	HS	3	0,250	0,293	0,520	0,110	0,509
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	0,260	0,280	0,540	0,100	0,522
	Gesamt	1027	0,210	0,243	1,525	0,070	0,550

Abbildung 4: Mediane für Cadmium im Moos-Monitoring 2000

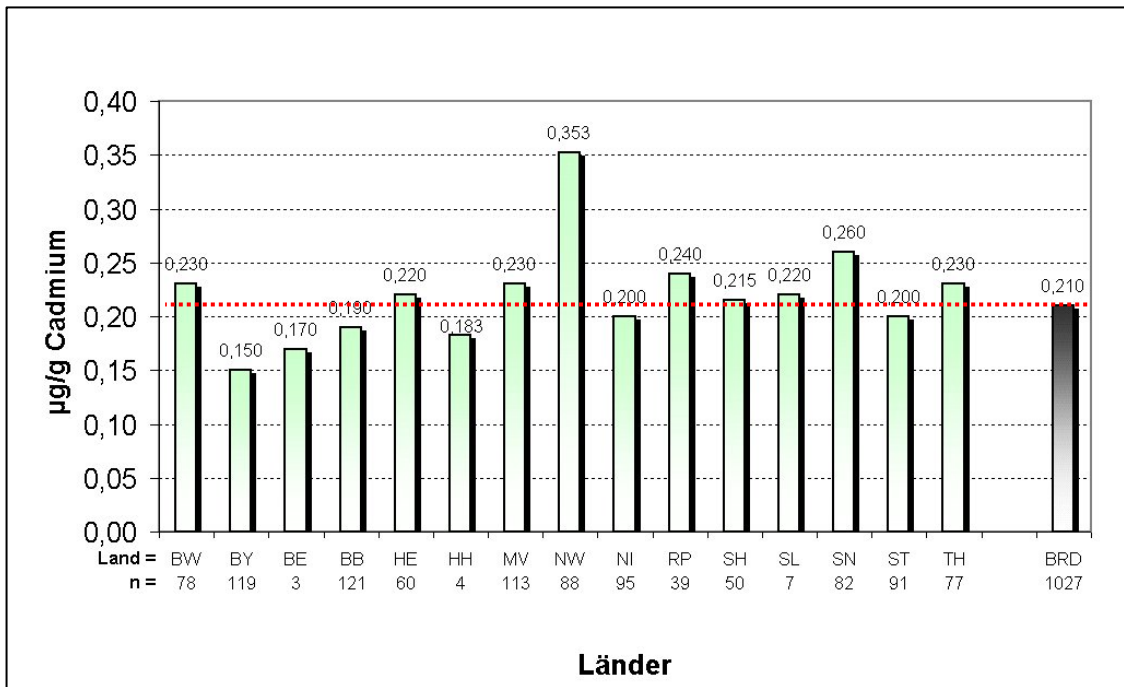
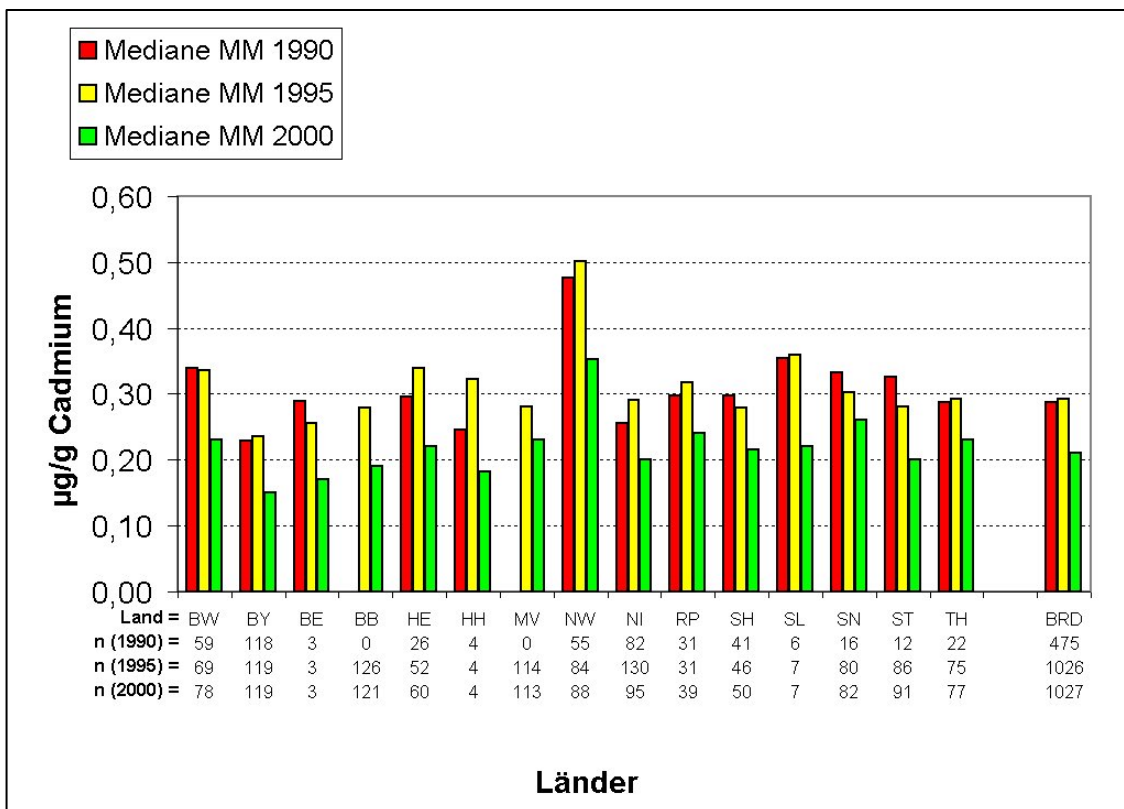


Abbildung 5: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Cadmium



3.1.3 Chrom

Allgemeines. Das wichtigste Chromerz ist Chromit (FeCr_2O_4), welches in seiner höchsten Qualität 55% Cr_2O_3 enthält. Chrom ist ein relativ häufiges und ubiquitäres Element mit einem durchschnittlichen Gehalt von 83 $\mu\text{g/g}$ in der Erdkruste (RÖSLER & LANGE 1975). Nach BOWEN (1979) können Böden bis zu 1500 $\mu\text{g/g}$ Chrom aufweisen. Insbesondere in ultrabasischen Gesteinen (Serpentinitböden) finden sich Gehalte von 2000-4000 $\mu\text{g/g}$ Cr (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1984).

Nach MARKERT (1992) werden generell für Pflanzen Gehalte von 0,2 - 1 $\mu\text{g/g}$ Cr angegeben. Der Grundgehalt eines mittelbelasteten Moores (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 3 $\mu\text{g/g}$ geschätzt (MARKERT 1991). Kohle weist Chromgehalte von 10-40 $\mu\text{g/g}$, Erdöl von 0,3 mg/l auf (HAMILTON 1979). In Abgasen von Kohlefeuerungsanlagen sind bis zu 2 mg/m^3 Chrom enthalten (GAUGLHOFER & BIANCHI 1991). Nach DARBINJAN (1988) wird der Chromgehalt in Braunkohlen ostelbischer Lagerstätten auf 56 (2,4-450) $\mu\text{g/g}$ geschätzt.

Chrom-Emissionen sind vor allem auf Eisen- und Stahlindustrie, Kohleverbrennung (Flugasche), Abbau von Chromeisenerz sowie auf Winderosion von Böden zurückzuführen (NRIAGU & PACYNA 1988). In Europa werden für die Luft abgelegener Gebiete Chromgehalte von 0-3 ng/m^3 , in städtischen Bereichen 4-70 ng/m^3 und in industrialisierten Gebieten 5-200 ng/m^3 beschrieben (ZIEMACKI et al. 1989). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen für Chrom von 7,1 $\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von 1,8 $\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Chromgehalte wie auch der Entwicklung von Chrom in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sollten vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 be-

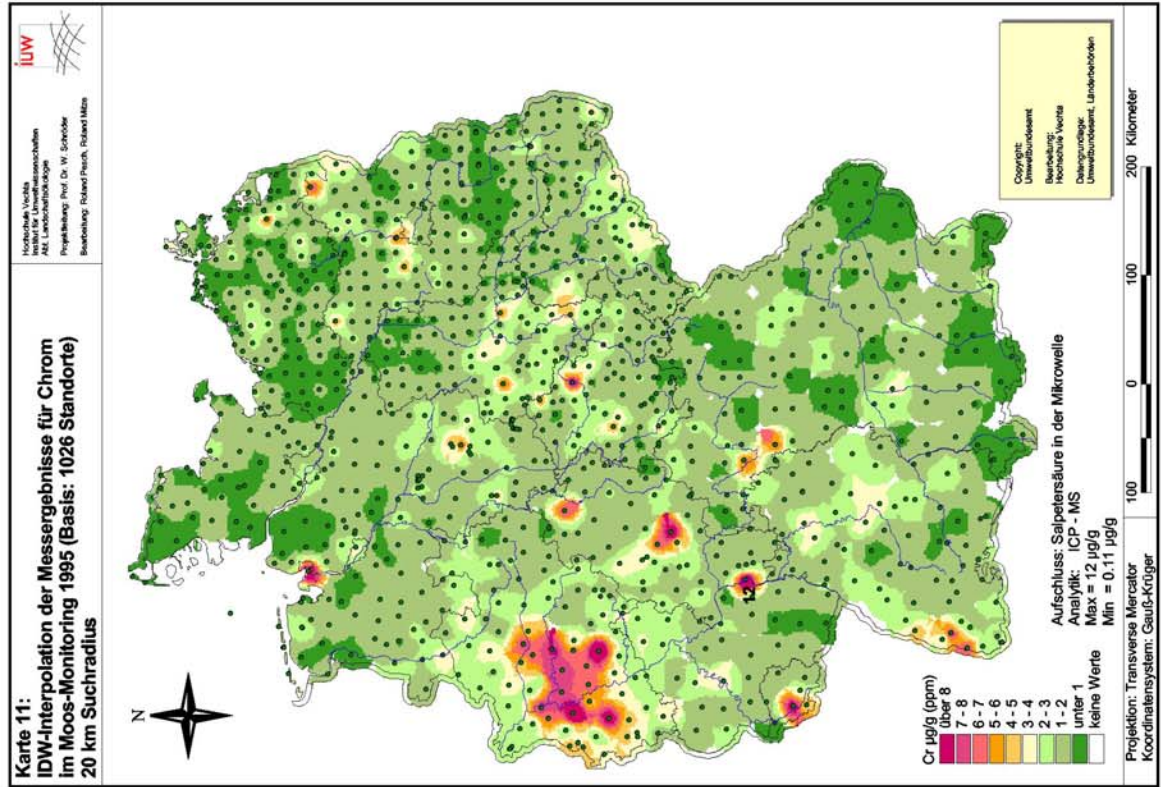
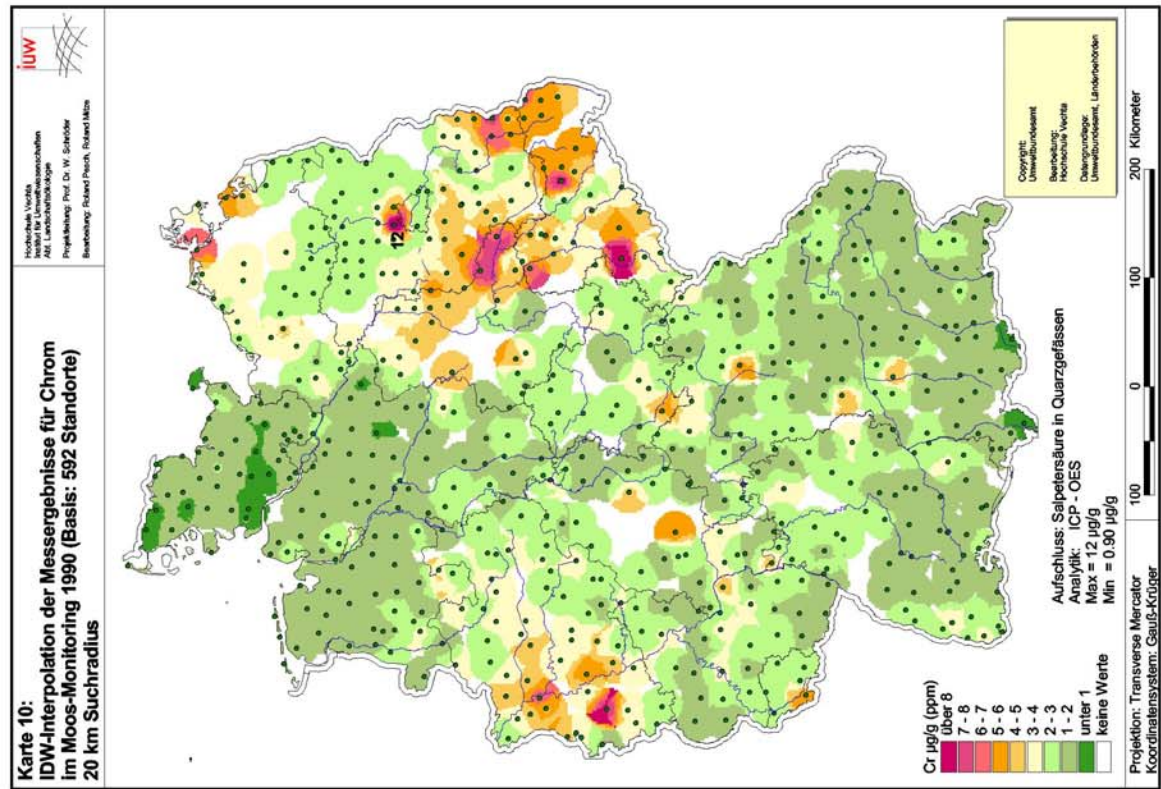
schriebenen analytischen Qualitätskenngrößen der Labore der BGR und der LUFA Hameln (Cr ~ 21%) und der in Kapitel 2.1.3 aufgeführten Standortvariabilität (Cr ~ 27%) betrachtet werden.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 ermittelten Chromgehalte beziehen sich auf die Messergebnisse von insgesamt 1025 beprobten Standorten. Bundesweit wurden Werte zwischen 0,41 µg/g in Brandenburg und 4,57 µg/g in Baden-Württemberg gemessen (→ Tabelle 12). Das bundesweite 98-Perzentil liegt bei 2,38 µg/g. Orientiert man sich an den landesweiten Medianen, so zeigen sich im Vergleich zum bundesweiten Median von 0,91 µg/g erhöhte Werte vor allem in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen (→ Abbildung 6). Ungeachtet der im Vergleich zum bundesweiten Median niedrigeren bzw. leicht erhöhten Mediane zeigen sich lokale Extremwerte vor allem in Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, dem Saarland und Hessen (→ Karte 12, Anhang A.3.6, B.6). Die Karte 12 zeigt Gebiete mit unter 1 µg/g Chrom vorrangig in Bayern und in Norddeutschland.

Zeitliche Entwicklung. Ungeachtet der erwähnten analytischen Unsicherheiten und der Standortvariabilität zeigt die Abbildung 7 die niedrigsten Mediane für die Länder im Moos-Monitoring 2000 gegenüber den Vorgängerprojekten. Die Karten 10 bis 12 sowie die Anhänge A.1.3, A.2.6 und A.3.6 zeigen für die beiden ersten Kampagnen ähnliche räumliche Gebiete mit hohen Stoffgehalten, die jedoch in 2000 nicht mehr auffallen. So traten jeweils in denselben Bereichen Nordrhein-Westfalens, des Saarlands und Baden-Württembergs relativ hoch belastete Regionen auf.

Ungeachtet der Einschränkungen, die sich aus den Ergebnissen der Vergleichsmessungen ergeben, zeichnet sich sowohl von 1990 bis 2000 (478 Standorte) als auch von 1995 bis 2000 (873 Standorte) eine starke Abnahme der Chromgehalte in Moosen ab (→ Anhang A.4.3 und A.5.6). So wiesen im Moos-Monitoring 1990 98 % der Standorte (= 462) höhere Konzentrationen in

den entnommenen Moosen auf als im Moos-Monitoring 2000. Besonders deutlich ist hierbei die Abnahme in Nordrhein-Westfalen und dem Osten Deutschlands. Im Moos-Monitoring 1995 waren es 83 % der Standorte (= 725), an denen höhere Gehalte gemessen wurden. Während dieser Zeit zeigen sich vor allem in Nordrhein-Westfalen mehrere Standorte, die Abnahmen von mehr als 6 µg/g aufweisen.

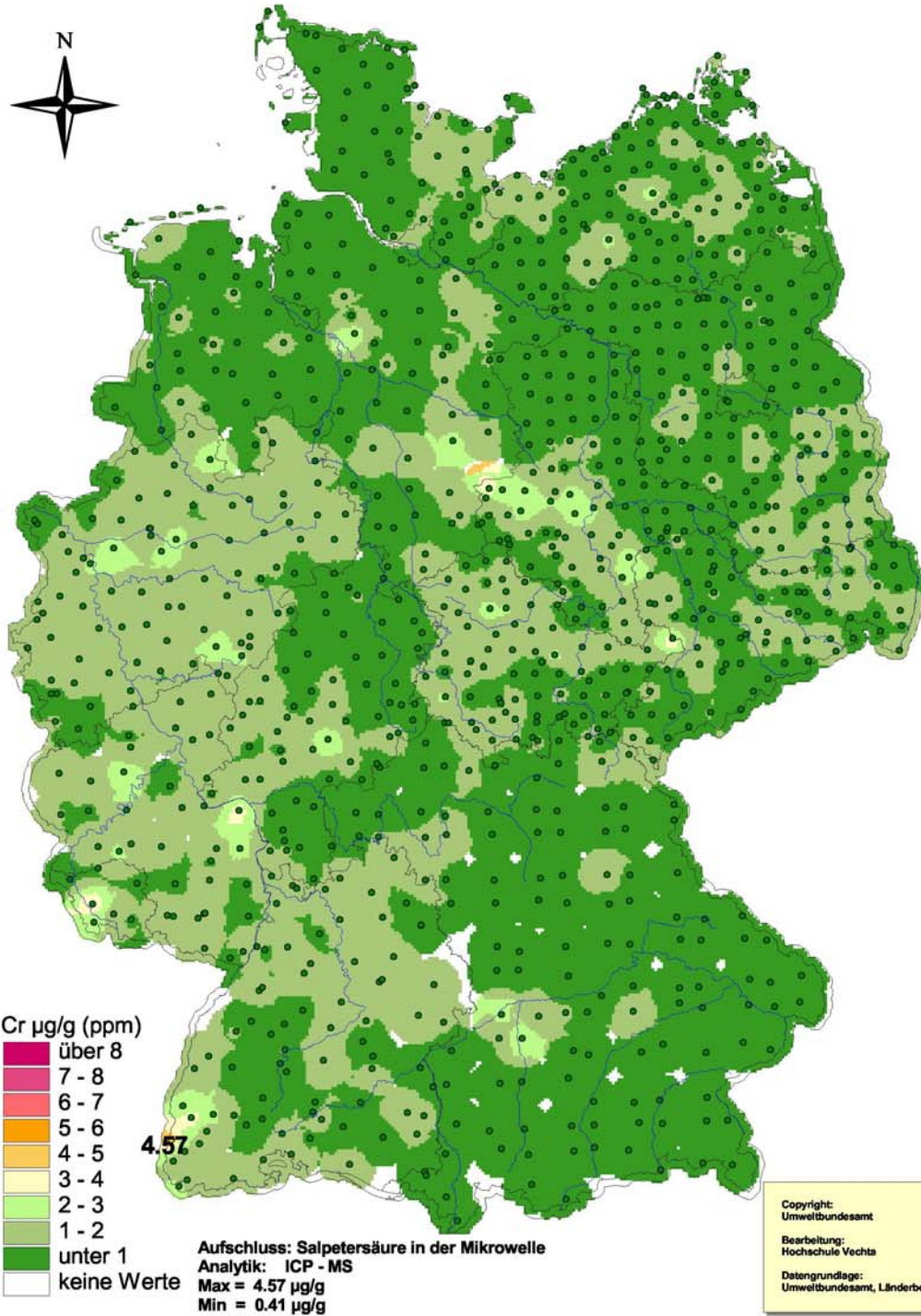


Karte 12:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Chrom
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1025 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 12: Chromgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,79	0,79	1,06	0,51	1,05
	H.c.	76	1,12	1,27	4,57	0,58	2,98
	Gesamt	78	1,10	1,26	4,57	0,51	2,91
Bayern	P.s.	88	0,70	0,74	2,74	0,45	1,52
	S.p.	23	0,84	0,95	2,12	0,62	1,97
	H.c.	6	0,98	0,99	1,54	0,50	1,51
	H.s.	2	0,69	0,69	0,71	0,67	0,71
	Gesamt	119	0,71	0,79	2,74	0,45	1,81
Berlin	S.p.	3	0,64	0,65	0,74	0,56	0,74
	Gesamt	3	0,64	0,65	0,74	0,56	0,74
Brandenburg	P.s.	81	0,87	0,93	1,85	0,46	1,63
	S.p.	34	0,71	0,76	1,48	0,41	1,39
	H.c.	3	1,51	1,39	1,57	1,10	1,56
	(B.r.)	2	0,71	0,71	0,81	0,60	0,81
	Gesamt	120	0,84	0,89	1,85	0,41	1,59
Hessen	P.s.	25	0,72	0,82	1,36	0,48	1,33
	S.p.	23	0,88	1,00	3,05	0,52	2,49
	H.c.	12	0,96	1,07	1,83	0,68	1,77
	Gesamt	60	0,88	0,94	3,05	0,48	1,82
Hamburg	P.s.	4	1,05	1,07	1,28	0,91	1,27
	Gesamt	4	1,05	1,07	1,28	0,91	1,27
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	0,79	0,81	1,22	0,50	1,17
	S.p.	55	0,71	0,76	1,35	0,47	1,19
	H.c.	35	1,04	1,08	1,74	0,60	1,58
	(B.r.)	7	1,90	1,65	2,70	0,63	2,66
	Gesamt	113	0,84	0,92	2,70	0,47	2,20
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	1,32	1,41	3,05	0,90	2,59
	S.p.	44	1,22	1,33	2,41	0,72	2,28
	H.c.	9	1,73	1,69	2,70	1,05	2,67
	H.s.	1	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
	Gesamt	88	1,32	1,40	3,05	0,72	2,56
Niedersachsen	P.s.	60	0,91	0,92	3,03	0,53	1,31
	S.p.	25	0,71	0,84	2,21	0,42	1,93
	H.c.	9	0,75	0,84	1,41	0,56	1,36
	(B.r.)	1	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
	Gesamt	95	0,83	0,89	3,03	0,42	1,70
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	1,18	1,24	1,64	0,93	1,61
	S.p.	16	1,25	1,53	3,21	0,90	3,01
	H.c.	9	1,40	1,42	1,90	0,90	1,89
	Gesamt	39	1,26	1,40	3,21	0,90	2,69

Tabelle 12: Chromgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,80	0,82	1,02	0,64	1,01
	S.p.	10	0,71	0,75	1,05	0,57	1,03
	H.c.	23	0,86	0,92	1,73	0,53	1,49
	(B.r., R.s.)	9	0,95	0,98	1,54	0,68	1,50
	Gesamt	50	0,80	0,88	1,73	0,53	1,54
Saarland	P.s.	3	0,99	0,97	0,99	0,94	0,99
	S.p.	4	1,84	2,12	3,84	0,94	3,73
	Gesamt	7	0,99	1,63	3,84	0,94	3,62
Sachsen	P.s.	24	0,91	0,99	2,19	0,55	1,96
	S.p.	12	0,82	0,85	1,57	0,53	1,47
	H.c.	35	0,92	1,06	2,28	0,68	2,01
	(B.r.)	10	1,00	1,16	1,92	0,75	1,86
	Gesamt	81	0,92	1,02	2,28	0,53	2,03
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,77	0,79	1,27	0,53	1,25
	S.p.	26	0,79	1,01	4,10	0,50	3,60
	H.c.	3	1,36	1,78	2,94	1,04	2,88
	(B.r., R.s., L.p.)	23	1,52	1,61	2,94	0,74	2,93
	Gesamt	91	0,83	1,09	4,10	0,50	2,97
Thüringen	P.s.	24	0,92	0,91	1,26	0,53	1,25
	S.p.	10	0,85	0,91	1,43	0,59	1,37
	H.c.	26	1,41	1,41	2,39	0,57	2,39
	(B.r., R.s., P.u.)	17	1,14	1,43	3,49	0,56	3,05
	Gesamt	77	1,07	1,19	3,49	0,53	2,38
Deutschland	P.s.	422	0,85	0,92	3,05	0,45	1,80
	S.p.	285	0,84	0,98	4,10	0,41	2,45
	H.c.	246	1,08	1,19	4,57	0,50	2,40
	HS	3	0,71	0,91	1,34	0,67	1,31
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	69	1,21	1,39	3,49	0,56	2,93
	Gesamt	1025	0,91	1,03	4,57	0,41	2,38

Abbildung 6: Mediane für Chrom im Moos-Monitoring 2000

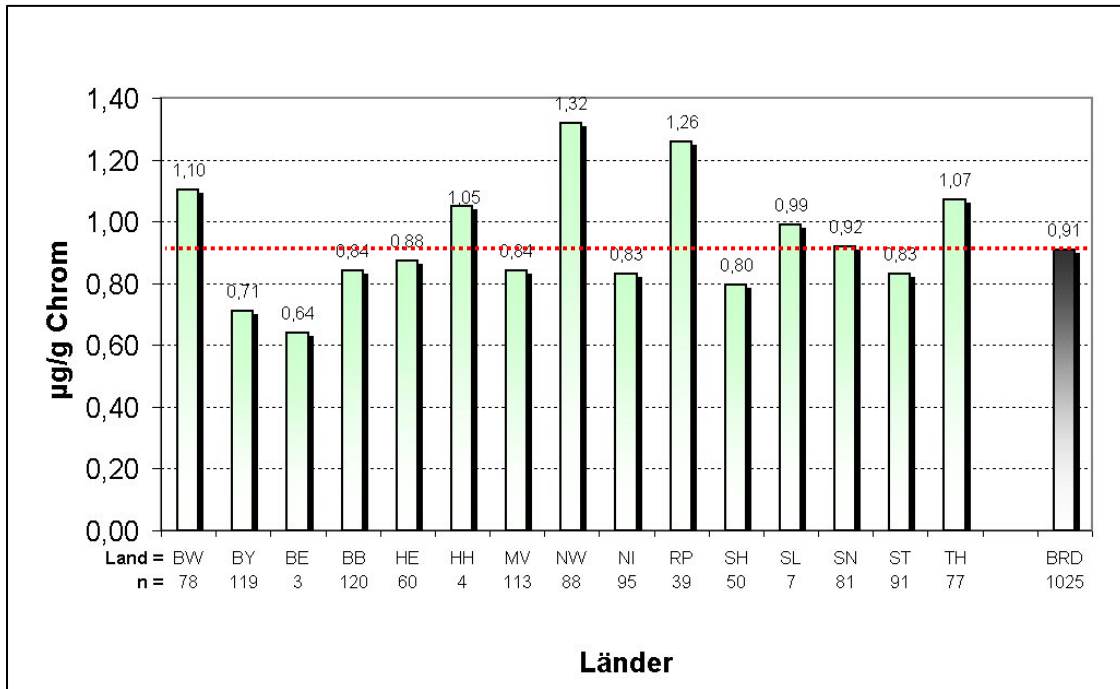
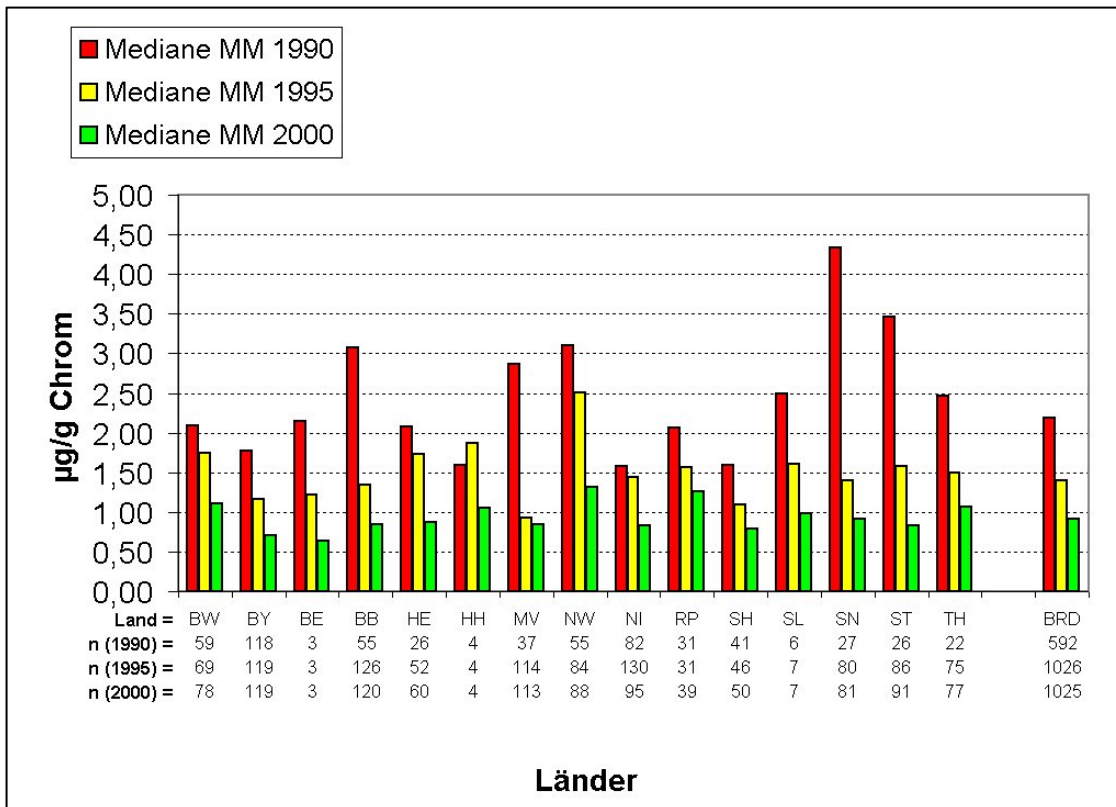


Abbildung 7: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Chrom



3.1.4 Kupfer

Allgemeines. Kupfer ist ein essentielles Element für alle Organismen u.a. als Bestandteil von Redoxsystemen. Kupfer kommt gelegentlich gediegen vor, wird aber hauptsächlich aus seinen Erzen gewonnen. Die wichtigsten Erze sind Kupferkies (CuFeS_2) und Kupferglanz (CuS). Die wichtigsten Kupferlegierungen sind Bronze (Kupfer/Zinn) und Messing (Kupfer/Zink). Der mittlere Kupfergehalt der Erdkruste liegt bei $47 \mu\text{g/g}$ (RÖSLER & LANGE 1975). In Böden variieren die Gehalte von $2 \mu\text{g/g}$ - $3500 \mu\text{g/g}$ Cu in kontaminierten Gebieten (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1992). Kohle zeigt durchschnittliche Gehalte von 15 (3 - 180) $\mu\text{g/g}$, Erdöl von $1,3 \text{ mg/l}$ (BOWEN 1979).

Nach MARKERT (1992) enthalten Pflanzen im Durchschnitt 2 - $20 \mu\text{g/g}$ Cu. Für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird nach MARKERT (1991) ein Grundgehalt von $12 \mu\text{g/g}$ Cu geschätzt.

Kupfer-Emissionen sind vor allem auf Kupferproduktion, Buntmetall- und Stahl-erzeugung, Kohleverbrennung sowie auf den Einsatz kupferhaltiger Düngemittel und Fungizide zurückzuführen (ADRIANO 1992). In der Luft am Südpol wurden $0,036 \text{ ng/m}^3$ Cu, in nicht kontaminierten Gebieten Norwegens und Kanadas $0,9$ - $2,5 \text{ ng/m}^3$ und in kontaminierten Gebieten Europas durchschnittlich 340 (8 - 4900) ng/m^3 nachgewiesen (BOWEN 1979). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamt-depositionen für Kupfer von $39 \mu\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von $10 \mu\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die Darstellung der im Moos-Monitoring 2000 erfassten bundesweiten Kupfer-Stoffgehalte orientiert sich an den Messergebnissen von insgesamt 1027 Standorten. Es wurden Werte zwischen $2,92 \mu\text{g/g}$ in Baden-Württemberg und $26,0 \mu\text{g/g}$ in Sachsen-Anhalt gemessen (→ Tabelle 13). Im Vergleich zum bundesweiten Median sind die Werte in Ham-

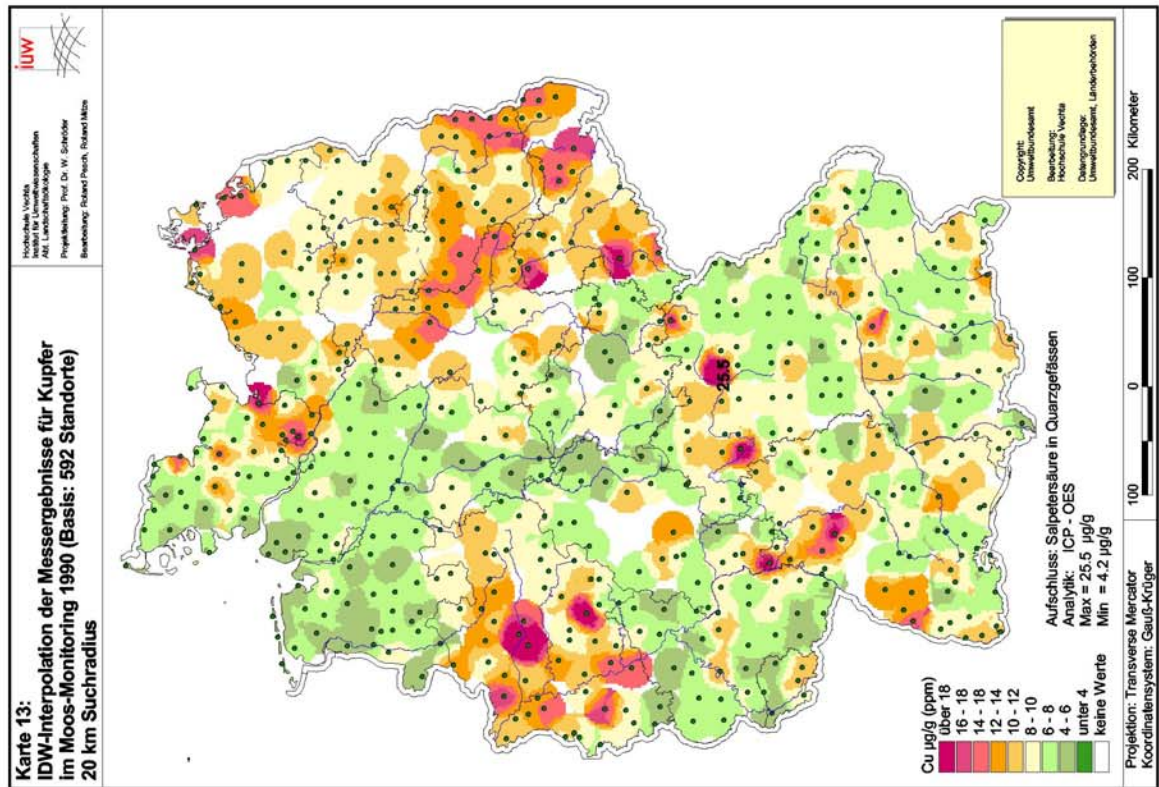
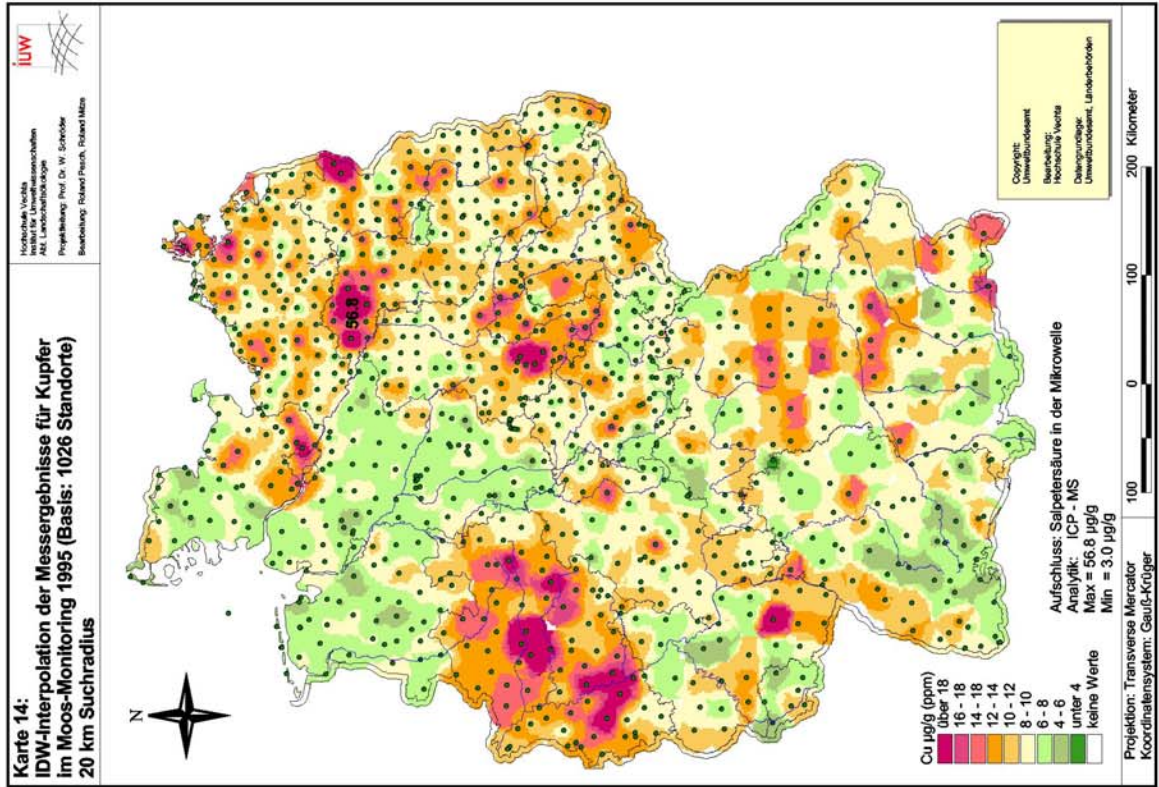
burg, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern erhöht. Die größten Spannbreiten kommen mit 22,0 µg/g in Sachsen und mit 22,4 µg/g in Sachsen-Anhalt vor. Die Karte 15 zeigt weiterhin das großräumige Auftreten von Regionen mit höheren Stoffgehalten in Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen und dem Norden Deutschlands. Auffallend ist das akkumulierte Auftreten von Standorten mit Werten über dem bundesweiten 98-Perzentil (13,9 µg/g) im südlichen Sachsen-Anhalt.

Zeitliche Entwicklung. Vergleicht man die flächenhaften Darstellungen der IDW-Ergebnisse für das Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (→ Karten 13, 14 und 15), so gewinnt man den Eindruck, dass die Stoffgehalte von 1990 bis 1995 zuerst zu- und dann von 1995 bis 2000 sichtlich abnahmen. Dies zeigt sich auch an der Entwicklung der Mediane in den Ländern zwischen den drei Messphasen. So sind von 1990 bis 1995 Zunahmen in den Ländern Bayern, Hessen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein und Thüringen festzustellen. Bis auf das Land Thüringen finden sich in allen Ländern im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte als 1990 und 1995. Allerdings liegt das im Moos-Monitoring 2000 gefundene Maximum von 26,0 µg/g leicht über dem Maximum von 1990 (25,5 µg/g).

Bei den soeben beschriebenen Entwicklungsbewertungen muss allerdings in Betracht gezogen werden, dass sich das Messnetz zwischen 1990 und 1995 bzw. 1990 und 2000 besonders in den neuen Ländern stark verändert hat. So wurden im Moos-Monitoring 1990 z.B. weite Teile Sachsen-Anhalts gar nicht beprobt (→ Anhang A.1.4). Bei einem Vergleich der klassifizierten Punktkarten des Moos-Monitorings 1995 und 2000 fällt auf, dass die Anhäufung von Standorten mit Werten oberhalb des 98-Perzentils identisch ist. Andere Standorte mit hohen Stoffgehalten des Moos-Monitorings 1995, wie z.B. im Norden Brandenburgs, wo sich das damalige Maximum von 56,6 µg/g befand,

weisen im Moos-Monitoring 2000 keine derart hohen Werte auf (→ Anhang A.2.7 und A.3.7).

Die von 1990 bzw. 1995 bis 2000 innerhalb eines Toleranzradius von 2 km liegenden 479 bzw. 880 Standorte verdeutlichen die abnehmenden Kupfergehalte im Bundesgebiet. Seit dem Moos-Monitoring 1990 sind an 78 % der Standorte Abnahmen der Kupfergehalte zu verzeichnen. Besonders deutliche Abnahmen oberhalb von 12 µg/g zeigen sich in Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen. Etwas gemindert wird diese abnehmende Tendenz von einigen Standorten, an denen relativ hohe Zunahmen von über 6 µg/g festzustellen sind (Hamburg, Sachsen-Anhalt, Bayern → Anhang A.4.4). Derartige Standorte zeigen sich auch in der Karte des Anhangs A.5.7, in der die standortbezogene Entwicklung zwischen dem Moos-Monitoring 1995 und 2000 aufgezeigt ist. Doch auch hier ist mit einem Anteil von über 83 % an Standorten mit abnehmenden Kupfergehalten eine abnehmende Tendenz festzuhalten. Auffallend ist das vermehrte Auftreten von Standorten mit über 12 µg/g Abnahmen in Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern.



Karte 15:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kupfer
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

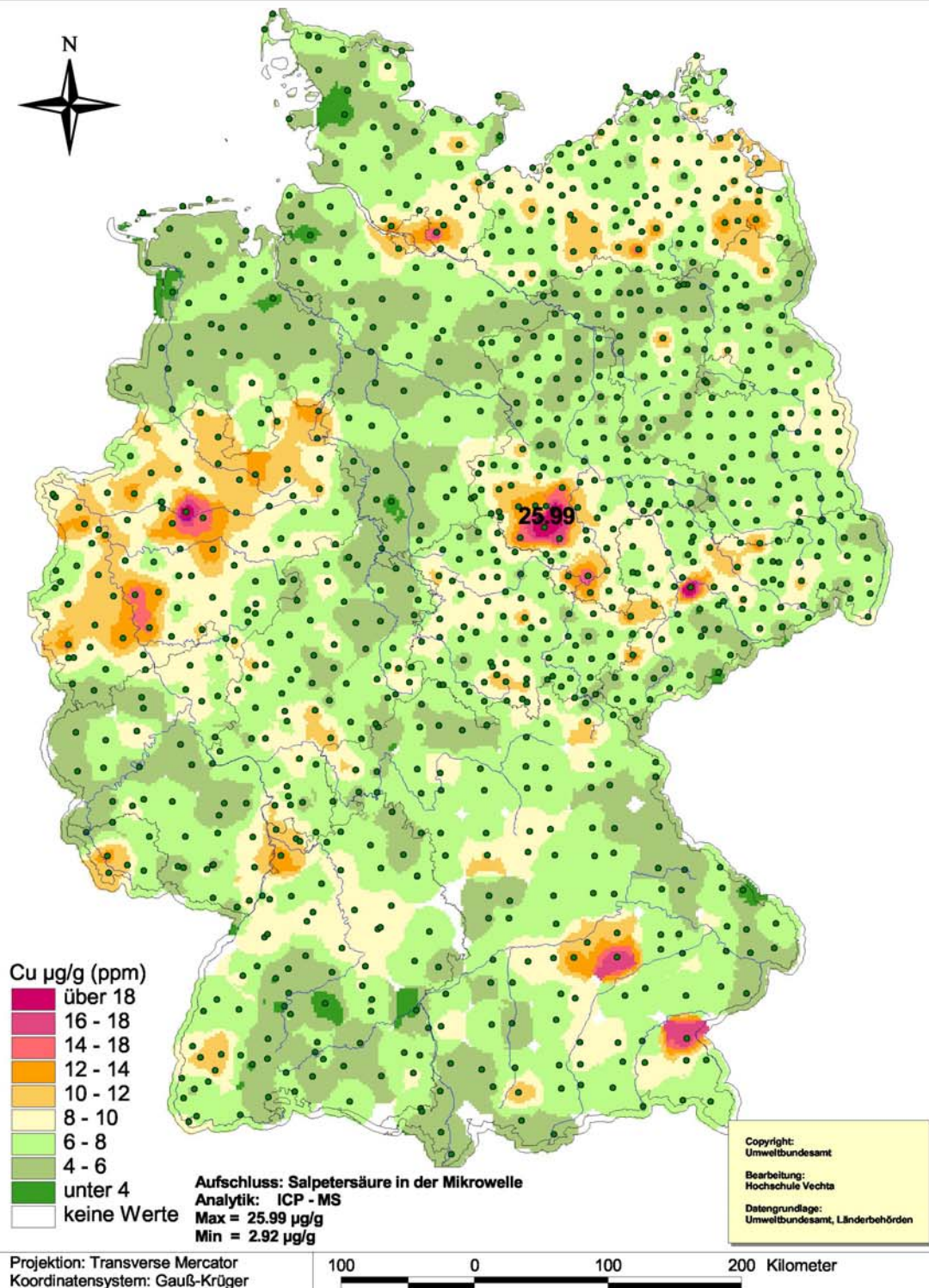


Tabelle 13: Kupfergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	11,16	11,16	13,38	8,94	13,29
	H.c.	76	7,00	7,08	11,80	2,92	11,22
	Gesamt	78	7,08	7,19	13,38	2,92	11,73
Bayern	P.s.	88	6,84	7,08	17,89	3,74	11,94
	S.p.	23	7,49	7,80	17,60	4,58	14,35
	H.c.	6	6,69	6,36	7,90	3,37	7,88
	H.s.	2	7,02	7,02	7,27	6,77	7,26
	Gesamt	119	7,09	7,18	17,89	3,37	12,40
Berlin	S.p.	3	5,58	5,58	6,38	4,78	6,34
	Gesamt	3	5,58	5,58	6,38	4,78	6,34
Brandenburg	P.s.	82	6,55	6,74	10,72	4,03	9,85
	S.p.	34	6,61	6,75	14,41	4,18	13,35
	H.c.	3	8,26	8,51	9,23	8,05	9,19
	(B.r.)	2	9,69	9,69	11,28	8,10	11,21
	Gesamt	121	6,71	6,84	14,41	4,03	11,05
Hessen	P.s.	25	7,29	7,36	11,81	4,62	11,41
	S.p.	23	6,89	7,23	11,18	4,43	10,95
	H.c.	12	6,26	6,52	11,22	3,63	10,77
	Gesamt	60	6,82	7,14	11,81	3,63	11,21
Hamburg	P.s.	4	9,68	10,38	14,23	7,94	14,03
	Gesamt	4	9,68	10,38	14,23	7,94	14,03
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	6,86	7,40	11,57	5,26	10,76
	S.p.	55	8,44	8,58	15,18	4,63	13,79
	H.c.	35	8,52	8,57	13,52	4,99	12,47
	(B.r.)	7	8,44	9,39	14,26	6,29	13,91
	Gesamt	113	8,37	8,46	15,18	4,63	13,83
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	8,58	8,52	12,61	4,42	12,25
	S.p.	44	9,62	10,25	14,63	4,47	14,61
	H.c.	9	10,44	10,89	20,71	6,47	19,22
	H.s.	1	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89
	Gesamt	88	9,20	9,61	20,71	4,42	14,61
Niedersachsen	P.s.	60	5,66	5,78	9,00	3,77	8,30
	S.p.	25	4,98	5,16	8,01	3,27	7,80
	H.c.	9	6,43	6,38	7,59	5,23	7,54
	(B.r.)	1	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10
	Gesamt	95	5,57	5,68	9,00	3,27	8,14
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	6,20	6,41	10,46	4,55	9,78
	S.p.	16	6,27	6,84	10,27	4,46	10,17
	H.c.	9	6,83	7,03	9,92	3,75	9,87
	Gesamt	39	6,25	6,73	10,46	3,75	10,32

Tabelle 13: Kupfergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	6,92	6,72	9,00	4,12	8,95
	S.p.	10	5,65	5,98	9,88	3,53	9,73
	H.c.	23	7,08	7,20	12,38	3,79	12,27
	(B.r., R.s.)	9	7,56	8,91	17,81	5,46	16,98
	Gesamt	50	6,75	7,19	17,81	3,53	12,70
Saarland	P.s.	3	5,85	5,38	6,21	4,08	6,20
	S.p.	4	10,45	9,90	12,55	6,16	12,43
	Gesamt	7	6,21	7,96	12,55	4,08	12,30
Sachsen	P.s.	24	6,62	6,64	9,98	3,59	9,34
	S.p.	13	7,78	9,28	25,55	5,44	22,08
	H.c.	35	6,81	6,87	11,45	3,51	11,15
	(B.r.)	10	9,04	8,55	10,49	5,66	10,42
	Gesamt	82	7,07	7,39	25,55	3,51	11,23
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	6,46	6,78	11,38	4,34	10,09
	S.p.	26	7,24	8,35	16,34	4,21	15,56
	H.c.	3	13,28	14,06	19,65	9,26	19,39
	(B.r., R.s., L.p.)	23	9,97	10,78	25,99	3,64	23,66
	Gesamt	91	7,26	8,48	25,99	3,64	19,86
Thüringen	P.s.	24	7,23	7,30	13,51	4,52	11,96
	S.p.	10	7,70	7,24	10,24	4,28	9,98
	H.c.	26	8,14	8,11	13,30	4,94	11,93
	(B.r., R.s., P.u.)	17	8,21	8,85	13,16	4,79	13,08
	Gesamt	77	7,80	7,91	13,51	4,28	13,23
Deutschland	P.s.	423	6,66	6,95	17,89	3,59	11,61
	S.p.	286	7,39	7,91	25,55	3,27	14,61
	H.c.	246	7,32	7,55	20,71	2,92	12,47
	HS	3	6,89	6,97	7,27	6,77	7,25
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	69	8,86	9,50	25,99	3,64	19,85
	Gesamt	1027	7,14	7,53	25,99	2,92	13,88

Abbildung 8: Mediane für Kupfer im Moos-Monitoring 2000

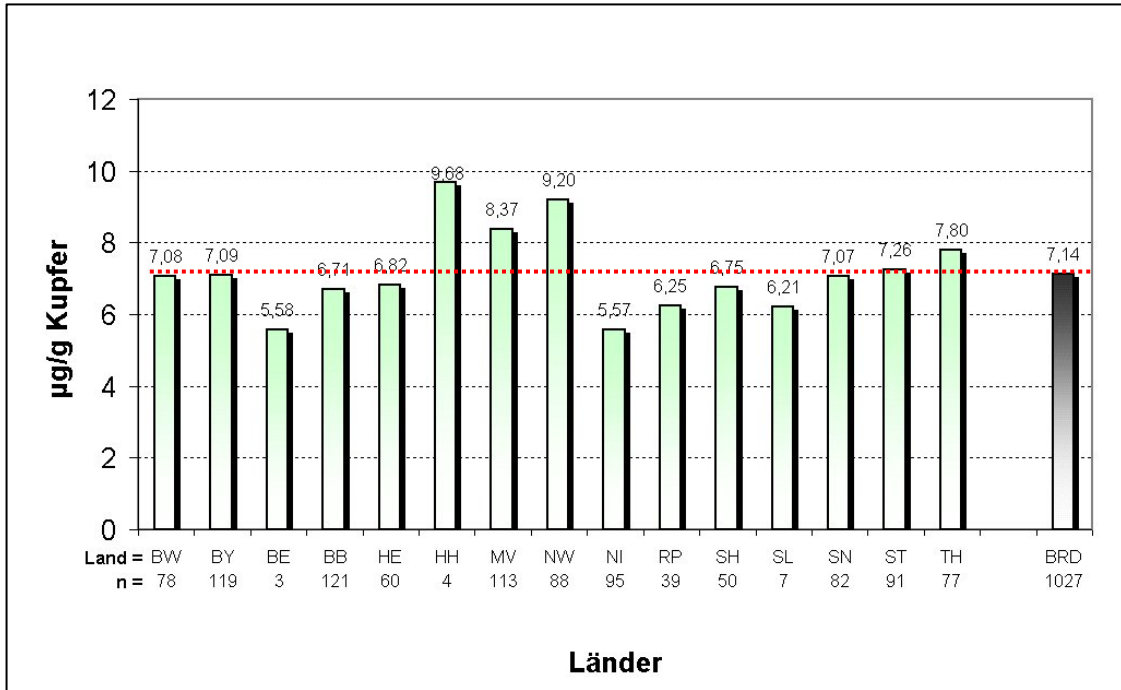
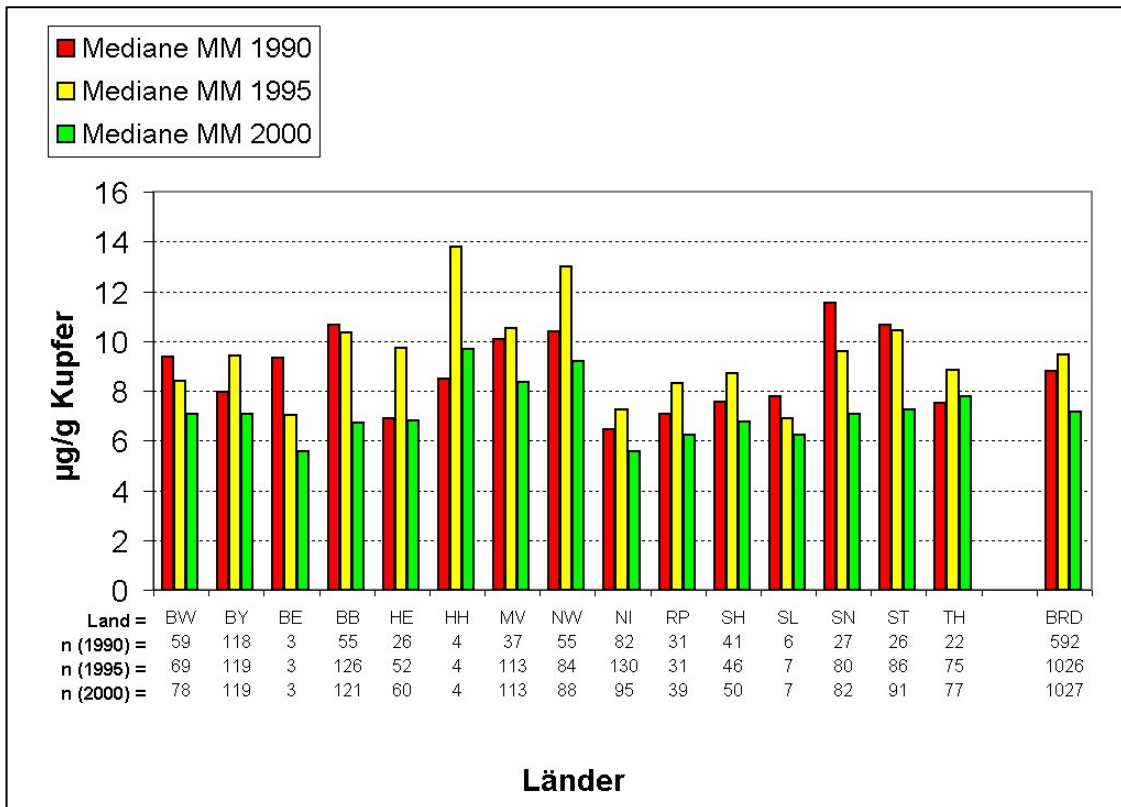


Abbildung 9: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Kupfer



3.1.5 Eisen

Allgemeines. Die mehr als tausend Eisensorten - Roheisen und Stahl - sind Legierungen mit Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Schwefel und Phosphor. Edelmehle enthalten Chrom, Aluminium, Nickel, Molybdän, Vanadium u.a..

In der obersten Erdkruste kommt Eisen mit einem Anteil von ca. 4,65 % vor (RÖSLER & LANGE 1975). Die wichtigsten Eisenerze (Gesteine mit mehr als 20 % Eisengehalt) sind Roteisenstein (Hämatit, Fe_2O_3), Brauneisenstein (Limonit, $\text{FeO}(\text{OH})$), Magnetit (Magnetit, Fe_3O_4), Pyrit (FeS_2) und Bornit (Cu_5FeS_4). Kohle enthält bis zu 10000 $\mu\text{g/g}$, Erdöl ca. 2,5 $\mu\text{g/g}$ Fe (HAMILTON 1979). Flugaschen aus Kohlekraftwerken können bis zu 70 $\mu\text{g/g}$ aufweisen (MÄKINEN 1983). In Böden kommen durchschnittlich 4,0 (0,2-55,0) % Fe vor (BOWEN 1979). Eisen ist ein essentielles Element für alle Organismenarten (Cytochrome) (STREIT 1991; NEUMÖLLER 1973).

Die mittleren Gehalte in Pflanzen werden mit 5-200 $\mu\text{g/g}$ angegeben (MARKERT 1992). Der Grundgehalt für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 400 $\mu\text{g/g}$ Fe geschätzt (MARKERT 1991).

Zu Eisen-Emissionen kommt es in der Umgebung von Eisenhütten, Stahlwerken und Kohlekraftwerken sowie durch Verwehungen von Bodenmaterial. Der Eisengehalt in der Luft von Städten stammt u. a. aus Kohleheizungen und Kohlekraftwerken und wird in Form von Flugaschen besonders aus der Braunkohlefeuerung emittiert (DÄSSLER & BÖRTITZ 1988; HAMILTON 1979). Der Eisengehalt der Luft variiert von 0,84 ng/m^3 am Südpol bis zu 14000 ng/m^3 in amerikanischen und japanischen Städten. In Europa liegen die Werte durchschnittlich bei 1400 ng/m^3 (HAMILTON 1979). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamt-

depositionen (nass und trocken) für Eisen von $1560 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von $349 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

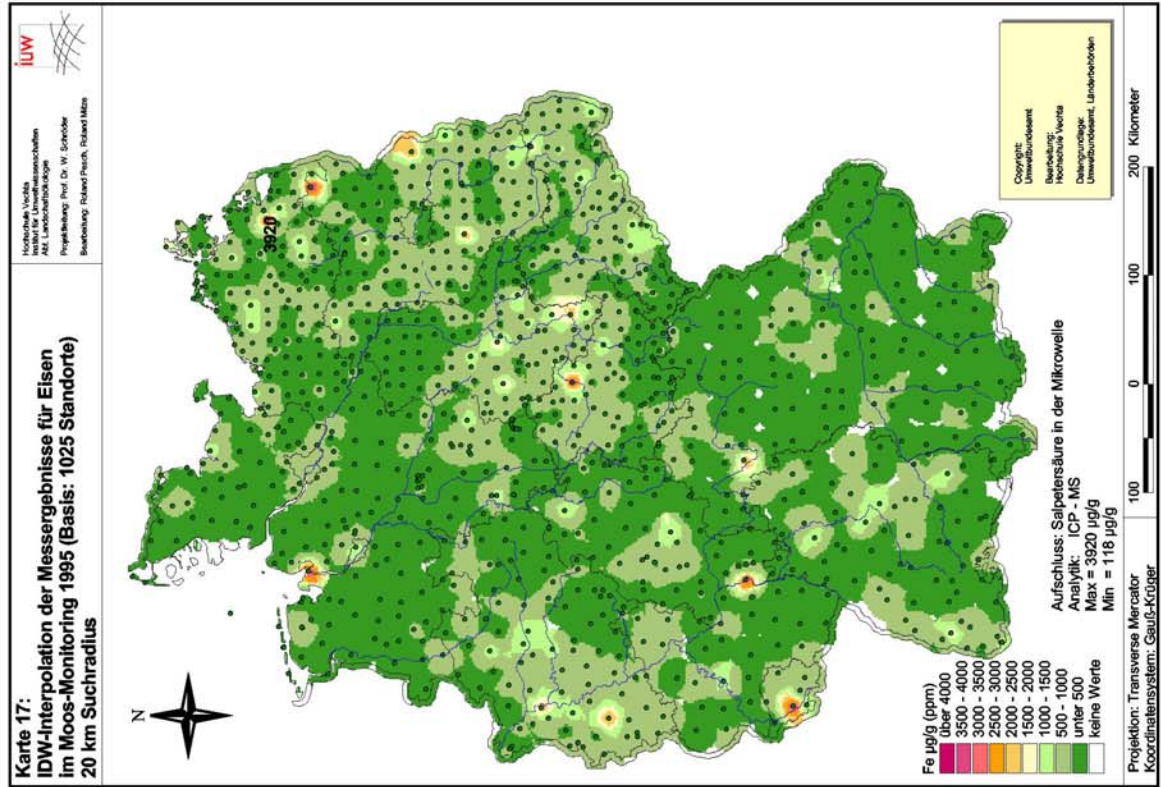
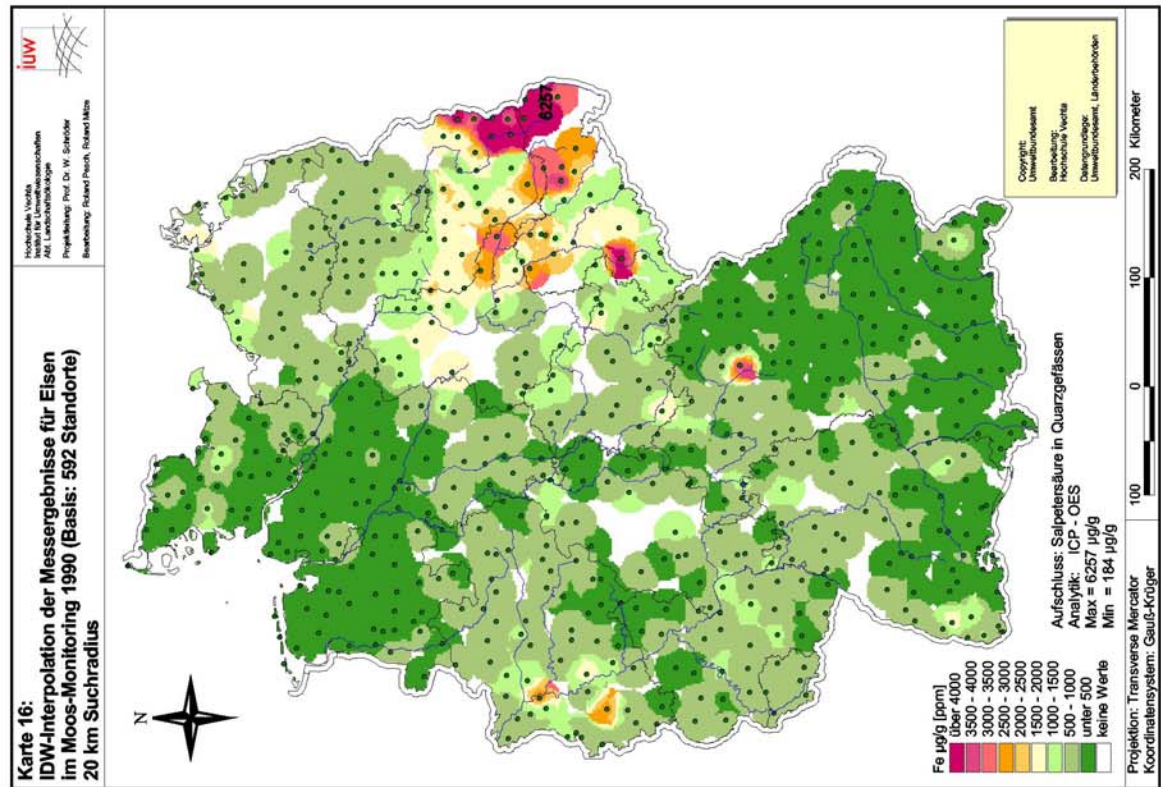
Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Eisengehalte wie auch der Entwicklung von Eisen in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sollten vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Standortvariabilität (Fe ~ 20%) betrachtet werden.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die flächenhafte Darstellung der Eisenkonzentrationen in Moosen zeigt für das Moos-Monitoring 2000 Bereiche unter $500 \mu\text{g}/\text{g}$ in weiten Teilen Deutschlands (→ Karte 18). Erhöhte Werte oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils (= $1192 \mu\text{g}/\text{g}$) lassen sich vor allem an Standorten in Sachsen-Anhalt, Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen nachweisen. Örtliche Anomalien finden sich weiterhin in Baden-Württemberg, dem Saarland und Rheinland-Pfalz (→ Anhang A.3.8). Die Messergebnisse für Eisen im Moos-Monitoring 2000 schwanken zwischen $111 \mu\text{g}/\text{g}$ in Niedersachsen und $2833 \mu\text{g}/\text{g}$ in Sachsen (→ Tabelle 14). Die höchsten Mediane im Moos-Monitoring 2000 sind in Baden-Württemberg anzutreffen, gefolgt von Rheinland-Pfalz und Thüringen. Die höchsten Spannbreiten der +Messergebnisse zeigen die Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (→ Anhang B.8).

Zeitliche Entwicklung. Die Abbildung 11 zeigt, dass bis auf Hamburg in allen Ländern seit dem Moos-Monitoring 1990 eine kontinuierliche Abnahme der Eisenakkumulation in Moosen zu verzeichnen ist. Diese Entwicklung wird auch durch den optischen Vergleich der Karten 16, 17 und 18 belegt. Standorte mit Eisengehalten oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils lagen im Moos-Monitoring 1990 noch zum größten Teil in den an Polen angrenzenden Gebieten Sachsens und Brandenburgs (→ Anhang A.1.5). Im Moos-Monitoring 1995 und 2000 liegen Standorte mit Werten oberhalb des 98-Perzentils im Vergleich dazu gleichmäßiger verteilt in ganz Deutschland vor. Seit 1995 durchgängig hohe Werte lassen sich in Baden-Württemberg, dem Saarland

sowie in Sachsen-Anhalt und Sachsen wiederfinden (→ Anhang A.2.8 und A.3.8). Andere im Moos-Monitoring 1995 als hoch belastet einzustufende Standorte wurden z.T. im Moos-Monitoring 2000 nicht wiederbeprobte (z.B. Nordenham in Niedersachsen).

Deutliche Abnahmen zeigen auch die Messergebnisse an durchgängig beprobten Standorten (→ Anhang A.4.5 und A.5.8). Hierbei sei allerdings auf die relativ hohe Standortvariabilität der Eisengehalte in Moosproben hingewiesen (→ Kapitel 2.1.3). Rund 86 % von 478 durchgängig seit dem Moos-Monitoring 1990 beprobten Standorte weisen im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte auf als 1990. Besonders prägnant sind die Abnahmen in Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Sachsen und Thüringen, wo an mehreren Standorten Rückgänge über 1600 µg/g zu verzeichnen sind. Die Entwicklung seit dem Moos-Monitoring 1995 zeigt sich nicht ganz so extrem. Von 878 durchgängig beprobten Standorten weisen hier im Moos-Monitoring 2000 lediglich 70 % niedrigere Werte auf als im Moos-Monitoring 1995. Es zeigen sich ebenfalls punktuell Rückgänge über 1600 µg/g, allerdings nicht so häufig wie in der Entwicklung seit dem Moos-Monitoring 1990. An zwei gleichen Standorten in Sachsen-Anhalt und Thüringen treten in beiden Entwicklungsszenarien Zunahmen von über 1600 µg/g auf, was mit jeweils niedrigen Werten im Moos-Monitoring 1990 und 1995 erklärt werden kann.



**Karte 18:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Eisen
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius**

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

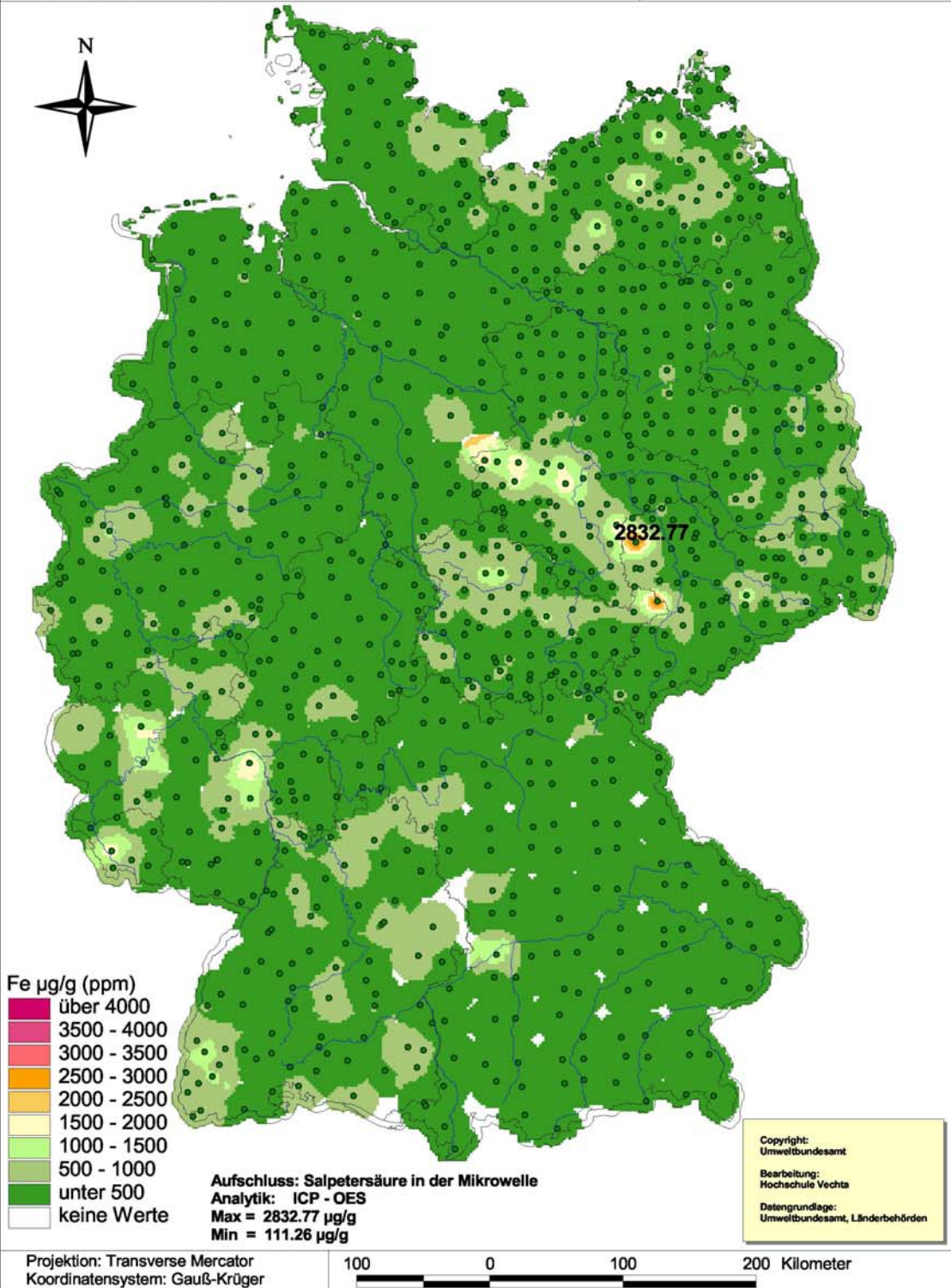


Tabelle 14: Eisengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	284	284	375	194	371
	H.c.	76	469	497	1561	192	1016
	Gesamt	78	460	492	1561	192	1005
Bayern	P.s.	88	233	249	671	124	509
	S.p.	23	287	366	1284	181	1080
	H.c.	6	425	439	811	132	784
	H.s.	2	208	208	209	207	209
	Gesamt	119	243	281	1284	124	761
Berlin	S.p.	3	204	208	263	158	261
	Gesamt	3	204	208	263	158	261
Brandenburg	P.s.	81	351	386	797	142	710
	S.p.	34	245	306	1046	150	744
	H.c.	3	537	570	642	532	638
	(B.r.)	2	345	345	348	343	348
	Gesamt	120	340	367	1046	142	714
Hessen	P.s.	25	239	282	574	152	557
	S.p.	23	328	334	685	155	677
	H.c.	12	310	381	629	198	609
	Gesamt	60	298	321	685	152	660
Hamburg	P.s.	4	355	374	486	299	481
	Gesamt	4	355	374	486	299	481
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	294	340	561	159	555
	S.p.	55	319	328	709	170	643
	H.c.	35	503	533	978	232	879
	(B.r.)	7	1296	999	1813	222	1772
	Gesamt	113	350	435	1813	159	1397
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	407	407	680	220	647
	S.p.	44	374	409	1182	213	859
	H.c.	9	523	519	797	267	796
	H.s.	1	489	489	489	489	489
	Gesamt	88	401	421	1182	213	800
Niedersachsen	P.s.	60	254	279	525	111	517
	S.p.	25	229	270	636	124	600
	H.c.	9	219	263	439	182	436
	(B.r.)	1	370	370	370	370	370
	Gesamt	95	246	276	636	111	530
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	422	424	605	304	578
	S.p.	16	477	676	1830	225	1734
	H.c.	9	464	572	985	278	978
	Gesamt	39	433	562	1830	225	1587

Tabelle 14: Eisengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	300	287	394	179	389
	S.p.	10	229	297	750	193	676
	H.c.	23	307	363	1045	161	810
	(B.r., R.s.)	9	383	471	892	223	884
	Gesamt	50	303	357	1045	161	895
Saarland	P.s.	3	372	369	409	328	407
	S.p.	4	762	892	1745	298	1692
	Gesamt	7	409	668	1745	298	1639
Sachsen	P.s.	24	389	419	920	204	795
	S.p.	12	366	359	636	168	593
	H.c.	35	371	467	1685	224	1357
	(B.r.)	11	441	732	2833	255	2468
	Gesamt	82	377	473	2833	168	1385
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	271	301	574	163	547
	S.p.	26	305	451	2282	146	2168
	H.c.	3	661	1002	1871	473	1823
	(B.r., R.s., L.p.)	23	751	852	2140	326	1951
	Gesamt	91	326	506	2282	146	2072
Thüringen	P.s.	24	364	366	590	173	556
	S.p.	10	328	355	603	194	578
	H.c.	26	590	619	1214	236	1193
	(B.r., R.s., P.u.)	17	539	725	2783	234	2298
	Gesamt	77	445	529	2783	173	1240
Deutschland	P.s.	422	302	328	920	111	649
	S.p.	285	315	375	2282	124	1215
	H.c.	246	446	493	1871	132	1175
	HS	3	209	302	489	207	478
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	622	747	2833	222	2538
	Gesamt	1026	343	409	2833	111	1192

Abbildung 10: Mediane für Eisen im Moos-Monitoring 2000

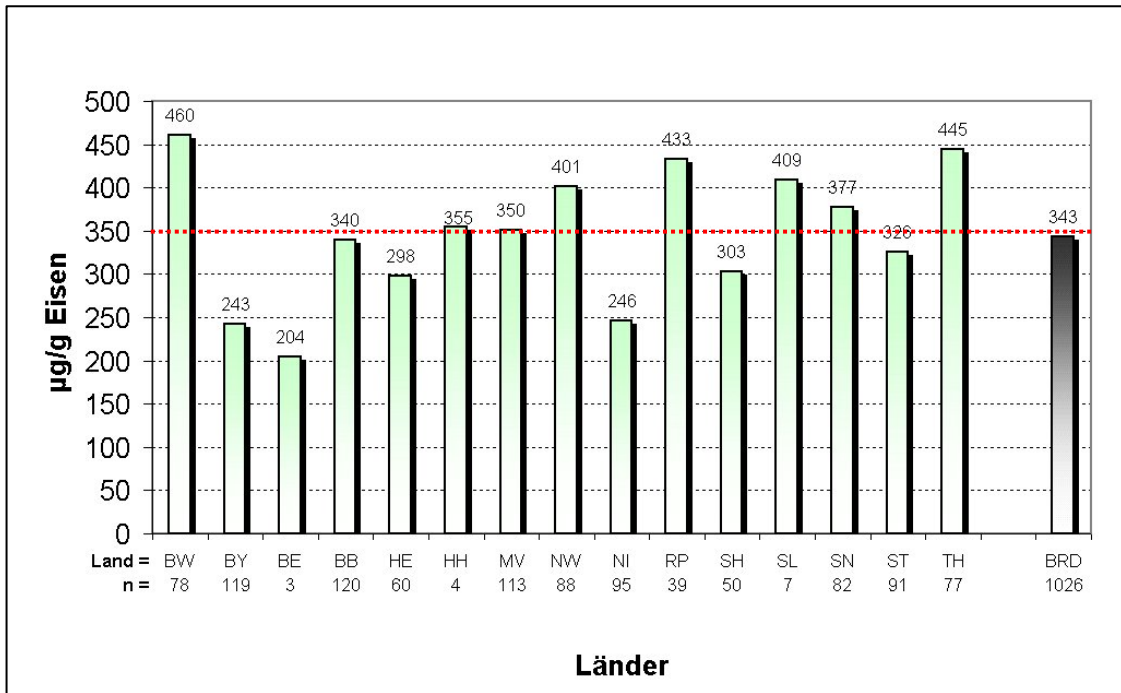
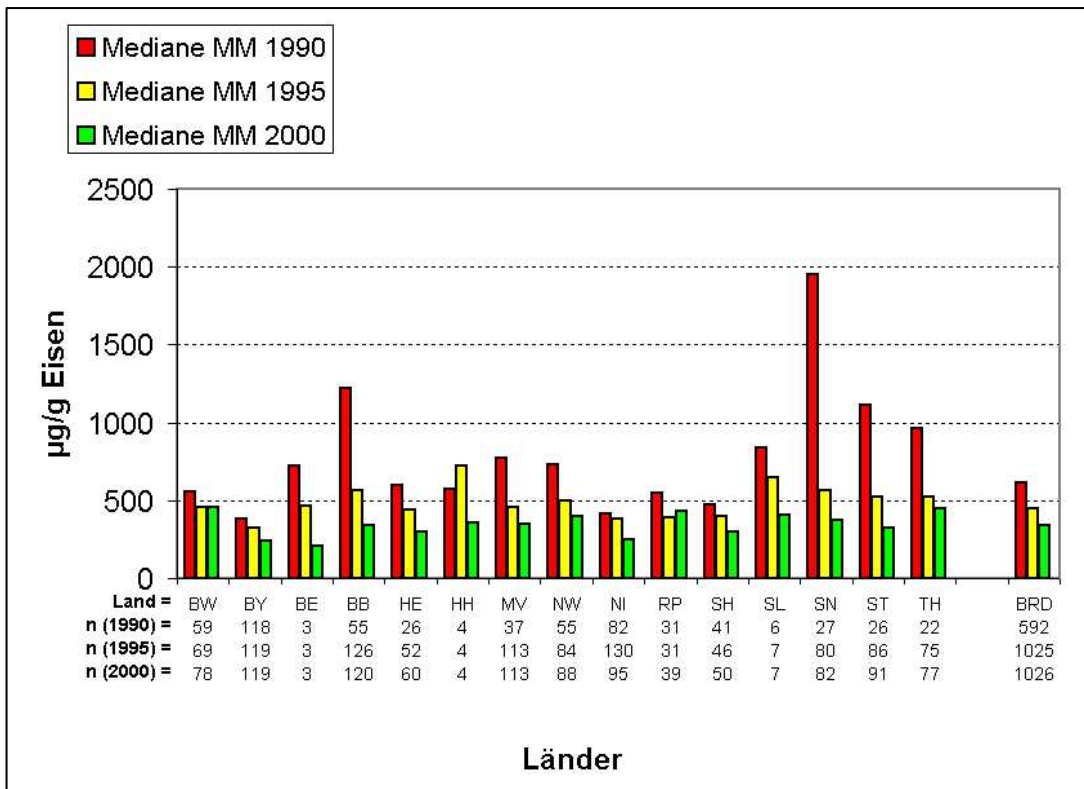


Abbildung 11: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Eisen



3.1.6 Nickel

Allgemeines. Nickel kommt in der Erdkruste durchschnittlich mit 58 µg/g vor (RÖSLER & LANGE 1975) und ist überwiegend an Schwefel, Kieselsäure, Arsen oder Antimon gebunden. Abbauwürdige Mengen finden sich vor allem in Sulfidlagerstätten.

Die wichtigsten Erze sind Pentlandit (Nickeleisenkies, $[\text{Ni,Fe}]_9\text{S}_8$) und Garnierit ($[(\text{Ni,Mg})_6][[\text{OH}]_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$). Zahlreiche Nickel-Legierungen, besonders mit Cu, Cr, Fe und Co haben wegen ihrer Korrosions- und Hitzebeständigkeit große technische Bedeutung. Nach KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) variieren die natürlichen Bodengehalte von 2-8000 µg/g, wobei Serpentinböden die höchsten Nickelgehalte aufweisen. Für Erdöl werden Gehalte von 0,29-76,6 µg/g Ni berichtet (ZIEMACKI et al. 1989). Nach SUNDERMAN & OSKARSSON (1991) variieren die Gehalte in Kohle von 4-24 µg/g, während Rohöl (speziell aus Angola, Kolumbien und Kalifornien) bis zu 100 µg/g Ni enthalten kann. Nach DARBINJAN (1988) wird der Nickelgehalt in Braunkohlen ostelbischer Lagerstätten auf durchschnittlich 12,4 (0,7-62) µg/g geschätzt.

Mittlere Gehalte in Pflanzen betragen 0,4-4 µg/g Ni (MARKERT 1992). Der Grundgehalt in einem mittelbelasteten Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 1,5 µg/g Ni geschätzt (MARKERT 1991). Nickel ist für manche Organismen essentiell (STREIT 1991).

Zu natürlichen Nickel-Emissionen kommt es durch vulkanische Tätigkeiten und Windverwehungen von Bodestaub. Als anthropogene Hauptquelle gilt die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Metallverarbeitung, insbesondere die Cu-Ni-Verhüttung (NRIAGU & PACYNA 1988; SUNDERMAN & OSKARSSON 1991). Bei der Kohleverbrennung bleibt der größte Teil als NiSO_4 in der Flugasche zurück (HAMILTON 1979; ZIEMACKI et al. 1989). Eine weitere bedeu-

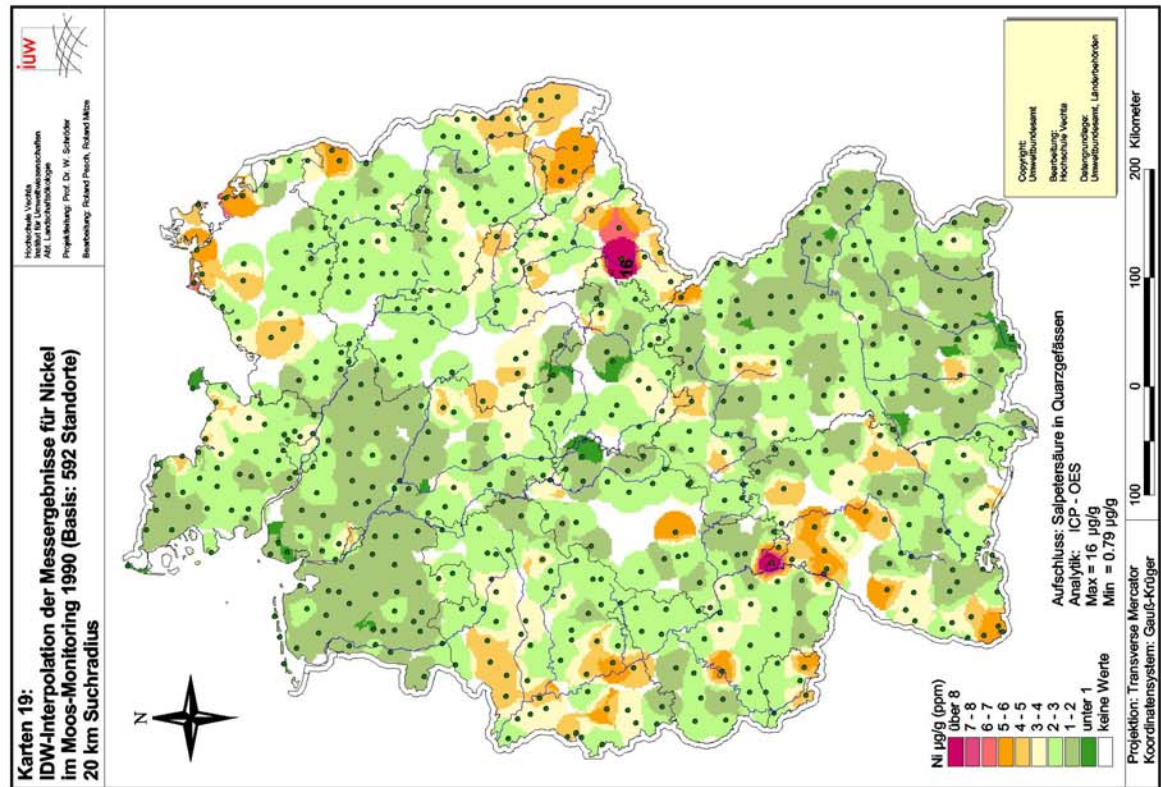
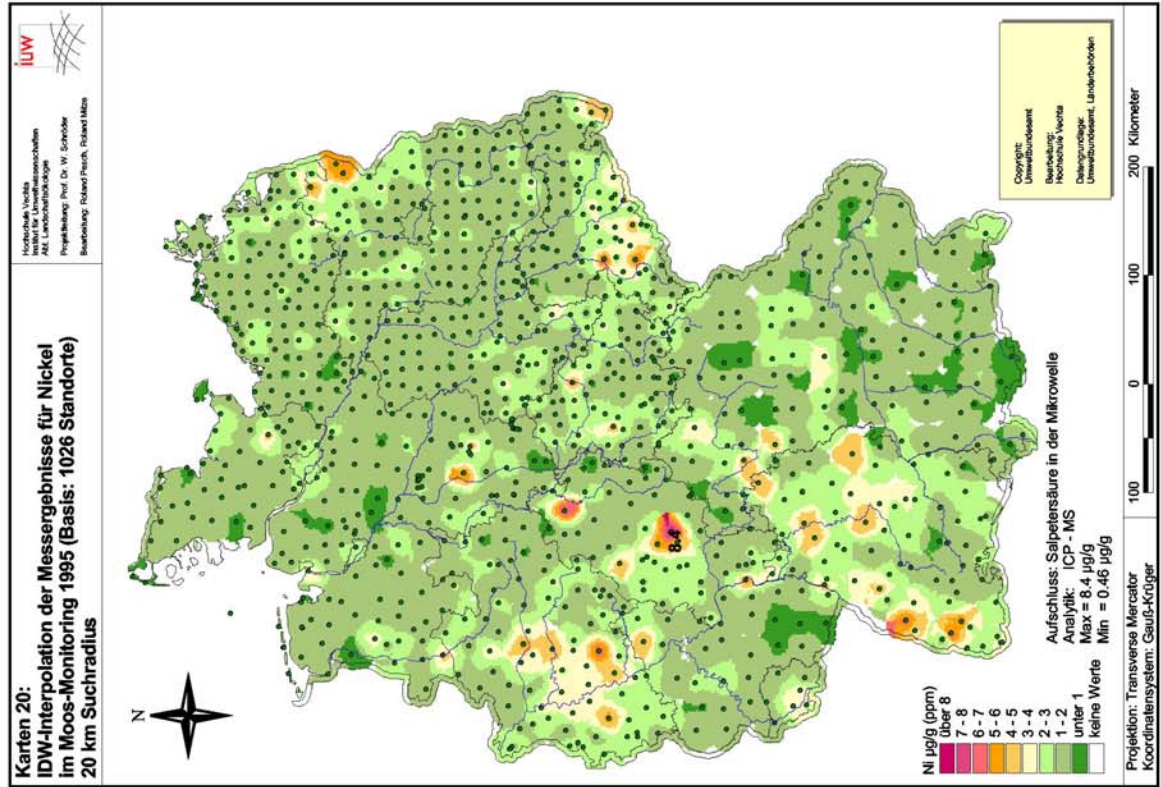
tende Emissionsquelle sind Autoabgase bei Verwendung von Diesel oder Öl- / Benzingemischen. Dieselöl kann bis zu 2 mg/l Ni enthalten (FISCHBEIN 1981). Andere Nickel-Emissionen sind auf Nickelbergbau- und Veredelungsprozesse sowie Müllverbrennung zurückzuführen (SUNDERMANN & OSKARSSON 1991). Der Nickelgehalt der Luft variiert in Europa in abgelegenen Gebieten zwischen 0,1-0,7 ng/m³, in städtischen Bereichen zwischen 3-100 ng/m³ und in industriellen Gebieten zwischen 8-200 ng/m³ (ZIEMACKI et al. 1989). In Deutschland schwanken die Gehalte in der Luft von 4-120 ng/m³ (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1984). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (nass und trocken) für Nickel von 12,1 µg/m² * d im Fichtenaltbestand und von 2,1 µg/m² * d im benachbarten Freiland. Aufgrund des hohen Vorkommens in Heizmaterialien wurden saisonale Schwankungen in den Luftgehalten festgestellt (SUNDERMAN & OSKARSSON 1991).

Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Nickelgehalte wie auch der Entwicklung von Nickel in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sollten vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen analytischen Qualitätskenngrößen der Labore der BGR und der LUFA Hameln (Ni ~ 17%) und der in Kapitel 2.1.3 behandelten Standortvariabilität (Ni ~ 20%) betrachtet werden.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die Nickelgehalte in Moosen im Moos-Monitoring 2000 von 1028 beprobten Standorten reichen von 0,39 µg/g in Bayern bis 5,07 µg/g in Brandenburg (→ Tabelle 15). Die höchsten Spannweiten finden sich in Brandenburg und Rheinland-Pfalz, die höchsten Mediane vor allem in Baden-Württemberg (Faktor 1,8 im Vergleich zum bundesweiten Median), sowie in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen (→ Anhang B.14). Die IDW-Karte der Nickel-Ergebnisse des Moos-Monitoring 2000 zeigt nur wenige Bereiche, auf denen 3 µg/g überschritten werden. Dahingegen liegen weite Teile des nördlichen Bundesgebiets sowie von Bayern unter Werten von 1 µg/g.

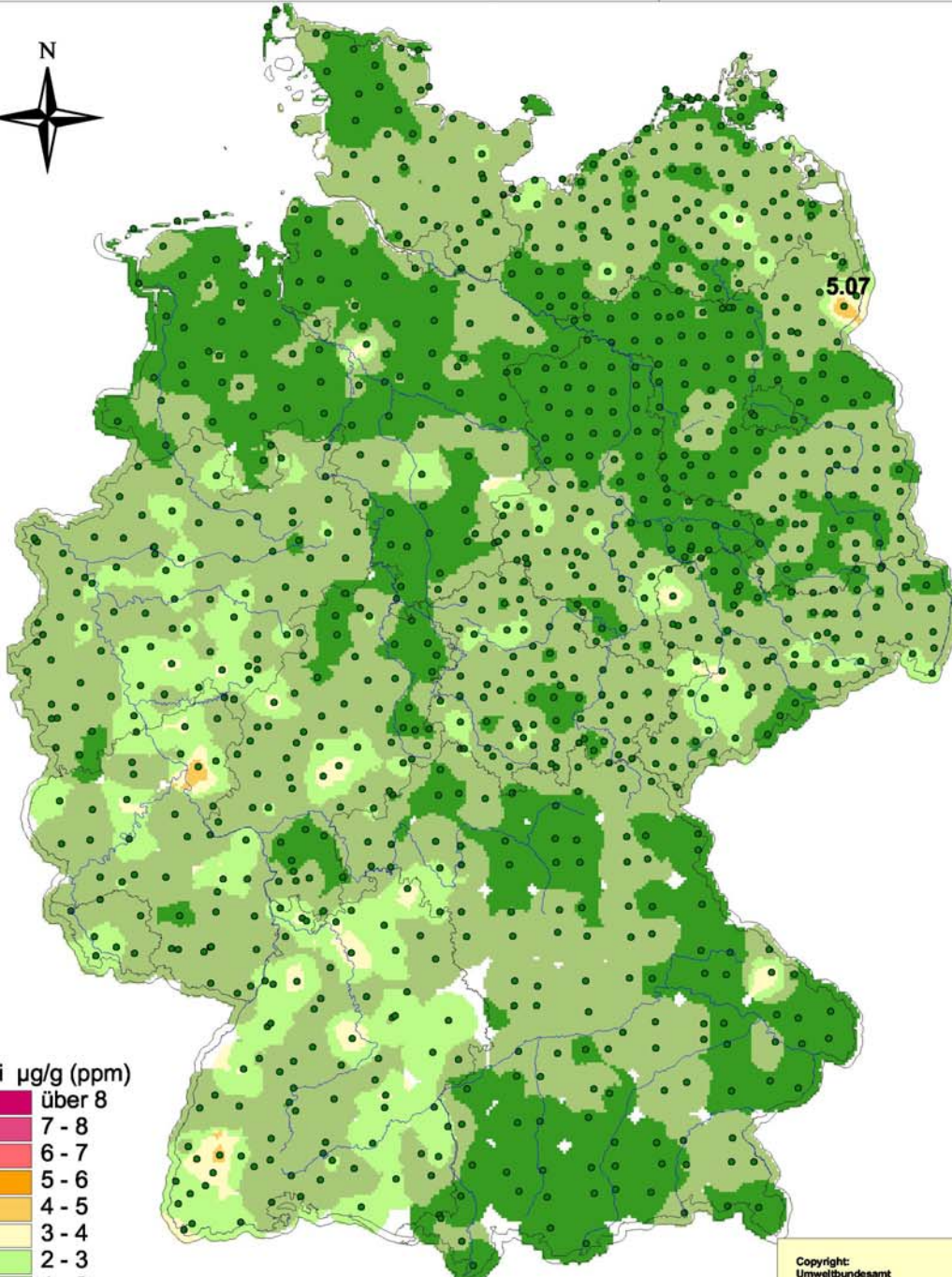
Zeitliche Entwicklung. Die Abbildung 13 zeigt fast in allen Ländern eine kontinuierliche Abnahme des Medians seit dem Moos-Monitoring 1990. Lediglich in Rheinland-Pfalz lässt sich eine leichte Zunahme seit dem Moos-Monitoring 1995 feststellen. Der stärkste Rückgang zeichnet sich in Sachsen ab. Ein optischer Vergleich der Flächen- und Punktkarten untermauert die durch die Medianvergleiche festgestellten Entwicklungstendenzen (→ Karten 19, 20 und 21; → Anhang A.1.6, A.2.14, A.3.14). Im Moos-Monitoring 1990 nachgewiesene Regionen mit hohen Stoffgehalten in Baden-Württemberg und Sachsen mit Werten von z.T. über 8 µg/g wiesen im Moos-Monitoring 1995 weitaus geringere Werte auf. In Sachsen, wo im Moos-Monitoring 1990 noch das Maximum von 16 µg/g lag, können die stärksten Rückgänge beobachtet werden. Leichte Zunahmen zeigten sich nur in Hessen, wo mit 8,43 µg/g auch das Maximum im Moos-Monitoring 1995 zu finden war. Bis zum Moos-Monitoring 2000 zeichnet sich ein weiterer Rückgang der Stoffgehalte ab. Werte über 4 µg/g zeigen sich nur in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Brandenburg. Regionen mit geringen Stoffgehalten finden sich großflächig in Bayern, Niedersachsen, Brandenburg sowie im nördlichen Sachsen-Anhalt.

Die beschriebenen Entwicklungstendenzen werden durch den standortbezogenen Abgleich der Ergebnisse des Moos-Monitorings 2000 mit denen des Moos-Monitorings 1990 bzw. 1995 untermauert (→ Anhang A.4.6, A.5.14). So konnten bei den von 1990 bis 2000 durchgängig beprobten Standorten in 93 % (= 445 Standorte) der Fälle Abnahmen verzeichnet werden. Abnahmen von mehr als 2 µg/g treten gehäuft hauptsächlich in Sachsen, Brandenburg und Nordrhein-Westfalen auf. Allerdings kommen an einigen Standorten in Baden-Württemberg, Bayern und Niedersachsen Zunahmen von bis zu 2 µg/g vor. Bei den 1995 und 2000 beprobten Standorten ist die Entwicklung etwas gemäßiger, allerdings zeichnen sich auch hier eindeutige Tendenzen ab. So weisen 699 Standorte (~ 73%) bundesweit im Moos-Monitoring 2000 geringere Werte auf als im Moos-Monitoring 1995. Auffallend sind lediglich punktuelle Zunahmen von mehr als 2 µg/g in Niedersachsen und Thüringen.



Karte 21:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Nickel
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie
 Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
 Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Ni µg/g (ppm)

- über 8
- 7 - 8
- 6 - 7
- 5 - 6
- 4 - 5
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- unter 1
- keine Werte

Aufschluss: Salpetersäure in der Mikrowelle
 Analytik: ICP - MS
 Max = 5.07 µg/g
 Min = 0.39 µg/g

Copyright:
 Umweltbundesamt
 Bearbeitung:
 Hochschule Vechta
 Datengrundlage:
 Umweltbundesamt, Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger



Tabelle 15: Nickelgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	1,04	1,04	1,25	0,82	1,24
	H.c.	76	2,05	2,19	4,33	0,93	3,90
	Gesamt	78	2,04	2,16	4,33	0,82	3,88
Bayern	P.s.	88	0,93	0,94	1,89	0,39	1,72
	S.p.	23	1,14	1,20	1,99	0,55	1,93
	H.c.	6	1,93	2,00	3,59	1,12	3,46
	H.s.	2	0,90	0,90	1,21	0,59	1,20
	Gesamt	119	0,96	1,05	3,59	0,39	2,16
Berlin	S.p.	3	0,67	0,68	0,75	0,63	0,75
	Gesamt	3	0,67	0,68	0,75	0,63	0,75
Brandenburg	P.s.	82	1,02	1,07	5,07	0,49	2,09
	S.p.	34	0,83	0,87	1,45	0,56	1,33
	H.c.	3	1,82	1,81	1,89	1,72	1,89
	(B.r.)	2	1,38	1,38	1,87	0,88	1,85
	Gesamt	121	0,97	1,04	5,07	0,49	1,88
Hessen	P.s.	25	1,16	1,31	3,40	0,72	2,83
	S.p.	23	1,10	1,30	3,46	0,59	2,90
	H.c.	12	1,88	1,94	3,17	0,87	3,11
	Gesamt	60	1,29	1,43	3,46	0,59	3,36
Hamburg	P.s.	4	1,22	1,20	1,46	0,92	1,45
	Gesamt	4	1,22	1,20	1,46	0,92	1,45
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	1,01	1,02	1,41	0,69	1,39
	S.p.	55	0,91	0,97	2,48	0,50	1,56
	H.c.	35	1,69	1,74	3,52	0,98	3,09
	(B.r.)	7	1,61	1,53	1,92	0,68	1,92
	Gesamt	113	1,11	1,25	3,52	0,50	2,77
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	1,49	1,70	3,24	0,94	3,16
	S.p.	44	1,52	1,58	2,62	0,83	2,57
	H.c.	9	2,15	2,22	3,19	1,43	3,14
	H.s.	1	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
	Gesamt	88	1,54	1,69	3,24	0,83	3,13
Niedersachsen	P.s.	60	0,88	0,94	3,74	0,48	1,53
	S.p.	25	0,77	0,81	1,46	0,53	1,38
	H.c.	9	1,03	1,13	1,74	0,67	1,72
	(B.r.)	1	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
	Gesamt	95	0,87	0,94	3,74	0,48	1,85
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	1,24	1,41	1,97	1,08	1,96
	S.p.	16	1,72	1,71	3,10	0,83	2,95
	H.c.	9	2,33	2,52	4,98	1,17	4,69
	Gesamt	39	1,70	1,79	4,98	0,83	3,62

Tabelle 15: Nickelgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,89	0,87	1,15	0,65	1,12
	S.p.	10	0,76	0,90	1,36	0,66	1,33
	H.c.	23	1,42	1,39	2,17	0,78	2,10
	(B.r., R.s.)	9	1,46	1,47	1,85	1,09	1,84
	Gesamt	50	1,15	1,22	2,17	0,65	2,01
Saarland	P.s.	3	1,10	1,17	1,39	1,03	1,38
	S.p.	4	2,07	2,02	2,72	1,21	2,69
	Gesamt	7	1,39	1,65	2,72	1,03	2,65
Sachsen	P.s.	24	1,03	1,11	2,05	0,64	1,96
	S.p.	13	0,94	1,06	2,53	0,48	2,26
	H.c.	35	1,74	1,85	3,31	0,94	3,19
	(B.r.)	11	1,48	1,73	3,79	0,95	3,52
	Gesamt	83	1,33	1,49	3,79	0,48	3,19
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,82	0,87	1,28	0,53	1,28
	S.p.	26	0,85	1,00	3,05	0,51	2,72
	H.c.	3	2,38	2,35	2,57	2,10	2,56
	(B.r., R.s., L.p.)	23	1,48	1,51	2,61	0,81	2,55
	Gesamt	91	0,91	1,12	3,05	0,51	2,58
Thüringen	P.s.	24	1,07	1,12	1,91	0,54	1,86
	S.p.	10	0,97	1,03	2,00	0,57	1,86
	H.c.	26	1,91	1,95	3,46	0,76	3,27
	(B.r., R.s., P.u.)	17	1,28	1,51	3,13	0,63	2,91
	Gesamt	77	1,32	1,48	3,46	0,54	3,10
Deutschland	P.s.	423	1,00	1,09	5,07	0,39	2,50
	S.p.	286	0,98	1,14	3,46	0,48	2,58
	H.c.	246	1,82	1,93	4,98	0,67	3,60
	HS	3	1,14	0,98	1,21	0,59	1,21
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	1,47	1,56	3,79	0,63	2,95
	Gesamt	1028	1,13	1,34	5,07	0,39	3,19

Abbildung 12: Mediane für Nickel im Moos-Monitoring 2000

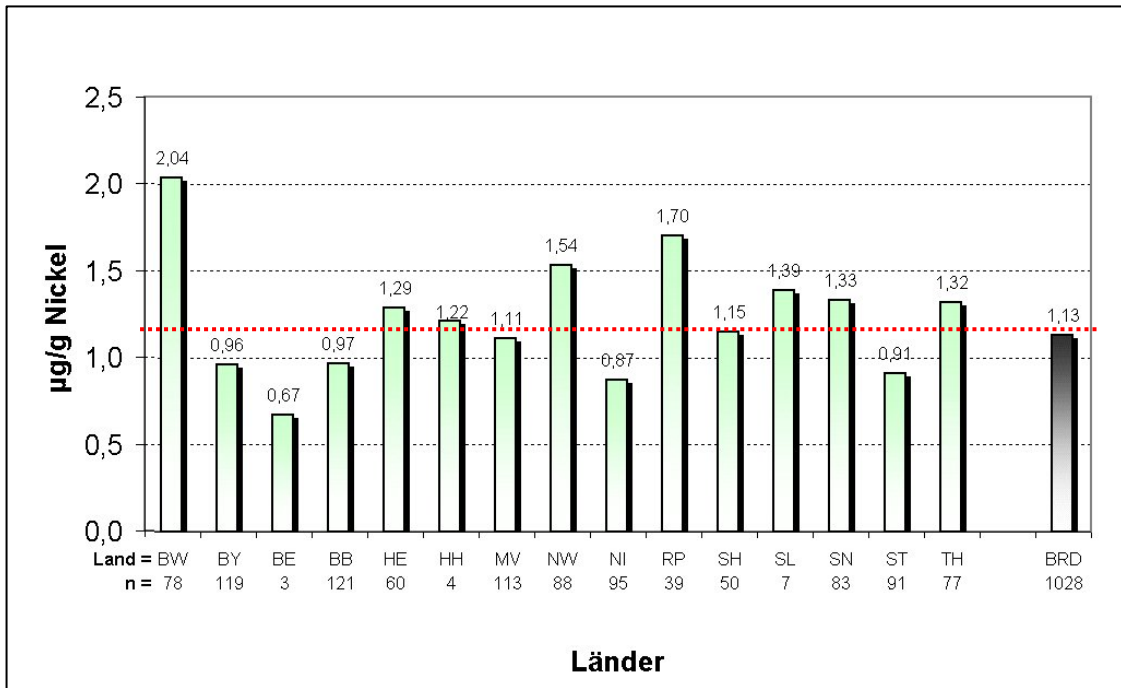
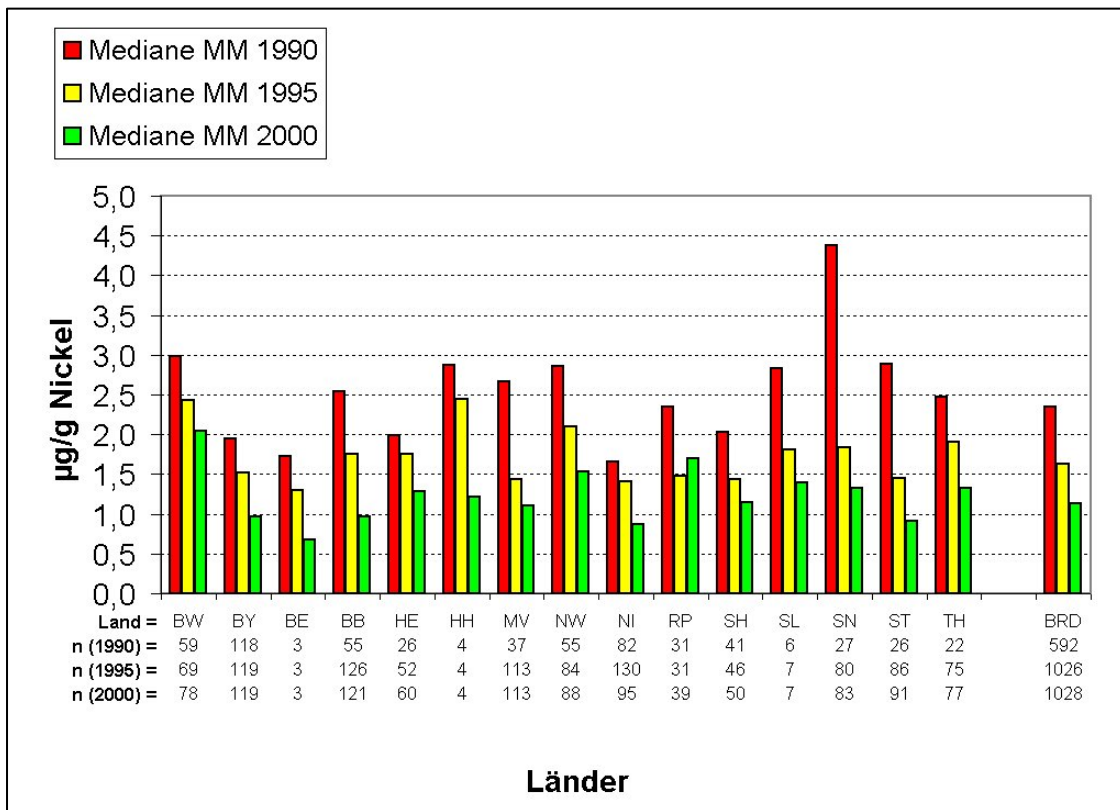


Abbildung 13: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Nickel



3.1.7 Blei

Allgemeines. Der mittlere Bleigehalt der Erdkruste wird auf 16 µg/g geschätzt (RÖSLER & LANGE 1975). Als wichtige Bleiminerale gelten Bleiglanz (PbS), Bleikarbonat (PbCO₃) und Bleisulfat (PbSO₄). Bleiglanz kommt mit Zinkmineralen, mit Kupfer-, Eisen-, Cadmium- und anderen Erzmineralen vor. In der Umgebung bleiverarbeitender Industrien wurden im Oberboden bis zu 20.000 µg/g Pb gemessen. Normale Böden enthalten durchschnittlich 10-40 µg/g Pb (EWERS & SCHLIPKÖTER 1991).

In Pflanzen variieren die Gehalte im Durchschnitt von 0,1-5 µg/g (MARKERT 1992). Für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird ein Grundgehalt von 10 µg/g Pb geschätzt (MARKERT 1991). Ökotoxikologisch wichtig sind die Blei(II)salze und Organoblei-Verbindungen wie Pb-tetraethyl und Pb-tetramethyl (STREIT 1991).

Der Hauptteil an Blei-Emissionen resultiert aus der Verbrennung von verbleitem Benzin (Pb-tetramethyl und Pb-tetraethyl als Antiklopfmittel). Nach EWERS & SCHLIPKÖTER 1991 sind über 90% der atmosphärischen Blei-Emissionen auf den Autoverkehr zurückzuführen. Zur Blei-Emission aus Kraftfahrzeugen in den neuen Ländern wird vermutet, daß die Werte über denen der alten Länder liegen, da der Kraftstoff in den neuen Ländern einen hohen Bleianteil aufwies (PETSCHOW et al. 1990). Blei ist ferner in Kohle enthalten. Insbesondere bei der Verbrennung stark schwefelhaltiger Kohlen wird Blei emittiert (ZIEMACKI et al. 1989). Weitere Quellen sind die Eisen- und Stahlindustrie, die Verhüttung von Blei-, Kupfer- und Zinkerzen sowie Verwehungen von kontaminiertem Bodenmaterial in der Nähe bleiverarbeitender Industrien (NRIAGU & PACYNA 1988; EWERS & SCHLIPKÖTER 1991). Da der Kraftfahrzeugverkehr die Hauptmenge des atmosphärischen Bleis liefert, ist der Bleigehalt der Luft in urban-industriellen Gebieten bedeutend höher als in abgelegenen ländlichen Ge-

bieten. Viele europäische Städte zeigen im jährlichen Mittel $0,5-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber $0,1-0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Pb in abgelegenen Gebieten (ZIEMACKI et al. 1989). In Grönland und der Antarktis wurden jährliche Durchschnitts-Depositionsraten von unter $1 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Pb festgestellt. In ländlichen Bereichen Europas und Nordamerikas konnten $20-80 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, in großen Städten 1,5-10 mal höhere Depositionsraten nachgewiesen werden. Im Niederschlag Westdeutschlands wurden Bleikonzentrationen von $15 - 50 \mu\text{g Pb}/\text{l}$ mit einer Naßdepositionrate von etwa $30 \mu\text{g Pb}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ in ländlichen Gebieten, $50 \mu\text{g Pb}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ in urbanen Bereichen und $100-150 \mu\text{g Pb}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ in Regionen mit Metallindustrie festgestellt (VALENTA et al. 1986). SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (nass und trocken) für Blei von $139 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von $46 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. In Deutschland wurden im Moos-Monitoring 2000 an insgesamt 1026 Standorten Bleigehalte zwischen $1,61$ und $29,4 \mu\text{g}/\text{g}$ ermittelt (\rightarrow Tabelle 16; Anhang B.15). Der bundesweite Median liegt bei $4,62 \mu\text{g}/\text{g}$, das bundesweite 98-Perzentil bei $16,2 \mu\text{g}/\text{g}$. Der bundesweite Medianvergleich (Abbildung 14) zeigt erhöhte Bleigehalte in Nordrhein-Westfalen ($7,04 \mu\text{g}/\text{g}$), Rheinland-Pfalz ($7,46 \mu\text{g}/\text{g}$) und dem Saarland ($8,9 \mu\text{g}/\text{g}$). Probenentnahmestandorte, an denen Bleiwerte oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils gemessen wurden, finden sich vor allem in Baden-Württemberg, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen (\rightarrow Anhang A.3.15). Die Karte 24 zeigt, dass gemäß der in den Vorgängerprojekten vorgenommenen Klassifizierung bundesweit kaum Gebiete mit hohen Stoffgehalten herauszuheben sind. Besonders niedrige Stoffgehalte sind in Bayern sowie weiten Teilen Baden-Württembergs und dem Norden Deutschlands zu erkennen.

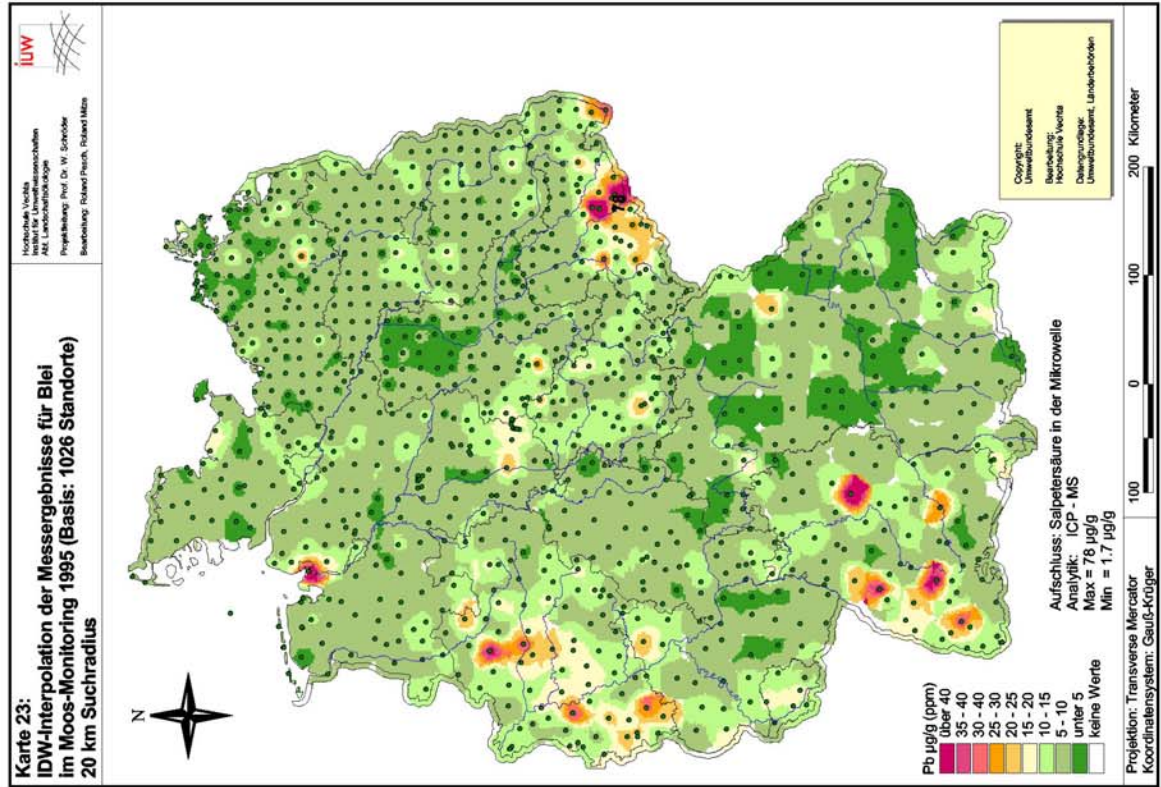
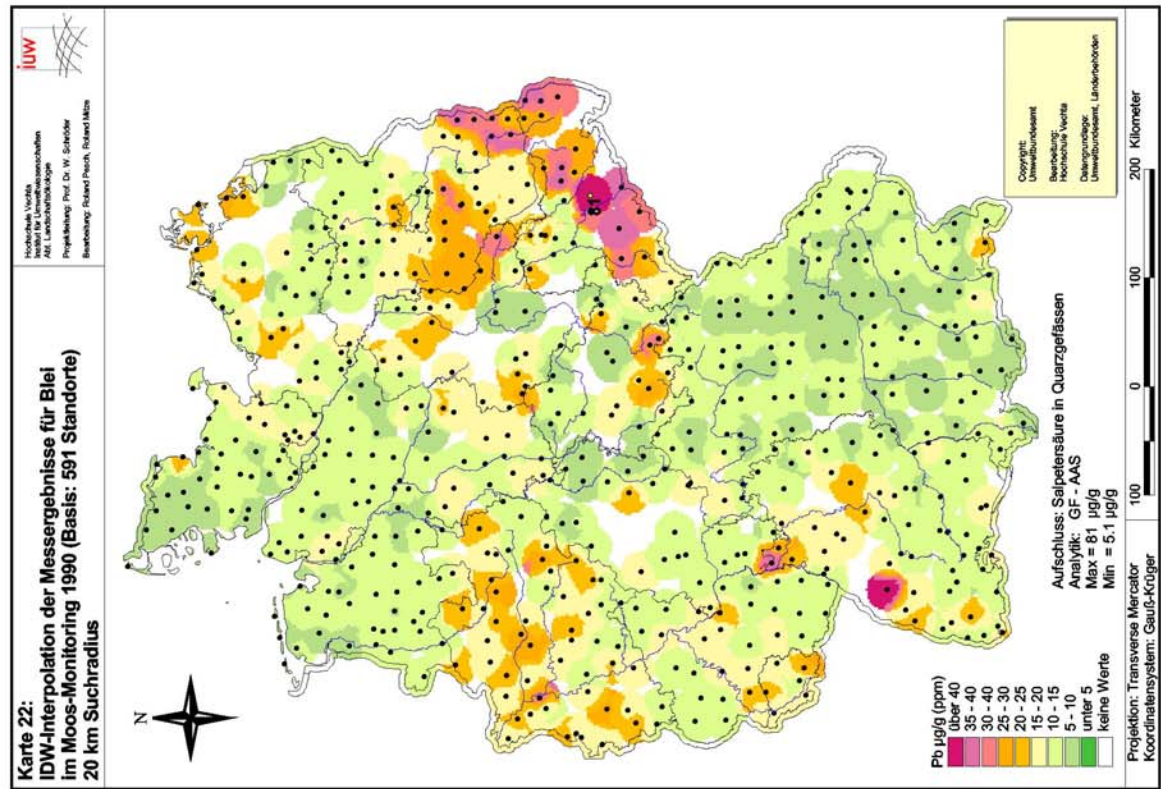
Zeitliche Entwicklung. Die Abbildung 15 zeigt, dass gemessen an den Medianen der Bleiergebnisse aller Ländern mit Ausnahme von Rheinland-Pfalz und Hamburg seit 1990 eine kontinuierliche Abnahme der Bleigehalte erfolgt ist. In

Rheinland-Pfalz ist seit dem Moos-Monitoring 1995 eine leichte Zunahme zu verzeichnen, in Hamburg lag der Median im Moos-Monitoring 1995 höher als im Moos-Monitoring 1990. Ein deutlicher Rückgang ist vor allem in Sachsen zu verzeichnen, wo im Moos-Monitoring 1990 mit 27 µg/g noch der höchste Median festgestellt werden konnte. Im Moos-Monitoring 2000 liegt dieser nur noch knapp über dem bundesweiten Schnitt.

Ein optischer Vergleich der Karten 22, 23 und 24 sowie der in den Anhängen A.1.7, A.2.15 und A.3.15 dargestellten Karten unterstreicht die durch den Vergleich der länderspezifischen Mediane beschriebene Messwertentwicklung. Traten im Moos-Monitoring 1990 erhöhte Bleigehalte in weiten Teilen Sachsens, Brandenburgs, Baden-Württembergs und Nordrhein-Westfalens (Bleigehalte > 15 µg/g) auf, so ließen sie sich im Moos-Monitoring 1995 nur noch in geringeren räumlichen Ausmaßen wiedererkennen. Im Moos-Monitoring 2000 sind weitere Rückgänge zu verzeichnen. Maximale Werte von 81 µg/g im Moos-Monitoring 1990 und 78 µg/g im Moos-Monitoring 1995 in Sachsen konnten im Moos-Monitoring 2000 nicht nachgewiesen werden. Die Verteilung der Standorte mit Werten oberhalb des bundesweiten 98-Perzentils zeigt weiterhin, dass in den meisten Fällen in allen drei Messphasen erhöhte Gehalte an denselben Standorten gemessen wurden.

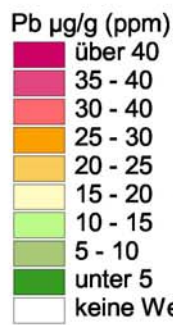
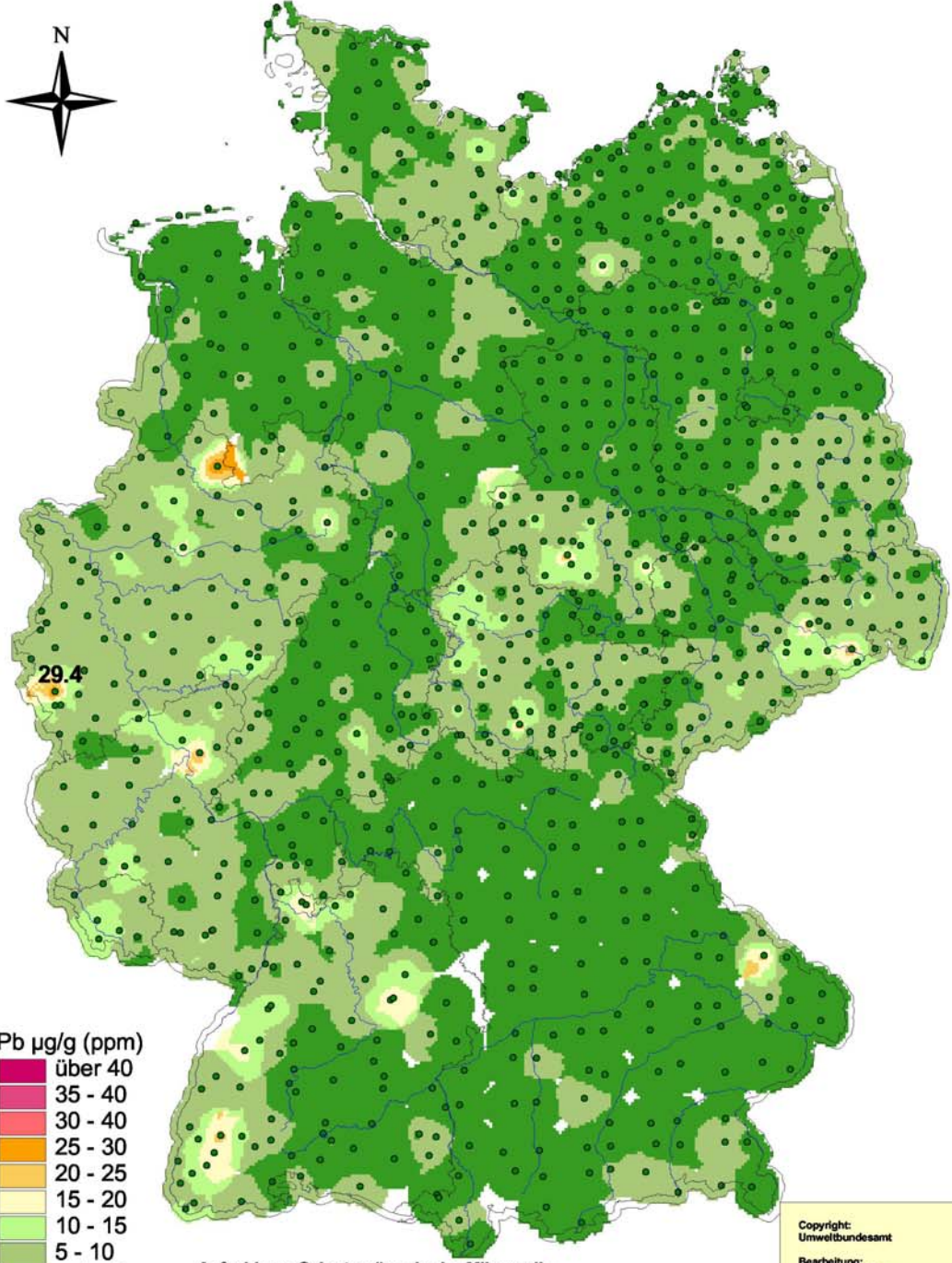
Die seit dem Moos-Monitoring 1990 zu verzeichnende Abnahme der Stoffgehalte von Blei wird auch aus den Karten der Anhänge A.4.7 und A.5.15 deutlich. So verzeichnen die 479 der seit 1990 durchgängig beprobten Standorte in 98 % der Fälle im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte als im Moos-Monitoring 1990. Mit Rückgangsraten von mehr als 24 µg/g zeigen sich besonders hohe Rückgänge der Stoffgehalte in Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen und Baden-Württemberg. Dennoch existieren örtliche Zunahmen oberhalb von 6 µg/g Blei in Bayern und Sachsen-Anhalt. In der Stoffgehaltsentwicklung seit dem Moos-Monitoring 1995 zeigen sich bei den seit 1995 durchgängig beprobten Standorten in 87% der Fälle niedrigere Werte.

Rückgänge von mehr als 24 µg/g sind in Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg festzustellen, Zunahmen von mehr als 6 µg/g sind vor allem in Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen zu finden.



Karte 24:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Blei
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie
 Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
 Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Aufschluss: Salpetersäure in der Mikrowelle
 Analytik: ICP - MS
 Max = 29.4 µg/g
 Min = 1.61 µg/g

Copyright:
 Umweltbundesamt
 Bearbeitung:
 Hochschule Vechta
 Datengrundlage:
 Umweltbundesamt, Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger



Tabelle 16: Bleigehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	4,78	4,78	5,06	4,49	5,05
	H.c.	76	5,26	7,30	21,30	2,32	19,80
	Gesamt	78	5,25	7,24	21,30	2,32	19,78
Bayern	P.s.	88	3,05	3,41	8,43	1,61	8,11
	S.p.	23	2,94	3,22	7,62	1,84	6,45
	H.c.	6	5,69	8,16	20,80	3,26	19,57
	H.s.	2	3,96	3,96	4,22	3,70	4,21
	Gesamt	119	3,09	3,62	20,80	1,61	8,39
Berlin	S.p.	3	3,06	3,21	3,90	2,67	3,87
	Gesamt	3	3,06	3,21	3,90	2,67	3,87
Brandenburg	P.s.	82	4,63	4,76	8,79	1,71	8,06
	S.p.	34	3,45	3,59	5,68	1,82	5,67
	H.c.	2	7,78	7,78	8,68	6,89	8,64
	(B.r.)	2	4,08	4,08	4,28	3,87	4,27
	Gesamt	120	4,43	4,47	8,79	1,71	8,20
Hessen	P.s.	25	3,64	4,01	7,50	2,03	7,23
	S.p.	23	3,05	3,58	6,33	1,95	6,06
	H.c.	12	7,16	6,71	12,40	3,56	11,71
	Gesamt	60	3,67	4,39	12,40	1,95	9,14
Hamburg	P.s.	4	5,39	5,79	7,68	4,70	7,57
	Gesamt	4	5,39	5,79	7,68	4,70	7,57
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	3,97	3,93	5,38	2,23	5,18
	S.p.	55	3,23	3,46	7,57	1,70	7,32
	H.c.	35	6,10	7,09	18,80	3,61	17,03
	(B.r.)	7	3,91	3,84	4,75	2,14	4,75
	Gesamt	113	3,91	4,67	18,80	1,70	9,90
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	7,54	7,79	13,10	2,64	12,70
	S.p.	44	6,12	6,84	29,40	3,32	13,06
	H.c.	9	10,60	13,17	26,60	4,94	25,21
	H.s.	1	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13
	Gesamt	88	7,04	7,82	29,40	2,64	20,16
Niedersachsen	P.s.	60	4,43	4,64	10,70	2,37	8,02
	S.p.	25	3,07	3,28	5,51	2,05	5,23
	H.c.	9	5,06	5,18	8,40	3,19	7,98
	(B.r.)	1	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
	Gesamt	95	4,14	4,33	10,70	2,05	8,28
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	7,40	7,54	10,20	4,69	10,09
	S.p.	16	5,18	6,82	16,20	3,62	15,36
	H.c.	9	8,81	10,43	22,70	4,09	21,44
	Gesamt	39	7,46	7,91	22,70	3,62	17,76

Tabelle 16: Bleigehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	4,59	4,56	6,55	2,97	6,38
	S.p.	10	2,97	3,43	5,00	2,57	4,99
	H.c.	23	5,89	6,20	15,10	2,60	12,94
	(B.r., R.s.)	9	5,01	6,39	10,70	3,56	10,44
	Gesamt	50	4,99	5,42	15,10	2,57	10,79
Saarland	P.s.	3	7,09	7,62	8,90	6,87	8,83
	S.p.	4	10,59	9,86	13,60	4,68	13,43
	Gesamt	7	8,90	8,90	13,60	4,68	13,25
Sachsen	P.s.	24	5,66	6,25	11,90	3,44	11,67
	S.p.	13	3,55	3,73	6,42	1,88	6,04
	H.c.	34	7,30	8,51	23,50	3,38	23,37
	(B.r.)	11	5,74	6,18	11,70	2,40	11,42
	Gesamt	82	5,75	6,78	23,50	1,88	18,71
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	3,43	3,81	7,89	1,99	6,97
	S.p.	26	2,92	4,38	19,50	2,06	15,95
	H.c.	3	18,90	18,07	25,00	10,30	24,76
	(B.r., R.s., L.p.)	23	6,09	7,19	16,20	2,46	15,63
	Gesamt	91	3,60	5,30	25,00	1,99	19,02
Thüringen	P.s.	24	5,01	4,99	9,23	3,04	7,84
	S.p.	10	3,46	4,51	10,60	2,71	9,80
	H.c.	26	9,13	9,92	27,30	3,55	21,30
	(B.r., R.s., P.u.)	17	5,74	5,71	9,69	2,72	9,53
	Gesamt	77	5,85	6,75	27,30	2,71	14,31
Deutschland	P.s.	423	4,32	4,76	13,10	1,61	10,01
	S.p.	286	3,56	4,38	29,40	1,70	11,21
	H.c.	244	6,69	8,00	27,30	2,32	22,78
	HS	3	4,13	4,02	4,22	3,70	4,22
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	5,14	6,10	16,20	2,14	13,84
	Gesamt	1026	4,62	5,51	29,40	1,61	16,20

Abbildung 14: Mediane für Blei im Moos-Monitoring 2000

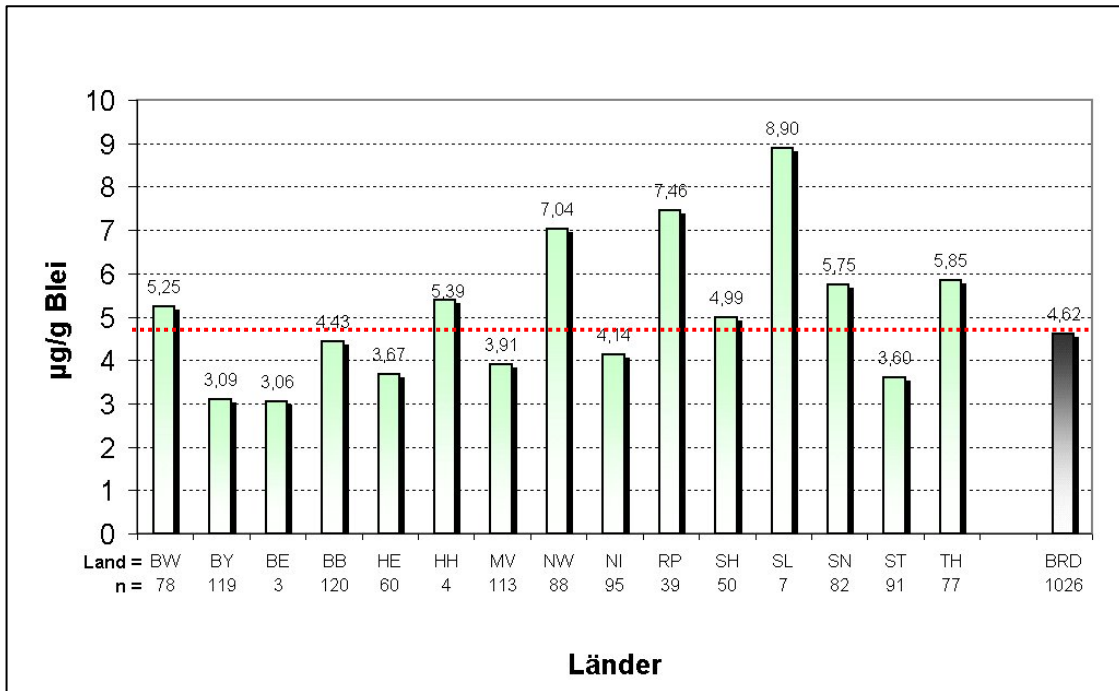
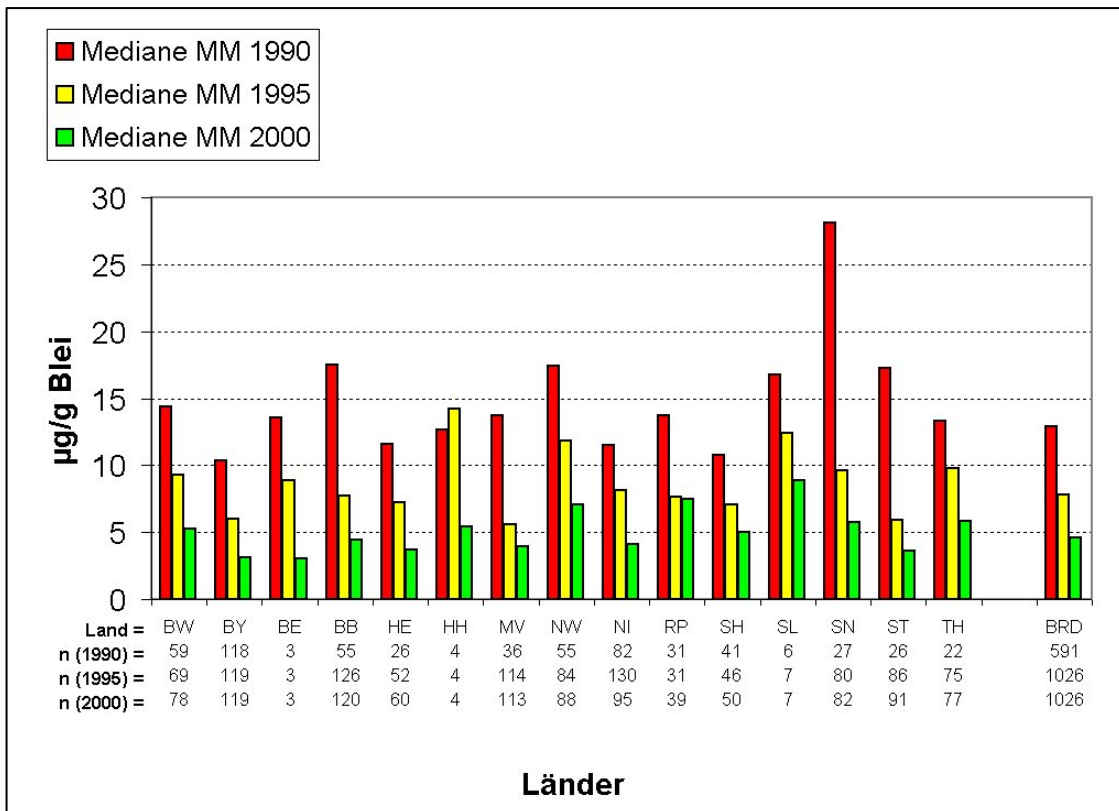


Abbildung 15: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Blei



3.1.8 Titan

Allgemeines. Titan ist ein weit verbreitetes Element und kommt in der Erdkruste mit einem Anteil von 0,45 % vor (RÖSLER & LANGE 1975). In Oberböden von Lateriten können bis zu 15 % Titan enthalten sein (STREIT 1991). Die wichtigsten Titanminerale sind Ilmenit (35-60% TiO₂) und Rutil (TiO₂). Viele Eisenerze sind mit Titan vergesellschaftet. Nach BOWEN (1979) enthält Braunkohle 150-1100 µg/g Ti. Braunkohlen ostelbischer Kohlereviere zeigen im Mittel 2000 (170-7700) µg/g Ti (DARBINJAN 1988).

Der durchschnittliche Gehalt in Pflanzen wird mit 0,02-56 µg/g Ti angegeben (MARKERT 1992). Der Grundgehalt in einem mittelbelasteten Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 8 µg/g Ti geschätzt (MARKERT 1991).

Titan-Emissionen sind vor allem auf die Verarbeitung titan- und eisenreicher Erze, Kohleverbrennung (Flugasche, Staub), Müllverbrennung sowie auf Verwehungen von Bodenmaterial zurückzuführen. Aufgrund einer Teilchengröße von 20 µm wird Titandioxid als Staubbelästigung eingestuft (STREIT 1991).

Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Titangehalte wie auch der Entwicklung von Titan in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sind vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen analytischen Unsicherheiten zwischen den Laboren der BGR und der LUFA Hameln (Ti ~ 29 %) und der in Kapitel 2.1.3 behandelten Standortvariabilität (Ti ~ 23%) zu betrachten.

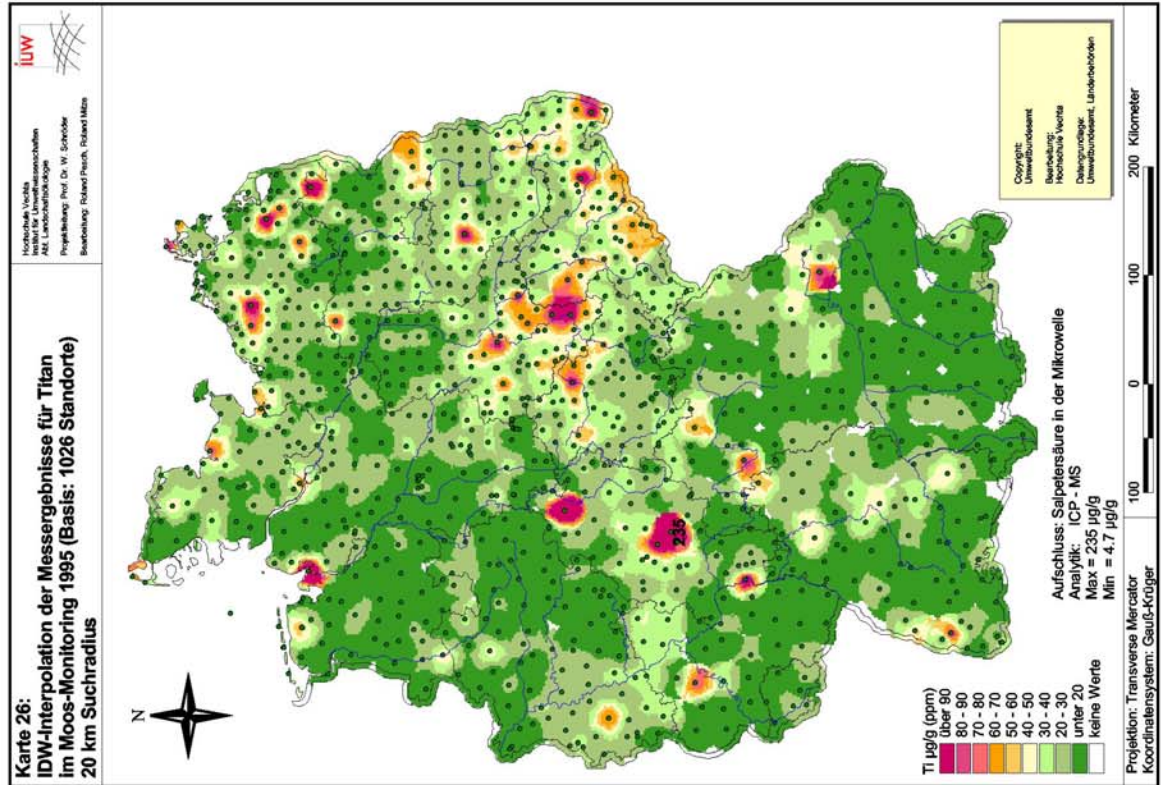
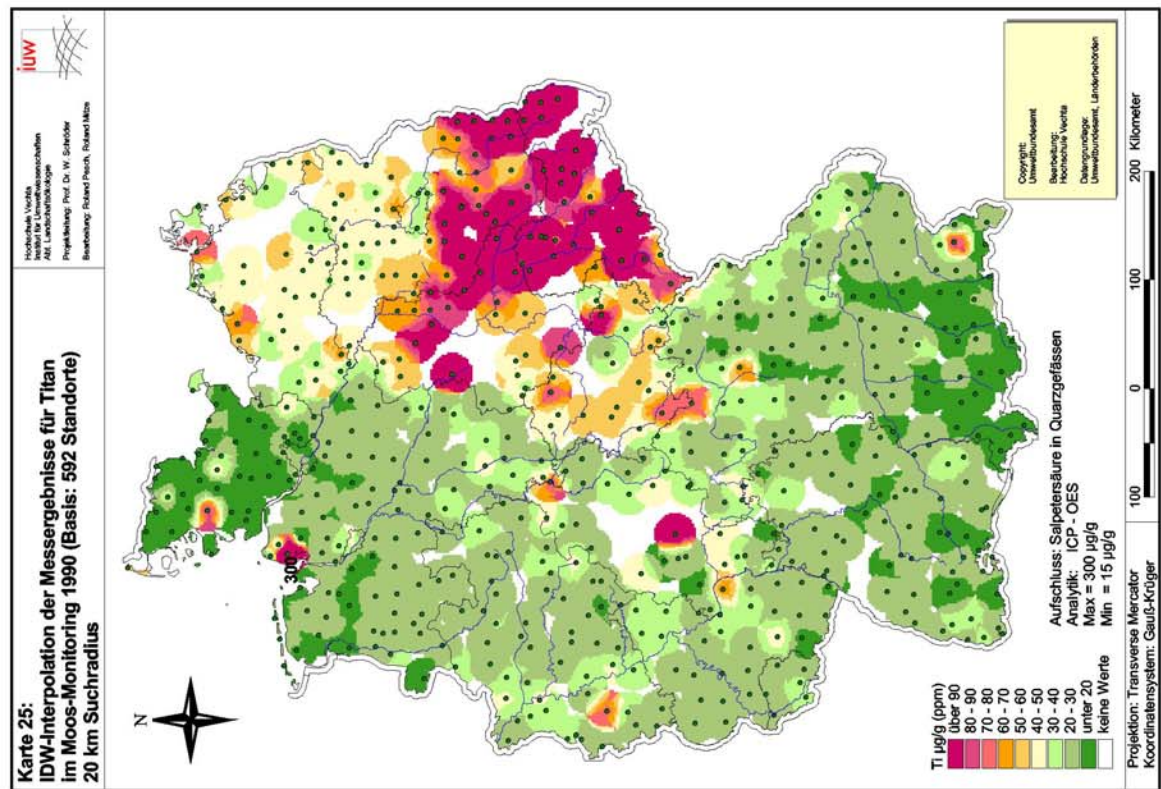
Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die Titangehalte an 1023 beprobten Standorten reichen von 2 µg/g in Bayern bis 76 µg/g in Hessen (→ Tabelle 17, Anhang B.18). Das bundesweite 98-Perzentil liegt bei 34 µg/g, der bundesweite Median bei 7,9 µg/g. Gemessen an dem in der Abbildung 16 dargestellten län-

derspezifischen Medianvergleich zeigen sich die höchsten Stoffgehalte in Sachsen (12,3 µg/g), gefolgt von Thüringen (11 µg/g). Die flächenhafte Darstellung auf der Karte 27 und die klassifizierte Punktkarte im Anhang 3.1.8 zeigen, dass bis auf wenige Ausnahmen (Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und Rheinland-Pfalz) die in den Moosen bestimmten Messwerte deutschlandweit unter 20 µg/g liegen. Relativ hohe Werte finden sich in Hessen und Sachsen-Anhalt.

Zeitliche Entwicklung. Der Vergleich der für alle drei Moos-Monitoring-Phasen ermittelten Länder-Mediane zeigt eine deutliche kontinuierliche Abnahme zwischen 1990 und 2000 (→ Abbildung 17). Eine Ausnahme bildet Hamburg, wo der Median von 1990 auf 1995 schwach anstieg.

Der Vergleich der Karten 25, 26 und 27 zeigt, dass erhöhte Titangehalte im Moos-Monitoring 1990 großräumig im Osten Deutschlands auftraten, jedoch im Moos-Monitoring 1995 und 2000 nur zum Teil wiederzuerkennen sind. Der höchste Wert von 300 µg/g Titan konnte im Moos-Monitoring 1990 in Niedersachsen gegenüber dem Standort Nordenham mit einer Titandioxid-Fabrik gemessen werden. Darüber hinaus wiesen die Länder Hessen, Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Bayern lokale Maxima auf. Die Karten der Anhänge A.1.7 und A.2.18 zeigen, dass diese lokalen Maxima in vielen Fällen 1995 wiedergefunden werden konnten. Dies gilt auch für das Moos-Monitoring 2000, nur weisen die hier auftretenden Extrema weitaus geringere Werte auf (→ Anhang A.3.18). Weiterhin ist es hervorzuheben, dass einige Standorte, die in den Vorgängerprojekten beprobt wurden, im Moos-Monitoring 2000 nicht wiederbeprobte wurden (z.B. Nordenham).

Die seit dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 durchgängig beprobten Standorte weisen mit 97 bzw. 98 % erwartungsgemäß hohe Rückgangsraten auf (→ Anhang A.4.8, A.5.18). Besonders ausgeprägte Rückgänge über 75 µg/g können in beiden Fällen überwiegend im Osten Deutschland festgehalten werden.



Karte 27:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Titan
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1023 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

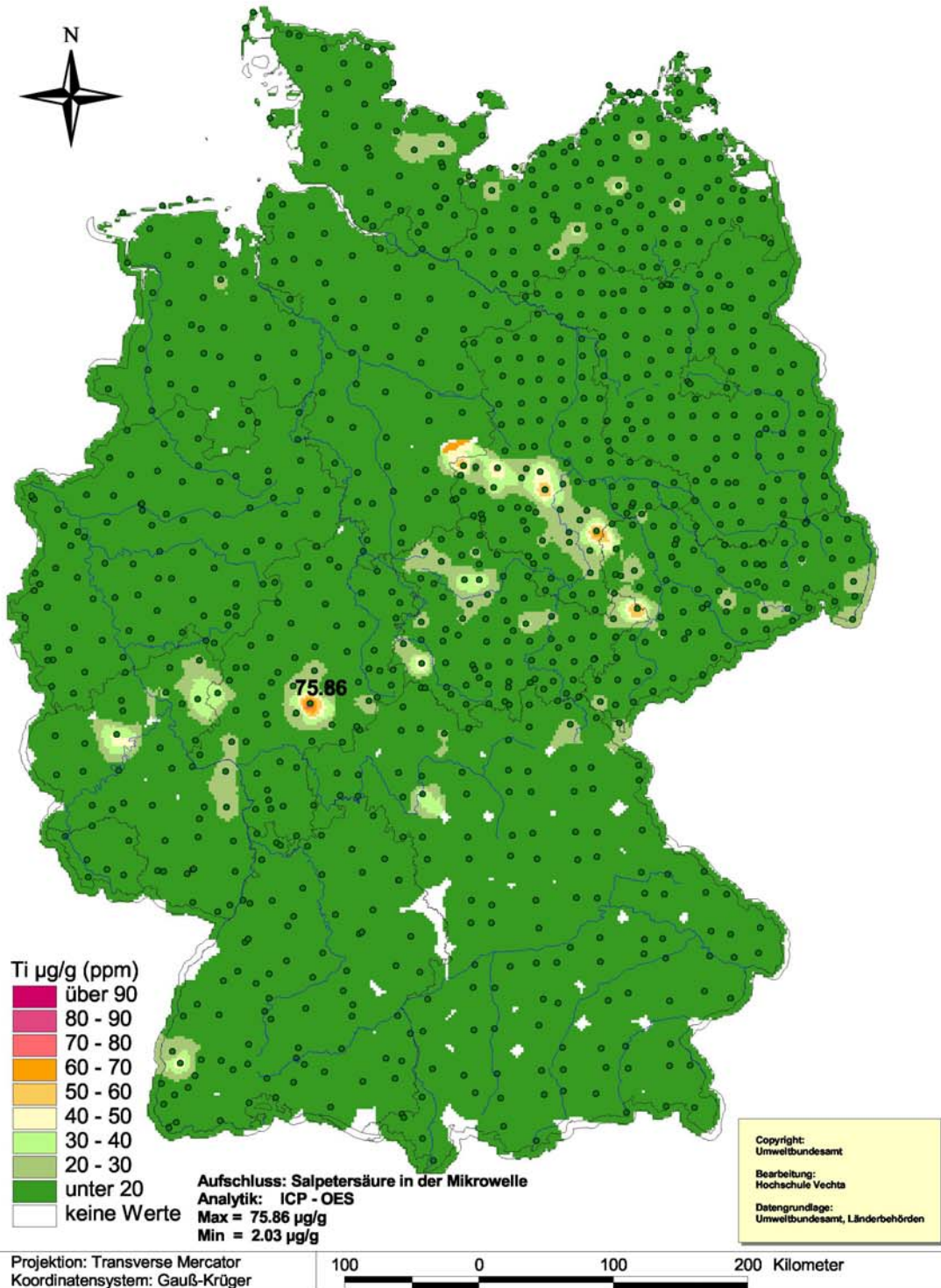


Tabelle 17: Titangehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	5,54	5,54	6,81	4,27	6,76
	H.c.	76	8,84	10,07	49,90	3,62	20,17
	Gesamt	78	8,78	9,96	49,90	3,62	20,13
Bayern	P.s.	88	5,30	6,36	23,51	2,03	19,46
	S.p.	23	6,61	8,69	36,00	2,55	27,07
	H.c.	6	10,04	10,36	16,54	2,32	16,45
	H.s.	2	3,77	3,77	3,88	3,65	3,88
	Gesamt	119	5,85	6,97	36,00	2,03	20,51
Berlin	S.p.	3	4,10	4,75	6,53	3,63	6,44
	Gesamt	3	4,10	4,75	6,53	3,63	6,44
Brandenburg	P.s.	80	9,05	9,77	19,96	2,90	17,51
	S.p.	34	6,15	7,62	17,92	3,35	16,37
	H.c.	3	13,64	13,66	14,08	13,27	14,06
	(B.r.)	2	6,92	6,92	8,48	5,36	8,42
	Gesamt	119	8,76	9,21	19,96	2,90	17,54
Hessen	P.s.	25	7,34	8,89	23,02	3,40	22,11
	S.p.	23	9,72	14,79	75,86	3,38	59,40
	H.c.	12	11,83	14,06	30,72	5,25	28,22
	Gesamt	60	9,20	12,18	75,86	3,38	37,05
Hamburg	P.s.	4	6,51	7,45	11,40	5,36	11,17
	Gesamt	4	6,51	7,45	11,40	5,36	11,17
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	7,21	8,08	14,79	3,16	13,93
	S.p.	55	7,12	7,57	18,10	2,70	16,24
	H.c.	35	14,21	13,78	28,10	5,17	25,66
	(B.r.)	7	33,71	23,78	37,59	5,53	37,55
	Gesamt	113	8,48	10,57	37,59	2,70	33,96
Nordrhein- Westfalen	P.s.	33	7,46	7,44	15,36	2,71	14,01
	S.p.	44	6,15	6,95	13,27	3,85	12,96
	H.c.	9	9,41	9,29	15,73	4,83	14,97
	H.s.	1	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41
	Gesamt	87	7,10	7,39	15,73	2,71	13,86
Niedersachsen	P.s.	60	5,21	5,65	13,67	2,43	11,34
	S.p.	25	3,63	5,53	24,95	2,09	19,14
	H.c.	9	4,26	5,10	8,13	3,61	8,10
	(B.r.)	1	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27
	Gesamt	95	4,94	5,58	24,95	2,09	12,95
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	8,75	10,45	22,60	5,62	21,85
	S.p.	16	9,64	14,14	41,05	3,76	36,65
	H.c.	9	11,84	14,40	37,59	5,74	34,51
	Gesamt	39	9,39	12,88	41,05	3,76	38,42

Tabelle 17: Titangehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	7,09	6,57	10,31	3,30	10,06
	S.p.	10	5,30	7,40	20,50	3,39	18,77
	H.c.	23	7,13	9,14	31,51	3,94	23,70
	(B.r., R.s.)	9	8,51	11,89	24,90	5,09	24,58
	Gesamt	50	7,24	8,88	31,51	3,30	25,03
Saarland	P.s.	3	4,92	4,89	5,13	4,63	5,12
	S.p.	4	8,52	8,66	13,55	4,04	13,32
	Gesamt	7	5,13	7,04	13,55	4,04	13,09
Sachsen	P.s.	24	11,80	13,88	37,66	5,05	32,63
	S.p.	12	10,07	11,04	27,57	3,72	24,70
	H.c.	35	13,38	14,92	30,58	7,21	29,84
	(B.r.)	10	13,93	15,57	28,76	7,16	27,82
	Gesamt	81	12,32	14,12	37,66	3,72	29,93
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	6,54	7,54	17,18	3,72	15,12
	S.p.	26	7,96	11,88	65,69	3,53	59,98
	H.c.	3	18,86	33,06	65,17	15,16	63,32
	(B.r., R.s., L.p.)	23	22,48	23,02	60,49	8,44	54,56
	Gesamt	91	8,87	13,53	65,69	3,53	61,43
Thüringen	P.s.	24	9,24	9,66	20,54	4,28	20,24
	S.p.	10	7,98	9,10	19,40	4,48	18,15
	H.c.	26	17,82	19,62	47,35	6,67	41,93
	(B.r., R.s., P.u.)	17	11,00	18,07	61,55	5,43	55,81
	Gesamt	77	11,17	14,81	61,55	4,28	45,41
Deutschland	P.s.	420	7,22	8,07	37,66	2,03	20,89
	S.p.	285	6,89	8,92	75,86	2,09	31,32
	H.c.	246	11,07	12,69	65,17	2,32	35,43
	HS	3	3,88	5,32	8,41	3,65	8,23
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	69	15,67	18,65	61,55	5,09	55,64
	Gesamt	1023	7,94	10,12	75,86	2,03	33,89

Abbildung 16: Mediane für Titan im Moos-Monitoring 2000

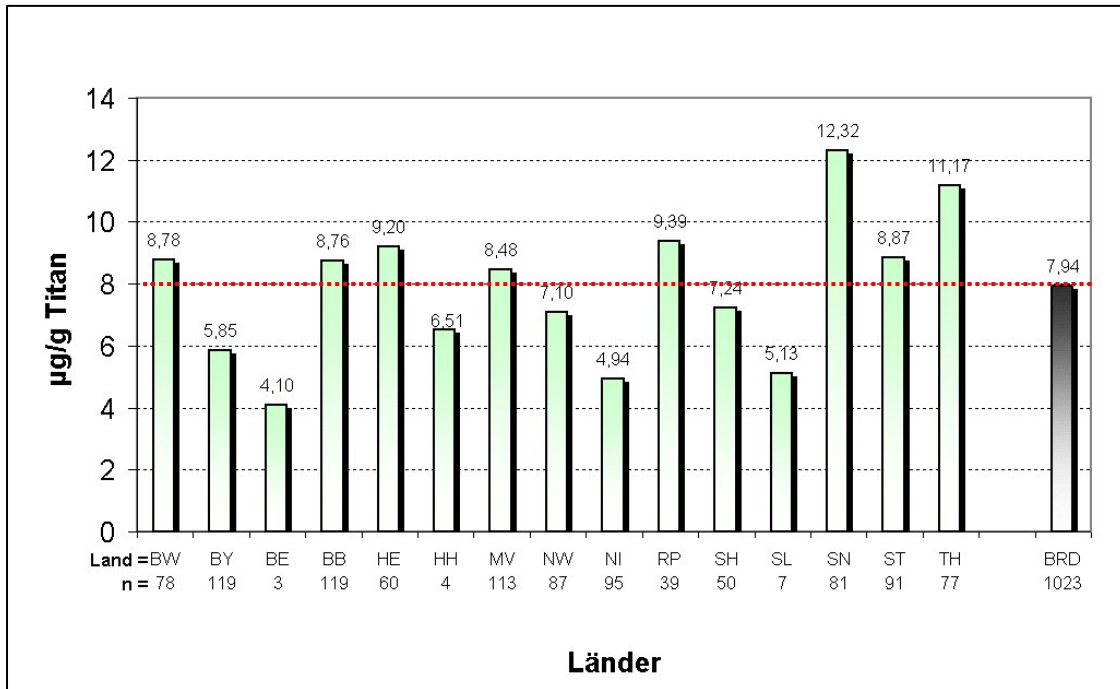
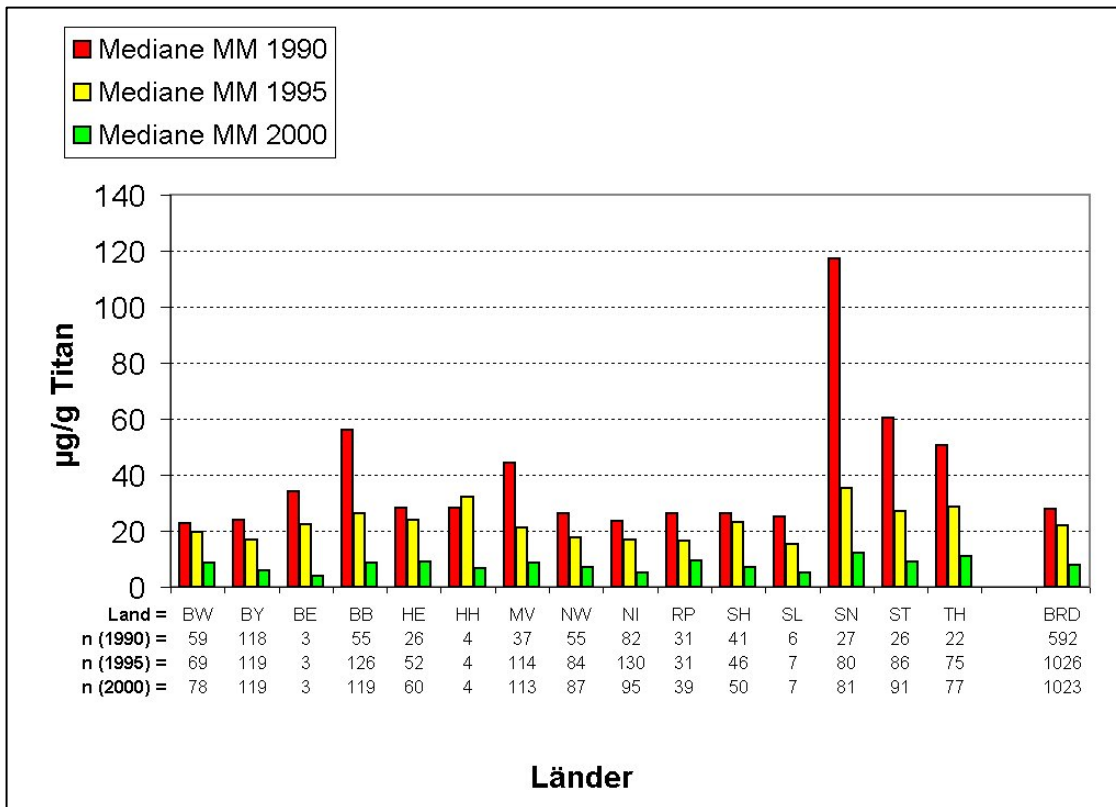


Abbildung 17: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Titan



3.1.9 Vanadium

Allgemeines. Vanadium gehört zu den häufigeren Spurenelementen und kommt in der obersten Erdkruste mit einem Gehalt von durchschnittlich 90 µg/g vor (RÖSLER & LANGE 1975). Wichtige Minerale sind Vanadinit (Vanadin-Bleierz, $Pb_5 [Cl/(VO_4)_3]$) und das Uranerz Carnotit $K_2[(UO_2)_2 / V_2O_8] \cdot 3H_2O$). Viele Eisenerze enthalten bis maximal 1% Vanadium, oft mit Titan vergesellschaftet. Aus diesem Grund fällt Vanadium bei der Eisen- und Titangewinnung an (BOWEN 1979). Normale Böden mit Gehalten von 100 µg/g V können in Gebieten mit hoher Flugaschenbelastung bis zu 400 µg/g V enthalten (ZIEMACKI et al. 1989). Flugaschen weisen Gehalte von 27-1260 µg/g Vanadium auf (MÄKINEN 1983). Sehr vanadiumreich sind Kohlen mit durchschnittlich 30 µg/g sowie Erdöl mit durchschnittlich 50 µg/g (ADRIANO 1992; HAMILTON 1979). Je nach geologischer und geografischer Ausgangssituation kommt es zu starken Gehaltsunterschieden. Rohöl aus Venezuela, Angola, Kalifornien und Iran kann bis zu 1400 µg/g Vanadium aufweisen. Rohöl aus Indonesien, Lybien und West-Afrika enthält praktisch kein Vanadium (BYERRUM 1991; STREIT 1991). Vanadium wird u.a. aus Destillationsrückständen von Ölraffinerien oder aus Ruß und Flugaschen von Ölfeuerungsanlagen (bis zu 50 % Vanadiumgehalt) gewonnen (BROWNING 1961).

Für Pflanzen gibt MARKERT (1992) Vanadiumgehalte von 0,001-10 µg/g an. Zu Vanadium-Emissionen kommt es vor allem durch Ölraffinerien, sowie anderen Öl- und Kohlefeuerungsanlagen (ADRIANO 1986; NRIAGU & PACYNA 1988;). Weitere Emissionsquellen sind die Stahlproduktion, Zementwerke sowie Zweitakt- und Dieselmotoren. Aufgrund des hohen Anteils an fossilen Energieträgern werden im Winter höhere Vanadiumgehalte in der Atmosphäre gemessen als im Sommer (STREIT 1991). Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluss von Bodenerosion (BYERRUM 1991). In der Luft abgelegener Gebiete finden sich Gehalte von 0,001-3 ng/m³, in urbanen Bereichen 7-200 ng/m³ und in industriellen Gebieten 10-70 µg/m³ (ZIEMACKI et al. 1989). SIEWERS &

ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (nass und trocken) von $16 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im Fichtenaltbestand und von $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ im benachbarten Freiland.

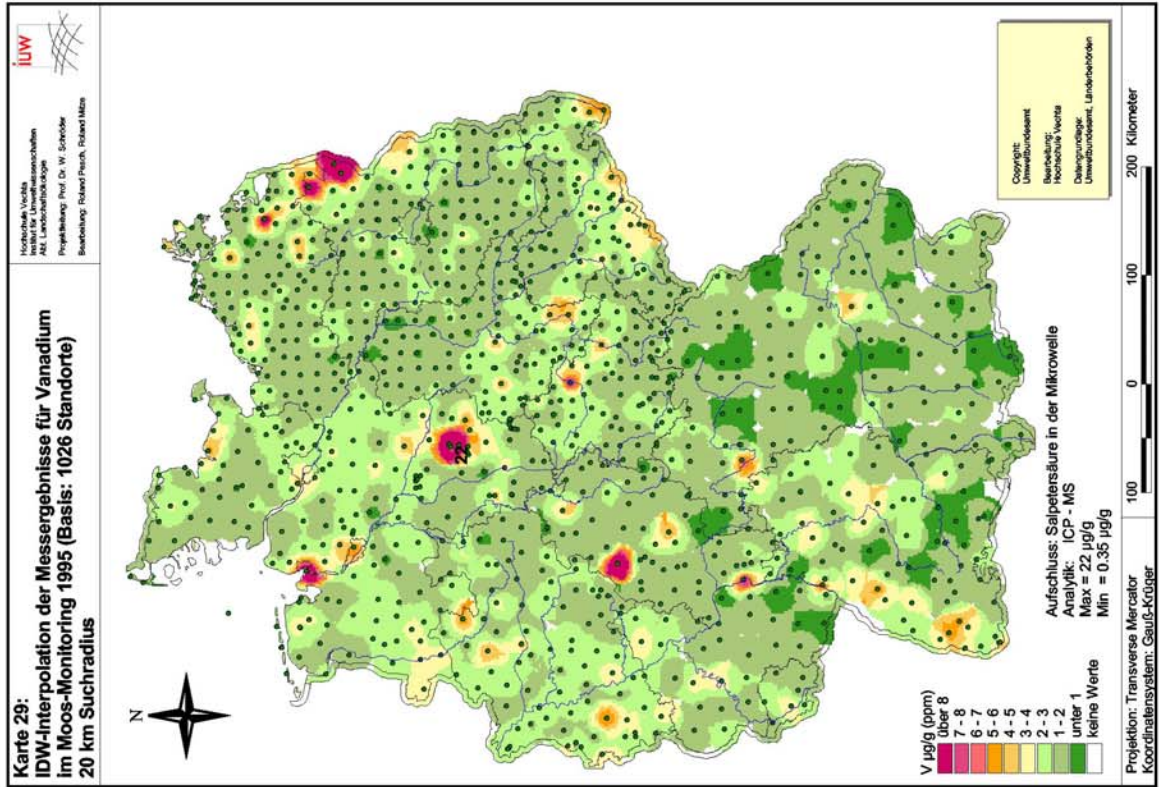
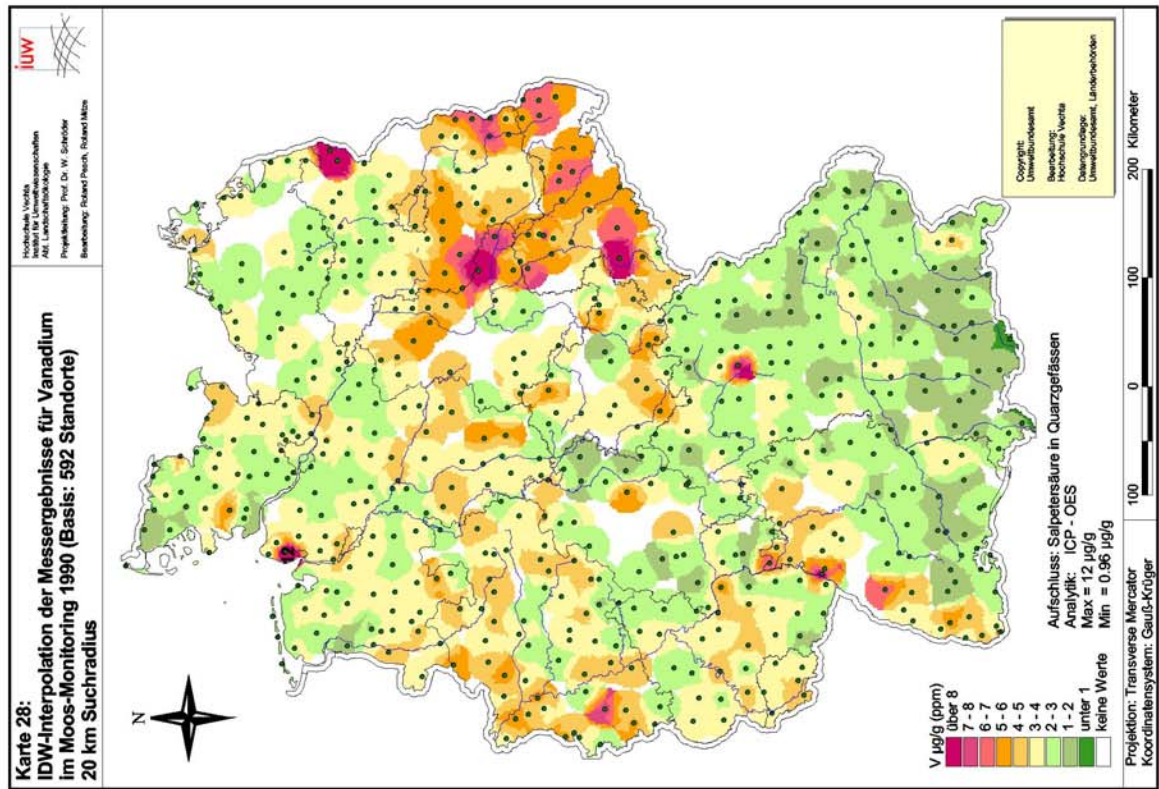
Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die an 1027 Standorten im Moos-Monitoring 2000 ermittelten Vanadiumkonzentrationen reichen von $0,15 \mu\text{g}/\text{g}$ in Mecklenburg-Vorpommern bis zu $16,3 \mu\text{g}/\text{g}$ in Brandenburg (→ Tabelle 18, Anhang B.19). Das bundesweite 98-Perzentil liegt bei $3,04 \mu\text{g}/\text{g}$, der bundesweite Median bei $1,06 \mu\text{g}/\text{g}$. In dem in Abbildung 18 dargestellten länderspezifischen Medianvergleich zeigen Hamburg und Nordrhein-Westfalen die höchsten Werte. Gemäß der aus den Vorgängerprojekten verwendeten Klassifizierung der Messwerte zeichnen sich lediglich in Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Niedersachsen Gebiete ab, die Vanadiumgehalte oberhalb von $5 \mu\text{g}/\text{g}$ aufweisen (→ Karte 30). Geballt treten höhere Werte in Sachsen-Anhalt auf. Dies wird auch durch die räumliche Verteilung der über dem 98-Perzentil gelegenen Messwerte deutlich (→ Anhang A.3.19). Bayern, Hessen und Teile Brandenburgs sowie des nördlichen Sachsen-Anhalts weisen Vanadiumgehalte unter $1 \mu\text{g}/\text{g}$ auf.

Zeitliche Entwicklung. Der Vergleich der länderweiten Mediane des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 zeigt außer in Hamburg in allen Ländern einen deutlichen kontinuierlichen Rückgang der Vanadiumgehalte seit 1990 (→ Abbildung 18). Der stärkste Rückgang ist in Sachsen zu verzeichnen.

Der Vergleich der in den Karten 28, 29 und 30 dargestellten flächenhaften Verteilungen der Vanadiumwerte der Moos-Monitoring Vorhaben 1990, 1995 und 2000 bestätigen die in der Abbildung 19 gezeigte Entwicklungstendenz. Im Moos-Monitoring 1990 konnten in weiten Teilen Deutschlands Vanadiumgehalte von über $3 \mu\text{g}/\text{g}$ nachgewiesen werden. Diese Anreicherungszone verringerten sich im Moos-Monitoring 1995 auf mehrere kleinere Teilräume, die im Moos-Monitoring 2000 entweder stark zurückgingen oder ganz verschwanden. Die

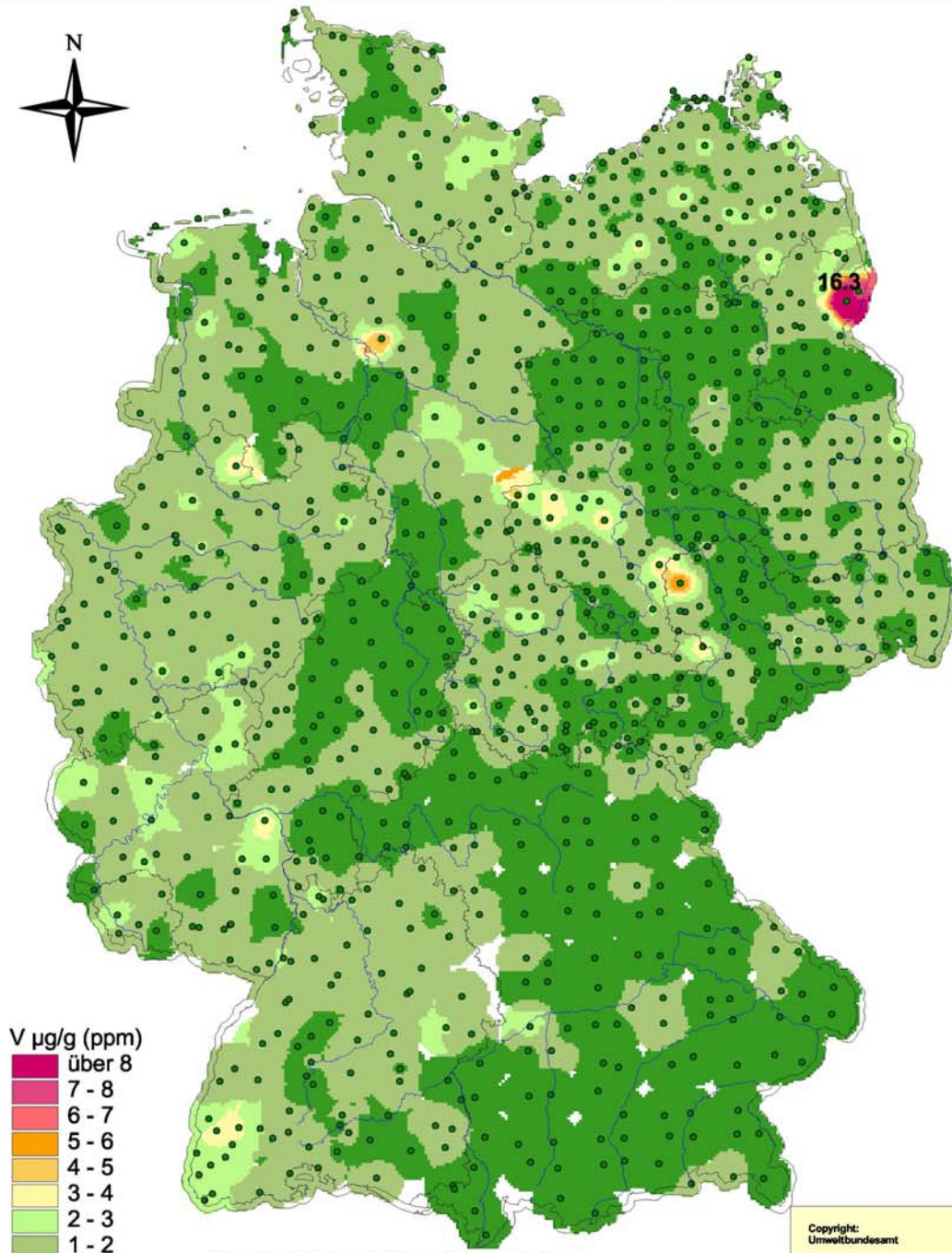
Karten der Anhänge A.1.9, A.2.19 sowie A.3.19 zeigen weiterhin, dass gewisse Standorte in allen drei Moos-Monitoring-Phasen hohe Werte aufweisen. Eine Ausnahme bildet hierbei wiederum der Standort Nordenham, der nur im Moos-Monitoring 1995 beprobt wurde.

Von den 479 im Moosmonitoring 1990, 1995 und 2000 gemeinsam beprobten Standorten weisen 98 % in 2000 geringere Werte auf als 1990 (→ Anhang A.4.9). Abnahmen oberhalb von 2 µg/g sind in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Bayern und Baden-Württemberg zu verzeichnen. Bei den im Moos-Monitoring 1995 und 2000 beprobten Stellen liegt die Rückgangsrate bei 84 % (→ Anhang A.5.19). Rückgänge oberhalb von 2 µg/g finden sich in Hessen und Sachsen. Vereinzelt punktuell Zunahmen von über 2 µg/g liegen in Rheinland-Pfalz, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen.



**Karte 30:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Vanadium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1027 Standorte)
20 Km Suchradius**

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Aufschluss: Salpetersäure in der Mikrowelle
Analytik: ICP - MS
Max = 16.3 µg/g
Min = 0.15 µg/g

Copyright:
Umweltbundesamt
Bearbeitung:
Hochschule Vechta
Datengrundlage:
Umweltbundesamt, Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
Koordinatensystem: Gauß-Krüger



XX

Tabelle 18: Vanadiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,86	0,86	1,02	0,70	1,01
	H.c.	76	1,42	1,56	3,88	0,55	3,13
	Gesamt	78	1,41	1,54	3,88	0,55	3,12
Bayern	P.s.	88	0,71	0,76	1,59	0,39	1,38
	S.p.	23	0,75	0,89	2,42	0,41	2,13
	H.c.	6	1,12	1,25	1,90	0,51	1,89
	H.s.	2	0,72	0,72	0,75	0,69	0,75
	Gesamt	119	0,74	0,81	2,42	0,39	1,78
Berlin	S.p.	3	0,51	0,51	0,60	0,42	0,60
	Gesamt	3	0,51	0,51	0,60	0,42	0,60
Brandenburg	P.s.	82	1,10	1,33	16,30	0,44	3,53
	S.p.	34	0,75	0,80	2,58	0,38	1,77
	H.c.	3	1,72	1,92	2,32	1,71	2,30
	(B.r.)	2	1,46	1,46	2,20	0,71	2,17
	Gesamt	121	0,96	1,20	16,30	0,38	2,48
Hessen	P.s.	25	0,82	0,88	1,71	0,54	1,51
	S.p.	23	0,72	0,85	1,75	0,42	1,71
	H.c.	12	1,34	1,23	1,77	0,64	1,74
	Gesamt	60	0,83	0,94	1,77	0,42	1,74
Hamburg	P.s.	4	1,56	1,56	1,89	1,23	1,89
	Gesamt	4	1,56	1,56	1,89	1,23	1,89
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	1,03	1,13	1,62	0,25	1,58
	S.p.	55	0,92	0,99	2,75	0,46	1,51
	H.c.	35	1,65	1,77	3,40	0,15	3,14
	(B.r.)	7	3,34	2,35	3,54	0,79	3,53
	Gesamt	113	1,16	1,33	3,54	0,15	3,41
Nordrhein- Westfalen	P.s.	33	1,58	1,59	2,44	0,79	2,29
	S.p.	44	1,18	1,21	2,09	0,67	1,78
	H.c.	9	1,89	1,97	3,39	0,92	3,21
	H.s.	1	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
	Gesamt	87	1,46	1,43	3,39	0,67	2,33
Niedersachsen	P.s.	60	1,33	1,36	5,36	0,54	2,62
	S.p.	25	0,96	1,03	2,37	0,51	2,25
	H.c.	9	1,12	1,19	1,67	0,74	1,66
	(B.r.)	1	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	Gesamt	95	1,19	1,26	5,36	0,51	2,50
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	1,31	1,41	2,25	1,11	2,11
	S.p.	16	1,36	1,58	3,50	0,63	3,31
	H.c.	9	2,12	1,87	2,53	1,02	2,49
	Gesamt	39	1,40	1,59	3,50	0,63	3,01

Tabelle 18: Vanadiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	1,28	1,28	1,98	0,86	1,92
	S.p.	10	0,96	1,07	1,59	0,72	1,58
	H.c.	23	1,35	1,54	3,03	0,68	2,79
	(B.r., R.s.)	9	1,62	1,70	2,82	0,93	2,73
	Gesamt	50	1,35	1,43	3,03	0,68	2,82
Saarland	P.s.	3	1,15	1,12	1,21	0,99	1,21
	S.p.	4	1,53	1,64	2,71	0,80	2,65
	Gesamt	7	1,21	1,42	2,71	0,80	2,59
Sachsen	P.s.	24	0,99	1,09	2,04	0,51	1,98
	S.p.	13	0,69	0,90	3,28	0,31	2,85
	H.c.	35	1,03	1,16	2,54	0,76	2,13
	(B.r.)	11	1,01	1,59	6,04	0,67	5,22
	Gesamt	83	0,96	1,16	6,04	0,31	2,81
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,79	0,88	1,53	0,56	1,38
	S.p.	26	0,65	1,03	5,15	0,39	4,53
	H.c.	3	2,23	2,58	4,24	1,28	4,16
	(B.r., R.s., L.p.)	23	1,83	1,86	4,36	0,86	4,32
	Gesamt	91	0,90	1,23	5,15	0,39	4,30
Thüringen	P.s.	24	0,98	0,93	1,21	0,49	1,20
	S.p.	10	0,80	0,85	1,48	0,53	1,42
	H.c.	26	1,55	1,63	3,06	0,18	2,95
	(B.r., R.s., P.u.)	17	1,32	1,53	4,12	0,50	3,62
	Gesamt	77	1,13	1,29	4,12	0,18	2,94
Bundesrepublik Deutschland	P.s.	422	0,99	1,12	16,30	0,39	2,06
	S.p.	286	0,89	1,02	5,15	0,31	2,72
	H.c.	246	1,44	1,54	4,24	0,15	3,24
	HS	3	0,75	0,87	1,18	0,69	1,16
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	1,50	1,75	6,04	0,50	4,33
	Gesamt	1027	1,06	1,24	16,30	0,15	3,04

Abbildung 18: Mediane für Vanadium im Moos-Monitoring 2000

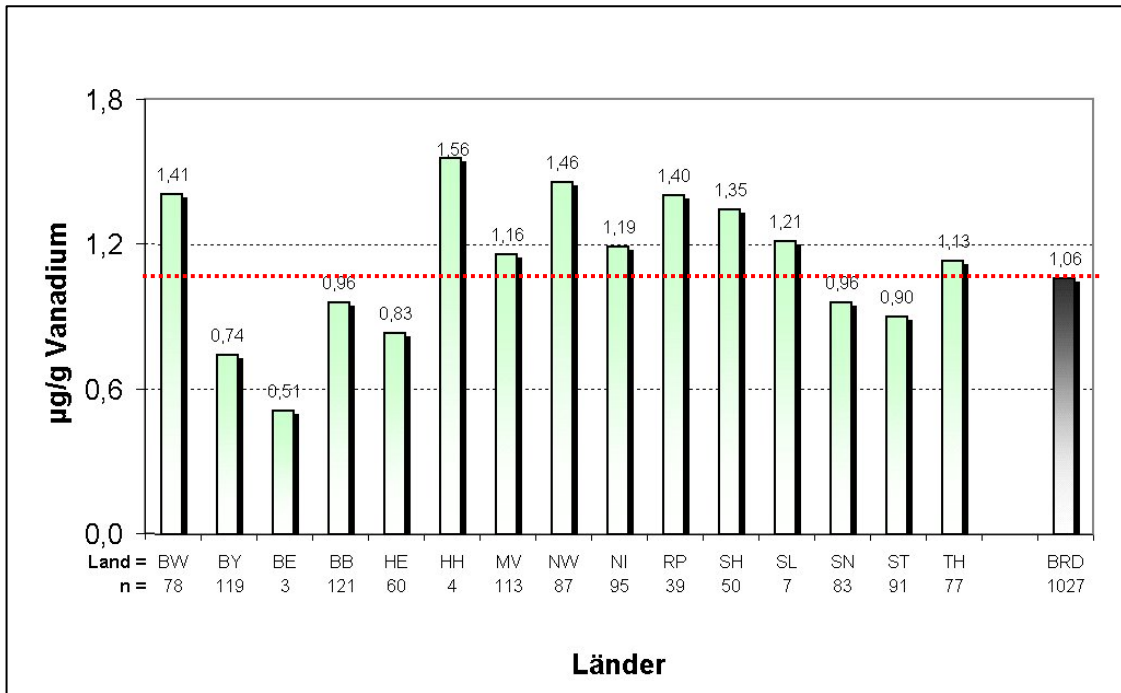
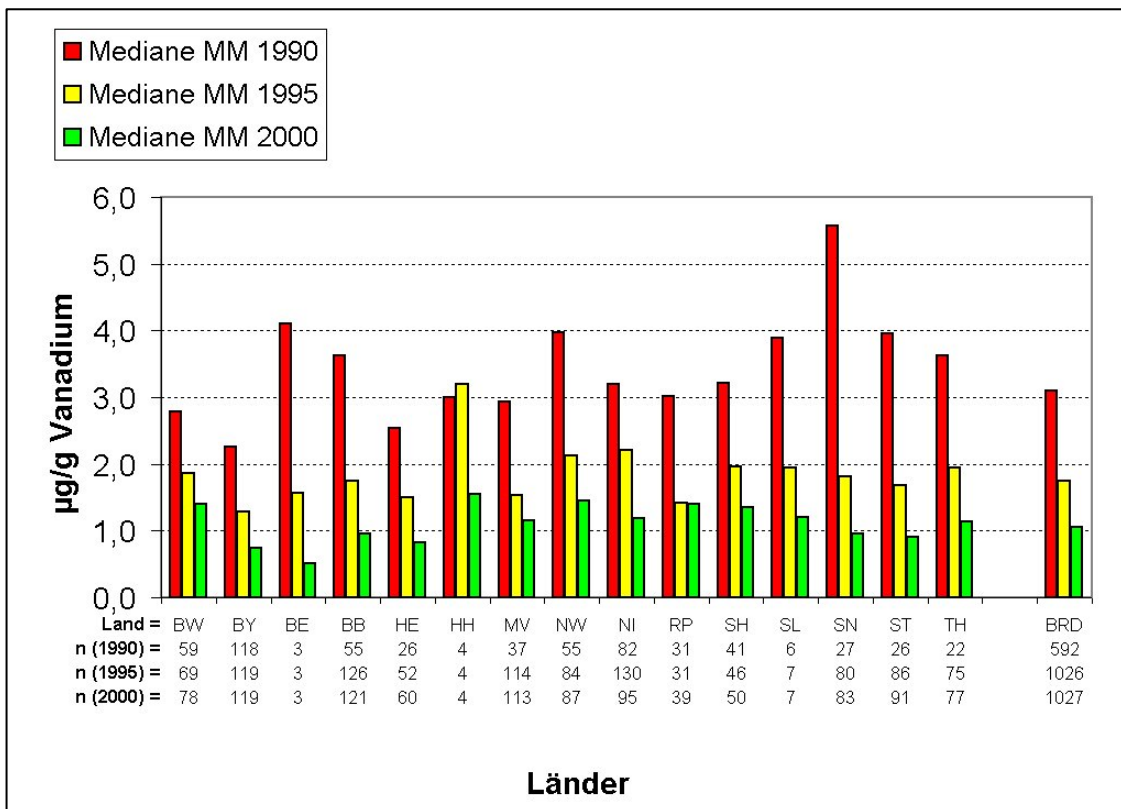


Abbildung 19: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Vanadium



3.1.10 Zink

Allgemeines. Wichtige Zink-Mineraler für die Produktion sind Zinkblende (ZnS), Zinkit (ZnO), Zinksulfat (ZnSO₄) und Zinkspat (oder Galmei, ZnCO₃). Zink kommt in der oberen Erdkruste mit einem Gehalt von durchschnittlich 83 µg/g vor (RÖSLER & LANGE 1975). Böden weisen je nach geologischem Untergrund 3-300 µg/g Zink auf, wobei in der Umgebung von Zinkhütten bis zu 50.000 µg/g festgestellt wurden (STREIT 1991). Für Pflanzen beschreibt MARKERT (1992) Gehalte von 15-150 µg/g Zn. Der Zinkgehalt für ein mittelbelastetes Moos (*Polytrichum commune*) in Zentraleuropa wird auf 40 µg/g geschätzt (MARKERT 1991).

Die Hauptemissionsquellen von Zink sind auf die Produktion und Veredelung von Zink, andere Buntmetallindustrien und Kohlekraftwerke zurückzuführen. Es wird weiterhin vermutet, dass über den Reifenabrieb und die Kraftstoffverbrennung erhebliche Mengen an Zink in die Atmosphäre gelangen (NRIAGU & PACYNA 1988; OHNSORGE & WILHELM 1991). Gemäß VALENTA et al. (1986) betragen die Nassdepositionsraten in Deutschland in ländlichen Gebieten durchschnittlich 10-70 µg/m² * d, in urbanen Gebieten 20-90 µg/m² * d und in industrialisierten Arealen 200 µg/m² * d bis > 500 µg/m² * d.

SIEWERS & ROOSTAI (1990) ermittelten im Harz von November 1987 - Dezember 1989 Gesamtdepositionen (nass und trocken) von 210 µg/m² * d im Fichtenaltbestand und von 53 µg/m² * d im benachbarten Freiland.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1026 Standorten gemessenen Zinkgehalte reichen von 15,8 µg/g in Schleswig-Holstein bis zu 235 µg/g in Sachsen-Anhalt (→ Tabelle 19, Anhang B.20). In dem länderspezifischen Medianvergleich zeigen Nordrhein-Westfalen und das Saarland mit dem 1,5 fachen des bundesweiten Medians die höchsten Stoffgehalte (→ Abbildung 20). Räumlich betrachtet sind Standorte mit Zinkgehalten

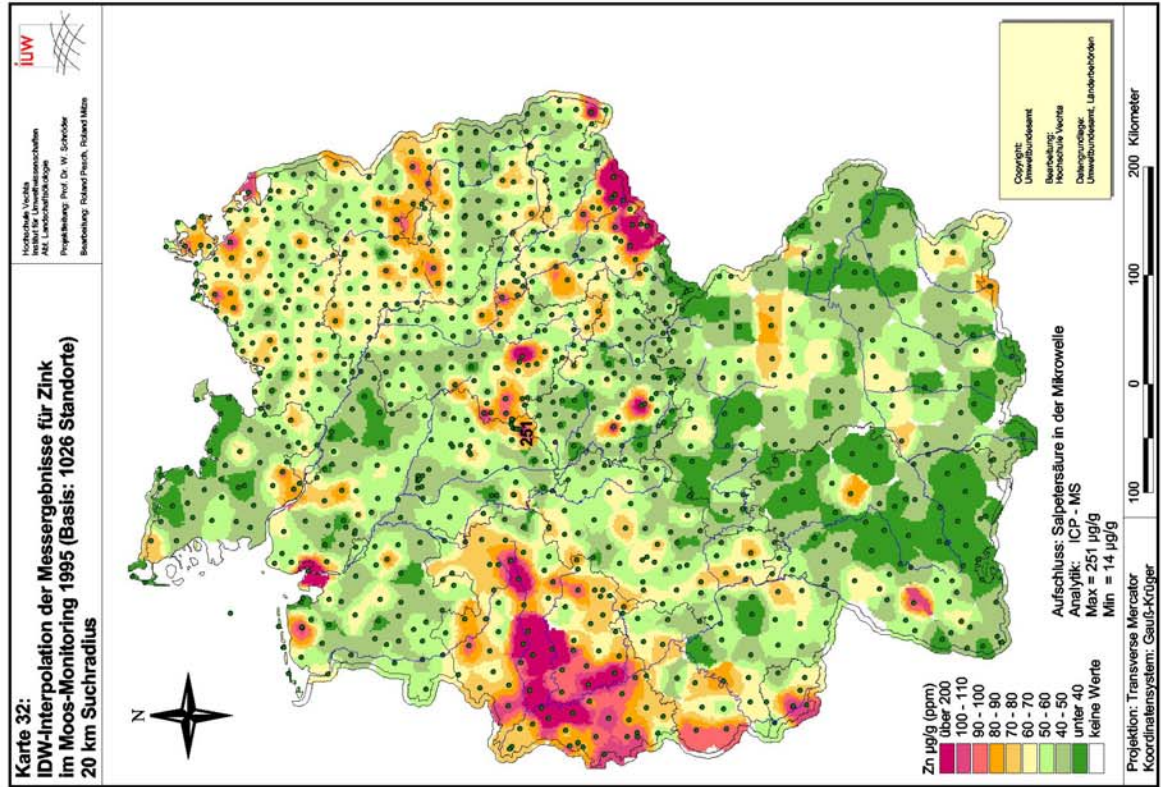
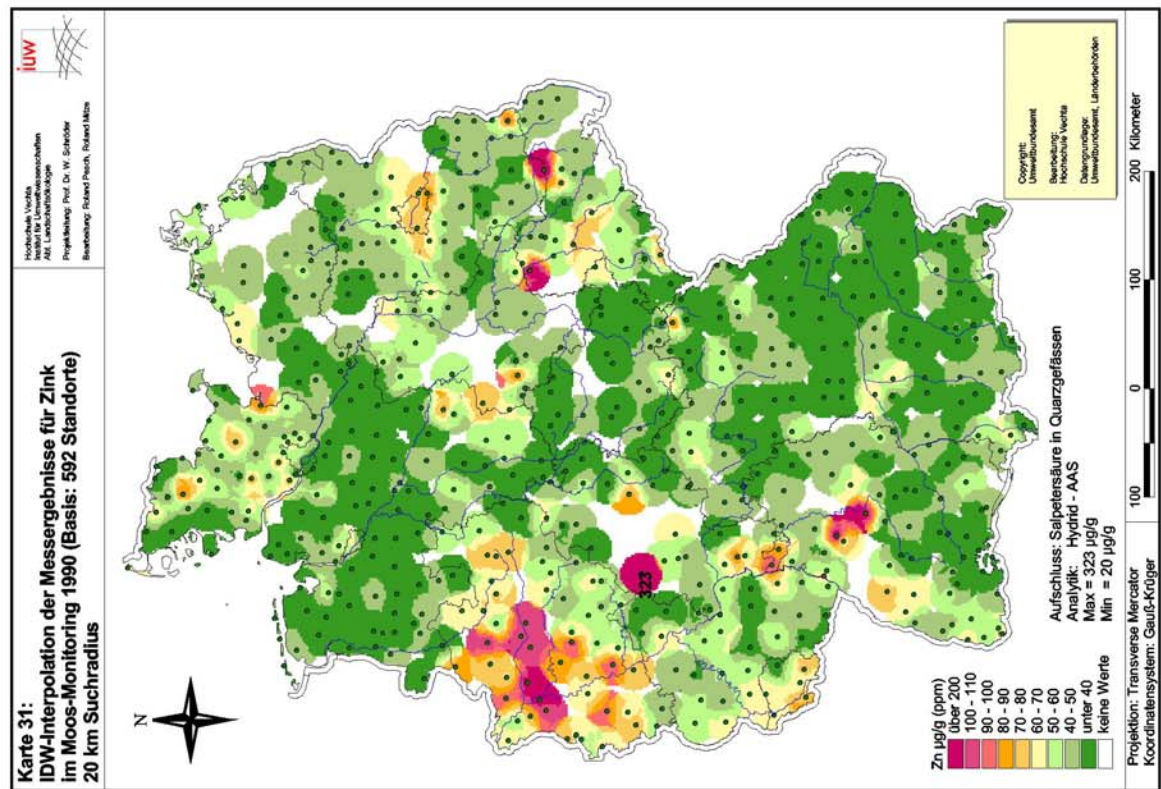
oberhalb des 98-Perzentils geballt in Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt zu finden. In Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Rheinland-Pfalz gibt es örtliche Extremwerte (→ Anhang A.3.20). Große Gebiete mit Werten unter 40 µg/g sind in Baden-Württemberg und Bayern zu finden (→ Karte 33).

Zeitliche Entwicklung. Bei dem in der Abbildung 21 gezeigten Medianvergleich fällt auf, dass die Stoffgehalte, außer in Bayern und Berlin, von 1990 auf 1995 überall zugenommen haben, dann allerdings von 1995 auf 2000 in allen Ländern wieder ein Rückgang zu verzeichnen ist. Auch die Flächen- und Punktkarten zeigen, dass die Zinkgehalte im Moos-Monitoring 1995 am höchsten waren.

Standorte mit Messwerten \geq 98-Perzentil traten im Moos-Monitoring 1990 besonders in Nordrhein-Westfalen und im südlichen Sachsen, in Baden-Württemberg und in Hessen auf (→ Karte 31, Anhang A.1.10). Auch im Moos-Monitoring 1995 zeigten sich die höchsten Werte in Nordrhein-Westfalen und Sachsen sowie in Sachsen-Anhalt. Vereinzelt Maxima konnten in Niedersachsen, Thüringen, Saarland und Mecklenburg-Vorpommern festgestellt werden (→ Karte 32, Anhang A.2.20). Die Regionen mit erhöhten Stoffgehalten im Moos-Monitoring 2000 liegen ebenfalls in Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt. Lediglich Rheinland-Pfalz zeigt im Gegensatz zu den beiden vorherigen Moos-Monitoringvorhaben im bundesweiten Vergleich vereinzelt erhöhte Werte (→ Karte 33, Anhang A.3.20).

An den 479 seit 1990 durchgängig beprobten Standorten nehmen die Zinkgehalte um 65 % (= 302 Standorte) ab (→ Anhang A.4.10). Starke Rückgänge oberhalb von 60 µg/g finden sich in Hessen, Baden-Württemberg, Sachsen und Bayern. In Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz treten stellenweise Zunahmen von über 60 µg/g auf. Von den 880 im Moos-Monitoring 1995 und 2000 durchgängig beprobten Standorten zeigen 84 % (= 739 Stand-

orte) niedrigere Gehalte im Moos-Monitoring 2000 als im Moos-Monitoring 1995 (→ Anhang A.5.20). Starke Rückgänge oberhalb von 60 µg/g finden sich vornehmlich in den neuen Ländern, vereinzelt in Hessen und Nordrhein-Westfalen. Auffällig ist weiterhin das Auftreten lokaler Zunahmen von über 60 µg/g in Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz.



Karte 33:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Zink
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1026 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

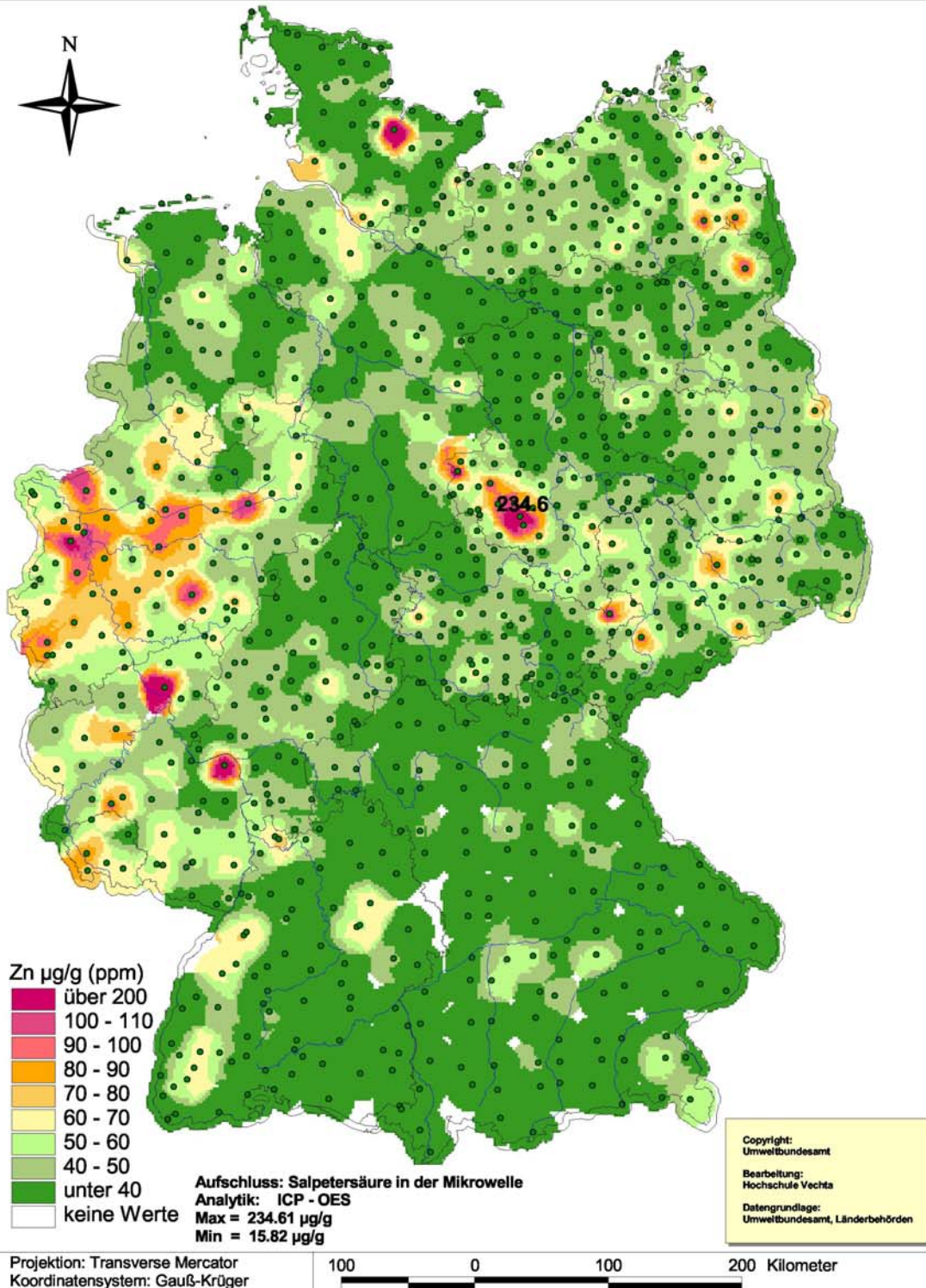


Tabelle 19: Zinkgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	39,7	39,7	45,7	33,6	45,5
	H.c.	76	34,5	37,9	82,4	18,5	72,4
	Gesamt	78	34,5	38,0	82,4	18,5	72,2
Bayern	P.s.	88	32,0	32,5	59,6	17,0	55,0
	S.p.	23	39,7	41,2	57,2	29,5	55,9
	H.c.	6	30,4	30,2	37,4	21,3	37,3
	H.s.	2	38,7	38,7	53,0	24,3	52,4
	Gesamt	119	33,0	34,2	59,6	17,0	55,9
Berlin	S.p.	3	47,1	45,8	49,7	40,7	49,6
	Gesamt	3	47,1	45,8	49,7	40,7	49,6
Brandenburg	P.s.	82	41,5	42,3	86,8	21,8	68,4
	S.p.	34	46,6	48,6	77,8	32,1	74,6
	H.c.	3	46,6	47,1	60,3	34,3	59,7
	(B.r.)	2	75,8	75,8	95,6	55,9	94,8
	Gesamt	121	42,9	44,7	95,6	21,8	75,9
Hessen	P.s.	25	38,0	38,4	53,9	27,1	52,5
	S.p.	23	44,6	44,3	62,9	30,6	61,0
	H.c.	12	39,0	39,8	71,0	19,4	66,2
	Gesamt	60	39,7	40,9	71,0	19,4	62,2
Hamburg	P.s.	4	42,9	42,9	49,3	36,4	49,1
	Gesamt	4	42,9	42,9	49,3	36,4	49,1
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	40,6	40,4	58,5	27,2	55,8
	S.p.	55	52,1	51,8	73,2	35,4	71,2
	H.c.	35	39,5	44,0	96,8	21,9	82,1
	(B.r.)	7	50,2	52,1	104,6	24,5	99,1
	Gesamt	113	47,2	47,8	104,6	21,9	74,7
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	49,8	54,1	106,4	28,5	88,9
	S.p.	43	72,1	75,2	123,2	44,7	114,7
	H.c.	9	51,7	58,9	95,7	36,7	93,6
	H.s.	1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1
	Gesamt	87	62,5	64,8	123,2	28,5	109,0
Niedersachsen	P.s.	60	37,8	38,6	66,7	16,3	66,1
	S.p.	25	38,4	40,6	63,7	24,4	63,0
	H.c.	9	47,9	45,6	62,4	28,6	61,5
	(B.r.)	1	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
	Gesamt	95	38,2	39,8	66,7	16,3	64,4
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	47,5	47,3	69,7	31,4	67,6
	S.p.	16	63,5	69,0	145,7	26,6	139,1
	H.c.	9	44,2	43,6	61,5	21,3	60,2
	Gesamt	39	48,6	55,4	145,7	21,3	129,0

Tabelle 19: Zinkgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	33,5	38,5	77,9	28,5	72,6
	S.p.	10	36,0	50,7	168,0	25,5	148,9
	H.c.	23	32,0	35,5	77,9	15,8	74,8
	(B.r., R.s.)	9	48,5	48,9	86,1	30,5	81,7
	Gesamt	50	34,2	41,4	168,0	15,8	87,7
Saarland	P.s.	3	38,6	44,8	59,2	36,6	58,3
	S.p.	4	71,3	72,7	85,9	62,2	85,5
	Gesamt	7	62,2	60,7	85,9	36,6	85,2
Sachsen	P.s.	24	39,6	39,8	59,1	27,3	58,0
	S.p.	13	49,2	48,9	64,9	33,4	63,4
	H.c.	34	42,4	43,2	72,1	24,8	62,2
	(B.r.)	11	62,1	65,0	96,8	30,0	95,8
	Gesamt	82	43,6	46,0	96,8	24,8	88,5
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	34,6	36,1	62,2	26,2	54,0
	S.p.	26	44,3	50,8	129,8	29,3	104,5
	H.c.	3	96,5	135,8	234,6	76,2	229,1
	(B.r., R.s., L.p.)	23	48,3	56,1	103,6	21,9	101,5
	Gesamt	91	40,2	48,7	234,6	21,9	108,9
Thüringen	P.s.	24	36,9	38,9	56,5	27,8	53,7
	S.p.	10	43,6	42,7	58,0	27,8	57,5
	H.c.	26	37,0	41,4	75,5	26,7	75,2
	(B.r., R.s., P.u.)	17	45,1	48,4	118,7	25,0	102,0
	Gesamt	77	39,6	42,3	118,7	25,0	75,2
Deutschland	P.s.	423	37,3	39,6	106,4	16,3	67,3
	S.p.	285	48,8	53,1	168,0	24,4	109,2
	H.c.	245	38,1	42,1	234,6	15,8	82,5
	HS	3	30,1	35,8	53,0	24,3	52,1
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	49,2	54,6	118,7	21,9	104,2
	Gesamt	1026	41,0	45,0	234,6	15,8	96,5

Abbildung 20: Mediane für Zink im Moos-Monitoring 2000

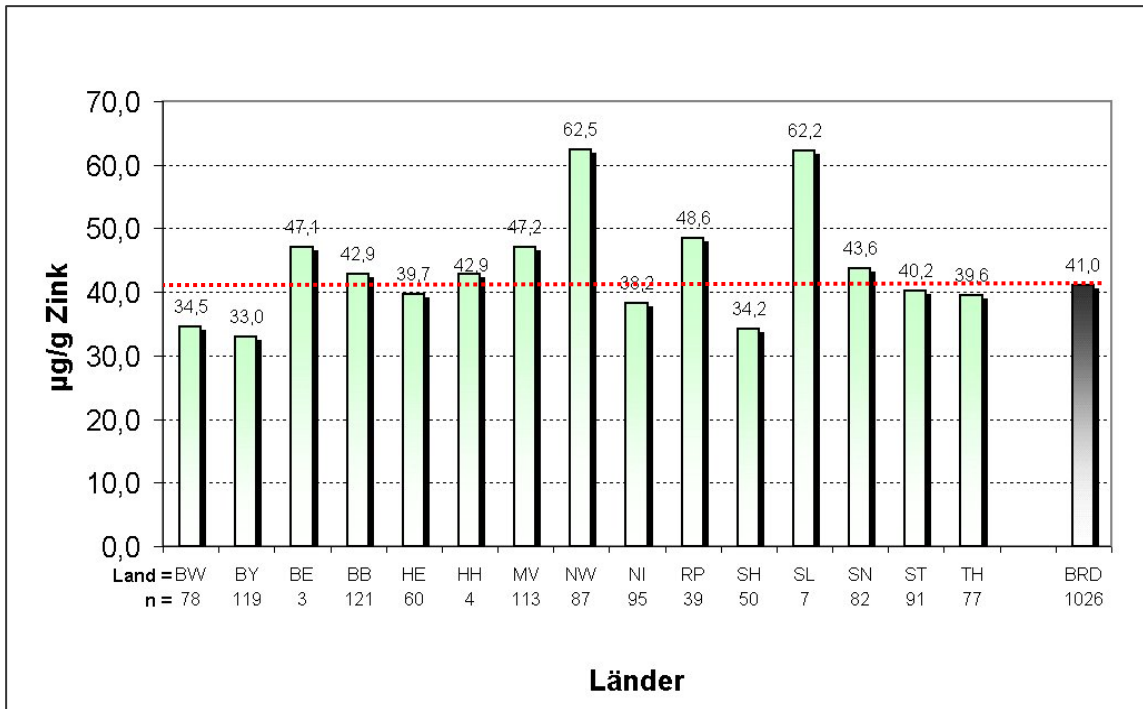
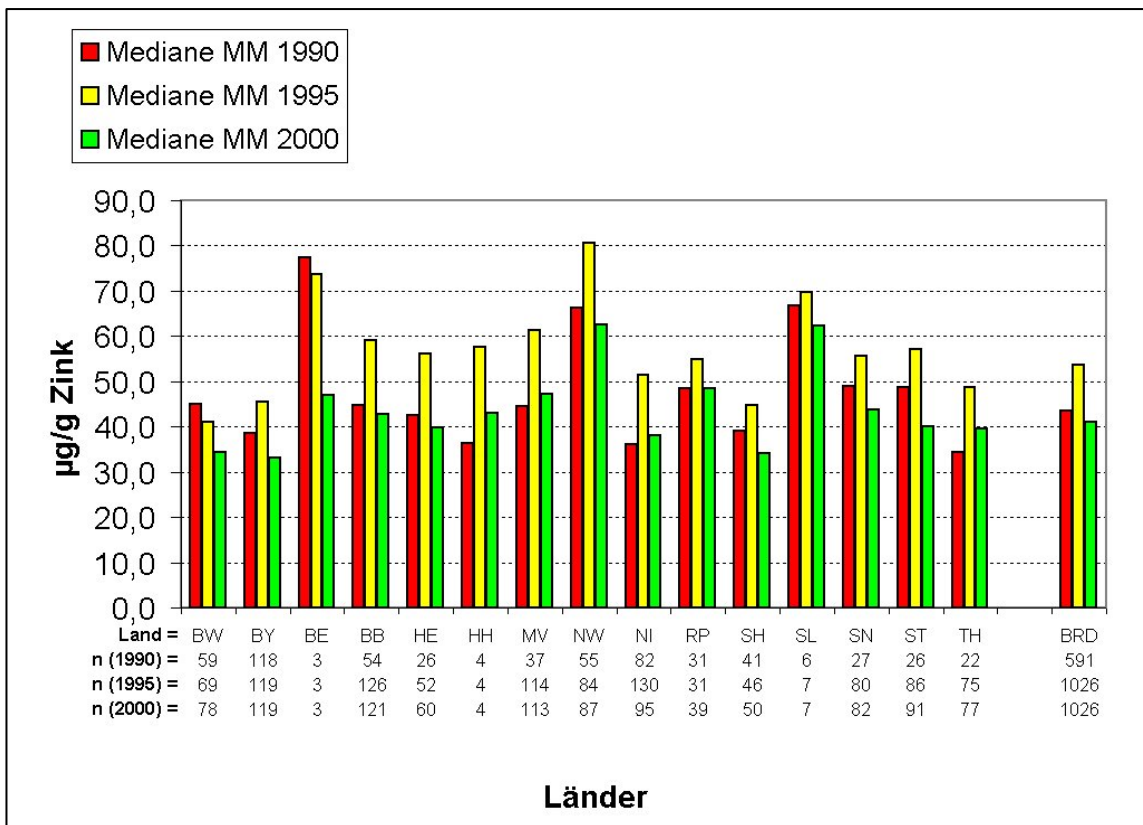


Abbildung 21: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Zink



3.1.11 Quecksilber

Allgemeines. Quecksilber kommt elementar und in einer Vielzahl chemischer Verbindungen in der Natur vor. Zinnober (HgS) ist die wichtigste durch Bergbau geförderte Quecksilberverbindung. In der Erdkruste finden sich im Mittel 0,083 µg/g Hg (RÖSLER & LANGE 1975). Böden enthalten 0,06 - 0,2 µg/g Hg. Landpflanzen zeigen 0,005 - 0,02 µg/g Hg, in essbaren Pflanzen, wie Kartoffeln und Pilzen wurden bis 0,27 µg/g Hg nachgewiesen. Kohle und Klärschlamm enthalten beachtliche Quecksilbermengen, die bei der Verbrennung frei werden. Es gibt anorganische Hg(I)- und Hg(II)-Salze und Organoquecksilber-Verbindungen.

Zu Quecksilber-Emissionen in die Umwelt kommt es hauptsächlich aus zwei Quellen: Quecksilber gelangt als elementares Quecksilber aufgrund des hohen Dampfdrucks durch „Entgasung“ aus vulkanischen Quellen und aus dem Erdboden in die Atmosphäre. Anthropogene Quecksilber-Emittenten sind Müllverbrennungsanlagen, Kraft- und Heizwerke, die chemische Industrie (Anlagen zur Chlorherstellung), Farbenindustrie, Krematorien und die Landwirtschaft (Fungizide).

Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Quecksilbergehalte wie auch der Entwicklung von Quecksilber in Moosen seit dem Moos-Monitoring 1990 sollten vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen analytischen Qualitätskenngrößen der Labore der BGR und der LUFA Hameln (Hg ~ 16%) und der in Kapitel 2.1.3 behandelten Standortvariabilität (Hg ~ 22%) betrachtet werden.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moosmonitoring 2000 an 1028 Standorten ermittelten Quecksilbergehalte in Moosen reichen von 0,016 µg/g in Bayern bis zu 0,312 µg/g in Sachsen-Anhalt. Der bundesweite Median liegt bei 0,041 µg/g, das bundesweite 98-Perzentil bei 0,107 µg/g (→ Tabelle 20, An-

hang B.). Beim Vergleich der Landesmediane im Jahre 2000 haben Thüringen (0,057 µg/g) und Baden-Württemberg (0,052 µg/g) die höchsten Werte zu vermerken. Berlin (0,027 µg/g) und Niedersachsen (0,031 µg/g) zeichnen sich durch die niedrigsten Mediane aus. Alle anderen Länder liegen relativ dicht über oder unter dem bundesdeutschen Schnitt. Der Box- und Whiskerplot im Anhang B.9 zeigt, dass vor allem in Sachsen-Anhalt Extremwerte auftreten. Karte 35 spiegelt diese Entwicklung durch das Vorhandensein einer Zone mit erhöhten Stoffgehalten in Sachsen-Anhalt wieder, innerhalb derer auch der höchste Messwert von 0,312 µg/g bestimmt wurde. Schwache punktuelle Anreicherungszone im Wertebereich bis zu 0,14 µg/g finden sich bundesweit in Thüringen und Bayern. Flächendeckend wurden sehr niedrige Messwerte unter 0,04 µg/g in den Ländern Niedersachsen und Bayern ermittelt (→ Anhang A.3.9).

Zeitliche Entwicklung. Ein Vergleich der Landesmediane zwischen den Moos-Monitoring-Vorhaben von 1995 und 2000 ergibt ein sehr unterschiedliches Bild. In sieben Ländern stiegen die Mediane zwischen 1995 und 2000 an, die restlichen Länder verzeichnen Rückgänge. Besonders auffällig ist der Anstieg in Thüringen und in Sachsen-Anhalt. Nordrhein-Westfalen zeigte im Moos-Monitoring 1995 noch den höchsten Median. Im Moos-Monitoring 2000 ist dieser Wert zwar deutlich niedriger, liegt aber immer noch über dem bundesweiten Schnitt. Der größte Rückgang des Medians wurde für Bayern ermittelt.

Der optische Vergleich der zwei interpolierten Flächenkarten (→ Karte 34 und 35) zeigt eine räumliche Verschiebung der erhöhten Quecksilbergehalte seit dem Moos-Monitoring 1995. Standorte mit Quecksilberwerten oberhalb des 98-Perzentils von 0,17 µg/g treten 2000 vor allem in Sachsen-Anhalt und in Teilen Thüringens auf. Im Moosmonitoring 1995 waren in diesem Gebiet kaum erhöhte Werte anzutreffen. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die geballte Anordnung von Überschreitungen des 98-Perzentils im Moos-Monitoring 1995 nicht zu finden waren (→ Anhang A.2.9 und Anhang A.3.9).

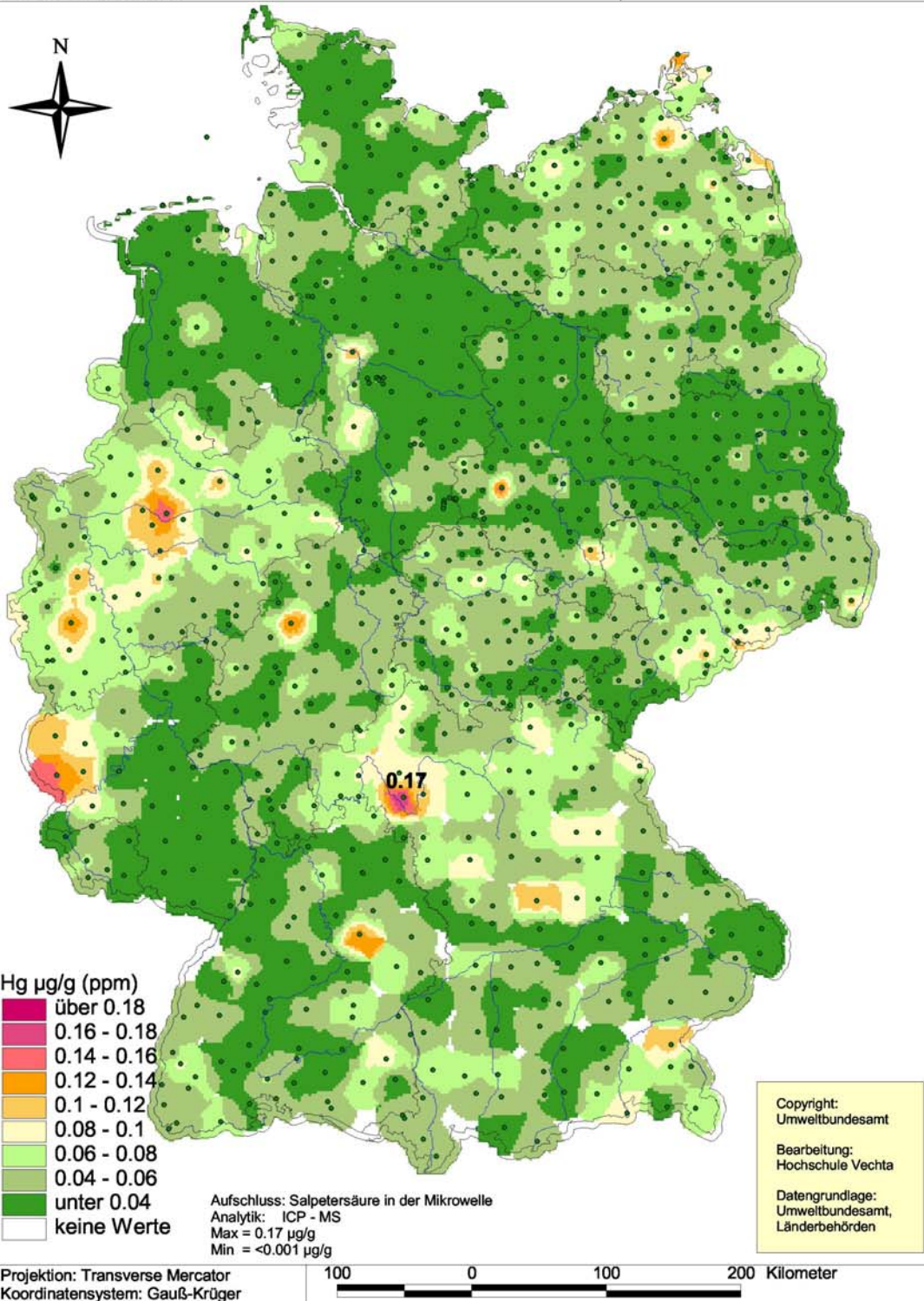
Der Anhang A.5.9 zeigt unterschiedliche Entwicklungstendenzen der Quecksilbergehalte an den seit dem Moos-Monitoring 1995 durchgängig beprobten Standorten. Insgesamt ergibt sich an den 880 Probenentnahmestellen eine Rückgangsrate von 54 %. Vor allem Standorte in Sachsen-Anhalt und Thüringen weisen im Moos-Monitoring 2000 höhere Werte auf. Abnehmende Konzentrationen können in Bayern, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz festgestellt werden.

Karte 34:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Quecksilber
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

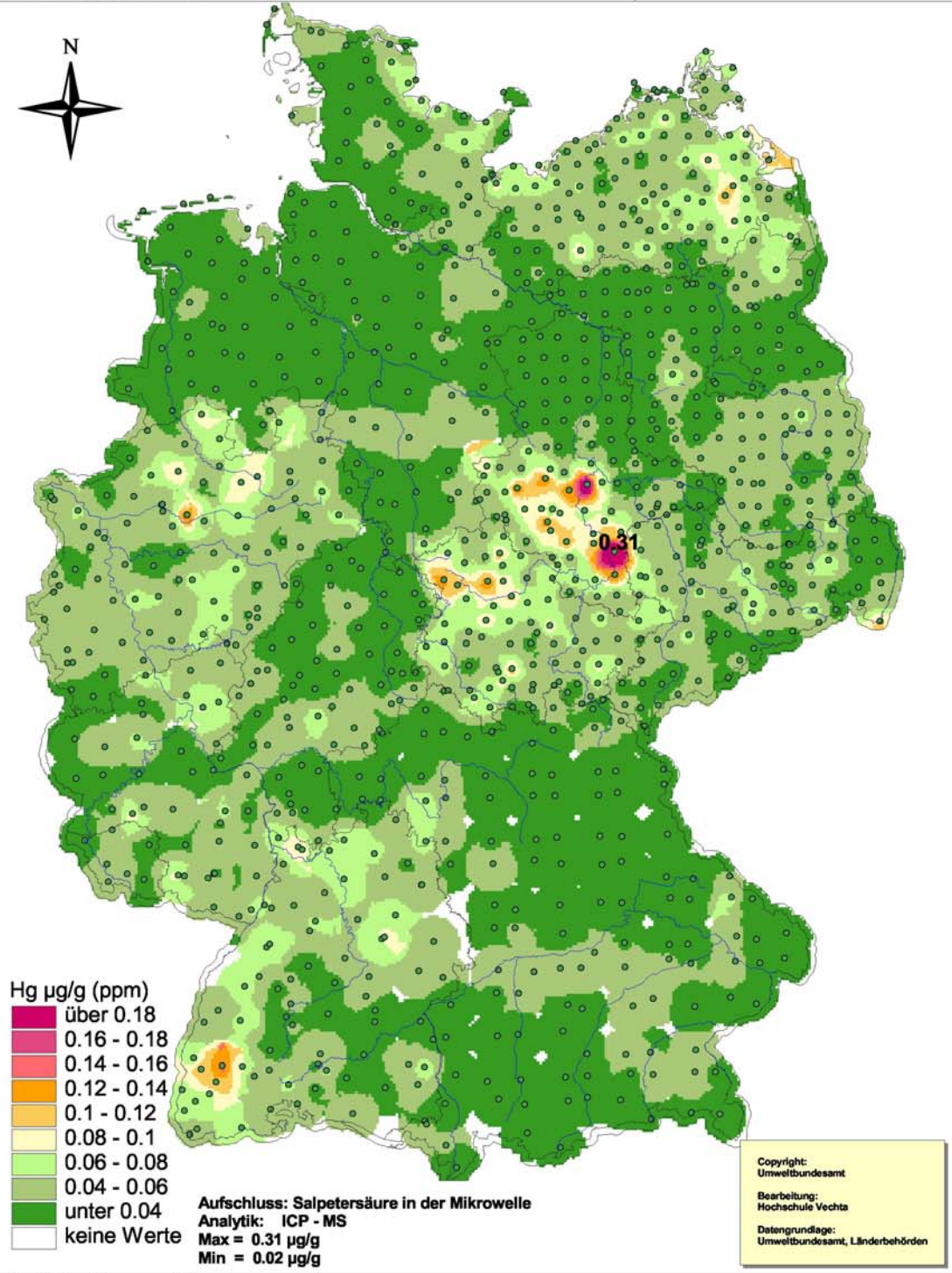
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



**Karte 35:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Quecksilber
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius**

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 20: Quecksilbergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,044	0,044	0,050	0,037	0,050
	H.c.	76	0,053	0,057	0,145	0,026	0,119
	Gesamt	78	0,052	0,056	0,145	0,026	0,119
Bayern	P.s.	88	0,032	0,033	0,058	0,016	0,053
	S.p.	23	0,034	0,037	0,058	0,018	0,055
	H.c.	6	0,055	0,057	0,080	0,040	0,079
	H.s.	2	0,042	0,042	0,050	0,034	0,050
	Gesamt	119	0,033	0,035	0,080	0,016	0,062
Berlin	S.p.	3	0,027	0,027	0,028	0,025	0,028
	Gesamt	3	0,027	0,027	0,028	0,025	0,028
Brandenburg	P.s.	82	0,040	0,040	0,067	0,020	0,063
	S.p.	34	0,032	0,035	0,062	0,022	0,058
	H.c.	3	0,060	0,063	0,080	0,049	0,079
	(B.r.)	2	0,062	0,062	0,080	0,044	0,079
	Gesamt	121	0,039	0,040	0,080	0,020	0,066
Hessen	P.s.	25	0,034	0,036	0,058	0,021	0,057
	S.p.	23	0,036	0,036	0,059	0,022	0,059
	H.c.	12	0,048	0,047	0,077	0,028	0,072
	Gesamt	60	0,037	0,038	0,077	0,021	0,059
Hamburg	P.s.	4	0,038	0,037	0,043	0,029	0,043
	Gesamt	4	0,038	0,037	0,043	0,029	0,043
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	0,042	0,039	0,047	0,028	0,047
	S.p.	55	0,043	0,046	0,088	0,029	0,083
	H.c.	35	0,070	0,072	0,112	0,036	0,109
	(B.r.)	7	0,042	0,061	0,107	0,036	0,105
	Gesamt	113	0,047	0,054	0,112	0,028	0,107
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	0,047	0,050	0,086	0,027	0,078
	S.p.	44	0,044	0,046	0,085	0,026	0,076
	H.c.	9	0,075	0,077	0,146	0,038	0,137
	H.s.	1	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
	Gesamt	88	0,046	0,051	0,146	0,026	0,091
Niedersachsen	P.s.	60	0,032	0,033	0,051	0,020	0,051
	S.p.	25	0,027	0,030	0,068	0,017	0,062
	H.c.	9	0,032	0,036	0,053	0,028	0,052
	(B.r.)	1	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
	Gesamt	95	0,031	0,033	0,068	0,017	0,056
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	0,044	0,047	0,089	0,033	0,082
	S.p.	16	0,043	0,047	0,090	0,033	0,081
	H.c.	9	0,062	0,057	0,082	0,036	0,080
	Gesamt	39	0,045	0,049	0,090	0,033	0,089

Tabelle 20: Quecksilbergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,037	0,037	0,055	0,024	0,054
	S.p.	10	0,029	0,032	0,047	0,019	0,046
	H.c.	23	0,049	0,051	0,083	0,024	0,082
	(B.r., R.s.)	9	0,047	0,043	0,058	0,026	0,057
	Gesamt	50	0,043	0,043	0,083	0,019	0,081
Saarland	P.s.	3	0,035	0,038	0,052	0,026	0,051
	S.p.	4	0,050	0,047	0,058	0,030	0,058
	Gesamt	7	0,050	0,043	0,058	0,026	0,057
Sachsen	P.s.	24	0,038	0,041	0,080	0,027	0,073
	S.p.	13	0,043	0,043	0,064	0,024	0,061
	H.c.	35	0,045	0,047	0,090	0,025	0,086
	(B.r.)	11	0,056	0,061	0,103	0,037	0,098
	Gesamt	83	0,044	0,046	0,103	0,024	0,086
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,037	0,038	0,065	0,024	0,061
	S.p.	26	0,042	0,048	0,101	0,022	0,089
	H.c.	3	0,097	0,109	0,143	0,088	0,141
	(B.r., R.s., L.p.)	23	0,092	0,102	0,312	0,027	0,281
	Gesamt	91	0,041	0,059	0,312	0,022	0,163
Thüringen	P.s.	24	0,045	0,048	0,088	0,026	0,087
	S.p.	10	0,040	0,049	0,072	0,032	0,071
	H.c.	26	0,067	0,075	0,137	0,035	0,132
	(B.r., R.s., P.u.)	17	0,064	0,064	0,117	0,029	0,113
	Gesamt	77	0,057	0,061	0,137	0,026	0,122
Deutschland	P.s.	423	0,037	0,039	0,089	0,016	0,068
	S.p.	286	0,039	0,041	0,101	0,017	0,075
	H.c.	246	0,056	0,059	0,146	0,024	0,121
	HS	3	0,050	0,049	0,062	0,034	0,062
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	0,059	0,073	0,312	0,026	0,204
	Gesamt	1028	0,041	0,047	0,312	0,016	0,107

Abbildung 22: Mediane für Quecksilber im Moos-Monitoring 2000

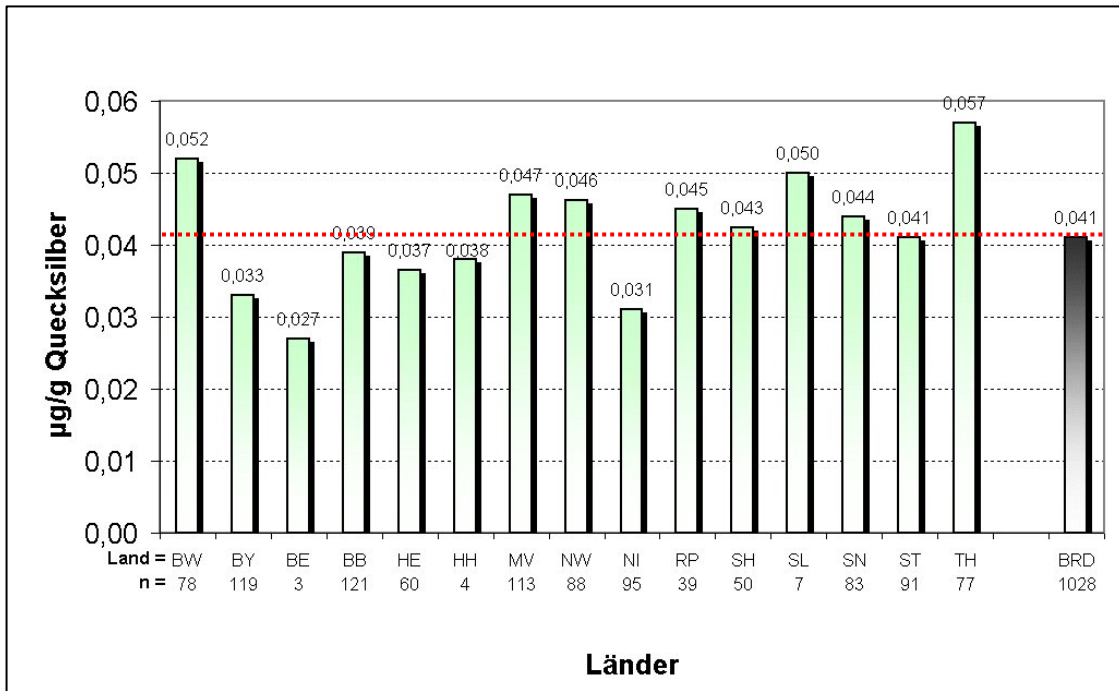
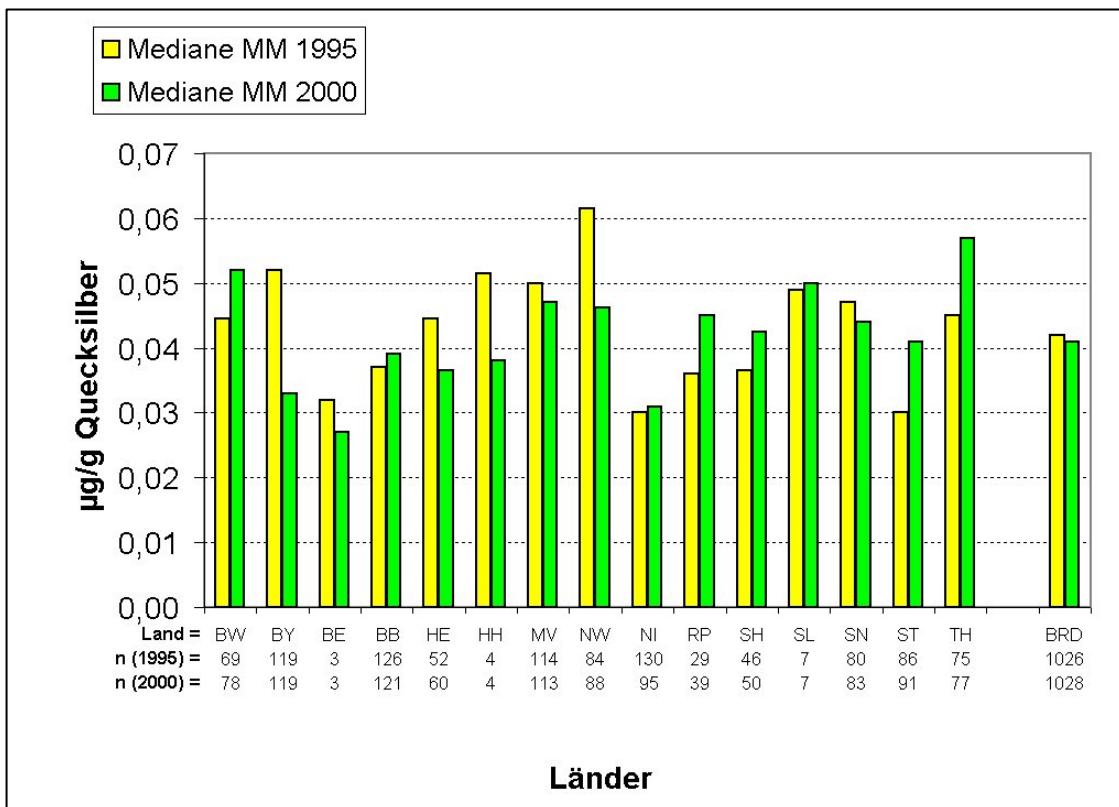


Abbildung 23: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Quecksilber



3.1.12 Antimon

Allgemeines. Antimon (Sb = Stibium) ist ein weitverbreitetes Element, das häufig zusammen mit Schwefel und Arsen vorkommt. In der Natur findet sich Antimon analog dem Arsen gediegen als auch in Form von Antimonsulfiden, Metallantimoniden und Antimonoxiden. Ein wichtiges Antimonerz ist Antimon- glanz (Grauspießglanz, Antimonit, Stibnit, Sb_2S_3). Daneben tritt Antimon auch in Blei-, Kupfer- und Quecksilbersulfiden auf. Zur Antimongewinnung kommen auch Zwischenprodukte aus der Aufarbeitung von Blei- und Kupfererzen in Betracht.

Die Erdkruste enthält etwa $0,5 \mu\text{g/g}$ Sb (RÖSLER & LANGE 1975). Nach BOWEN (1979) weisen Böden einen Gehalt von $0,05 - 1,5 \mu\text{g/g}$ Sb auf. Nach PETERSON et al. (1981) können Böden bis zu $10 \mu\text{g/g}$ Sb enthalten. Städtische und industrielle Böden können - oft korreliert mit dem Arsengehalt - mehr Antimon enthalten.

Nach STREIT (1991) enthalten Pflanzen $0,0001 - 0,200 \mu\text{g/g}$ Antimon, im Mittel etwa $0,01 \mu\text{g/g}$. Kohle weist etwa $0,1 - 10 \mu\text{g/g}$ Sb auf (BOWEN 1979).

Antimon-Emissionen sind vor allem in der Umgebung von Goldminen und von Blei- und Kupferschmelzen zu erwarten sowie auf Kohleverbrennung zurückzuführen. Auch in Bereichen der Glas- und Keramikindustrie kann es zu Freisetzungen von Antimon kommen. Nach STEINNES (1993) wird Antimon atmosphärisch - wie Arsen - über große Distanzen transportiert. Luft enthält im Mittel etwa $0,0017$ bis 63 ng/m^3 Sb (BOWEN 1979). In Luftschwebeteilchen sind besonders Antimon und Cadmium gegenüber der Erdkruste um Faktoren bis zu 3000 (Sb) angereichert.

Erhöhte Antimonemissionen lassen sich weiterhin auf den Straßenverkehr zurückführen. So ergaben Untersuchungen am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz ergaben, dass von 23 untersuchten Bremsbelägen in 18 Belägen Antimon zu den metallischen Hauptbestandteilen zählte (PEICHL et al 1994). In an verkehrsnahen Standorten exponierten Weidelgraskulturen konnten mittlere Antimongehalte von bis zu 2,2 mg/kg Trockensubstanz ermittelt werden (PEICHL et al 1994).

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten gemessenen Antimongehalte reichen von 0,05 µg/g in Sachsen-Anhalt bis zu 0,52 µg/g in Bayern. Der bundesweite Median liegt bei 0,15 µg/g und das 98-Perzentil bei 0,405 µg/g (→ Tabelle 21). Im bundesweiten Medianvergleich fallen deutlich Hamburg und Nordrhein-Westfalen mit erhöhten Werten auf. Hamburg hat mit 0,305 µg/g den höchsten Median, mit Abstand gefolgt von Nordrhein-Westfalen, dessen Median bei 0,235 µg/g liegt. Damit liegen beide deutlich über dem bundesweiten Median von 0,15 µg/g. Den niedrigsten Median hat Berlin (0,12 µg/g), gefolgt von Mecklenburg-Vorpommern (0,13 µg/g), Sachsen-Anhalt (0,13 µg/g) sowie Schleswig-Holstein (0,135 µg/g) (→ Abbildung 24). In Karte 37 finden sich Anreicherungszone in Hamburg flächendeckend und in Nordrhein-Westfalen punktuell bis flächig wieder. Die höchsten Stoffgehalte wurde in Bayern mit 0,52 µg/g gemessen. Ähnliche Zonen weisen die Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen auf. Alle anderen Länder, vor allem Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen, verzeichnen niedrige Messergebnisse (→ Anhang A.3.16 und Karte 37).

Zeitliche Entwicklung. Ein Vergleich der Landesmediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 ergibt einen Rückgang in allen Ländern mit Ausnahme von Hessen (→ Abbildung 25). Hier ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Auffällig

sind die hohen Mediane im Moos-Monitoring 1995 in Hamburg und Nordrhein-Westfalen, wo im Moos-Monitoring 2000 nur niedrigere Werte auftreten.

Bei der Betrachtung der interpolierten Flächenkarten aus dem Moos-Monitoring 1995 bestätigt sich eine fast flächendeckende Ausprägung der Antimongehalte in Nordrhein-Westfalen und Hamburg. Gleich hohe Konzentrationen über 0,5 µg/g traten nur punktuell auf. Stoffgehalte über 0,5 µg/g treten insbesondere in Bayern, Baden-Württemberg, Thüringen und Brandenburg auf (→ Karte 36 und Karte 37). Im Vergleich zu den Messergebnissen aus dem Moos-Monitoring 2000 zeigen vor allem Brandenburg und Thüringen starke Rückgänge. Deutliche Anreicherungscentren wie im Moos-Monitoring 1995 sind in der Karte 37 nicht mehr erkennbar. Auch in Baden-Württemberg konnten die beiden Standorte mit den höchsten Antimongehalten jetzt deutliche Abnahmen verzeichnen.

Die Betrachtung von Standorten mit höheren Antimongehalten zeigt im Moos-Monitoring 1995 eine Anhäufung von Standorten mit Überschreitungen des 98-Perzentils in Süden Brandenburgs (→ Anhang A.2.16). Es fällt weiterhin auf, dass in Nordrhein-Westfalen mit durchgängig hohen Werten das 98-Perzentil von 0,49 µg/g selten überschritten wird. Im Moos-Monitoring 2000 konzentrieren sich die erhöhten Werte auf Nordrhein-Westfalen, während das im Moos-Monitoring 1995 durch erhöhte Messwerte charakterisierte Gebiet im Süden Brandenburgs als solches nicht mehr erkennbar ist (→ Anhang A.3.16).

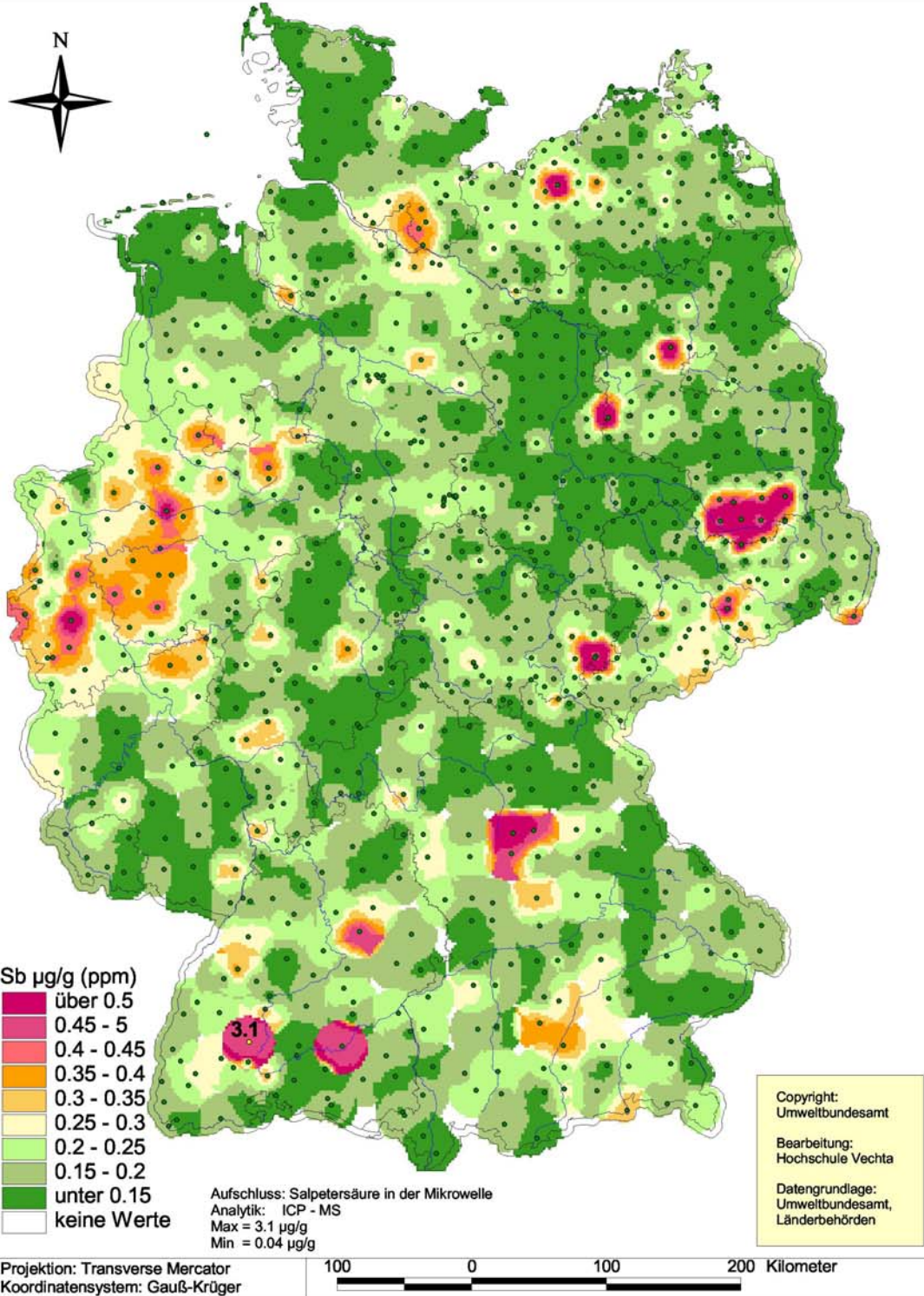
Die Auswertung der 880 seit 1995 durchgängig beprobten Standorte bestätigt den starken Rückgang der Stoffgehalte im Süden Brandenburgs. Relativ hohe Zunahmen über 0,3 µg/g sind nur an vier Stellen zu vermerken (→ Anhang A.5.16). Insgesamt ergibt sich zwischen den 1995 und 2000 durchgängig beprobten Standorten ein Rückgang von 59 % (= 519 Standorte).

Karte 36:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Antimon
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

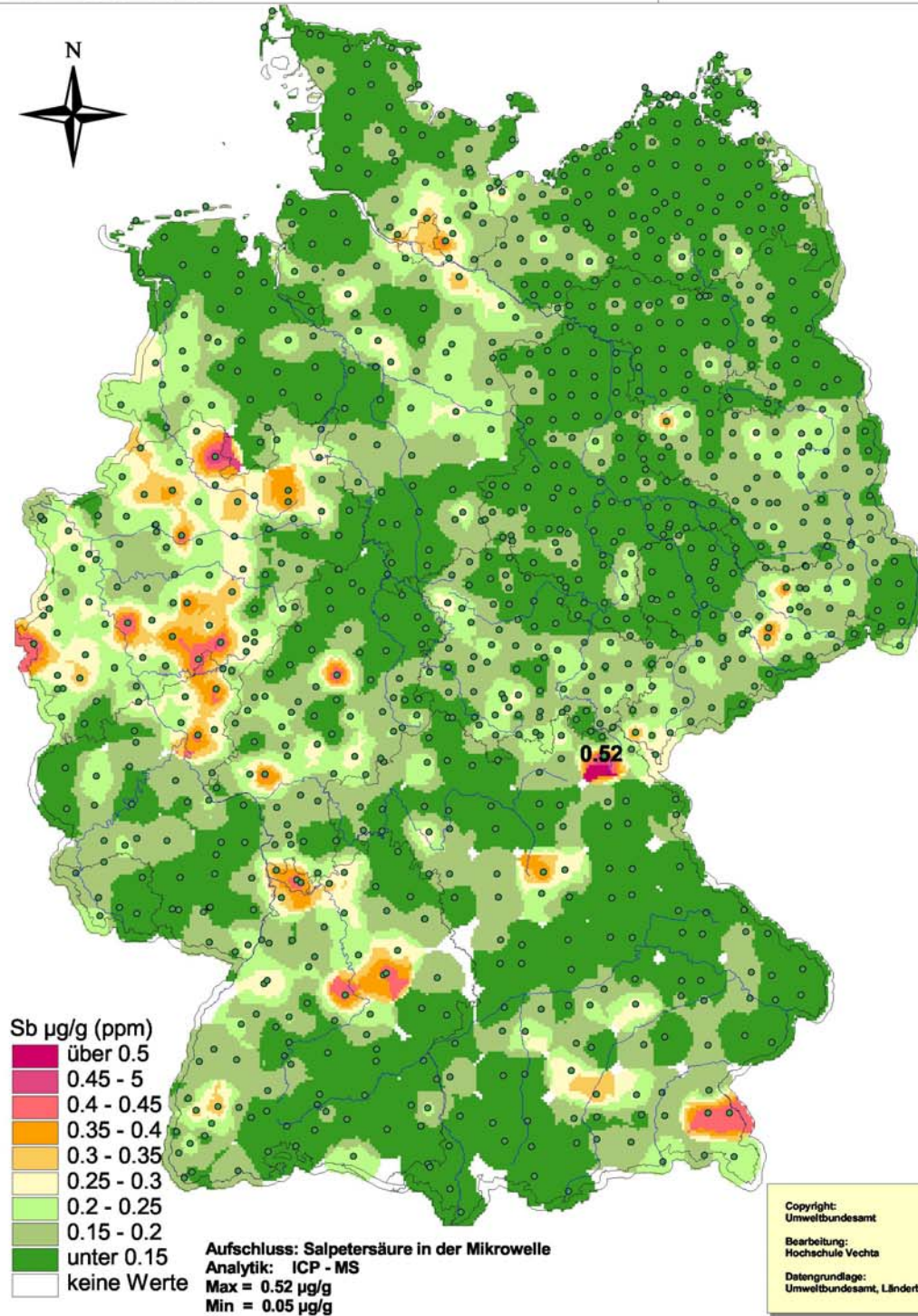


Karte 37:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Antimon
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 21: Antimongehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	0,215	0,215	0,300	0,130	0,297
	H.c.	76	0,165	0,189	0,500	0,080	0,415
	Gesamt	78	0,165	0,190	0,500	0,080	0,415
Bayern	P.s.	88	0,145	0,162	0,520	0,060	0,443
	S.p.	23	0,120	0,137	0,300	0,080	0,287
	H.c.	6	0,165	0,177	0,275	0,118	0,270
	H.s.	2	0,185	0,185	0,250	0,120	0,247
	Gesamt	119	0,140	0,158	0,520	0,060	0,417
Berlin	S.p.	3	0,120	0,120	0,130	0,110	0,130
	Gesamt	3	0,120	0,120	0,130	0,110	0,130
Brandenburg	P.s.	82	0,170	0,172	0,380	0,070	0,274
	S.p.	34	0,095	0,103	0,200	0,050	0,200
	H.c.	3	0,200	0,188	0,225	0,140	0,224
	(B.r.)	2	0,105	0,105	0,120	0,090	0,119
	Gesamt	121	0,150	0,152	0,380	0,050	0,270
Hessen	P.s.	25	0,160	0,182	0,440	0,080	0,375
	S.p.	23	0,120	0,130	0,245	0,070	0,230
	H.c.	12	0,205	0,215	0,415	0,120	0,391
	Gesamt	60	0,160	0,169	0,440	0,070	0,395
Hamburg	P.s.	4	0,305	0,308	0,380	0,240	0,379
	Gesamt	4	0,305	0,308	0,380	0,240	0,379
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	0,170	0,168	0,290	0,100	0,266
	S.p.	55	0,100	0,113	0,270	0,060	0,180
	H.c.	35	0,140	0,159	0,350	0,100	0,302
	(B.r.)	7	0,100	0,107	0,180	0,060	0,174
	Gesamt	113	0,130	0,135	0,350	0,060	0,280
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	0,285	0,292	0,480	0,090	0,460
	S.p.	44	0,193	0,204	0,450	0,105	0,330
	H.c.	9	0,300	0,300	0,470	0,100	0,465
	H.s.	1	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
	Gesamt	88	0,235	0,247	0,480	0,090	0,455
Niedersachsen	P.s.	60	0,180	0,190	0,330	0,100	0,308
	S.p.	25	0,090	0,101	0,220	0,050	0,206
	H.c.	9	0,150	0,152	0,210	0,110	0,205
	(B.r.)	1	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	Gesamt	95	0,150	0,163	0,330	0,050	0,301
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	0,200	0,220	0,410	0,140	0,384
	S.p.	16	0,120	0,139	0,230	0,100	0,230
	H.c.	9	0,210	0,222	0,420	0,110	0,399
	Gesamt	39	0,170	0,187	0,420	0,100	0,412

Tabelle 21: Antimonergehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	0,170	0,183	0,290	0,100	0,284
	S.p.	10	0,095	0,109	0,180	0,070	0,175
	H.c.	23	0,140	0,155	0,270	0,070	0,252
	(B.r., R.s.)	9	0,160	0,182	0,430	0,080	0,404
	Gesamt	50	0,135	0,155	0,430	0,070	0,293
Saarland	P.s.	3	0,160	0,157	0,170	0,140	0,170
	S.p.	4	0,140	0,153	0,240	0,090	0,236
	Gesamt	7	0,160	0,154	0,240	0,090	0,232
Sachsen	P.s.	24	0,190	0,210	0,430	0,120	0,407
	S.p.	13	0,100	0,114	0,190	0,070	0,183
	H.c.	35	0,170	0,183	0,430	0,120	0,369
	(B.r.)	11	0,140	0,150	0,250	0,070	0,242
	Gesamt	83	0,160	0,175	0,430	0,070	0,398
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	0,150	0,147	0,240	0,090	0,232
	S.p.	26	0,085	0,091	0,140	0,060	0,135
	H.c.	3	0,240	0,210	0,250	0,140	0,250
	(B.r., R.s., L.p.)	23	0,130	0,135	0,240	0,050	0,231
	Gesamt	91	0,130	0,130	0,250	0,050	0,240
Thüringen	P.s.	24	0,195	0,190	0,270	0,090	0,256
	S.p.	10	0,115	0,129	0,230	0,070	0,230
	H.c.	26	0,195	0,200	0,320	0,120	0,315
	(B.r., R.s., P.u.)	17	0,120	0,144	0,240	0,100	0,234
	Gesamt	77	0,170	0,175	0,320	0,070	0,305
Deutschland	P.s.	423	0,170	0,187	0,520	0,060	0,416
	S.p.	286	0,110	0,129	0,450	0,050	0,280
	H.c.	246	0,170	0,187	0,500	0,070	0,420
	HS	3	0,140	0,170	0,250	0,120	0,246
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	0,130	0,143	0,430	0,050	0,262
	Gesamt	1028	0,150	0,167	0,520	0,050	0,405

Abbildung 24: Mediane für Antimon im Moos-Monitoring 2000

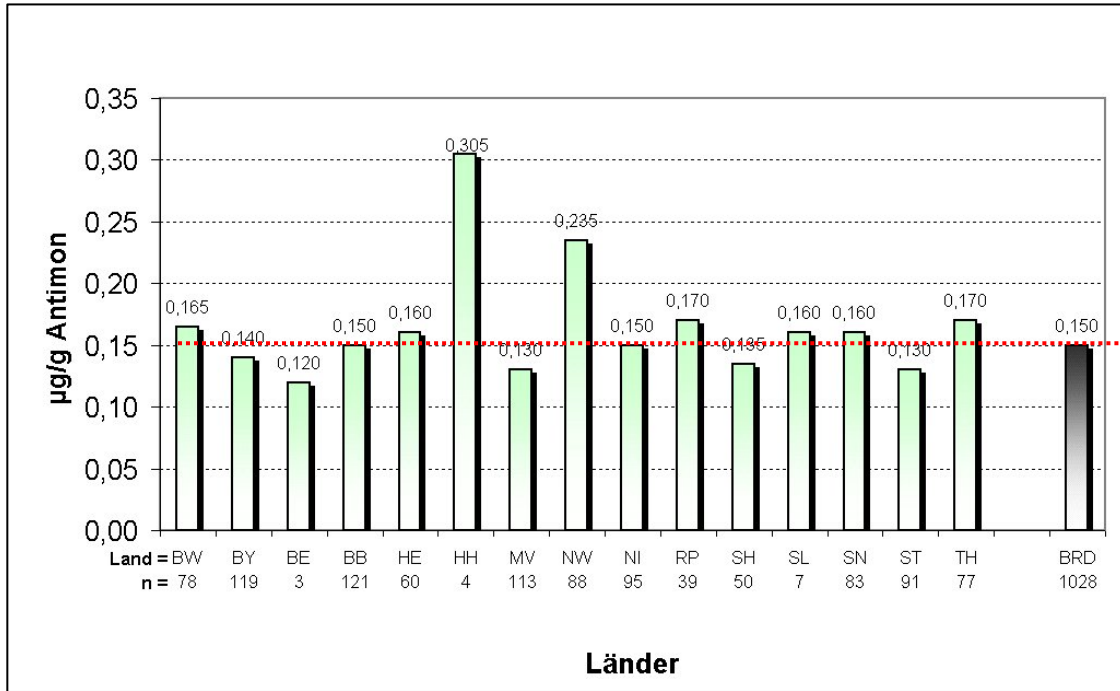
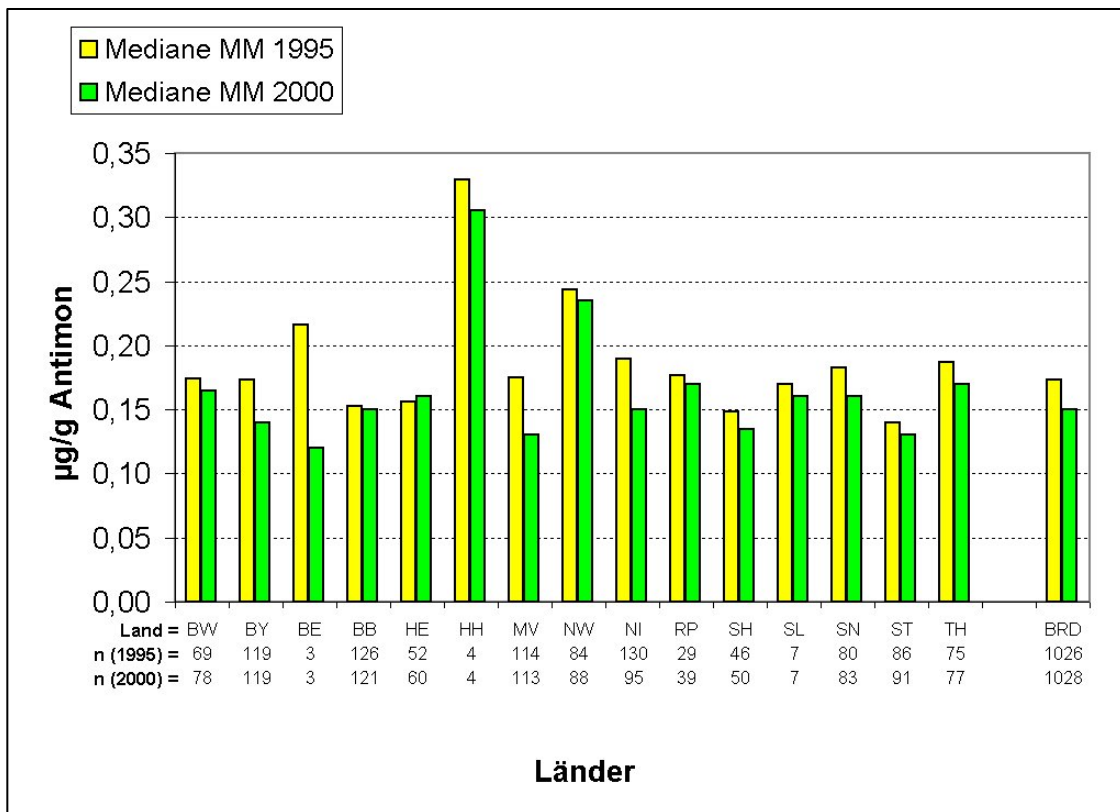


Abbildung 25: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 für Antimon



3.2 Zusatzelemente

3.2.1 Aluminium

Allgemeines. Aluminium ist das wichtigste Leichtmetall und wird vielfältig benutzt, als Verpackungsmaterial, bei der Herstellung von Pulver-Rostanstrichen ebenso wie beim Fahr- und Flugzeugbau.

Über chronische Erkrankungen beim Menschen bei erhöhter Aluminiumaufnahme über die Nahrungskette ist wenig bekannt, jedoch sind Aluminium und seine Verbindungen bei intakter Nierenfunktion aus toxikologischer Sicht unbedenklich. Auch eine mutagene oder cancerogene Wirkung von Aluminium ist nicht bekannt (MERIAN 1991). Bei der Untersuchung von Aluminiumgehalten in Lungen von nichtexponierten Menschen zeigen sich Gehalte von 5 – 100 mg/kg Trockengewicht, die auf die Einatmung aluminiumhaltiger Stäube wie Tonerden zurückgeführt werden (MARQUARDT & SCHÄFER 1994). Aluminium wird quantitativ in Pflanzen gefunden, allerdings ist unklar, ob es essentiell ist (MARKERT 1992).

Ergebnisse Moosmonitoring 2000. Die an 1028 Standorten im Moos-Monitoring 2000 ermittelten Aluminiumgehalte in Moosen reichen von 95,1 µg/g in Mecklenburg-Vorpommern bis 2800 µg/g in Sachsen (→ Tabelle 22, Anhang B.1). Weit über dem bundesweiten Median von 307 µg/g liegen Baden-Württemberg mit 498 µg/g, Rheinland-Pfalz mit 426 µg/g und Thüringen mit 422 µg/g (→ Abbildung 26). Räumlich betrachtet sind im gesamten Bundesgebiet gemessen an dem vorgegebenen Klassifizierungsschema geringe Stoffgehalte zu beobachten (→ Karte 39). Standorte mit erhöhten Aluminiumgehalten und solchen, an denen Werte oberhalb des 98-Perzentils nachgewiesen wurden, treten vor allem in Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz, vereinzelt in Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Sachsen und Baden-Württemberg auf (→ Anhang A.3.1).

Zeitliche Entwicklung. Seit dem Moos-Monitoring 1995 nehmen die Mediane fast aller Länder ab. Der stärkste Rückgang ist in Hamburg festzustellen, wo sich der Median von 1995 nach 2000 mehr als halbiert hat. Lediglich in Rheinland-Pfalz nahm der Median leicht zu, während er in Baden-Württemberg nahezu unverändert hoch ist (→ Abbildung 27). Die beschriebene Entwicklungstendenz wird auch beim Vergleich der Punkt- und Flächenkarten aus dem Moosmonitoring 1995 und 2000 deutlich (→ Anhang A.2.1, A.3.1, Karten 38, 39). Die Anzahl der Standorte mit Aluminiumgehalten von über 1800 µg/g ging, mit Ausnahme von Sachsen, insgesamt gesehen leicht zurück. In beiden Moos-Monitoring Vorhaben sind Anreicherungsschwerpunkte in Rheinland-Pfalz und Sachsen (bzw. über die Landesgrenzen Sachsens hinaus nach Niedersachsen und Sachsen-Anhalt hinein) zu erkennen.

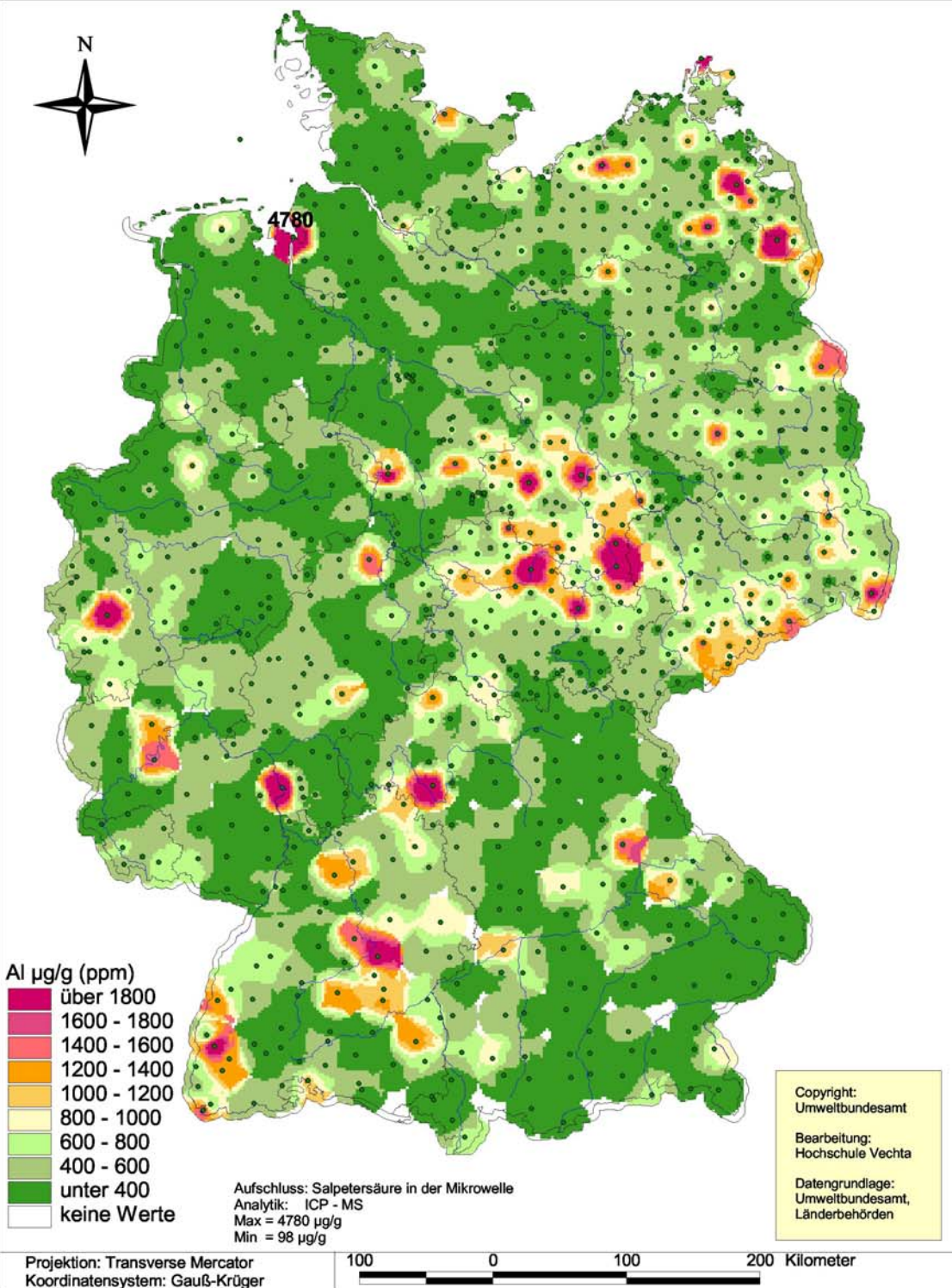
An den 880 sowohl im Moos-Monitoring 1995 als auch 2000 beprobten Standorten zeigen 72 % der Fälle Abnahmen in den Aluminiumgehalten. Standorte mit Abnahmen über 1600 µg/g sind in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Baden-Württemberg und Bayern zu erkennen. In Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Thüringen sind an einzelnen Standorten Zunahmen von über 1600 µg/g zu verzeichnen (→ Anhang A.5.1).

Karte 38:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Aluminium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

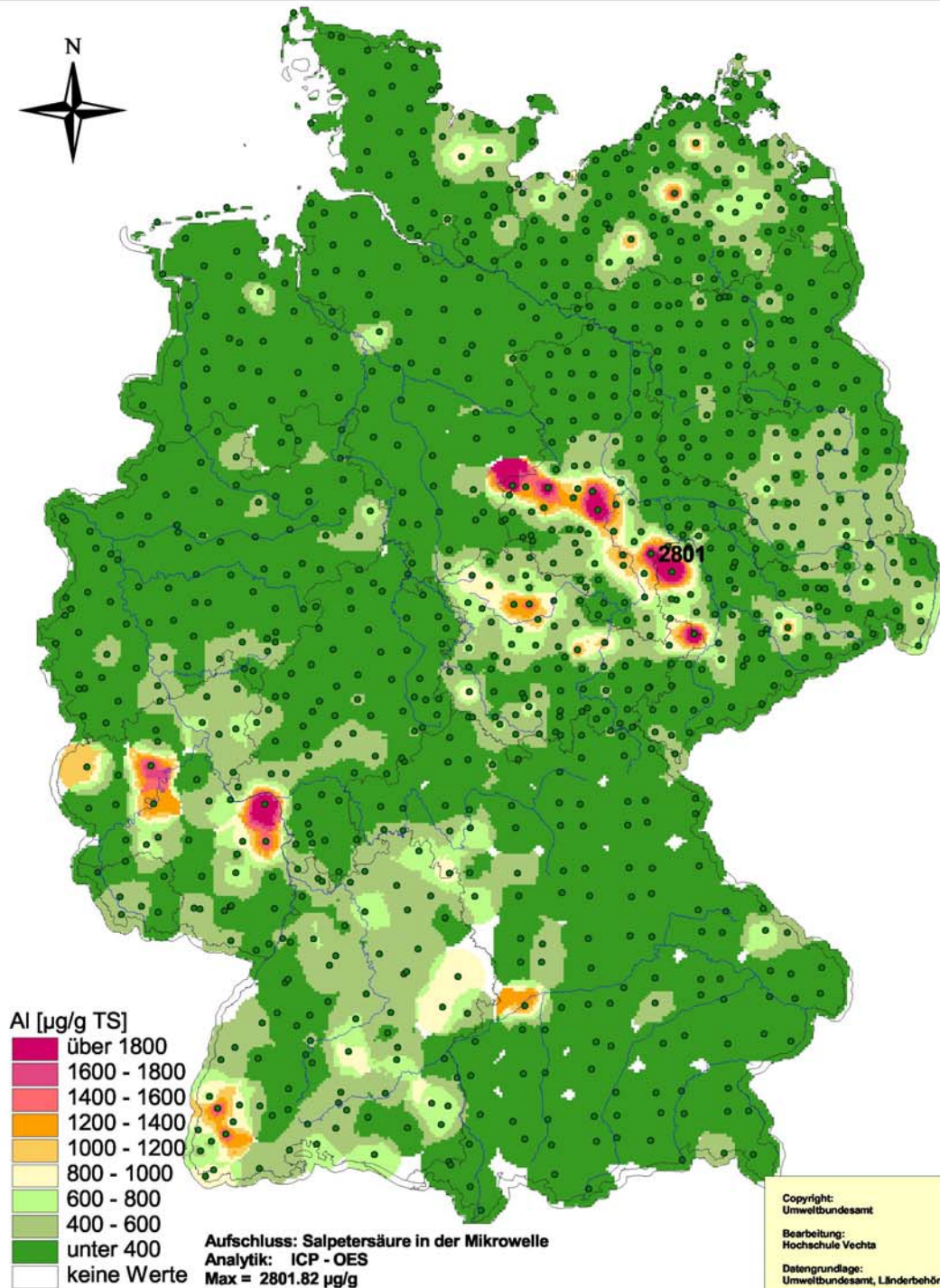


Karte 39:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Aluminium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis: 1028 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Copyright:
 Umweltbundesamt

Bearbeitung:
 Hochschule Vechta

Datengrundlage:
 Umweltbundesamt, Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 22: Aluminiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	285	285	350	219	348
	H.c.	76	501	552	1769	207	1312
	Gesamt	78	498	545	1769	207	1285
Bayern	P.s.	88	234	247	701	110	514
	S.p.	23	281	359	1277	132	1049
	H.c.	6	472	521	963	132	942
	H.s.	2	213	213	213	212	213
	Gesamt	119	239	282	1277	110	758
Berlin	S.p.	3	156	185	255	143	251
	Gesamt	3	156	185	255	143	251
Brandenburg	P.s.	82	348	376	909	130	699
	S.p.	34	227	258	515	133	489
	H.c.	3	441	459	553	383	549
	(B.r.)	2	249	249	297	202	295
	Gesamt	121	323	343	909	130	666
Hessen	P.s.	25	238	267	590	140	521
	S.p.	23	277	306	624	140	596
	H.c.	12	290	350	545	195	542
	Gesamt	60	266	298	624	140	584
Hamburg	P.s.	4	278	310	438	245	430
	Gesamt	4	278	310	438	245	430
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	304	324	514	150	503
	S.p.	55	272	292	665	95	585
	H.c.	35	483	489	897	197	807
	(B.r.)	7	1261	920	1719	219	1670
	Gesamt	113	323	394	1719	65	1280
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	292	321	676	112	642
	S.p.	44	243	266	588	138	500
	H.c.	9	408	363	522	198	508
	H.s.	1	489	489	489	489	489
	Gesamt	88	281	299	676	112	598
Niedersachsen	P.s.	60	220	253	855	105	567
	S.p.	25	192	233	838	105	598
	H.c.	9	260	260	492	144	467
	(B.r.)	1	298	298	298	298	298
	Gesamt	95	217	249	855	105	626
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	390	429	786	303	731
	S.p.	16	531	773	2357	215	2156
	H.c.	9	435	556	1073	282	1059
	Gesamt	39	426	599	2357	215	1847

Tabelle 22: Aluminiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	248	236	361	131	351
	S.p.	10	196	240	546	151	498
	H.c.	23	264	323	915	140	734
	(B.r., R.s.)	9	300	387	902	177	861
	Gesamt	50	247	304	915	131	902
Saarland	P.s.	3	259	285	341	256	337
	S.p.	4	475	431	543	231	540
	Gesamt	7	341	368	543	231	538
Sachsen	P.s.	24	357	389	902	180	816
	S.p.	13	307	439	1601	142	1417
	H.c.	35	347	428	1403	220	996
	(B.r.)	11	397	709	2802	257	2413
	Gesamt	83	355	456	2802	142	1475
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	269	287	534	150	526
	S.p.	26	261	473	2774	137	2435
	H.c.	3	597	1030	2115	378	2054
	(B.r., R.s., L.p.)	23	800	915	2732	285	2386
	Gesamt	91	313	523	2774	137	2238
Thüringen	P.s.	24	342	332	526	182	506
	S.p.	10	312	350	565	200	556
	H.c.	26	559	649	1389	219	1368
	(B.r., R.s., P.u.)	17	597	743	2175	179	1984
	Gesamt	77	422	532	2175	179	1480
Deutschland	P.s.	423	281	306	909	105	665
	S.p.	286	265	338	2774	95	1375
	H.c.	246	431	489	2115	132	1351
	HS	3	213	305	489	212	478
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	599	745	2802	177	2520
	Gesamt	1028	307	389	2802	95	1312

Abbildung 26: Mediane für Aluminium im Moos-Monitoring 2000

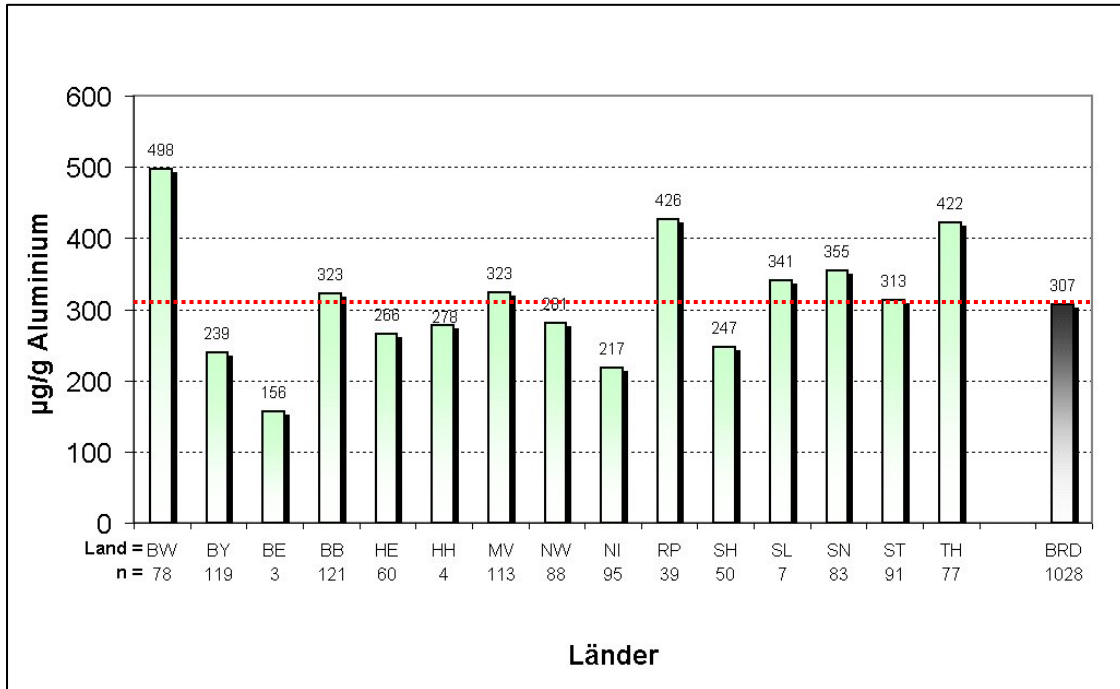
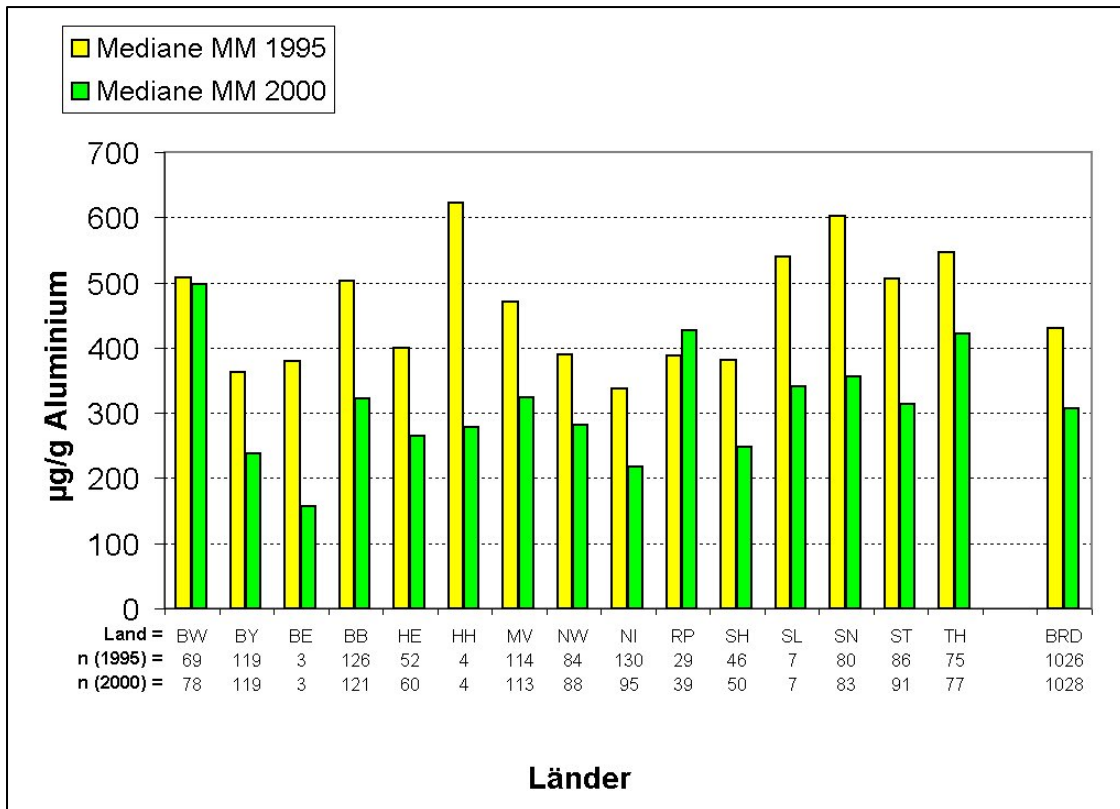


Abbildung 27: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Aluminium



3.2.2 Barium

Allgemeines. Barium ist mit etwa 0,065 % am Aufbau der Erdkruste beteiligt und kommt in der Natur in vielen Mineralen (z. B. Schwerspat: Bariumsulfat) vor.

Bariumsulfat wird hauptsächlich zur Erhöhung der Dichte bei Bohrspülungen eingesetzt, weiterhin finden wir es als Füllmittel für Anstrichfarben und Papier, als Schwerbetonzusatz und Röntgenkontrastmittel sowie in Feuerwerksartikeln. Bariumcarbonat wird in der Keramik- und Glasindustrie eingesetzt und als Rodentizid in der Landwirtschaft gebraucht (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT 1993). Bariummetall wird als Legierungszusatz verwendet. Andere Barium-Salze dienen als Beizmittel.

Die wasserunlöslichen Bariumsalze sind ungiftig. Die löslichen Bariumverbindungen sind dagegen giftig. Bei der Bewertung der Toxizität ist also die Art der vorliegenden Verbindung entscheidend. Barium wird nicht zu den essentiellen Elementen gezählt, jedoch wird es quantitativ in Pflanzen gefunden (MARKERT 1992).

Bariumsulfat wird in Deutschland abgebaut (1998: ca. 123.000 t), u. a. im Harz (Bad Lauterberg), im Rheinischen Schiefergebirge (Meggen, Dreislar) und im Schwarzwald (Oberwolfach).

Ergebnisse des Moosmonitoring 2000. Die im Jahr 2000 an 1028 Standorten ermittelten Gehalte an Barium reichen von 2,7 µg/g in Niedersachsen bis 254 µg/g in Thüringen (→ Tabelle 23, Anhang B.3). Im Vergleich der Landesmedianen zeigen sich in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen erhöhte Werte (→ Abbildung 28). In der Karte 41 und dem Anhang A.3.3

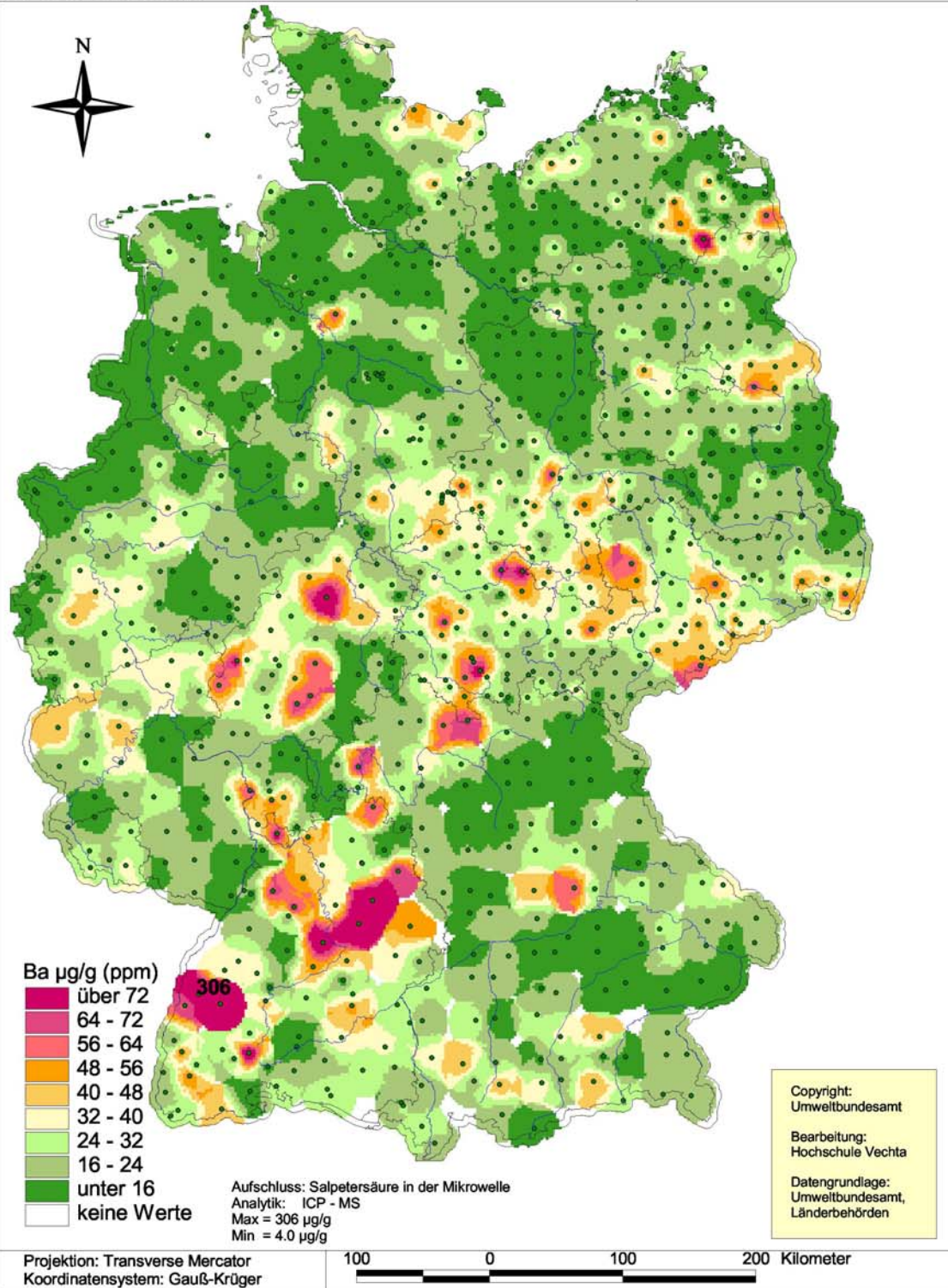
zeigen sich erhöhte Bariumgehalten vor allem in Thüringen, Sachsen, Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg.

Zeitliche Entwicklung. Beim Vergleich der länderspezifischen Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 sind außer in Rheinland-Pfalz Abnahmen zu verzeichnen (→ Abbildung 29). Am stärksten ist der Rückgang in Berlin. Dies wird auch beim visuellen Vergleich der Karten aus dem Moosmonitoring 1995 und 2000 deutlich (→ Karten 40, 41, Anhang A.2.3, A.3.3). Schwerpunkte waren 1995 hauptsächlich in Hessen, Thüringen, Sachsen und Baden-Württemberg zu finden. Im Moosmonitoring 2000 ist in Thüringen und Baden-Württemberg eine Abnahme der Anzahl von Standorten mit Werten von über 72 µg/g erkennbar.

Von den 880 Standorten, die sowohl 1995 und 2000 beprobt wurden, zeigen 73 % im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte als im Moos-Monitoring 1995 (→ Anhang A.5.3). An einzelnen Standorten in Hessen und Baden-Württemberg kam es zu einem Rückgang von mehr als 60 µg/g. Eine Zunahme der Stoffgehalte von über 60 µg/g findet sich an einzelnen Standorten in Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Karte 40:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Barium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie
 Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
 Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

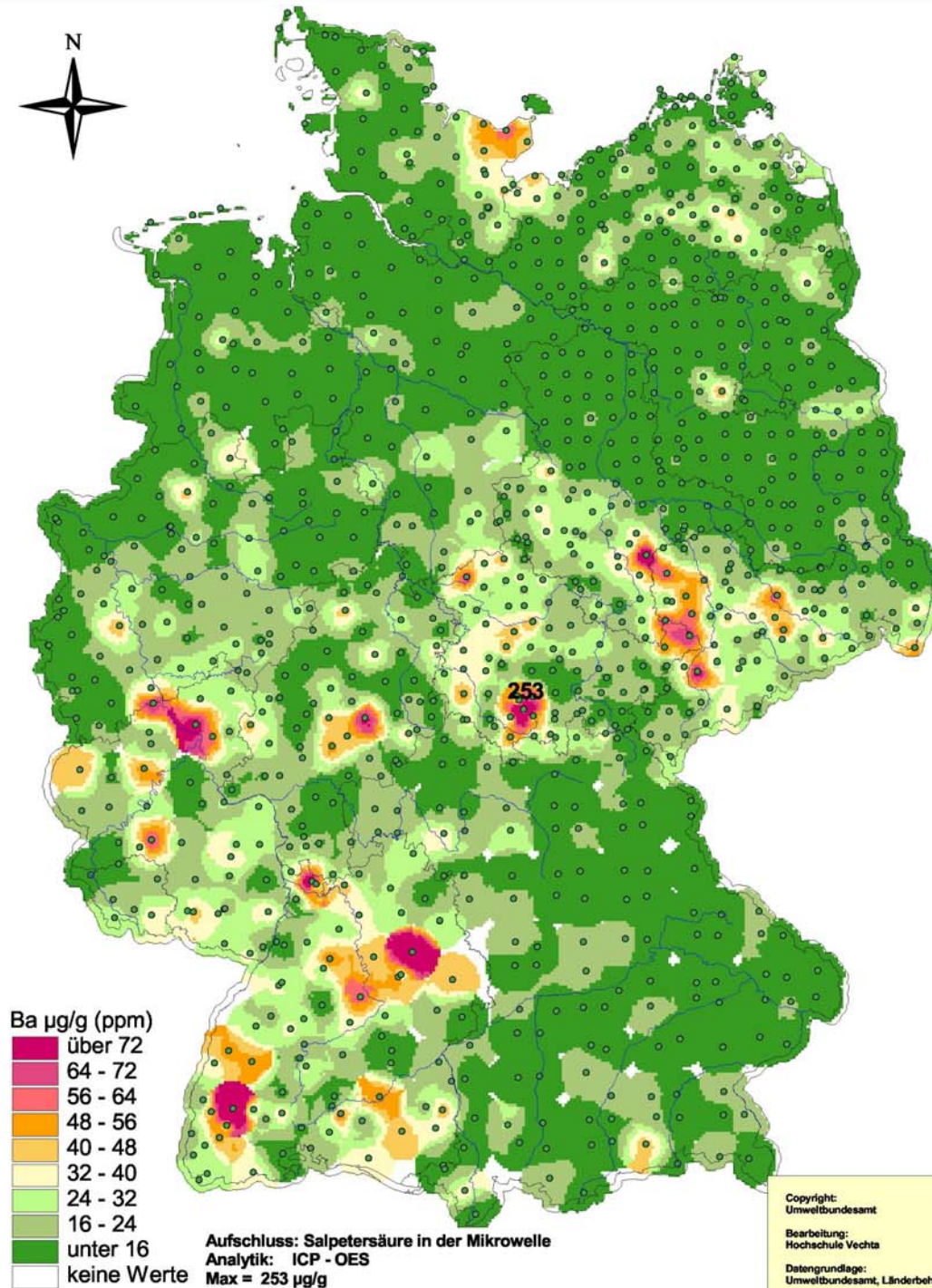


Karte 41:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Barium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 23: Bariumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	14,0	14,0	15,5	12,5	15,4
	H.c.	76	26,8	33,7	212,2	8,0	115,6
	Gesamt	78	26,4	33,2	212,2	8,0	114,8
Bayern	P.s.	88	12,6	13,9	42,1	4,6	29,9
	S.p.	23	15,8	15,3	24,2	6,5	24,2
	H.c.	6	16,2	19,8	39,6	12,9	37,6
	H.s.	2	8,9	8,9	9,9	8,0	9,8
	Gesamt	119	13,6	14,3	42,1	4,6	32,6
Berlin	S.p.	3	11,7	10,2	12,0	6,9	12,0
	Gesamt	3	11,7	10,2	12,0	6,9	12,0
Brandenburg	P.s.	82	9,7	10,5	30,0	3,4	25,2
	S.p.	34	13,7	14,5	49,3	5,4	36,2
	H.c.	3	16,2	18,7	28,7	11,2	28,2
	(B.r.)	2	32,1	32,1	34,4	29,7	34,3
	Gesamt	121	10,3	12,2	49,3	3,4	29,9
Hessen	P.s.	25	11,7	14,0	36,4	4,1	33,0
	S.p.	23	18,1	22,1	45,4	4,8	45,2
	H.c.	12	27,3	30,7	74,9	6,3	69,1
	Gesamt	60	16,0	20,4	74,9	4,1	48,0
Hamburg	P.s.	4	13,7	13,3	14,4	11,6	14,4
	Gesamt	4	13,7	13,3	14,4	11,6	14,4
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	6,7	8,2	14,0	4,6	13,9
	S.p.	55	8,9	11,0	35,8	3,7	33,6
	H.c.	35	27,8	27,7	46,8	8,3	46,2
	(B.r.)	7	22,7	21,5	33,3	11,0	32,4
	Gesamt	113	11,7	16,4	46,8	3,7	44,6
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	12,6	15,1	31,9	6,8	31,1
	S.p.	44	16,8	16,8	43,6	6,3	33,1
	H.c.	9	21,2	23,0	41,8	10,1	41,4
	H.s.	1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	Gesamt	88	15,1	16,7	43,6	6,3	39,9
Niedersachsen	P.s.	60	9,6	12,1	36,9	2,7	33,7
	S.p.	25	9,4	11,5	24,6	4,2	23,8
	H.c.	9	11,6	15,1	30,6	8,7	30,3
	(B.r.)	1	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
	Gesamt	95	10,1	12,4	36,9	2,7	31,1
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	19,5	20,3	32,0	13,2	30,9
	S.p.	16	27,1	33,2	78,4	9,2	74,7
	H.c.	9	40,5	41,5	72,3	16,4	70,3
	Gesamt	39	26,1	30,5	78,4	9,2	73,8

Tabelle 23: Bariumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	9,4	10,4	16,4	6,7	16,2
	S.p.	10	10,8	11,7	21,8	5,6	20,7
	H.c.	23	22,6	24,0	60,0	6,3	54,4
	(B.r., R.s.)	9	21,9	26,6	49,0	13,7	48,3
	Gesamt	50	15,6	19,8	60,0	5,6	49,2
Saarland	P.s.	3	11,4	13,2	17,8	10,5	17,6
	S.p.	4	25,9	27,2	37,0	20,1	36,6
	Gesamt	7	20,1	21,2	37,0	10,5	36,1
Sachsen	P.s.	24	17,7	18,6	31,2	5,9	30,5
	S.p.	13	23,5	26,8	54,8	13,2	53,4
	H.c.	35	22,6	25,6	63,5	10,1	51,0
	(B.r.)	11	49,2	49,2	79,7	19,3	77,7
	Gesamt	83	23,0	26,9	79,7	5,9	66,9
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	6,3	8,2	23,2	4,1	22,9
	S.p.	26	13,6	15,9	46,1	3,6	38,7
	H.c.	3	36,2	57,7	103,3	33,5	100,6
	(B.r., R.s., L.p.)	23	25,8	25,6	40,0	7,8	39,5
	Gesamt	91	10,9	16,4	103,3	3,6	41,2
Thüringen	P.s.	24	14,4	17,9	46,1	7,6	42,1
	S.p.	10	21,6	21,3	46,5	6,4	44,1
	H.c.	26	34,7	43,7	253,8	11,1	159,2
	(B.r., R.s., P.u.)	17	24,9	29,9	70,2	10,9	64,9
	Gesamt	77	23,3	29,7	253,8	6,4	67,2
Deutschland	P.s.	423	11,0	13,0	46,1	2,7	32,0
	S.p.	286	14,7	16,6	78,4	3,6	49,0
	H.c.	246	26,3	30,7	253,8	6,3	77,7
	HS	3	9,9	9,3	10,0	8,0	10,0
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	26,0	30,3	79,7	7,8	69,9
	Gesamt	1028	15,2	19,4	253,8	2,7	59,3

Abbildung 28: Mediane für Barium im Moos-Monitoring 2000

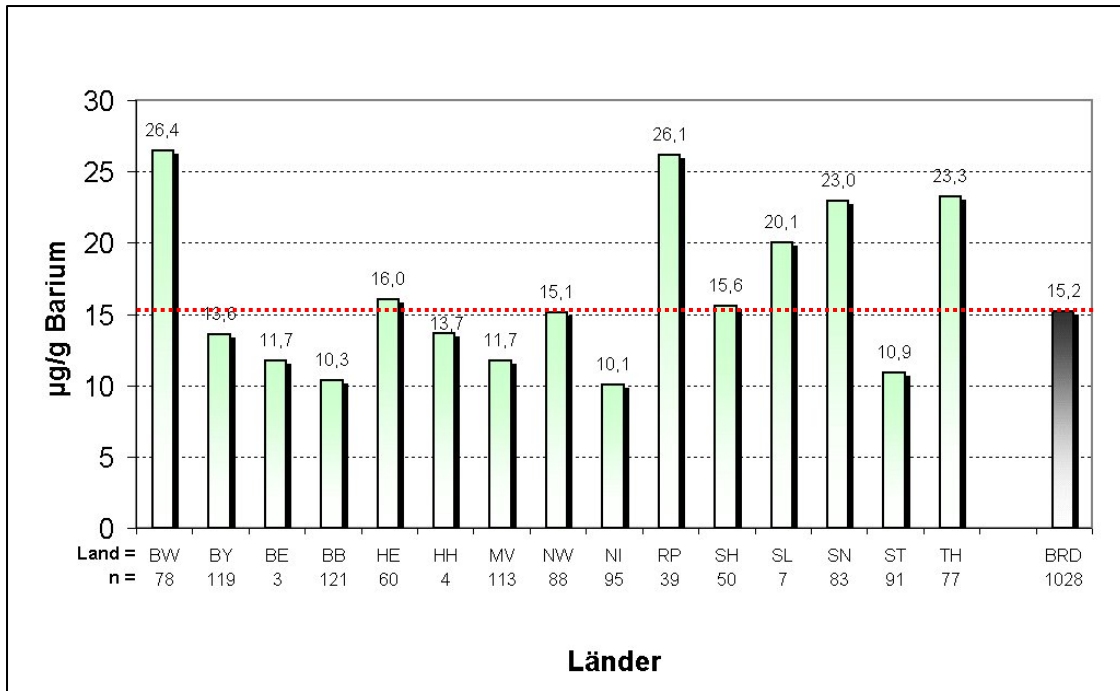
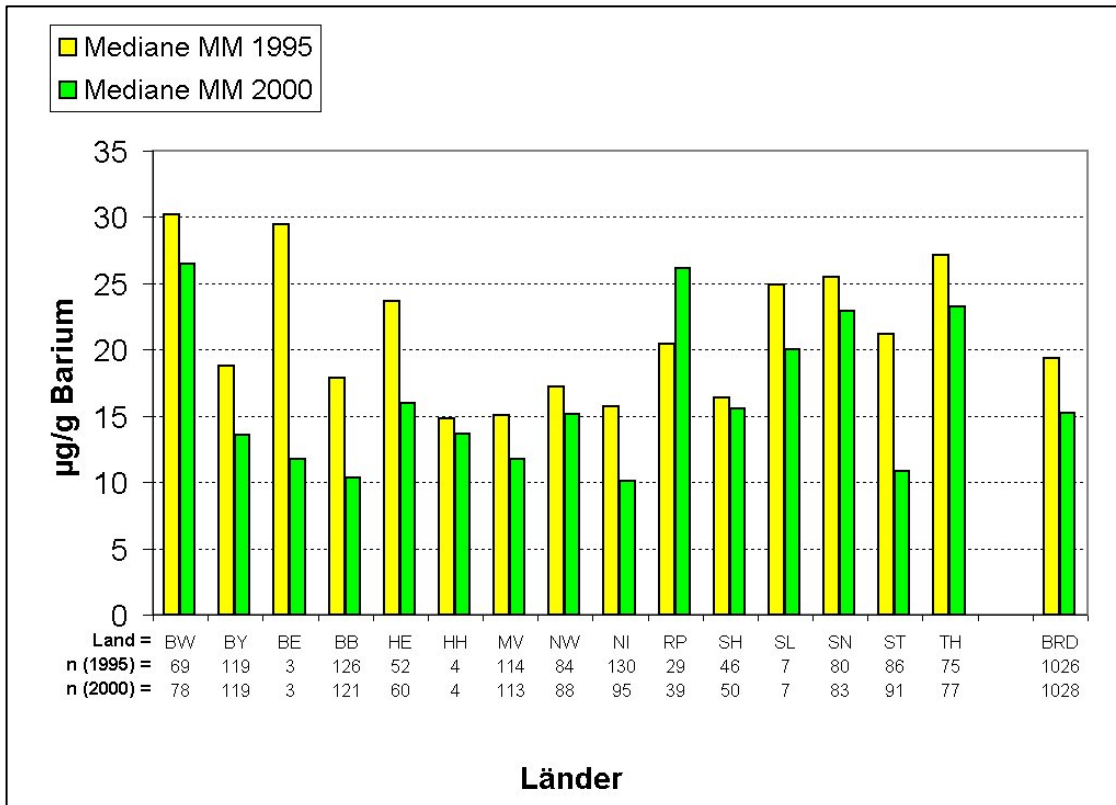


Abbildung 29: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Barium



3.2.3 Calcium

Allgemeines. Calcium gehört zu den häufigsten Elementen in der Erdkruste. Kalke und Gips sind die wichtigsten Calciumrohstoffe. Kalk wird u. a. für Düngemittel, die Zement- und Bauindustrie verwendet. Als Legierungsbestandteil wird Calcium in Permanent-Magneten und Batterien eingesetzt.

Calcium ist für Pflanzen und Menschen von großer Wichtigkeit (essentiell) (Markert 1992). Knochen, Zähne und Schalen bestehen aus Calciumverbindungen; zum anderen spielt es eine große Rolle bei der Muskelkontraktion, der Blutgerinnung und bei der Nervenleitung. Mit der Nahrung sollen täglich ca. 700 mg Ca aufgenommen werden.

Ergebnisse des Moosmonitoring 2000. Im Moosmonitoring 2000 wurden bundesweit an 1028 Standorten Calciumgehalte in Moosen ermittelt. Die Werte reichen von 1133 µg/g in Bayern bis 31100 µg/g in Niedersachsen (→ Tabelle 24, Anhang B.4). Baden-Württemberg, das Saarland und Thüringen zeigen im bundesweiten Vergleich der Mediane erhöhte Stoffgehalte (→ Abbildung 30). Vor allem in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen treten Flächen mit höheren Calciumgehalten auf (→ Karte 43). Anhang A.3.4 zeigt, dass in Sachsen-Anhalt und Thüringen geballt Standorte mit Calciumgehalten über 9000 µg/g zu erkennen sind.

Zeitliche Entwicklung. Die an der Höhe der Landesmediane abzulesende Entwicklung der Calciumgehalte seit dem Moosmonitoring 1995 ist nicht einheitlich (→ Abbildung 31). So ist zwar in mehreren Ländern, z.B. Bayern oder Berlin, ein Rückgang seit dem Moos-Monitoring 1995 zu sehen, doch steigt der Median in anderen Ländern, wie z.B. im Saarland, deutlich an. Die interpolierten Flächenkarten verdeutlichen eine großflächige hohe Anreicherungszone im Länderdreieck zwischen Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt mit stellen-

weisen Messwerten über 9000 µg/g (→ Karte 42). Darüberhinaus zeichnen sich Bayern und Baden-Württemberg mit flächig hohen Messwerten aus. Während in Baden-Württemberg und vor allem in Bayern im Moos-Monitoring 2000 verringerte Calciumgehalte bestimmt werden konnten, sind in Mecklenburg-Vorpommern Zunahmen zu verzeichnen (→ Karte 43).

Wenig Unterschiede zwischen den beiden Monitoringkampagnen lassen sich beim Vergleich der Überschreitungen des 98-Perzentils erkennen. Sowohl 1995 als 2000 häufen sich die Übertretungen in dem flächendeckenden, länderübergreifenden Gebiet zwischen Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Vereinzelt Überschreitungen des im Moos-Monitoring 2000 bei 9340 µg/g liegenden 98-Perzentils sind im Gegensatz zum Moos-Monitoring 1995 auch in Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern zu sehen (→ Anhang A.2.4 und Anhang A.3.4).

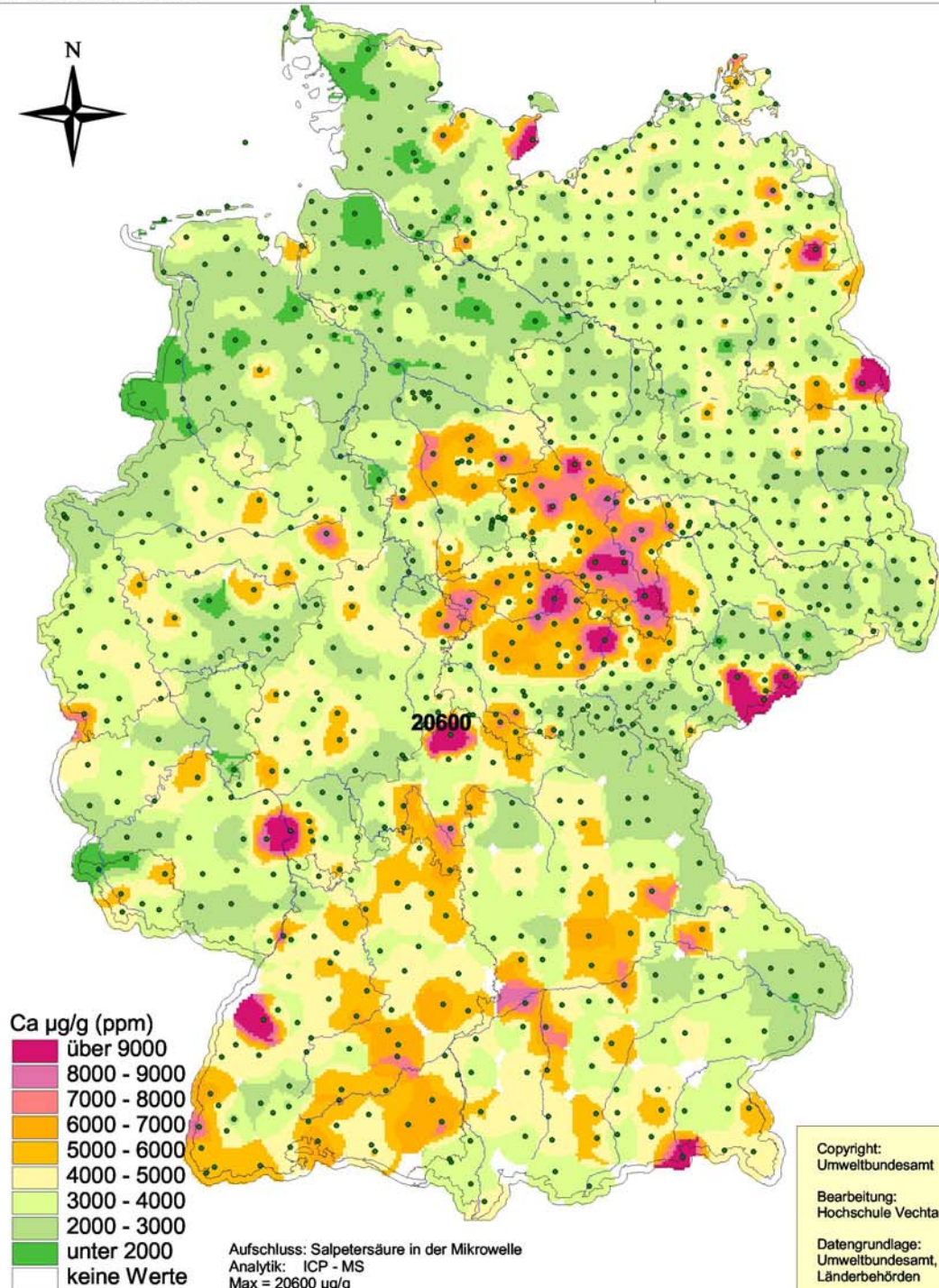
Bei den seit dem Moos-Monitoring 1995 durchgängig beprobten Standorten bestätigt sich eine tendenzielle Abnahme in Bayern sowie eine Zunahme in Mecklenburg-Vorpommern (→ Anhang A.5.4). Darüberhinaus fällt auf, dass in dem länderübergreifenden Anreicherungsschwerpunkt zwischen Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auch stellenweise sinkende Calciumgehalte bis zu 4000 µg/g ermittelt werden konnten. Insgesamt weisen 56 % der im Moos-Monitoring 2000 beprobten Standorte niedrigere Calciumwerte auf als im Moos-Monitoring 1995.

Karte 42:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Calcium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Copyright:
 Umweltbundesamt

Bearbeitung:
 Hochschule Vechta

Datengrundlage:
 Umweltbundesamt,
 Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

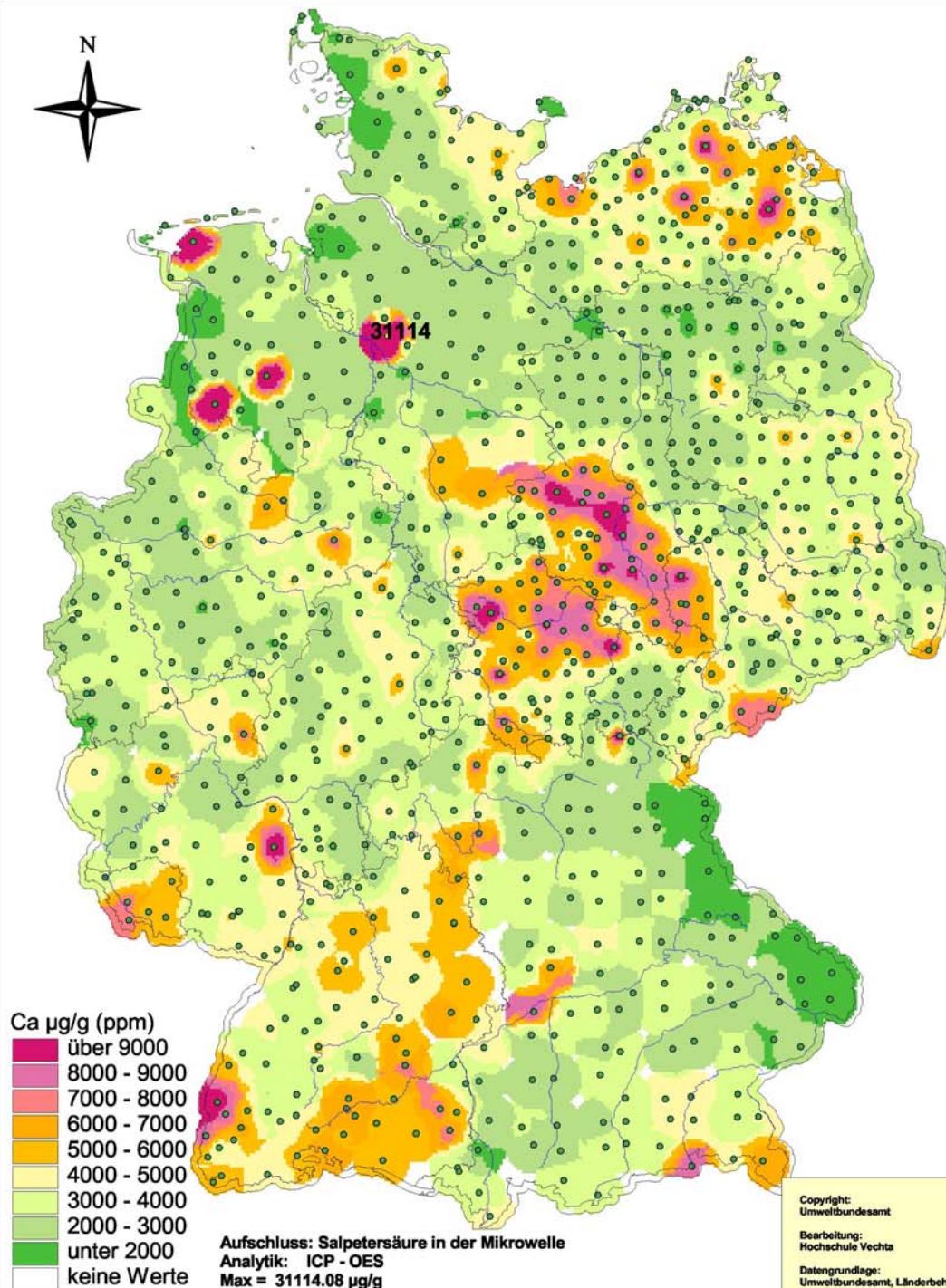
100 0 100 200 Kilometer

Karte 43:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Calcium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 24: Calciumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	3586	3586	3974	3197	3958
	H.c.	76	4994	5067	10054	2468	9071
	Gesamt	78	4954	5029	10054	2468	9051
Bayern	P.s.	88	2782	2807	4559	1133	4242
	S.p.	23	3673	4218	8636	2250	8171
	H.c.	6	4753	4853	8147	1954	8011
	H.s.	2	4611	4611	6598	2624	6518
	Gesamt	119	2982	3213	8636	1133	7461
Berlin	S.p.	3	2392	2393	2555	2231	2549
	Gesamt	3	2392	2393	2555	2231	2549
Brandenburg	P.s.	82	3110	3203	5719	1455	5517
	S.p.	34	2982	3213	4993	1785	4892
	H.c.	3	4599	4158	5021	2853	5004
	(B.r.)	2	5272	5272	5653	4891	5638
	Gesamt	121	3086	3264	5719	1455	5555
Hessen	P.s.	25	2598	2822	5314	2010	4779
	S.p.	23	3278	3384	5200	1680	4791
	H.c.	12	4083	4199	5985	3121	5839
	Gesamt	60	3132	3313	5985	1680	5318
Hamburg	P.s.	4	2440	2375	2910	1708	2896
	Gesamt	4	2440	2375	2910	1708	2896
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	2749	2941	4608	1850	4518
	S.p.	55	3680	3711	5801	2153	5331
	H.c.	35	5161	5523	11733	2850	10114
	(B.r.)	7	8745	8364	10460	5068	10427
	Gesamt	113	4025	4451	11733	1850	10100
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	2669	2800	4456	1162	4433
	S.p.	44	3097	3331	7380	1861	5466
	H.c.	9	4414	4207	6499	2516	6379
	H.s.	1	3301	3301	3301	3301	3301
	Gesamt	88	2994	3215	7380	1162	5945
Niedersachsen	P.s.	60	2417	3265	31114	1485	17140
	S.p.	25	3445	4124	13986	1305	13489
	H.c.	9	3167	3166	4498	1978	4466
	(B.r.)	1	5690	5690	5690	5690	5690
	Gesamt	95	2541	3507	31114	1305	14699
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	2739	2871	4287	2094	4240
	S.p.	16	3612	4329	10674	2410	9230
	H.c.	9	4640	4846	7724	3567	7381
	Gesamt	39	3597	3925	10674	2094	8432

Tabelle 24: Calciumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	2176	2154	3387	1477	3244
	S.p.	10	2464	3064	6702	1433	6328
	H.c.	23	3343	3593	8008	1741	6853
	(B.r., R.s.)	9	4025	3873	5192	2526	5101
	Gesamt	50	3076	3307	8008	1433	6728
Saarland	P.s.	3	3422	4254	5976	3363	5873
	S.p.	4	6446	6395	7390	5299	7385
	Gesamt	7	5594	5477	7390	3363	7379
Sachsen	P.s.	24	3509	3808	7618	2302	6525
	S.p.	13	4215	4293	5972	3044	5750
	H.c.	35	3137	3528	7913	2010	6004
	(B.r.)	11	6528	6258	9607	3654	9267
	Gesamt	83	3897	4091	9607	2010	7910
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	2745	2851	4417	1798	4415
	S.p.	26	3826	4434	11878	2208	9978
	H.c.	3	6353	6114	6793	5197	6775
	(B.r., R.s., L.p.)	23	8003	7943	13242	4490	11971
	Gesamt	91	3589	4698	13242	1798	10658
Thüringen	P.s.	24	3215	3776	12604	1972	9375
	S.p.	10	4576	5669	9224	2526	9209
	H.c.	26	5067	5370	10792	2785	9655
	(B.r., R.s., P.u.)	17	7475	6784	12456	2013	11803
	Gesamt	77	4517	5224	12604	1972	11591
Deutschland	P.s.	423	2782	3069	31114	1133	5428
	S.p.	286	3516	3840	13986	1305	8789
	H.c.	246	4493	4652	11733	1741	8869
	HS	3	3301	4174	6598	2624	6466
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	6710	6807	13242	2013	11698
	Gesamt	1028	3385	3920	31114	1133	9340

Abbildung 30: Mediane für Calcium im Moos-Monitoring 2000

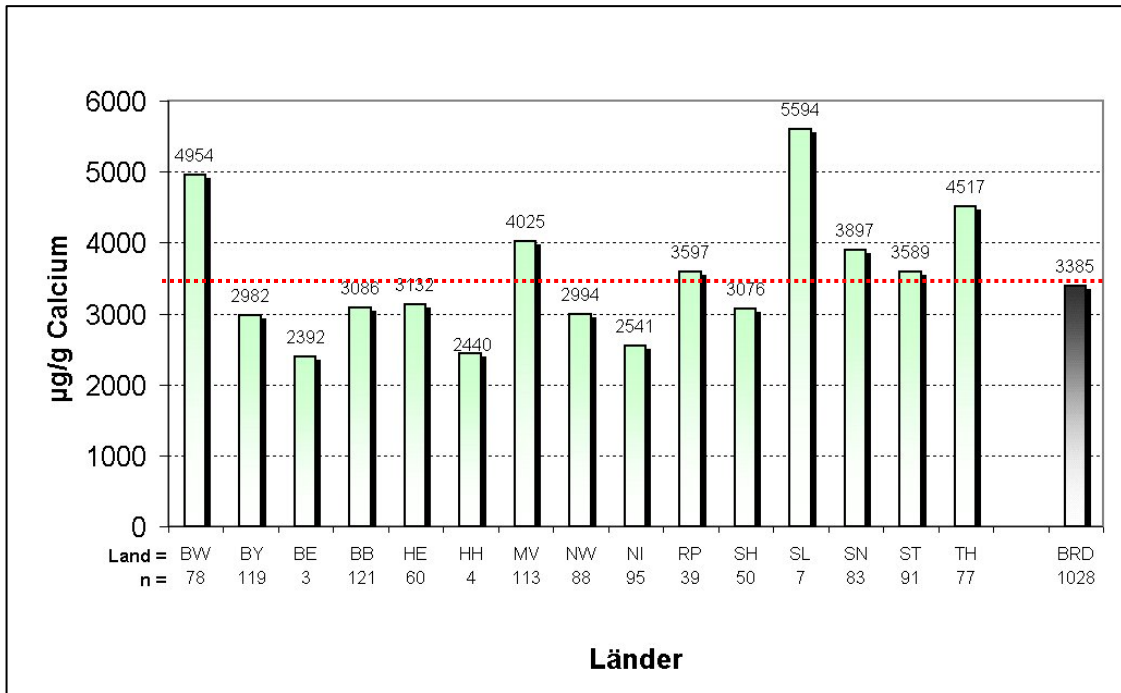
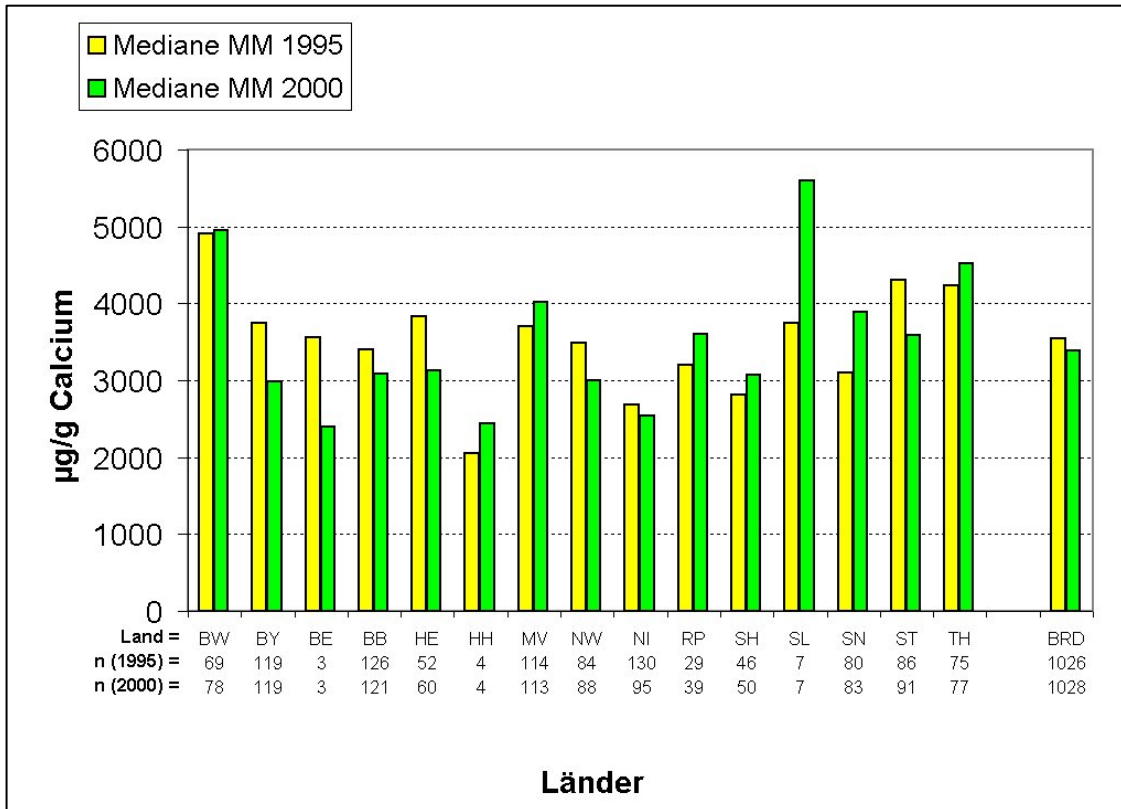


Abbildung 31: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Calcium



3.2.4 Kalium

Allgemeines. Kalium gehört nach Aluminium und Eisen wie Calcium und Natrium zu den häufigsten Elementen der Erdkruste.

Es spielt im menschlichen, tierischen und pflanzlichen Organismus eine bedeutende Rolle. Die durchschnittliche Zufuhr mit der Nahrung beim Menschen beträgt ca. 2 – 4 g/Tag. Kaliummangel führt zu Appetitlosigkeit, Muskelschwäche und Herzrhythmusstörungen. Ein Überschuss an Kalium kann Muskelkrämpfe erzeugen.

Von den Pflanzen wird es in stärkerem Maße als andere Kationen aufgenommen. Es ist unentbehrlich für die Photosynthese und die Atmung der Pflanzen, und es aktiviert Enzyme. Deshalb werden Kaliumsalze als Düngemittel eingesetzt. Außerdem ist es als Kaliumnitrat im Schießpulver enthalten.

In der Natur kommt es besonders häufig zusammen mit Barium und Rubidium in den Feldspäten vor. Letztere bilden 40 % der Erdkruste. Als Verteilungswege für Kalium in der Umwelt werden natürliche Quellen (z.B. Staub) wichtiger eingeschätzt als anthropogene (Düngemittel) (REIMANN & CARITAT 1998).

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten ermittelten Kaliumgehalte in Moosen reichen von 2976 µg/g in Bayern bis zu 20980 µg/g in Mecklenburg-Vorpommern (→ Tabelle 25, Anhang B.10). Der bundesweite Median liegt bei 7039 µg/g, das 98-Perzentil bei 14950 µg/g. Im bundesweiten Medianvergleich hat das Saarland mit 11310 µg/g den höchsten Wert, mit Abstand gefolgt von Mecklenburg-Vorpommern mit 8810 µg/g (→ Abbildung 32). Karte 45 zeigt in fast allen Ländern punktuelle bis kleinflächige Anreicherungszone, die Kaliumgehalte bis zu 16000 µg/g aufweisen. Niedrigere Werte finden sich in Brandenburg, Schleswig-Holstein und Baden-

Württemberg. Kaliumgehalte oberhalb des 98-Perzentils von 14950 µg/g finden sich vorrangig im Saarland, Mecklenburg-Vorpommern und im länderübergreifenden Gebiet zwischen Sachsen-Anhalt und Sachsen (→ Anhang A.3.10).

Zeitliche Entwicklung. Gemessen an der Medianentwicklung in den zwei Moos-Monitoringkampagnen von 1995 und 2000 zeigen sich überwiegend Abnahmen in den einzelnen Ländern (→ Abbildung 33). Zunahmen werden für die Länder Saarland, Hamburg und geringfügig auch für Thüringen deutlich. Größere Abnahmen sind vor allem in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Bayern zu sehen. Beim visuellen Vergleich der Karten 44 und 45 sowie der Anhänge A.2.10 und A.3.10 bestätigt sich die in dem Vergleich der Landesmediane widerspiegelnde Entwicklung einer deutlichen Abnahme der Kaliumgehalte in Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Bayern und Nordrhein-Westfalen.

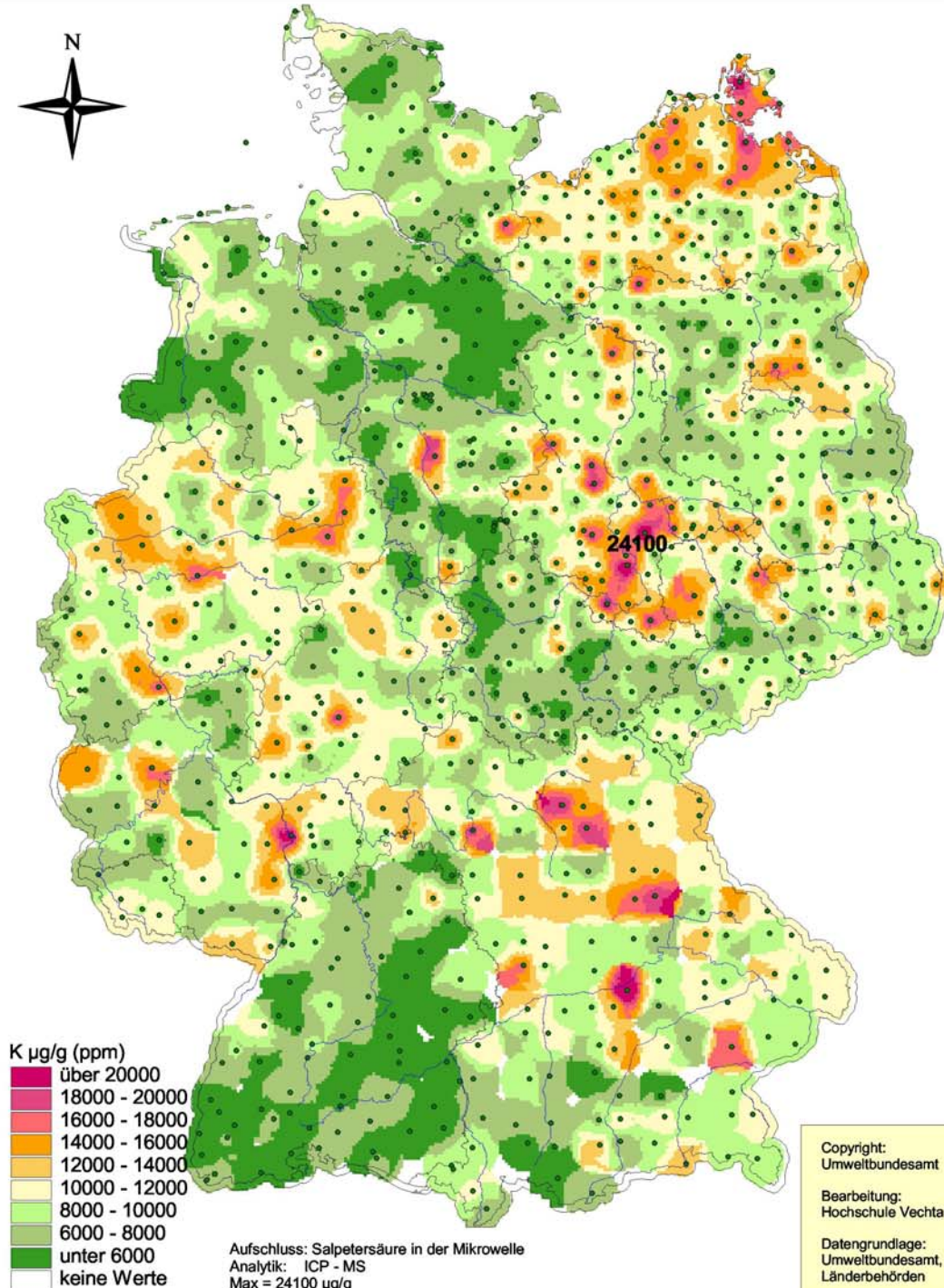
Bei den seit dem Moos-Monitoring 1995 an 880 durchgängig beprobten Standorten bestätigen sich die Abnahmetendenzen in Sachsen-Anhalt, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern (→ Anhang A.5.10). Darüberhinaus sind auch in Hessen und in Brandenburg mehrere Messstellen mit starken Rückgängen von über 10000 µg/g zu erkennen. Insgesamt weisen 72 % der im Moos-Monitoring 2000 beprobten Standorte niedrigere Kaliumwerte auf als im Moos-Monitoring 1995.

Karte 44:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kalium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Copyright:
 Umweltbundesamt

Bearbeitung:
 Hochschule Vechta

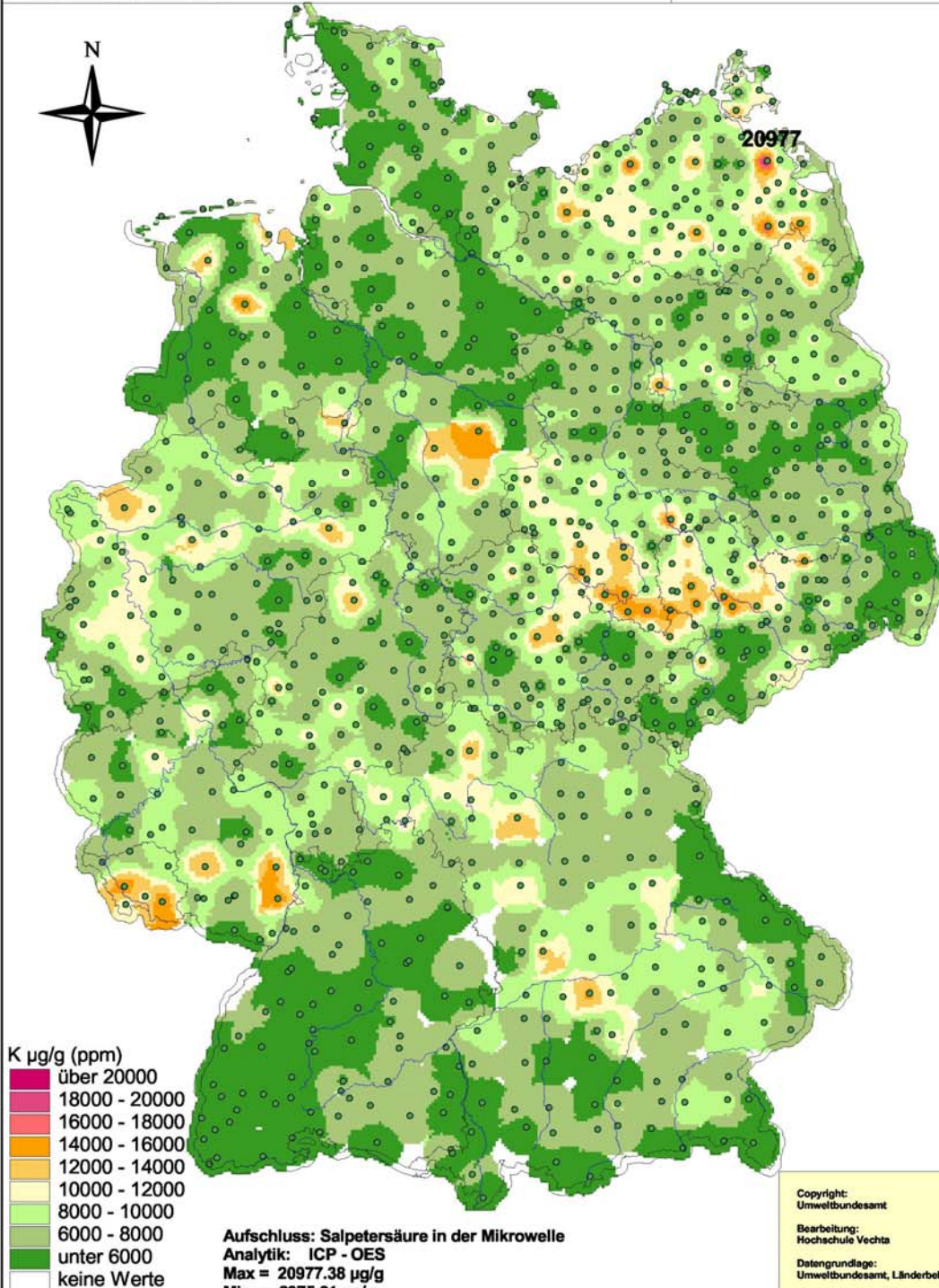
Datengrundlage:
 Umweltbundesamt,
 Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

**Karte 45:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Kalium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius**

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 25: Kaliumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	9208	9208	9325	9091	9320
	H.c.	76	5584	5672	8623	3376	7652
	Gesamt	78	5595	5763	9325	3376	8838
Bayern	P.s.	88	6974	7246	12593	3946	11106
	S.p.	23	9688	9409	14357	3909	14178
	H.c.	6	5700	5011	6237	2976	6197
	H.s.	2	5788	5788	7030	4545	6981
	Gesamt	119	7166	7527	14357	2976	12838
Berlin	S.p.	3	7038	7113	7753	6547	7724
	Gesamt	3	7038	7113	7753	6547	7724
Brandenburg	P.s.	82	6510	6505	10569	3664	9687
	S.p.	34	8627	9014	15480	6000	15126
	H.c.	3	4303	5067	6617	4282	6525
	(B.r.)	2	12669	12669	14154	11184	14094
	Gesamt	121	6952	7276	15480	3664	13386
Hessen	P.s.	25	7124	7533	13907	4939	12374
	S.p.	23	8491	8951	13774	6588	13136
	H.c.	12	5498	5643	8249	4075	7997
	Gesamt	60	7390	7698	13907	4075	13513
Hamburg	P.s.	4	5923	6362	8704	4898	8589
	Gesamt	4	5923	6362	8704	4898	8589
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	7096	7714	13792	5537	12813
	S.p.	55	10462	10337	15689	5856	15088
	H.c.	35	6867	7646	20977	4485	17183
	(B.r.)	7	11618	13202	18249	10539	18224
	Gesamt	113	8810	9310	20977	4485	17477
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	6914	7279	11618	5279	11245
	S.p.	44	9408	9414	13734	5372	13209
	H.c.	9	5979	5701	6471	4491	6438
	H.s.	1	9522	9522	9522	9522	9522
	Gesamt	88	7877	8211	13734	4491	13052
Niedersachsen	P.s.	60	5943	5852	9107	3581	7990
	S.p.	25	7965	8767	15635	4725	15202
	H.c.	9	5492	5671	7452	4249	7388
	(B.r.)	1	12933	12933	12933	12933	12933
	Gesamt	95	6247	6676	15635	3581	13264
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	6473	6582	9719	5437	9444
	S.p.	16	9172	10117	14790	5934	14593
	H.c.	9	5526	5704	7412	4827	7238
	Gesamt	39	6753	7830	14790	4827	14291

Tabelle 25: Kaliumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	6804	7089	9255	5099	9253
	S.p.	10	7125	7527	10082	4756	10056
	H.c.	23	5828	5943	7975	4507	7698
	(B.r., R.s.)	9	8794	7953	10759	4536	10673
	Gesamt	50	6530	6805	10759	4507	10232
Saarland	P.s.	3	7207	7264	8060	6526	8026
	S.p.	4	13406	13397	15468	11309	15455
	Gesamt	7	11309	10769	15468	6526	15442
Sachsen	P.s.	24	6372	6880	10714	4198	10319
	S.p.	13	10855	11822	17044	6690	16830
	H.c.	35	5245	5581	9713	3259	8501
	(B.r.)	11	11387	12293	16183	9617	16035
	Gesamt	83	6498	7824	17044	3259	16163
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	6337	6762	12788	4448	10491
	S.p.	26	9024	10156	17298	5900	16857
	H.c.	3	9670	8043	10069	4388	10054
	(B.r., R.s., L.p.)	23	10360	10464	16612	7194	15438
	Gesamt	91	8124	8710	17298	4388	16456
Thüringen	P.s.	24	7061	7550	11062	4861	10680
	S.p.	10	10546	9911	13340	4497	13328
	H.c.	26	5805	5967	10323	3488	9188
	(B.r., R.s., P.u.)	17	10147	10002	14579	3276	14578
	Gesamt	77	7120	7864	14579	3276	13933
Deutschland	P.s.	423	6653	6870	13907	3581	10850
	S.p.	286	9263	9649	17298	3909	15526
	H.c.	246	5753	6003	20977	2976	10416
	HS	3	7030	7032	9522	4545	9422
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	10599	10688	18249	3276	17498
	Gesamt	1028	7039	7696	20977	2976	14950

Abbildung 32: Mediane für Kalium im Moos-Monitoring 2000

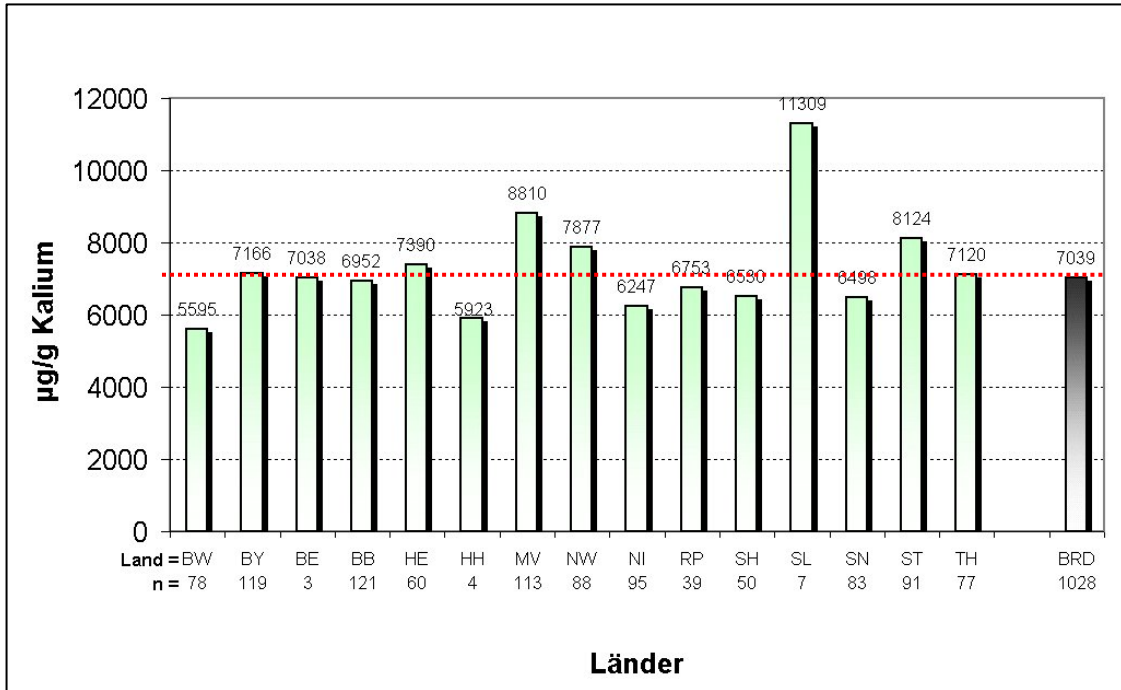
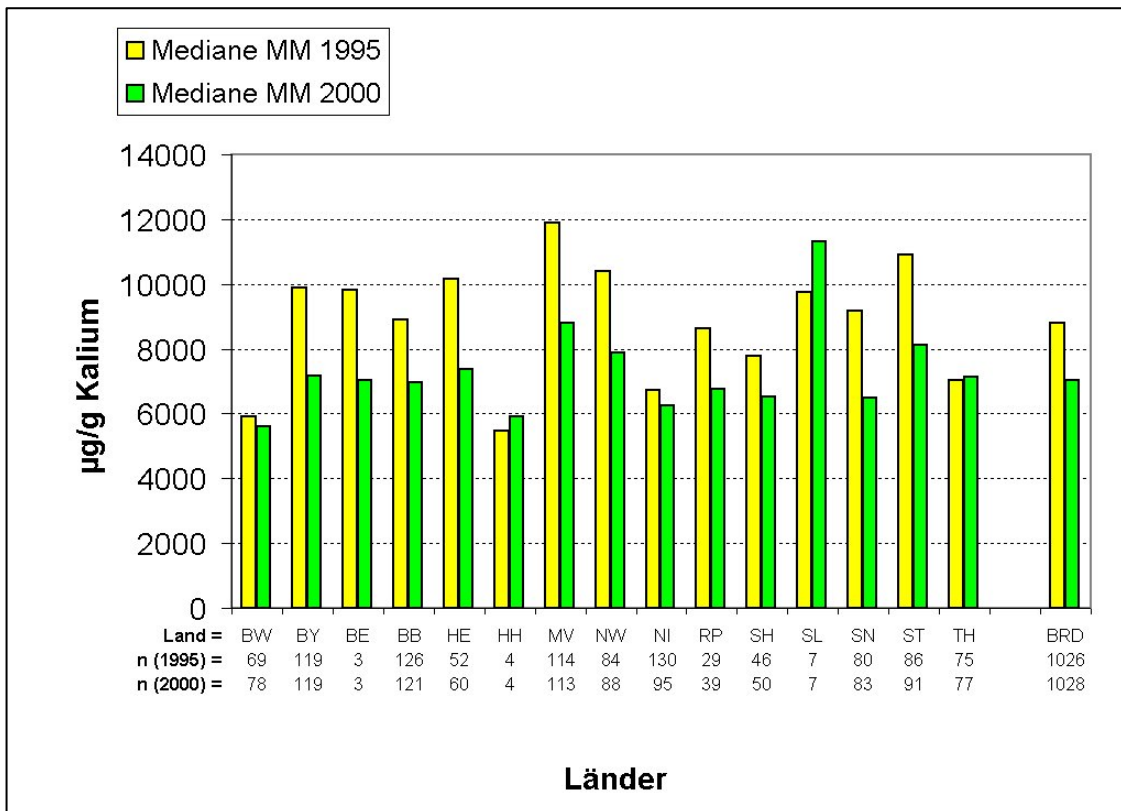


Abbildung 33: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Kalium



3.2.5 Magnesium

Allgemeines. Magnesium gehört zu den zehn häufigsten Elementen in der Erdkruste. Der Gebrauch von Magnesium und seinen Verbindungen ist vielfältig: Das Metall wird in Legierungen eingesetzt, Magnesiumverbindungen in Flockungsmitteln, in Trockenmitteln als Rieselhilfe und Düngemitteln. Das Mineral Dolomit (Calcium-Magnesium-Carbonat) wird regional zum „Kalken“ der Wälder gegen den Einfluss des Sauren Regens verwendet.

Magnesium ist essentiell für Menschen, Tiere und Pflanzen. Alle Enzymreaktionen, die durch ATP katalysiert werden, benötigen in bestimmten Formen Magnesium. Toxisch wirkt Magnesium auf Pflanzen, Tiere und Menschen deswegen nur in sehr hohen Gehalten. Viel eher ist ein Magnesiummangel zu beobachten. Pflanzen reduzieren bei Magnesiummangel die Chlorophyllproduktion und zeigen gelbe Flecken auf den Blättern oder typische Nadelvergilbungen. Saurer Regen wäscht die Magnesiumionen aus den Böden aus. Symptome, die auf Magnesiummangel bei Pflanzen hinweisen, sind oft ein Zeichen für eine länger anhaltende Belastung des Bodens mit Säuren.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten ermittelten Magnesiumgehalte reichen von 530 µg/g in Bayern bis zu 12150 µg/g in Niedersachsen (→ Tabelle 26, Anhang B.13). Das bundesweite 98-Perzentil liegt bei 2543 µg/g. Gegenüber dem bundesdeutschen Median von 1150 zeigen sich erhöhte Werte vor allem in Mecklenburg-Vorpommern (1447 µg/g) und Rheinland-Pfalz (1420 µg/g) (→ Abbildung 34). In der Karte 47 sowie im Anhang A.3.11 sind Magnesiumgehalte oberhalb von 3200 µg/g in Niedersachsen, Thüringen und Sachsen auszumachen.

Zeitliche Entwicklung. Bis auf Thüringen, Sachsen und Hamburg zeigt die Abbildung 35 im Moos-Monitoring 2000 in allen Fällen geringere Landesmediane als im Moos-Monitoring 1995. Abnahmen der Magnesiumgehalte sind auch

bei einem visuellen Abgleich der Karten 46 und 47 sowie der Anhänge A.3.11 und A.2.11 festzustellen. Besonders deutlich zeigt sich dies in Sachsen, Rheinland-Pfalz, Bayern und Baden-Württemberg.

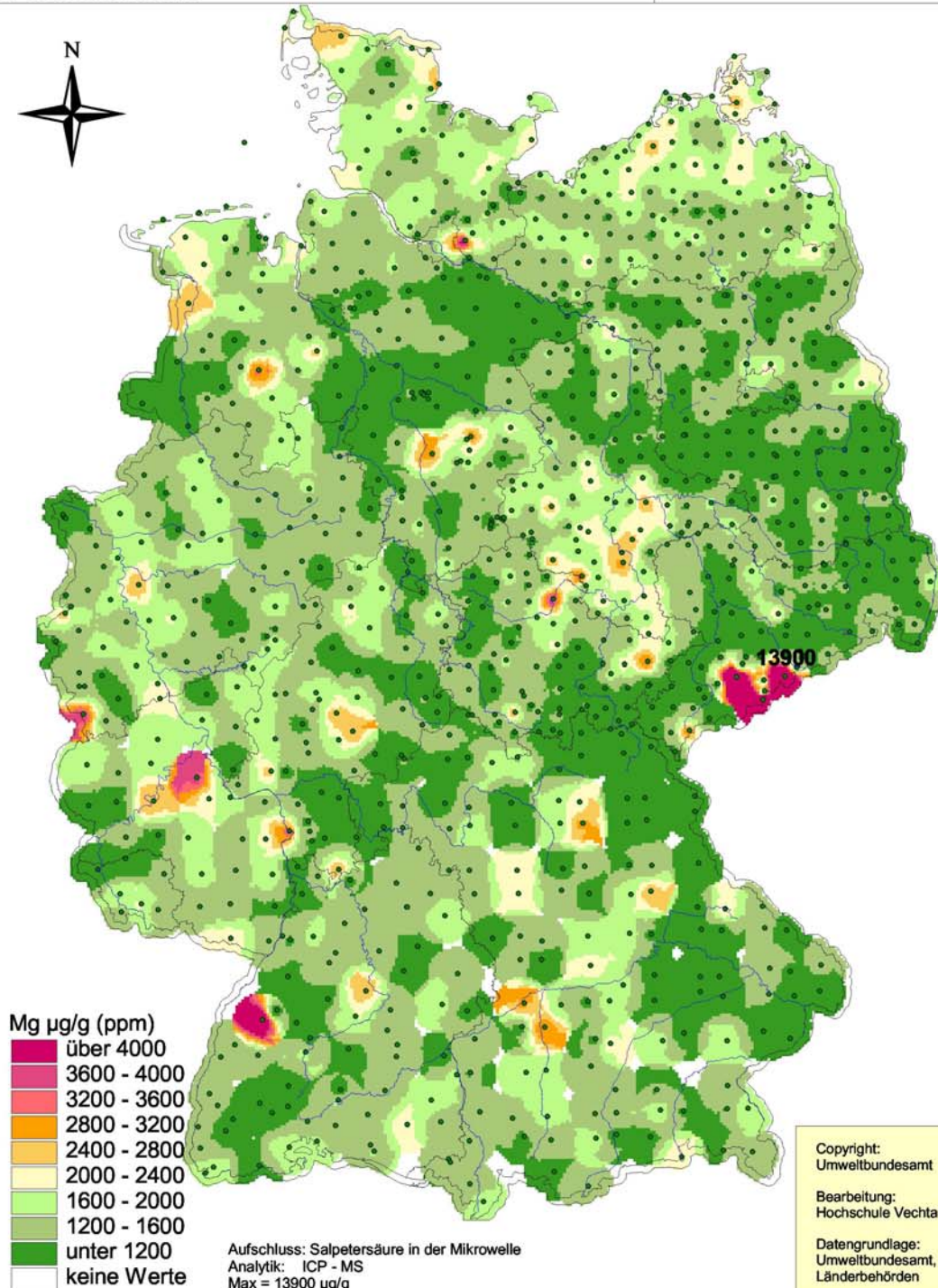
Orientiert man sich an den seit dem Moos-Monitoring 1995 durchgängig beprobten Standorten sind vor allem in Niedersachsen lokal starke Zunahmen in den in Moosen gemessenen Magnesiumgehalten zu verzeichnen (→ Anhang A.5.11). Allerdings zeigen sich bundesweit betrachtet ähnlich hohe Rückgänge wie bei den anderen Elementen (71 %). Hohe Abnahmen von mehr als 1600 µg/g sind vor allem in Bayern, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen festzustellen.

Karte 46:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Magnesium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Copyright:
 Umweltbundesamt

Bearbeitung:
 Hochschule Vechta

Datengrundlage:
 Umweltbundesamt,
 Länderbehörden

Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

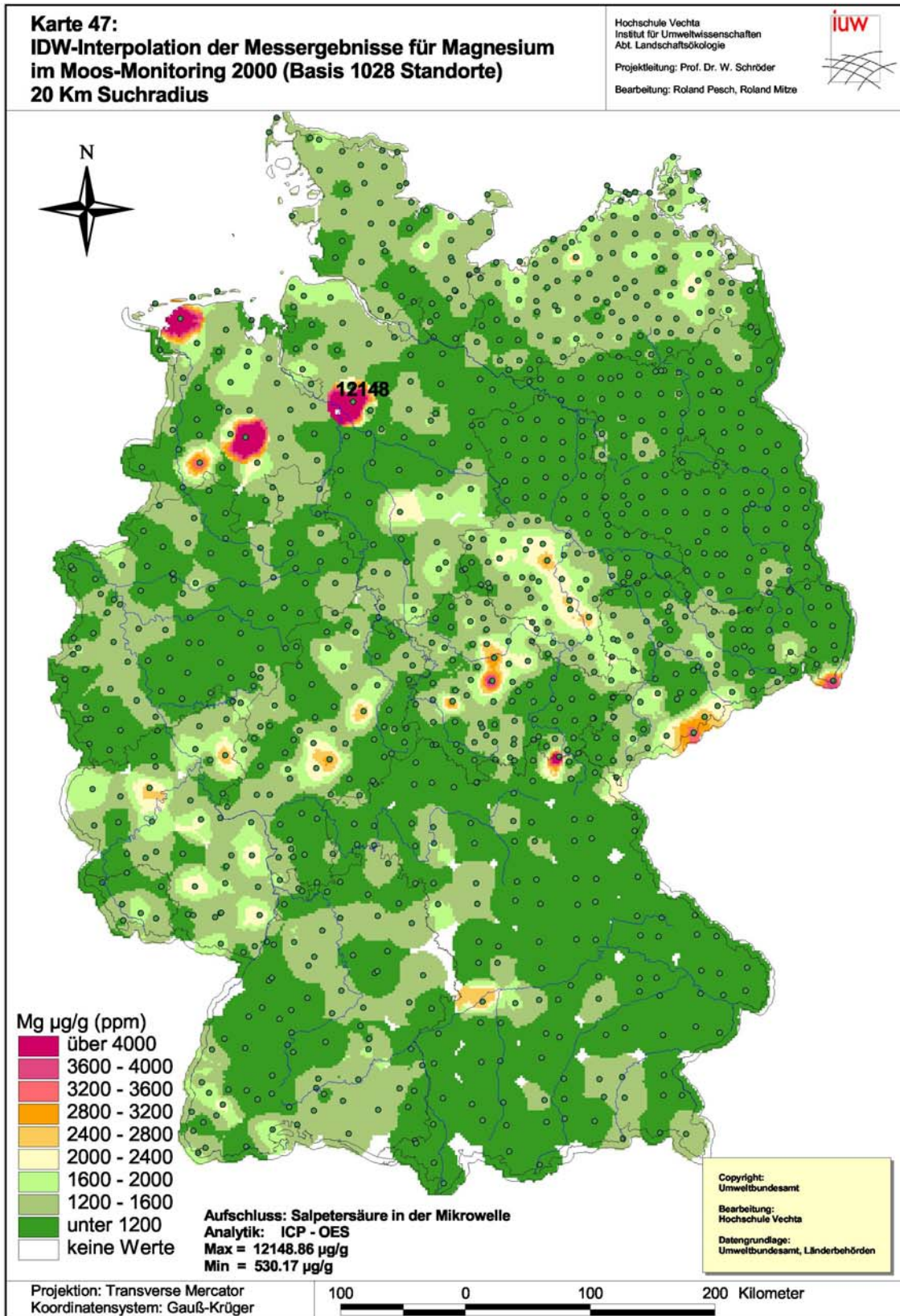


Tabelle 26: Magnesiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	1092	1092	1126	1057	1125
	H.c.	76	1207	1213	2433	618	1937
	Gesamt	78	1196	1209	2433	618	1936
Bayern	P.s.	88	930	939	1667	561	1421
	S.p.	23	1171	1265	2783	770	2293
	H.c.	6	858	908	1531	530	1483
	H.s.	2	1212	1212	1561	863	1547
	Gesamt	119	960	1005	2783	530	1661
Berlin	S.p.	3	931	916	967	849	965
	Gesamt	3	931	916	967	849	965
Brandenburg	P.s.	82	905	915	1339	554	1290
	S.p.	34	1125	1103	1482	692	1456
	H.c.	3	796	943	1301	731	1281
	(B.r.)	2	1575	1575	1620	1531	1618
	Gesamt	121	947	979	1620	554	1466
Hessen	P.s.	25	990	1124	2681	719	2210
	S.p.	23	1287	1394	2949	843	2688
	H.c.	12	1274	1347	2093	973	2025
	Gesamt	60	1152	1272	2949	719	2623
Hamburg	P.s.	4	1328	1341	1639	1067	1631
	Gesamt	4	1328	1341	1639	1067	1631
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	1058	1124	1683	738	1655
	S.p.	55	1479	1502	2147	982	2055
	H.c.	35	1525	1504	2331	860	2259
	(B.r.)	7	2019	1924	2763	1216	2755
	Gesamt	113	1447	1476	2763	738	2306
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	1012	1034	1905	624	1662
	S.p.	44	1183	1210	2132	817	1686
	H.c.	9	998	1082	1747	712	1675
	H.s.	1	1515	1515	1515	1515	1515
	Gesamt	88	1108	1133	2132	624	1788
Niedersachsen	P.s.	60	1183	1423	12149	730	3226
	S.p.	25	1433	1933	8683	1046	7285
	H.c.	9	1175	1269	1642	970	1642
	(B.r.)	1	2278	2278	2278	2278	2278
	Gesamt	95	1241	1552	12149	730	6120
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	1211	1297	2110	804	2030
	S.p.	16	1593	1718	2465	1189	2403
	H.c.	9	1354	1459	2826	869	2671
	Gesamt	39	1420	1507	2826	804	2551

Tabelle 26: Magnesiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	1450	1326	1528	802	1520
	S.p.	10	1361	1287	1549	989	1541
	H.c.	23	1346	1349	1883	963	1801
	(B.r., R.s.)	9	1371	1514	2113	1156	2109
	Gesamt	50	1368	1363	2113	802	2090
Saarland	P.s.	3	778	878	1148	708	1133
	S.p.	4	1495	1509	1896	1150	1878
	Gesamt	7	1150	1239	1896	708	1860
Sachsen	P.s.	24	1035	1331	3297	668	3078
	S.p.	13	1281	1254	1539	806	1523
	H.c.	35	853	1030	2192	544	2149
	(B.r.)	11	1761	1974	3766	1539	3447
	Gesamt	83	1129	1277	3766	544	2992
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	832	860	1518	676	1263
	S.p.	26	1231	1329	2281	896	2081
	H.c.	3	1268	1294	1436	1176	1430
	(B.r., R.s., L.p.)	23	1889	1968	3005	1294	2843
	Gesamt	91	1140	1288	3005	676	2634
Thüringen	P.s.	24	1100	1321	6451	753	4202
	S.p.	10	1219	1358	2051	822	2014
	H.c.	26	1080	1188	3393	680	2520
	(B.r., R.s., P.u.)	17	1723	1841	4255	688	3952
	Gesamt	77	1197	1396	6451	680	3807
Deutschland	P.s.	423	983	1088	12149	554	2094
	S.p.	286	1297	1386	8683	692	2304
	H.c.	246	1197	1241	3393	530	2195
	HS	3	1515	1313	1561	863	1559
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	1735	1868	4255	688	3591
	Gesamt	1028	1148	1262	12149	530	2542

Abbildung 34: Mediane für Magnesium im Moos-Monitoring 2000

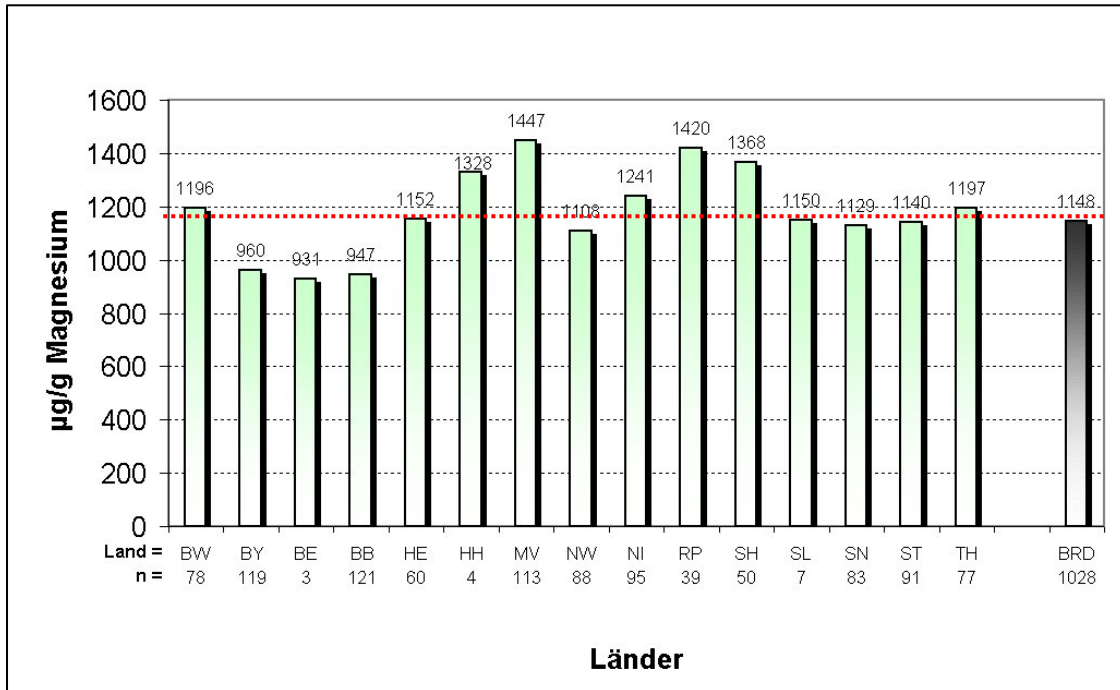
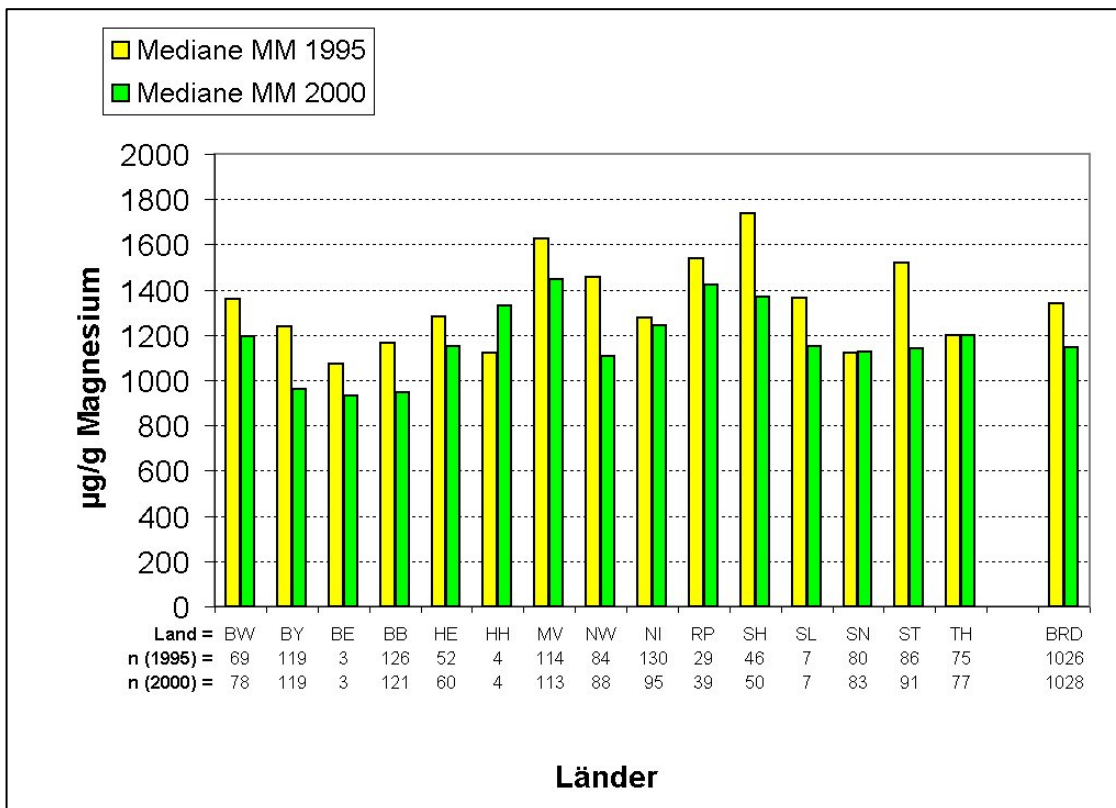


Abbildung 35: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Magnesium



3.2.6 Mangan

Allgemeines. Mangan wird hauptsächlich zur Entschwefelung von Eisen und Stahl eingesetzt. Weiter dienen Manganverbindungen als Pigmente bei der Farbenherstellung, als Korrosionsschutz und als Zusätze in Batterien und in der Trinkwasseraufbereitung. Mangancarbonat (MnCO_3) ist ein Düngemittelzusatz. Mangan nimmt an vielen enzymatischen Reaktionen teil und ist deswegen essentiell für Menschen, Tiere und Pflanzen. In vielen Fällen kann es Magnesium ersetzen.

Mangangehalte in Organismen sind nicht abhängig von der Konzentration in der Umwelt, sondern sind speziesabhängig. Es reichert sich nicht in Menschen und in vielen Tieren an, wohl aber in verschiedenen Pflanzen, wie Hülsenfrüchten, Nüssen oder Tee. Der Mensch nimmt Mangan hauptsächlich durch Getreide, Vollkornbrot, Gemüse, Nüsse und Tee auf. Milch und Fisch enthalten vergleichsweise wenig Mangan.

Vergiftungen mit Mangan durch Umweltverschmutzung sind bis auf einen Fall nicht bekannt (MERIAN 1991). Eher kommt es zu Mangelercheinungen.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten ermittelten Mangangehalte reichen von 13,9 $\mu\text{g/g}$ Bayern bis zu 2067 $\mu\text{g/g}$ in Rheinland-Pfalz (\rightarrow Tabelle 27, Anhang B.12). Der bundesweite Median liegt bei 318 $\mu\text{g/g}$, das 98-Perzentil bei 1044 $\mu\text{g/g}$. Im Ländervergleich weist Rheinland-Pfalz mit 537 $\mu\text{g/g}$ den höchsten Median auf, mit Abstand gefolgt von Hessen mit 462 $\mu\text{g/g}$ (\rightarrow Abbildung 36). Die Karte 49 zeigt, dass gemäß des aus den Vorgängerprojekten übernommenen Klassifizierungsschemas in allen Ländern Bereiche mit erhöhten Mangangehalten zu verzeichnen sind. Mangangehalte oberhalb des 98-Perzentils finden sich vorrangig in den neuen Ländern sowie in Hessen und Rheinland-Pfalz (\rightarrow Anhang A.3.12).

Zeitliche Entwicklung. Der Vergleich der Landesmediane aus dem Moos-Monitoring 1995 und 2000 zeigt unterschiedliche Entwicklungen (→ Abbildung 37). Abnahmen der Mangangehalte sind in Bayern, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, dem Saarland und in Sachsen-Anhalt festzuhalten. Zunahmen zeigen sich in vor allem in Berlin, Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Thüringen. Ein visueller Vergleich der Karten 48 und 49 und der Anhänge A.2.12 und A.3.12 lässt erkennen, dass sich die im Moos-Monitoring 1995 auftretenden höheren Mangangehalte vor allem in Hessen, Mecklenburg-Vorpommern und Bayern im Moos-Monitoring 2000 stark verringerten.

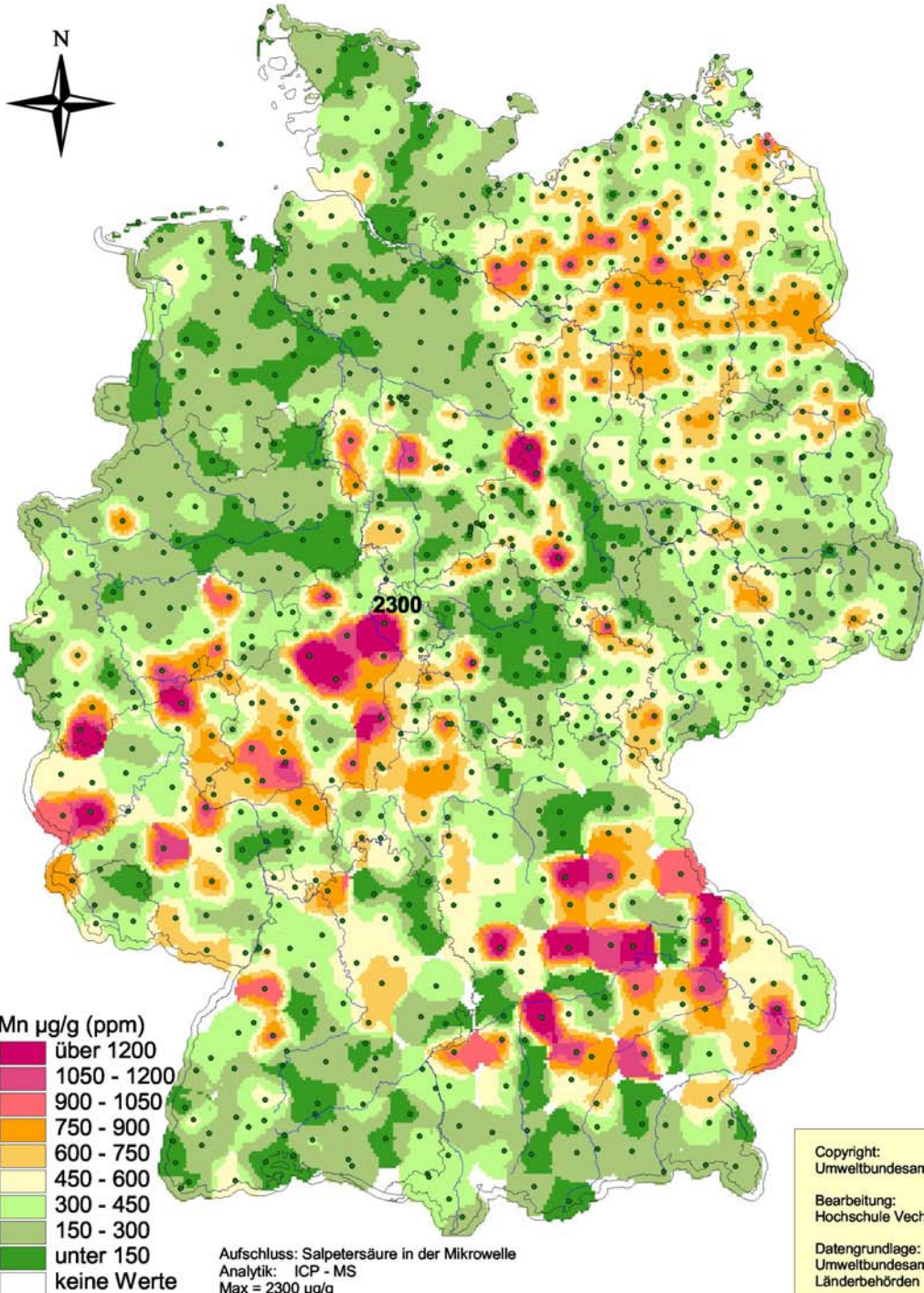
Bei den seit dem Moos-Monitoring 1995 durchgängig beprobten Standorten bestätigen sich die Abnahmetendenzen in Bayern und Mecklenburg-Vorpommern (→ Anhang A.5.12). Auch in Hessen und im Norden Brandenburgs sind mehrere Messstellen mit starken Rückgängen von über 750 µg/g zu erkennen. Insgesamt weisen 61 % der im Moos-Monitoring 2000 beprobten Standorte niedrigere Manganwerte auf als im Moos-Monitoring 1995.

Karte 48:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Mangan
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

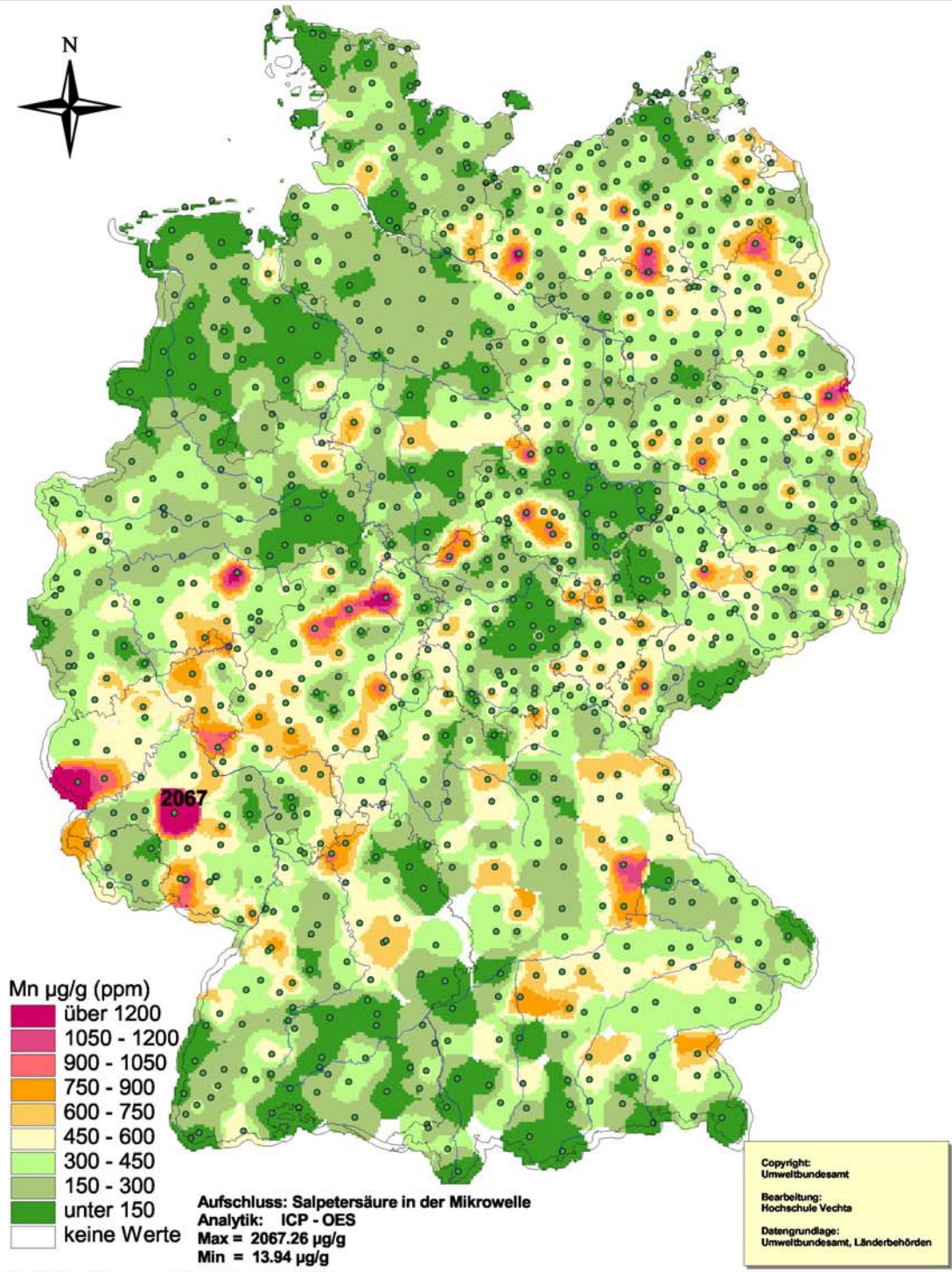


Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

**Karte 49:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Mangan
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius**

Hochschule Vechta
Institut für Umweltwissenschaften
Abt. Landschaftsökologie
Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
Koordinatensystem: Gauß-Krüger



Tabelle 27: Mangangehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	459	459	506	412	504
	H.c.	76	248	294	1029	26	871
	Gesamt	78	249	298	1029	26	864
Bayern	P.s.	88	377	385	880	14	790
	S.p.	23	317	365	1162	15	1018
	H.c.	6	242	216	380	25	370
	H.s.	2	163	163	301	25	295
	Gesamt	119	351	369	1162	14	858
Berlin	S.p.	3	402	324	443	129	441
	Gesamt	3	402	324	443	129	441
Brandenburg	P.s.	82	389	428	1255	90	927
	S.p.	34	385	460	1108	59	947
	H.c.	3	342	582	1261	143	1225
	(B.r.)	2	416	416	703	129	691
	Gesamt	121	389	441	1261	59	1071
Hessen	P.s.	25	513	520	1050	28	1045
	S.p.	23	394	430	1310	21	1114
	H.c.	12	490	450	1116	16	1024
	Gesamt	60	462	472	1310	16	1104
Hamburg	P.s.	4	192	197	337	68	332
	Gesamt	4	192	197	337	68	332
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	381	447	1360	128	1201
	S.p.	55	426	429	1274	56	1166
	H.c.	35	245	308	868	50	837
	(B.r.)	7	165	257	681	46	659
	Gesamt	113	339	383	1360	46	1136
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	334	373	1315	93	961
	S.p.	44	343	324	674	25	667
	H.c.	9	170	249	543	84	520
	H.s.	1	40	40	40	40	40
	Gesamt	88	327	332	1315	25	721
Niedersachsen	P.s.	60	157	181	469	54	440
	S.p.	25	188	206	633	33	547
	H.c.	9	303	386	797	74	773
	(B.r.)	1	666	666	666	666	666
	Gesamt	95	184	212	797	33	651
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	601	737	2067	221	1805
	S.p.	16	397	488	1367	99	1341
	H.c.	9	584	579	893	178	884
	Gesamt	39	537	599	2067	99	1535

Tabelle 27: Mangengehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	163	189	385	66	368
	S.p.	10	199	276	849	39	779
	H.c.	23	150	217	896	50	777
	(B.r., R.s.)	9	213	317	748	76	742
	Gesamt	50	178	242	896	39	850
Saarland	P.s.	3	242	385	790	124	768
	S.p.	4	263	327	581	201	563
	Gesamt	7	242	352	790	124	765
Sachsen	P.s.	24	327	350	1098	74	905
	S.p.	13	336	325	578	68	547
	H.c.	35	351	398	1231	66	859
	(B.r.)	11	389	324	703	33	686
	Gesamt	83	337	363	1231	33	845
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	374	365	693	96	656
	S.p.	26	211	316	1234	26	1090
	H.c.	3	1016	794	1224	142	1216
	(B.r., R.s., L.p.)	23	101	241	984	29	870
	Gesamt	91	302	334	1234	26	1057
Thüringen	P.s.	24	388	414	1092	30	965
	S.p.	10	171	289	925	20	861
	H.c.	26	457	437	1058	50	999
	(B.r., R.s., P.u.)	17	182	246	893	32	761
	Gesamt	77	327	369	1092	20	996
Deutschland	P.s.	423	346	378	2067	14	1037
	S.p.	286	327	368	1367	15	1168
	H.c.	246	287	346	1261	16	1031
	HS	3	40	122	301	25	290
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	176	278	984	29	838
	Gesamt	1028	318	360	2067	14	1044

Abbildung 36: Mediane für Mangan im Moos-Monitoring 2000

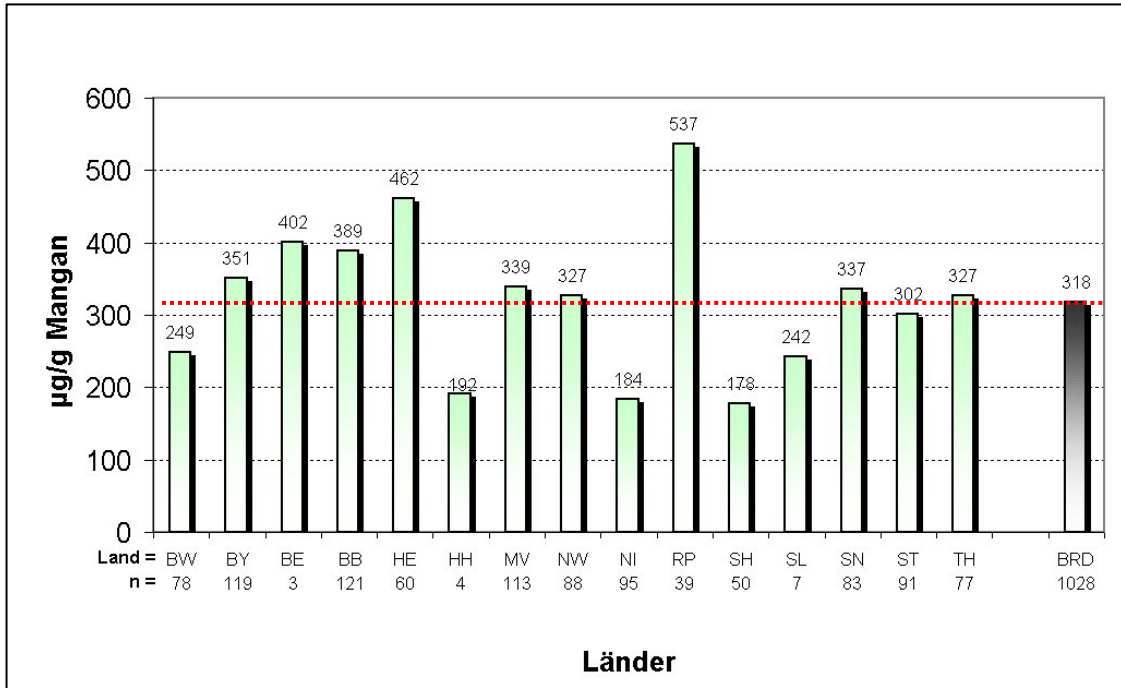
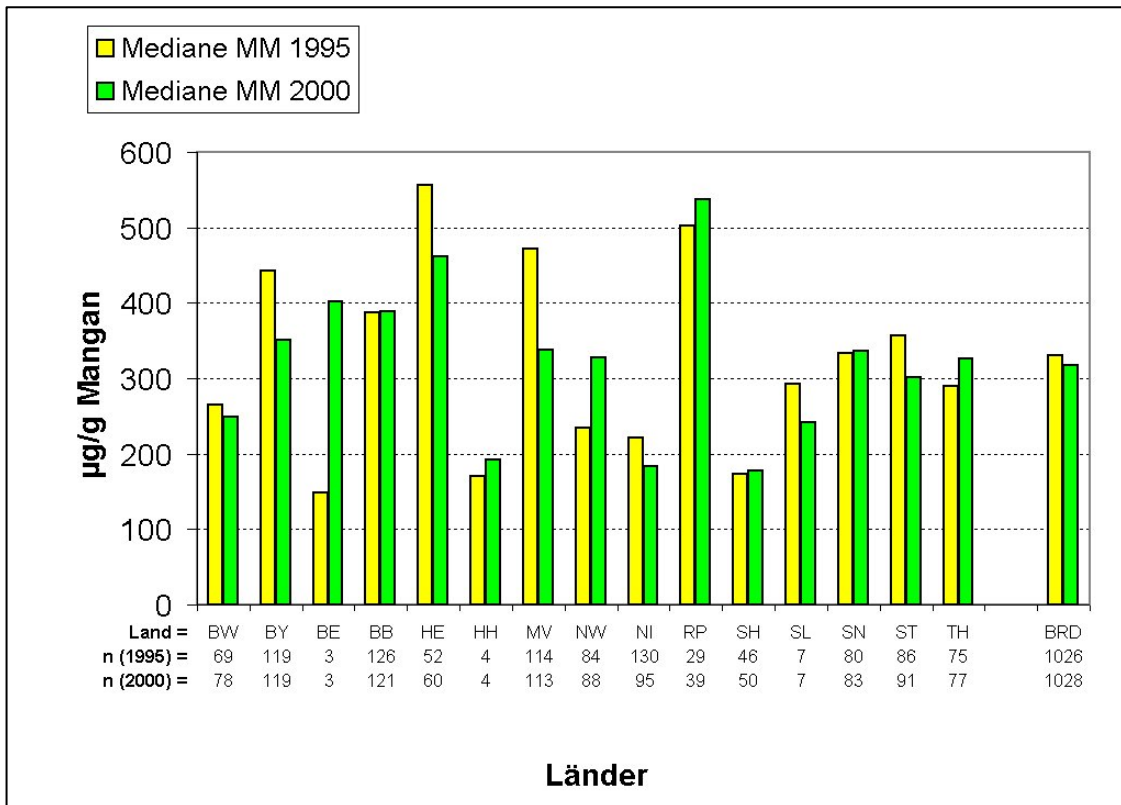


Abbildung 37: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Mangan



3.2.7 Natrium

Allgemeines. Natrium ist ein häufiges Element in der Erdkruste und kommt besonders in Feldspäten vor, den häufigsten Mineralen. Es wird in vielen Verfahren der chemischen Produktion eingesetzt. Natriumaluminiumsilikat dient als Ersatz der Phosphate im Waschmittel. Natriumcarbonat wird bei der Glasherstellung und in der Papier- und Zellstoffindustrie eingesetzt. Natriumchlorat ist ein Bleichmittel.

Natrium spielt für den tierischen und menschlichen Organismus eine große Rolle, da es u. a. an der sog. Natrium-Kalium-Pumpe beteiligt ist. Ein Natriumüberschuss kann zu Bluthochdruck führen. Der tägliche Bedarf für den Menschen liegt bei ca. 1 g, aufgenommen werden durchschnittlich 3 – 7 g Natrium.

Die nachfolgenden Ausführungen über die im Moos-Monitoring 2000 festgestellten Natriumgehalte wie auch der Entwicklung von Natrium in Moosen sind vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen analytischen Qualitätskenngrößen der Labore der BGR und der LUFA Hameln (Na ~ 28%) zu betrachten.

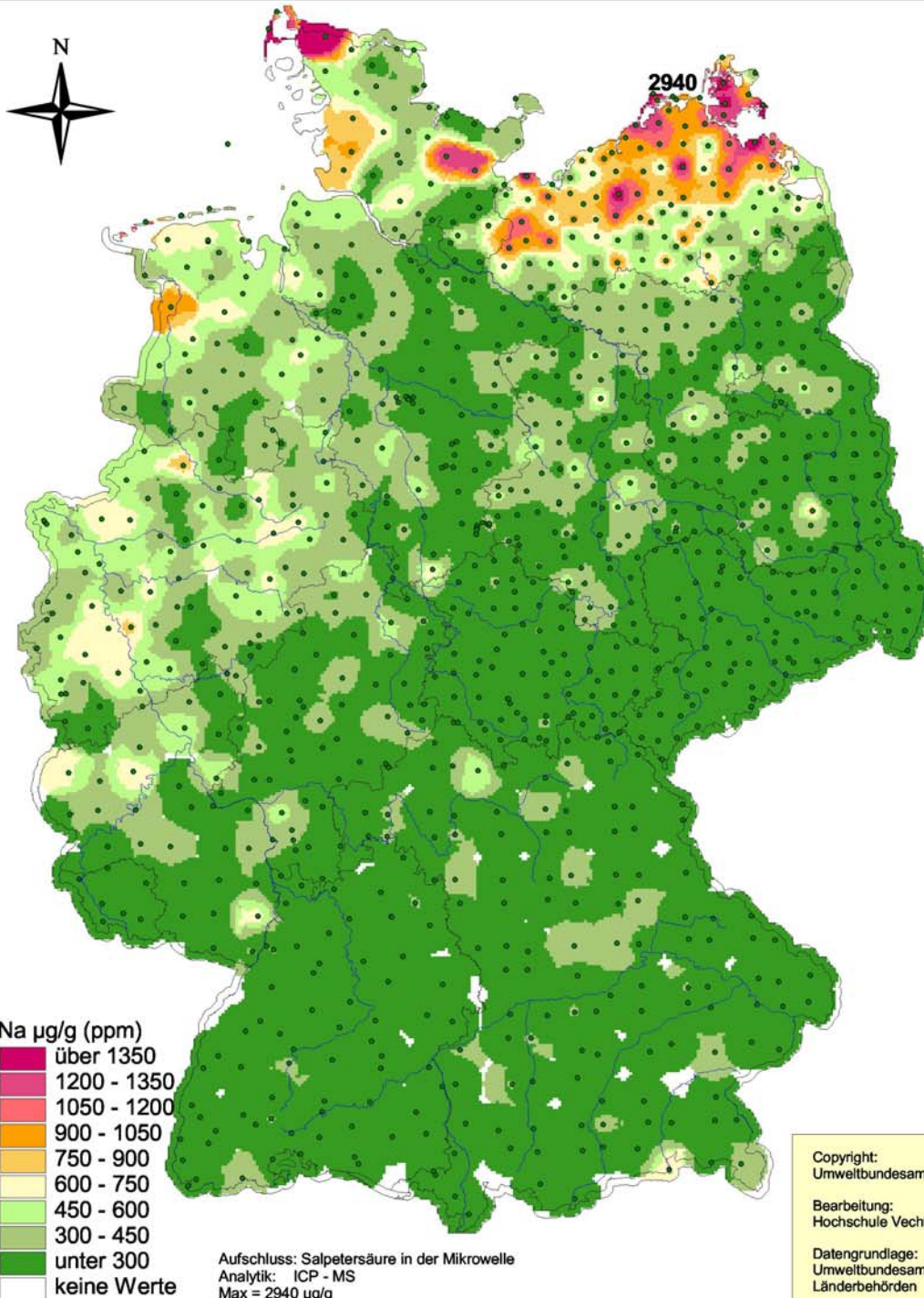
Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten ermittelten Natriumgehalte reichen von 31,9 µg/g in Baden-Württemberg bis zu 8834 µg/g in Thüringen (→ Tabelle 28, Anhang B.13). Im bundesweiten Medianvergleich zeigen vor allem Mecklenburg-Vorpommern (Faktor 2) und das Saarland (Faktor 2,9) erhöhte Werte (→ Abbildung 39). Die Karte 50 zeigt vor allem im Westen Schleswig-Holsteins und im Nord-Westen Niedersachsens Flächen mit erhöhten Natriumgehalten. Auffallend ist das vermehrte Auftreten von Natriumwerten oberhalb von 750 µg/g im Bereich der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns und das lokale Maximum von 8834 µg/g in Hessen (→ Anhang A.3.13).

Zeitliche Entwicklung. Der Vergleich der Landesmediane zeigt außer im Saarland, in Sachsen und in Hamburg in allen Ländern seit dem Moos-Monitoring 1995 Rückgänge (→ Abbildung 39). Besonders deutlich wird dies auch bei dem visuellen Vergleich der Punkt- und Flächenkarten aus dem Moos-Monitoring 1995 und 2000 (→ Karten 50, 51, Anhang 2.13, 3.13). Waren im Moos-Monitoring 1995 noch vermehrt Gehalte von über 1200 µg/g in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein erkennbar, ließen sich diese Strukturen im Moos-Monitoring 2000 zwar wiedererkennen, jedoch mit weitaus niedrigeren Natriumgehalten.

Bezogen auf die 880 sowohl im Moos-Monitoring 1995 und 2000 beprobten Standorte zeigen 84 % im Moos-Monitoring 2000 niedrigere Werte als im Moos-Monitoring 1995 (→ Anhang A.5.13). Standorte mit relativ hohen Abnahmen oberhalb von 750 µg/g finden sich in Bayern und Sachsen-Anhalt.

Karte 50:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Natrium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie
 Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder
 Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

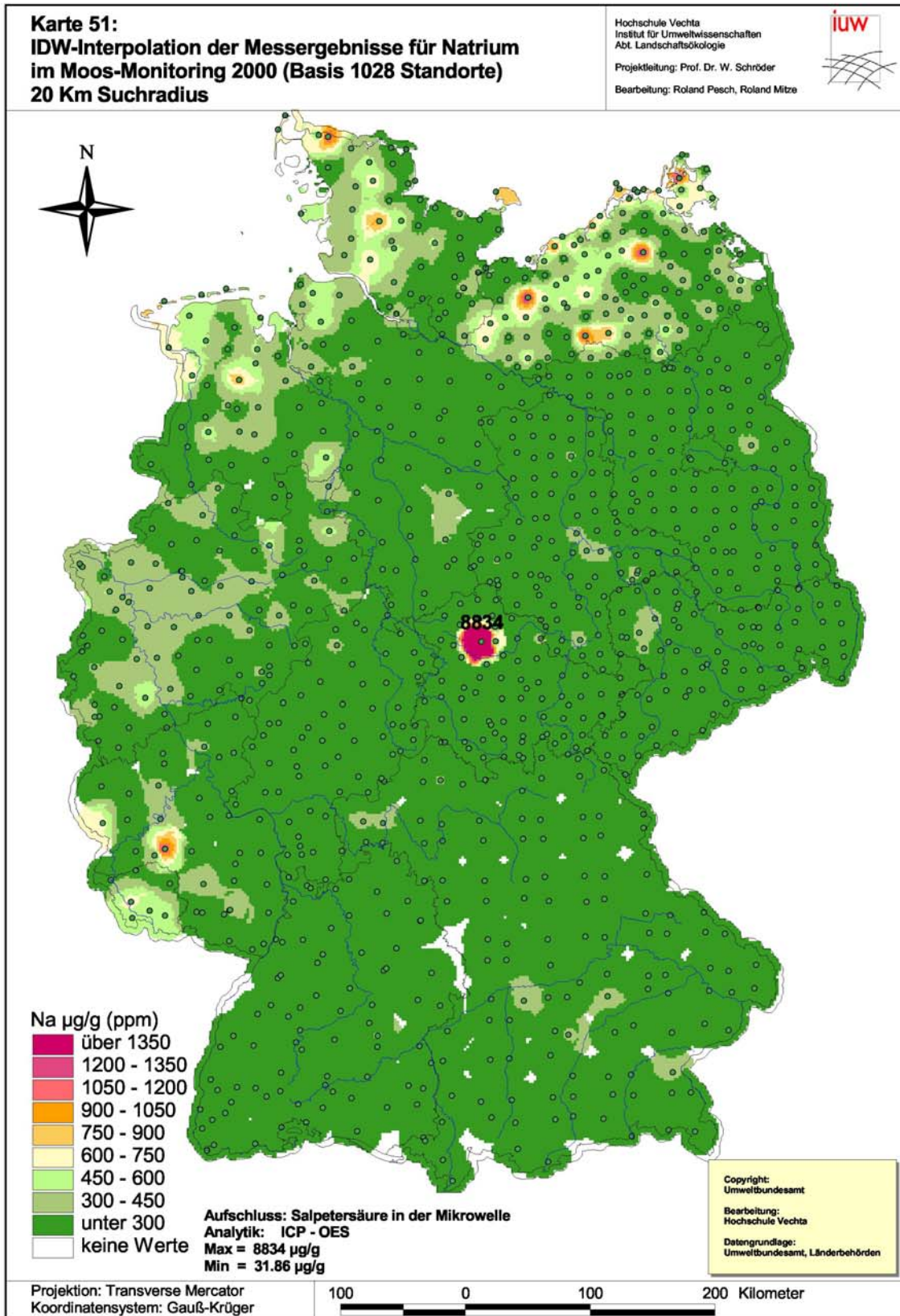


Tabelle 28: Natriumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	124	124	131	118	130
	H.c.	76	69	75	324	32	166
	Gesamt	78	69	77	324	32	164
Bayern	P.s.	88	105	116	374	43	256
	S.p.	23	230	245	362	97	362
	H.c.	6	74	69	100	36	99
	H.s.	2	115	115	131	99	130
	Gesamt	119	116	138	374	36	357
Berlin	S.p.	3	196	212	247	192	245
	Gesamt	3	196	212	247	192	245
Brandenburg	P.s.	82	123	129	289	62	250
	S.p.	34	230	229	366	124	348
	H.c.	3	122	131	164	107	162
	(B.r.)	2	188	188	206	171	206
	Gesamt	121	147	158	366	62	309
Hessen	P.s.	25	152	152	237	89	234
	S.p.	23	220	222	334	103	320
	H.c.	12	92	95	123	70	120
	Gesamt	60	167	167	334	70	303
Hamburg	P.s.	4	245	279	417	207	409
	Gesamt	4	245	279	417	207	409
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	262	307	722	158	660
	S.p.	55	562	622	1329	105	1282
	H.c.	35	170	193	510	99	383
	(B.r.)	7	195	280	493	116	489
	Gesamt	113	355	423	1329	99	1245
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	207	219	410	95	359
	S.p.	44	380	361	518	152	504
	H.c.	9	160	150	222	90	217
	H.s.	1	285	285	285	285	285
	Gesamt	88	285	284	518	90	490
Niedersachsen	P.s.	60	207	222	817	73	515
	S.p.	25	425	422	778	133	732
	H.c.	9	227	239	445	143	422
	(B.r.)	1	133	133	133	133	133
	Gesamt	95	240	275	817	73	694
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	126	136	263	74	244
	S.p.	16	308	376	1214	185	1043
	H.c.	9	117	139	268	68	259
	Gesamt	39	185	235	1214	68	782

Tabelle 28: Natriumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	248	304	746	193	684
	S.p.	10	469	445	695	231	665
	H.c.	23	258	337	1199	96	1012
	(B.r., R.s.)	9	387	449	925	186	890
	Gesamt	50	299	374	1199	96	931
Saarland	P.s.	3	283	278	298	254	297
	S.p.	4	555	562	638	503	634
	Gesamt	7	503	441	638	254	631
Sachsen	P.s.	24	128	131	182	83	182
	S.p.	13	249	272	413	193	407
	H.c.	35	144	133	227	52	207
	(B.r.)	11	177	179	379	102	353
	Gesamt	83	147	160	413	52	382
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	165	166	347	100	272
	S.p.	26	243	262	432	101	409
	H.c.	3	168	163	255	66	251
	(B.r., R.s., L.p.)	23	130	163	385	66	363
	Gesamt	91	177	193	432	66	385
Thüringen	P.s.	24	121	129	245	41	233
	S.p.	10	218	201	293	79	290
	H.c.	26	110	447	8834	61	4532
	(B.r., R.s., P.u.)	17	145	174	381	61	361
	Gesamt	77	119	256	8834	41	349
Deutschland	P.s.	423	144	164	817	41	399
	S.p.	286	305	367	1329	79	910
	H.c.	246	112	178	8834	32	515
	HS	3	131	172	285	99	279
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	174	217	925	61	625
	Gesamt	1028	170	227	8834	32	772

Abbildung 38: Mediane für Natrium im Moos-Monitoring 2000

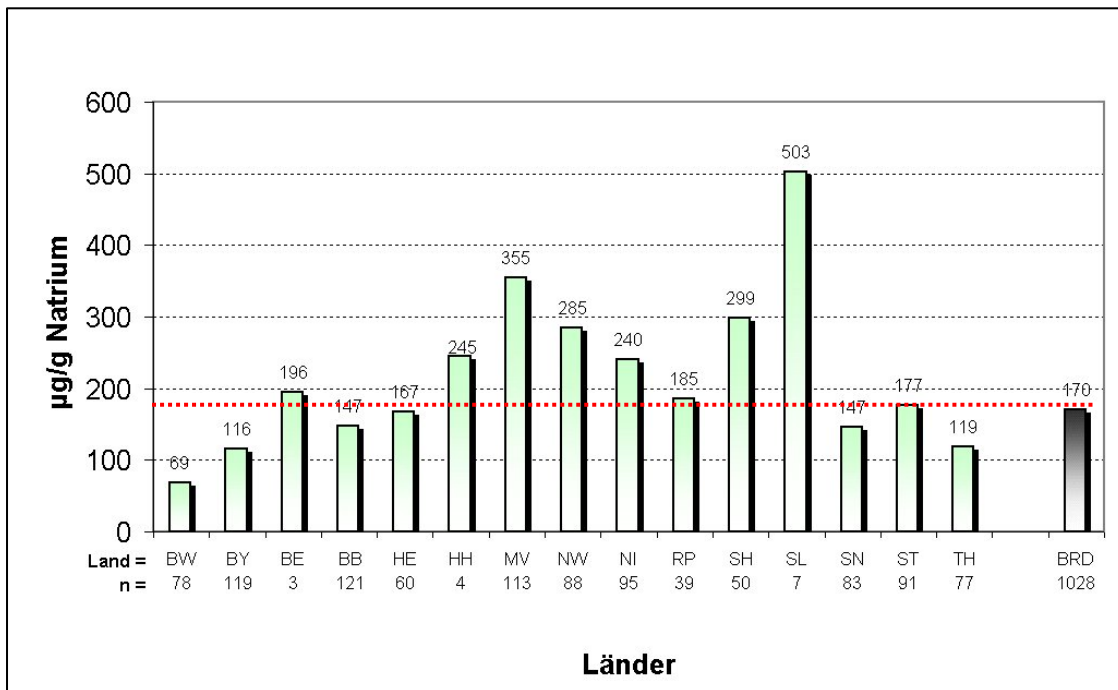
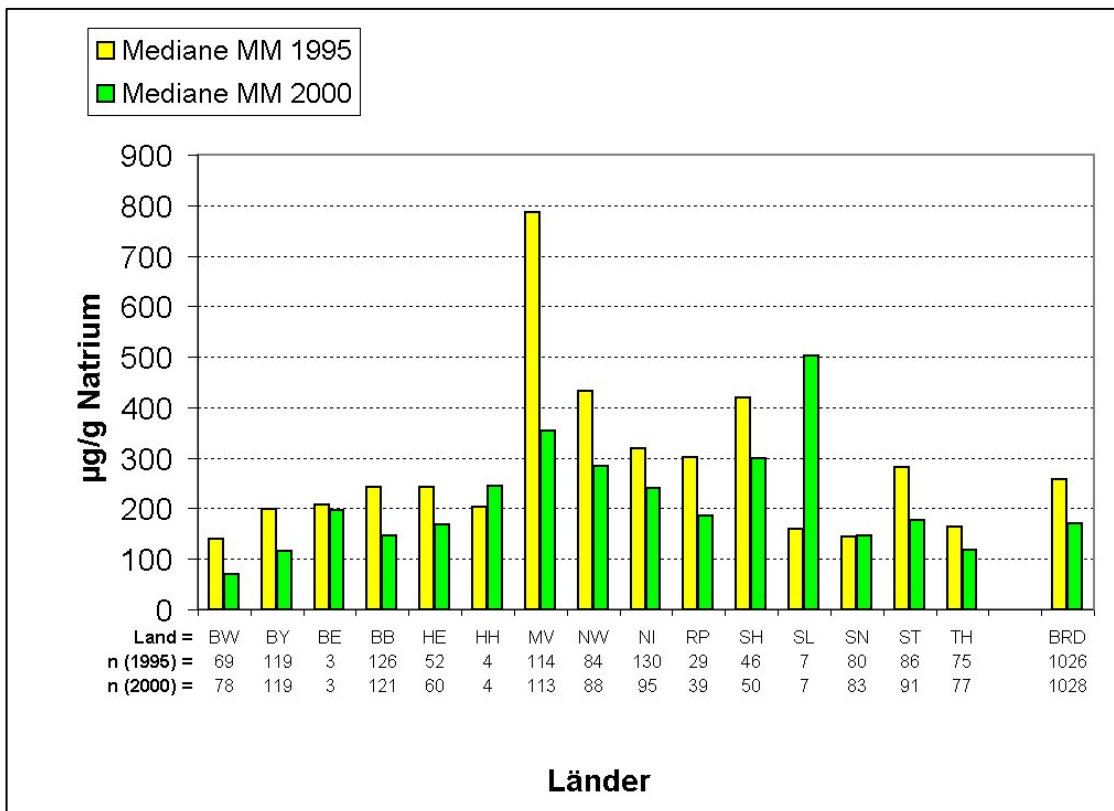


Abbildung 39: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Natrium



3.2.8 Strontium

Allgemeines. Strontium findet keine größere technische Verwendung außer in der Elektronenröhrenindustrie. Strontiumverbindungen werden bei der Herstellung von Farbfernsehröhren oder Supraleitern eingesetzt. Strontium gibt in der Pyrotechnik eine charakteristische rote Farbe.

Strontium gilt als ungiftig, wobei die toxische Wirkung stark von der Art der jeweiligen Verbindung abhängig ist. Im Organismus verhält es sich ähnlich wie Calcium, es lagert sich in Knochen und Zähnen ab. Die Verweildauer im Körper ist dementsprechend groß. Dies macht den bei Reaktorunfällen oder Kernwaffenexplosionen freiwerdenden β -Strahler ^{90}Sr so gefährlich. Das Strontium wird von Pflanzen aufgenommen und gelangt dann über die Nahrungskette in den menschlichen Körper.

Ergebnisse Moos-Monitoring 2000. Die im Moos-Monitoring 2000 an 1028 Standorten bestimmten Strontiumgehalte reichen von 2,67 $\mu\text{g/g}$ in Niedersachsen bis zu 95,5 $\mu\text{g/g}$ in Thüringen (\rightarrow Tabelle 29). Die Abbildung 40 zeigt im Vergleich mit dem bundesweiten Median von 9,43 $\mu\text{g/g}$ vor allem in Thüringen (14,2 $\mu\text{g/g}$), Sachsen-Anhalt (12,2 $\mu\text{g/g}$), Mecklenburg-Vorpommern (11,9 $\mu\text{g/g}$) und Sachsen (12,5 $\mu\text{g/g}$) erhöhte Mediane. In der räumlichen Darstellung der Karte 52 und des Anhangs A.3.1.7 erkennt man, dass in den Ländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen geballt Bereiche auftreten, an denen mehr als 30 $\mu\text{g/g}$ Strontium in Moosen gemessen wurde.

Zeitliche Entwicklung. Außer in Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Sachsen und dem Saarland ergeben sich für alle anderen Länder 1995 höhere Mediane als im Moos-Monitoring 2000 (\rightarrow Abbildung 41). Der oben beschriebene Bereich in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen findet sich auch im Moos-Monitoring 1995 wieder. Auffällig ist es, dass relativ hohe Werte in beiden

Moos-Monitoring-Vorhaben am selben Standort zu erkennen sind (→ Anhang A.2.17, Anhang A.3.17).

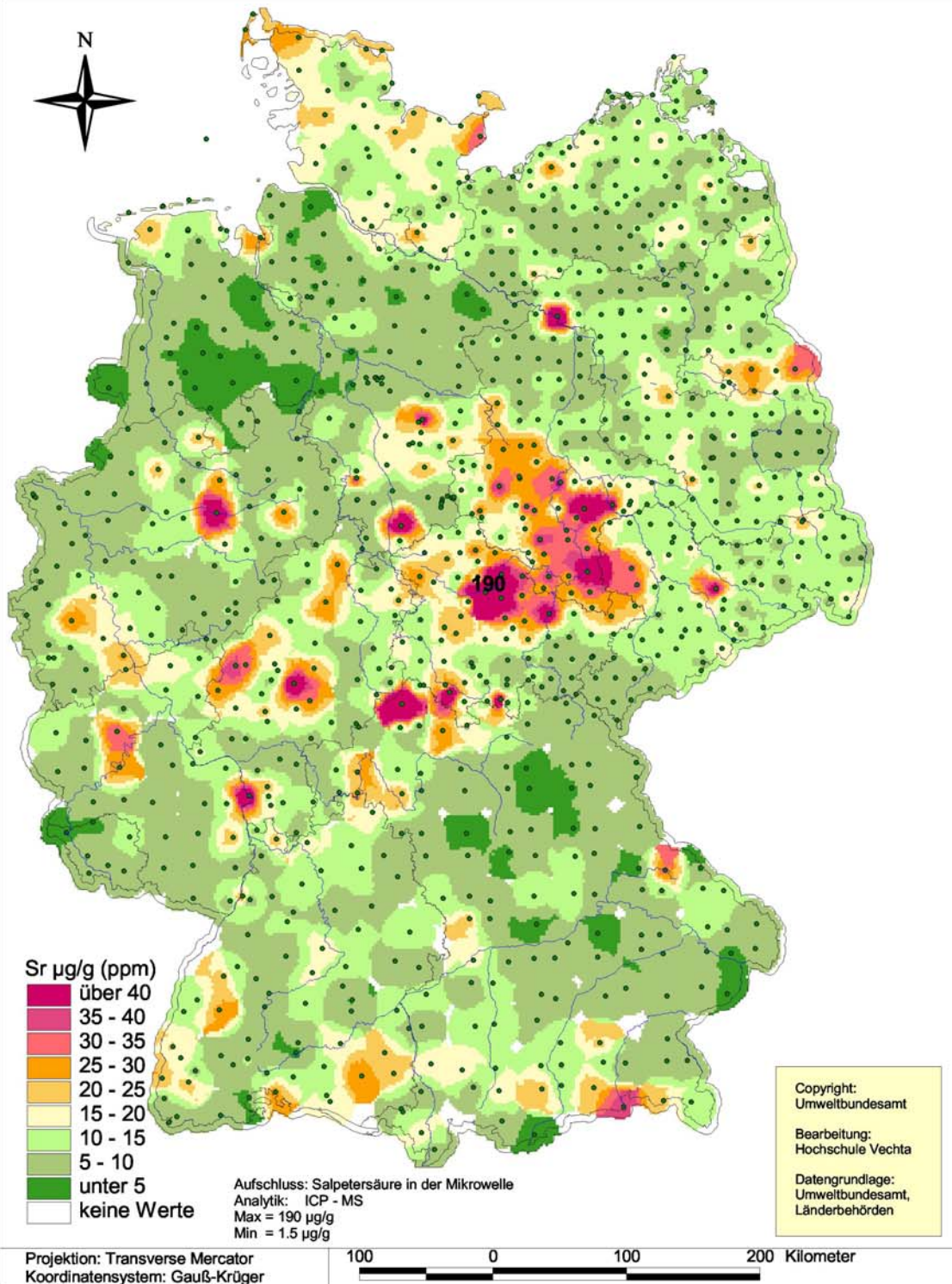
Von den 880 Standorten, an denen 1995 und 2000 die Strontiumgehalte gemessen wurden, zeigen 61% im Jahr 2000 geringere Werte als 1995 (→ Anhang A.5.17). Abnahmen über 20 µg/g finden sich vor allem in Sachsen-Anhalt und Thüringen. Zunahmen über 15 µg/g sind vorrangig in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt zu beobachten.

Karte 52:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Strontium
im Moos-Monitoring 1995 (Basis: 1026 Standorte)
20 km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze

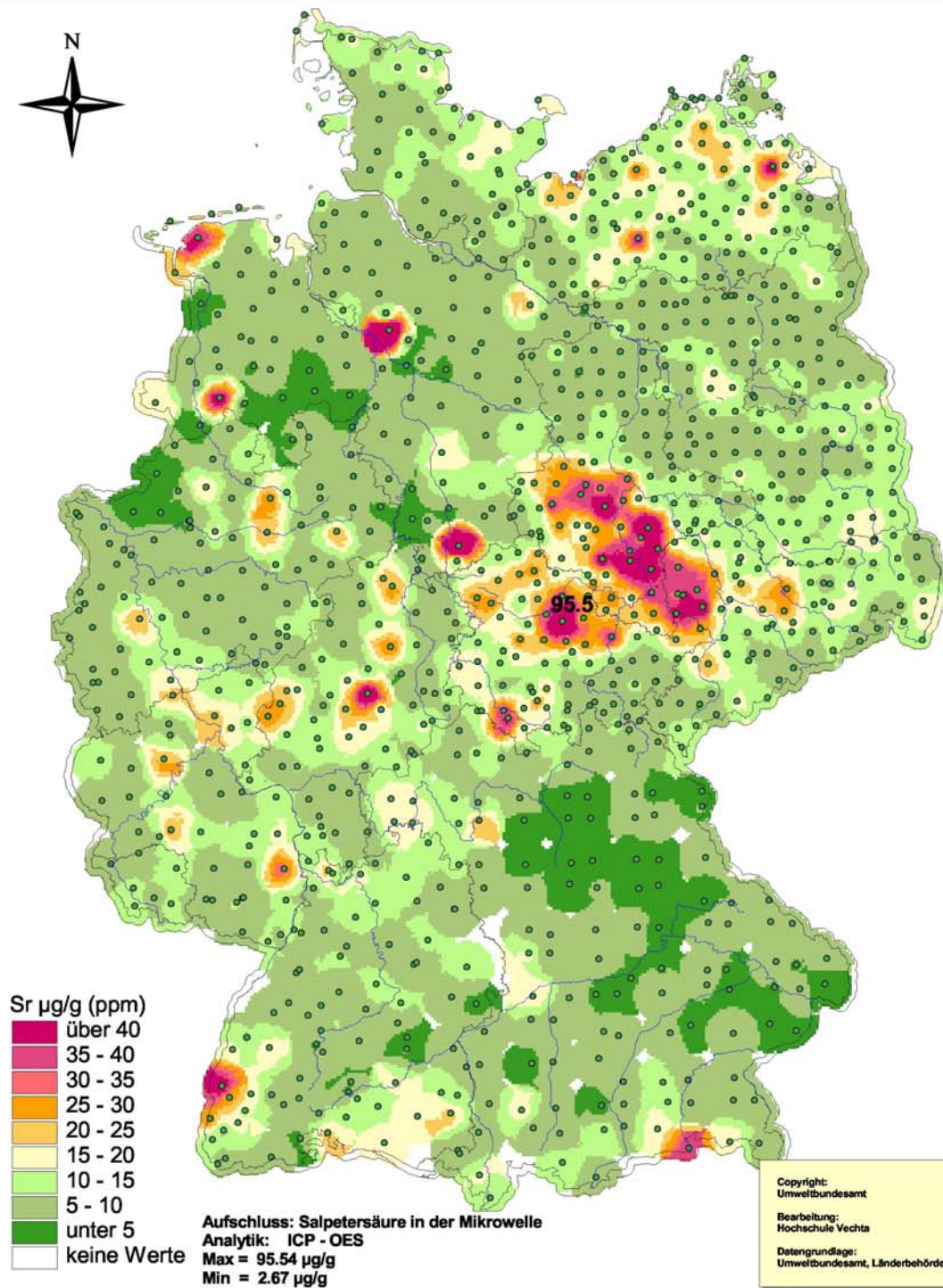


Karte 53:
IDW-Interpolation der Messergebnisse für Strontium
im Moos-Monitoring 2000 (Basis 1028 Standorte)
20 Km Suchradius

Hochschule Vechta
 Institut für Umweltwissenschaften
 Abt. Landschaftsökologie

Projektleitung: Prof. Dr. W. Schröder

Bearbeitung: Roland Pesch, Roland Mitze



Projektion: Transverse Mercator
 Koordinatensystem: Gauß-Krüger

100 0 100 200 Kilometer

Tabelle 29: Strontiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 1 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Baden- Württemberg	P.s.	2	7,3	7,3	8,4	6,2	8,3
	H.c.	76	9,8	11,5	45,9	3,5	27,5
	Gesamt	78	9,6	11,4	45,9	3,5	27,4
Bayern	P.s.	88	6,4	7,3	19,1	2,9	18,4
	S.p.	23	7,3	9,3	24,6	3,0	22,7
	H.c.	6	10,3	14,1	35,2	7,6	32,9
	H.s.	2	6,1	6,1	8,5	3,8	8,4
	Gesamt	119	6,5	8,0	35,2	2,9	20,3
Berlin	S.p.	3	7,9	7,8	8,4	7,3	8,4
	Gesamt	3	7,9	7,8	8,4	7,3	8,4
Brandenburg	P.s.	82	8,7	9,3	17,9	4,0	17,1
	S.p.	34	10,3	10,8	18,9	5,8	17,2
	H.c.	3	17,0	15,5	19,1	10,4	19,1
	(B.r.)	2	18,7	18,7	20,5	16,9	20,4
	Gesamt	121	9,6	10,1	20,5	4,0	18,5
Hessen	P.s.	25	9,2	9,7	25,7	4,4	24,0
	S.p.	23	9,9	13,1	52,6	5,6	42,5
	H.c.	12	16,7	17,3	29,0	9,9	28,4
	Gesamt	60	9,9	12,5	52,6	4,4	29,4
Hamburg	P.s.	4	7,4	7,6	9,9	6,0	9,7
	Gesamt	4	7,4	7,6	9,9	6,0	9,7
Mecklenburg- Vorpommern	P.s.	16	8,1	8,7	13,8	5,5	13,6
	S.p.	55	10,4	11,4	23,6	5,5	20,3
	H.c.	35	15,0	17,1	50,5	6,1	34,6
	(B.r.)	7	23,2	28,1	41,8	16,2	41,7
	Gesamt	113	11,9	13,8	50,5	5,5	39,1
Nordrhein- Westfalen	P.s.	34	6,1	6,9	16,8	4,0	14,3
	S.p.	44	7,0	9,0	24,3	4,1	24,2
	H.c.	9	9,9	13,2	29,9	5,9	28,4
	H.s.	1	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
	Gesamt	88	6,9	8,6	29,9	4,0	24,3
Niedersachsen	P.s.	60	6,5	9,1	92,7	2,7	39,8
	S.p.	25	7,5	12,1	66,5	3,4	54,2
	H.c.	9	7,5	8,3	15,0	4,1	14,2
	(B.r.)	1	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
	Gesamt	95	6,7	9,9	92,7	2,7	46,5
Rheinland- Pfalz	P.s.	14	7,4	8,0	11,9	5,4	11,8
	S.p.	16	9,3	13,3	31,6	4,7	30,0
	H.c.	9	12,1	14,0	21,0	9,5	20,9
	Gesamt	39	9,6	11,6	31,6	4,7	27,5

Tabelle 29: Strontiumgehalte in Moosen in den Ländern und in Deutschland im Moos-Monitoring 2000 (Teil 2 von 2)

Land	Arten	n	Median [µg/g]	Mittelwert [µg/g]	Maximum [µg/g]	Minimum [µg/g]	98Perz. [µg/g]
Schleswig-Holstein	P.s.	8	8,7	9,7	15,3	5,5	15,2
	S.p.	10	8,5	9,4	16,0	7,6	15,2
	H.c.	23	11,7	12,4	23,1	7,3	20,6
	(B.r., R.s.)	9	11,8	12,8	19,0	7,7	18,9
	Gesamt	50	11,0	11,5	23,1	5,5	19,1
Saarland	P.s.	3	7,4	9,2	13,0	7,3	12,8
	S.p.	4	10,9	10,5	11,9	8,2	11,9
	Gesamt	7	10,8	9,9	13,0	7,3	12,9
Sachsen	P.s.	24	9,9	10,3	19,8	4,5	18,8
	S.p.	13	15,5	17,7	35,1	7,8	33,8
	H.c.	35	12,0	12,6	28,5	6,3	24,2
	(B.r.)	11	29,3	30,6	50,3	8,0	49,8
	Gesamt	83	12,5	15,1	50,3	4,5	45,0
Sachsen-Anhalt	P.s.	39	7,5	8,3	14,4	4,7	13,9
	S.p.	26	13,8	14,6	31,5	5,6	29,4
	H.c.	3	28,9	29,7	42,9	17,5	42,3
	(B.r., R.s., L.p.)	23	33,0	35,8	90,5	12,6	77,7
	Gesamt	91	12,2	17,8	90,5	4,7	60,6
Thüringen	P.s.	24	8,4	9,4	16,6	4,9	16,4
	S.p.	10	20,3	26,3	95,5	6,4	85,2
	H.c.	26	15,2	18,1	42,9	8,9	37,4
	(B.r., R.s., P.u.)	17	25,1	22,3	37,1	6,8	36,8
	Gesamt	77	14,2	17,4	95,5	4,9	40,5
Deutschland	P.s.	423	7,4	8,6	92,7	2,7	18,1
	S.p.	286	9,7	12,1	95,5	3,0	32,6
	H.c.	246	12,1	13,9	50,5	3,5	32,2
	HS	3	5,9	6,0	8,5	3,8	8,3
	(B.r., R.s., P.u., L.p.)	70	25,3	27,2	90,5	6,8	61,0
	Gesamt	1028	9,4	12,1	95,5	2,7	41,0

Abbildung 40: Mediane für Strontium im Moos-Monitoring 2000

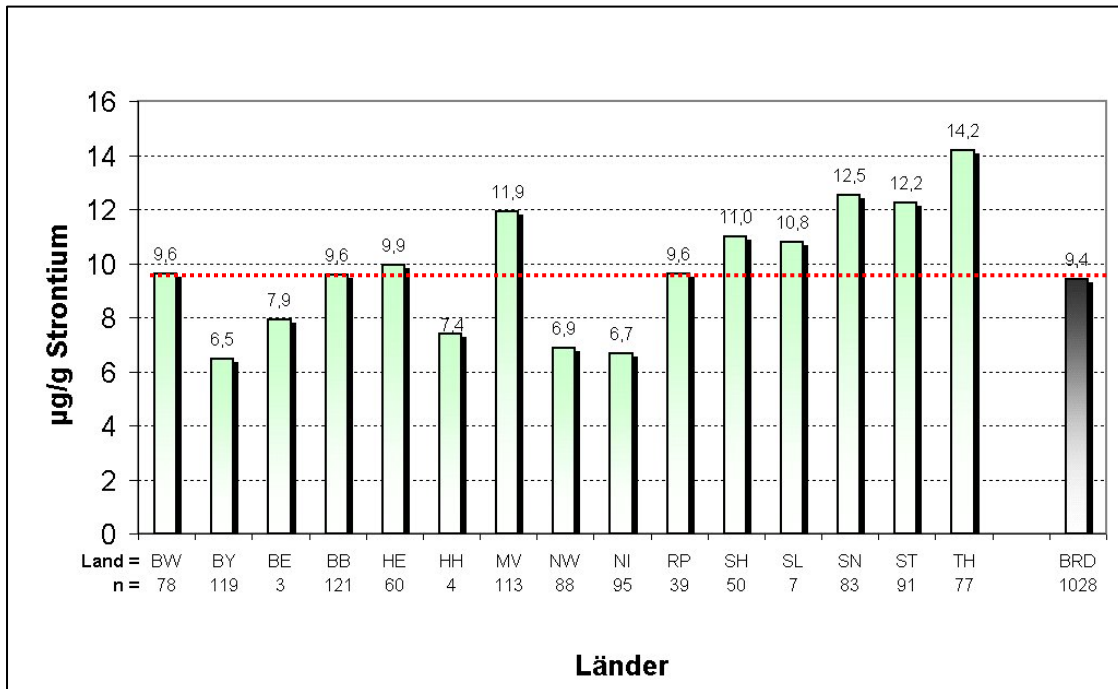
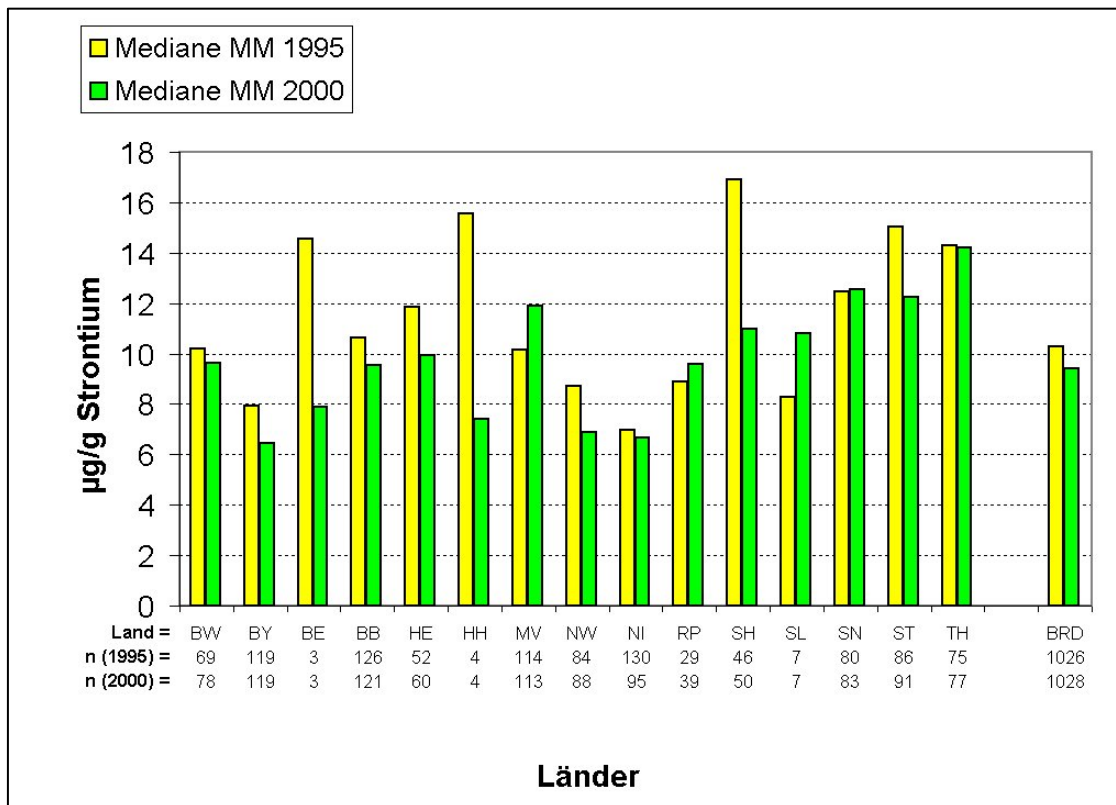


Abbildung 41: Medianvergleich des Moos-Monitorings 1995 und 2000 für Strontium



4 Moosartenspezifische Auswertung

Hintergründe. In dem Moos-Monitoring Projekt 1990 wurde bereits überprüft, ob die verschiedenen Moosarten die Elemente unterschiedlich anreichern (Artenvariabilität) und inwieweit eine Gleichbehandlung der Moosarten *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 Kapitel 2.3.2 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 Ab-

leitung 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 Kapitel 3 festgestellten 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 aus Kapitel 3?
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 Kapitel 3 vorgeführten moosartenunabhängigen Darstellung?

Vorgehen. Die moosartenspezifische Beschreibung der Ergebnisse aller drei Messperioden erfolgt bei SCHRÖDER (2002 b) 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. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser moosartenspezifischen Auswertungen im Sinne einer bundesweiten Betrachtung zusammen. Für jedes Element erfolgen folgende Auswertungen:

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

Für jedes Element erfolgt die Beschreibung in der Reihenfolge Artenvergleich – Stoffgehalte in *P.s.* - Stoffgehalte in *S.p.* - Stoffgehalte in *H.c.*. 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.

Einschränkungen. Bei den bei SCHRÖDER (2002 b) vorgestellten landesweiten moosartenspezifischen Mediendarstellungen wird darauf verwiesen, dass die verglichenen Stichproben z.T. sehr klein und räumlich nie identisch sind. Durch den nachfolgend vorgestellten bundesweiten Elementvergleich lassen

sich größere Stichproben vergleichen, wodurch ein Medianvergleich statistisch plausibler wird. Räumliche Einschränkungen, die auf den Vergleich von Zentraltendenzen von Messwertverteilungen aus unterschiedlichen räumlichen Stichproben aus unterschiedlichen Ökosystemen zurückzuführen sind, bleiben auch hier gleichermaßen bestehen.

Ergebnisse. Im Folgenden werden die in den Moos-Monitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000 analysierten Standard- und Zusatzelementgehalte im Sinne einer Zusammenfassung beschrieben. Die Darstellung erfolgt länderunabhängig für den gesamtdeutschen Raum in Form von Mediandiagrammen. Die jeweiligen Standard- bzw. Zusatzelemente sind dabei auf der Abzisse aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Ordinatenskalierung logarithmiert worden. Entsprechend der Vorgehensweise im Kapitel 3 wird zwischen Standardelementen (→ Kapitel 4.1) und Zusatzelementen (→ Kapitel 4.2) unterschieden.

4.1 Standardelemente

Artenvergleich. Der Vergleich der in *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* in den Moosmonitoring-Kampagnen 1990, 1995 und 2000 ermittelten Standardelementgehalte zeigen die Abbildung 42 bis Abbildung 44. Im Einzelnen lässt sich festhalten, dass

- *H.c.* 1990 für Arsen, Cadmium, Kupfer, Nickel und Blei, sowie 1995 und 2000 für alle Standardelemente außer Kupfer und Zink die höchsten Mediane aufweist,
- *S.p.* 1990 für Chrom, Eisen und Zink sowie 1995 und 2000 für Kupfer und Zink die höchsten Mediane aufweist sowie
- *P.s.* 1990, 1995 und 2000 für Cadmium und Eisen, 1990 und 1995 für Arsen und Quecksilber, 1990 und 2000 für Zink, 1990 für Nickel, 1995 für Chrom und Titan sowie 2000 für Kupfer die niedrigsten Mediane aufweist.

H.c. zeigt in allen drei Kampagnen häufig höhere Werte als *P.s.* und *S.p.* sowie *P.s.* häufig die niedrigere Mediane. Weiterhin fällt die tendenzielle Übereinstimmung zwischen dem moosartenspezifischen Medianvergleich aus 1995 (→ Abbildung 43) und 2000 (→ Abbildung 44) auf.

Abbildung 42: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990 – moosartenspezifisch

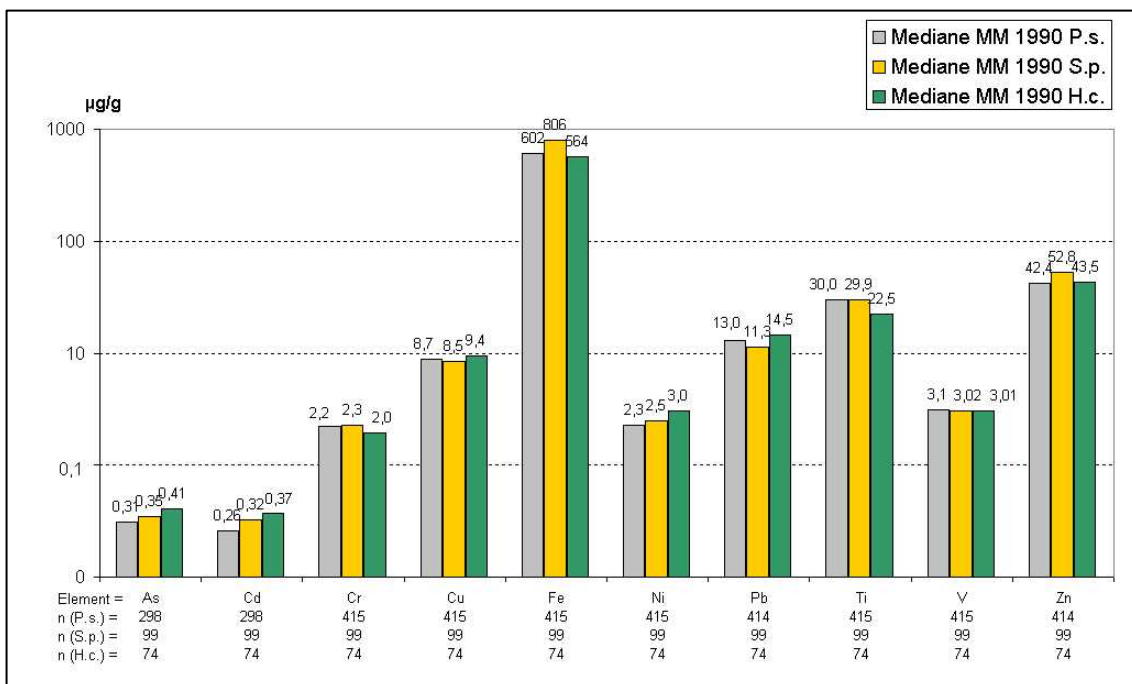


Abbildung 43: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 – moosartenspezifisch

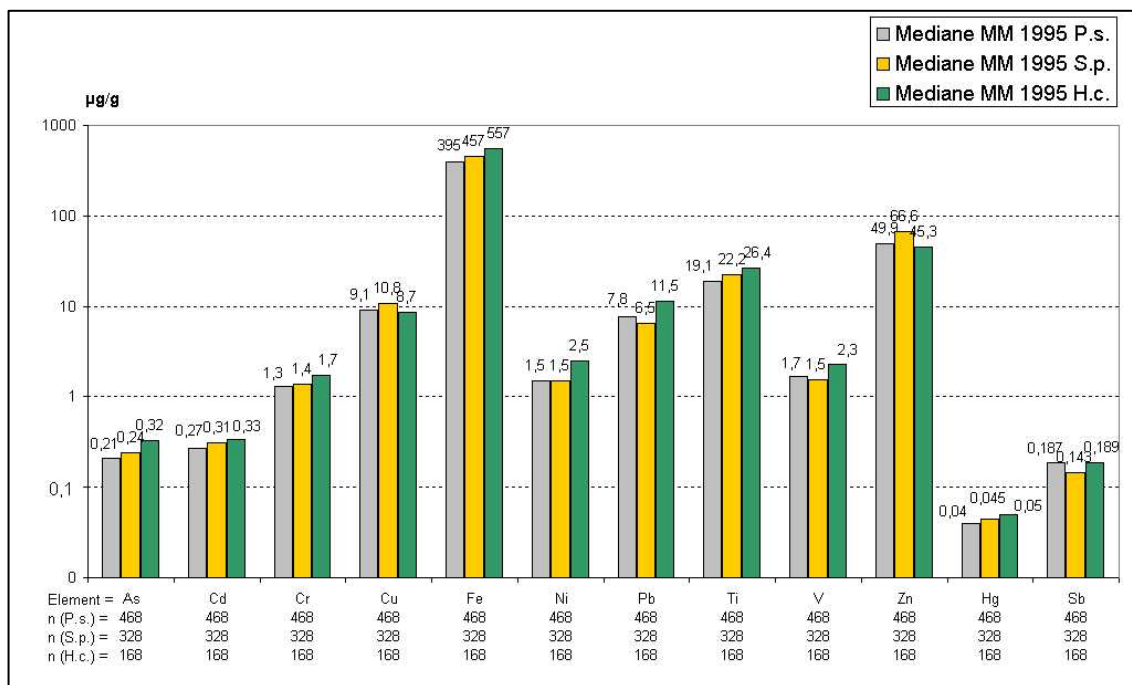


Abbildung 44: Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 2000 – moosartenspezifisch

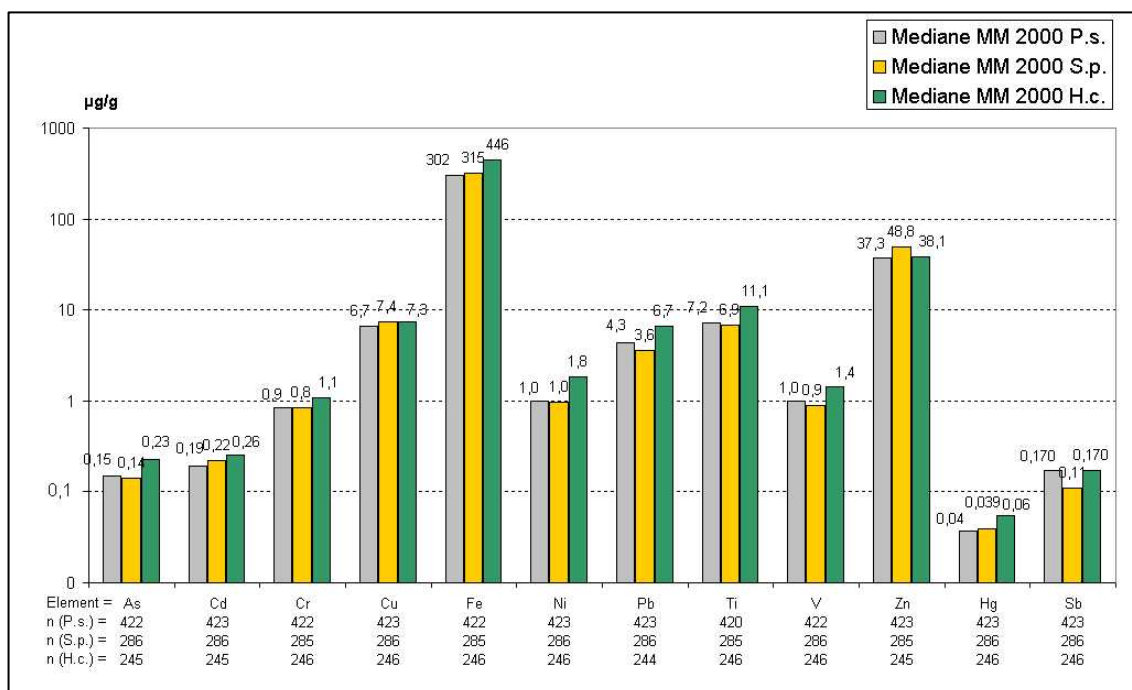
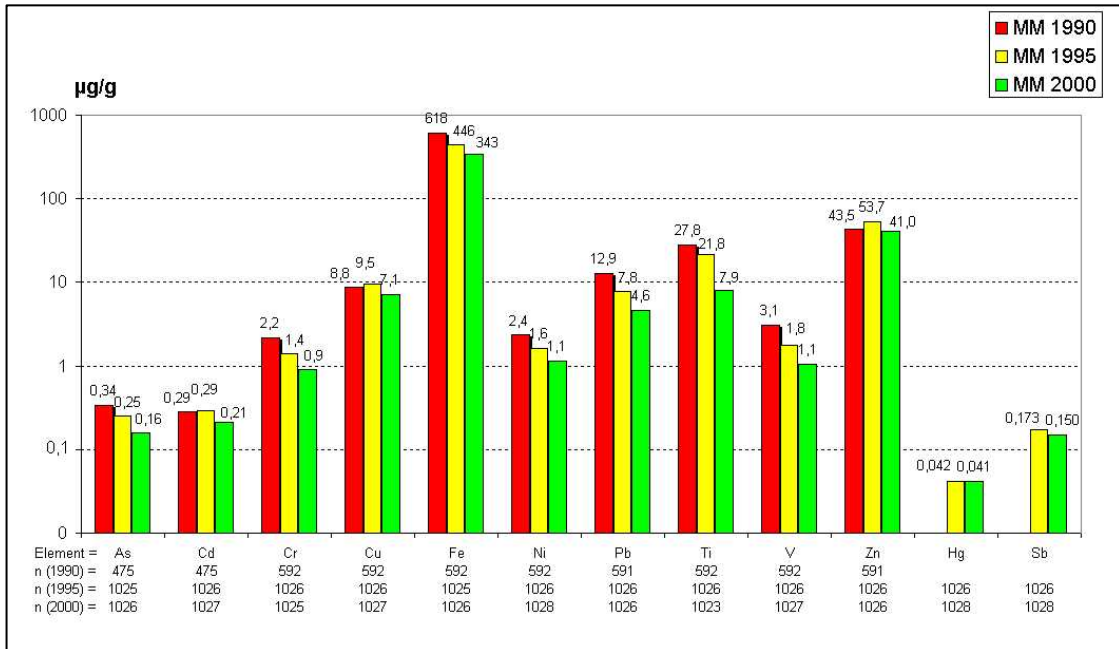


Abbildung 45: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 – moosartenunspezifisch



Standardelemente in *P.s.*, *S.p.*, *H.c.*. Vergleicht man die artenunspezifischen Mediane der Standardelemente in Abbildung 45 mit den für *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* ermittelten Medianen in Abbildung 46 bis Abbildung 48 lässt sich festhalten, dass

- *H.c.* 1990, 1995 und 2000 für Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Blei, 1995 und 2000 für Vanadium, Quecksilber und Antimon, 1990 und 2000 für Kupfer höhere Mediane aufweist,
- *S.p.* 1990, 1995 und 2000 für Cadmium und Zink und 1990 und 1995 für Chrom, Eisen und Titan höhere Mediane aufweist und
- *P.s.* bis auf Blei (1990) und Antimon (1995 und 2000) niedrigere Mediane aufweist .

Der Vergleich der moosartenunspezifischen Mediandarstellung mit der artenspezifischen Darstellung zeigt große Übereinstimmungen in Bezug auf die Entwicklung der Elementgehalte seit 1990. So können bis auf Cadmium in *H.c.* und *S.p.*, Kupfer in *S.p.*, Titan in *H.c.* und Quecksilber in *H.c.* identische Rückgangstendenzen ausgemacht werden.

Abbildung 46: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – *Pleurozium schreberi*

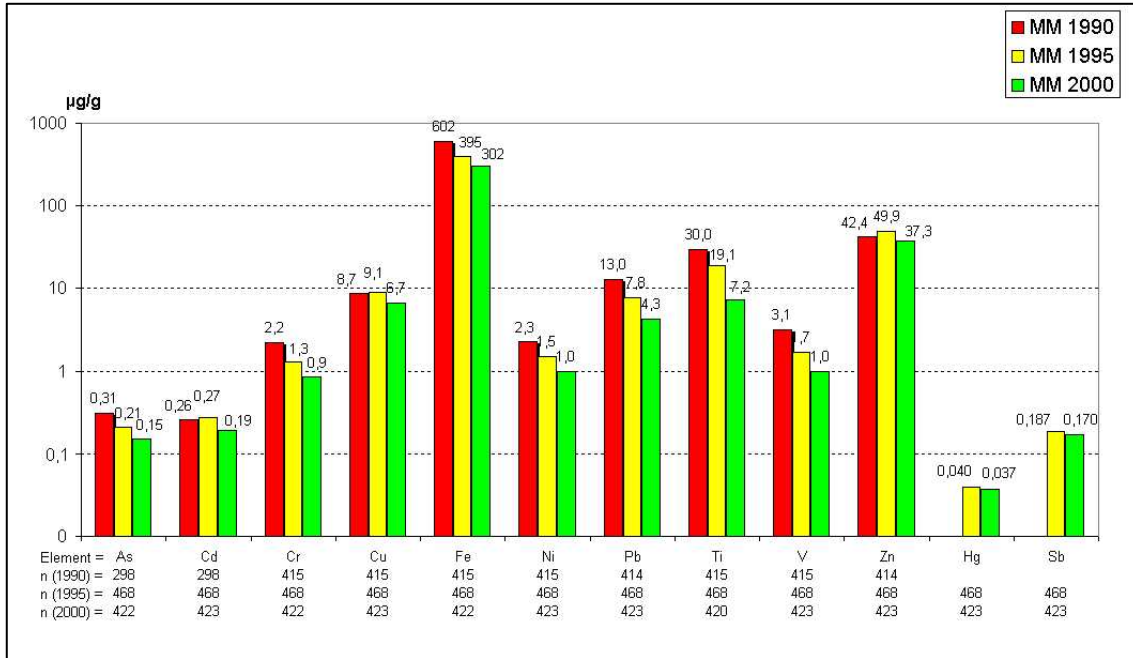


Abbildung 47: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – *Scleropodium purum*

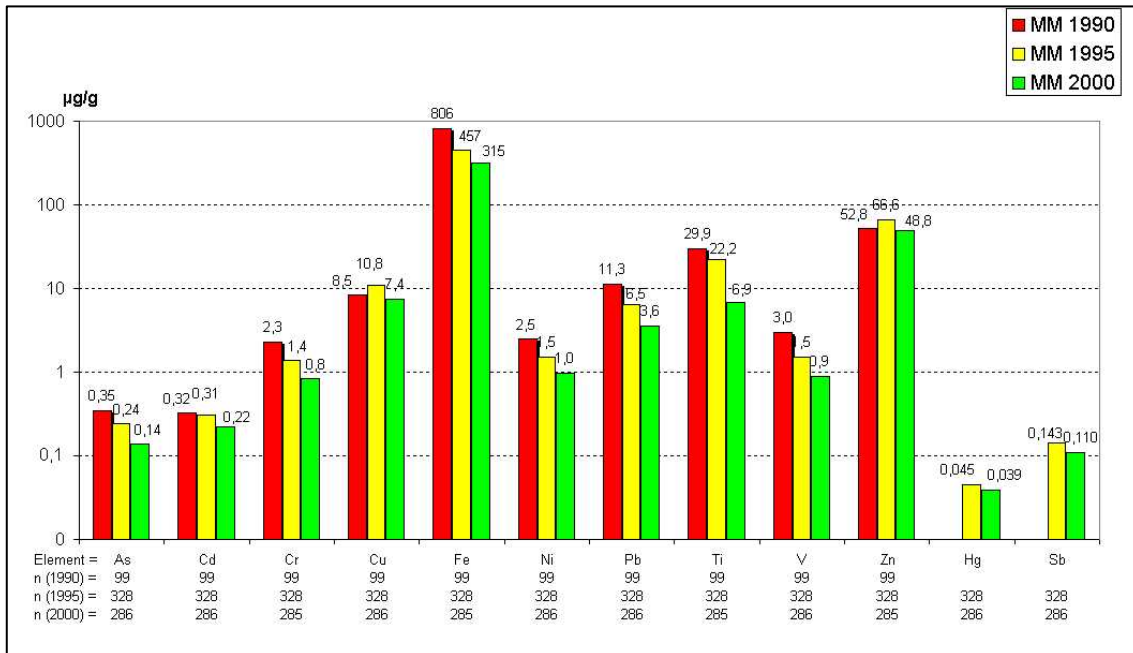
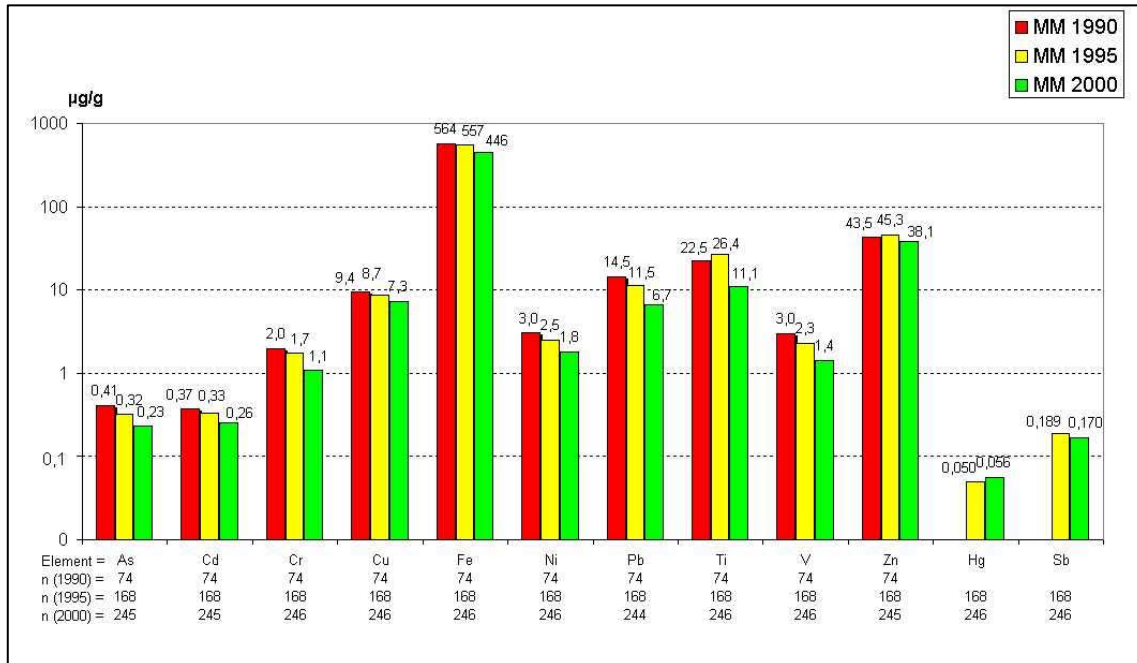


Abbildung 48: Deutschlandweite Darstellung der Standardelement-Mediane im Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 für – *Hypnum cupressiforme*



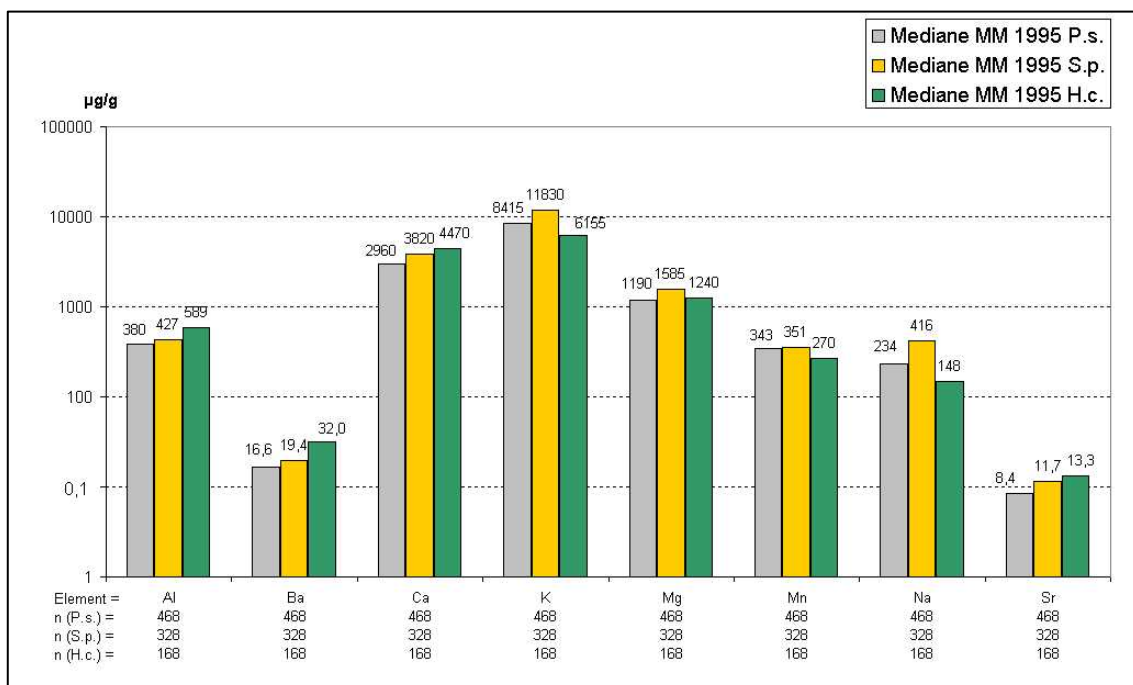
4.2 Zusatzelemente

Artenvergleich. Der Vergleich der in *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* in den Moos-Monitoring-Kampagnen 1995 und 2000 ermittelten Zusatzelementgehalte zeigen Abbildung 49 und Abbildung 50. Es lassen sich folgende Auffälligkeiten festhalten:

- 1995 und 2000 zeigen Aluminium, Barium, Calcium und Strontium die höchsten, Kalium, Mangan und Natrium die niedrigsten Mediane in *H.c.*.
- 1995 und 2000 zeigen Kalium, Magnesium und Natrium die höchsten Mediane in *S.p.*.
- 1995 und 2000 zeigen Barium, Calcium, Magnesium und Strontium die niedrigsten Mediane in *P.s.*.
- Mangan zeigt 1995 den höchsten Median in *S.p.*, 2000 in *P.s.*.

Wie bereits bei den Standardelementen zu beobachten war, gibt es hinsichtlich des Artenvergleichs auffällige Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen des Moos-Monitoring 1995 und 2000. Nur Mangan und Aluminium weisen Unterschiede auf.

Abbildung 49: Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 - moosartenspezifisch

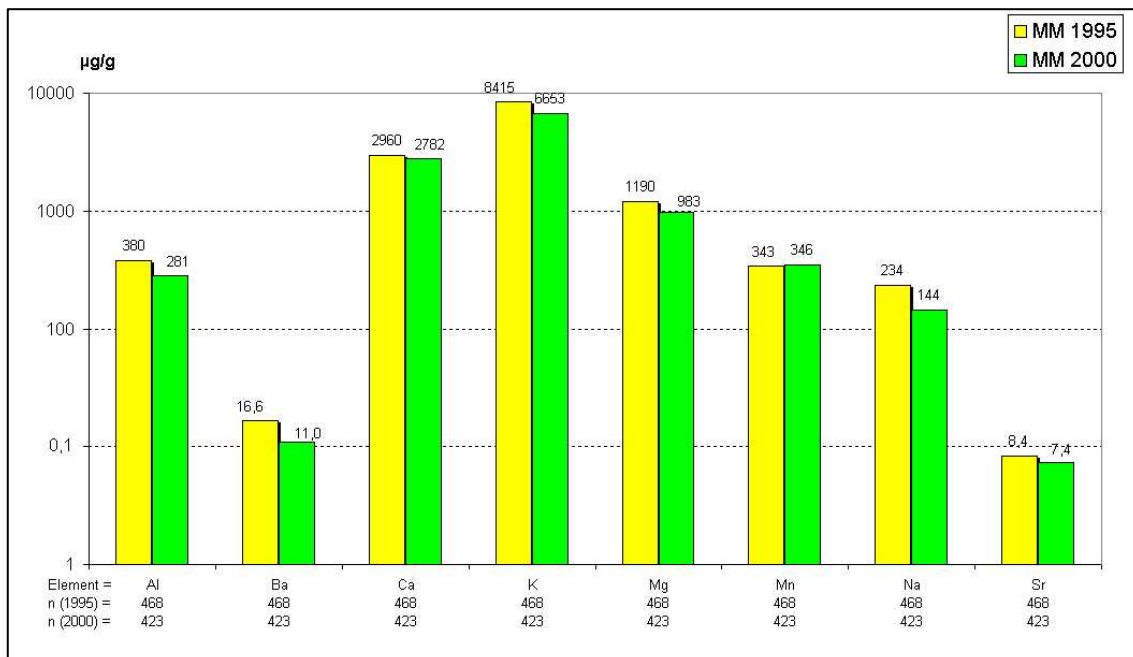


Zusatzelemente in *P.s.*, *S.p.*, *H.c.*. Vergleicht man die artenunspezifischen Mediane der Zusatzelemente in Abbildung 51 mit den für *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* ermittelten Medianen in Abbildung 52 bis Abbildung 54 lässt sich festhalten, dass

- *H.c.* 1995 und 2000 für Aluminium, Barium, Calcium und Strontium höhere Mediane aufweist,
- *S.p.* 1995 und 2000 für Calcium, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium und Strontium höhere Mediane aufweist und
- *P.s.* 1995 und 2000 bis auf Mangan durchgängig niedrigere Mediane für die Zusatzelemente aufweist.

Weiterhin kann festgehalten werden, dass sowohl der artenunspezifische Medianvergleich als auch die artenspezifischen Medianvergleiche von 1995 und 2000 in allen Fällen abnehmende Tendenzen erkennen lassen.

Abbildung 52: Deutschlandweite Darstellung der Zusatzelement-Mediane im Moos-Monitoring 1995 und 2000 für – *Pleurozium schreberi*



Fazit. Um der Moosartenvariabilität Rechnung zu tragen, wurde für die Moosarten *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* die Zentralität der Messungen der Standardelemente sowie der Zusatzelemente bundesweit durch Medianbalkendiagramme beschrieben. Bei diesen moosartenspezifischen Mediandarstellungen muss darauf verwiesen werden, dass die verglichenen Stichproben räumlich nie identisch sind. Allerdings lassen sich durch einen bundesweiten Elementvergleich größere Stichproben vergleichen, wodurch ein Medianvergleich statistisch plausibler wird. Zusammenfassend zeigt die Tabelle 30 die Verhältnisse der bundesweiten Mediane von *P.s.*, *S.p.* und *H.c.* aus allen drei Monitoring Kampagnen. Den fett markierten Quotienten liegen auf den 5% Niveau keine signifikanten Unterschiede zwischen den Moosarten zugrunde⁵.

Tabelle 30: Verhältnis zwischen *P.s.*, *S.p.* und *H.c.*

	MM_1990			MM_1995			MM_2000			Mittelwerte		
	Ps/Sp	Ps/Hc	Sp/Hc	Ps/Sp	Ps/Hc	Sp/Hc	Ps/Sp	Ps/Hc	Sp/Hc	Ps/Sp	Ps/Hc	Sp/Hc
As	0,89	0,76	0,85	0,87	0,65	0,74	1,07	0,65	0,61	0,94	0,69	0,73
Cd	0,81	0,70	0,86	0,88	0,81	0,93	0,86	0,75	0,86	0,85	0,75	0,88
Cr	0,98	1,14	1,17	0,95	0,75	0,79	1,01	0,79	0,78	0,98	0,90	0,91
Cu	1,03	0,93	0,90	0,84	1,05	1,25	0,90	0,91	1,01	0,92	0,96	1,05
Fe	0,75	1,07	1,43	0,87	0,71	0,82	0,96	0,68	0,71	0,86	0,82	0,98
Ni	0,91	0,75	0,82	1,01	0,61	0,60	1,02	0,55	0,54	0,98	0,63	0,65
Pb	1,15	0,89	0,78	1,19	0,68	0,57	1,21	0,65	0,53	1,19	0,74	0,63
Ti	1,00	1,33	1,33	0,86	0,72	0,84	1,05	0,65	0,62	0,97	0,90	0,93
V	1,04	1,04	1,00	1,11	0,74	0,67	1,12	0,69	0,62	1,09	0,82	0,76
Zn	0,80	0,97	1,22	0,75	1,10	1,47	0,77	0,98	1,28	0,77	1,02	1,32
Hg				0,89	0,80	0,90	0,95	0,67	0,70	0,92	0,73	0,80
Sb				1,30	0,99	0,76	1,55	1,00	0,65	1,42	0,99	0,70
Al				0,89	0,65	0,72	1,06	0,65	0,61	0,98	0,65	0,67
Ba				0,85	0,52	0,61	0,75	0,42	0,56	0,80	0,47	0,58
Ca				0,77	0,66	0,85	0,79	0,62	0,78	0,78	0,64	0,82
K				0,71	1,37	1,92	0,72	1,16	1,61	0,71	1,26	1,77
Mg				0,75	0,96	1,28	0,76	0,82	1,08	0,75	0,89	1,18
Mn				0,98	1,27	1,30	1,06	1,21	1,14	1,02	1,24	1,22
Na				0,56	1,58	2,81	0,47	1,29	2,73	0,52	1,43	2,77
Sr				0,72	0,63	0,88	0,76	0,61	0,80	0,74	0,62	0,84

⁵ Als Signifikanztest wurde der Mann und Whitney U-Test verwendet.

5 Schwermetallanreicherung in Moos als Umweltindikator

Ziel des Ansatzes. "Im Gegensatz zu anderen Politikbereichen fehlt es der Umweltpolitik an einigen wenigen Messgrößen (Indikatoren), die die Beurteilung der Umweltsituation ermöglichen und damit eine Leitfunktion für die politische Diskussion übernehmen können" (BMU 1998). Es gibt viele Vorschläge für solche Umweltindikatoren auf nationaler und internationaler Ebene (WEBER-BLASCHKE et al. 2002). Darunter sind jedoch bisher keine, mit denen die ökologische Wirkung von Stoffeinträgen in die Biosphäre beurteilt werden könnte. Wirkungen von Stoffimmissionen als physiologische oder morphologische Veränderungen von Organismen mit kausaler Zuordnung zu chemischen Agenzien sind jedoch im Ökosystem mit all seinen Einflussfaktoren sehr schwer zu erheben. Einfacher ist die Bestimmung von Stoffkonzentrationen in Organismen. Da in vielen Fällen die Anreicherung von Schadstoffen (Akkumulation) den ersten Schritt zur Wirkung darstellt, wird sie bei der Bioindikation als Wirkung an sich angesehen.

Im bundesweiten Moos-Monitoring wird die Akkumulation von Metallen in einer Messnetzdicke und Ausdehnung erhoben, wie sie für Biomonitoring in Deutschland wohl einmalig ist. Darüber hinaus ist durch die Abstimmung zwischen allen Ländern eine sehr hohe Standardisierung des Probenentnahme- und Analyseverfahrens erreicht worden. Damit sind weitgehende Voraussetzungen geschaffen, die Daten der Länder bei geeigneter Aufbereitung miteinander vergleichen zu können und Schlüsse für einen definierten Ausschnitt des Umweltzustandes zu ziehen – also einen Umweltindikator zu gestalten.

Dargestellt werden soll mit dem Umweltindikator die Immissionswirkung der Metalle im Hintergrundbereich, also außerhalb der Belastungsschwerpunkte, die sich am Besten auf Basis der Länder-Mediane beschreiben lässt. Zur Beschreibung von Belastungsschwerpunkten ist ein Rastermessnetz nur eingeschränkt geeignet, hierfür wäre eine emittentenorientierte Messstrategie notwendig.

Die Ergebnisse der einzelnen Elemente können nur zu einem Umweltindikator zusammengefasst werden, wenn sie derart transformiert werden, dass die metallabhängig unterschiedlichen Konzentrationsbereiche ohne Gewichtung Verzerrung addierbar sind. Ist diese Transformation geschehen, können alle oder beliebige thematisch begründete Stoffgruppen zu aggregierten Indikatoren verrechnet werden.

Methode. Transformation bedeutet hier (PEICHL 2001): Umrechnung der Messergebnisse in **relative Einheiten = Indizes**. Diese müssen sich auf **stoff- und methodenabhängige Festwerte = Bezugswerte** beziehen, damit Tendaussagen möglich sind. Als Bezugswerte werden die für Deutschland geltenden Medianwerte der Monitoringkampagnen 1995 und 2000 verwendet.

In die Berechnungen sind folgende Elemente einbezogen: Aluminium, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Nickel, Titan, Vanadium und Zink:

- Im ersten Schritt werden für jedes Element die Mediane für Deutschland der Jahre 1995 und 2000 gemittelt. Diese Mittelwerte stellen die Element-**Bezugswerte** für die Metall-**Index**-Berechnungen dar.
- Im zweiten Schritt werden die Einzelelement-Mediane der Länder durch die entsprechenden Element-**Bezugswerte** dividiert und dadurch zu **Indizes** umgerechnet. Die Indizes sind mit zwei Kommastellen angegeben, damit Veränderungen im Prozentbereich dargestellt werden können.

In Tabelle 31 ist ein Umrechnungsbeispiel beschrieben. Die so errechneten Indizes aller genannten Elemente können nun für jedes Land zu einem "Umweltindikator" (Gesamt-Metallindex) gemittelt werden.

Tabelle 31: Indexberechnung am Beispiel Arsen

	Median_90	Index 90	Median_95	Index 95	Median_00	Index 00
	mg/kg		mg/kg		mg/kg	
BB			0,311	1,55	0,193	0,96
BW	0,396	1,98	0,268	1,34	0,195	0,98
BY	0,319	1,60	0,172	0,86	0,110	0,55
HE	0,271	1,36	0,207	1,03	0,103	0,51
MV			0,260	1,30	0,160	0,80
NI	0,271	1,36	0,190	0,95	0,120	0,60
NW	0,358	1,79	0,165	0,83	0,160	0,80
RP	0,348	1,74	0,263	1,32	0,190	0,95
SH	0,220	1,10	0,220	1,10	0,150	0,75
SL	0,478	2,39	0,426	2,13	0,280	1,40
SN	1,471	7,36	0,515	2,58	0,300	1,50
ST	0,463	2,32	0,295	1,48	0,160	0,80
TH	0,430	2,15	0,307	1,54	0,240	1,20
BRD	0,338	1,69	0,249*	1,25	0,160*	0,80

*) Median-Mittelwert BRD 1995 / 2000 = 0,20 mg/kg = Bezugswert für As

Ergebnisse. Abbildung 55 zeigt die Zeitverläufe der Schwermetallindizes im Ländervergleich. Die Länder Berlin und Hamburg sind nicht einbezogen, da nur 3 bzw. 4 Messwerte vorliegen.

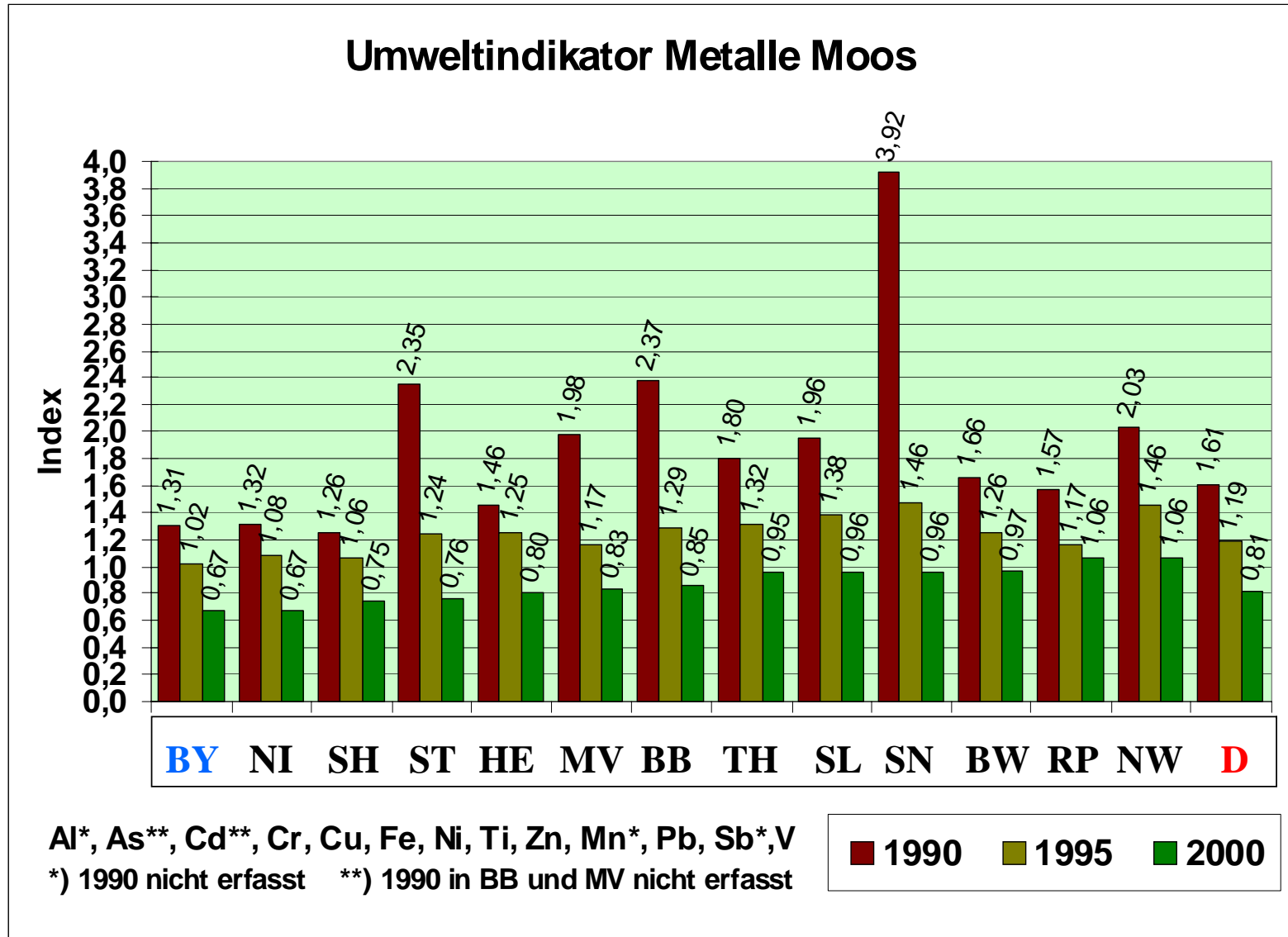
Es wird deutlich, dass in allen Ländern Luftreinhaltmaßnahmen zu erheblichen Minderungen der Immissionswirkungen geführt und ein sehr einheitliches Niveau erreicht haben. Besonders deutlich sind die Maßnahmen in den neuen Ländern abzulesen. Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen stehen als Länder mit hoher Bevölkerungs- und Industriedichte an letzter Stelle, die Flächenstaaten Bayern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein führen den Vergleich an.

Unerwartet weit hinten liegt Baden-Württemberg. Nur in diesem Land wurde als Hauptmoosart *Hypnum cupressiforme* mit 76 von 78 Proben gesammelt. Alle anderen Länder beprobten überwiegend oder zumindest mit sehr hohen Anteilen *Pleuro-*

zium schreberi. Beim Vergleich der moospezifischen Mediane der Ergebnistabellen fällt auf, dass *H.c.* oftmals höhere Werte als *P.s.* anzeigt. Um diese moospezifischen Unterschiede statistisch eindeutig zu belegen, müssten standortgenaue Probenvergleiche durchgeführt werden. Errechnet man hilfsweise für jedes Metall einen Faktor aus den Unterschieden der BRD-Mediane 2000 für *H.c.* und *P.s.* und mittelt diese über alle im Indikator zusammengefassten Elemente, so wären die Jahresindizes für Baden-Württemberg mit einem mittleren Faktor von 0,73 zu multiplizieren. Baden-Württemberg würde damit an die dritte Stelle rücken.

Der Umstand, dass die verschiedenen Moosarten auch unterschiedlich Stoffe anreichern, und die daraus resultierende Ungewissheit für einen Ländervergleich anhand eines Umweltindikators verdeutlicht: Vergleiche, ob durch Umweltindikatoren oder bundesweite Ergebnisdarstellungen in Kartenform sind auch bei hoher Standardisierung der Mess- und Erhebungsverfahren in Kenntnis natürlich oder messtechnisch bedingter Schwankungsbreiten von Ergebnissen kritisch zu hinterfragen.

Abbildung 55: Umweltindikator Metalle Moos – Ländervergleich



6 Optimierung der Moosprobenentnahme

Ausgehend von den Erfahrungen der Moos-Monitoring-Projekte 1990, 1995 und 2000 wurden von den Probenentnehmern der Länder kritische Anmerkungen zur Durchführung des Moos-Monitorings allgemein und speziell zur Probenentnahmerichtlinie gemacht. Die in Form von Gesprächsnotizen, Kurzberichten und E-mail Korrespondenzen vorliegenden Anmerkungen wurden ausgewertet und im Anhang C.2 zusammengefasst. Ein sehr ausführlicher, aus Baden-Württemberg stammender Kurzbericht befindet sich im Anhang C.3. Im Folgenden soll ausgehend von den Anmerkungen der Probenentnehmer ein Entwurf einer präzisierten Probenentnahmerichtlinie vorgestellt werden. Diese modifizierte Richtlinie umfasst Vorschriften für die Durchführung der Probenentnahme am Standort und für die Dokumentation der Probenentnahmebedingungen und Standortkriterien, welche für die Datenqualität und Auswertung wichtig sind.

Aufbauend auf der Datenbankstruktur der UBA-Moos-Datenbank wurde in der Bearbeitungszeit des Moos-Monitoring 2000 ein Konzept für ein Internet- und GIS-gestütztes Umweltmonitoring-System (IGUS) entworfen (→ Kapitel 7.2). Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise ist allerdings noch auf die Verwendung der UBA-Moos-Datenbank als digitales Datenabfrage und -erfassungstool ausgerichtet. Die im Anhang C.2 dokumentierten kritischen Anmerkungen der Probenentnehmer haben bereits zu dem Entwurf eines leicht modifizierten Probenentnahmeformulars geführt (→ Anhang C.4).

Die bisherige Probenentnahmerichtlinie lässt sich in folgende Teilbereiche gliedern:

- Materialien und Gerätschaften,
- Moosprobenentnahme,
- Moosarten,
- Vermeidung von Lokaleinflüssen sowie

- Standortdokumentation.

Im Folgenden wird der Entwurf einer Probenentnahmerichtlinie zur Diskussion gestellt, welche die genannten Aspekte präzisiert.

Materialien und Gerätschaften. Für die Probenentnahme im Gelände werden folgende Gerätschaften benötigt:

- Polyethylen-Beutel (2-3 l Füllvolumen),
- Papierhandtücher,
- Spritzflasche mit destilliertem Wasser (alternativ: Vinylhandschuhe),
- Schreibutensilien (wasserfeste Filzstifte, Kugelschreiber, Bleistift),
- TK25 – Blätter oder anderes Kartenmaterial,
- GPS (Global Positioning System),
- schriftliche Erlaubnis zur Probenentnahme von der durchführenden Behörde sowie
- Probenentnahmeprotokolle.

Die Standortdokumentation erfordert folgende Gerätschaften:

- PC mit Drucker,
- Datenbankprogramm MS Access (Version 97),
- aktuelle Version der Access-Moos-Datenbank.

Moosprobenentnahme. Die Moosproben sind in offenen Gras-, Heide- oder Mooregebieten oder in offenen Waldgebieten ohne Kronentraufe vom Boden oder von Baumstümpfen zu nehmen. Abweichend davon kann in Ballungsräumen, Verdichtungsräumen und Stadtstaaten die Entnahme von Moosen in Stadtförsten und Parkanlagen durchgeführt werden.

Die Gesamtprobe einer jeden Probenentnahmestelle sollte aus mindestens 5 (maximal 10) zufällig ausgewählten Teilproben eines Flächenareals von 50 m mal 50 m bestehen.

Die Moosproben sollen als kleine Polster entnommen werden und nur grob von Verschmutzungen durch Bestandsabfall, Boden oder anderem Material gesäubert werden. Es ist allerdings auf Verunreinigungen mit Lehm, Ameisen und Kalkmengen zu achten. Solche Teilproben sind zu verwerfen. Die Gesamtprobenmenge eines Probenentnahmestandorts sollte ein Frischevolumen von 1-2 l (5-10 g Trockengewicht) ergeben.

Bei der Probenentnahme können Vinylhandschuhe verwendet werden. Alternativ dazu sind die Hände direkt im Vorfeld der Probenentnahme mit Wasser (aqua dest.) zu säubern. Dazu muss ein Vorrat an Wasser und Papierhandtüchern mit ins Gelände genommen werden, um die Hände direkt vor der Probenentnahme zu säubern. Während der Probenentnahme ist das Rauchen untersagt.

Die Teilproben, die jeweils einzeln in Plastiktüten verpackt werden sollen, dürfen nur eine Moosart enthalten. Zur späteren Identifizierung der Probenentnahmestandorte ist eine genaue und lesbare Beschriftung der Plastiktüten mit einem wasserfesten Stift erforderlich. Die Beutel müssen alle eine Standortbezeichnung tragen, bestehend aus der Standort-ID und der fortlaufenden Nummerierung der Teilprobe (z.B. Ni98-1, Ni98-2, Ni98-3, Ni98-n). Diese 5-10 Einzelplastiktüten (Polyethylen-Beutel) müssen in eine große Plastiktüte verpackt werden. In diese Sammeltüte sollte zusätzlich noch ein Papier mit Angaben zur Nummer der Probenentnahmestelle und der Anzahl der Teilproben gelegt werden. Eine Kopie des ausgefüllten Probenentnahmeformulars und der topografischen Karte, in die die Probenentnahmestandorte durch einen Kreis und die Standortbezeichnung eingetragen sind, ist ebenfalls beizufügen.

Die Proben müssen sorgfältig verpackt im Frischzustand innerhalb von sieben Tagen zum Moospräparator gelangen, wenn sie nass sind in 3-4 Tagen. Bis zum Versand sind die Proben dunkel und kühl zu lagern.

Moosarten. Die Wahl des zu beprobenden Moores erfolgt nach der Prioritätenliste:

- *Pleurozium schreberi* (Priorität 1)
- *Scleropodium purum* (Priorität 2)
- *Hypnum cupressiforme* (Priorität 3)

Hylocomium splendens darf nicht mehr entnommen werden. Primär gilt es, die im Vorgängerprojekt beprobte Moosart zu beproben. Ist diese nicht zu finden, ist die Reihenfolge der Prioritätenliste zu beachten.

Sind die Haupt- und Ersatzmoosarten nicht zu finden, ist innerhalb eines 2000 m Radius um den alten Probenentnahmestandort nach einem Alternativstandort zu suchen. Es gilt dabei, zunächst die in dem Vorgängerprojekt beprobte Moosart zu suchen. Lässt sich diese nicht finden, ist nach der Prioritätenliste vorzugehen. Sind auch im Umkreis von 2 km um den alten Probenentnahmestandort keine der Moosarten unter den vorgeschriebenen Standortbedingungen (s.o.) zu finden, soll ein möglichst geringfügig entfernter Probenentnahmestandort herangezogen werden. Dieser – und das ist wichtig – erhält eine neue Standort-ID (s.u).

Auf die in den bisherigen Moos-Monitoringkampagnen beprobten *Fehlarten*⁶ sollte nur dann zurückgegriffen werden, wenn sich unter den beschriebenen Bedingungen keine der Haupt- und Ersatzmoosarten wiederfinden lassen. Die-

⁶ Als Fehlarten werden Moosarten bezeichnet, die nicht in der Prioritätenliste (*P.s.*, *S.p.*, *H.c.*, *H.s.*) aufgeführt sind.

se Vorgabe gilt auch dann, wenn in dem Vorgängerprojekt an dem entsprechenden Standort eine Fehlart beprobt wurde.

Vermeidung von Lokaleinflüssen. Um den direkten Einfluss der Kronentraufe von Gehölzen zu vermeiden, sollte jede Probenentnahmestelle so plaziert sein, dass die Moose weit außerhalb des Traufbereichs entnommen werden (ca. 5-10 m vom äußeren Rand des Kronenraumes). Moose niederer Priorität außerhalb des Kronentraufbereichs sind denen höherer Priorität, die sich innerhalb der Kronentraufe befinden, vorzuziehen.

Folgende Mindestabstände von potenziellen Emissionsquellen sind einzuhalten:

Tabelle 32: Mindestabstände zu potenziellen Emissionsquellen

potenzielle Emissionsquellen	Abstand [m]
Autobahnen und Landstraßen	300
Hochspannungsleitungen	200
Siedlungen	300
Industrieanlagen	1000
Wald- und Forstwege	100
offene Feldwege	100
Zäune	1-2

Standortdokumentation. Die Standortdokumentationen der bisherigen Moos-Monitoring-Vorhaben liegen in der MS Access-Version der UBA-Moos-Datenbank (Stand: April 2002; Dateibezeichnung: Moos-Datenbank.mdb) vor. Diese Informationen können in Form digitaler Probenentnahmeformulare in der Datenbank recherchiert und bei Bedarf ausgedruckt werden. Leere Formulare sind als Dokumentationsgrundlage zu verwenden. Die in der Moos-Datenbank vorliegenden Standorte sind gegenüber neuen Probenentnahmestellen vorzu-

ziehen. Die zum Auffinden des Probenentnahmestandortes der Vorgängerprojekte benötigten Karten müssen bei den Behörden angefordert oder anderweitig besorgt werden. Vorzuziehen sind TK-25 Blätter. Größere Maßstäbe sind zweckmäßig, kleinere unzuverlässig.

Bei der Standortdokumentation sind alle Eingabe-Felder der Probenentnahmeprotokolle auszufüllen. Begleiterscheinerungen, die dem Probenentnehmer erwähnenswert erscheinen, die das Probenentnahmeformular aber nicht enthält, sind im Kommentarfeld zu notieren. Allgemein gilt, dass es besser ist, mehr Informationen über den Standort zu notieren als zu wenig.

Vor allem ist auf die genaue Aufnahme der Standortkoordinaten zu achten, am besten nach deren Erfassung mit einem Global Positioning System (GPS). Die Koordinatenangaben sollten sich auf das Gauß-Krügerkoordinatensystem (Bezugsellipsoid Bessel; Datum Potsdam). Die Entfernung zu potenziellen Emissionsquellen ist aus der kartografischen Übersicht (z.B. TK-25) mit einem Lineal abzumessen und im Kommentarfeld zu notieren.

Bei der Vergabe einer neuen Standort-ID ist die fortlaufende Nummerierung des jeweiligen Landes fortzuführen. Zusatzinformation, wie etwa die Nähe zu einem Standort eines anderen Umweltbeobachtungsprogramms, ist im Kommentarfeld des Probenentnahmeprotokolls zu notieren.

Wurde ein Standort über 2000 m vom alten Standort verlegt, ist eine neue Standort-ID zu vergeben. Der alte Standort ist ebenso wie der Grund für die Verlegung in dem Kommentarfeld des Probenentnahmeprotokolls zu dokumentieren.

Die ausgefüllten Probenentnahmeprotokolle als Kopie (mitsamt der entnommenen Moosproben, s.o) sind an den Moospräparator zu verschicken. Die im Feld

aufgenommenen Standortprotokolle sind in die Access-Moos-Datenbank zu digitalisieren und an die Koordinationsstelle per E-Mail zu übermitteln.

7 Optimierung der Datenbankstruktur

Aufgrund der Vielzahl der im Moos-Monitoring erhobenen Daten ist das *Datenhandling* wichtig. Bereits in den beiden Vorgängerprojekten wurde aus diesem Grund die in Kapitel 6 erwähnte Access-Datenbankanwendung (= UBA-Moos-Datenbank) entwickelt. Diese Anwendung bildete neben dem Moos-GIS (→ Kapitel 9) das Basiswerkzeug für die digitale Zusammenführung der verschiedenen Informationsschichten im Moos-Monitoring 2000. Aufgrund der heterogenen Datenstruktur konnte die Zusammenführung der in den bisherigen drei Moos-Monitoring-Projekten erhobenen Daten nicht vollständig durchgeführt werden. Um dies zukünftig zu gewährleisten, wurde daher die bisherige Datenbankstruktur im Moos-Monitoring überarbeitet (→ Kapitel 7.1). Vor dem Hintergrund der Planung eines zukünftigen Moos-Monitorings wurde weiterhin ein Konzept für ein Internet- und GIS-gestütztes Umweltmonitoring (IGUS) erarbeitet (→ Kapitel 7.2).

In den nachstehenden Ausführungen wird zwischen *standortbeschreibenden Datensätzen* und *Laborergebnissen* unterschieden. Bei den standortbeschreibenden Datensätzen handelt es sich um die auf der Basis der Eingabemaske der UBA-Moos-Datenbank von den Probenentnehmern bzw. den Auftragnehmern digitalisierten Standortkriterien. Die Laborergebnisse entsprechen den in den Moosproben gemessenen Elementgehalten.

7.1 Überarbeitung der bisherigen Datenbankstruktur

Hintergründe. Ein wesentliches Ziel des Moos-Monitorings ist es, die aus den chemischen Moosanalysen gewonnenen Ergebnisse in Beziehung zu natürlichen und anthropogenen Standortfaktoren zu setzen. Aus diesem Grund haben die Probenentnehmer in allen drei Moos-Monitoring-Vorhaben in das Probenentnahmeformular der UBA-Moos-Datenbank Standortbeschreibungen eingetragen (→ Kapitel 6; Anhang C). Die im Gelände dokumentierten Standortkriterien wurden jeweils nach Abschluss der Probenentnahme in die Access-Anwendung überführt. Die automatisierte Verknüpfung der im Labor analysierten Elementgehalte mit den jeweiligen standortbeschreibenden Datensätzen sollte anschließend über den Import der als ASCII- oder Excel-Tabelle vorliegenden Labordatensätze in die UBA-Moos-Datenbank erfolgen.

Zielsetzung. Eine Überprüfung der dieser Access-Anwendung zugrunde liegenden Datenbankstruktur ergab, dass die Zusammenführung der in den bisherigen Moos-Monitoring-Vorhaben erhobenen Daten nicht ohne erhebliche Zusatzenarbeiten gewährleisten werden konnte. Gründe hierfür sind v.a. die heterogene Struktur der in den bisherigen Moos-Monitoring-Vorhaben angelegten Datentabellen. Eine Zusammenführung und automatisierte Auswertung der Ergebnisse der chemischen Moos-Analytik und der Standortbeschreibungen konnte im Bearbeitungszeitraum des Moos-Monitorings 2000 daher nicht durchgeführt werden. Auch wies die UBA-Moos-Datenbank als Instrumentarium für die Zusammenführung von standortbeschreibenden Datensätzen und Laborergebnissen Redundanzen auf, was einen optimalen Datenzugriff, eine flexible Datenhaltung sowie die eindeutige Verknüpfung von Labor- und Standortdaten verhinderte. Die Ziele bei der Überarbeitung der bisherigen Art der Datenhaltung im Moos-Monitoring waren demnach die

- Homogenisierung der in den bisherigen Moos-Monitoring-Vorhaben angelegten Datentabellen (→ Kapitel 7.1.1) sowie

- die Optimierung von Datenzugriff und Datenhaltung innerhalb der UBA-Moos-Datenbank (→ Kapitel 7.1.2).

7.1.1 Homogenisierung der Datentabellen

Allgemeines. Die dem Moos-Monitoring zugrundeliegende Art der Datenstrukturierung entspricht dem sogenannten relationalen Datenbankmodell, das von CODD entwickelt wurde (CODD 1991). In diesem Datenbankmodell werden Daten in weitgehend unabhängig voneinander vorliegenden Tabellen gespeichert. Eine Tabelle besteht dabei aus Reihen, die den Datensatz enthalten (hier die Probenentnahmestandorte) und aus Spalten, welche die Attribute enthalten (hier die Standortkriterien sowie die analytischen Messergebnisse). Die in einer relationalen Datenbank vorliegenden Tabellen sind im Idealfall durch Spalten mit gleichen Attributen verknüpft. Dies wird im allgemeinen durch eine einheitliche ID-Struktur gewährleistet.

Datengrundlagen. Die zu Beginn des Moos-Monitorings übernommenen Datentabellen lagen nicht in einer einheitlichen Datenbankdatei vor, sondern in Form der UBA-Access-Datenbank (Quelle: UBA) sowie zweier ASCII-Dateien (Quelle: BGR). Die Access-Anwendung beinhaltete sämtliche im Moos-Monitoring 1990 (n = 608) und 1995 (n = 1157) aufgenommenen standortbeschreibenden Datensätze. Die zwei ASCII-Tabellen wurden freundlicherweise von Herrn Dr. Siewers von der BGR Hannover zur Verfügung gestellt und enthalten jeweils die Laborergebnisse des Moos-Monitorings 1990 (n = 592) und 1995 (n = 1025).

Die Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 2000 lagen nach Abschluss der Probenentnahme und chemischen Moos-Analytik in Form von 15 UBA-Access-Dateien (n = 1069) und einer MS Excel-Tabelle (n = 1069) vor. Die Access-Anwendungen enthielten die im Moos-Monitoring 2000 aufgenommenen stand-

ortbeschreibenden Datensätze aus den Ländern. Bei der MS Excel Tabelle handelt es sich um die Laborergebnisse der LUFA Hameln.

Die hier vorgestellten Datengrundlagen hatten unterschiedlich strukturierte Datentabellen. Dies äußerte sich vor allem in einer uneinheitlichen ID-Struktur, was die fehlerfreie automatisierte Verknüpfung der einzelnen Datentabellen verhindert. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte zur Schaffung einer einheitlichen ID-Struktur erläutert. Diese gliedern sich in die Sichtung des Datenmaterials sowie die Schaffung einer einheitlichen Syntaxstruktur. Dabei wird zwischen Proben- und Standort-ID unterschieden. Bei der Standort-ID handelt es sich um die Standortkennung einer ausgewählten Probenentnahmestelle (z.B. BB15). Diese kann allerdings mehrfach innerhalb einer Moos-Monitoringphase beprobt worden sein. Demzufolge erhält eine Probenentnahmestelle mehrere Proben-ID's (z.B. BB15-1, BB15-2).

Sichtung des Datenmaterials. Zunächst galt es, die Qualität der standortbeschreibenden Datensätze sowie der Laborergebnisse hinsichtlich Vollständigkeit, Richtigkeit und Verknüpfbarkeit zu überprüfen.

Vollständigkeit. Die aus dem Moos-Monitoring 1990 und 1995 stammenden Laborergebnisse und standortbeschreibenden Datensätze wichen im Gegensatz zu denen aus dem Moos-Monitoring 2000 in ihrer Anzahl voneinander ab. Die zahlenmäßige Abweichung war in der Dokumentation von Mehrfachbeprobungen desselben Standorts in der UBA-Moosdatenbank begründet. Die von der BGR gelieferten Laborergebnisse hingegen enthalten die Ergebnisse der Metalluntersuchungen der jeweils prioritären Moosart pro Standort. Wurden am Standort mehrere Proben derselben Moosart entnommen, wurden die Analyseergebnisse gemittelt. In den Datensätzen des Moos-Monitoring 2000 lagen die Laborergebnisse vollständig inkl. der Ergebnisse der Mehrfachbeprobungen vor.

Richtigkeit. Ein Abgleich der Datensätze aus den drei Moos-Monitoring-Projekten im GIS zeigte, dass in nicht in allen Fällen der in der Probenentnahmerichtlinie festgesetzte Toleranzradius von 2000 m eingehalten wurde. So enthielten viele Standorte die gleiche Standort-ID, obwohl sie mehr als 2000 m vom alten Standort verlegt wurden. Eine weitere Überprüfung ergab, dass die Vergabe der Standort-IDs nicht über alle drei Moos-Monitoringphasen eingehalten wurde.

Verknüpfbarkeit. Das Verknüpfen der standortbeschreibenden Datensätze mit den Laborergebnisdatsätzen geschieht im Idealfall über die innerhalb eines Moos-Monitoring-Projektes vergebenen Proben-ID. Da sich die Syntax der Proben-IDs der standortbeschreibenden Datensätze von denen der Laborergebnisse in allen drei Moos-Monitoringphasen in den meisten Fällen voneinander unterscheiden, war eine automatisierte Verknüpfung nicht möglich.

Schaffung einer einheitlichen Syntaxstruktur. Da die Vergabe von Standort-IDs in den drei bisherigen Moos-Monitoring-Projekten nicht einheitlich verlief, wurde in einem ersten Schritt nach einem festgelegten Toleranzradius von 2000 m im GIS nach durchgängig beprobten Standorten gesucht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten enthält Kapitel 2.1.2. Die so ermittelten „gleichen Standorte“ wurden mit einer eindeutigen Standort-ID versehen. Alle übrigen in den drei Moos-Monitoring-Projekten beprobten Standorte enthielten ebenfalls eine neue Standort-ID.

Die analytischen Laborergebnisse korrespondieren nicht nur mit dem Standort, sondern im Falle einer Mehrfachbeprobung v.a. mit der Probenentnahme. Auch kann ein Standort in allen drei Beprobungsphasen beprobt worden sein. Demzufolge erhielt jede Probe neben der Standort-ID zusätzlich eine eigene Proben-ID.

Ergebnis. Durch die Überarbeitung und Homogenisierung der in den Moos-Monitoring-Vorhaben von 1990, 1995 und 2000 erzeugten Datentabellen konnte eine vereinheitlichte Tabellenstruktur geschaffen werden. Mit dieser vereinheitlichten Datengrundlage ist nun ein einfacher und schneller und fehlerfreier Zugriff auf die Moos-Monitoring-Daten möglich. Die Anzahl der in den Datentabellen enthaltenden standortbeschreibenden Datensätze beläuft sich auf 2864. Von diesen 2864 Datensätzen sind 2646 mit Informationen über Elementgehalte aus Moosproben versehen.

7.1.2 Optimierung der UBA-Moos-Datenbankstruktur

Bisherige UBA-Moos-Datenbankstruktur. Die Datenstrukturierung innerhalb der UBA-Access-Datenbank fußt auf fünf miteinander verknüpften Tabellen. Von diesen Tabellen enthält eine Tabelle sämtliche Inhalte der im Probenentnahmeprotokoll abgefragten Standortkriterien (→ Anhang C.4). Die anderen vier Tabellen bestehen aus einer Spalte mit Angaben zur Baumart, zum Bodentyp, zum Land und zur Exposition. Neben den Datentabellen bilden die mit diesen verbundene Eingabeoberfläche (entsprechend dem Probenentnahmeprotokollformular) sowie einige Abfragetools das Grundgerüst der UBA-Moos-Datenbank.

Redundanz. Bei der Überprüfung der UBA-Moos-Datenbankstruktur konnten typische Redundanzerscheinungen ausgemacht werden. Vor dem Hintergrund eines optimalen Datenzugriffs sowie einer flexiblen Datenhaltung ist es allerdings wichtig, auf die Vermeidung redundanter Datenhaltung zu achten. Es wurden mehrere Gruppen von Spalten gesichtet, die über den gleichen Inhalt eine Aussage machen. So wurden beispielsweise für die Witterung entsprechend der möglichen Antworten (z.B. sonnig, windstill) sieben Spalten angelegt, in die 0 für falsch und 1 für wahr eingetragen werden können. Ein weiteres Redundanzkriterium bildete die Wiederholung von Zeilen einer bestimmten Spalte.

Um innerhalb der UBA-Moos-Datenbank einen optimalen Datenzugriff zu gewährleisten, wurden diese Redundanzerscheinungen durch Normalisierung der Datentabellen minimiert. Normalisierung ist ein Verfahren, bei dem Relations-schemata (= Tabellen) soweit zerlegt werden, bis keine redundanten Daten mehr vorhanden sind. Die Normalisierung der Datentabellen erfolgt über die Zusammenfassung und Auslagerung von Spalten.

Zusammenfassen von Spalten. Die Zusammenfassung von Spalten soll an dem oben beschriebenen Beispiel der Spaltengruppe Witterung vorgeführt werden. Die Tabelle 33 zeigt, wie die ursprünglichen sieben die Witterung beschreibenden Spalten (*Witterung sonnig* – *Witterung NEU*) zu einer Spalte zusammengefasst worden sind (*Witterung CODE*). Neben dem geschilderten Beispiel wurden noch weitere Spaltengruppen zusammengefasst, so dass die Spaltenmenge von insgesamt 84 auf 47 reduziert werden konnte.

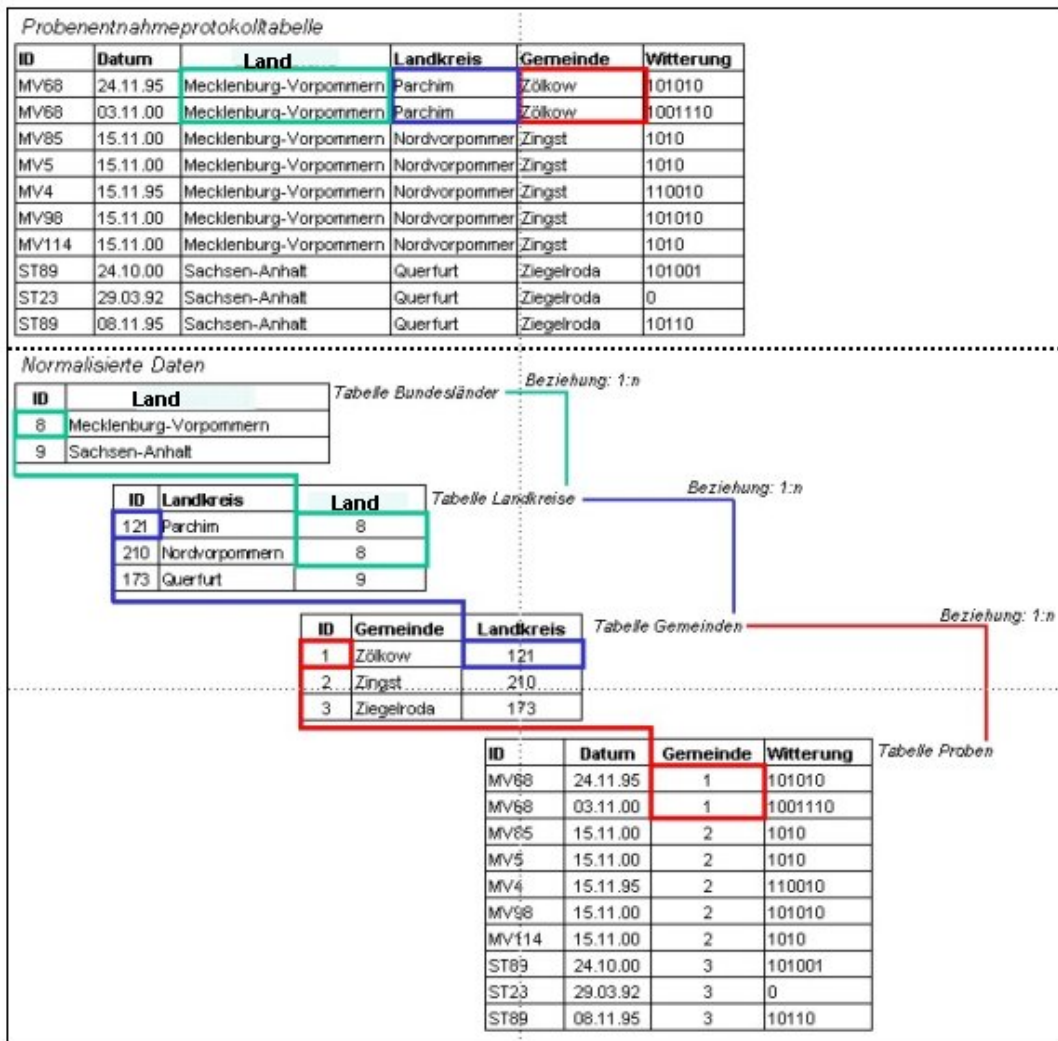
Tabelle 33: Zusammenfassung von Spalten in der UBA-Moosdatenbank

Witterung sonnig	Witterung bewölkt	Witterung regnerisch	Witterung windig	Witterung windstill	Witterung trocken	Witterung NEU	Witterung CODE
0	-1	-1	0	0	0	0	110000
0	-1	0	0	-1	-1	0	100110
0	-1	-1	-1	0	0	0	111000
0	0	0	0	0	0	-1	1
0	-1	0	0	-1	-1	0	100110
-1	0	0	0	-1	-1	0	1000110

Auslagerung von Spalten. Nachdem die Spaltenanzahl durch Zusammenfassung von Spaltengruppen auf ein optimales Maß reduziert wurde, bestand der Schritt 2 der Normalisierung in dem Absuchen der Zeilen der Datentabellen nach sich ständig wiederholenden Spalteninhalten. Um dies zu vermeiden, wurden redundante Datensätze in neue Tabellen ausgelagert und mit der Ausgangstabelle über sogenannte 1:n Beziehungen verknüpft. Ein Beispiel einer derartigen Normalisierung zeigt die Abbildung 56. Hier zeigen die in der als *Probenentnahmeprotokolltabelle* bezeichneten unveränderten Ausgangstabelle in den Spalten *Land*, *Landkreise* und *Gemeinde* sich wiederholende Zeilenin-

halte (z.B. Mecklenburg-Vorpommern in der Spalte Land). Durch Auslagerung dieser redundanten Datensätze in eigene Tabellen wurde die Struktur normalisiert.

Abbildung 56: Auslagern von Spalten in der UBA-Moos-Datenbank



Fazit. Durch die in den Kapiteln 7.1.1 und 7.1.2 vorgestellte Überarbeitung der Datenbankstruktur im Moos-Monitoring konnte eine Vereinheitlichung und Vereinfachung der Art der Datenhaltung erzielt werden. Dies hat nicht nur den Vorteil einer Verbesserung des bisherigen Datenbanksystems, sondern beinhaltet auch die Basis für die Integration der Moos-Monitoring-Daten in andere Daten-

banksysteme. Eine Möglichkeit wird in dem folgenden Kapitel 7.2 in Form eines Internet- und GIS-gestützten Umweltmonitoringsystems (IGUS) vorgestellt.

Die überarbeitete UBA-Moos-Datenbank liegt dem Abschlussbericht in Form einer CD bei. Die dazugehörige Anleitung befindet sich im Anhang C.5.

7.2 Konzept für ein Internet- und GIS-gestütztes Umweltmonitoring-System (IGUS)

Veranlassung und Zielsetzung. Viele der Probleme in dem vom Bund, von den 15 Ländern und den drei Projektpartnern durchgeführten Moos-Monitoring 2000 waren auf eine dezentrale Datenhaltung zurückzuführen. So werden in einem derart breit angelegten Monitoring-Vorhaben viele Tabellen in Form von MS Access-, Excel- und ASCII-Dateien erzeugt, die ständig zusammengeführt und aktualisiert werden müssen. Weitere Problembereiche wurden bei einer nach der Probenentnahme durchgeführten Befragung der Probenentnehmer deutlich. So wurde von einigen Probenentnehmern ausreichend kartografische Informationen verlangt, um sowohl bestehende als auch neue Probenentnahmestellen auffindbar zu machen (→ Anhang C.2). Internet und GIS bieten erweiterte Möglichkeiten der Datenverarbeitung und -haltung. Im Hinblick auf ein zukünftiges Moos-Monitoring sowie die Schaffung eines zentralen Datenbanksystems wurde ein Konzept für ein *Internet- und GIS-gestütztes Umweltmonitoring-System (IGUS)* entworfen. Mit dem IGUS wird Folgendes erreicht: Flexibilisierung und Verknüpfung von Datenhaltung und -transfer.

In diesem Kapitel 7.2 wird zunächst eine kurze Einführung in die technischen Grundlagen des IGUS gegeben. Es folgt eine Darstellung der bisherigen Arbeitsabläufe im Moos-Monitoring, um anschließend die mit IGUS erzielbaren Verbesserungen zu benennen.

In den Abbildungen 57 und 58 sowie in den schriftlichen Ausführungen wird zwischen Daten- und Materialflüssen unterschieden. Die Daten sind standortbeschreibende Datensätze sowie die analytischen Laborergebnisse. Bei den Materialflüssen handelt es sich um die Moosproben sowie die mit diesen verschickten analogen Probenprotokolle.

Technische Grundlagen. Die kombinierte Nutzung von Internet und GIS konnte durch die bisher im Moos-Monitoring eingesetzte Softwarestruktur nicht geleistet werden. Für die Durchführung eines zukünftigen Moos-Monitorings mit IGUS wachsen somit die Anforderungen an die bereitzustellenden Datenbank- und GIS-Funktionalitäten. Das eigentliche Datenbanksystem wird im IGUS durch eine MySQL-Datenbank gebildet, in der alle im Moos-Monitoring vorhandenen Sachdaten (Standortdaten, Messdaten) gespeichert werden. Diese Datenbank korrespondiert mit einem Geodaten-Mapserver, der die GIS-Funktionalitäten bereitstellt. Hierbei wird mit dem ARC IMS Mapserver wie beim Moos GIS (→ Kapitel 9) ein Softwareprodukt der Firma ESRI verwendet. Mit dieser Software ist es möglich, im Internet räumliche Informationen in Form von thematischen Karten [grafisch] darzustellen und durch die Anwendung von geometrischen Funktionen abfragbar zu machen. IGUS kann mit jedem herkömmlichen Web-Browser (z.B. Internet Explorer, Netscape), die über HTML- und PHP- Dokumente den Zugriff auf die Sach- und Geodaten ermöglichen, verwendet werden.

Daten- und Materialflüsse bisher. Die Daten- und Materialflüsse aus dem Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 sind der Abbildung 58 zu entnehmen. Wie in der Probenentnahmerichtlinie vorgeschrieben, mussten bei der Probenentnahme Standortbeschreibungen gemäß Eingabeformular der UBA-Moos-Datenbank angefertigt werden (→ Kapitel 6). Das Auffinden von Probenentnahmestellen erfolgte über analoges Kartenmaterial, das von den jeweiligen Koordinationsstellen der Länder zur Verfügung gestellt wurde. Die Digitalisierung der entsprechenden Informationen in die UBA-Access-Anwendung wurde

entweder durch die beauftragten Probenentnehmer selbst oder von den jeweiligen Länderbehörden durchgeführt, um anschließend an den vom UBA beauftragten Forschungsnehmer weitergeleitet zu werden. Dort wurden alle Access-Dateien der Ländern in *einer* zusammengeführt.

Die Moosproben wurden gemäß der in Kapitel 6 beschriebenen Vorgehensweise verpackt und an den Moospräparator weitergeleitet. Von dort gelangten die gereinigten Moosproben in das Labor, wo die chemische Moos-Analytik durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der Analytik wurden per E-Mail an den Forschungsnehmer weitergeleitet, wo sie in das Datenbanksystem eingefügt und mit den standortbeschreibenden Datensätzen verknüpft wurden. Abschließend erfolgte die statistische Auswertung der Daten, wobei im Moos-Monitoring 2000 lokal vorhandene GIS-Programme zum Einsatz kamen (→ Kapitel 9).

Zwischenfazit. Die bisherigen Arbeitsabläufe im Moos-Monitoring in Bezug auf Datensammlung und Datenverarbeitung gestalteten sich sehr aufwendig und fehleranfällig. Der Grund ist in der anfänglichen dezentralen Datenhaltung und der späteren Zusammenführung dieser Datenbestände in der UBA-Moos-Datenbank zu sehen. Dieser Ablauf enthält viele potenzielle Fehlerquellen und verzögert die Verfügbarkeit der Ergebnisse des Moos-Monitorings.

Daten- und Materialflüsse mit IGUS. Die durch den Einsatz des IGUS bedingten Veränderungen bei der Durchführung eines Moos-Monitoring-Projektes sind der Abbildung 58 zu entnehmen. Die Integration von GIS-Funktionalitäten in dem IGUS ermöglicht es dem Probenentnehmer, sich vor Beginn der Probenentnahme ausreichend kartografische Informationen zu beschaffen, um sowohl bestehende als auch neue Probenentnahmestellen auffindbar zu machen. So stellt das IGUS die in den Vorgängerprojekten generierten Daten zur Standort-suche zur Verfügung. Bei der Wiederbeprobung von Probenentnahmestandorten können die relevanten Informationen recherchiert und als Orientierung bei der Neubeprobung genutzt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den

Standort mit zur Verfügung stehenden digitalen Karten grafisch darzustellen. Bei diesen Karten handelt es sich im Idealfall um hochauflösende kartografische Vektordaten wie z.B. ATKIS-Daten. Es können allerdings auch niedriger aufgelöste georeferenzierte topographische Rasterkarten verwendet werden. In diesen Karten können Ausschlusskriterien aus der Probenentnahmerichtlinie (z.B. Mindestabstände zu potenziellen Emissionsquellen) angezeigt werden (→ Kapitel 6).

Sobald die Probenentnahme im Gelände abgeschlossen ist, können die Daten über das Internet in das System eingegeben und so alle Beteiligten über den Stand der Probenentnahme informiert werden. Die Datenrechte werden dabei durch Password-geschützte Seiten garantiert. Die Laborergebnisse werden nach Abschluss der chemischen Moos-Analytik ebenfalls in das IGUS integriert. Dabei erfolgt die Anbindung an die standortbeschreibenden Datensätze automatisch. Auf der Basis der zusammengeführten Daten bietet das IGUS weiterhin die Möglichkeit, die analytischen Laborergebnisse kartografisch zu veranschaulichen und Vorauswertungen vorzunehmen. So können bei nicht plausiblen Werten umgehend Nachuntersuchungen angeordnet werden.

Fazit. Im Gegensatz zu den Abläufen des bisherigen Moos-Monitorings bietet der Einsatz des IGUS die Möglichkeit, Daten von Anfang an zentral über das Internet unter konstanten Bedingungen aufzunehmen, zu speichern und abzurufen. Dadurch entfallen die Arbeitsbereiche Datensammlung, -aufbereitung sowie -zusammenführung. Eingabefehler sowie Fehler bei der Verknüpfung der generierten Informationsschichten werden vermieden. Mit Hilfe der in das IGUS implementierten GIS-Funktionalitäten können weiterhin die in der Probenentnahmerichtlinie vorgegebenen Toleranzradien und Mindestabstände zu potenziellen Emissionsquellen überprüft werden.

Abbildung 57: Arbeitsabläufe im Moos-Monitoring bisher

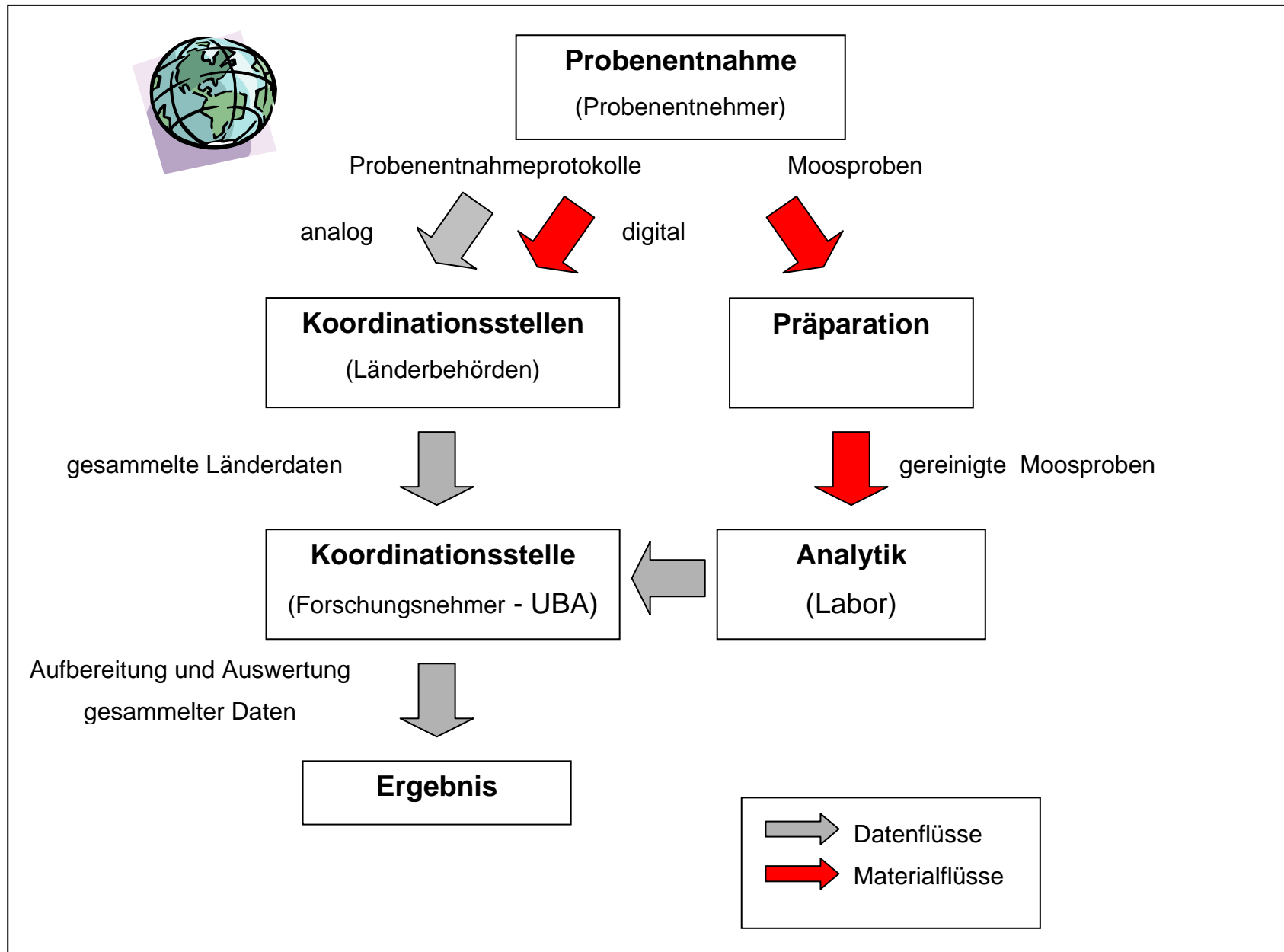
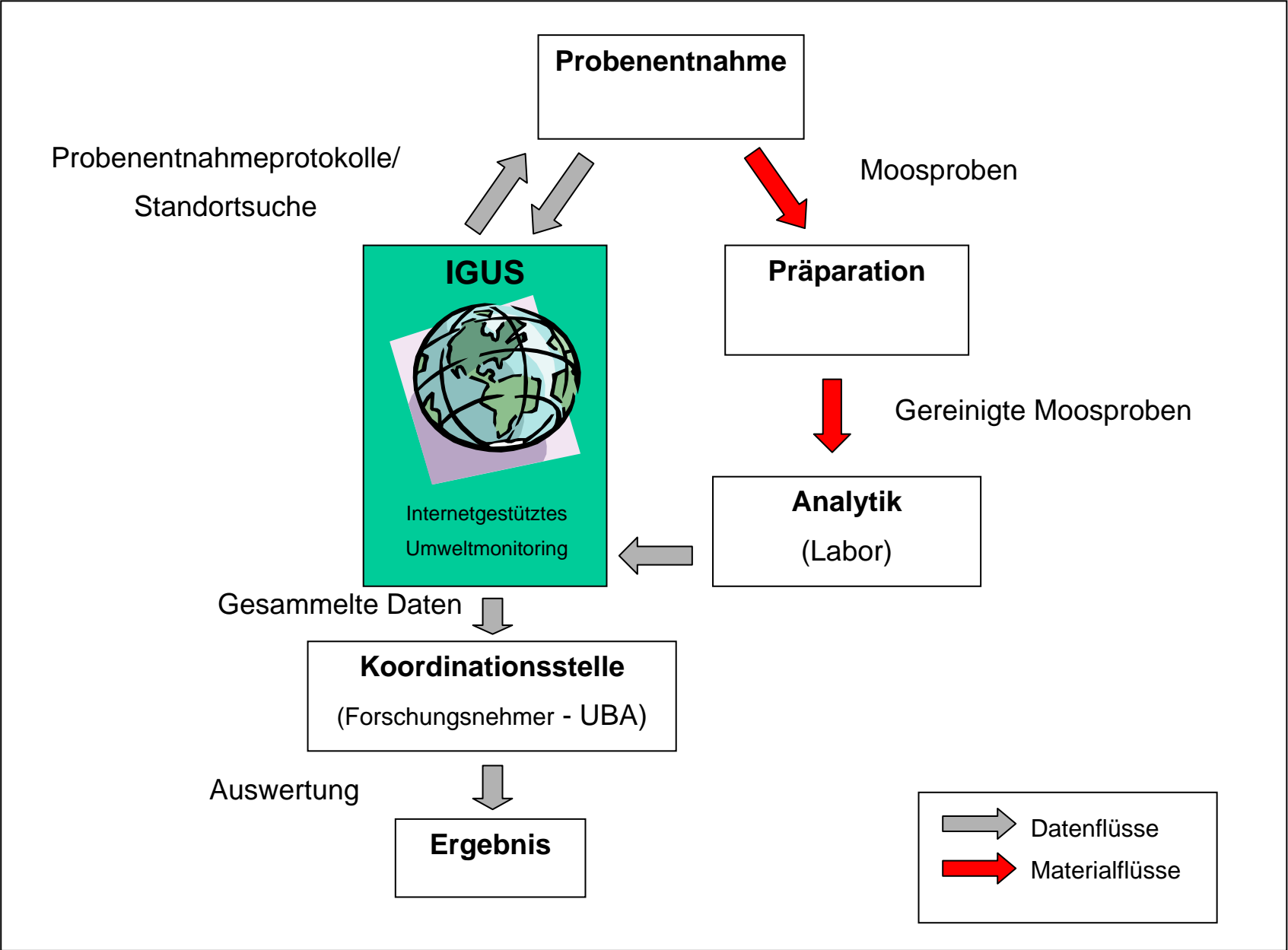


Abbildung 58: Arbeitsabläufe mit IGUS



8 Geostatistische Analyse ausgewählter Moos-Monitoringdaten 2000

Hintergründe. Der Projektauftrag im Moos-Monitoring 2000 sah vor, bereits im Vorfeld der Probenentnahme fachlich und statistisch begründete Optimierungsvorschläge zur Messnetzanordnung zu erbringen. Aufgrund des geringen Zeitabstands zwischen Beginn des Projektes (15.08.00) und der Probenentnahme im September/Oktober 2000 war dies nicht möglich. Durch Verlängerung der Bearbeitungszeit des Moos-Monitoring 2000 bis Ende September 2002 sollten Optimierungsvorschläge für ein mögliches Moos-Monitoring 2005 ausgearbeitet werden. Die hierfür vorgesehene Methodik sieht den kombinierten Einsatz dreier fortgeschrittener statistischer Verfahren vor:

1. Geostatistik (Variogrammanalyse, Kriging),
2. multivariate Clusteranalyse sowie
3. Nachbarschaftsanalyse.

Mit Hilfe geostatistischer Verfahren werden optimale Flächenschätzungen für die im Moos-Monitoring 2000 ermittelten Elementeinträge berechnet. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden mit Hilfe multivariater Clustermethoden zu Belastungsindikatoren statistisch begründet aggregiert. Der Einsatz nachbarschaftsanalytischer Verfahren erlaubt eine quantifizierbare Einschätzung und Prüfung der raumstrukturellen Landschaftsrepräsentanz (SCHRÖDER et al. 2001). Mit der Nachbarschaftsanalyse können definierten Rasterzellen hinsichtlich charakteristischer Merkmale wie Landnutzung, naturräumlicher Ausstattung und eben den Ergebnissen der Clusteranalyse quantitativ beschrieben werden. Messnetze können so gezielt ergänzt oder ausgedünnt werden.

Diese Arbeiten konnten im August und September nicht vollständig durchgeführt werden. Da die optimierten Flächenschätzungen (s.o. Zf. 1) den cluster-

und nachbarschaftsanalytischen Auswertungen (s.o. Zf. 2,3) zugrunde liegen, wurde dieses Aufgabenfeld bearbeitet.

Zielsetzung. Unter Zuhilfenahme geostatistischer Methoden sollen für die Elemente Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn Flächenschätzungen durchgeführt werden. Dabei stehen vier Fragestellungen im Vordergrund:

1. Wie kann man geostatistische Methoden zur optimierten Ableitung von Flächenschätzungen für die beschriebenen Elementverteilungen einsetzen?
2. Welche statistischen Kenngrößen erlauben eine Einschätzung der Schätzungsgüte jeder berechneten Flächenkarte?
3. Wie kann man sog. Ausreißer mit geostatistischen Verfahren identifizieren?
4. Welche Möglichkeiten bieten die Instrumente Moos-GIS und Moosdatenbank zur Überprüfung dieser Ausreißer?

Vorgehen. Im Kapitel 8.1 wird zunächst ein kurzer Abriss über Grundlagen geostatistischer Methoden gegeben. Die statistisch-methodischen Aspekte der geostatistische Analyse der Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 2000 [inkl. Ergebnisse] wird in den Kapiteln 8.2 bis 8.5 beschrieben. Die räumlichen Strukturen der betrachteten Elementkonzentrationen in Moosen wurden bereits im Kapitel 3 ausführlich dargestellt (SCHRÖDER 2002 a). Im Folgenden werden vier Bearbeitungsschritte dargestellt:

1. Datenanalyse und -transformation (→ Kapitel 8.2),
2. Variogrammanalysen (→ Kapitel 8.3),
3. Kriginginterpolation (→ Kapitel 8.4) sowie
4. Ausreißerererkennung und -bewertung (→ Kapitel 8.5).

Die Variogrammanalysen und Kriginginterpolationen wurden mit der Software ISATIS durchgeführt. Zusätzliche statistische Analysen erfolgten mit der Statistik-Software SPSS sowie mit MS Excel. Die kartografische Aufarbeitung und Visualisierung der Ergebnisse erfolgte mit ArcView GIS (→ Kapitel 9).

8.1 Theoretische Grundlagen

Im Folgenden wird eine kurze Einführung in geostatistische Methoden gegeben. Die Darstellung beschränkt sich auf eine textliche Beschreibung ohne Berücksichtigung mathematischer Formeln. Entsprechende ausführlichere Erklärungen sind der Literatur (→ Kapitel 12) zu entnehmen.

Allgemeines. Geostatistische Verfahren ermöglichen es, Messnetze hinsichtlich ausgewählter Messparameter auf ihre räumliche Aussagekraft zu überprüfen. Aus einer Stichprobe (im Moos-Monitoring: Elementkonzentrationen, gemessen an 1028 deutschen Standorten) soll die Wahrscheinlichkeitsstruktur der Grundgesamtheit (im Moos-Monitoring: flächenhafte Elementkonzentrationen für Gesamtdeutschland) geschätzt werden. Die Geostatistik gründet auf der Theorie regionalisierter Variabler und basiert auf Erkenntnissen aus empirischen Arbeiten über Goldlagerstätten in Südafrika (MATHERON 1971). Die beiden Basiselemente der Geostatistik sind Variogrammanalyse und Kriging.

Variogrammanalyse. Der Geostatistik liegt die Annahme zugrunde, dass Messwerte benachbarter Standorte sich ähnlicher sind als Messwerte weiter entfernt liegender Standorte (= Erhaltensneigung). Diese Annahme wird mit der Variogrammanalyse überprüft. Dazu bildet man innerhalb vorzugegebener Distanzintervalle die mittleren quadrierten Differenzen der Probenwerte (= Semivarianzen) und trägt diese in einem Koordinatensystem zu den jeweiligen Distanzen auf. Man erhält so das sogenannte *experimentelle Variogramm* (→ Abbildung 59) Wenn die Semivarianzen mit zunehmender Messpunktdistanz steigen, so weist dies auf eine distanzabhängige Struktur im Datenfeld hin⁷.

⁷ Neben Entfernungsintervallen können Winkelklassen zur Überprüfung richtungsabhängiger Strukturen im Datenfeld gebildet werden. Unterscheiden sich die Variogramme unterschiedlicher Richtungen spricht man von sogenannten Anisotropien. In der vorliegenden Ausführung wurde dies aus Zeitgründen nicht überprüft. Es wurden lediglich richtungsunabhängige *omnidirektionale* Variogramme berechnet.

Abbildung 59: Beispiel eines omnidirektionalen experimentellen Variogramms (Hg im Moos-Monitoring 2000)

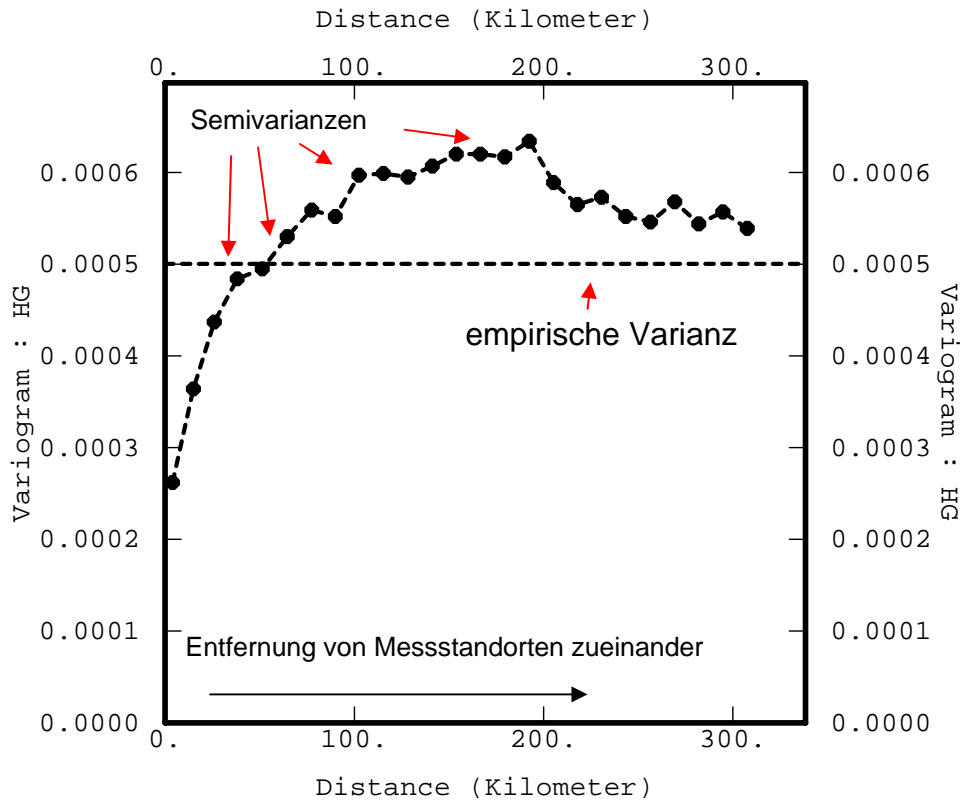
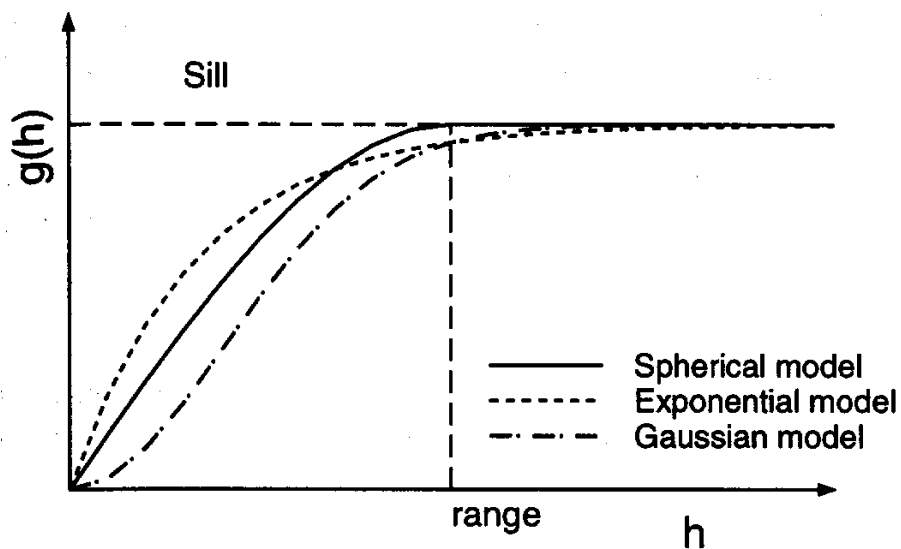


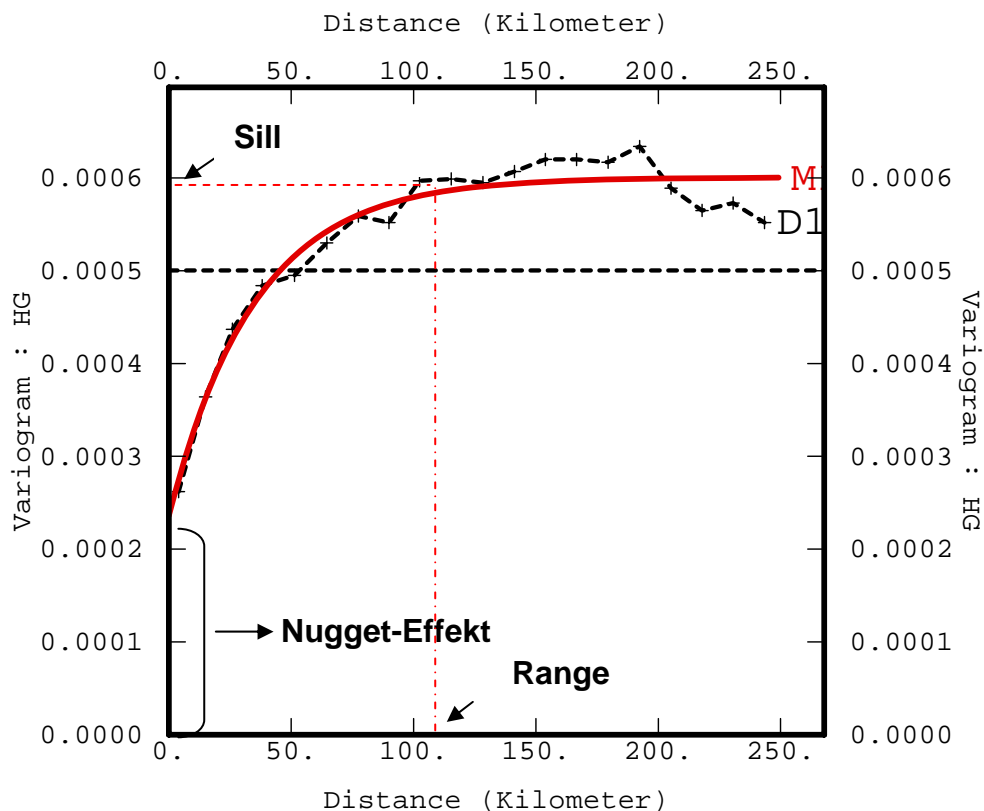
Abbildung 60: Variogrammmodelle



Für die Ableitung der für die nachfolgende Kriging-Interpolation notwendigen Parameter Extrapolationsradius und Wichtungsfaktoren ist es nötig, diesem experimentellen Variogramm ein *Modellvariogramm* anzupassen. Hierfür existieren unterschiedliche mathematische Modelle. Beispiele finden sich in der Abbildung 60.

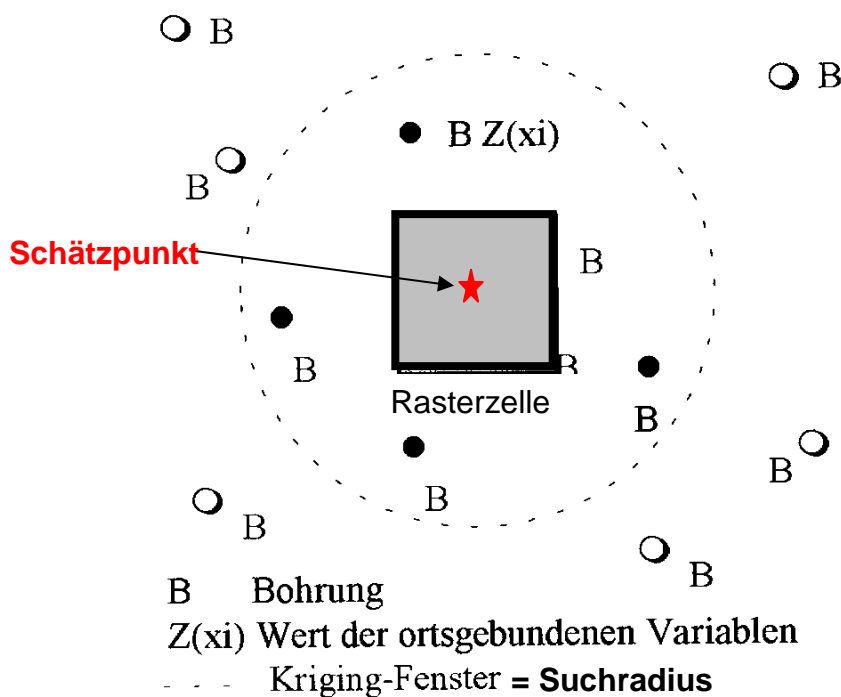
Die maximale räumliche Aussagekraft der punkthaften Messwerte ergibt sich aus der Projektion der Scheitelkurve des Modellvariogramms auf die Distanzachse (\rightarrow Abbildung 61). Innerhalb dieses Bereiches (range) wird eine Interpolation zwischen Messpunkten als statistisch sinnvoll angenommen. Die Abbildung 61 zeigt den Schnittpunkt des Modellvariogramms mit der Ordinate oberhalb des Ursprungs des Koordinatensystems. Dieser Abstand zwischen Schnittpunkt und Ursprung wird als Nugget-Effekt bezeichnet und deutet auf starke standörtliche Variabilitäten hin.

Abbildung 61: Beispiel einer Modellanpassung (Hg im Moos-Monitoring 2000)



Kriging. Nach einer positiven geostatistischen Prüfung des Datenmaterials per Variogrammanalyse und der Auswahl eines geeigneten Modellvariogramms wird zur Regionalisierung der Datenpunkte das Kriging-Verfahren angewendet⁸. Hierbei wird in einem definierten Raster unter der Bedingung der Minimierung der Schätzvarianz eine nach Entfernung gewichtete Berechnung der Schätzwerte durchgeführt. Der ermittelte Schätzwert steht dabei für den Mittelpunkt der Rasterzelle und wird auf deren räumliches Ausmaß verallgemeinert (→ Abbildung 62). Die durch die Variogrammanalyse abgeleitete Modellfunktion geht in Form des Suchradius (Kriging-Fenster) und der Wichtungsfaktoren als Parameter in die Kriging-Berechnung ein.

Abbildung 62: Schätzung eines Rasterzellenwertes (verändert nach AKIN 1983)



⁸ Mit dem Begriff Kriging werden ein ganze Reihe von Schätzverfahren zusammengefasst, die alle eine Minimierung der Schätzvarianz zum Ziel haben (HEINRICH 1994). Je nach Annahmen unterscheidet man u.a. zwischen Simple kriging, Ordinary kriging, Universal kriging oder Cokriging. In der vorliegenden Ausführung wird das Ordinary Kriging behandelt.

Schätzgütekriterien. Zur Beurteilung der Güte der mit dem Kriging ermittelten Schätzergebnisse gibt es drei unterschiedliche Verfahren:

1. Berechnung der Krigingvarianz,
2. Kreuzvalidierung sowie
3. Messwert-Rasterwertvergleich.

Krigingvarianz. Die Krigingvarianz ist die minimierte Schätzvarianz zwischen wahren und geschätzten Wert. Da der wahre Wert unbekannt ist, hängt die Krigingvarianz nur vom Variogramm und der relativen Geometrie der Messpunkte ab (HEINRICH 1994). Höchste Werte weisen somit diejenigen Bereiche auf, die von den Messpunkten am meisten entfernt liegen.

Kreuzvalidierung. Kreuzvalidierung ist ein in der Geostatistik gebräuchliches Instrument, um für ein gewähltes experimentelles Variogramm eine optimierte Modellanpassung durchzuführen. Aus der Gesamtmenge der Messpunkte wird nacheinander je ein Wert dem Datensatz entnommen und durch Kriging mit dem gewählten Modellvariogramm neu geschätzt. Die Differenzen zwischen Mess- und Schätzwerten werden anschließend durch geeignete statistische Kennzahlen beschrieben.

Messwert-Rasterwertvergleich. Beim Messwert-Rasterwertvergleich werden die Messpunkte mit den jeweiligen Flächenkarten im GIS verschnitten. Jeder Messpunkt wird dabei mit einem Rasterzellenwert verglichen und somit nicht mit dem geometrisch exakten Schätzwert. Die Differenzen zwischen Mess- und Rasterwerten werden anschließend wie bei der Kreuzvalidierung durch geeignete statistische Kenngrößen beschrieben.

8.2 Datenanalyse und -transformation

Normalverteilung? Die Anwendung geostatistischer Methoden liefert nur dann die besten Ergebnisse, wenn die zu behandelnden Daten normalverteilt sind (WEBSTER & OLIVER 2001). Wenige übermäßig hohe Werte beispielsweise führen zu übermäßig hohen Variogrammwerten und verzerren somit die durch das Variogramm wiedergegebene räumliche Autokorrelation. Besonders asymmetrische, positiv schiefe Verteilungsformen weisen derartige Charakteristika auf. Vor einer geostatistische Analyse von Messdaten ist es somit notwendig, sich mit Hilfe der deskriptiven Statistik Klarheit über die Struktur und Verteilungsform der Messdatensätze zu verschaffen. Schiefe Verteilungsformen können so identifiziert und beispielsweise durch Lognormal-Transformation in eine Normalverteilung überführt werden.

Wie die in der Tabelle 34 zusammengetragenen Parameter sowie die im Anhang E.1.1 zusammengestellten Histogramme zeigen, weisen alle 13 Elemente eine deutliche positive Schiefe auf. Die Schiefe liegt in allen Fällen über 1, besonders hohe Werte zeigen V (= 7,6), Al (= 3,7), Fe (= 3,6) und Hg (= 3,5). Die Abweichung von der Normalverteilung wird auch durch die Kolmogorow-Smirnow-Teststatistik untermauert. In keinem Fall kann, selbst bei der Wahl eines sehr kleinen Signifikanzniveaus, die Nullhypothese, die beobachtete Verteilungsform entspreche einer Normalverteilung, beibehalten werden. WEBSTER & OLIVER (2001) weisen allerdings darauf hin, dass derartige Tests bei Datenmengen von mehr als 100 nur eingeschränkte Aussagekraft besitzen. Die Nullhypothese wird bei großen Datensätzen schneller abgelehnt. Weiterhin auffällig ist die hohe Streuung der Messwerte. Mit Ausnahme von Sb, Cu und Zn weisen alle Elemente Varationskoeffizienten von mehr als 45 % auf.

Lognormaltransformation. Um die Verteilungsform der Messdaten einer Normalverteilung anzunähern, schlagen WEBSTER & OLIVER (2001) ab einer Schiefe von mehr als 1 eine Lognormaltransformation der Rohdaten vor. Da alle

hier betrachteten 13 Elementverteilungen Schiefen von mehr als 1 [$\mu\text{g/g}$]³ aufweisen, wurde die Lognormaltransformation durchgeführt und die Ergebnisse erneut in Form von Histogrammen dargestellt (→ Anhang E.1.2). Alle Histogramme zeigen nun eine deutliche Annäherung an eine Normalverteilung. Entsprechend der Kolmogorow-Smirnow-Teststatistik der Tabelle 34 weisen die Verteilungen von Cu, Fe, Pb, Sb, Ti, V und Zn auf einem Signifikanzniveau von 1 % Normalverteilung auf.

Trotz der festgestellten Abweichung der nichttransformierten Messdatenverteilungen von der Normalverteilung sind Variogrammanalysen (→ Kapitel 8.3) und Kriginginterpolationen (→ Kapitel 8.4) sowohl für die Originaldaten als auch für die lognormaltransformierten Daten durchgeführt worden. Im Kapitel 8.4 werden die Ergebnisse bezüglich ihrer Schätzgüte gegenübergestellt.

Tabelle 34: Deskriptiv-statistische Parameter ausgewählter Elemente aus dem Moos-Monitoring 2000 (Teil 1)

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg
Anzahl Werte	1028	1026	1027	1025	1027	1026	1028
Mittelwert [$\mu\text{g/g}$]	389	0,210	0,243	1,03	7,5	409	0,047
Median [$\mu\text{g/g}$]	307	0,160	0,210	0,91	7,1	343	0,041
Standardabw. [$\mu\text{g/g}$]	294	0,159	0,121	0,48	2,5	273	0,022
Varianz [$\mu\text{g/g}^2$]	86390	0,025	0,015	0,23	6,4	74469	0,001
Variationskoef. [%]	75,62	75,38	49,53	46,57	33,62	66,71	48,05
Spannweite [$\mu\text{g/g}$]	2707	1,260	1,455	4,16	23,1	2722	0,296
Schiefe	3,7	3,0	3,2	2,4	1,8	3,6	3,5
p^9 (Kolmog.-Smirnov.) – untransf.	0	0	0	0	0	0	0
p (Kolmog.-Smirnov.) – Ln-transf.	0,00020	0,00001	0,00013	0,00118	0,66290	0,01399	0,00195

⁹ Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wird die beobachtete kumulative Verteilungsfunktion der Messwerte für eine Messgröße mit einer festgelegten theoretischen Verteilung, hier der Normalverteilung, verglichen. Wenn p sehr klein ist (in der Regel kleiner als 0,05 oder 0,01), wird die Nullhypothese (beobachtete Verteilungsform = Normalverteilung) abgelehnt (Bei Beibehaltung der Nullhypothese auf dem 1 % Signifikanzniveau sind die p -Werte der Tabelle 3 fett gedruckt.)

Tabelle 34: Deskriptiv-statistische Parameter ausgewählter Elemente aus dem Moos-Monitoring 2000 (Teil 2)

	Ni	Pb	Sb	Ti	V	Zn
Anzahl Werte	1028	1026	1028	1023	1027	1026
Mittelwert [$\mu\text{g/g}$]	1,34	5,51	0,167	10,1	1,2	45,0
Median [$\mu\text{g/g}$]	1,13	4,62	0,150	7,9	1,1	41,0
Standardabw. [$\mu\text{g/g}$]	0,67	3,44	0,074	7,8	0,8	18,0
Varianz [$\mu\text{g/g}^2$]	0,44	11,81	0,006	60,3	0,7	323,5
Variationskoef. [%]	49,86	62,36	44,44	76,72	65,46	40,00
Spannweite [$\mu\text{g/g}$]	4,68	27,80	0,470	73,8	16,2	218,8
Schiefe	1,6	2,6	1,4	3,3	7,6	2,7
p (Kolmog.-Smirnov. GOF) - untransf.	0	0	0	0	0	0
p(Kolmog.-Smirnov. GOF) - Ln-transf.	0,00040	0,02239	0,01558	0,01239	0,20704	0,13358

8.3 Durchführung der Variogrammanalysen

Die Durchführung einer Variogrammanalyse lässt sich in die Bearbeitungsschritte experimentelle Variogrammschätzung und Modellanpassung unterteilen:

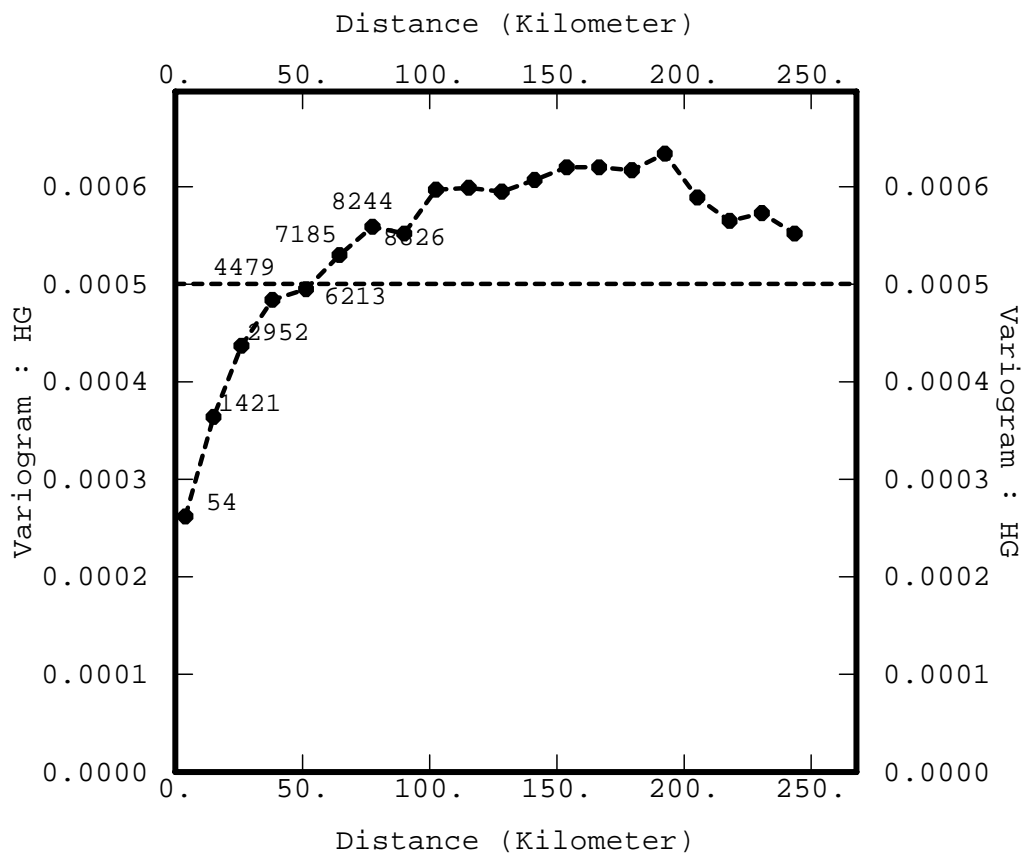
Experimentelle Variogrammschätzung. Das experimentelle Variogramm dient der Schätzung des der Messwertverteilung zugrundeliegenden räumlichen Prozesses. Dessen Ableitung ist daher große Aufmerksamkeit zu widmen. Vom Anwender müssen zwei Eingabeparameter festgesetzt werden: die Schrittweite und die maximale räumliche Ausdehnung des Variogramms.

Die Schrittweite gibt die Größe der Distanzintervalle vor, innerhalb derer die Semivarianzen berechnet werden. Nach OLEA (1999) ist die Qualität einer Schätzung besonders von der Auflösung und damit Genauigkeit des experimentellen Variogramms nahe dem Ursprung abhängig. Auf der anderen Seite sollten aber nicht weniger als 30 Probenpaare in den Distanzintervallen vorhanden sein. In den hier durchgeführten Variogrammberechnungen entspricht die Schrittweite der mittleren Entfernung der Messpunkte zu ihrem jeweils nächsten Nachbarn (WEBSTER & OLIVER 2001). Diese beträgt im Moosmessnetz 2000 12,82 km. Die Abbildung 63 zeigt anhand des Beispiels Quecksilber die Anzahl der Probenpaare innerhalb der ersten acht Distanzintervalle. Im ersten Distanzintervall werden 54 Probenpaare gezählt. In den darauffolgenden Distanzklassen werden mehr als 1000 Probenpaare zur Berechnung eines Variogrammwertes herangezogen¹⁰.

¹⁰ Die Software ISATIS legt das erste Distanzintervall automatisch auf die Hälfte der vom Anwender gewählten Distanz fest (hier: 6,4 km) (BLEINNES et al. 2001). Dies erklärt den großen zahlenmäßigen Unterschied zwischen der ersten und den darauffolgenden Klassen.

Die maximale Entfernung, ab wann für Probenpaare noch Variogrammwerte ermittelt werden, sollte nach JOURNEL & HUIJBREGTS (1978) die Hälfte der maximalen horizontalen Ausdehnung des Untersuchungsgebietes nicht überschreiten. Hier wurde die maximale Distanz der jeweiligen Variogramme auf 250-300 km beschränkt.

Abbildung 63: Experimentelles Variogramm von Hg im Moos-Monitoring 2000 inkl. Probenpaare der ersten acht Distanzintervalle



Modellanpassung. Wie die Erstellung des experimentellen Variogramms ist auch die Anpassung eines Modellvariogramms mit großen Unsicherheiten verbunden. Die Modellanpassung erfolgte hier interaktiv am Bildschirm, wobei versucht wurde, besonders die Bereiche nahe des Ursprungs möglichst genau anzupassen. Dort, wo aufgrund des unregelmäßigen Verlaufs des experimentellen Variogramms Unsicherheiten in der Anpassung vorlagen, wurden bis zu drei

verschiedene Modelle angepasst und durch Kreuzvalidierung (→ Kapitel 8.1, 8.4) miteinander verglichen.

Ergebnisse. Die für die Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn durchgeführten Variogrammanalysen finden sich im Anhang E.2. Dabei sind pro Element jeweils vier Variogrammdarstellungen aufgeführt:

1. experimentelles Variogramm der Originaldaten inkl. Anzahl der Probenpaare der ersten acht Distanzintervalle (→ Abbildung 63),
2. Modellanpassung an das experimentelle Variogramm der Originaldaten,
3. Modellanpassung an das experimentelle Variogramm der lognormaltransformierten Daten sowie
4. Modellanpassung an das experimentelle Variogramm der lognormaltransformierten Daten ohne Ausreißer (→ Kapitel 8.5).

Variogramme der Originaldaten. Die Variogramme der Originaldaten weisen für alle Elemente bei der vorgegebenen Schrittweite auf deutliche räumliche Autokorrelationen hin. Nur Cd und Cu zeigen für die erste Distanzklasse höhere Semivarianzen als in der darauffolgenden. Bis auf Al, Cr, Fe und mit Einschränkung Ti deuten alle Variogrammschätzungen durch einen hohen Nugget-Effekt auf ausgeprägte Messwertunterschiede in den ersten Distanzklassen hin. Besonders hohe Nugget-Effekte zeigen sich bei As, Cd, Cu und Zn. Bis auf Titan (Exponentielles Modell) wurden überall Mischmodelle (Nugget-Exponentielles Modell bzw. Nugget-Exponentiell-Sphärisches Modell) an das experimentelle Variogramm angepasst. Die dadurch bedingte Reichweiten reichen von 33 km bei Eisen bis zu 169 km bei Zink.

Variogramme der lognormaltransformierten Daten. Durch die Lognormaltransformation konnte in allen Fällen eine deutliche Glättung der experimentellen Variogramme erreicht werden. Die Anpassung von Modellvariogrammen konnte daher mit wesentlich weniger Aufwand durchgeführt werden. Es zeigt

sich, dass durch die Lognormaltransformation in allen Fällen das Verhältnis von Sill zu Nugget-Effekt verkleinert wurde. Es wurde kein Modell verwendet, das keinen Nugget-Effekt modelliert. Die verwendeten Kombinationen sind Nugget-Exponentielles Modell, Nugget-Exponentiell-Sphärisches Modell und Nugget-Gauß'sches Modell. Die ermittelten Reichweiten reichen von 89 km (Vanadium) bis zu 248 km (Quecksilber).

8.4 Durchführung der Krigingprozeduren

Nach der Wahl eines geeigneten Modellvariogramms werden nun bei dem Kriging, hier dem *Ordinary Kriging*, für ein vorgegebenes Punktraster Schätzwerte ermittelt. Die maximale Autokorrelationsreichweite sowie die Wichtungsfaktoren der Messwerte, die zur Berechnung eines Rasterpunkts herangezogen werden, leiten sich dabei aus dem Modellvariogramm ab. Ausgehend von der in der Probenahmerichtlinie festgesetzten maximalen Verlegungsdistanz einer Probenentnahmestelle von 2 km, wurde ein Proberaster von 4 X 4 km² festgelegt (→ Kapitel 6). Die in ISATIS mit Kriging räumlich interpolierten lognormaltransformierten Daten wurden ins GIS überführt und dort rücktransformiert.

Schätzgütekriterien. Für den Empiriker ist es wichtig zu wissen, inwieweit die vollzogene Schätzung von den wahren Messwerten abweicht. Im Idealfall wären Nachbeprobungen durchzuführen, um die geschätzten Werte den neu gemessenen Werten gegenüberzustellen. Da eine derartige Nachbeprobung mit viel Aufwand verbunden ist, liefert die Kombination von GIS und Geostatistik Möglichkeiten, aus den bereits erhobenen Daten Schätzfehler bzw. Schätzgütekriterien abzuleiten. Die Verfahren hierfür wurden in Kapitel 8.1 erwähnt:

- die Berechnung der Krigingvarianz
- die Kreuzvalidierung sowie
- der Messwert-Rasterwertvergleich.

Krigingvarianz. Da die Krigingvarianz nur vom Variogramm und nicht von den Messwerten abhängt, ist diese für die lokale Schätzung nach JOURNEL (1986) kein Maß (HEINRICH 1994). Da hier die Genauigkeit der lokalen Schätzung im Vordergrund stehen soll und zudem die Bestimmung der Krigingvarianz ein rechenaufwendiges Verfahren darstellt, wird von deren Berechnung und kartografischen Aufarbeitung abgesehen.

Kreuzvalidierung. Die Kreuzvalidierung bietet eine gute Möglichkeit, die Genauigkeit einer lokalen Schätzung nachzuvollziehen. Die Messwerte werden anhand der durch das Modellvariogramm festgesetzten Parameter (Reichweite, Wichtungsfaktoren) neu berechnet. Die Abweichung von wahren und geschätzten Wert ist also ein direktes Maß dafür, wie gut das Modell den [wahren] räumlichen Prozess wiedergibt. Mit der Software ISATIS ist es möglich, die Ergebnisse der Kreuzvalidierung in ein Tabellenkalkulationsprogramm, wie MS Excel zu exportieren und dort weiter auszuwerten. In Ergänzung zu den in der Geostatistik gebräuchlichen Kreuzvalidierungsgrößen konnten so noch weitere Parameter abgeleitet werden. Insgesamt wurden fünf Schätzungsgütekennzahlen berechnet:

1. Mittlerer Fehler (= Mean Error – ME),
2. Mittlerer standardisierter Fehler (= Mean Standardized Error – MSE),
3. Mittlerer absoluter Fehler (= Mean Absolute Error – MAE),
4. Mittlerer prozentualer Fehler (= Mean Percental Error – MPE) und
5. Korrelationskoeffizient nach Pearson (= K).

Mittlerer Fehler (ME). Der mittlere Fehler entspricht dem Mittelwert der Differenzen zwischen wahren und geschätztem Wert. Diese Kennzahl sagt etwas aus über Über- bzw. Unterschätzungstendenzen des verwendeten Modells. Im Idealfall ist der mittlere Fehler 0.

Mittlerer standardisierter Fehler (MSE). Dies ist eine in der Geostatistik gebräuchlicher Kenngröße und entspricht der mittleren quadrierten Abweichung

zwischen Messwert und Schätzwert, standardisiert an der Krigingvarianz. Im Idealfall sollte nach WEBSTER & OLIVER (2001) die quadrierte Abweichung der Krigingvarianz entsprechen und der mittlere standardisierte Fehler somit 1 sein.

Mittlerer absoluter Fehler (MAE). Zur Berechnung des mittleren absoluten Fehlers werden die Abweichungsbeträge zwischen Messwert und Schätzwert gemittelt. Dadurch wird das Egalisieren von negativen und positiven Werten verhindert und man erhält ein Maß dafür, wie stark die geschätzten von den gemessenen Werten abweichen.

Mittlerer prozentualer Fehler (MPE). Der mittlere absolute Fehler sagt direkt nichts darüber aus, wie hoch die relativen Abweichungen zwischen Mess- und Schätzwerten sind. Setzt man den jeweiligen Messwert gleich 100 %, so kann die Differenz zwischen Mess- und Schätzwert in Prozent angegeben werden. Der mittlere prozentuale Fehler ist der Mittelwert der so berechneten prozentualen Abweichungen. Schätzungen unterschiedlicher Messgrößen können so vergleichbar gemacht werden.

Korrelationskoeffizient nach Pearson (K). OLEA (1999) schlägt den Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Mess- und Schätzergebnissen als Gütekennzahl vor. Dieser ist im Idealfall 1.

Messwert-Rasterwertvergleich. Durch die Verschneidung von Punkt- und Rasterdaten im GIS können die Messwerte den Rasterwerten direkt gegenübergestellt werden. Hier werden alle Messwerte mit allen Schätzwerten simultan verglichen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass ein Rasterwert eine räumliche Verallgemeinerung des Mittelpunkts einer Rasterzelle darstellt. Die Gegenüberstellung von Mess- und Rasterwert ist somit mit geometrischen Ungenauigkeiten behaftet. Bei dem hier verwendeten Raster von 4 X 4 km² kann der Messpunkt somit maximal kleiner gleich 2 km von dem geschätzten Punkt

entfernt liegen. Die so ermittelten Messwert-Rasterwertdifferenzen wurden wie bei der Kreuzvalidierung zu den Schätzgütekennzahlen mittlerer absoluter Fehler, mittlerer prozentualer Fehler und Korrelationskoeffizient nach Pearson zusammengefasst. Der mittlere standardisierte Fehler ist ein Fehlermaß, dessen Ableitung bei einem Messwert-Rasterwertvergleich nicht möglich ist. Der mittlere Fehler wurde hier nicht berechnet.

Ergebnisse. Die Ergebnisse der durchgeführten Krigingberechnungen sind im Anhang 7.1 für die Originaldaten und im Anhang 7.2 für die lognormaltransformierten Daten kartografisch aufgearbeitet worden. Jeweils 12 der 13 Karten enthalten neben den Ergebnissen der Schätzgüteberechnungen auch Angaben über die von SIEWERS et al. (2000) ermittelten Standortvariabilitäten. Für Aluminium lagen diesbezügliche Angaben nicht vor. Für die restlichen 12 betrachteten Elemente ist es somit möglich, die Schätzgüte an der empirisch bedingten Ungenauigkeit zu messen. Eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse der Kreuzvalidierung sowie des Messwert-Rasterwertabgleichs ist Tabelle 35 und Tabelle 36 zu entnehmen.

Wie einleitend erwähnt, werden die im Anhang A.7 enthaltenden Karten hier nicht im einzelnen beschrieben dies ist in aller Ausführlichkeit bereits im Kapitel 3 geschehen (SCHRÖDER et al. 2002 a).

Optische Gesichtspunkte. Ein optischer Vergleich der im Kapitel 3 dargestellten Inverse Distance Weighted (IDW)-Karten und der im Anhang A.7 enthaltenden Krigingkarten zeigt für die Kriging-Schätzungen im Allgemeinen größere zusammenhängende Flächen. Auch werden örtliche Anomalien nicht so stark betont wie in den IDW-Karten. Dies ist allerdings mehr auf den im IDW-Verfahren verwendeten geringen Interpolationsradius zurückzuführen als auf das Verfahren selbst. Ein statistischer Vergleich der IDW- und der Krigingergebnisse bleibt einer weiteren Untersuchung vorbehalten. Die Krigingergebnisse der Original- und der lognormaltransformierten Daten zeigen geringfügig hö-

here Schätzwerte für die Originaldaten. Die räumlichen Muster zeigen allerdings bei beiden Vorgehensweisen starke Ähnlichkeiten.

Kriging-Ergebnisse der Originaldaten. Gemessen an den mittleren prozentualen Fehlern der *Kreuzvalidierung* weisen die Kriging-Ergebnisse der Originaldaten eine unbefriedigende Schätzqualität auf (→ Tabelle 35). Für Al, As, Fe, Ti und Sb liegen die Unsicherheiten höher als 40 %. Die Karten im Anhang 7.1 zeigen weiterhin, dass die Werte mit Ausnahme von Cr zum größten Teil deutlich über der Standortvariabilität liegen. Die berechneten Korrelationskoeffizienten liegen alle unter 0.6, Fe, Ti, und V gar unter 0.5. Die jeweiligen mittleren Fehler und mittleren standardisierten Fehler weisen hingegen unproblematische Werte auf. So liegen die mittleren Fehler alle nahe bei 0, was bedeutet, dass im Mittel sich Über- bzw. Unterschätzung des Modells ausgleichen. Die mittleren standardisierten Fehler liegen nahe bei 1. Dies bedeutet, dass die durch das Variogramm wiedergegebene Krigingvarianz im Mittel den Varianzen der Schätzwert-Messwert Differenzen entsprechen.

Die Schätzgüteparameter der *Messwert-Rasterwertvergleiche* weisen wesentlich bessere Werte auf (→ Tabelle 36). So liegen die mittleren prozentualen Fehler mit Ausnahme von Arsen unter 30 %. Neben Cr zeigen hier auch As, Hg, Ni und Ti höhere Standortvariabilitäten als prozentuale Schätzgütefehler. Alle anderen Werte liegen zum größten Teil nur knapp über den empirischen Abweichungen. Die durch diese Vorgehensweise ermittelten Korrelationen zwischen Mess- und Rasterwerten zeigen sehr hohe signifikante Werte auf. Mit Ausnahme von Cd (= 0.68) liegen alle Koeffizienten über 0.8.

Kriging-Ergebnisse der lognormaltransformierten Daten. Im Vergleich zu den *Kreuzvalidierungsergebnissen* der Kriging-Ergebnisse der Originaldaten weisen die Kriging-Ergebnisse der lognormaltransformierten Daten zum Teil bessere Werte auf (→ Tabelle 35). Dies äußert sich vor allem bei dem Vergleich der mittleren absoluten und prozentualen Schätzwerte. Für As und Ti

können Verbesserungen von über 10 %, bei Sb von knapp 20 % aufgezeigt werden. Lediglich Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Zn zeigen schwache Verbesserungen von unter 3 %. As, Cr, Fe, Hg und Ni weisen im Vergleich zu den Standortvariabilitäten niedrigere prozentuale Fehler auf. Die Korrelationen sind gegenüber den Originaldaten zum Teil stärker ausgeprägt, doch liegen diese bis auf Ni (= 0,6) noch immer unter 0,6. Die mittleren standardisierten Fehler liegen im Vergleich zu den Originaldaten bis auf As, Pb, Ti und Sb näher an 1. Wie der optischen Vergleich der Kriging-Ergebnisse bereits angedeutet hatte, zeigen sich anhand des mittleren Fehler deutliche Unterschätzungstendenzen. Dies verwundert nicht, da durch die Lognormaltransformation der Messwerte höhere Werte in ihrem Einfluss auf das Krigingergebniss gemindert werden.

Die Schätzgüteparameter der Ergebnisse des *Messwert-Rasterwertvergleichs* weisen keine eindeutigen Tendenzen zugunsten der lognormaltransformierten Krigingergebnisse auf (→ Tabelle 36). So sind nur bei Al, As, Cd und Zn niedrigere mittlere prozentuale Fehler festzuhalten. Bis auf Cd zeigen sich gar schwächere Korrelationen als bei den Originaldaten, doch liegen diese noch immer in allen Fällen über 0,75.

Tabelle 35: Schätzgütekriterien - Kreuzvalidierung

	Originaldaten						Ln-transformiert					
	n	ME [µg/g]	MSE	MAE [µg/g]	MPE [%]	K*	n	ME [µg/g]	MSE	MAE [µg/g]	MPE [%]	K*
Al	1028	1,54	1,37	151,1	41,5	0,55	1028	40,9	0,94	134	33,3	0,58
As	1026	-0,001	0,97	0,084	47,0	0,51	1026	0,02	1,04	0,08	35,1	0,56
Cd	1027	-0,0001	1,18	0,064	27,4	0,5	1027	0,02	1,04	0,06	24,5	0,54
Cr	1025	0,002	1,08	0,264	25,9	0,56	1025	0,06	0,98	0,25	23,3	0,58
Fe	1026	-0,708	1,21	154,2	40,8	0,44	1026	37,98	0,95	133	31,4	0,52
Cu	1027	-0,004	0,88	1,54	21,6	0,55	1027	0,26	0,98	1,52	20,6	0,54
Hg	1028	-0,0004	0,88	0,012	26,9	0,55	1028	0,003	0,95	0,01	24,8	0,55
Ni	1028	0,0002	1,07	0,382	31,2	0,59	1028	0,09	1,01	0,37	27,4	0,6
Pb	1026	-0,0115	1,00	1,882	37,8	0,53	1026	0,48	0,98	1,77	31,2	0,54
Ti	1023	-0,005	1,04	4,13	47,3	0,49	1023	1,2	0,94	3,73	36,5	0,54
Sb	1028	-0,00005	0,98	0,085	47,0	0,51	1028	0,01	1,05	0,04	28,4	0,55
V	1027	0,00037	1,101	0,409	37,7	0,48	1027	0,11	0,94	0,39	32,5	0,45
Zn	1026	-0,0061	0,968	10,32	23,9	0,53	1026	1,96	1,04	10,1	22,3	0,53

* Alle hier aufgeführten Korrelationskoeffizienten sind auf dem 1 % Niveau signifikant.

Tabelle 36: Schätzgütekriterien – Messwert-Rasterwertabgleich

	n	Originaldaten			Ln-transformiert		
		MAE [µg/g]	MPE [%]	K*	MAE [µg/g]	MPE [%]	K*
Al	1028	96,09	22,45	0,84	96,30	22,31	0,84
As	1026	0,058	31,99	0,85	0,058	25,56	0,77
Cd	1027	0,056	23,47	0,68	0,044	16,71	0,82
Cr	1025	0,10	10,14	0,96	0,14	12,30	0,92
Fe	1026	60,61	15,44	0,94	89,29	19,62	0,85
Cu	1027	1,15	15,99	0,82	1,37	18,24	0,66
Hg	1028	0,009	19,36	0,81	0,010	19,85	0,75
Ni	1028	0,24	19,64	0,90	0,26	19,05	0,84
Pb	1026	0,94	18,64	0,95	1,42	24,14	0,75
Ti	1023	1,60	17,42	0,95	2,75	24,78	0,81
Sb	1028	0,03	20,55	0,85	2,75	24,78	0,81
V	1027	0,23	21,24	0,91	0,29	22,90	0,76
Zn	1026	7,71	17,55	0,80	7,62	16,19	0,78

* Alle hier aufgeführten Korrelationskoeffizienten sind auf dem 1 % Niveau signifikant.

Fazit. Der Schätzgütevergleich der Krigingergebnisse der Originaldaten und lognormaltransformierten Daten zeigt bei den Kreuzvalidierungsergebnissen z.T. deutlich bessere Werte für die transformierten Messdaten. Die einzige qualitative Einschränkung beruht auf einer tendenziellen Unterschätzung besonders hoher Werte. Da bei dem Messwert-Rasterwertvergleich keine eindeutigen Tendenzen festzustellen sind, stützt sich die in Kapitel 8.5 beschriebene geostatistisch abgeleitete Ausreißerererkennung auf die Kriging-Flächen-schätzung der lognormaltransformierten Messdaten.

8.5 Ausreißererkenung und –bewertung

Zielsetzung. In den Kapiteln 8.3 und 8.4 wurden die Ergebnisse der geostatistischen Analyse von 13 ausgewählten Elementen im Moos-Monitoring 2000 detailliert beschrieben. Variogrammanalyse und Kriging wurden jeweils mit allen Messwerten durchgeführt. Nicht berücksichtigt wurden Daten, die auf Wunsch der Länder als unplausibel eingestuft wurden (SCHRÖDER et al. 2002 a). Die z.T. schlechte Schätzqualität der Krigingergebnisse könnte möglicherweise mit der Beibehaltung von weiteren unplausiblen Messwerten im Datensatz zu tun haben. Im Folgenden sollen geostatistische Verfahren dazu verwendet werden, derartige Werte im Datensatz zu identifizieren. Die so ermittelten Standorte werden anschließend mit den in der Moosdatenbank abgelegten Standortinformationen abgeglichen und im Moos-GIS veranschaulicht. Da Standorte identifiziert werden sollen, deren Elementgehalte eine schlechte Schätzqualität verursachen, werden diese im Folgenden als *räumliche Ausreißer* bezeichnet.

Vorgehen. Im Gegensatz zu herkömmlichen statistischen Vorgehensweisen zur Identifizierung von Ausreißern wird hier ein alternatives Verfahren angewendet. So wurden nicht die Messwertverteilungen, sondern die durch die Kreuzvalidierung ermittelten Differenzen zwischen wahren und geschätzten Werten der Ausreißererkenung zugrundegelegt. Als Grenzkriterium zur Ausreißeridentifizierung wurde der 1.5 fache Interquartilabstand vom 25. bzw. 75. Quartil der Fehlerverteilung festgesetzt. Dabei muss erwähnt werden, dass nicht nur Standorte extrahiert werden, die besonders hohe Werte aufweisen. Auch besonders niedrige Werte werden als Ausreißer ausgemacht und dem Datensatz entnommen.

Für alle 13 Elemente wurden auf diese Art räumliche Ausreißer extrahiert, ins GIS überführt und dort mit den Informationen der Moos-Datenbank verknüpft. Um weiterhin die Auswirkung der Extraktion dieser Ausreißer auf das Schätzergebnis einstufen zu können, wurden die ausreißereliminierten Datensätze in

ISATIS erneut mit Kriging räumlich verallgemeinert und kreuzvalidiert. Da in Kapitel 8.4 die lognormaltransformierten Daten die besseren Schätzgütewerte aufwiesen, wurde auch hier mit transformierten Messwerten gearbeitet.

Tabelle 37: Schätzgütekriterien der Kreuzvalidierung der lognormaltransformierten Daten – ohne räumliche Ausreißer

	n	ME [µg/g]	MSE	MAE [µg/g]	MPE [%]	K*
Al	958	19,97	0,98	92,1	29,0	0,62
As	954	0,011	1,03	0,05	30,4	0,68
Cd	971	0,008	1,05	0,05	21,7	0,64
Cr	975	0,033	1,01	0,2	20,7	0,65
Fe	969	20,15	0,99	97,1	27,9	0,58
Cu	994	0,192	1,02	1,34	19,2	0,56
Hg	968	0,002	1,02	0,009	21,9	0,6
Ni	964	0,053	1,05	0,28	24,0	0,67
Pb	952	0,250	0,99	1,26	26,9	0,61
Ti	953	0,622	0,97	2,57	31,6	0,64
Sb	979	0,007	1,00	0,04	26,5	0,56
V	976	0,059	1,00	0,29	27,6	0,58
Zn	991	1,311	1,08	8,57	20,7	0,58

Verbesserung der Schätzqualität? Die Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse der Kreuzvalidierung aller 13 Berechnungen. Maximal wurden die Datensätze bis auf n = 952 Messwerte reduziert (Pb). Am wenigsten Standorte wurden bei Cu aus dem Datensatz entnommen (n = 36). Bei allen 13 Elementen konnte durch die Ausdünnung eine [sichtbare] Veränderung der Schätzqualität erzielt werden. Die Korrelationen zwischen gemessenen und geschätzten Werten liegen in sieben Fällen über 0.6, die mittleren prozentualen und absoluten Fehler sind geringer als bei den Kreuzvalidierungsergebnissen der vollständigen Datensätze.

Wie bei den lognormaltransformierten Krigingergebnissen der vollständigen Datensätze ist allerdings auch hier eine tendenzielle Unterschätzung festzuhalten. Die der Kreuzvalidierung zugrundeliegenden Variogramme sind im Anhang E.2 einzusehen. Durch die Eliminierung besonders problematischer Werte zeigen die experimentelle Variogramme hier noch kontinuierlichere Verläufe als die der lognormaltransformierten vollständigen Daten.

Überprüfung im Moos-GIS. Es wurden insgesamt 286 Standorte ausgemacht, deren Messdaten nach der beschriebenen Vorgehensweise als räumliche Ausreißer bezeichnet werden können. Eine kartografische Übersicht dieser Standorte findet sich im Anhang A.8.1. Von den 286 Standorten weisen 23 Standorte bei allen 13 Elementen jeweils höhere Schätz- als Messwerte auf. Die Karte in Anhang A.8.1 zeigt, dass diese Standorte in allen Fällen in unmittelbarer Nähe von stark unterschätzten Messpunkten liegen. Dies lässt darauf schließen, dass die hohen Abweichungen der Messwerte dieser 23 Standorte auf den Einfluss besonders hoher Werte zurückzuführen sind. Die Überprüfung mit Hilfe der standortbeschreibenden Datensätze der Moos-Datenbank konzentrierte sich daher nur auf die übrigen 263 Messstandorte, die in Bezug auf mindestens eins der 13 Elemente stark unterschätzt wurde. Die dabei durchgeführten Datenbankabfragen beziehen sich auf

- Abstände zu Autobahnen (→ Anhang A.8.2),
- Abstände zu Industrieanlagen (→ Anhang A.8.3),
- Abstände zu Landstraßen (→ Anhang A.8.4),
- Abstände zu Wohnsiedlungen (→ Anhang A.8.5) sowie
- entnommene Moosarten (→ Anhang A.8.6).

Die Abfrageergebnisse sind in den Anhängen A.8.2 bis A.8.6 kartografisch aufgearbeitet worden. Die dort vorgenommene Klassifizierung der Entfernung zu potenziellen Emissionsquellen richtet sich nach den festgelegten Mindestabständen der modifizierten Probenentnahmerichtlinie (→ Kapitel 7).

Abstände zu Autobahnen. Von den 263 Standorten weisen 200 keine Angaben über den Einfluss nahegelegener Autobahnen auf. 45 Standorte sind mindestens 1000 m, 18 Standorte weniger als 1000 m von einer Autobahn entfernt. 2 Standorte unterschreiten den in der Probenentnahmerichtlinie festgesetzten Mindestabstand von 300 m.

Abstände zu Industrieanlagen. Von den 263 Standorten weisen 206 keine Angaben über eine mögliche Nähe zu Industriestandorten auf. 38 der restlichen 57 Standorte liegen mehr als 1 km von der jeweiligen Industrieanlage entfernt. 4 Standorte unterschreiten den in der Probenentnahmerichtlinie festgesetzten Mindestabstand von 300 m.

Abstände zu Landstraßen. 72 der 263 Standorte unterschreiten den in der Probenentnahmerichtlinie festgesetzten Mindestabstand von 300 m. 188 Standorte liegen weniger als 1000 m von der nächsten Landstraße entfernt. Zu 20 Standorten sind keine diesbezügliche Angaben gemacht worden.

Abstände zu Wohnsiedlungen. 115 Standorte liegen weniger als 1 km von der nächsten Wohnsiedlung entfernt, 23 Standorte weniger als 300 m (festgesetzter Mindestabstand). Zu 39 Standorten wurden keine Angaben gemacht.

Entnommene Moosarten. Von den 263 Standorten wurden an 40 Standorten Fehlarten (= 15,2 %) entnommen und an 106 Standorten *Hypnum cupressiforme* (= 40,3 %). Im Vergleich dazu wurde bundesweit *Hypnum cupressiforme* zu 23,9 % entnommen, Fehlarten zu 6,7 %. Somit zeigt sich ein deutlicher prozentueller Überschuss bei den 263 Standorten. Der Rest der entnommenen Moosarten verteilt sich vorwiegend auf *Pleurozium schreberi* (= 24 %) und *Scleropodium purum* (20 %).

Fazit. Kapitel 8 beschreibt Anwendung geostatistischer Methoden zum Zwecke optimierter Flächenschätzungen für die Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn. Die Ergebnisse werden mit Hilfe aus-

gewählter Schätzgütekennzahlen beschrieben. Dies entspricht dem ersten Schritt der vom Forschungsnehmer ursprünglich vorgesehenen Messnetzoptimierung, bei der geostatistische Verfahren mit multivariaten Cluster- und Nachbarschaftsanalysen kombiniert werden. Eine derartige statistisch begründete Messnetzoptimierung sollte zu einem späteren Zeitpunkt unbedingt nachgeholt werden. Auch sollten andere geostatistische Ansätze erprobt werden, um eine möglichst optimale Schätzqualität zu erhalten.

Um dennoch in Ansätzen Empfehlungen für ein zukünftiges Moos-Monitoring auszusprechen, wurden in Kapitel 8.5 geostatistische Methoden zur Identifikation von Standorten verwendet, die eine Herabsetzung der Schätzqualität verursachen. Es konnten 263 Standorte ausgemacht werden, denen im Moos-Monitoring 2005 erhöhte Aufmerksamkeit bei der Beprobung geschenkt werden sollte. Diese Standorte wurden mit Hilfe der standortbeschreibenden Datensätze der UBA-Moos-Datenbank im Moos-GIS überprüft und ausgewertet. Dabei konnten bezüglich der Abstände der Standorte zu potenziellen Emissionsquellen Unterschreitungen der in der Probenentnahmerichtlinie festgesetzten Mindestabstände ausgemacht werden.

9 Entwicklung eines Moos-GIS

Zielsetzung. Ziel des Moos-Monitoringprojektes 2000 war es, zur kartografischen Aufarbeitung und statistische Verknüpfung der in allen drei Moos-Monitoring-Projekten erhobenen Daten ein *Moos-GIS* aufzubauen. Ein GIS ist ein aus Hardware, Software und Daten bestehendes computergestütztes Werkzeug, mit dem geografisch verortete Objekte digital erfasst, gespeichert, verwaltet und analysiert werden können. Die Besonderheit des im Folgenden vorgestellten Moos-GIS gegenüber anderen Geografischen Informationssystemen besteht einerseits in der verwendeten GIS-Software, vor allem aber in den Daten, die mit dieser Software verarbeitet werden.

ArcView GIS. Für den Aufbau des Moos-GIS wurde 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 die im Vergleich zu anderen GIS-Programmen leichte Bedienbarkeit und Anpassungsfähigkeit. Die Programmarchitektur von ArcView GIS gliedert sich im wesentlichen in zwei Komponenten: Programmoberfläche und Geoobjekte.

Programmmoberfläche. Die Programmoberfläche von ArcView wird durch sogenannte ArcView Projektdateien bzw. Projekte gebildet. In Form eines modularen Aufbau werden dem Anwender unterschiedliche Möglichkeiten bei der Analyse, Abfrage und Visualisierung räumlicher Daten zur Verfügung gestellt. Die für den Benutzer des Moos-GIS wichtigen Programmelemente sind die Module *Views*, *Tables* und *Layouts*.

Views. Die *Views* bilden innerhalb von ArcView GIS das zentrale Programmelement zur Visualisierung und Analyse räumlicher Daten. Es können sowohl geometrische Grundstrukturen (ohne Attributinformation) wie auch sogenannte Themen, dies sind die Geoobjekte in ArcView, dargestellt werden. Hierbei kann es sich sowohl um Vektor-(ArcView-Shape-Dateien, ARC/INFO-Coverages) als auch Rasterdaten (ARC/INFO-GRIDS sowie z.B. TIFF-, Bitmap- und JPEG-Daten) handeln. Die Dateien, aus denen die Geoobjekte generiert werden, sind mit der Programmoberfläche lediglich dynamisch verknüpft. Alle Themen eines Views sind in einem interaktiven Inhaltsverzeichnis aufgeführt, in dem die Themen aktiviert bzw. deaktiviert werden können.

Tables. Mit *Tables* besitzt ArcView GIS ein eigenes Datenbank-Modul. Hier werden die den in den Views dargestellten Geoobjekten zugewiesenen Sachdaten in Form von Tabellen verwaltet. Auch können ASCII- und dBase-Dateien in

das Tables-Modul eingelesen und dann in einem View als sogenanntes *Ereignisthema* dargestellt werden.

Layouts. Mit dem *Layout*-Modul können [analoge] Karten erstellt werden. Neben den in den Views zusammengestellten Geoobjekten können Maßstabsleisten, Legenden oder Diagramme hinzugefügt werden.

Geoobjekte. Die Art der Geoobjekte und die mit diesen Objekten verknüpften Informationsschichten bilden im Moos-GIS die eigentliche Besonderheit gegenüber anderen ArcView GIS-Anwendungen. Die Geoobjekte im Moos-GIS werden vor allem durch die in den Moos-Monitoring-Projekten 1990, 1995 und 2000 generierten Messnetzgeometrien gebildet. Diese sind mit den standortbeschreibenden Informationen sowie den Ergebnissen der chemischen Moos Analytik verknüpft. Zusätzlich wurden sogenannten *Metadaten* an die Messnetzgeometrien angebunden. Bei diesen Metadaten handelt es sich um Informationen über Organisation und Durchführung des Moos-Monitoring Programms, die in dem FuE-Vorhaben 299 82 212 / 02 „Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogrammes im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder“ aus den Abschlussberichten der Moos-Monitoring-Vorhaben 1990 und 1995 extrahiert wurden (SCHRÖDER et al. 2001). Neben den punktuellen Messnetzgeometrien sind im Moos-GIS auch Rasterdaten, wie die im Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse der IDW-Flächenberechnungen integriert.

Ergebnisse. Das mit der GIS-Software ArcView GIS erstellte Moos-GIS ist eine Ansammlung von je nach Anwendungsschwerpunkt generierten ArcView-Projektdateien, die auf in speziellen Ordnern abgelegte Quelldaten zurückgreifen. Flächen- und Punktdaten sind jeweils mit kartografischen Informationen über Flüsse und Ländergrenzen hinterlegt. Entsprechend den in diesem Bericht beschriebenen Inhalten wurden dreizehn Projektdateien mit folgenden Inhalten angelegt:

- Messnetzgeometrien inkl. Attribut¹¹- und Metadaten der Moos-Monitoring-Vorhaben von 1990, 1995 und 2000 (*Messnetzübersichten.apr*),
- Klassifizierte Punktkarten der Messwerte der Moos-Monitoring-Vorhaben von 1990, 1995 und 2000 (*AnhangA.1.apr*, *AnhangA.2.apr*, *AnhangA.3.apr*),
- Standortbezogene Entwicklung der Metallbelastung in Moosen zwischen 1990 und 2000 (*AnhangA.4.apr*) bzw. 1995 und 2000 (*AnhangA.5.apr*),
- Ergebnisse der geostatistischen Analysen für das Moos-Monitoring 2000 (*AnhangA.7.1*, *AnhangA.7.2*, *Anhang A.8*) sowie
- Ergebnisse der IDW-Berechnungen für das Moos-Monitoring 1990, 1995 und 2000 (*IDW_1990.apr*, *IDW_1995.apr*, *IDW_2000.apr*).

Aus dem FuE-Vorhabens 299 82 212 / 02 (SCHRÖDER et al. 2001) wurden weiterhin die Ergebnisse von Kriging- und Cluster-Berechnungen für das Moos-Monitoring 1990 in einem ArcView-Projekt abgelegt (*Ergebnisse_UB.apr*).

Die vorgestellten Projektdateien sind einschließlich der Quelldateien dem vorliegenden Abschlussbericht in Form einer CD beigelegt.

10 Bestimmung von Platin- und Palladium in *Pleurozium schreberi*

Ziel und Hintergründe. Seit Beginn der 80er Jahre werden in Deutschland durch den Einsatz von Autoabgaskatalysatoren in zunehmendem Umfang die katalytisch wirksamen Platingruppenelemente (PGE) Platin, Palladium und Rhodium emittiert. Der Untersuchung dieser Elemente kommt aus humantoxikologischer Sicht (z. B. Cytostatika, cis-Platinverbindungen) eine wichtige Stellung zu. Ziel der hier beschriebenen Untersuchung war es zu prüfen, inwieweit

¹¹ Bei den Attributinformationen handelt es sich sowohl um die standortbeschreibenden Informationen aus der UBA-Moos-Datenbank als auch um die Ergebnisse der chemischen Moos-Analytik.

die quantitative Bestimmung der Platingruppenelemente Platin (Pt) und Palladium (Pd) mit Hilfe von Moosen möglich ist. Weiterhin sollte untersucht werden, ob die Bestimmung von Pt und Pd an den Probenentnahmestellen des Moos-Monitoring-Messnetzes sinnvoll ist.

Vorgehen. An der Autobahn A7 nördlich von Hannover erfolgten an zwei Abschnitten insgesamt 19 Probenentnahmen von *Pleurozium schreberi*: Am 13.10.2000 wurden bei km 117 zwischen 15 und 830 m Entfernung zur A7 neun Proben gesammelt. Am 17.10.2000 wurden bei km 96,5 am Walsroder Dreieck, Ostseite, 11 Standorte in einer Entfernung von 5 bis 360 m zur Autobahn beprobt. Zwei Vergleichsproben wurden weiterhin aus einem Reinluftgebiet 70 km nördlich der letztgenannten Lokalität im Raum Ottersberg entnommen. Die Proben wurden von Dr. Roostai entsprechend der Vorgehensweise im Moos-Monitoring 2000 präpariert und auf Vorschlag von Dr. Siewers in einem international anerkannten kanadischen Labor (Actlabs) untersucht. Die hierbei verwendete Methode (Veraschung und Analyse mit ICP-MS) stellt nach der Erfahrung eines erfahrenen kanadischen Wissenschaftlers einen sehr effektiven Weg für die Bestimmung der PGE dar. Neben Pt und Pd wurden noch weitere 60 Elemente analysiert, deren Gehalte allerdings in der hier vorgestellten Ausführung nicht vorgestellt werden.

Ergebnisse. Die Abbildungen 64 bis 67 zeigen die Ergebnisse der analysierten 21 Proben. Die zwei Proben aus dem Reinluftgebiet im Raum Ottersberg mit vermuteten niedrigen Pt- bzw. Pd-Gehalten (NI 250, NI-OTT 4) sind in den jeweiligen Diagrammen rot markiert.

Abschnitt km 96,5. Die Pt- und Pd-Werte zeigen den direkten Einfluss des Straßenverkehrs. In einer Entfernung von 5 und 7 m wurden für beide Elemente die höchsten Werte gemessen. Der Punkt NI 272 (5 m Entfernung) zeigt sowohl für Pt- wie auch für Pd maximale Gehalte von 44,4 ng/g Pt und 56,6 ng/g Pd auf. Mit wachsender Distanz zur Autobahn nehmen die Werte annähernd konti-

nuiert ab. Wie an den emissionsfernen Standorten NI 250 und NI-OTT4 kann am Probenentnahmepunkt NI 280 (Entfernung zur A7 = 360 m) Platin nicht mehr nachgewiesen werden. Die Pd-Werte zeigen mit 6 ng/g am selben Standort gleiche Gehalte wie in dem emissionsfernen Gebiet.

Abschnitt km 117. Wie bei km 96,5 kann auch hier der Einfluss der Straßenverkehrs in den Pt- und Pd-Gehalten der entnommenen Moosproben nachvollzogen werden. Der an dem Randstreifen der A7 beprobte Standort NI-267 (15 m Entfernung) weist mit 6,1 ng/g Pt bzw. 11,4 ng/g Pd die höchsten Werte auf. Pt ist ab dem Punkt NI-264 (260 m Entfernung) nicht mehr nachzuweisen. Pd zeigt schon in 100 m Entfernung (NI-266) ähnlich niedrige Gehalte wie im Raum Ottersberg.

Fazit. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass ektohydre Moose zum emittentenbezogenen Monitoring von Pt und Pd sehr gut geeignet sind. Das bisherige Moos-Monitoring zielt allerdings auf die flächenrepräsentative Erfassung von Metall- und Schwermetallelemente ab. Entsprechend der Probenentnahmerichtlinie sind die Beprobungen daher an möglichst unbelasteten Standorten durchzuführen, um so lokale Einflüsse (Industrie, Straßenverkehr) zu vermeiden. Wie die hier vorgestellte Untersuchung andeutet, ist nicht damit zu rechnen, die Elemente Pt und Pd an den ausgewiesenen Standorten des bisherigen Moss-Monitorings in Deutschland in ausreichender Konzentration vorzufinden.

Auf Grund der humantoxikologischen Eigenschaften von Platin und den PGE als starke Zellgifte sollte der AK Bioindikation / Wirkungsermittlung zu diesem Sachverhalt Position beziehen.

Abbildung 64: Vergleich Pt-Gehalte an der A7 - km 96,5 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet

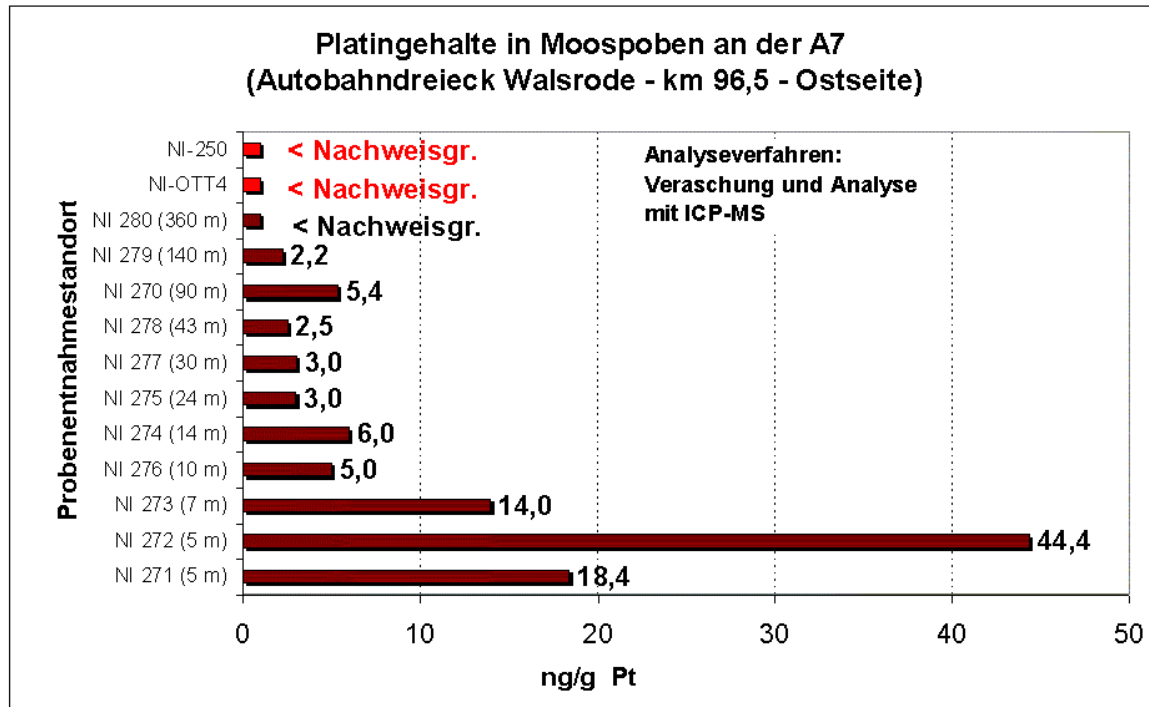


Abbildung 65: Vergleich Pd-Gehalte an der A7 - km 96,5 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet

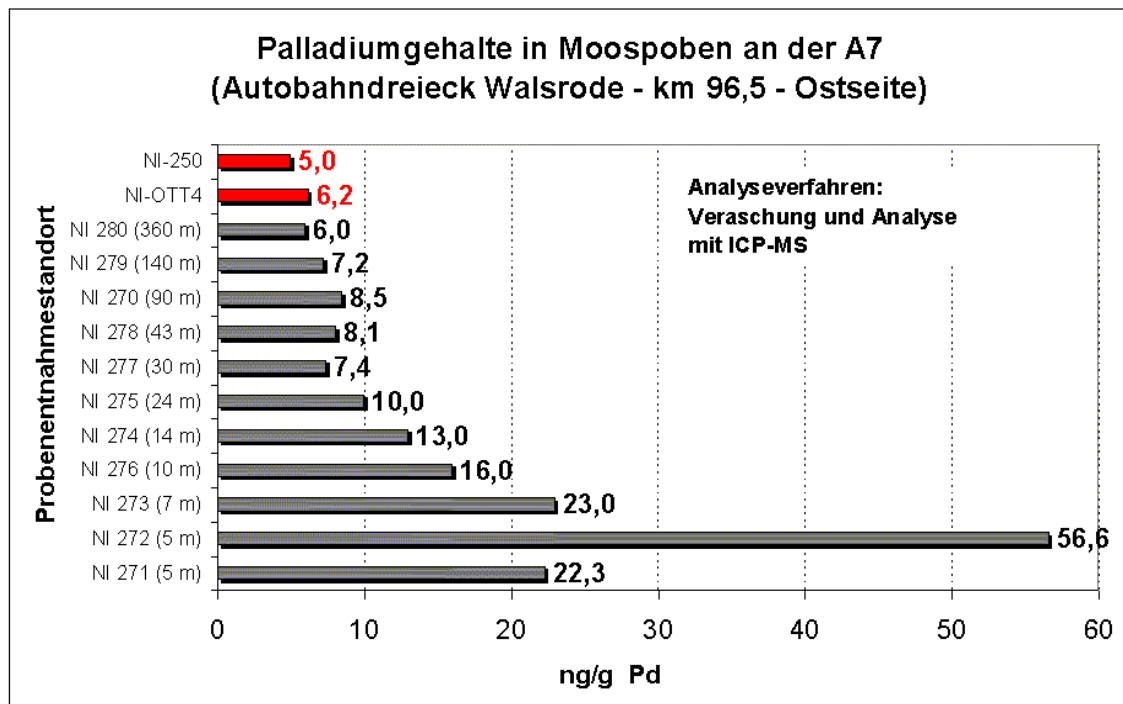


Abbildung 66: Vergleich Pt-Gehalte an der A7 - km 117 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet

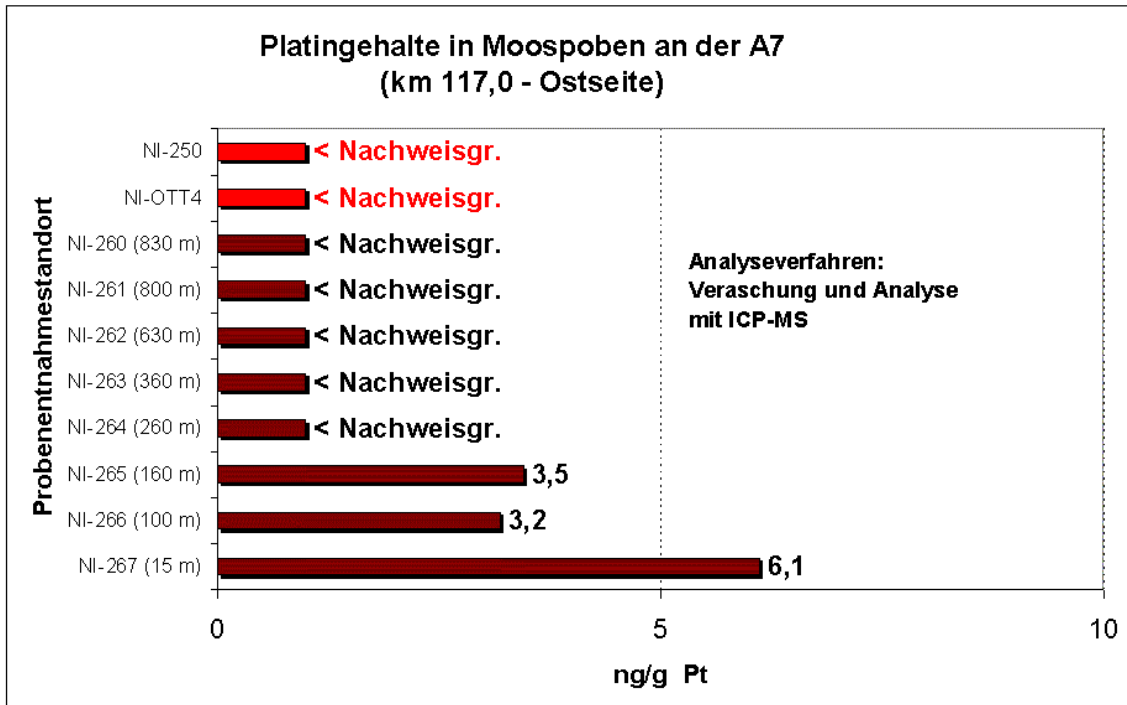
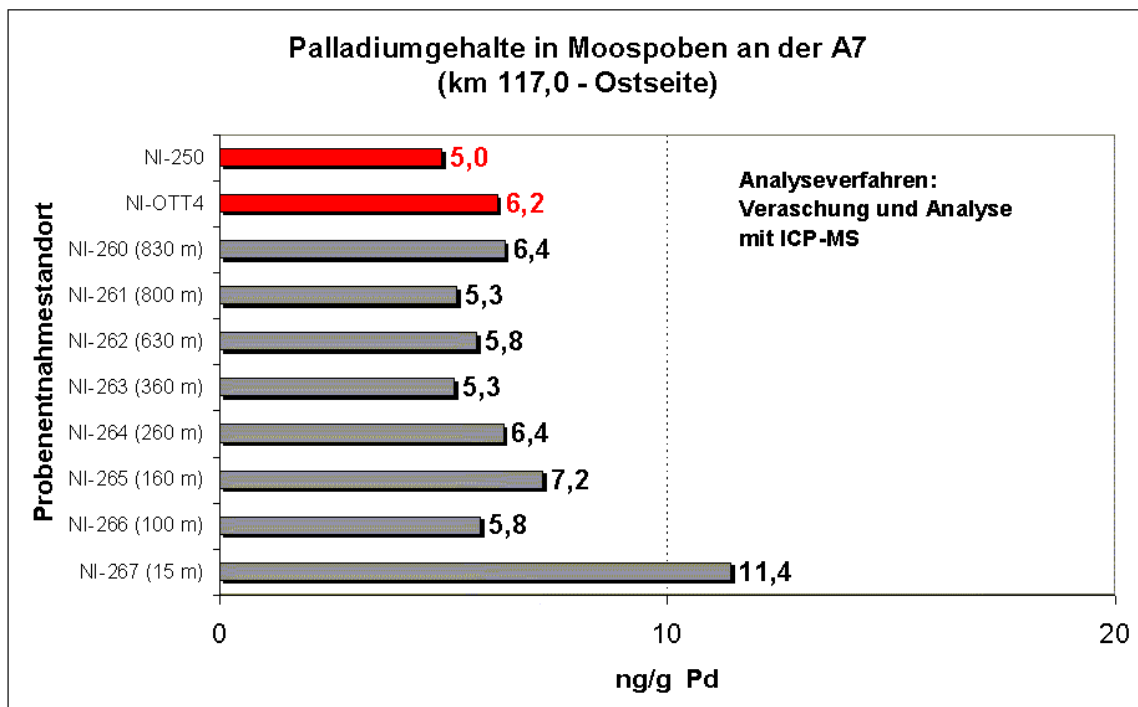


Abbildung 67: Vergleich Pd-Gehalte an der A7 - km 117 – Ostseite - mit einem Reinluftgebiet



11 Zusammenfassung und Ausblick

In dem FuE-Vorhaben 200 64 218 wurde mit Hilfe ausgewählter Moosarten der flächenhafte Eintrag von 20 Metall- und Schwermetallelementen in einem methodenharmonisierten, qualitätskontrollierten chemisch-analytischen System quantitativ erfasst. 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. Das Vorhaben wurde von dem Bund- / Länderarbeitskreis „Bioindikation / Wirkungsermittlung“ fachlich begleitet.

Zielsetzung. Die Ergebnisse des Vorhabens werden in drei Berichtsteilen vorgelegt (SCHRÖDER et al. 2002 a bis c). In dem vorliegenden Synthesebericht werden folgende in den Berichtsteilen I bis III bearbeiteten 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),

- Moosartenspezifische Auswertung der Ergebnisse des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 (→ Kapitel 4),
- Entwicklung eines Schwermetallindex (→ Kapitel 5).
- Optimierung der Moosprobenentnahme (→ Kapitel 6),
- Optimierung der Datenbankstruktur (→ Kapitel 7),
- geostatistische Analyse der Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn im Moos-Monitoring 2000 (→ Kapitel 8)
- Integration von messstandortbeschreibenden Angaben, Messdaten sowie daraus statistisch abgeleiteter Flächendaten in einem Moos-GIS (Geografisches Informationssystem (→ Kapitel 9) sowie
- Untersuchung von Platin und Palladium in *Pleurozium schreberi* (→ Kapitel 10).

Zusammenfassung. Im Moos-Monitoring 2000 wurden insgesamt 1028 Standorte auf die Moosarten *Pleurozium schreberi* (n = 423), *Scleropodium purum* (n = 286), *Hypnum cupressiforme* (n = 246), *Hyclomium splendens* (n = 3) sowie mehrere nicht in der Prioritätenliste aufgeführte Moosarten (Fehlarten; n = 70) beprobt. Die Ergebnisdarstellung richtet sich nach dem Vorbild der Abschlussberichte der Moos-Monitoring Vorhaben 1990 und 1995. Demzufolge wurden für jedes Element die Ergebnisse u.a. in Form von länderweiten Medianvergleichen statistisch beschrieben. Neben der flächenhaften Darstellung der Ergebnisse in Form von Flächenkarten werden für alle drei Moos-Monitoring Vorhaben die jeweiligen Elementgehalte in Moosen von klassifizierten Punktkarten aufgearbeitet. Umrechnungsfaktoren für die unterschiedlichen Moosarten wurden nicht eingebracht.

Die im Moos-Monitoring 2000 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bestimmten Elementgehalte zeigen im Vergleich zu den beiden Vorgängerprojekten im allgemeinen niedrigere Werte. Besonders deutlich sind diese Abnahmen bei den aus primär anthropogenen Quellen stammenden Standardelementen zu sehen. Ehemals großflächig belastete Regionen wie in Nordrhein-

Westfalen, Sachsen und Sachsen-Anhalt wiesen im Moos-Monitoring 2000 zwar erneut erhöhte Werte auf, jedoch ohne das Ausmaß aus dem Moos-Monitoring 1990 bzw. 1995 zu erlangen. Dies wird u.a. deutlich durch den Vergleich deskriptiv-statistischer Kenngrößen sowie anhand von Punkt- und Flächenkarten aus allen drei Moos-Monitoring Projekten. Die Bewertung der hier dargestellten Vergleiche sollte nicht ohne Berücksichtigung der Ergebnisse der analytischen Qualitätskontrolle erfolgen. Auch die hohen Varianzen am Standort müssen bei einer derartigen Betrachtung berücksichtigt werden.

Um der Moosartenvariabilität Rechnung zu tragen, wurde für die Moosarten *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum* und *Hypnum cupressiforme* die Zentralität der Messungen der Standardelemente sowie der Zusatzelemente bundesweit durch Medianbalkendiagramme beschrieben. Ein Vergleich der moosartenspezifischen bundesweiten Mediane ergab, dass besonders As, Cd, Ni, Pb, Hg, Al, Ba, und Ca in *Hypnum cupressiforme* am stärksten akkumulieren. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die verglichenen Stichproben räumlich nie identisch sind.

Über gezielte Transformation der Messwerte des Moos-Monitorings 1990, 1995 und 2000 wurde weiterhin ein Gesamt-Metallindex abgeleitet. Dieser Index ermöglicht es, in Ergänzung zu den Einzelement-Betrachtungen die Umweltsituation in Deutschland in Form einer Gesamt-Metallbetrachtung zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigen, dass seit 1990 in allen Ländern Luftreinhaltemaßnahmen zu erheblichen Minderungen der Immissionswirkungen geführt und ein weitgehend einheitliches Niveau erreicht haben.

Ausgehend von den Erfahrungen der Moos-Monitoring-Projekte 1990, 1995 und 2000 wurden von den Probenentnehmern der Länder kritische Anmerkungen zur Durchführung des Moos-Monitorings allgemein und speziell zur Probenentnahmerichtlinie gemacht. Deshalb wird ein Entwurf einer präzisierten Probenentnahmerichtlinie vorgestellt. Diese modifizierte Richtlinie umfasst Vorschriften

für die Durchführung der Probenentnahme am Standort und für die Dokumentation der Probenentnahmebedingungen und Standortkriterien, welche für die Datenqualität und Auswertung wichtig sind.

Durch die Überarbeitung der Datenbankstruktur im Moos-Monitoring weiterhin eine Vereinheitlichung und Vereinfachung der Datenhaltung erzielt werden. Eine Zusammenführung und automatisierte Auswertung der Ergebnisse der chemischen Moos-Analytik und der Standortbeschreibungen aller drei Moos-Monitoringphasen ist daher in Zukunft möglich. Die überarbeitete Datenbankstruktur bildet weiterhin die Basis für die Integration der Moos-Monitoring-Daten in andere Datenbanksysteme, wie z.B. das in dem vorliegenden Bericht vorgestellte Internet- und GIS-gestützte Umweltmonitoringsystems (IGUS).

Optimierte Flächenschätzungen für die Elementkonzentrationen von Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti, V und Zn wurden mit geostatistischen Methoden abgeleitet. Die Ergebnisse werden anhand ausgewählter Schätzgütekenngrößen bewertet. Dies entspricht dem ersten Schritt der vom Forschungsnehmer ursprünglich vorgesehenen Messnetzoptimierung, bei der geostatistische Verfahren mit multivariaten Cluster- und Nachbarschaftsanalysen kombiniert werden. In dem ersten, dem geostatistischen Schritt der Messnetzoptimierung, werden 263 Standorte identifiziert, denen im Moos-Monitoring 2005 erhöhte Aufmerksamkeit bei der Beprobung zukommen sollte. Die dort gemessenen Metallgehalte sind auffällig: Sie rangieren außerhalb des 1.5-fachen des Interquartilabstands vom 25. bzw. 75. Quartil der Schätzfehlerverteilungen. Diese so bestimmten auffälligen Standorte wurden mit Hilfe der standortbeschreibenden Datensätze der UBA-Moos-Datenbank im Moos-GIS im Hinblick auf Standortfaktoren ausgewertet, welche die Messwerte beeinflussen können:

- Abstände zu Autobahnen,
- Abstände zu Industrieanlagen,
- Abstände zu Landstraßen,
- Abstände zu Wohnsiedlungen sowie

- entnommene Moosarten.

Die kartografische Aufarbeitung aller in den Berichten I bis III vorgestellten Ergebnisse im Moos-GIS bietet eine Grundlage für weitere räumliche Verknüpfungen mit Daten anderer Umweltbeobachtungsprogramme. Das Moos-GIS beinhaltet insgesamt dreizehn ArcView Projektdateien und liegt dem Abschlussbericht als CD bei.

Die Analytik-Ergebnisse der Moos-Beprobungen von insgesamt 21 Standorten entlang zweier Abschnitte der A7 (Raum Hannover – km 96,5 und km 117) zeigen, dass ektohydre Moose zum emittentenbezogenen Monitoring von Pt und Pd sehr gut geeignet sind. Zwei Weitere Standorte wurden in Reinluftgebieten beprobt. An beiden Abschnitten der A7 konnten die Einflüsse des Straßenverkehrs in den Pt- und Pd-Gehalten der entnommenen Moosproben nachvollzogen werden. Die Ergebnisse der Analytik deuten allerdings an, dass nicht damit zu rechnen ist, die Pt und Pd an den ausgewiesenen Standorten des bisherigen Moos-Monitorings in Deutschland in ausreichender Konzentration vorzufinden. So konnte Platin in einer Entfernung von 360 m (km 96,5) bzw. 260 m (km 117) zur A7 nicht mehr nachgewiesen werden. Dies entspricht den an den Reinluftstandorten gemessenen Verhältnissen. Die Pd-Gehalte zeigten sich in 100 m (km 117) bzw. 360 m (km 96,5) Entfernung zur Autobahn ähnlich niedrig wie in den Reinluftgebieten.

12 Zitierte Literatur

- ADRIANO, D.C. (Hrsg.) (1992) : Biochemistry of trace metals; Lewis Publisher, Boca Raton, Florida.
- AKIN, H.; SIEMENS, H. (1988): Praktische Geostatistik. Berlin.
- BILL, R., FRITSCH, D. (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen, Bd. 1. – Berlin (u.a.).
- BLEINNES, C.; DERAISME, J.; GEFFROY, F.; PERSEVAL, S.; RAMBERT, F.; Renard, D.; TOUFFAIT, Y (2001): ISATIS – Isatis Software Manual. Geovariations école des mines de Paris. Avon Cedex.
- BMU (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. Bonn (April 1998).
- BOWEN, H., J., M., (1979): Environmental chemistry of the element. Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco.
- BROWNING, E. (1961): Toxicity of industrial metals; Butterworths, London.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT (Hrsg.) (1993): Katalog umweltrelevanter Standards, Umwelt-Handbuch Bd. 3, Braunschweig.
- BYERRUM, R.U. (1991) : Vanadium. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.): 1289-1297; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- CODD, E. F. (1991): The Relational Model for Database Management Systems. Addison, Wesley.
- DARBINJAN, F. (1988): Geochemie der Braunkohlen der DDR am Beispiel des ostelbischen Kohlereviere. Dissertation, Bergakademie Freiberg.
- DÄSSLER, H.-G., BÖRITZ, S. (Hrsg.) (1988): Air pollution and its influence on vegetation. T:VS, Nr. 18; Dr. W. Junk Publisher, Dordrecht, Boston, Lancaster.
- EWERS, U., SCHLIPKÖTER, H.-W. (1991): Lead. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.): 971-1014; Weinheim, New York, Basel, Cam-

bridge.

- FIEDLER, H.J., RÖSLER, H.J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- FISCHBEIN, L. (1981) : Sources, transport and alteration of metal compounds: An overview. I. Arsenic, beryllium, cadmium, chromium, and nickel. In: Environ. Health Perspect 40, S. 43-64.
- FOWLER, B.A. (Hrsg.) (1983) : Biological and environmental effects of arsenic. Topics in Environmental Health, Vol. 6; Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford.
- GAUGLHOFER, J., BIANCHI, V. (1991): Chromium. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.): 854-878; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- GYDESEN, H., PILEGAARD, K., RASMUSSEN, L., RÜHLING, A (1983): Moss analyses used as a means of surveying the atmospheric heavy-metal deposition in Sweden, Denmark and Greenland in 1980. Bulletin SNV 1670.
- HAMILTON, E.I. (1979) : The chemical elements and man; Charles C. Thomas, Springfield, Ill.
- HEINRICH, U. (1994): Flächenschätzung mit geostatistischen Verfahren – Variogrammanalyse und Kriging. In: SCHRÖDER, W.; VETTER, L.; FRÄNZLE, O.: Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Vieweg Umweltwissenschaften. Braunschweig, Wiesbaden. S. 145-164.
- HEINRICH, H., SIEWERS, U., BÖTTCHER, G., MATSCHULLAT, J., ROOSTAI, A.H., SCHNEIDER, J., ULRICH, B. (1994): Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Gewässer im Einzugsgebiet der Sösetalsperre.- In: Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität (Hrsg. Matschullat, J., Heinrich, H., Schneider, J. und Ulrich, B.), S. 223-259; Berlin.

- HERPIN, U., SIEWERS, U., KREIMES, K., MARKERT, B. (1998): Biomonitoring : Bewertung von Bleigehalten aus zwei gesamtdeutschen Moos-Monitoring-Programmen. In: Zeitschrift zur angewandten Geologie 44, 2, S. 195-203; Hannover.
- HERPIN, U.; LIETH, H.; MARKERT, B. (1995): Monitoring der Schwermetallbelastung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Moosanalysen. - Berlin (UBA-Texte 31/95).
- JOST, D. (1984) : Luftqualität in belasteten Gebieten und fern von Emittenten.- Staub-Reinhalt. Luft 44 : 137-138.
- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. (1978): Mining Geostatistics. New York.
- JOURNEL, A.G. (1986): Geostatistics: Models and tools for earth sciences. In: Mathematical Geology. 18(1): S. 119-140.
- KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. (1992): Trace elements in soils and plants. CRS Press, Inc. – Boca Raton, Florida.
- LEONARD, A. (1991): Arsenic. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.) : 751-774; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- MÄKINEN, A. (1983) : Heavy metals and arsenic concentrations of woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. Et Sch. Growing around a coal-fired power plant an costal southern Finland. Projekt Kol-Hälsa-Miljö.- Teknisk rapport 85.
- MARKERT, B. (1991) : Inorganic chemical investigations in the Forest Biosphere Reserve near Kalinin, USSR, 1. Mosses and peat profiles as bio-indicators for different chemical elements. In: Vegetatio 95, S. 127-135.
- MARKERT, B. (1992) : Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for the future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. In: Vegetatio 103, S. 1-30; Belgium.
- MARQUARDT, M., SCHÄFER S.G. (1994) : Lehrbuch der Toxikologie; BI-Wiss.-Verlag, Mannheim, Leipzig.

- MATHERON (1971): The theory of regionalized variables and its application. – Fontainebleau.
- MERIAN, E. (1991) : Metals and their compounds in the environment; VCH, Weinheim, New York.
- NEUMÖLLER, O.-A. (Hrsg.) (1973) : Römpps Chemie-Lexikon. 7. Aufl.; Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.
- NRIAGU, J.O., PACYNA, J.M. (1988) : Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals.- Nature 333 : 134-139.
- OHNSORGE, F.K., WILHELM, M. (1991): Zinc. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.) : 1309-1342; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- OLEA, R. A. (1999): Geostatistics for Engineers and Earth Scientists. Kluwer Academic Publishers. Boston, Dordrecht, London.
- PAKARINEN, P., RINNE, R.J.K. (1979): Growth rates and heavy metal concentrations of five moss species in paludified spruce forests. In: Lindbergia 5, S. 77-83.
- PEICHL, L. (2001): Umweltindikatoren für Immissionswirkungen. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung -Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 13 (3), S. 130 – 138.
- PEICHL, L., WÄBER, M., REIFENHÄUSER, W. (1994): Schwermetallmonitoring mit der Standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München – Kfz-Verkehr als Antimonquelle? In: Z. Umweltchem. Ökotox. 6 (2), S. 63 – 69.
- PETSCHOW, U., MEYERHOFF, J., THOMASBERGER, C. (1990): Umweltreport DDR; Studie des Institus für ökologische Wirtschaftsforschung; S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt a.M..
- REIMANN, C., CARITAT, P. de (1998b) : Chemical elements in the Environment.- 398 S.; Berlin.

- RÖSLER, H.J., LANGE, H. (1975) : Geochemische Tabellen; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. – Leipzig.
- RÜHLING, A. (Hrsg.) (1994) : Atmospheric heavy metal deposition in Europe – estimations based on moss analysis.- NORD 1994 : 9, 53 S., 10 Abb.; Copenhagen.
- RÜHLING, A., RASMUSSEN, L., MÄKINEN, A., PILEGAARD, K., STEINNES, E., (1987): Survey of the heavy-metal deposition – monitored by moss analysis. Nord 1987.
- RÜHLING, A., RASMUSSEN, L., MÄKINEN, A., PILEGAARD, K., STEINNES, E., NIHLGARD, B. (1989): Survey of the heavy-metal deposition in Europe using bryophytes as bioindicators: Proposal for an international programme. Steering Body of Environmental Monitoring in the Nordic Countries.
- SCHRÖEDER, W.; ANHELM, P.; BAU, H., MATTER, Y.; MITZE, R.; MOHR, K.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PEICHL, L.; PESCH, R.; ROOSTAI, H; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U. (2002 b): Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01-Teil II. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Umweltprobenbank einschließlich Human- und Biomonitoring, UFOPLAN-Fkz 200 64 218).
- SCHRÖEDER, W.; ANHELM, P.; BAU, H., MATTER, Y.; MITZE, R.; MOHR, K.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; ROOSTAI, H; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U. (2002 a): Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01-Teil I. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Umweltprobenbank einschließlich Human- und Biomonitoring, UFOPLAN-Fkz 200 64 218).

- SCHRÖEDER, W.; BAU, H., MATTER, Y.; MOHR, K.; PEITER, A.; PERONNE, T.; PESCH, R.; PÖHLKER, J.; ROOSTAI, H; ROOSTAI, Z.; SCHMIDT, G.; SIEWERS, U. (2002 c): Untersuchungen von Schadstoffeinträgen anhand von Bioindikatoren: Aus- und Bewertung der Ergebnisse aus dem Moos-Monitoring 1990/91, 1995/96 und 2000/01-Teil III. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Umweltprobenbank einschließlich Human- und Biomonitoring, UFOPLAN-Fkz 200 64 218).
- SCHRÖEDER, W.; SCHMIDT, G.; PESCH, R.; MATEJKA, H.; ECKSTEIN, T. (2001): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogrammes im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. Teilvorhaben 3. - Vechta (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Abschlussbericht FuE-Vorhaben 299 82 212 / 02, im Auftrag des Umweltbundesamtes).
- SIEWERS, U., ROOSTAI, A.H. (1990) : Schwermetallbilanz aus Immission und geogenem Anteil im Einzugsgebiet der Sösetalsperre / Harz.- Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, B 19, 57 S., 1 Abb., 17 Tab.; Göttingen.
- SIEWERS, U.; HERPIN, U. (1998): Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995/96. - Stuttgart (Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Heft SD 2).
- SIEWERS, U.; HERPIN, U., STRAßBURG, S. (2000): Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995/96. Teil 2. - Stuttgart (Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Heft SD 3).
- STEINNES, E. (1993) : Some aspects of biomonitoring of air pollutants using mosses, as illustrated by the 1976 Norwegian survey. In: Plants as bio-monitors – Indicators for heavy metals in the terrestrial environment (Hrsg. Markert, B.), S.381-401.

- STOEPLER, M. (1991): Cadmium. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.) : 803-851; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- STREIT, B. (1991): Lexikon Ökotoxikologie; VCH Verlagsgemeinschaft mgH, Weinheim, New York.
- SUNDERMAN, F.W., OSKARSSON, A. (1991): Nickel. In: Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance (Hrsg. Merian, E.): 1101-1126; Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- THÖNI, L., SCHNEYDER, N., KRIEG, F. (1996) : Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in buld prcipitations. In: Frensenius J. Anal. Chem. 354, S. 703-708.
- VALENTA, P., NGUYEN, V.D., NÜRNBERG, H. W. (1986): Acid and heavy metal pollution by wet deposition. In: The Sience of the Total Environment 55.
- WEBER-BLASCHKE, G.; FRIEß, H.; PEICHL, L.; FAULSTICH, M. (2002): Aktuelle Entwicklungen bei Umweltindikatorensystemen. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung -Zeitschrift für Umweltchememie und Ökotoxikologie (online first).
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. (2001): Geostatistics für Environmental Scientists. John Wiley and Sons. Ltd, Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.
- ZECHMEISTER, H. (1997): Schwermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995).- Wien (UBA-Monographien 94/97).
- ZIEMACKI, G., VIVIANO, G., MERLI, F. (1989) : Heavy metals: Sources and environmental presence. In: Bioelements: Helath aspects, Ann. Ist. Super. Sanita, Vol 25, Nr. 3 (Hrsg. Caroli, S., Iyengar, G.V., Muntau, H.) : 531-536.